

ANÁLISIS DE LA INCLINACIÓN SOLAR MEDIANTE EL USO DE UN HELIODÓN PARA EL DISEÑO DE LA SOMBRA DE ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS¹

STUDY OF SOLAR INCLINATION THROUGH THE USE OF A HELIODON OF REMOVABLE PARTS FOR THE DESIGN OF THE SHADOW OF ARCHITECTURAL ELEMENTS

PRESENTADO : 02.10.23
ACEPTADO : 08.10.23

DOI: [10.47796/ra.2024i25.923](https://doi.org/10.47796/ra.2024i25.923)

VLADIMIR SIMÓN MONTOYA TORRES²
Universidad Continental Huancayo, Perú
Orcid: [0000-0002-5205-6255](https://orcid.org/0000-0002-5205-6255)
vmontoya@continental.edu.pe

RESUMEN

La investigación se enfocó en analizar el recorrido del sol alrededor de los elementos arquitectónicos en base a los alineamientos que se experimentaron en el antiguo Perú. Esto motivó el desarrollo de un heliodón de piezas desmontables y que mediante fabricación digital se puede replicar en cualquier FAB LAB. Esta herramienta permite analizar los trazos que se generan por la sombra de sólidos arquitectónicos bajo la presencia del sol. Estos análisis se pueden desarrollar en las aulas y talleres de diseño. Permite que el estudiante comprenda mejor los cambios de inclinación del sol en su recorrido anual teniendo en cuenta que estas inclinaciones cambian según la latitud, longitud y la geometría solar. Como conclusión de esta investigación, se logró patentar el heliodon el año 2021 ante INDECOPI, y su

ABSTRACT

The research focuses on analyzing the path of the sun around the architectural elements based on solar alignments, the objective was the manufacture of a Heliodon of removable parts which through digital manufacturing can be replicated in any FAB LAB and through this tool analyze the strokes that are generated by the shadow of architectural elements under the presence of the sun, these analyzes can be developed in the design workshops, allowing the student to better understand the changes in the inclination of the sun in its annual journey, taking into account that these inclinations They change according to latitude, longitude and solar geometry. As a conclusion of this research, Heliodon was patented in 2021 before INDECOPI, and its application in the analysis of the shadow cast

¹ La primera versión del heliodón fue desarrollada como proyecto de tesis titulada "Uso de la fabricación digital aplicada a la construcción de un heliodón en la Escuela Académico Profesional de Arquitectura de la Universidad Continental Huancayo al 2019". Fue desarrollado por Katherine Viviana Gómez Quispe y Natalia María Román Hovispo bajo la asesoría del arq. Vladimir Montoya Torres. Posteriormente, en el año 2020, se presentó la solicitud de Patente en Modelo de Utilidad ante el INDECOPI, la cual fue otorgada con resolución No. 000306-2021 que otorga una protección para su difusión y producción por diez años.

² Arquitecto egresado y titulado en la Universidad Nacional del Centro del Perú, con maestría en Didáctica del Diseño Arquitectónico por la Universidad Nacional del Centro del Perú. Expositor internacional en países como es el caso de Chile, México, Colombia y Dinamarca, desarrollador de patentes ante INDECOPI y autor de publicaciones en revistas científicas. Expositor en el Congreso Mundial de Arquitectos Copenhague en julio del 2023, organizado por la Unión Internacional de Arquitectos. Actualmente, docente de la Escuela Académico Profesional Arquitectura de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental de Huancayo.

aplicación en el análisis de la sombra arrojada se pudo demostrarse mediante el diseño y construcción de paneles urbanos el año 2022, los cuales proyectaron una sombra favorable en horarios de mucha presencia solar. Actualmente, se busca mejorar las condiciones de diseño arquitectónico en relación a los sólidos arquitectónicos y su sombra, como en zonas de friaje donde se busca mejorar las condiciones de mayor presencia solar.

Palabras clave: heliodón, geometría, sombra, arquitectura, sol.

INTRODUCCIÓN

En la didáctica arquitectónica, existen diferentes enfoques, todos válidos y necesarios en la formación de los futuros arquitectos. Algunas de las líneas de aprendizaje tienen insumos verificables directamente, como es el caso de la línea urbana, que presenta el fenómeno de la ciudad al alcance del estudiante. Posiblemente, este es más exploratorio, pero evidenciable como menciona Gehl en su libro *Ciudades para la gente* (Gehl, 2014); sin embargo, algunas materias de la formación arquitectónica son más complejas de comprender con una teoría solo textual o simulada, por eso, es necesario el desarrollo de herramientas didácticas que permitan una mejor comprensión del fenómeno a investigar. Algunas materias como la geometría descriptiva fueron lentamente desplazadas por el uso de ordenadores digitales para la simulación, a pesar de ser un fundamento básico para la comprensión de la integración volumétrica y espacial, el cual es en este caso el campo de la geometría solar (Wieser, 2019).

Pero cuando analizamos la arquitectura ancestral, referida a rasgos egipcios por el uso de obeliscos, o también a la arquitectura

could be demonstrated through the design and construction of urban panels in the year 2022 which cast a favorable shadow during times of high solar presence, currently efforts are being made to improve the learning conditions of the solar path in relation to architectural solids and their shadow, such as in high Andean areas in which efforts are being made to improve the conditions of greater thermal gain due to solar presence.

Keywords: heliodon, geometry, shadow, architecture, sun.

romana por sus notables análisis del sol sobre la arquitectura y sus efectos en la sensación arquitectónica, como es el caso del panteón de Agripa, entendemos que la cosmovisión siempre estuvo presente en el actuar arquitectónico por la búsqueda de sensaciones y emociones. No obstante, muchos de estos conocimientos solo fueron parte de un grupo selecto de eruditos en la observación de los astros. Esto es diferente a nuestra propia cosmovisión andina. Nuestras culturas pre incaicas e incaicas fueron grandes observadores de los astros, y estos hallazgos se ven evidenciados en elementos líticos como el Intihuatana en Machu Pichu o Pisac (Milla, 2003). Por otra parte, no podemos ser indiferentes a otros sitios considerados como observatorios astronómicos ubicados en la costa central del Perú, como es el caso de Chankillo ubicado en Casma (Áncash), el cual usa trece torreones ubicados en la parte alta de un cerro para identificar cada equinoccio y solsticio, y los alineamientos de cada luna llena, generando un primer calendario lunar (Wieser, 2019).

Teniendo este contexto que nos respalda desde tiempos ancestrales, que evoca al ser humano del pasado como un gran observador

de los fenómenos que lo rodean, comparado con otras culturas como es el caso del alineamiento solar de Stonehenge ubicado en el condado de Wiltshire (Inglaterra), o el efecto de sol y sombra que sucede en cada equinoccio en la pirámide de Kukulkán en la ciudad de Chichén Itzá (México) (Barry, 1970), en cuya pirámide la sombra dibuja el perfil del Dios Serpiente, estas fascinantes expresiones de arquitectura pensada y coordinada con los alineamientos solares solo nos brindan una gran admiración que en nuestro tiempo debemos analizar y rescatar. En el Perú, se iniciaron estudios similares analizando nuestros templos y arquitectura propia. Es gracias al trabajo colaborativo multidisciplinario que pudimos entender estos conceptos por medio del estudio del Observatorio y alineamientos astronómicos en el Tampu Inka de Huánuco Pampa (Pino, 2004). Allí iniciamos un trabajo valorativo en relación al estudio del recorrido solar en la arquitectura ancestral peruana. Estos primeros estudios nos brindaron un enfoque más profundo y analítico sobre cómo la geometría solar era fundamental para brindar los rasgos de arquitectura sagrada en las antiguas culturas peruanas.

Es por eso que toda esta trascendental información construye una fuerte motivación para analizar la arquitectura contemporánea y producir nueva arquitectura pensada en cómo el sol dibuja con el oscuro pincel de la sombra, que permita valorizar e iluminar donde sea conveniente o cubrir con su sombra donde sea pertinente. Estos análisis, se dieron inicialmente con el análisis de la arquitectura bioclimática (Aldeman y Jo, 2021) de los sistemas de climatización pasiva, sin embargo, muchas de estas prácticas son teóricas o simuladas en ordenadores, en los cuales el render suele hacer el trabajo de mostrarnos las hipotéticas posibilidades de iluminación natural. En muchos de estos casos las simulaciones son imprecisas y generadas convenientemente por el autor para embellecer su arquitectura cuya orientación con respecto al norte y al recorrido solar puede ser

un factor adverso al momento de diseñar. Esto significa que en muchos trabajos las simulaciones digitales tienen un factor de error (Cabeza-Lainez et al., 2022) que no contextualiza la realidad del proyecto en relación al recorrido solar durante un año calendario que, como describimos anteriormente, era fundamental en otros tiempos.

Estas fueron las razones que motivaron el desarrollo y la actualización de herramientas digitales para la interpretación de los fenómenos relacionados al sol dentro de la bóveda celeste. Y fue la manera en la que identificamos la posibilidad de fabricar un sistema de simulación del recorrido solar. Teníamos a la mano varios simuladores digitales, pero para que los estudiantes ingresen los datos correctos se debía conocer moderadamente el recorrido solar, aspecto que pertenece a un campo más ligado a la física que a la geometría. Por esta razón, se tuvo que comprender primero que el recorrido solar es cambiante, oscilatorio y predecible en intervalos de tiempo moderados (como las estaciones) o anuales (como son los alineamientos). Toda esta teoría es amplia y densa para las asignaturas de Acondicionamiento de Edificios, además, el tiempo para abarcar todo este contenido es muy corto. Esto motivó el diseño y construcción de un heliodon (Faculty of Built Environment and Surveying, Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Malaysia et al., 2021). Tomamos referencias nacionales e internacionales de cómo funciona, cómo se orienta y cuáles eran sus especificaciones técnicas; adicionalmente, decidimos implementar la posibilidad de que esta herramienta didáctica fuera fabricada mediante corte láser en un FAB LAB (Gómez y Román, 2020) y que eso permitiera ser portable, ensamblable y perfectible. Estos aportes ameritaron mayor esfuerzo en su desarrollo, pero fue necesario realizar dichas actualizaciones porque permitieron democratizar el prototipo para que cualquier

FAB LAB pudiera cortar las piezas e imprimir los componentes, y se pudiera simular el recorrido solar mediante una linterna LED.

MÉTODOS Y MATERIALES

La investigación fue de tipo tecnológica. Es producto de la tesis para obtener el título

profesional en Arquitectura. Se desarrolló un prototipo cuyo funcionamiento y factibilidad fueron validados mediante ensayos y matrices morfológicas. El prototipo siguió una línea procedimental hasta lograr los resultados concluyentes como se muestra en la Figura 1 (Gómez y Román, 2020).

Figura 1

Diagrama de fases para el diseño del heliodón



El método de estudio se inició con la investigación sobre la energía solar y sus aportes existentes dentro de una ciudad: el análisis del comportamiento de energía solar a la escala urbana, la búsqueda de la participación de la energía solar y eficiencia energética dentro de la arquitectura, correspondiente a la aplicación de las sombras e iluminación solar. El desarrollo de un modelo simplificado en un heliodón que trabaja simulando condiciones reales de la radiación solar y la luz natural permite estudiar los trayectos solares proyectados sobre un plano desde cualquier punto del globo, y analizar la incidencia de la luz solar directa, así

como la luz difusa del cielo, en cualquier edificio o zona urbana, teniendo en cuenta el enmascaramiento producido por otros edificios u obstáculos naturales. Se utilizaron herramientas de apoyo como Autocad, Sketchup, 3dsMax y Excel. Esto concluyó en un modelado digital como se aprecia en la Figura 2. Durante este desarrollo se definen los factores necesarios e importantes para realizar el modelo urbano. Se buscan los parámetros e indicadores necesarios para hacer la evaluación del estudio de impacto en el contexto urbano y arquitectónico, como se aprecia en la Figura 3 (Salgado-Conrado et al., 2022).

Figura 2

Modelado de un heliodón

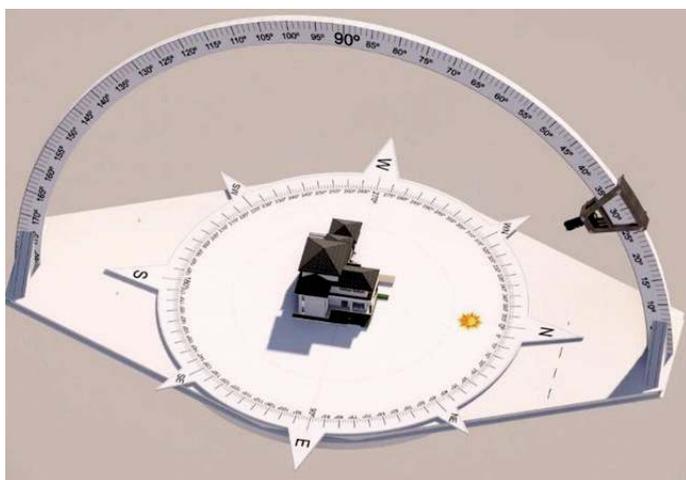


Figura 3

Maqueta de modelado de un heliodón



DESARROLLO

Lo primero a desarrollar fue la fabricación digital del heliodón, el cual se realizó en software de fácil manipulación, y fue presentado en prototipos a escala y con materiales convenientes para sus primeros ensayos. Mediante un proceso selectivo de evaluación de funcionamiento y factibilidad se afinaron los componentes en la primera versión terminada para julio del 2019. Esta versión fue la base para iniciar las métricas de recorridos solares sobre elementos arquitectónicos, tomando especial énfasis en el diseño de fachadas (Ramadhan y Mahmoud, 2023) en relación a su orientación con respecto al norte magnético. Ello implica el análisis de la presencia del sol en diferentes horas, días, semanas y meses, pues según estos factores varían en relación a la inclinación, la proyección de las sombras y el nivel de profundidad de sombra. Estos aportes solo se pueden ver mediante una simulación digital, pero ahora en nuestro caso mediante el posicionamiento del heliodón en relación a la orientación y a la inclinación del arco solar, la evaluación es directa. Mediante una maqueta física, se puede observar y realizar las interpretaciones. Esa es la principal virtud de la presencia de un heliodón en un taller de arquitectura (Moreno et al., 2020)

La segunda etapa consistió en buscar mejorar la orientación de viviendas altoandinas para captar mayor cantidad de radiación solar que provea confort térmico. Esta etapa fue más compleja porque las viviendas altoandinas en los distritos a lo largo del valle del Mantaro son de condiciones precarias: techos de calamina y en muchos casos cerramientos incompletos donde en temporadas de helada o frío extremo nocturno las temperaturas bajan a -8o C. Considerando este contexto de pobreza, el clima adverso y la nula presencia de ayuda social gubernamental es que se iniciaron investigaciones e intervenciones de asistencia y

mejora, combinando criterios de aislamiento térmico mediante el uso de botellas de plástico PET (Moncloa, 2017) y orientación de vanos en búsqueda de la mayor incidencia solar para lograr mayor ganancia y retención de masa térmica. Es importante mencionar que muchas de estas intervenciones se realizaron previamente a los estudios de recorrido solar, lo cual representa un segundo uso donde se puso a prueba el heliodón, y en conjunto con intervenciones tácticas se logró un mejor resultado en relación a las técnicas de arquitectura bioclimática con fines de climatización pasiva (Sornek y Papis-Frączek, 2022).

La tercera etapa de aplicación fue una intervención urbana táctica que surgió de un análisis que se basó en el Servicio de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). Nuestro país ocupa el primer lugar del mundo en presentar altos índices de radiación ultravioleta con récords históricos de hasta 20 puntos que exponen y amenazan a la salud pública, como advierte la Liga contra el Cáncer.

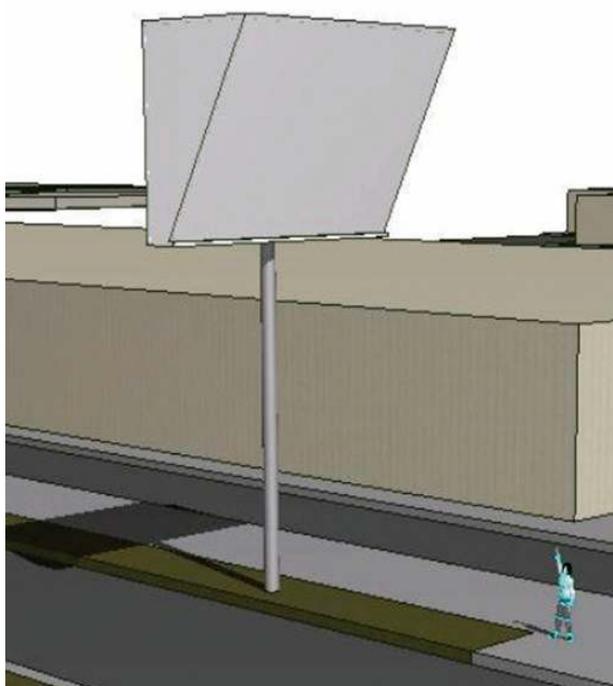
A partir de esta necesidad, Katherine Gómez y Natalia Román crearon “Paneles de sombra”, un proyecto que se construyó en Cusco en una vía urbana con alto tránsito vehicular y peatonal

Esta innovación estimulada por el Pensamiento Lateral utiliza como herramienta principal al primer heliodón desmontable del Perú que sirve para calcular el desplazamiento del sol y conocer a ciencia cierta en qué momento del día podemos dar uso a los paneles con la finalidad de proyectar sombras en determinados espacios. Esto solo es posible al inclinar una de las caras del panel publicitario como se puede apreciar en la Figura 4. El ángulo de inclinación fue determinado por el arco de rotación axial del heliodón, y con esta información se modeló un panel de tipo trapezoide invertido en el cual se logra la mayor

presencia de sombra en las horas de mayor radiación en la ciudad de Cusco, exactamente en el cruce de la av. La Cultura con jr. Sacsayhuamán. Este panel se puede apreciar en la Figura 5.

Cabe resaltar que el heliodón desmontable (Salgado-Conrado et al., 2022) se

Figura 4
Inclinación de una de las caras del panel publicitario



elaboró en el laboratorio de fabricación digital Fab Lab. La invención ha tenido reconocimientos y premios por su aporte tecnológico en el campo del diseño. Uno de ellos resultó ser la medalla de oro en el concurso KIWIE 2020, organizado de manera anual por la Asociación de Mujeres Inventoras de Corea del Sur (KWIA).

Figura 5
Panel publicitario



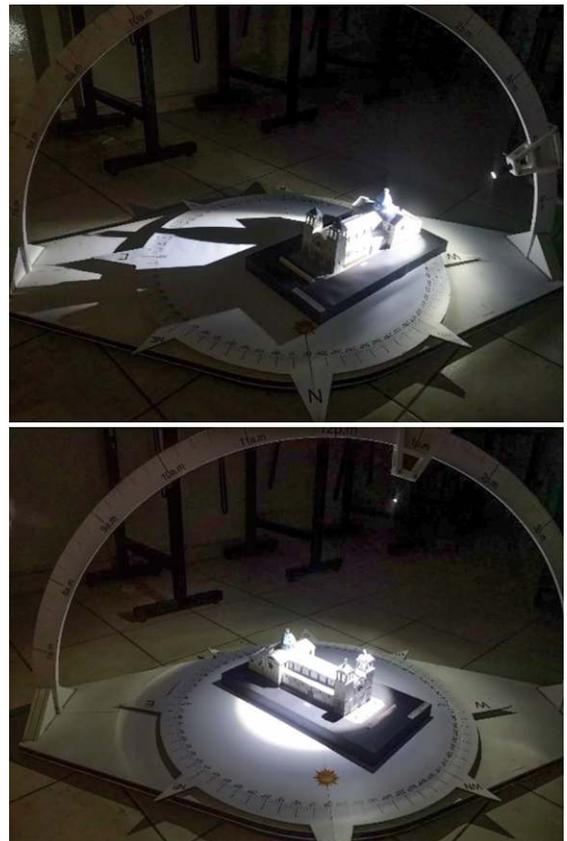
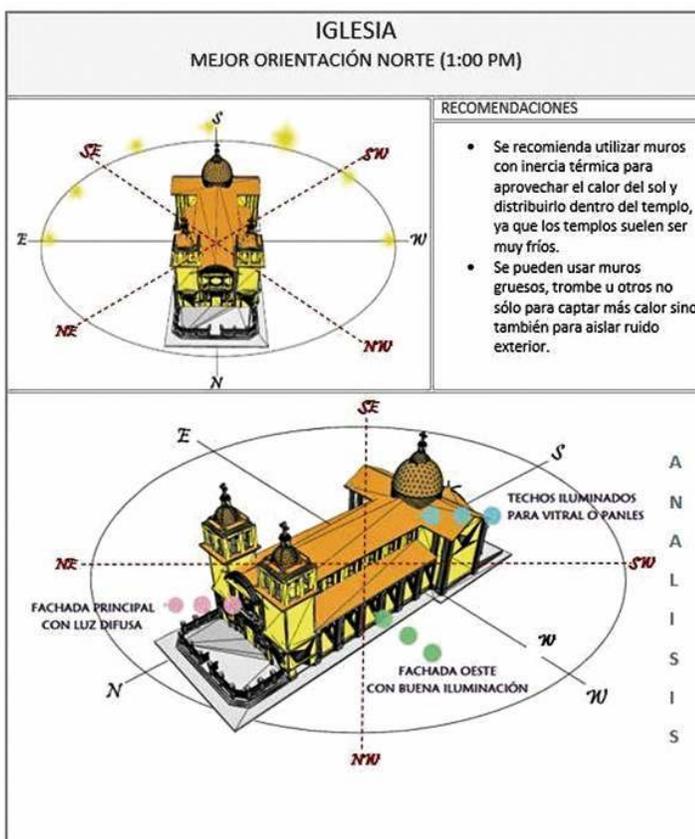
Finalmente, en el año 2023 se viene desarrollando la cuarta etapa. Realizamos unas mejoras al prototipo original realizando una modificación en el eje de rotación axial del arco solar. Este componente nos permite inclinar el arco solar que es un riel por donde se desplaza el elemento luminoso que simula al sol (Fernandes, 2011) que para nuestro caso es una linterna LED. La importancia de que el arco solar pueda rotar con mayor libertad con respecto a la vertical de azimut es porque gracias a eso podemos analizar mayores territorios hacia el sur de la línea ecuatorial. Para explicar mejor este componente, nos referimos a que mientras

más al sur se encuentre el terreno, edificio, contexto de análisis, el ángulo con respecto al azimut y el zenit (Rodríguez et al., 2007) cambia y se amplía, por lo tanto, con esta modificación podemos analizar mejores proyectos que pudieran estar ubicados en otras ciudades más al sur como son Moquegua, Tacna, Puno y Arequipa. También se aplica para las ciudades que están más cerca de la línea ecuatorial. A pesar de que el ángulo es mínimo, se puede registrar con mejor precisión esa variación angular que nuestro planeta presenta por su propia naturaleza.

Lograda esta actualización, es que se iniciaron los trabajos en la línea de proyectos y de acondicionamiento de edificios pensando en el diseño arquitectónico basado en la sombra: ¿qué tanto, el diseño también puede expresar una sombra estética (Januszkiewicz y Alagoz, 2020)?, ¿cómo la rotación de la Tierra alrededor del sol y en su propio eje puede variar la sombra de una fachada de un volumen o de un edificio?, y ¿cómo estas variaciones pueden ser registradas como variaciones estéticas positivas o favorables en el diseño arquitectónico?. La manera en que el taller de diseño lo ha

propuesto fue mediante ensayos de las volumetrías propuestas usando el heliodón como insumo al momento de tomar decisiones de diseño o variaciones sobre edificios existentes en la ciudad con el fin de analizar las sombras y analizar si son funcionales o estéticas según el clima y orientación de donde se ubique el proyecto arquitectónico. Es un caso particular analizar las iglesias de la ciudad de Huancayo cuyas fachadas principales están orientadas predominantemente hacia el oeste. Estos esquemas gráficos se realizaban para analizar el recorrido solar como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6
Esquemas gráficos de recorrido



Nuevas líneas de investigación

Estos años de investigación nos aproximaron a nuevas líneas de investigación relacionadas a tres campos específicos que se vienen desarrollando. El primero está enfocado en el desarrollo y análisis de fachadas cinéticas (Ramadhan y Mahmoud, 2023) que respondan a

la presencia o ausencia solar según la estación. Estas pruebas tienen una relación directa con la orientación e inclinación solar según la estación (Ningsih et al., 2023).

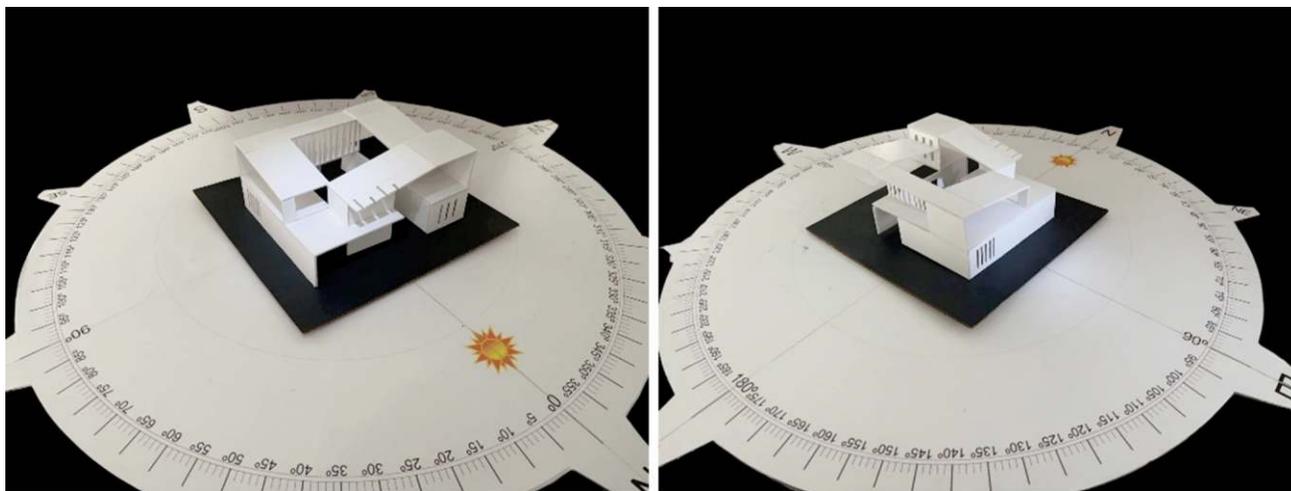
La segunda línea de investigación que se está desarrollando se basa en el análisis de la búsqueda de mayor ganancia térmica en

invernaderos en zonas alto andinas que buscan la posibilidad de producir diferentes productos agrícolas especialmente hortalizas en climas fríos y a más de 3500 msnm en cuyos climas no crecerían. Por esta razón, los invernaderos son diseñados y replanteados para optimizar la ganancia térmica e iluminación solar durante la mayor cantidad de horas al día, especialmente en lugares cuya geografía accidentada de la cordillera de los andes les proporciona varias horas de sombra. Esto se está consolidando como una alternativa de intervenciones táctico-rurales de ayuda social y tecnológica (Sornek y Papis-Frączek, 2022).

Finalmente, la tercera línea de investigación se está enfocando en el diseño de la sombra como consecuencia de un diseño volumétrico coherente que permita un efecto

planificado en las distintas fechas del calendario solar y que se logren efectos tangibles con respecto a cómo la sombra puede impactar en la sensación espacial de ambientes al aire libre o ambientes interiores. Estos ejercicios se iniciaron este año y los resultados se vienen consolidando en un repositorio de ensayos volumétricos. Estos utilizan el heliodón y demuestran sus efectos en las superficies donde se proyectan las sombras. Uno de los más certeros es el desarrollo de calendarios solares contemporáneos que muestran los meses o las horas según el mes y día del año. Estas aproximaciones representan un campo nuevo que estamos explorando, tomando como referencia estudios desarrollados como es el de Interpretación geométrica de la luz del cielo en el proyecto de arquitectura (Beckers, s. f.).

Figura 7
Diseño volumétrico



RESULTADOS

Después de cuatro años de investigación, podemos mencionar los principales resultados. En primer lugar, se logró integrar un conocimiento que era difícil de asimilar por los estudiantes; ahora es comprensible gracias al uso del heliodón. En estos años, podemos entender mejor las referencias internacionales de donde tomamos ideas para poder realizar nuestra propuesta

(Faculty of Built Environment and Surveying, Universiti Teknologi Malaysia -UTM, Malaysia et al., 2021).

Otro importante resultado es el haber logrado patentar el primer prototipo. Ahora debe iniciarse el desarrollo de la segunda patente de modelo de utilidad al actualizar el primer modelo. Una meta a corto plazo es construir un heliodón con sensores y rotores activados por el sistema operativo Arduino y

controlados desde una plataforma digital como la del celular; asimismo, mediante información binaria, poder orientar o rotar los elementos deslizantes del heliodón y lograr su automatización.

Participar del concurso KIWIE 2020, organizado de manera anual por la Asociación de Mujeres Inventoras de Corea del Sur (KWIA), donde nuestro equipo obtuvo una medalla de oro nos impulsó a continuar investigando. Los resultados son alentadores en relación a lo que se venía desarrollando anteriormente en la línea académica de acondicionamiento del edificio.

Finalmente, el resultado más alentador es el haber involucrado a un grupo de 80 estudiantes de la Escuela Académico Profesional de la Universidad Continental en la ciudad de Huancayo. En esta institución, los estudiantes se ven involucrados en actividades relacionadas a la geometría solar, al diseño basado en la luz y su consecuente sombra. Estos resultados han permitido la inscripción de cuatro planes de tesis relacionados al campo del análisis del recorrido solar y la arquitectura.

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que la combinación de técnicas de modelamiento tridimensional y fabricación digital son una poderosa herramienta al momento de crear lo que no se puede fabricar de una manera convencional; apertura muchas posibilidades en formas de ensamblar partes y articular materiales. Así como la combinación de las técnicas de corte láser e impresión 3d permitieron la fabricación del primer prototipo de heliodón, actualmente es por este medio que se está desarrollando la segunda versión.

Asimismo, se demuestra que el desarrollo de herramientas didácticas para la arquitectura repercute directamente en el aprendizaje de los estudiantes. Los acerca y

motiva a explorar en campos que son conocidos, pero no atractivos para ellos. Estas innovaciones tienen un mejor resultado al involucrar al estudiante en su propio razonamiento por entender el fenómeno de la iluminación solar sobre los sólidos arquitectónicos

También se puede afirmar que la vinculación tecnológica multidisciplinaria es fundamental para el desarrollo de una mejor comprensión de los diferentes campos de la arquitectura. Sin el soporte de físicos y el asesoramiento de técnicos en fabricación digital el proyecto no se hubiera concretado. Fue necesario un trabajo conjunto y de la mano de una institución que respalda e impulsa la investigación para lograr el éxito con el heliodón.

Se concluye que el uso de un heliodón de piezas desmontables es una herramienta sencilla de simple ensamblaje y permite replicarse en cualquier FAB LAB, esto en relación a unos principales conceptos de la fabricación digital. Es que los conocimientos, modelos o prototipos deben ser de libre acceso si son utilizados como herramientas para el aprendizaje. El heliodón está disponible para todo aquel que lo solicite. No tiene fines comerciales solo el fin de mejorar el entendimiento del fenómeno de la luz al crear sombra, dentro de la interpretación arquitectónica, con la meta de lograr una arquitectura integrada al cosmos que la rodea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldeman, M., y Jo, J. (2021). *A Model Passive Solar Home Student Design Project*. 2021 ASEE Virtual Annual Conference Content Access Proceedings, 36594.
<https://doi.org/10.18260/1-2--36594>

Barry, K. M. (1970). *Interpretación y Arquitectura mayas: Chichén Itzá como parte de la Narrativa de Patrimonio Cultural*. Complutum, 27(2), 333-351.

<https://doi.org/10.5209/CMPL.54749>

Beckers, B. (s. f.). *Interpretación geométrica de la luz del cielo en el proyecto de arquitectura*.

Cabeza-Lainez, J., Almodovar-Melendo, J.-M., y Rodríguez-Cunill, I. (2022). *The Search for Sustainable Architecture in Asia in the Oeuvre of Antonin Raymond: A New Attunement with Nature*. Sustainability, 14(16), 10273.

<https://doi.org/10.3390/su141610273>

Faculty of Built Environment and Surveying, Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Malaysia, Dalumo, D. B., Lim, Y.-W., Faculty of Built Environment and Surveying, Universiti Teknologi Malaysia (UTM), Malaysia, y Centre for the Study of Built Environment in the Malay World (KALAM), Institute for Smart Infrastructure and Innovative Construction (ISIIC), UTM, Malaysia. (2021). *Comparative Study on Computer Simulation of Solar Shading Performance with Heliodon and Artificial Sky*. Journal of Daylighting, 8(1), 50-64.

<https://doi.org/10.15627/jd.2021.4>

Fernandes, L. C. (2011). *Ensino de Geometria solar: proposta de heliodon alternativo*.

Gehl, J. (2014). *Ciudades para la gente*.

Gómez Quispe, K. V., y Román Hovispo, N. M. (2020). *Uso de la fabricación digital aplicada a la construcción de un heliodón en la Escuela Académico Profesional de Arquitectura de la Universidad Continental Huancayo al 2019*. Universidad Continental.

Januszkiewicz, K., y Alagoz, M. (2020). *Inspired by Nature: The Sun and Shadow Pavilion, Social Integration and Energy Saving in the Built Environment*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 960, 042081.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/960/4/042081>

Milla, C. (2003). *Ayni*.

Moncloa Guardia, C. (2017). *Confort térmico: un sistema aislante para la vivienda alto andina fabricado con materiales reciclados*. Módulo Arquitectura CUC, 18(1), 73-90.

<https://doi.org/10.17981/moducuc.18.1.2017.04>

Moreno Peña, J. R., Contreras Galván, B. G., Ortega Valencia, J. C., Pineda Torres, J. A., Bricio Barrios, E. E., y Arceo Díaz, S. (2020). *Design of a portable, low-cost, heliodon prototype for the teaching of solar geometry and irradiance in bioclimatic architecture*. Journal of Physics: Conference Series, 1645(1), 012014.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/960/4/042081>

Ningsih, T. A., Chintianto, A., Pratomo, C., Milleza, M. H., Rahman, M. A., y Chairunnisa, I. (2023). *Hexagonal Responsive Facade Prototype in Responding Sunlight*. En P. F. Yuan, H. Chai, C. Yan, K. Li, & T. Sun (Eds.), Hybrid Intelligence (pp. 418-431). Springer Nature Singapore.

https://doi.org/10.1007/978-981-19-8637-6_36

Pino Matos, J. L. (2004). *Observatorios y alineamientos astronómicos en el tampu inka de Huánuco Pampa*. Arqueología y Sociedad, 15, 173-190.

<https://doi.org/10.15381/arqueolsoc.2004n15.e12739>

Ramadhan, A. M., y Mahmoud, A. H. (2023). *Evaluating the efficiency of a living wall facade as a sustainable energy-saving alternative in hot arid regions*. Journal of Engineering and Applied Science, 70(1), 96.

<https://doi.org/10.1186/s44147-023-00259-9>

Rodríguez, R. S., Ríos, H. B., Montes, F. B. C., Lleren, B. U., y Corilloclla, D. R. (2007). *Metodos*

comparativos para determinar el azimut geográfico-observatorio geofísico de Huancayo-Perú.

Salgado-Conrado, L., Lopez-Montelongo, A., Alvarez-Macias, C., y Hernadez-Jaquez, J. (2022). *Review of Heliodon Developments and Computational Tools for Building Shadow Analysis.* *Buildings*, 12(5), 627.

<https://doi.org/10.3390/buildings12050627>

Sornek, K., y Papis-Frączek, K. (2022). *Development and Tests of the Solar Air Heater with Thermal Energy Storage.* *Energies*, 15(18), 6583. <https://doi.org/10.3390/en15186583>

Wieser, M. (2019). *Geometría solar para arquitectos.*