Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Evaluación de la geometría de un dispositivo de sombreado mediante modelado paramétrico

Geometry evaluation of a shading device through parametric modeling

Gileta-Trujillo, F. J., Ojeda-Sánchez, J. A.*

Facultad de Arquitectura y Diseño; Universidad de Colima; C.P. 28400, Coquimatlán, Colima.
fgileta0@ucol.mx; jojeda1@ucol.mx*

Innovación tecnológica: Ahorro de energía.

Área de aplicación industrial: Ambiental.

Recibido: 14 junio 2023
Aceptado: 13 febrero 2024

Abstract

The Mexican territory is one of the areas with the highest solar irradiance in the world. This is made up of a broad electromagnetic spectrum, within which is visible radiation, under which we humans have evolved and developed our sense of sight. Natural light is a resource that must be used to achieve visual comfort and energy savings in the development of our activities. In turn, daylight contributes to thermal gains in space through openings and windows. It is because of this that, throughout history, different types of shading devices have been developed, which are calculated from the solar geometry of a given geographical point. However, its calculation becomes difficult when using complex geometries. In the present work, the design of a kirigami based shading device for openings is proposed, which through cuts and folds**,** can vary its geometry, so that it can be adapted to the particular conditions of different architectural envelopes. Its evaluation was carried out through a quasi-experiment for three different geometric openings configurations, using parametric modeling tools, such as Rhinoceros and Grasshopper. The results indicate that the opening of 0.55m is the geometric variation with a better relationship between the percentage of shadow and the number of modules required to cover the opening.

Keywords: Grasshopper, Kirigami, Lattice, Parametric modeling, Shading device.

Resumen

El territorio nacional mexicano es una de las zonas con mayor irradiancia solar en el mundo. Esta se compone de un amplio espectro electromagnético, dentro del cual se encuentra la radiación visible, bajo la cual los humanos hemos evolucionado y desarrollado el sentido de la vista. La luz natural es un recurso que debe ser aprovechado, para lograr confort visual y ahorro de energía, en el desarrollo de nuestras actividades. A su vez, iluminación contribuye consecuentemente, a las ganancias térmica dentro del espacio, a través de vanos y ventanas. Es debido a esto que, a lo largo de la historia se han desarrollado distintos tipos de dispositivos de sombreado, los cuales se calculan a partir de la geometría solar de un punto geográfico dado. sin embargo, su cálculo se dificulta al momento de utilizar geometrías complejas. En el presente trabajo, se plantea el diseño de un dispositivo de sombreado en vanos, basado en el kirigami, que a partir de cortes y dobleces tiene la capacidad de variar su geometría, de manera que pueda adaptarse a las condiciones particulares de distintas envolventes arquitectónicas. Su evaluación se realizó mediante un cuasiexperimento. para tres distintas variaciones geométricas, utilizando herramientas de modelado paramétrico, como Rhinoceros y Grasshopper. Los resultados indican que la apertura de 0.55m es la variación geométrica con una mejor relación entre el porcentaje de sombra y la cantidad de módulos requeridos para cubrir el vano.

Palabras clave: Celosía, Dispositivo de sombreado, Grasshopper, Kirigami, Modelado paramétrico.

1. Introducción

Las ciudades son el hábitat construido por el hombre, en ellas se consume entre el 60% y 80% de la energía producida a nivel mundial (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2020). El 34% de la energía es destinada a las edificaciones (Tabadkani et al., 2019). En 2021 se reportó un aumento del 6% en el consumo energético, provocado principalmente por las variaciones de temperatura durante invierno y verano, al igual que el crecimiento económico global (International Energy Agency, 2022). El consumo energético puede ser traducido como emisiones de carbono, por lo tanto, estos incrementos abonan directamente a problemáticas globales como el cambio climático. Es debido a esto que la implementación de estrategias pasivas en los edificios que son habitados día con día, es una medida necesaria en la actualidad. Una de estas estrategias es el aprovechamiento de la luz natural dentro de los espacios, esto es clave para el ahorro de energía, además de proporcionar confort lumínico a los habitantes. Sin embargo, en escenarios desfavorables, su uso puede acarrear consecuencias como la perdida de confort por deslumbramiento (Pesenti et al., 2015) y ganancias térmicas al interior del espacio (Serra, 2004). En este sentido, la fachada es el intermediario entre las condiciones ambientales exteriores e interiores, su geometría y orientación tienen efecto sobre la regulación de la incidencia de radiación solar y la ventilación (Hosseini et al., 2019). Por lo tanto, modificar la envolvente de un edificio provocara alteraciones del ambiente interior, afectando las condiciones de confort. Tabadkani et al., (2019) menciona que un diseño adecuado de vanos y ventanas puede satisfacer las necesidades psicológicas y fisiológicas de los habitantes.

Con la finalidad de regular la incidencia solar, se utilizan dispositivos de sombreado, los

cuales, a partir de la geometría solar, buscan bloquear la radiación solar directa. Estos dispositivos pueden ser horizontales, verticales o combinados. Y su implementación pueden aportar a la estética del edificio, al otorgar ritmo, color y textura. Al mismo tiempo que ofrece a los arquitectos una nueva posibilidad para la expresión visual, no solo al exterior, sino también con los juegos de luces y sombras producidos al interior. Sin embargo, para ser diseñados correctamente deben de ser calculados de acuerdo con las características particulares del vano.

En el diseño arquitectónico convencional, aspectos como la ubicación, orientación, forma, radiación solar, etc. pueden ser considerados como parámetros. La modificación de alguno de estos, sobre un modelo ya creado, implica la repetición de procesos complejos que como consecuencia consume grandes cantidades de tiempo. Por lo tanto, la estandarización de un dispositivo de sombreado con formas más complejas puede ser complicado, ya que una geometría con una configuración única no puede ser adaptada a vanos de distintas características.

En contraste, el diseño paramétrico implementa software como Grasshopper, que permite integrar y coordinar distintos parámetros, de modo que al modificar alguno de estos, el modelo sea actualizado automáticamente (Eltaweel & SU, 2017). De esta forma se facilita la toma de decisiones, de manera informada en fases tempranas del diseño. Su implementación sirve para reducir el tiempo y esfuerzo requerido en la toma de decisiones, además de evaluar distintas alternativas y configuraciones del diseño (Bushra, 2022).

En años recientes, las envolventes de los edificios han evolucionado, transformándose en elementos de múltiples capas, convertirse en complejas obras de ingeniería, involucrando en su concepción a distintas disciplinas, combinando características ambientales y nuevas tecnologías (Bushra, 2022).

Por lo tanto, en la presente investigación se plantea un método para la evaluación de un dispositivo de sombreado, para vanos, inspirado en el kirigami (arte tradicional japones de cortar papel), a partir de su proyección de sombras, por medio de programas de modelado paramétrico como Rhinoceros, Grasshopper y el plug-in Ladybug.

2. Materiales y equipos

Previo a la selección de la geometría que será evaluada, se llevó a cabo una etapa creativa, correspondiente a la primera fase de diseño del dispositivo de sombreado. Es esta etapa se utilizaron recuadros de papel bond de 0.2m x 0.2m, a los cuales se les realizaron cortes estratégicos, con la finalidad de generar distintas variaciones geométricas a partir de una forma base. Posteriormente se utilizó el programa Rhinoceros, el cual es un software de modelado 3D, acompañado del plugin Grasshopper. Este software permite mediante la programación visual, generar modelos paramétricos. La proyección de las sombras se obtuvo mediante el plugin de Ladybug, con el cual es posible incorporar a Grasshoper archivos de clima EPW (EnergyPlus Weather). Esto permite generar graficas solares del sitio y observar los efectos de los ángulos solares sobre la geometría. Finalmente, como complemento a la cuantificación de sombra, se realizaron renders de iluminación, por medio del software Lumion 12.

3. Método experimental

La metodología corresponde a un enfoque mixto, debido a que se realizó un proceso creativo heurístico y análisis de datos. Dentro de la cual se llevó a cabo un

cuasiexperimento, donde el experimento físico fue sustituido por simulaciones numéricas por computadora, en las cuales las condiciones fueron predefinidas. En la figura 1 se muestra un diagrama con las generalidades del experimento. El objetivo del experimento fue evaluar el sombreado de las distintas variaciones de una geometría. Por lo tanto, la variación geométrica fue considerada como la variable independiente, de manera que, la variable dependiente corresponde a la sombra proyectada por la geometría.

La ubicación seleccionada fue Colima, México, donde se presenta un clima cálido subhúmedo. Las coordenadas contenidas en el archivo EPW corresponden a 19.21° de latitud y -103.80° de longitud.

Para el periodo de estudio se seleccionaron dos días clave, los cuales fueron escogidos considerando la latitud del sitio. El primer día seleccionado fue el equinoccio de primavera (21 de marzo), debido a que su geometría solar es muy similar a la del equinoccio de otoño, por lo tanto, el sol presenta ángulos similares dos veces al año. El segundo día seleccionado fue el solsticio de invierno (21 de diciembre), debido a que se presentan las menores alturas solares del año. Por último, se tomó la decisión de omitir el solsticio de verano, ya que, durante esta fecha el sol incide sobre la fachada norte. Lo cual diverge del resto de casos a evaluar. Los cuales se optó para que fueran posicionados sobre un vano vista sur, puesto que, esta orientación tiene mayor incidencia solar a lo largo del año. Por lo tanto, en caso de que el solsticio de verano fuera evaluado, la sombra seria proyectada en el sentido opuesto.

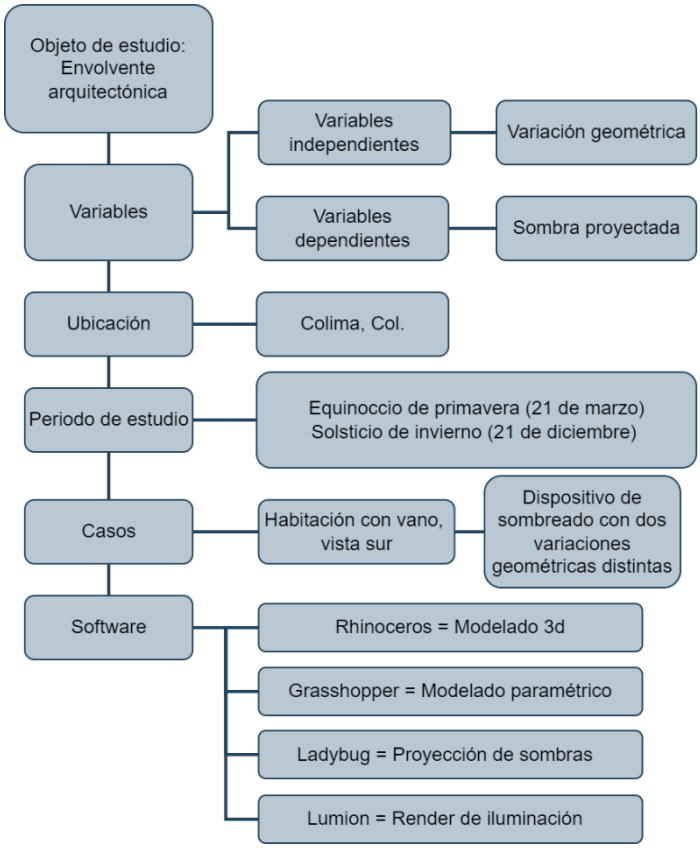


Figura 1. Generalidades del experimento.

Las dimensiones del vano corresponden a 3m x 3m, ya que para un clima cálido subhúmedo se recomienda una altura mínima de 2.80m (Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI]). Mientras que la planta sobre la que se proyectó la sombra fue de 3m x 5m, ya que el área mínima para una habitación multiusos es de $15m^2$, de acuerdo con los criterios técnicos para una vivienda adecuada (CONAVI).

En la siguiente imagen se presenta el diagrama de flujo del experimento.

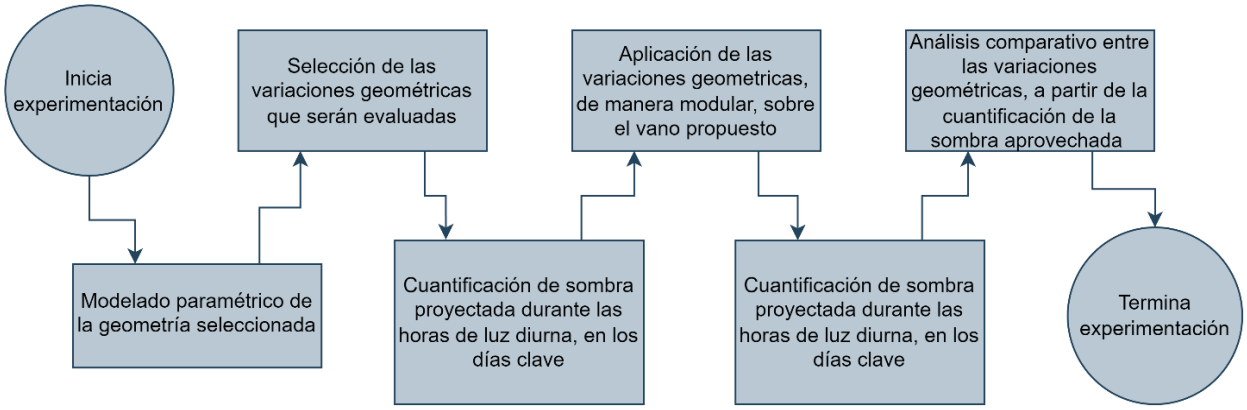


Figura 2. Diagrama de flujo del experimento.

La geometría evaluada en el presente artículo surgió a partir de un proceso creativo previo, en el cual se realizaron bocetos a lápiz, los cuales concluyeron en 13 maquetas de papel. Todas las maquetas compartían como forma base un recuadro de 0.2m x 0.2m. Cada maqueta tenía la capacidad de variar su geometría a partir de cortes y dobleces generados en su superficie, ejecutados a partir de los principios del kirigami. Los criterios que se consideraron para la selección fueron, la capacidad de generar planos inclinados que permitieran bloquear la incidencia solar directa y la capacidad de adaptarse a vanos de distintas dimensiones.

La geometría (figura 3) se compone de dos planos laterales, los cuales al interior muestran salientes triangulares, estos se conectan a una serie de bandas ubicadas al centro. Las bandas se encuentran separadas entre sí, sin embargo, su conexión con los planos laterales les permite generar un doblez en ángulo, el cual se intercala entre una banda y otra. La variación geométrica se produce a partir del acercamiento entre los planos laterales, esto provoca que las bandas se deformen siguiendo la forma de una catenaria.

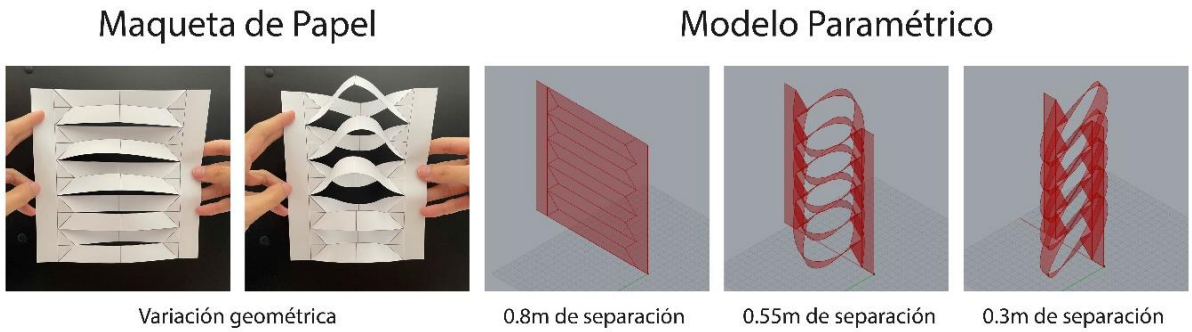


Figura 3. Proceso de generación de la geometría.

Posteriormente, mediante el uso de Rhinoceros y Grasshopper se realizó el modelo paramétrico, donde se escalaron las dimensiones de la maqueta, de tal manera que la forma base correspondía a 1m x 1m. Además, se estableció como parámetro de modificación de la geometría, la distancias entre los dos planos laterales, cuyo rango de modificación iba entre los 0.8m (forma base) y los 0.3m.

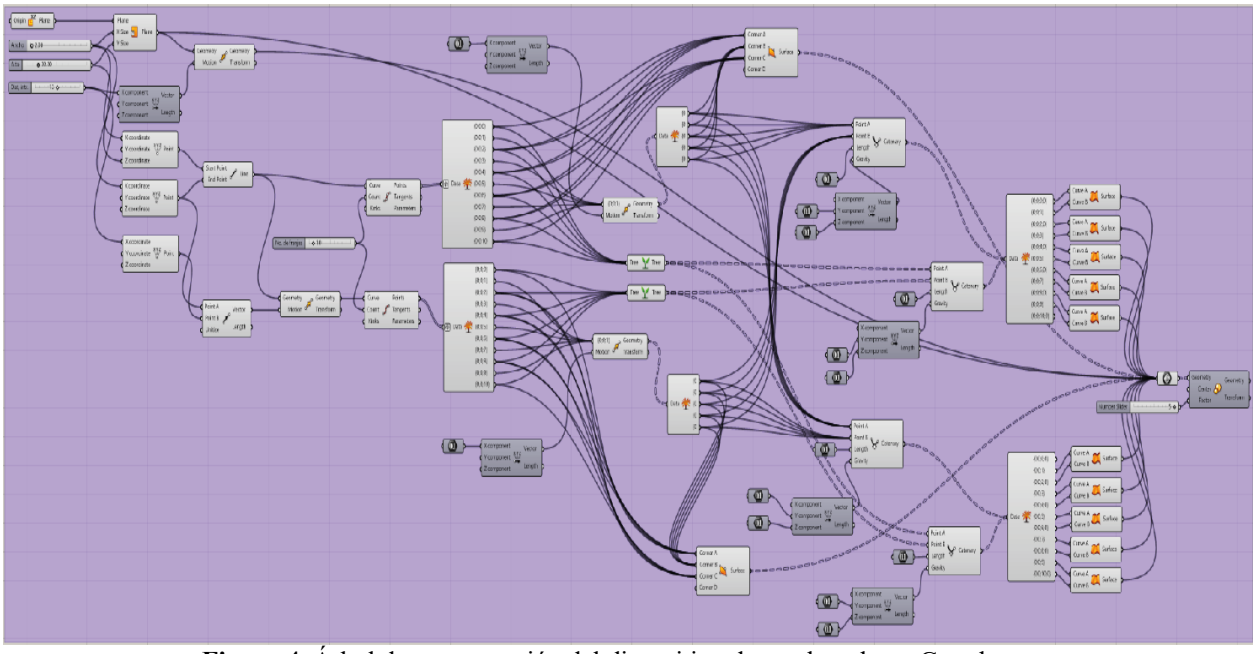


Figura 4. Árbol de programación del dispositivo de sombreado en Grasshopper.

Con la finalidad de evaluar la capacidad de sombreado de la geometría, se establecieron dos posiciones fijas de la variación geométrica, estas corresponden a la variación del parámetro a 0.55m y 0.3m de separación. Estas variaciones permitían la cobertura total del vano (figura 5), a partir de ser distribuidas como módulos de repetición, sobre una retícula ortogonal. Cabe mencionar que cada variación geométrica requería una cantidad de módulos distinta.

Las posiciones fijas fueron evaluadas en dos etapas, la primera buscaba cuantificar el porcentaje de sombra que un solo modulo podía proyectar sobre un plano de 1m x 1m a lo largo de las horas de día. Esto con la finalidad de determinar si era posible caracterizar el sombreado del dispositivo a partir de un módulo. En la segunda etapa se cuantificó en porcentaje de sombra que se proyectaba sobre el plano de 3m x 5m, a lo largo de las horas de día. Esto con la intención de determinar que variación geométrica es la más adecuada para el vano propuesto, a partir de la sombra aprovechada y la cantidad de módulos requeridos. En ambas etapas se contrastaron los resultados con la posición base de la geometría, ya que esta bloquea completamente el vano.

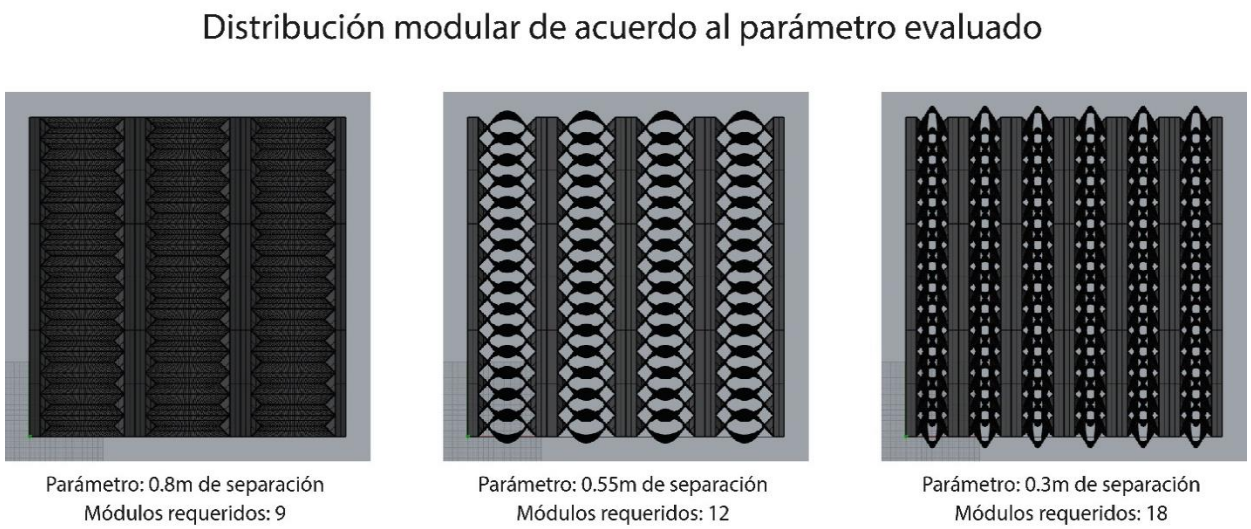


Figura 5. Distribución de las geometrías sobre el vano.

En la primera etapa se nombró a la sombra proyectada, contenida dentro del plano evaluado, como sombra aprovechada. Su cuantificación se realizó en cm^2, sin embargo, fue expresada como porcentaje de cobertura del plano horizontal determinado.

4. Discusión de resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la primera etapa de experimentación, en la cual se evaluó el sombreado individual de las variaciones geométricas.

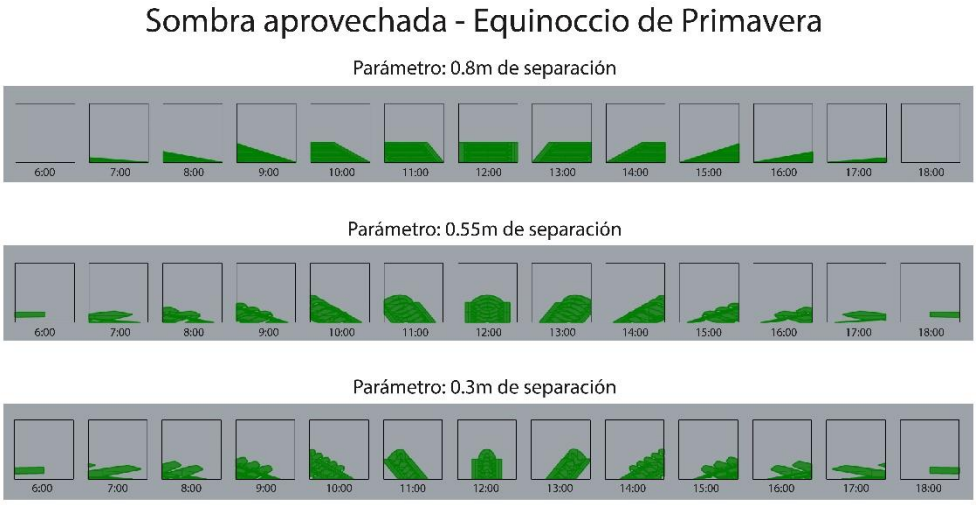


Figura 6. Sombras individuales proyectadas durante el equinoccio de primavera.

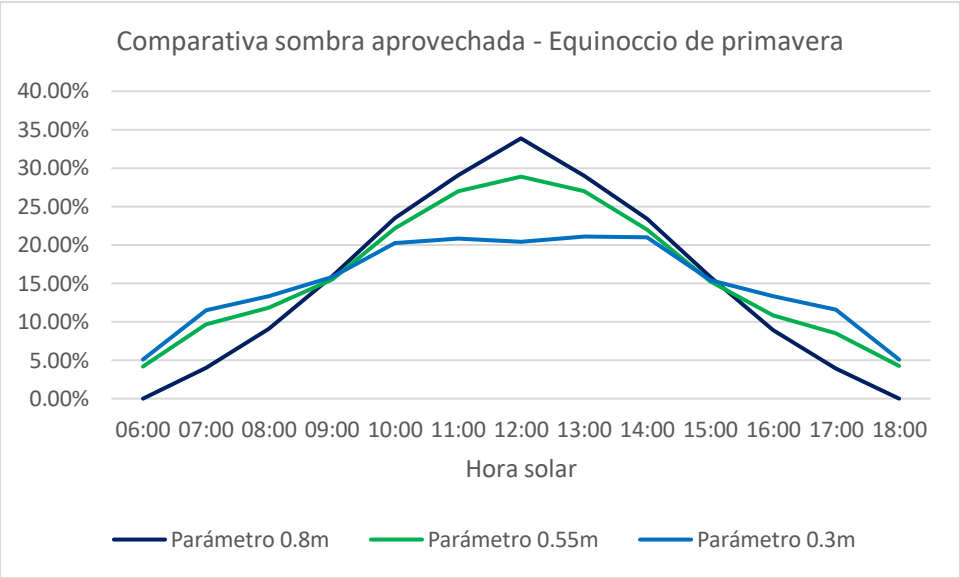


Figura 7. Comparación de porcentaje sombra aprovechada en el plano horizontal (1m x 1m).

Durante el equinoccio de primavera podemos observar que el parámetro de 0.8m (forma base) es el que presenta un mayor porcentaje de sombra aprovechada a medio día (33.86%), seguido por el parámetro de 0.55m (28.88%) y finalmente el parámetro de 0.3m (20.39%). En la figura 6 podemos observar que esto se debe a que la sombra se proyecta en sentido opuesto al acimut, por lo tanto, tiene un recorrido de izquierda a derecha. Además, durante las primeras y últimas horas del día se presentan menores alturas solares, por lo tanto, se proyectan sombras más alargadas. Ambos factores provocan que la sombra proyectada sobre el plano sea menor durante esas horas. Este comportamiento puede llegar a ser beneficioso, ya que a medio día es cuando se presenta una mayor cantidad de radiación, por lo tanto, es conveniente que durante estas horas se aproveche mayor área de sombra.

En cuanto al solsticio de invierno, en la figura 8 podemos observar que las sombras conservan la misma trayectoria, sin embargo, la sombra aprovechada es mayor durante este día, esto se debe a que la altura solar es menor, lo que ocasiona que se proyecten sombras más alargadas.

En cuanto a los porcentajes de sombra aprovechada, el parámetro de 0.8m nuevamente presenta valores mayores, con 92.13% a medio día. Seguido por el parámetro de 0.55m, con 66.62% y finalmente el parámetro de 0.3m, con 45.25%.



Figura 8 Sombras individuales proyectadas durante el solsticio de invierno.

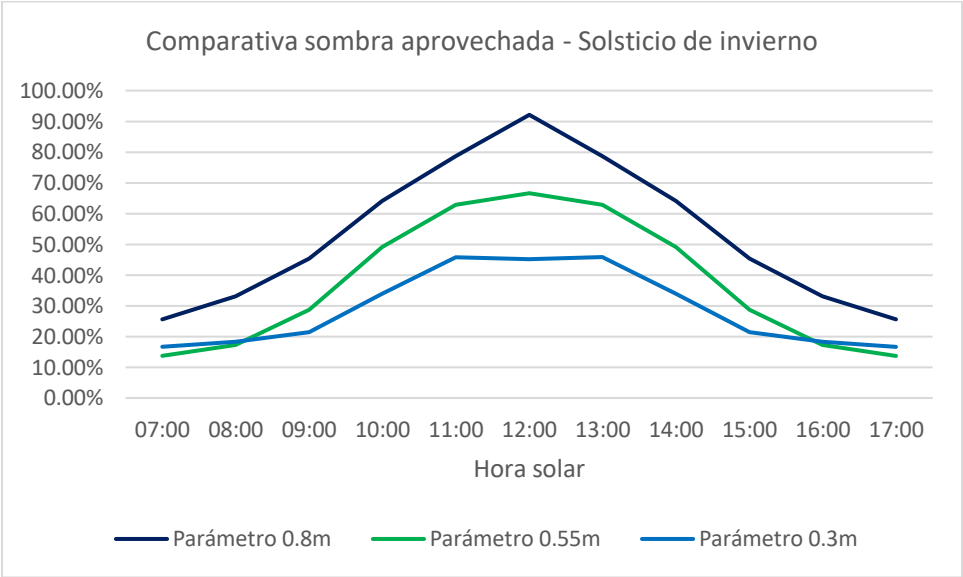


Figura 9. Comparación de porcentaje de sombra aprovechada en el plano horizontal (1m x 1m).

Tanto en el equinoccio de primavera como en el solsticio de invierno se puede observar que la variación del parámetro repercute en el ancho y alto de la geometría, por lo tanto, el parámetro de 0.3m proyecta sombras con áreas similares entre las 11:00 y 13:00 horas del día. Y debido a este rasgo, en general presenta menores porcentajes de sombra aprovechada, ya que permite el paso la radiación directa por los huecos laterales del vano. Se requiere ver cómo será su comportamiento al momento de cubrir el vano, de tal manera que se elimine estos espacios.

En la segunda etapa del experimento se evaluaron las sombras proyectadas por las geometrías en una distribución modular, de manera que se eliminó el espacio vacío que se generaba al momento se variar el parámetro. Por lo tanto, las únicas entradas para la iluminación natural corresponden a los intersticios propios de la geometría. Cabe mencionar que estos intersticios varían su apertura conforme se modifica el parámetro.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

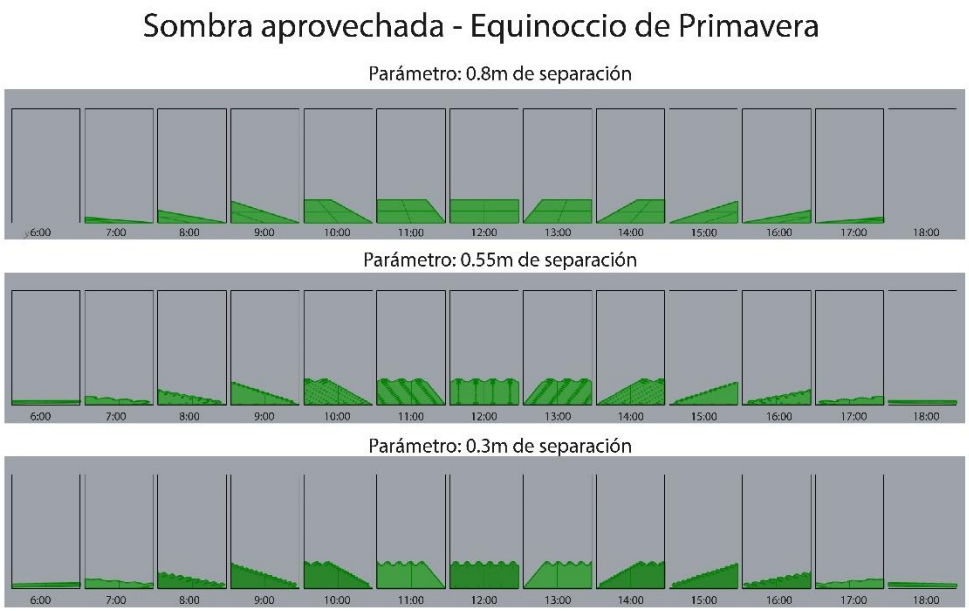


Figura 10. Sombras de las geometrías modulares proyectadas durante el equinoccio de primavera.

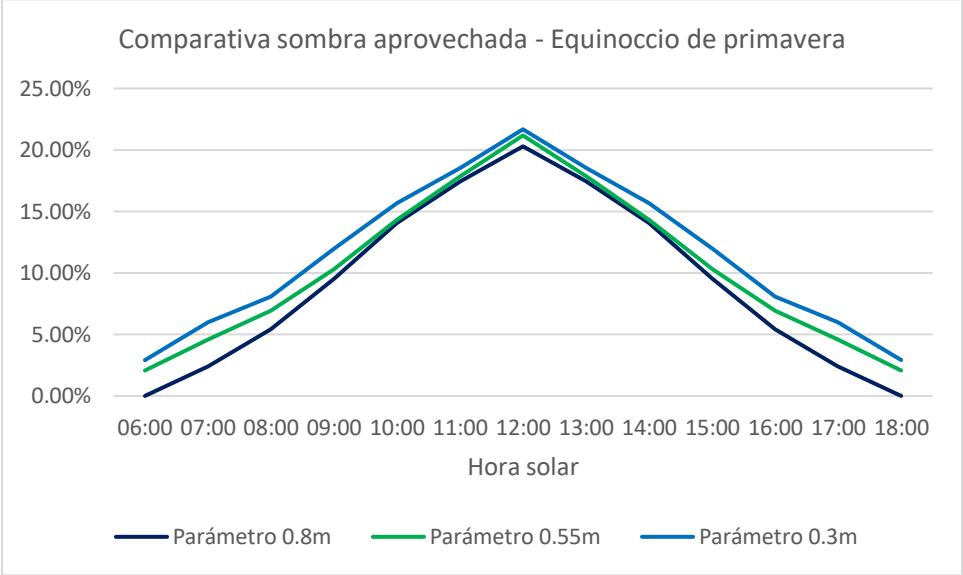


Figura 11. Comparativa de sombra aprovechada en el plano horizontal.

Durante el equinoccio de primavera podemos observar que al momento de que las geometrías actúan como módulos, se logran patrones de comportamiento similares, por lo tanto, los aumentos en el sombreado se deben a la reducción del tamaño de los intersticios y al crecimiento vertical de la geometría, lo que resulta en un área de cobertura mayor con menos perforaciones. En este sentido, la geometría con un mayor porcentaje de sombra aprovechada es el parámetro de 0.3m, con una cobertura del 21.68% a medio día, seguido por el parámetro de 0.55m (21.18%) y finalmente el parámetro de 0.8m (20.29%).

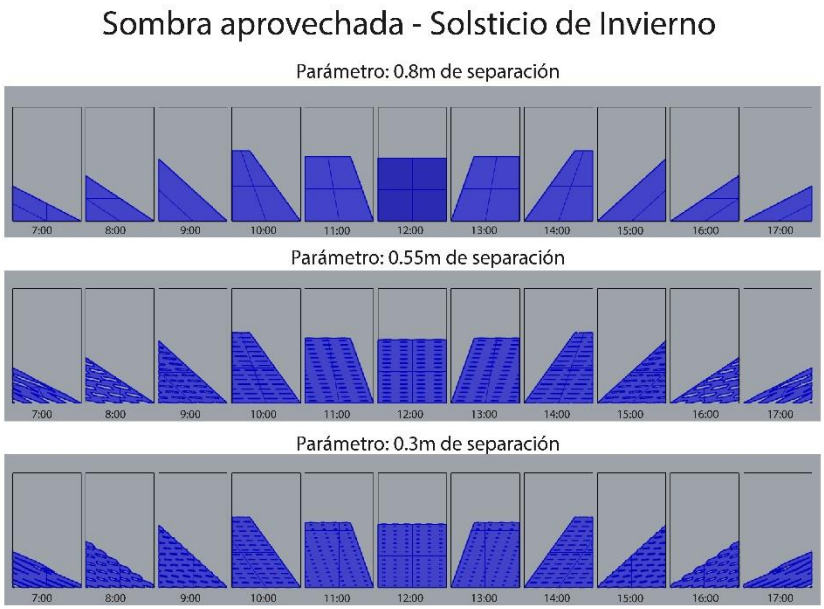


Figura 12. Sombras de las geometrías modulares proyectadas durante el solsticio de invierno.

Por otro lado, en el caso del solsticio de invierno, podemos observar que la altura solar no solo provoca sombras más alargadas, sino que también permite que se filtren haces de luz entre los intersticios de las geometrías, de manera que el porcentaje de sombra aprovechada se reduce. Por lo tanto, la geometría con un mayor porcentaje de cobertura durante las 12:00 es el parámetro de 0.8m, con un porcentaje de 55.25%, seguido por el parámetro de 0.3m con 53.91% y finalmente el parámetro de 0.55m con 52.94%.

A partir de la comparación entre los resultados de sombra aprovechada, podemos observar que estos son muy similares entre las tres variaciones geométricas, sin embargo, hay una diferencia importante entre la cantidad de módulos requeridos para obtener dichos porcentajes. Por lo tanto, para definir cuál es la variante geométrica más adecuada, también se requiere analizar la cantidad de módulos utilizados, ya que, al ser trasladado a la realidad, esto será determinante en la cantidad de material y costos de producción.

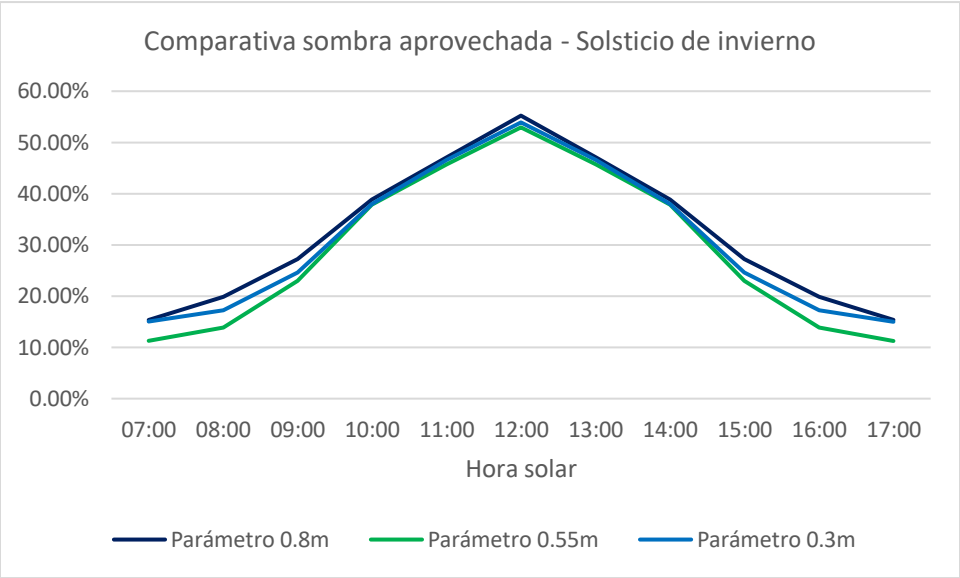


Figura 13. Comparación de porcentajes de sombra aprovechada en el plano horizontal.

También es importante analizar como el juego de luces producido por el dispositivo afectará el espacio, puede cambiar la percepción y entendimiento que tenemos del mismo. Esto no solo repercutirá desde el punto de vista estético, sino que también tendrá implicaciones en el confort visual e incluso en la privacidad. Por lo tanto, para tomar una decisión más completa, es importante entender que actividades se realizarán en el espacio y cuáles serán los horarios de uso.

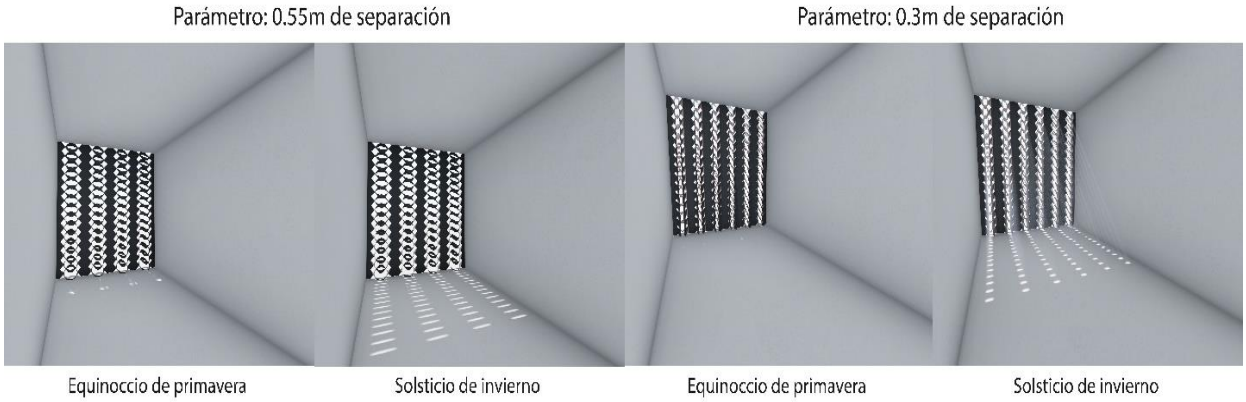


Figura 14. Efectos de la luz en el espacio a medio día (12:00).

Finalmente, es importante destacar que los intersticios en la protección tendrán efectos sobre la ventilación interior, ya que, al no bloquear el flujo de viento, pueden favorecer la ventilación cruzada. La mejor configuración en términos de ventilación podrá ser evaluada a futuro, mediante herramientas como Design Builder -CFD.

5. Conclusiones

A partir del análisis de los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones.

En relación a la selección del dispositivo más adecuado para el vano propuesto, tomando a consideración únicamente el porcentaje de sombra aprovechada y ponderando la

cantidad de módulos requeridos, es prudente decir que la mejor opción corresponde a la geometría con el parámetro de 0.55m, ya que tiene porcentajes de cobertura similares al resto de variaciones y utiliza solo 12 módulos, mientas la geometría con parámetro de 0.3m, que obtuvo porcentajes ligeramente superiores, requiere 18 módulos para cubrir el vano.

La evaluación individual de la geometría no es representativa de los resultados que se podrían esperar en la aplicación del dispositivo de manera modular. Por lo tanto, es recomendable hacer el análisis de sombreado directamente sobre el vano que se busca proteger.

El porcentaje de sombra aprovechada variará con relación al tamaño de la habitación sobre la cual se proyecte la sombra. Además, el efecto que tendrá la losa y los muros también modificará la cobertura del espacio. Por lo tanto, este porcentaje se recomienda únicamente para realizar análisis comparativos, entre variaciones geométricas en igualdad de condiciones.

Los estudios de sombreado pueden ayudar a identificar que zonas de los espacios que están expuestas a la radiación solar directa, lo cual tendrá repercusiones en términos de ganancias térmicas, sin embargo, si el objetivo es el confort visual, se requiere complementar con el análisis de la iluminación, ya que en ella interviene también la radiación difusa. De tal manera que se pueda, asegura que en el plano analizado no habrá perdidas de confort por ausencia de luz o deslumbramiento.

Implementar el modelado paramétrico en el diseño y evaluación de la protección solar, no solo posibilitó generar una geometría compleja de manera más ágil, sino que también permitió hacer variaciones en su forma, sobre un mismo modelo. Este ahorro de tiempo hizo posible evaluar distintas configuraciones, de modo que se pudieron detectar errores y realizar las correcciones pertinentes de manera más rápida. A su vez, el uso de Ladybug permitió plasmar la proyección de la sombra, la cual a través de Rhinoceros puede ser cuantificada como área. Lo cual, a través de otros programas requeriría una mayor cantidad de pasos.

Por último, es importante mencionar que previo a poder realizar un esquema comercial para este tipo de protecciones, será necesario ahondar en más experimentos, sobre todo en términos de iluminación y ventilación. A su vez, será pertinente validar los modelos, con el fin de generar parámetros industriales que permitan su aplicación y comercialización.

6. Referencias

Bushra, N. (2022). A comprehensive analysis of parametric design approaches for solar integration with buildings: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *168*, 112849. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112849

Eltaweel, A., & SU, Y. (2017). Parametric design and daylighting: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *73*, 1086–1103. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.011

Esquivel, I., Romero, V., Rizzardini, F., Martínez, P., Ávila, C., Martínez, K., González, M., Figueroa, C., Pacheco, J., Acevedo, A., Peña, K., Montelongo, M., Arellano, J., & Guerrero, J. (n.d.). *ESTRATEGIAS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO CON ENFOQUE BIOCLIMÁTICO*. Comisión Nacional de Vivienda.

Hosseini, S., Mohammadi, M., Rosemann, A., Schröder, T., & Lichtenberg, J.

(2019). A morphological approach for kinetic façade design process to improve visual and thermal comfort: Review. *Building and Environment*, *153*, 186–204. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.040

International Energy Agency. (2022, January). *Electricity Market Report - January 2022*. Https://Www.Iea.Org/Reports/Electricity-Market-Report-January-2022.

Pesenti, M., Masera, G., & Fiorito, F. (2015). Shaping an Origami Shading Device through Visual and Thermal Simulations. *Energy Procedia*, *78*, 346–351. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.663

Serra, R. (2004). *Arquitectura y climas* (primera edición). Editorial Gustavo Gili.

Solis, E., Ramírez, G., Hernández, A., Álvarez, R., González, G., & Arellano, J. (2019). *Criterios técnicos para una vivienda adecuada*. Comisión Nacional de Vivienda.

Tabadkani, A., Valinejad, M., Soflaei, F., & Banihashemi, S. (2019). Integrated parametric design of adaptive facades for user's visual comfort. *Automation in Construction*, *106*, 102857. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102857