

Performance of natural lighting through lattices generated by origami and kirigami principles

Desempeño de la iluminación natural mediante celosías generadas por los principios del origami y kirigami

R. Contreras-Alejandres¹ and J.A. Ojeda*¹

¹ Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño,
Km. 9 Carretera Colima-Coquimatlán, 28400, Coquimatlán, Colima, México
rcontreras6, jojeda1@uclm.mx

Abstract

The use of lighting in living spaces represents a factor in the energy consumption of buildings. Lighting regulation can be obtained by active means, such as thermochromic techniques in windows or the automation of window shading elements. Lattices have been used to regulate the amount of light in a space. In the present work, three types of geometries are analyzed based on the principles of *origami* (folding paper) and *kirigami* (cutting and folding paper), compared with a *kagome*-type structure (hexagonal structure). The analysis of the geometries of the lattice starts from the hexagonal arrangement to an octagonal, pentagonal, and rhomboidal arrangement, taking the elements above. Lighting analysis was performed using Revit and open-access tools. The lightning results in luxes were obtained for a hexagonal geometry, for two different times of day in order to compare the illumination of the different configurations of the lattice.

Keywords— Architecture, Origami, Kirigami

Resumen

El aprovechamiento de la iluminación en espacios habitables representa un factor en el consumo energético de las edificaciones. La regulación de la iluminación puede obtenerse por medios activos, tales como las técnicas termo crómicas en ventanas, o la automatización de elementos de sombreado en ventana. Las celosías han sido utilizadas para regular la cantidad de luz en un espacio. En el presente trabajo, se analizan tres tipos de geometrías basadas en los principios del *origami* (doblar papel) y *kirigami* (cortar y doblar papel), comparados con una estructura de tipo *kagome* (estructura hexagonal), comparando el desempeño de todas ellas con el fin de determinar cuál es la mejor. El análisis de las geometrías de la celosía, parten del arreglo hexagonal, a un arreglo octagonal, pentagonal y romboidal, tomando los elementos mencionados. El análisis de iluminación se realizó mediante Revit y herramientas de acceso abierto. Los resultados de iluminación en luxes se obtuvieron para una geometría hexagonal, para dos diferentes horas del día con el fin de comparar la iluminación de las diferentes configuraciones de la celosía.

Palabras clave— Arquitectura, Origami, Kirigami

I. Introducción

La arquitectura, así como sus elementos han evolucionado a lo largo del tiempo con la finalidad de adaptarse a las distintas necesidades de las perso-

nas que utilizan estos espacios para realizar sus actividades cotidianas. Por lo tanto, los arquitectos han tenido que incorporar distintos conceptos, técnicas o estilos para crear diseños que den solución a las necesidades de los espacios habitables. En este sentido, la iluminación de un espacio puede ser regulada mediante ventanas,

* Autor de correspondencia

puertas o algún vano que pueda ser controlado por un usuario por lo cual este regule la iluminación requerida dentro del espacio [1]. Uno de los elementos utilizados en la arquitectura, es la celosía, que puede aplicarse en un muro o un elemento vertical de carácter decorativo, cuya principal función, es separar dos espacios siempre manteniendo una comunicación visual, permite la entrada de ventilación natural al interior, aporta iluminación al interior generando sombras que otorga el diseño. Por otro lado, se puede implementar en espacios interiores, como elementos de comunicación visual. Los materiales de las celosías son diversos tales como acero, aluminio, ladrillo, concreto, acrílico, etc. [2].

Recientemente, se han desarrollado soluciones de regulación de iluminación en ventana, de tipo responsivas, de tal forma que reaccionan a las solicitaciones de iluminación o temperatura del exterior [3]. Una de las técnicas aplicadas al diseño de estas geometrías, es mediante las antiguas técnicas japonesas del *origami* y *kirigami*, donde su principal elemento es el papel. El *origami* es el arte de doblar papel mientras que el *kirigami* es el arte de cortar papel [4]. En los últimos años la arquitectura ha tomado como inspiración estas técnicas para desarrollar nuevos proyectos, además que se toman como referencias para distintas investigaciones para ver el comportamiento de estas técnicas dentro de la arquitectura. En los últimos años se ha investigado sobre los materiales que cuenten con un grosor adecuado con la finalidad de que permitan contar con un adecuado proceso de plegado y desplegado, con la finalidad de desarrollar sistemas estructurales basados en el *origami* que puedan ser utilizados en espacios arquitectónicos [5]. Se ha investigado sobre las fachadas móviles que permitan controlar el paso de luz y la ganancia térmica de un edificio con la finalidad de mejorar la calidad de los espacios para los usuarios. Es por ello por lo que se trabaja en el desarrollo de fachadas dinámicas inspiradas en el *origami*, con la intención de reducir la radiación directa en los edificios mediante una estructura con movimiento que permita controlar el paso de luz al interior [6]. En el presente trabajo se analizan tres celosías con geometrías de tipo octagonal, pentagonal y romboidal, que contienen elementos del *origami* y *kirigami*, y una celosía de referencia de tipo hexagonal-*kagome*, [6]. Estas geometrías incorporan grados de libertad en su movimiento, sin embargo, para el alcance del presente trabajo, se muestran posiciones fijas, con el fin de analizar el impacto en la cantidad de luxes. Para el análisis no se consideraron propiedades físico-mecánicas de los materiales.

II. Metodología

Con el fin de evaluar la iluminación interior de un espacio, con las celosías propuestas, primero es necesario

generar el espacio habitable, por lo que se generó en Sketchup un modelo en 3D, que a su vez nos permitirá incorporar el movimiento aparente del sol de forma digital. En dicho modelo, se utilizó REVIT y Enscape. El espacio experimental virtual es de $6 \times 5m$ con una altura de $3m$, con un vano de $2.5 \times 3m$, espacio que representara la ventana, estas son medidas promedias para espacios habitables dentro de un proyecto arquitectónico, este espacio debe contar con una ventana las medidas de esta pueden variar dependiendo de las características del proyecto [7]. El modelo virtual puede apreciarse en la Fig. 1 .

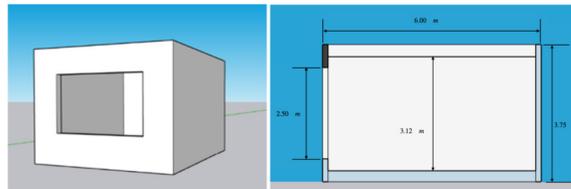


Figura 1: Medidas del espacio virtual en sketchup

Los diferentes espacios donde se evaluaron las celosías se generaron mediante el plug-in gratuito 1001-tools, mismo que permite agilizar el dibujo y generación de vanos. Esta herramienta será de utilidad para la incorporación de las celosías, con diferentes configuraciones geométricas.

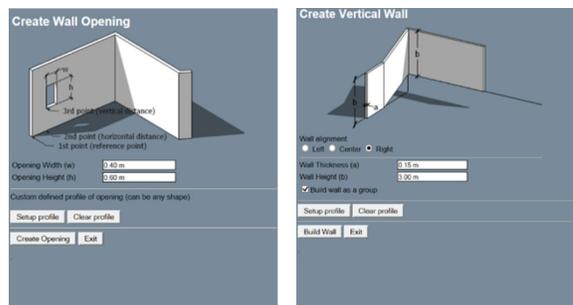


Figura 2: Herramienta de dibujo 1001-tools

II.1. Celosías con elementos del *origami* y *kirigami*

La generación de las celosías se realizó mediante figuras geométricas en este caso polígonos de 4, 5, 6 y 8 lados, con el fin de obtener patrones que permitan la evaluación de iluminación, con un patrón de corte y diseño, de tal forma que permita comparar dichas geometrías con el elemento de referencia. Los polígonos permiten dividir en triángulos una superficie, de tal forma que los arreglos geométricos incorporan las características del *origami*, permitiendo el plegamiento en ejes específicos, permitiendo el movimiento y modificación de las celosías [8]. Por otro lado, mediante el *kirigami* se crearon distintos patrones de corte en la superficie lo que permiten el paso

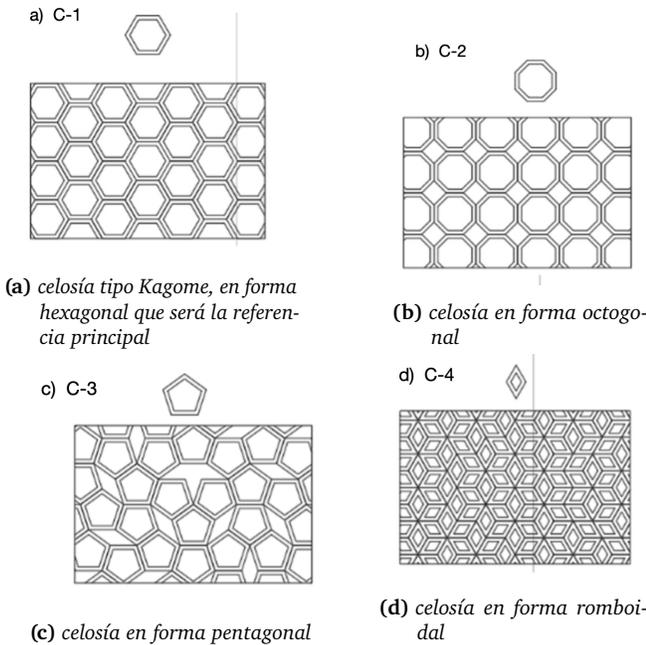


Figura 3: Geometría de Celosías. Todas las celosías mencionadas cuentan con elementos de origami y kirigami

de la luz solar natural [9]. El análisis de las celosías se realiza de manera estática. La generación de las celosías en un arreglo geométrico repetitivo se utilizó AutoCAD, para la creación de los patrones con las figuras geométricas. Más adelante se muestran diferentes aperturas para visualizar la iluminación dentro del espacio virtual generado, previo al análisis de los luxes. En la Fig. 3 se aprecian las geometrías generadas durante el desarrollo de este Proyecto.

La evaluación de la iluminación natural se realizó por medio de Revit y el motor de renderizado Enscape, con dicho motor, nos permitirá evaluar la iluminación interior del espacio. Las características de la iluminación se incorporan al software mediante la orientación y coordenadas del lugar, para el presente caso de estudio, se utilizaron los datos de Delegación num. IV Coquimatlán, donde se encuentra la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima, que son latitud: $19^{\circ}12'41.18''N$ y longitud: $103^{\circ}48'13.33''O$. Dentro de la representación se configuro con los siguiente datos para el recorrido virtual, en este caso con orientación de la fachada hacia el sur, después se colocó el tiempo es decir hora y fecha, es este caso el 25 de diciembre alrededor de la 1 de la tarde, se eligió este tiempo ya que durante este periodo el sol tiene una inclinación lo que provoca que tenga una mayor incidencia en la fachada de nuestros módulos, por lo tanto de esta manera nos permite analizar de mejor manera la protección que brindara la celosía a nuestros módulos. El modelo virtual se puede apreciar en la Fig.

4.

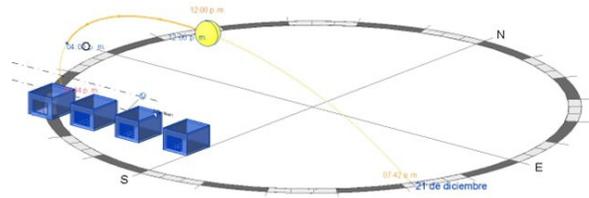


Figura 4: Trayectoria del sol en software Revit

Una vez que se tiene el modelo virtual del espacio y el patrón geométrico de las celosías, con el plug-in de Sketchup mencionado anteriormente, se importa el archivo de AutoCAD, de tal forma que se indica el grosor del trazo y de la celosía, para posteriormente incorporarse al vano del espacio generado. La geometría se incorpora al espacio habitable generado. En la Fig. 5 se muestra la geometría de una celosía.

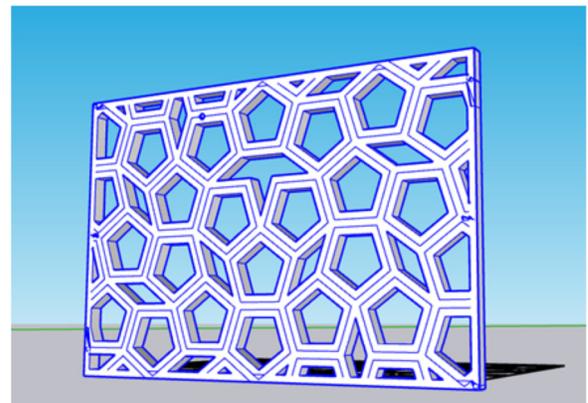


Figura 5: Geometría de celosía C-3 de AutoCAD a Sketchup

Cada uno de los espacios virtuales, se importan al software Revit, de tal forma que se establezca la ubicación del módulo, para que coincida con recorrido del sol se acomode a los requerimientos. Para lograr esto, se seleccionó la instrucción sun path, donde se despliega un menú con la configuración de la trayectoria del sol, donde se ingresan datos de hora, día, ubicación. Estas herramientas son de uso frecuente en la arquitectura, con el fin de visualizar el efecto de la luz en los espacios, y obtener cualitativamente la distribución de luz en diferentes momentos del día en las diferentes temporadas del año. Para la configuración del recorrido solar dentro de Revit se debe colocar la altitud o longitud del lugar. Mientras que se eligió la fecha del 25 de diciembre a la 1:45 de la tarde, ya que durante este periodo de tiempo el sol tiene una mayor inclinación lo que se refleja en mayor incidencia solar en la fachada. La ventana de configuración se puede apreciar en la Fig. 6.

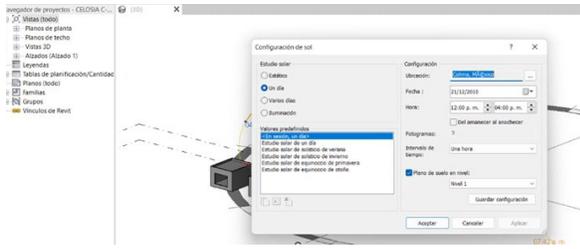


Figura 6: Ventana de configuración de trayectoria del sol en Revit

Una vez habilitado la trayectoria del sol, en el software Enscape, permite el renderizado del modelo virtual, permitiendo el cálculo de los luxes interiores, activando en ajustes visuales-modo-visual de luz. En la Fig. 7, se muestran los parámetros de los espacios generados.

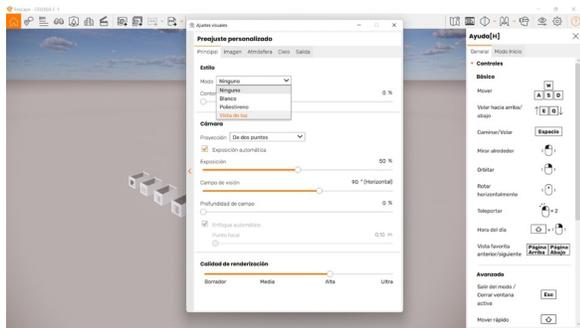


Figura 7: Ventana de configuración de la iluminación del render

Con el fin de comprobar el efecto de la luz dentro del espacio habitable, se analizó los renders de las celosías propuestas, en fecha de finales de diciembre exactamente el día 25, en dos diferentes horarios, 8:30 am y a la 1:45 pm las horas elegidas fueron seleccionadas ya que el sol está en su punto más alto y se caracteriza por una mayor incidencia solar y aumento de temperatura, se eligió este día por el posicionamiento del sol, ya que en otros meses el sol se encuentra más arriba por lo tanto no incide de manera más directa a la fachada. En la Fig. 8 se muestran dos diferentes horas, para el efecto de la luz en el caso de un vano sin protección., en este caso la primera a las 8:30 a.m. y la segunda a la 1:45 p.m.

Para ilustrar el efecto de la iluminación de las celosías C-1 a C-4, se consideraron dos diferentes condiciones de

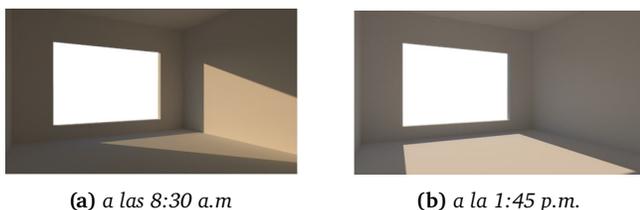


Figura 8: Render de iluminación sin vanos

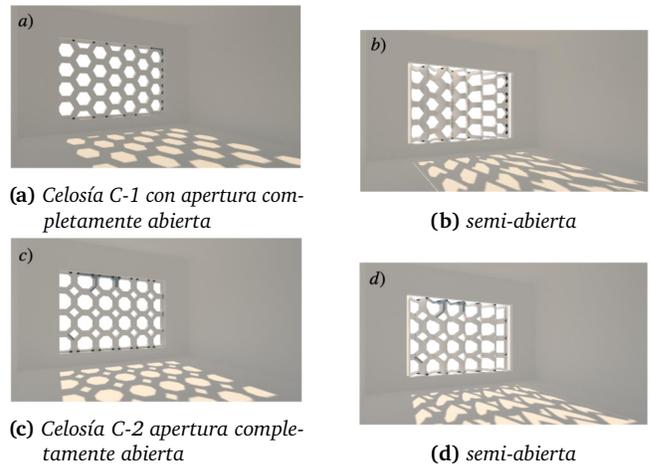


Figura 9

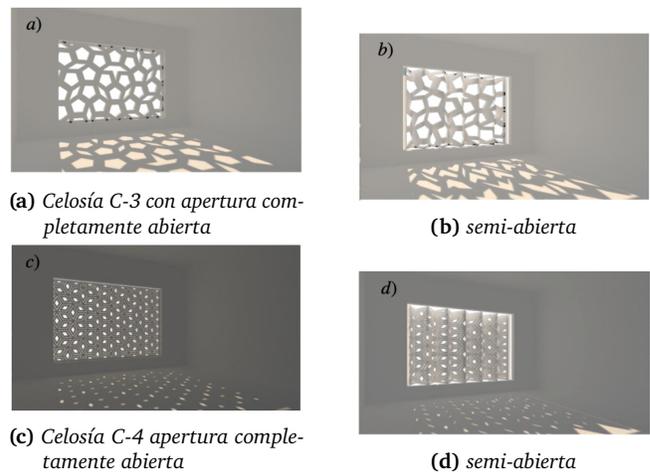


Figura 10

apertura: completamente abierta y semi abierta; configuraciones que corresponden a un desplegado total de la geometría o a un plegamiento, a la 1:45 p.m., esto se puede apreciar en las Fig. 9.

Como se puede observar, en las figuras 9b y 9d, se puede apreciar el efecto del doblamiento de la celosía, permitiendo una mayor iluminación. En la Fig. 10, se muestran las celosías C-3 y C-4 en la misma configuración de apertura y durante la 1:45 p.m.

La celosía C-3 en un modo semi abierto, permite mayor iluminación interior, Fig. 10a, en comparación con el caso de la celosía C-4, que, por su configuración, no permite el paso de la luz, para la apertura semi-abierta, los pliegues de la celosía permiten el paso de la luz, siendo una iluminación limitada al espacio, esto se puede apreciar en la Fig. 10d. Después de habilitar esta configuración, se procedió analizar el comportamiento de la iluminación dentro del módulo virtual sin protección, solo el vano, y compararlo con las diferentes geometrías de celosía, con

el objetivo de comparar la cantidad de luxes al interior.

III. Resultados

Los resultados de iluminación se obtuvieron mediante el software Enscape, mismo que presenta limitaciones para la generación de geometrías con aperturas, por lo que la generación de huecos en el marco es un elemento que no se desea evaluar, por lo que, en una primera aproximación al problema, se tomaron los resultados con huecos generados propios de la deformación de una celosía dinámica sujeta a los principios del *kirigami-origami*.

Con el fin de evaluar las diferentes geometrías de celosía, se presentan los resultados para cada celosía, en las configuraciones de apertura mencionadas anteriormente. Cada geometría presenta su propia escala en luxes, con el fin de obtener un primer acercamiento al desempeño en iluminación. La cantidad de luxes se determina mediante una escala de colores, de donde se puede obtener de manera cualitativa el valor incidente al espacio virtual generado en Revit. En la Fig. 11, se puede apreciar que la iluminación inmediata al vano sin protección es de 80000 luxes, aproximadamente, este valor disminuye hacia el interior del espacio.

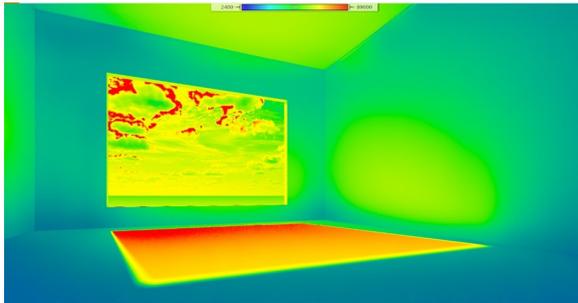


Figura 11: Luxes calculados por Enscape para un vano sin celosía

Los resultados de iluminación para la primera geometría, celosía C-1 se muestran en la Fig. 12a, se aprecia que la apertura completa permite una iluminación de aproximadamente 3000 luxes, con incrementos en los huecos, con un valor de 5000 luxes. Para una apertura semi-abierta, Fig. 12b, se presenta una iluminación al interior del espacio de 44000 luxes, con un máximo en los espacios donde ingresa la iluminación, efecto denotado en color rojo. Este incremento se debe a las aperturas laterales y el incremento del hueco de la geometría de la celosía.

Las diferentes aperturas de la celosía C-2, se pueden apreciar en la Fig. 13, donde para la apertura completa se puede apreciar que el espacio presenta 89,000 luxes, en comparación con el caso semi abierto, que el área con mayor cantidad de luxes, áreas en rojo, disminuyen hacia el interior del espacio.

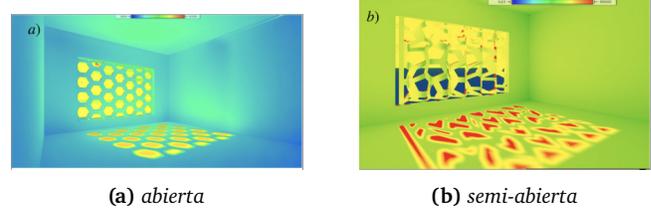


Figura 12: Luxes calculados para la celosía C-1 en una configuración

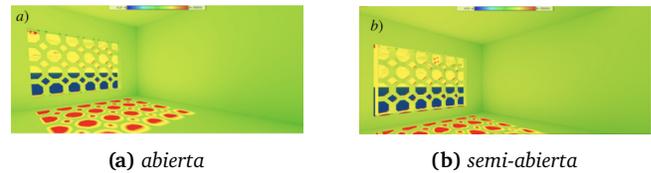


Figura 13: Luxes calculados para la celosía C-2 en una configuración

Para la celosía C-3, para la configuración abierta, se obtiene una distribución de iluminación similar, disminuyendo hacia el interior del espacio, esto se puede apreciar en la Fig. 14a. Por otro lado, en la configuración semi abierta, no presenta diferencias con el caso anterior, presenta el mismo comportamiento de disminución de la iluminación al interior del espacio.

La celosía C-4 en una configuración abierta, reduce la cantidad de iluminación, presentando un máximo de 35,000 luxes, disminuyendo al interior del espacio, tal como se puede apreciar en la Fig. 15a. Para la configuración semi abierta, se incrementa la cantidad de iluminación, área amarilla, aproximadamente de 40,000 luxes hacia el interior.

IV. Conclusiones

Mediante la simulación de la iluminación con herramientas digitales de las celosías generadas por los principios de las técnicas del *origami* y *kirigami*, es posible generar estructuras flexibles que permitan el aprovechamiento y control de la iluminación natural en espacios habitables. Las celosías C-1 y C-4, presentaron los mejores desempeños de iluminación, ambas configuraciones

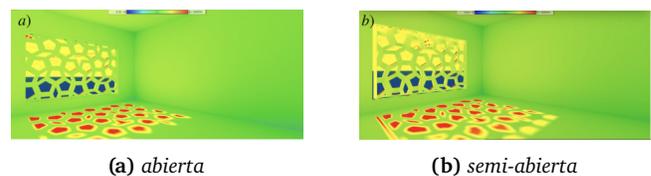


Figura 14: Luxes calculados para la celosía C-3 en una configuración

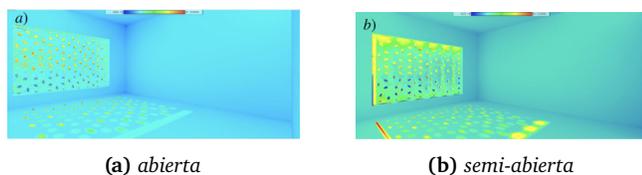


Figura 15: Luxes calculados para la celosía C-4 en una configuración

geometrías fueron generadas bajo el principio del *origami* y *kirigami*. La celosía C-1 presenta un mejor desempeño al modular los luxes al interior en una fase semi abierta. Las diferencias entre ambas configuraciones de apertura, permite una modulación más amplia de los luxes. Por otro lado, la celosía C-4, en ambas configuraciones de apertura, la modulación de los luxes es limitada, sin embargo, permite la iluminación al interior de un espacio. Respecto a las celosías C-2 y C-3, estas presentan resultados similares. La aplicación de las técnicas de *origami* y *kirigami*, tienen una íntima relación con las matemáticas, de tal forma que permite aplicar diseño paramétrico para el diseño de arreglos geométricos, permitiendo la evaluación de la iluminación, generando las pautas de diseño para procesos de diseño mecánico, materiales y manufactura.

Aportaciones

Con los resultados obtenidos durante esta esta investigación se pudo demostrar que la implementación de técnicas como el *origami* y *kirigami*, permiten diseñar celosías que por configuración geométrica permita la modulación de la iluminación de un espacio interior. Este tipo de soluciones permiten corregir las condiciones de un espacio afectado por las ganancias energéticas por ventana o vanos, debidas a una mala orientación o desarrollo arquitectónico. Con las técnicas aplicadas en este trabajo, permite un análisis preliminar, para ser evaluados con herramientas más complejas como el diseño paramétrico con Rhino-Grasshopper-Ladybug.

Referencias

- [1] Iluminet. *Luz natural en Arquitectura*. 2021. URL: <https://iluminet.com/las-diferentes-caras-de-la-luz-natural/>.
- [2] María de la Paz Sevilla. *Secreto de las Fachadas de Casas Modernas: Las Celosías*. 2020. URL: <https://arquitecturasolorzano.mx/arquitectura/secreto-de-las-fachadas-de-casas-modernas-las-celosias/> (visitado 2020).
- [3] B.V. Gomez. *Arquitectura Veliz*. 2013. URL: <https://arquitecturaveliz.com/listing/>.

- [4] Maria do Carmo Kobayashi y Thaís Regina Ueno. «Origami e kirigami: arte e cultura como recurso lúdico e educativo». En: (2013).
- [5] Daniel José Barroso Naranjo. «Arquitectura transformable. Estructuras desplegadas. Del plano al pliegue, del pliegue al espacio. Diseño de un pabellón desplegable basado en el arte japonés del origami.» En: (2019).
- [6] Ana Catalina Villavicencio Jaramillo. «Fachada cinética aplicando movimientos optimizados, analizados por medio de origami». B.S. thesis. 2019.
- [7] X. Fonseca. *Las medidas de una casa: antropometría de la vivienda*. Editorial Concepto, 1991. ISBN: 9789684051706. URL: <https://books.google.com.mx/books?id=-QunygAACAAJ>.
- [8] Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid. *Escuela Técnica Superior de Edificación*. 2020. URL: <https://www.edificacion.upm.es/geometria/JPA/Paraboloide%20hiperbolico%2001.html>.
- [9] G. Westreicher. *Sólido de revolución*. 2020. URL: <https://economipedia.com/definiciones/solido-de-revolucion.html>.