

Hacia una Arquitectura Sustentable en Climas Cálidos: El Estándar Passivhaus como Herramienta en Puerto Vallarta

A. Reyes González^{#1}, M. Ojeda Ancona^{#2}, F. D. Valdez Olmos^{#3}

[#] Tecnológico Nacional de México: Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Puerto Vallarta, Jalisco, México.

¹ alberto.reyes@vallarta.tecmm.edu.mx, ² mario.ojeda.ancona@gmail.com,

³ fernando.valdez@vallarta.tecmm.edu.mx

Resumen—La implementación de mejores prácticas en el diseño de viviendas en climas cálidos en México presenta un reto al replantear los procesos constructivos locales con relación a métodos y materiales que mejoren el habitar de los espacios. Este ejercicio de replanteamiento supone una optimización dentro de la cadena del diseño y la construcción, lo cual ha sido considerado por distintos estándares internacionales. Para esta premisa, se entiende al estándar Passivhaus como una ruta de trabajo para la industria de la construcción. El confort térmico, como concepto e ideal para los edificios, se ha convertido en un reto tanto para los diseñadores como para los constructores del espacio habitable. Parte del consenso ha sido establecer parámetros de medición y categorías que nos permitan simular los espacios habitables antes de su construcción. En este artículo se analiza el estándar Passivhaus como guía para el establecimiento de las categorías de medición de una vivienda en clima cálido, dentro de Puerto Vallarta. Se presenta una simulación a partir de diferentes software especializados donde se muestran las mediciones de confort anual a sol y sombra, análisis de radiación, análisis de temperatura operativa exterior, confort térmico en ruta solar, análisis de sombras, análisis promedio de horas de luz solar y análisis de temperatura operativa para concluir, generando algunas recomendaciones sobre acciones dentro del diseño arquitectónico sustentable.

Palabras clave— passivhaus, sustentabilidad, confort térmico, simulación, clima cálido.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de viviendas en climas cálidos se enfrenta a ciertas limitaciones relacionadas con las necesidades de confort interior. Las envolventes opacas de las viviendas están influenciadas por la producción local, el nivel de tecnificación y la falta de regulaciones claras que identifiquen la eficiencia de su selección y aplicación en las soluciones arquitectónicas. Esta falta de regulación surge debido a las prácticas sociales y conocimientos propios de los sistemas constructivos basados en mampostería. Segura Rivera [1], explora la aplicación de técnicas pasivas para mejorar las capacidades térmicas de un bloque de construcción, contrastando los criterios Passivhaus-Enerphit con la normativa existente del CTE DB HE 0 y CTE DB HE 1.

El estándar Passivhaus establece criterios esenciales que los edificios deben cumplir en términos de calefacción, refrigeración, consumo de energía primaria y hermeticidad. En el caso de los edificios en climas cálidos, esto implica abordar tres aspectos principales: refrigeración, consumo de energía primaria y hermeticidad. Como ejemplo, podemos identificar el trabajo realizado por Batres Segura [2], que evalúa la viabilidad de la rehabilitación de una vivienda en Almazora, considerando criterios bioclimáticos y Passivhaus.

Dentro de estos criterios para el desarrollo de la simulación, se analiza la envolvente de una vivienda en Puerto Vallarta con el objetivo de obtener datos que influyan en el confort térmico de la misma. El confort térmico desempeña un papel fundamental en la satisfacción humana, la salud, el bienestar y la productividad. Sánchez Inocencio y Ramírez Fernández [3], destacan los beneficios de invertir en sostenibilidad y eficiencia energética, centrándose en 166 viviendas BTR certificadas bajo los estándares Passivhaus y Breeam. Es especialmente crítico en entornos como oficinas, restaurantes, edificios públicos, entre otros. Dentro de este artículo se generó un análisis de simulación de los siguientes elementos: *confort anual a sol y sombra*, *Análisis de radiación*, *análisis de temperatura operativa exterior*, *confort térmico en ruta solar*, *análisis de sombras*, *análisis promedio de horas de luz solar*, *análisis de temperatura operativa*. En este caso, se utilizó una herramienta que considera diversos datos para analizar los factores que afectan el confort humano, como la humedad, la velocidad del viento, la temperatura del viento, la temperatura radiante, el índice metabólico y la vestimenta. Morales Pacheco [4], explora la aplicación de la arquitectura paramétrica en el diseño de envolventes complejas. Específicamente, se realizó un análisis del confort higrotérmico en espacios exteriores, tanto a pleno sol como a la sombra. Esto permitió simular la experiencia de un usuario en el patio de su casa, considerando una zona expuesta al sol y otra con sombra proporcionada por un árbol o un edificio. Durante las pruebas, se utilizaron diferentes variables y escenarios para evaluar el confort térmico en estas condiciones. Se toman referencias de estudios como el de Wolf [5], donde realiza un estudio y comparación de tipologías de fachadas bajo el estándar Passivhaus, considerando el clima balear.

II. MÉTODOS E INSTRUMENTOS

El proceso de trabajo se describe mediante la simulación de una vivienda plurifamiliar vertical destinada a un segmento de mercado alto en vivienda turística. Se generó un programa arquitectónico base, el cual fue dimensionado en AutoCAD y posteriormente se procesaron los datos utilizando la herramienta LadyBug en un flujo de trabajo. Ladybug y HoneyBee se utilizaron como complementos medioambientales para Grasshopper, lo que permitió realizar simulaciones térmicas y de luz solar. Orfanos y col. [6] presentan una plataforma integrada de análisis de rendimiento para evaluar la eficiencia de la arquitectura sostenible y los sistemas de infraestructura urbana. Esto proporcionó la interoperabilidad necesaria para el intercambio de datos entre los datos meteorológicos obtenidos de fuentes oficiales para la simulación inicial en el contexto de Puerto Vallarta. El proceso de simulación se llevó a cabo durante el periodo de enero de 2020 a diciembre de 2020, utilizando datos recopilados entre 2000 y 2020. Este proceso dentro de la revisión de la literatura lo encontramos en López Ponce de León y col. [7]. En su tesis de maestría, los autores proponen un flujo de trabajo de diseño de sombreado para arquitectos, proporcionando un enfoque paso a paso, esta información recabada permitió identificar áreas del proceso. Roudsari y col. [8], en las actas de la 13ª Conferencia Internacional de IBPSA, los autores describen Ladybug, un complemento paramétrico ambiental para Grasshopper que ayuda a los diseñadores a crear diseños conscientes del medio ambiente, haciendo énfasis de la ventajas de este tipo de elementos en el proceso del diseño y construcción retomando a Moreno Rodriguez [9] propone una vivienda sustentable basada en los criterios del estándar Passivhaus en la vereda "La Escalante" en Tena, Cundinamarca.

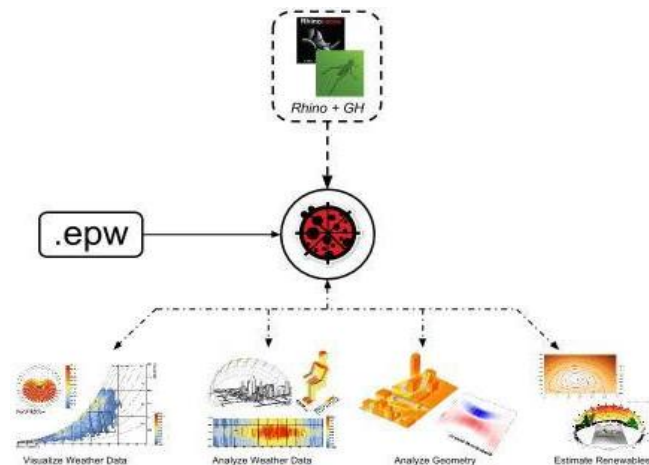


Fig.1. Foto-Captura Software de Análisis para el flujo de trabajo.

III. DESARROLLO

Para la simulación inicial dentro del contexto de Puerto Vallarta, se procedió a generar un análisis psicrométrico

detallando las características de la ciudad a partir de su ubicación geográfica, lo cual se muestra en la Fig. 2, teniendo como un factor la velocidad del viento con su relación a la altitud del proyecto mostrada en la Fig.3 y finalizando con la rosa de los vientos.

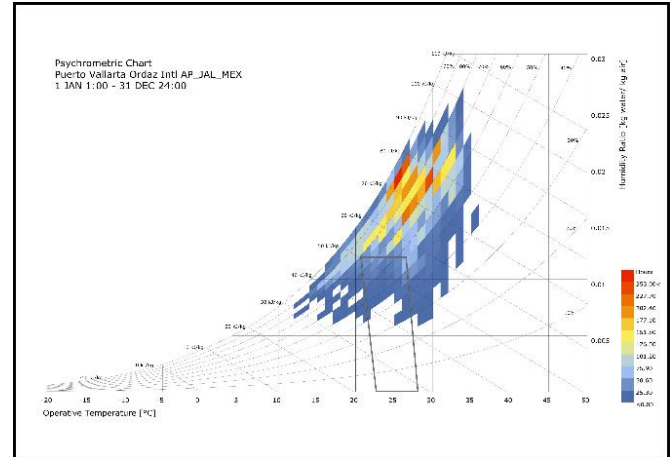


Fig. 2. Gráfico Psicrométrico de Puerto Vallarta.

El análisis gráfico de datos medioambientales del lugar nos permite obtener un conjunto de datos a través del tiempo, para generar un promedio y conocer posibles orientaciones o estrategias que se utilizaran para aprovechar la información de optimice en una etapa temprana el proyecto, previo a la construcción. La Fig. 3. Presenta los datos de velocidad de viento, siendo el caso de Puerto Vallarta no relevante para la producción o generación de otras opciones de fuentes primarias como la energía eólica, pero como una opción pasiva de corriente cruzada para la ventilación natural, con libre flujo entre los espacios. Este manejo de datos lo encontramos dentro del análisis de literatura, Montaña Caballero [10] analiza la viabilidad de la aplicación del estándar Passivhaus en la rehabilitación de la arquitectura popular española.

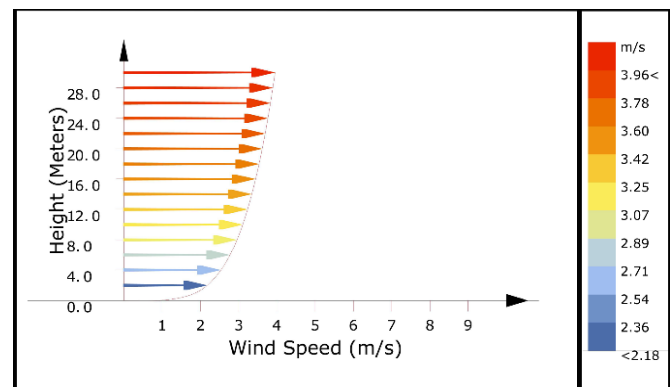


Fig. 3. Velocidad del viento en Puerto Vallarta y su relación con la altitud sobre el nivel del mar.

Con respecto a la orientación o emplazamiento del proyecto la simulación para generar la rosa de los vientos, ver

Fig. 4, presenta las opciones para optimizar estas corrientes naturales de aire, las cuales se caracterizan por la propia fisonomía de la Bahía de Banderas y su relación con la montaña. Tiene flujos diurnos y nocturnos de aire, los cuales operan en dos sentidos, Sierra a Mar y Mar a Sierra.

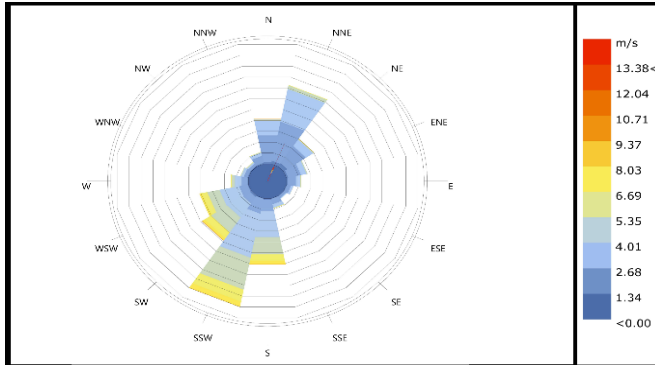


Fig. 4. Rosa de los vientos a partir de la localización del proyecto.

El análisis de estas variables nos permite obtener datos base los cuales se procedieron a alimentar en Grasshopper, para su posterior simulación con Ladybug y HoneyBee.

IV. RESULTADOS

La presentación de resultados se hace de acuerdo con los criterios establecidos por Passivhaus mediante la utilización de los datos meteorológicos, permitiendo generar diagramas como el presentado en Fig. 5. Se detectó un confort térmico con picos irregulares durante los meses de mayo a octubre, los cuales coincidieron con una mayor incidencia solar. La simulación realizada cruzó la temperatura exterior con la interior, estableciendo un rango de temperatura de 20 a 24 °C como parámetro de confort interior.

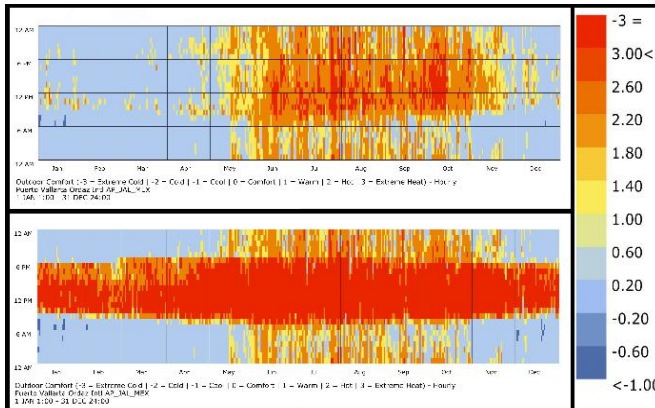


Fig. 5. Diagramas de confort anual a sol y sombra.

Se estudiaron las variaciones de incidencia solar sobre la envolvente del edificio. Este análisis permitió la toma de decisiones con respecto al sistema de aislamiento térmico, sugiriendo la posibilidad de optar por un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para reducir la

ganancia energética y su posterior transferencia a los puentes térmicos en el interior de la vivienda, tal y como se detalla en la Figura 6. El movimiento solar sirvió para determinar qué caras de la envolvente recibían la mayor ganancia solar, tal y como se muestra en la Figura 7, donde se simuló la temperatura operativa exterior en relación con dicho movimiento solar.

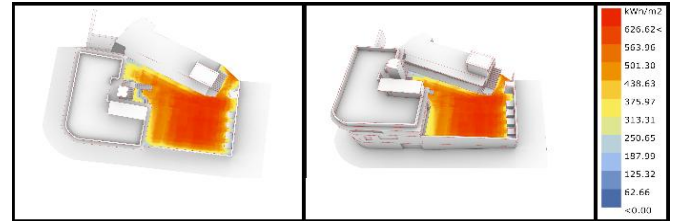


Fig. 6. Análisis de radiación

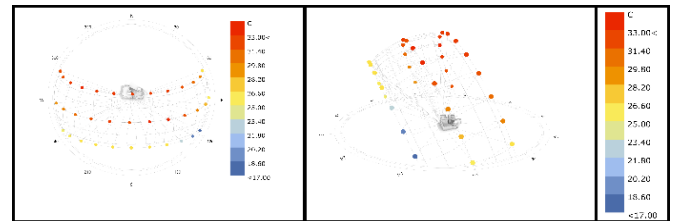


Fig. 7. Análisis de temperatura operativa exterior simulación movimiento solar.

Desde el interior del proyecto, se llevó a cabo un análisis de confort térmico. Se enfrentaron desafíos relacionados con los vanos o ventanas, como se aprecia en la Figura 9, los cuales generaban una ganancia de calor, lo que obligó a la consideración de un sistema de enfriamiento y renovación de aire interior. Este aspecto se definió durante el desarrollo del proyecto ejecutivo, utilizando componentes con certificación Passivhaus.

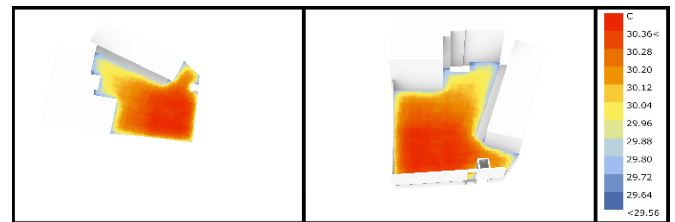


Fig. 8. Análisis de temperatura exterior.

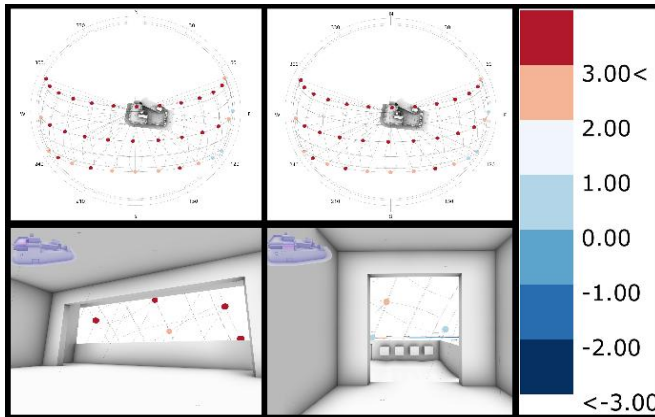


Fig. 9. Gráficas de confort térmico en ruta solar.

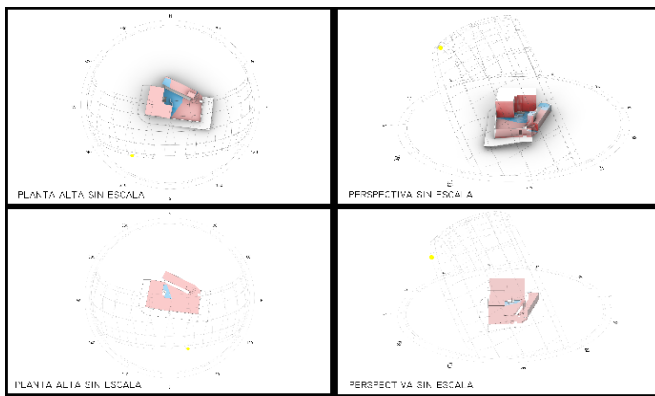


Fig. 10. Gráficos de Análisis de sombras exteriores.

En la Figura 10, se realizaron análisis de las sombras exteriores, identificando las fachadas tecnificadas o elementos como parasoles como posibles soluciones para reducir la ganancia solar directa y su posterior transferencia térmica. En la vivienda de costa, se consideró la incorporación de celosías u otros elementos de barro dentro del sistema y método constructivo local, que podría ser evaluada en futuros estudios en relación con el factor U, para medir la ganancia o pérdida de calor de la envolvente.

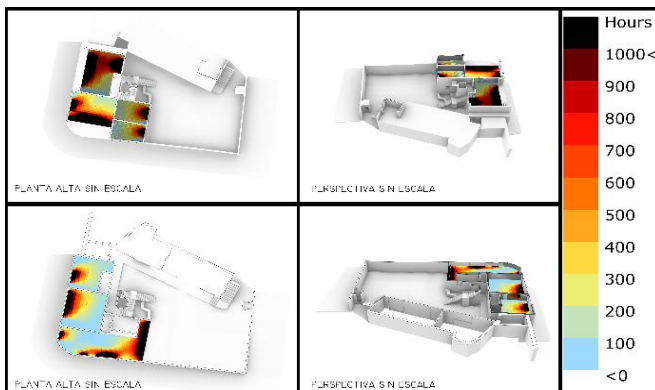


Fig. 11. Análisis promedio de horas de luz solar.

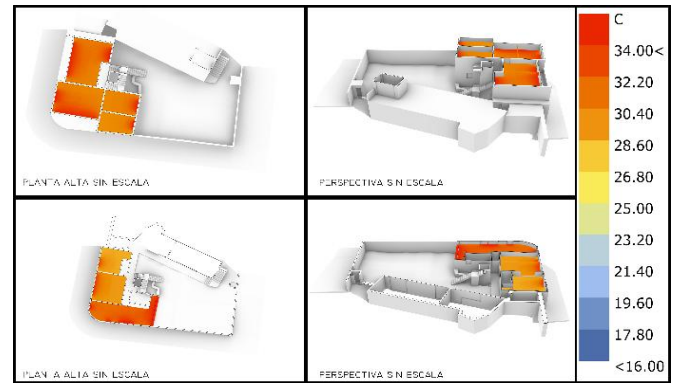


Fig. 12. Análisis de temperatura operativa.

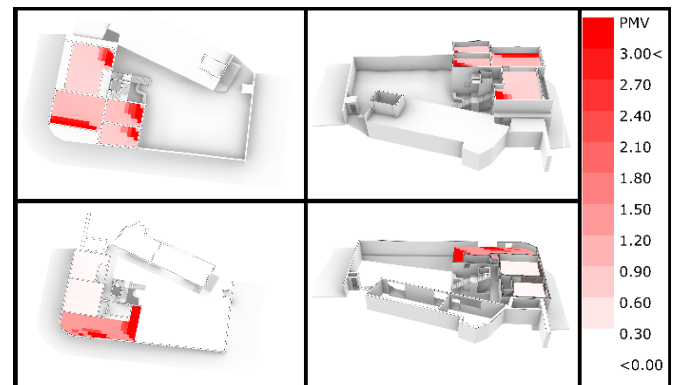


Fig. 13. Análisis de confort térmico.

La integración de los datos para el análisis de confort térmico con la temperatura operativa en la vivienda permitió poner el foco en las caras de la envolvente orientadas al sur y al oeste. Tal y como se evidencia en las Figuras 11, 12 y 13, se encontró una correlación entre la luz solar, la temperatura operativa y el confort térmico, con una mayor densidad de esta intersección de variables cerca de los vanos o cerramientos de fachada.

V. CONCLUSIONES

El estándar de Passivhaus muestra una ruta para replantear la manera en la que se diseña y construye a nivel global. Frente a este proceso de estandarización en este caso de estudio se aplicaron los criterios requeridos para la envolvente y análisis de variables complejas para una simulación de la vivienda que presenta como resultados datos para optimizar tanto los elementos físicos de la envolvente como criterios de utilización en ventanas y puerta del proyecto. Como ruta de trabajo la aplicación de software libre presenta una ruta no solamente de aprendizaje en los entornos escolares para la formación de profesionales en el diseño y la construcción sino una forma de dinamizar la industria. Los beneficios de la implementación del estándar muestran un ejercicio desde el entendimiento de lo local para la optimización de los recursos como lo es la Energía. En ejercicios posteriores el criterio de Energía primaria nos

permitirá la simulación tanto del consumo energético presentado en el proyecto como opciones para la generación de energía in situ. Se encontró tanto en la literatura consultada como en el proceso de simulación la importancia del trabajo multidisciplinario y transdisciplinario donde las ingenierías cobran un papel altamente relevante en la innovación y la incorporación de tecnología para el mejoramiento de los procesos ya conocidos.

Algunas recomendaciones a partir del estudio son las siguientes:

Promover la adopción del estándar Passivhaus en el diseño y construcción de viviendas en México: Dado que el estándar Passivhaus ofrece una ruta para replantear el diseño y la construcción a nivel global, se recomienda fomentar su implementación en el contexto mexicano. Esto implicaría establecer políticas y regulaciones que incentiven la construcción de viviendas con altos estándares de eficiencia energética y calidad ambiental.

Capacitar a profesionales en el uso de software libre para el diseño y simulación energética: El uso de software libre ofrece una forma accesible y económica de aprendizaje en entornos educativos y puede ayudar a dinamizar la industria de la construcción en México. Se recomienda promover la capacitación y formación de profesionales en el uso de estas herramientas para el diseño y la simulación de edificios de alta eficiencia energética.

Fomentar el trabajo multidisciplinario y transdisciplinario: La implementación del estándar Passivhaus requiere la colaboración entre diferentes disciplinas, especialmente las ingenierías. Se recomienda promover la interacción y el intercambio de conocimientos entre arquitectos, ingenieros y otros profesionales relacionados para fomentar la innovación y la incorporación de tecnología en los procesos de diseño y construcción.

Considerar la optimización de recursos energéticos locales: El estándar Passivhaus busca optimizar el uso de recursos, incluyendo la energía. Se recomienda realizar estudios y análisis para identificar las fuentes de energía primaria disponibles en el contexto mexicano y evaluar opciones para la generación de energía in situ, como el uso de paneles solares o sistemas de cogeneración.

Estimular la investigación y la difusión de conocimientos: Dado que se encontró información relevante tanto en la literatura consultada como en el proceso de simulación, se recomienda promover la investigación en el campo de la eficiencia energética y la arquitectura sustentable en México.

Además, es importante difundir los conocimientos adquiridos y los resultados obtenidos para generar conciencia y fomentar la adopción de prácticas más sostenibles en la industria de la construcción.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al área de investigación de la unidad académica Puerto Vallarta del ITMM por las facilidades para el desarrollo de la investigación.

REFERENCIAS

- [1] J. M. Segura Rivera, "Aplicación de técnicas pasivas para mejorar las capacidades térmicas de un bloque tipo H. Mejoras según criterios Passivhaus-Enerphit en contraposición con la normativa existente del CTE DB HE 0 y CTE DB HE 1," 2019.
- [2] L. Batres Segura, Análisis de la viabilidad de rehabilitación de una vivienda en Almazora con criterios bioclimáticos y Passivhaus, 2019.
- [3] A. Sánchez Inocencio, and I. Ramírez Fernández, "Beneficios de invertir en sostenibilidad y eficiencia energética: 166 viviendas BTR certificadas Passivhaus y Breeam," 2022.
- [4] L. A. Morales Pacheco, "Arquitectura paramétrica aplicada en envolventes complejas en base a modelos de experimentación en el diseño arquitectónico," In *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, vol. 6, no. 3, pp. 23-34, 2012. [En línea]. Disponible en: <https://legadodearquitecturaydiseno.uaemex.mx/article/view/14045>
- [5] K. Wolf, "Passivhaus ante el clima balear: estudio y comparación de tipologías de fachadas bajo el estándar Passivhaus," Tesis de licenciatura, Universitat Politècnica de Catalunya, 2022.
- [6] Y. Orfanos, D. Papadopoulos, and C. Zwerlein, "An Integrated Performance Analysis Platform for Sustainable Architecture and Urban Infrastructure Systems," In *Proceedings of the 33rd eCAADe Conference*, vol. 1, pp. 315-324, 2015. [En línea]. Disponible en: https://scholar.archive.org/work/whin3x17ivh2raxksaaq7lcseu/access/wayback/http://papers.cumincad.org/data/works/att/ecaade2015_225.content.pdf
- [7] L. E. López Ponce de Leon, M. Turrin, and E. R. Van den Ham, "Shading design workflow for architectural designers," Tesis de maestría, 2016.
- [8] M. Sadeghipour Roudsari, M. Pak, and A. Viola, "Ladybug: a parametric environmental plugin for Grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design," In *Building Simulation 2013*, vol. 13, pp. 3128-3135. IBPSA, 2013. DOI: <https://doi.org/10.26868/25222708.2013.2499>
- [9] D. A. Moreno Rodríguez, "Propuesta de vivienda sustentable bajo los criterios del estándar Passivhaus en la vereda 'La Escalante' (Tena-Cundinamarca)," 2021.
- [10] A. Montaña Caballero, Passivhaus y arquitectura popular: viabilidad de la rehabilitación en la arquitectura popular española con el estándar Passivhaus, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://oa.upm.es/63290/>