

Evaluación energética fotovoltaica en edificio utilizando diferentes vidrios solares

Sara Loor
Universidad Politécnica Salesiana
Grupo de investigación GIPI
Guayaquil, Ecuador
sloor11@est.ups.ec

Juan Lata-García
Universidad Politécnica Salesiana
Grupo de investigación GIPI
Guayaquil, Ecuador
jlata@est.ups.edu.ec

RESUMEN

Con el paso del tiempo, se ha observado un aumento en países desarrollados, conocidos como países de primer mundo, el progreso e implementación de sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV). En América latina es una tecnología nueva que aún no hace una contribución significativa al mercado de generación de electricidad en edificios, debido a la diversidad arquitectónica y los diferentes tipos de vidrios solares y sus diferentes colores que hacen más interesante a la estética que rodea el edificio. Descontinuar el uso de materiales tradicionales para las fachadas en edificios y generar energía para la edificación promueve la necesidad de producir energía en el punto de consumo, la evaluación de la producción de energía de diferentes tipos de paneles solares opacos y semitransparentes es el objetivo del presente estudio de análisis. La potencia de salida se calculó según las condiciones de instalación en la configuración del sistema BIPV, la simulación se la realizó utilizando el programa PVSITES, que es una herramienta de simulación fotovoltaica. Los resultados mostraron que se obtiene una menor producción en los últimos meses del año, y de igual forma los paneles llegan a tener una baja captación de temperatura.

Palabras claves: BIPV, Energía solar, Vidrio fotovoltaico, Tecnología, Eficiencia, Software PVSITES.

1. Introducción

En los últimos años, se ha ido mejorando el conocimiento enfocado en el cuidado del medio ambiente, la energía renovable es una tendencia en aumento, donde los ciudadanos están cada vez más informados con los problemas que acechan al medio ambiente. La capacidad de los sistemas fotovoltaicos ha ido aumentando gradualmente, la capacidad instalada acumulada total del sistema solar alcanzó los 758,9 GW a fines de 2020 [1].

Lo más reciente en el perímetro de tecnología sobre la energía renovable se tiene el vidrio fotovoltaico. El vidrio fotovoltaico es un material de construcción que permite reutilizar la radiación solar para transformarla en energía, eso llega a sustituir a un cristal común. Esto viene a ser una manera muy inteligente y segura al momento de poder generar energía utilizando una forma directa de la luz del sol.

El ahorro de energía en los edificios es una necesidad urgente para reducir nuestro consumo de energía y reducir el cambio climático. Sin embargo, también es importante garantizar que este ahorro de energía no sacrifique la comodidad humana o tenga un impacto negativo en la salud de los ocupantes. Debido a que las personas pasan hasta el 90% de sus vidas en interiores, la comodidad del ambiente interno es esencial [2].

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios BIPV (building integrated photovoltaics) son unos de los segmentos de más rápido crecimiento de la industria solar[3]. Este sistema de energía incluye muchas soluciones en el ahorro energético dependiendo cual sea su aplicación, en las últimas décadas se ha observado el desarrollo e implementación de los BIPV.

BIPV es una de las nuevas tecnologías para el aprovechamiento de la energía solar con módulos solares de celdas solares/vidrio. Aquí los módulos solares de vidrio se integran en diferentes partes del edificio, como: el techo, la fachada, etc. En lugar de usar soportes adicionales[4]. Las nuevas tecnologías en edificaciones suponen aproximadamente el 35% del consumo total de energía final, el 51% del consumo global de electricidad y el 37% de las emisiones contaminantes de dióxido de carbono que contribuyen al efecto invernadero. Con estos datos alarmantes, los gobiernos y las instituciones de investigación están buscando formas de un ahorro energético y buscan fuentes integradas de generación de energía en los edificios [5], [6].

El uso de módulos de tecnología integrada fotovoltaica en instalaciones BIPV requiere que los mismos sean

multifuncionales, no solo para generar electricidad, sino también para cumplir con todos los requisitos necesarios de las fachadas convencionales.

En la referencia [7] los autores nos dan a conocer que los edificios de altura media y alta son adecuados para incorporar células solares (PV) en fachadas y techos, gracias a las nuevas aplicaciones de células solares integradas en edificios (BIPV). La integración fotovoltaica genera electricidad para los edificios y mejora la capacidad térmica de las envolventes de los edificios. Debido al clima cálido de Dubái, se realizó un estudio experimental comparativo de la eficiencia energética de las fachadas ventiladas BIPV se monitoreaban la eficiencia energética y la temperatura de los módulos de seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS) y los módulos de silicio en la parte sur, este y oeste, teniendo en cuenta la orientación, temperatura y ángulo de inclinación de los módulos solares. Los resultados mostraron que, los módulos basados en silicio tuvieron un mayor rendimiento en todas las pruebas con una diferencia promedio de 13,6% y los módulos orientados al oeste tuvieron valores de temperatura mas altos que los módulos orientados al este [8].

En el presente trabajo se realiza la revisión de sistemas fotovoltaicos en edificios, eficiencia energética, aspectos importantes que se debe de tener en cuenta a la hora de convertir un edificio en un sistema BIPV, diferentes tipos de fachadas en edificios, tipos de vidrios solares y se mostrará datos obtenidos del software PVSITES.

II. Sistemas fotovoltaicos BIPV en edificios

El elemento básico del material BIPV es el módulo fotovoltaico. En aplicaciones BIPV, se puede utilizar silicio de baja densidad, incluso transparente o ligeramente transparente, para módulos fotovoltaicos a expensas de la eficiencia. Además, es una parte integral del exterior del edificio, ya que convierte la energía solar en electricidad al mismo tiempo que proporciona funciones de resistencia al edificio [9].

El beneficio de integrar sistemas de celdas solares en la apariencia arquitectónica de los edificios, donde las celdas solares se convierten en una parte integral del edificio como capa exterior, es una tendencia creciente en todo el mundo. Los especialistas en células fotovoltaicas y arquitectos innovadores de Europa, EE. UU. y Japón están explorando nuevas formas creativas de poder incorporar la energía solar en su trabajo [10]. En la Fig.1 se muestra el diseño de conexión de un sistema fotovoltaico.

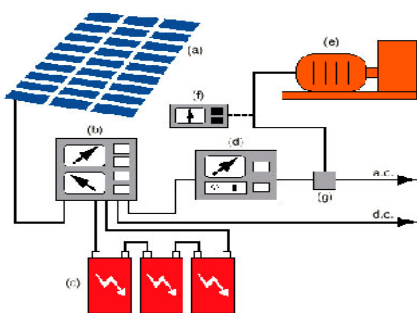


Fig. 1. diseño de sistema fotovoltaico BIPV

III. Energía solar y eficiencia energética

La eficiencia energética de los edificios tiene en cuenta el consumo anual de energía para satisfacer las necesidades básicas y mantener condiciones confortables en términos de temperatura, iluminación y calidad del aire. El objetivo final es aumentar el rendimiento de la planta para satisfacer la demanda energética. Aunque la viabilidad económica es importante, no es el único criterio posible cuando se trata de reducir el consumo de energía de los edificios a casi cero o de construir y operar edificios con impacto ambiental mínimo (minimización) [11], [12].

Para obtener un edificio BIPV y lograr una eficiencia energética se debe de tener en cuenta algunos aspectos importantes, como los siguientes:

A. Forma del edificio

Impacta directamente en el espacio de unión entre el edificio y el exterior, ajustando las pérdidas o ganancias de calor. También funciona en la resistencia al viento, por lo que es muy importante saber la dirección predominante del viento [13].

B. Ventilación

Se trata de renovar el aire de un lugar a través del movimiento consciente, el aire entra y sale de diferentes partes del edificio. El propósito de la ventilación es asegurar la sanidad del aire, controlar la humedad y la concentración de gases o partículas en suspensión, ellas cooperan en la regulación de calor del edificio, y previenen o reducen el riesgo de condensación[13].

C. Sombreamiento

Dificulta la penetración de la radiación en cristales o paredes externas, como voladizos fijos o móviles, y otros accesorios externos, incluida la vegetación. En los muros se pueden utilizar colores pocos absorbentes de la luz solar[13].

III. Tipos de fachadas en edificios

En este tipo de sistema fotovoltaico, los módulos se integran en la superficie de la envolvente vertical del edificio. Son instalaciones que se integran en los edificios, ya que los módulos tienen una doble función: generar energía y formar parte de la envolvente del edificio. En este tipo de instalaciones se desaprovecha la parte de la radiación solar debido a la orientación vertical de instalación de los módulos[14].

A. Fachada dinámica opaca

La función principal de la fachada es controlar la transferencia de calor, un comportamiento que se encuentra incluido en su diseño estructural. En este sentido, las superficies opacas pueden tener un impacto negativo en el consumo de energía, debido a su comportamiento opaco. Por ello, es fundamental el desarrollo e implementación de sistemas de fachada que sean capaces de proporcionar aislamiento térmico efectivo, sin dañar la entrada de luz natural y la estética del edificio [15].

B. Fachada dinámica transparente

Este tipo de tecnología se utiliza para controlar la energía necesaria para refrigeración, calefacción o consumo de energía. La caracterización y análisis de fachadas dinámicas transparentes es compleja por el tipo de transmisión visual. En la fachada se utilizan varios materiales y técnicas de acristalamiento para reducir la pérdida de calor, la reflexión radiante, los niveles de luz natural y, lo más importantes, la visibilidad [16]

IV. Tipos de vidrios solares en edificios

Los vidrios solares funcionan con celdas que capturan la energía derivada de la luz ultravioleta mediante paneles solares integrados o silicio amorfo integrado en el vidrio de la ventana. Esta energía solar se convierte en electricidad.

La tecnología fotovoltaica BIPV, el silicio cristalino (c-SI), incluido el policristalino (mc-SI) y el monocristalino (sc-SI), es la tecnología de celdas más utilizada. El silicio amorfo (a-SI) también se usa mucho en BIPV porque es muy versátil para hacer módulos en diferentes sustratos y en diferentes tamaños, formas y películas transparentes. Otras tecnologías de película delgada con mayor eficiencia eléctrica son el seleniuro de cobre.

Actualmente existen dos tipos de vidrio fotovoltaico, que se diferencian por el tipo de silicio utilizado en su fabricación:

A. Silicio monocristalino

Para la producción de silicio este se purifica, funde y cristaliza en forma de lingotes o en placas delgadas. Luego el silicio se corta en rebanado en obleas delgadas para formar las células. En una célula monocristalina, los átomos son perfectamente ordenada a medida que precipita el proceso de cristalización. Los cristales siempre se forman en el mismo orden tienen colores muy sólidos, tono azul profundo con un aspecto metálico brillante [13].



Fig. 2. Fachada fotovoltaica de la universidad de Cantabria

B. Silicio amorfo

El silicio amorfo también se lo denomina película delgada. El silicio amorfo se obtiene depositando una fina capa de silicio delgada, evaporado al vacío. Su rendimiento aumenta con la masa de capas topadas, capa a capa, y responde a diferentes rangos de frecuencia del espectro visible de la luz solar[13]. La apariencia del vidrio de silicio amorfo es mejor que del silicio monocristalino.

También funciona mejor en condiciones de poca luz o difusa en instalaciones verticales.

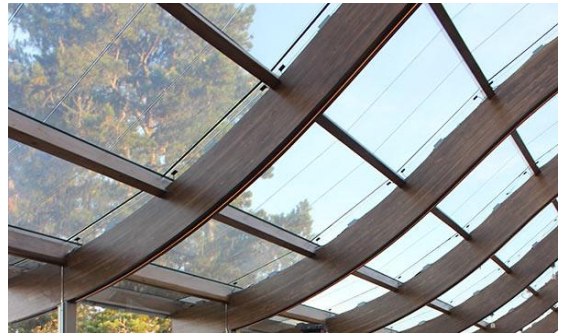


Fig. 3. Vidrio fotovoltaico de silicio amorfo estándar

V. Integración fotovoltaica BIPV

El desarrollo de la energía solar fotovoltaica integrada (BIPV) en el mercado global es cada vez más popular y los gobiernos están adoptando regulaciones y leyes estrictas relacionadas con la eficiencia energética para frenar el cambio climático y lograr la independencia energética.

Se espera que los edificios produzcan la energía que consumen, lo que lleva a un escenario de energía cero.

La integración de paneles solares en edificio es una tarea compleja, especialmente por los ángulos de construcción, la estética de la instalación, el rendimiento del sistema, la confiabilidad a largo plazo de la tecnología, entre otros. En el mercado hay muy poco software diseñado específicamente para tecnología BIPV que aborde el programa PVSITES [17]. Algunos de los temas anteriores tienen como objetivo mostrar una tecnología y sistema solar integrado en edificios que hacen una contribución fuerte y confiables a las necesidades del mercado.

VI. Estudio del edificio

En la fig.4 podemos observar el bloque F de la Universidad Politécnica Salesiana, ubicada en el campus centenario, sur de la ciudad de Guayaquil. Este edificio es de tres pisos y se da la función de biblioteca y aulas de clases.



Fig. 4. Bloque F, Universidad Politecnica Salesiana

VII. Radiación solar

El edificio F de la Universidad Politécnica Salesiana, tiene las siguientes coordenadas $-2.2201494, -79.886$, está cerca de la línea equinoccial y posee abundante recurso solar y el tiempo promedio de insolación es de 12 horas durante todo el año, este tipo de fuente de energía puede ser utilizada para generar electricidad [18]. En la fig. 5 se muestra la radiación que llega al edificio, los valores fueron obtenidos mediante el software PVSITES.



Fig. 5. Irradiancia mensual

VIII. Vidrios fotovoltaicos utilizados en el estudio

La eficiencia del colector solar depende de la transparencia del vidrio, cuanto más opaco es, más energía puede absorber. Existen ventanas con vidrio solar con 70% a 30% de opacidad.

El vidrio fotovoltaico transparente alimenta el edificio y filtra el calor que ingresa al interior, la cantidad de electricidad producida depende del tipo de tecnología utilizada en el vidrio y la cantidad de radiación solar.

En el estudio se utilizó dos tipos de vidrios solares: ONYX solar X5-c-SI, ONYX solar X6.

A. ONYX Solar X5 c-SI

Los módulos ONYX Solar X5 son de vidrio tipo c-SI, con barras colectoras ocultas y con conexiones en forma de L, es opaco y su planta de fachada de edificio rectangular, de $910 \times 1280 \times 13,8$ mm, tiene acristalamiento de vidrio templado con paneles de plástico negro, además se configura como vidrio de doble capa o vidrio laminado de una sola capa, cuenta con estructura sin marco, el aislamiento térmico se puede personalizar y se puede usar vidrio doble o triple capa para el aislamiento acústico.

B. ONYX Solar X6

Es un panel tipo transparente con tiras ocultas, se utiliza como una segunda piel tiene celdas solares c-SI de $5''$ y con vidrio transparente templado de 6 mm, las medidas del vidrio transparente templado son las siguientes: $2250 \times 760 \times 13,8$

mm el fabricante afirma que el vidrio es utilizado en doble y triple revestimiento de bajas emisiones para aislamiento térmico con peso de 30kg/m^2 y una opacidad del 68%, así generando 126Wp/m^2 de energía solar.

IX. Ajuste de simulación

Pasos de la simulación en PVSITES, para calcular la potencia de salida se realizó lo siguiente: primer lugar, los módulos, los inversores y los datos de observación meteorológicas se introducen en la base de datos como identificaciones de entrada. Segundo lugar, la configuración de las condiciones de instalación de los paneles solares. Luego se utilizó el factor de pérdida como una variable que depende de la configuración del sistema.

Se ejecutó la importación del modelo del edificio F de la Universidad Politécnica Salesiana en un diseño 3D, realizado en el programa de Sketchup 8.

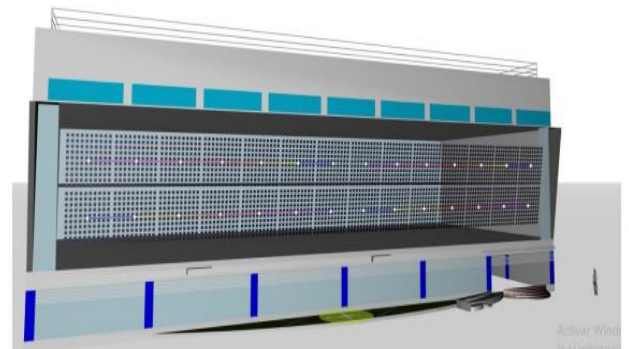


Fig. 6. Diseño en 3D del edificio F

El diseño flexible de módulos BIPV configurados en fachada comienza con la selección del sitio del proyecto y la descarga de datos meteorológicos apropiados, la selección de inversores e interconexión de módulos se realiza de forma manual o automática, la primera simulación se realiza con el vidrio fotovoltaico ONYX Solar X5 de 433 Wp , el voltaje máximo es de 52.4 V y la corriente máxima es de 0.9 A , el inversor tiene conexión a la red y es del modelo Eathon Phoenixtec de $1,1\text{ kWp}$, voltaje máximo en Dc 450 V , la corriente máxima en Dc es de 5 A con una eficiencia del 90%. Utilizando estos elementos el diseño consta de 28 paneles transparentes, 4 series de bordes con 7 paneles y un inversor de $1,1\text{ kW}$. En la fig. 7, se muestra datos de la temperatura a la que estuvo expuesto el primer módulo de prueba ONYX X5, los datos fueron obtenidos mediante el software PVSITES.

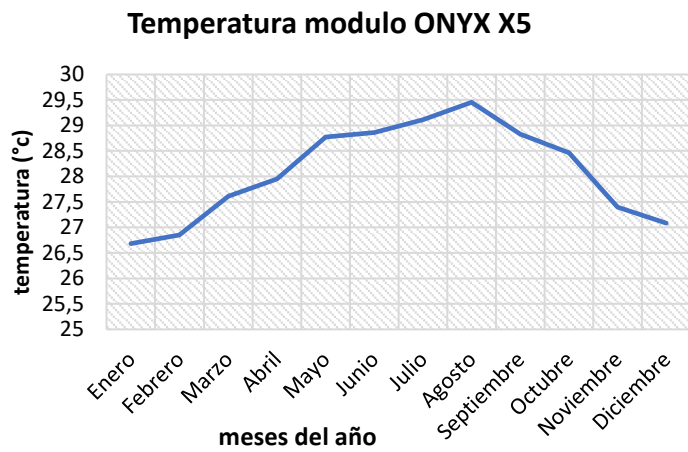


Fig. 7: Gráfica de temperatura panel ONYX X5

La potencia total es de 12.1 kWp, el rendimiento total es de 265.9 kWh/kWp, la producción es de 226 kWh mientras que la producción autoconsumo es de 2999 kWh. En la fig. 7 se muestra el análisis durante un año de la temperatura del primer vidrio fotovoltaico.

Entre los meses de noviembre a febrero, es cuando se presenta baja temperatura y el panel no lo logra calentar lo suficiente y se presenta una pérdida de temperatura en el sistema solar fotovoltaico.

La segunda simulación se la realizó con un panel ONYX Solar X6 de 299 Wp, con una tensión máxima de 218,0 V y una corriente máxima de 1,4 A, el inversor estaba conectado a la red, era un modelo centro solar AG de 5250 kWp, con una tensión continua máxima de 950 V, la corriente continua máxima es de 9 A y la eficiencia es del 90%. Con estos elementos, el diseño consta de 28 paneles transparentes, 15 series de borde de 3 paneles y un inversor de 5250 kW. La conexión de los paneles y el inversor se muestra en la Fig.8.

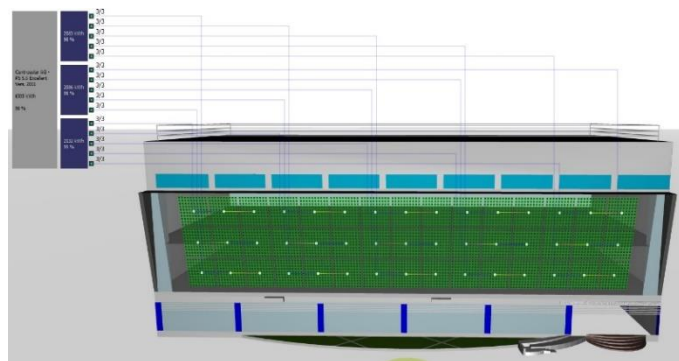


Fig. 8. Conexión de paneles en el edificio F

La potencia total es de 13.5 kWp, el rendimiento total es de 466.8 kWh/kWp, la producción es de 6281 kWh mientras que la producción autoconsumo es de 0 kWh. En la fig. 9 se visualiza la temperatura del segundo panel fotovoltaico, en los últimos meses la temperatura baja y el vidrio no logra recolectar suficiente calor, por esta razón se llega a tener una baja producción energética.

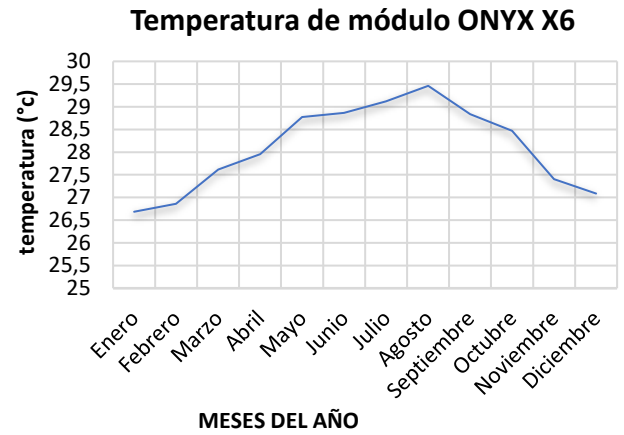


Fig. 9. Gráfica de temperatura panel ONYX X6

En la Fig.9 se detallan datos de la temperatura que estuvo expuesto el modulo ONYX X6, los datos se obtuvieron mediante el software de estudio.

Desde octubre hasta febrero se reduce la generación de electricidad, a pesar de estar sobre la línea ecuatorial y tener 12 horas de sol diaria, pero el integrar paneles en edificios existentes sin una planificación da este tipo de inconvenientes.

Durante todo el año el sistema conformado por paneles X6 producen una mayor cantidad de energía eléctrica en kWh en la misma área de acristalamiento en la fachada del edificio.

TABLA I.
PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE DOS TIPOS DE VIDRIOS FOTOVOLTAICOS

Mes	Producción X5 (kWh)	Producción X6 (kWh)
Enero	450,843	504,07
Febrero	479,068	537,164
Marzo	601,496	675,725
Abril	600,569	673,856
Mayo	575,035	644,825
Junio	583,482	653,182
Julio	566,547	635,541
Agosto	576,071	647,587
Septiembre	526,502	591,605
Octubre	499,949	561,237
Noviembre	448,121	501,53
Diciembre	419,315	469,124

El mes más alto en producción eléctrica para el panel ONYX X5 fue en el mes de junio con 583 kWh, y en el mes de diciembre tuvo una baja elaboración con 419 kWh.

El panel ONYX X6 tuvo una producción alta en el mes de marzo con 675 kWh, y en diciembre tuvo una elaboración baja en 469 kWh. Marzo y abril fueron los meses donde

ambos paneles lograron obtener una producción muy alta de 600kWh.

X. Conclusión

Algunos de los beneficios de BIPV incluyen la reducción de la huella de carbono de un edificio, la generación de energía renovable en el sitio y la mejora de la eficiencia energética. Además, BIPV puede aumentar el valor del edificio y mejorar su estética al integrar los paneles solares en su diseño.

El estudio realizado en el edificio F de la Universidad Politécnica Salesiana sede Centenario en Ecuador evaluó el desempeño de dos tipos de vidrios BIPV (vidrios fotovoltaicos) en un edificio que funciona como biblioteca. El primer módulo fotovoltaico de estudio Onyx x5, obtuvo una producción de 6591,376 kWh anual, mientras que el segundo módulo Onyx x6 obtuvo una producción de 7095,446 kWh anual. Ambos módulos estuvieron expuestos a la misma temperatura.

Aunque la tecnología de vidrios fotovoltaicos no es muy común en Ecuador, se trata de una tecnología prometedora para lograr edificios de energía cero. Es una solución innovadora que permite reemplazar los vidrios tradicionales de una fachada de edificio por vidrios fotovoltaicos, lo que no solo contribuye a la eficiencia energética del edificio, sino que también mejora su estética.

Dado que esta tecnología no es común en el país, puede ser necesario importar los materiales necesarios para llevar a cabo un proyecto similar. Es importante documentar cuidadosamente los costos asociados con el proyecto para evaluar su viabilidad económica. En general, este tipo de tecnología tiene un gran potencial para reducir la dependencia de la red eléctrica tradicional y mejorar la sostenibilidad de los edificios.

la tecnología BIPV es una opción prometedora para la producción de energía renovable en edificios. A medida que la tecnología avanza, se espera que su costo disminuya, lo que la hará más atractiva para los propietarios y desarrolladores de edificios.

Referencias

- [1] R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, J. Michalsky, and R. Stewart, "Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance," *Solar Energy*, vol. 44, no. 5, pp. 271–289, Jan. 1990, doi: 10.1016/0038-092X(90)90055-H.
- [2] S. Yoon and A. Hoyano, "PASSIVE VENTILATION SYSTEM THAT INCORPORATES A PITCHED ROOF CONSTRUCTED OF BREATHING WALLS FOR USE IN A PASSIVE SOLAR HOUSE," *Solar Energy*, vol. 64, no. 4–6, pp. 189–195, Dec. 1998, doi: 10.1016/S0038-092X(98)00083-8.
- [3] N. M. Kumar, M. Samykano, and A. Karthick, "Energy loss analysis of a large scale BIPV system for university buildings in tropical weather conditions: A partial and cumulative performance ratio approach," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 25, p. 100916, Jun. 2021, doi: 10.1016/J.CSITE.2021.100916.
- [4] "Revestimiento Rainscreen por Mike Smith de Eurofox Engineering Ltd." <http://www.roofconsult.co.uk/articles/kalzip2.htm> (accessed Feb. 16, 2023).
- [5] D. Valencia-Caballero et al., "Performance analysis of a novel building integrated low concentration photovoltaic skylight with seasonal solar control," *Journal of Building Engineering*, vol. 54, p. 104687, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2022.104687.
- [6] R. A. Mangkuto et al., "Experiment and simulation to determine the optimum orientation of building-integrated photovoltaic on tropical building façades considering annual daylight performance and energy yield," *Energy and Built Environment*, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.ENBENV.2023.01.002.
- [7] N. Alhammadi, E. Rodriguez-Ubinas, S. Alzarouni, and M. Alantali, "Building-integrated photovoltaics in hot climates: Experimental study of CIGS and c-Si modules in BIPV ventilated facades," *Energy Convers Manag*, vol. 274, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2022.116408.
- [8] N. Alhammadi, E. Rodriguez-Ubinas, S. Alzarouni, and M. Alantali, "Building-integrated photovoltaics in hot climates: Experimental study of CIGS and c-Si modules in BIPV ventilated facades," *Energy Convers Manag*, vol. 274, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2022.116408.
- [9] "¿Qué son los sistemas fotovoltaicos BIPV? | Solideo." <https://www.solideo.es/que-son-los-sistemas-fotovoltaicos-bipv/> (accessed Nov. 30, 2022).
- [10] "arquitectura y energía fotovoltaica integración arquitectónica de la energía fotovoltaica Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid".
- [11] "▷ Eficiencia Energética en Edificios: claves y medidas de ahorro." <https://ganaenergia.com/blog/eficiencia-energetica-edificios/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [12] "Eficiencia energética edificios: optimización o minimización | OVACEN." <https://ovacen.com/eficiencia-energetica-edificios/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [13] J. Cronemberger and R. Silva, "Tesis Doctoral".
- [14] "Montaje mecánico en instalaciones solares fotovoltaicas. ENAE0108 - S. L. Innovación y Cualificación - Google Libros." https://books.google.com.co/books?id=CVApEAAAQBAJ&pg=PT274&dq=ventanas+fotovoltaicas&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjwvuiK5s_8AhUiQzABHZTADG4Q6AF6BAgPEAI#v=onepage&q&f=false (accessed Feb. 17, 2023).

- [15] M. Fawaier and B. Bokor, "Dynamic insulation systems of building envelopes: A review," *Energy Build*, vol. 270, p. 112268, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2022.112268.
- [16] M. Juaristi, R. Loonen, F. Isaia, T. Gómez-Acebo, and A. Monge-Barrio, "Dynamic Climate Analysis for early design stages: a new methodological approach to detect preferable Adaptive Opaque Façade Responses," *Sustain Cities Soc*, vol. 60, p. 102232, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.SCS.2020.102232.
- [17] "Tecnologías y sistemas fotovoltaicos integrados en edificios para su despliegue en el mercado a gran escala: el proyecto PVSites." <https://www.pvsites.eu/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [18] L.-G. Juan, F. Jurado, and P. Pablo, "Optimization of Energy Integration Renewable in a Functional Building Optimización de la integración de energías renovables en un edificio funcional," *Industry, Innovation, And Infrastructure for Sustainable Cities and Communities*, pp. 24–26, 2019, doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.104.