



SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: UN ANÁLISIS DE REVISIÓN

Photovoltaic Systems: A Review Analysis

Jhoset Cosme¹; Milagros Meza¹; Jesús Gonzales¹; Juan Cabezas¹; Felimon Peñares¹

¹ Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Continental, Junín, Perú

Resumen

La energía es una de los principales factores que juegan un papel importante en el crecimiento económico mundial. El crecimiento urbano, la modernización y el aumento de la población humana conducen al alza de la demanda energética del mundo. Según el Organismo Internacional de Energía, la tendencia de energía futura muestra que la cantidad de energía necesaria para el 2020 será duplicada.

Hoy en día, todos los países creen que el uso de energía renovable es la solución alternativa para sustituir el uso de la energía tradicional. Entre todas las energías renovables, la energía solar es la más adecuada debido a es limpia, libre de carbonos y de libre disponibilidad. Los sistemas fotovoltaicos solares son la solución energética para aquellos países dependientes del combustible fósil.

La implementación de un sistema fotovoltaico conlleva, en primer lugar, realizar diversos cálculos de dimensionamiento para después tener certeza de la cantidad de materiales a usarse en su elaboración, por consiguiente, se puede obtener el costo.

El objetivo de este artículo es revisar y sintetizar información disponible sobre estudios de los sistemas fotovoltaicos realizados entre el 2009 y el 2019, destacando el desarrollo sostenible, aplicaciones, software de dimensionamiento y el costo-beneficio en función a los componentes del sistema. En este estudio se analizan los beneficios de los sistemas fotovoltaicos y una perspectiva a futuro de la implementación de módulos fotovoltaicos. Asimismo, se brindan algunas pautas generales para la selección de sistemas fotovoltaicos y los parámetros que deben considerarse.

Palabras clave: Fotovoltaico; energía renovable; desarrollo sostenible; energía solar; dimensionamiento

Abstract

Energy is one of the main factors that play an important role in the economic growth of the world. The urban growth, modernization and increase of the human population, lead in the increase of the energetic demand of the world. The future energy trend shows that the amount of energy needed by 2020 will be doubled according to the International Energy Agency.

Today, all countries of the world believe that renewable energy is the alternative solution in the place of traditional energy, due to environmental problems produced in recent centuries; solar energy is one of the most important types among all renewable energies because of its advantage of being clean, carbon free and availability. Solar photovoltaic systems are the energy solution for fossil fuel dependent countries. First, the implementation of a photovoltaic system will involve to perform various sizing calculations, after having a better certainty as to the amount of materials to which it is treated in its preparation, so that the cost can be obtained.

The objective of this article is to review and synthesize available information on studies of photovoltaic systems carried out between 2009 and 2019 highlighting sustainable development, applications, sizing software and cost-benefit depending on the system components. This study analyzes the benefits of photovoltaic systems and a future perspective of the implementation of photovoltaic modules. Similarly, at the end there are some general guidelines for the selection of photovoltaic systems and the parameters they should consider.

Keywords: Photovoltaic; renewable energy; sustainable development; solar energy; sizing



I. INTRODUCCIÓN

La historia de la energía fotovoltaica se remonta a 1839, cuando el físico francés Edmond Becquerel descubrió el primer efecto fotovoltaico cuando iluminó un electrodo de metal en una solución electrolítica. Cuarenta y cuatro años después, el inventor estadounidense Charles Edgar Fritts construyó el primer módulo fotovoltaico usando una placa ancha de cobre con selenio cubierta con una capa semitransparente de oro extremadamente delgada, dando como resultado un 1 % de eficiencia, que pronto fue ampliamente adoptada en los medidores de exposición de las cámaras (1).

En 1954, nacieron las células fotovoltaicas basadas en silicio, con una eficiencia de 6 %, que se utilizaron en aplicaciones espaciales. Actualmente, la producción de células fotovoltaicas tiene una curva de crecimiento exponencial desde el avance tecnológico de la última década de 1980, ya que mejora la eficiencia, reduce costos y contribuye con el desarrollo sostenible del medio ambiente (2).

El creciente interés por el desarrollo en los sistemas fotovoltaicos condujo a que los procesos de modelado y simulación se integren a este proceso, fomentándose así una gran variedad de modelos de software que buscan optimizar la cantidad de inversores y componentes en el dimensionamiento de paneles fotovoltaicos, así como la mejora de estos al ingresar mayor cantidad de data referente a la localización geográfica (3).

1.1. Organización y metodología del estudio

El trabajo se divide en 4 secciones. La primera dará énfasis en el tema del desarrollo sostenible que proporcionan los módulos fotovoltaicos; la segunda explicará cuáles son las aplicaciones del sistema fotovoltaico; la tercera mostrará el análisis de in-

formación sobre los softwares en el dimensionamiento y simulación de paneles fotovoltaicos y por último una literatura de los costos y beneficios de la implementación del Sistema Fotovoltaico (4).

1.2. Energía solar en el desarrollo sostenible medio ambiental

El incremento poblacional y el anhelo por la satisfacción de sus necesidades trae consigo un crecimiento de la demanda de energía y recursos naturales, por lo que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) pronosticó que para el año 2050 ocurrirá una alteración en la forma de vida si se sigue con el ritmo de vida actual (5). Según las Naciones Unidas, el excesivo consumo de combustibles fósiles y la producción de cemento durante la década de 1980 a 1990 provocó una de las mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), de los cuales el CO₂ es conocido como el más letal y antrópico. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos para el 2050 el incremento de CO₂ será de un 70 % respecto al año 2010 (6).

La energía solar fotovoltaica es la conversión directa de la radiación solar en electricidad a través de células fotovoltaicas. Estos se fabrican con materiales semiconductores cristalinos que, debido al efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica cuando se exponen a la radiación solar (7).

Los paneles fotovoltaicos están compuestos por una agrupación de células. Este tipo de energía, así como otras energías renovables, es inagotable, limpia, respeta el medio ambiente y establece una base para el autoabastecimiento. La corriente eléctrica generada a partir de la energía solar fotovoltaica tiene actualmente una variedad de aplicaciones, principalmente en sistemas aislados y sistemas conectados a la red (8). Ver Figura 1.



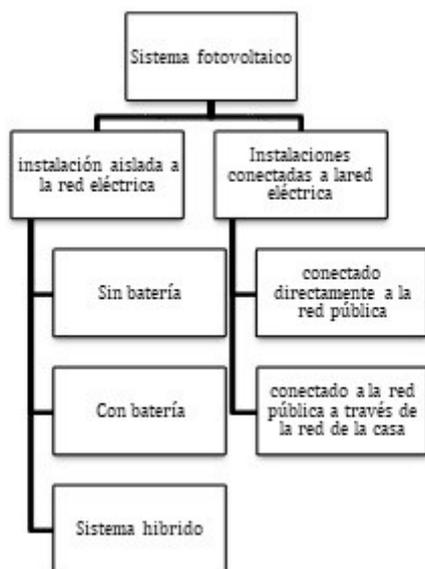


Figura 1. Instalación del sistema fotovoltaico

Los sistemas con almacenamiento y los sistemas híbridos pueden ser de diferentes tipos, tal como se presenta en las Figuras 2 y 3, respectivamente.

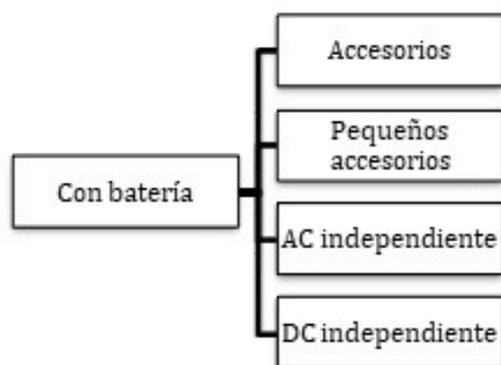


Figura 2. Componentes de sistemas con almacenamiento

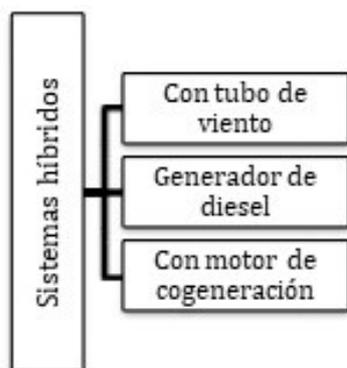


Figura 3. Componentes de sistemas híbrido

II. SOFTWARE EN PANELES FOTOVOLTAICOS

Los software de dimensionamiento o de simulación de paneles fotovoltaicos son aquellos encargados de realizar los cálculos preliminares con los cuales se diseña, a través de datos de la zona a implementarse (9).

Solaris PV

Software BIM para el diseño de instalaciones FV en edificios nuevos o existentes y para instalaciones más grandes (parques fotovoltaicos). Se puede instalar en cualquier localidad (geolocalización con datos climáticos de referencia) y con cualquier condición alrededor (obstáculos cercanos y lejanos), además tiene la ventaja del modelado 3D.

CHEQ4

Programa informático, elaborado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), que sirve para la verificación, previa definición de la instalación. De la descarga libre se obtienen distintas tipologías de instalaciones que el usuario puede elegir. Luego de introducir el resto de los datos que definen sus componentes tales como captador, depósito, intercambiador, tuberías, entre otros; es que proporciona como resultado la cobertura solar para ACS o para el calentamiento del agua de piscinas (Figura 4).



Figura 4. Captura de pantalla del CHEQ4

ESCOSOL

Hoja de cálculo elaborada en Microsoft Excel que permite calcular instalaciones de energía solar térmica e instalaciones de aerotermia con el objetivo de obtener la etiqueta de eficiencia energética.

ACSOL y TRANSOL

El primero es un simulador de instalaciones solares térmicas de baja temperatura, el cual se aplica para edificios multifamiliares y permite el estudio de instalaciones solares para piscinas cubiertas e inclusive para preparación de agua para duchas comunitarios tales como polideportivos, gimnasios, etc (10). TRANSOL es un software de simulación que requiere los datos de entrada para que realice una simulación del funcionamiento hora a hora durante todo un año. Como resultados se obtienen la contribución solar, el tiempo de funcionamiento de las bombas y la energía consumida por ellas, el déficit energético, pérdidas energéticas, etc. (10).

SEAS_ST

Hoja de cálculo que permite seguir detalladamente el proceso de dimensionado del campo de captadores en una instalación. Introducción de los datos de demanda de agua caliente (ACS). De utilidad para la determinación de las pérdidas de energía debidas a la inclinación, orientación y sombras. La estimación de la superficie captadora para el cumplimiento de los requisitos del Código Técnico de la Edificación (CTE) y, por último, la obtención de la contribución solar y del déficit energético (10).

Implementación de sistemas fotovoltaicos

El Autocontrol Remoto Consumo se define como la cantidad de energía generada en un mes dado es mayor que la energía consumida en ese mes, y el consumidor se queda con créditos, cuya fecha de vencimiento ha aumentado de 36 meses a 60 meses. Además, estos créditos pueden usarse para

reducir el consumo de unidades de consumo, propiedad del mismo titular o ubicadas en otro lugar, siempre que estén en la misma área de concesión del distribuidor. Se ha creado el concepto de generación compartida, que consiste en una asociación de consumidores dentro de la misma área de concesión, a través de un consorcio o cooperativa, compuesto por personas físicas o jurídicas que tienen unidades de consumo con micro o minigeración distribuidas en diferentes lugares de las unidades de consumo en las que se compensará el exceso de energía. Este NR volvió a cambiar. Después, hubo un aumento en la implementación de nuevos sistemas lo que hizo posible nuevos modelos de negocio como servicio solar. Acuerdo de compra de energía, acciones solares y alquiler de techos y condominios solares. Desde 2015, hubo un aumento significativo en las tarifas de energía eléctrica debido a la notoria falla de la Provisional (11).

Esta medida inicialmente tuvo como objetivo una reducción obligatoria de la tarifa eléctrica, pero terminó causando un endeudamiento generalizado de los distribuidores. Esto puede haber influido en la adopción de sistemas fotovoltaicos solares por parte de muchos consumidores residenciales con el fin de protegerse contra el aumento de los precios de la energía, así como de muchos consumidores comerciales para reducir los costos operativos.(12) En el sistema de medición neta adoptado en Brasil, la energía generada tiene el mismo valor que la consumida. Por lo tanto, el rendimiento financiero es mejor para quienes pagan tarifas más caras, que son consumidores residenciales y comerciales de bajo voltaje. De esta forma, el atractivo financiero de las inversiones en sistemas fotovoltaicos ha aumentado, especialmente en estos segmentos (13).

III. APLICACIONES

Las aplicaciones se dividen en dos categorías: utilidad de aplicaciones interactivas y sistemas autónomos (14).



Utilidad de aplicaciones interactivas

Los sistemas fotovoltaicos de utilidad interactiva (o conexión) están conformados por módulos fotovoltaicos que se conectan a los inversores que convierten la corriente discreta producida por los módulos fotovoltaicos a corriente alterna. Esta electricidad puede encender los electrodomésticos o puede ser vendida directamente a la red. De esta manera, el edificio recibe esta energía y se distribuye a los electrodomésticos y a otros dispositivos que lo necesitan. Estos sistemas se utilizan en su mayoría en hogares o edificios comerciales con el objetivo de compensar el coste de la electricidad (Figura 6).

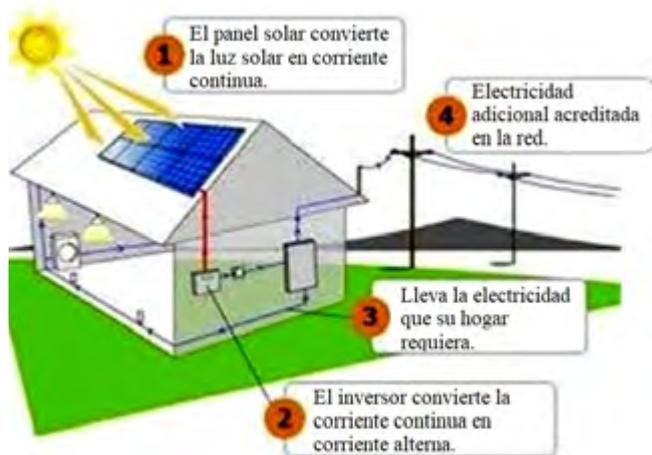


Figura 6. Esquema de aplicaciones interactivas de utilidad. Fuente: Elaboración propia.

Sistemas autónomos

Son aquellos que utilizan directamente la electricidad generada de la producción. Los sistemas independientes no dependen de conexiones de red eléctrica. Cuando es necesario por la noche o cuando existe poca luz del sol, entonces se utiliza un sistema de almacenamiento de la batería (15).

Iluminación

Los sistemas fotovoltaicos (FV) combinados con instalaciones de almacenamiento de batería se utilizan, sobre todo, para proporcionar iluminación de letreros publicitarios, carreteras en signos

de formación, instalaciones de uso público, estacionamientos, cabañas de vacaciones e iluminación para los trenes. Los sistemas fotovoltaicos son una opción atractiva para aquellas áreas más alejadas que no cuentan con los servicios básicos de la electricidad. Además, los FV pueden ser respaldados por generadores convencionales para proporcionar suministro sin interrupción.

Sistemas de navegación

Los sistemas fotovoltaicos son una fuente de energía confiable en aplicaciones importantes tales como faros, carretera, señales de advertencia de aviones, inclusive hasta en los semáforos portátiles pueden ser alimentados por sistemas fotovoltaicos.

Baterías de vehículos de carga

Los barcos y otros vehículos pueden cargarse directamente a través de sistemas fotovoltaicos de células fotovoltaicas (PV) puede ser excepcionalmente conveniente para el almacenamiento y transporte de medicamentos y vacunas que requieren refrigeración. Adicionalmente, los vehículos que funcionan con energía eléctrica pueden ser recargados en estaciones de PV y también pueden mantener su estado de batería crítica utilizando fuentes propulsadas de PV.

Servicios públicos

La tecnología fotovoltaica se utiliza para una gran variedad de productos disponibles en el mercado que funcionan con corriente continua, como por ejemplo, juguetes, relojes, calculadoras, radios, televisores, linternas, ventiladores, cajeros y cabinas de teléfono.

IV. COSTO ENERGIA ELECTRICA

En la literatura, algunas barreras de información para calcular los beneficios económicos de los paneles solares fotovoltaicos y el almacenamiento tienen estudiado en detalle. Se describe el he-

cho de que incluso los consumidores altamente educados pueden malinterpretar la información sobre la energía solar y la electricidad y su interacción con las tarifas y los perfiles de energía. En ese sentido, se necesita la interacción entre la industria, la información, la integración, la comunicación con la sociedad sobre la nueva tecnología de energía solar fotovoltaica, el sistema de gestión de la energía y evaluaciones económicas más simples.

Una perspectiva similar para el caso de Chile se analiza en la luz de esas barreras, varios trabajos han propuesto métodos para determinar el impacto económico de la red fotovoltaica y el almacenamiento. En este aspecto se desarrolla una herramienta de optimización para dimensionar la capacidad de almacenamiento. Si bien el modelo considera aspectos económicos, esos aspectos no tienen en cuenta las estructuras tarifarias y los cargos por tiempo de uso de energía. En general, la mayoría de los enfoques pasan por alto la estructura de tarifas, centrándose en el envejecimiento de la batería y la compensación entre la mejora técnica y el aumento de los costos. Además, otros trabajos destacan y proponen un mejor rendimiento económico al maximizar la correspondencia entre la carga y el perfil de generación, sin considerar la función del almacenamiento. Los enfoques como representan la estructura tarifaria considerando solo diferentes precios para la generación y el consumo de energía, pero sin estructura para los cargos de energía. En España se elaboró un modelo “Simulink” resultado de diversos estudios posteriores, este sistema proporciona la potencia requerida de acuerdo a la demanda; siendo el trabajo en un sistema híbrido conectado a la red no solo brinda el tipo y componentes óptimos a instalar, sino que también provee información en cuanto a si es mejor implementar un sistema fotovoltaico o uno eólico para así reducir costos (16). Enfoques similares para los casos particulares de Palestina, Portugal y Sudáfrica, países en los cuales se presentan trabajos con tamaños de almacenamiento

óptimos para una variedad de casos de estudio con datos de procesos reales. El estudio es muy detallado para determinar el tamaño óptimo de almacenamiento; sin embargo, la formulación no considera una estructura tarifaria particular, sino que solo determina el costo mínimo en términos de producción de energía. La rentabilidad no se tiene en cuenta (17). En el caso de un estudio de implementación de sistemas fotovoltaicos en la ciudad de Bogotá, Colombia, el autor concluye que, desde una perspectiva económica, no sería viable implementar paneles solares en viviendas debido a que estos presentan una durabilidad de 25 años con los costos de mantenimiento incluidos, además de que los cambios de batería que duran aproximadamente 10 años (18). Sin embargo, es evidente que varios países como China, EE. UU. y Japón apuestan por esta tecnología, pues ocupan los primeros puestos en el ranking de países en la producción de energía solar, según datos propuestos por el Powerweb, seguidos de India y Alemania. En el año 2018, China activó la primera planta solar más grande del mundo en un área de 10 millas cuadradas generando 850 megavatios de energía (19).

Si bien en varios estudios no se detalla en términos de la estructura tarifaria, sí establece la motivación para usar el almacenamiento en el sector de distribución, la cual es evitar cargos significativos por excederse en la potencia pico contratada. Se resalta el hecho de que la batería se usa para reducir el consumo máximo durante las horas pico, pero un procedimiento sistemático para determinar el tamaño de almacenamiento basado, por ejemplo, en el envejecimiento no se explora la minimización.

Sistemas fotovoltaicos y los parámetros que deben considerarse

En la instalación de sistemas fotovoltaicos es necesario tomar en cuenta la forma del sistema fotovoltaico, los componentes, el cálculo, el diseño, el dimensionamiento y la instalación. En la Tabla 1,



se presenta los parámetros a considerarse dentro del cálculo y diseño de los PV (2).

Tabla 1: Parámetros del Sistema PV. Fuente: Adaptado de (2)

| Parametros del Sistema Pv | |
|------------------------------------|------|
| Factor de carga concurrente | 0.5 |
| Factor de eficiencia del inversor | 0.85 |
| Voltaje del sistema | 24 |
| Días de autonomía | 5 |
| Profundidad diaria de descarga (%) | 10 |
| Factor de eficiencia de la batería | 0.8 |
| Horas pico de sol | 5 |
| Potencia del módulo fotovoltaico | 80 |
| Profundidad máxima de descarga | 50% |

V. DISCUSIÓN

Los cálculos preliminares son de suma importancia en el diseño de una planta de energía solar fotovoltaica porque un pequeño error de cálculo puede conducir a un curso incorrecto del desarrollo del proyecto. Además, después de los cálculos involucrados, se garantizaron cálculo y una precisión más fácil. En los últimos años, se desarrollaron softwares de diseño de sistemas fotovoltaicos como PVsyst, pvgis, software fotovoltaico, etc. Estos programas facilitan los cálculos preliminares y el diseño de plantas de energía solar fotovoltaica, pero hay dos inconvenientes principales: Complejidad que implica la introducción de mucha información para la entrega de resultados precisos y un precio muy alto que aumenta los costos del proyecto (20).

El inventario de herramientas digitales reveló que la efectividad de las herramientas solares avanzadas que soportan el trabajo son pocos paquetes de software que permiten evaluar las decisiones en relación con los aspectos solares. El análisis de ubicación de paneles es un proceso altamente intuitivo e iterativo, que requiere cambios en

el volumen general del sistema fotovoltaicos, la geometría, la orientación, etc. Una herramienta de análisis apropiada debe permitir cambios en estos parámetros con un clic del mouse y el diseñador debe tener retroalimentaciones directas y explícitas relacionadas con aspectos solares que incluyen ganancias solares pasivas, utilización de la luz del día y rendimiento activo de los sistemas solares (21).

Dado que, en teoría, las aplicaciones BIM se crean para soportar todo el proceso de diseño, ofrecen el mayor potencial para optimizar la utilización de sistemas pasivos y activos, así como su integración arquitectónica. Sin embargo, el software BIM no es realmente adecuado para el trabajo EDP. x Especialización sistemática del software disponible. Muchos programas están especializados en un tipo de sistema (por ejemplo, PV o ST). Dado que el objetivo de la arquitectura solar de alta calidad es lograr un buen equilibrio de la utilización solar pasiva y activa (incluida la utilización de la luz del día) mediante un diseño adecuado de la envolvente del panel solar, este es un obstáculo importante por la falta de retroalimentación numérica clara que produzca decisiones erróneas.

Las funciones solares son características populares en el software. En general, esta función investiga y muestra el impacto de la luz solar y las sombras en el proyecto; sin embargo, una retroalimentación iterativa, numérica y directa que muestra las cantidades de energía solar incidente en el panel solar rara vez está disponible. Además, la mayoría de los programas solo muestran la radiación solar incidente en el panel solar, en lugar de las ganancias solares a través de luz natural utilizable, debido a la falta de indicación clara sobre modelos basados físicamente en las opciones de representación (22).

VI. CONCLUSIONES

En muchos CAAD y software de visualización, la representación se basa en algoritmos “cosméticos



cos” en lugar de leyes físicas. Esto no solo puede generar errores de interpretación por parte del diseñador, sino que no admite el desarrollo de un diseño solar real como parte de un proceso de diseño integrado. Los programas deben al menos indicar claramente si los algoritmos se basan en leyes físicas de iluminación o no. La falta de herramientas CAAD que admiten la integración arquitectónica y el dimensionamiento de sistemas solares activos. El dimensionamiento de los sistemas solares activos está respaldado principalmente por un software de simulación especializado, que generalmente ofrece una interfaz 3D simplista y limitada. Para lograr una integración arquitectónica de PV o ST en la envolvente del edificio, los arquitectos deben “ver” y personalizar los componentes solares activos directamente en su modelo de construcción.

La fabricación de módulos fotovoltaicos utiliza algunos materiales peligrosos que puede presentar riesgos para la salud y la seguridad, si no se toman las precauciones adecuadas. Las condiciones de rutina en las instalaciones de fabricación no deben plantear amenazas a la salud y al medio ambiente. Dichos peligros surgen principalmente de la toxicidad y explosividad de gases específicos. Conocer que el uso de los recursos es un tema muy importante en la actualidad, ya que es necesario reducir los efectos que estos producen en el medio ambiente, se requiere analizar la conducción de la radiación solar para una apropiada captación de energía, y el uso de paneles fotovoltaicos para este objetivo, se tiene que utilizar de manera responsable el control mediante una variedad de software para ello se demostró la aplicación y el precio que conllevan usar software para manejar una mejor optimización de esta energía solar.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] VELÁSQUEZ-VÁSQUEZ, Juan C, YARCE-DE, Sara, RÍOS, Los, RAMOS-PAJA, Carlos Andres and GONZALEZ, Daniel. Control-Oriented Models of Step-Up and Step-Down Photovoltaic Power Systems Modelado Orientado Al Control De Sistemas Fotovoltaicos Para Aplicaciones Elevadoras Y Reductoras De Voltaje Eliana Isabel Arango Zuluaga. . 2012. Vol. 172, p. 67–76.
- [2] A.M.K. EL-GHONEMY. Photovoltaic Solar Energy: Review. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2012. Vol. 3, n.º 11, p. 1-43.
- [3] CASTRO, Adalberto Ospino. Modelado y simulación de un panel fotovoltaico empleando técnicas de inteligencia artificial. *Ingeniería Energética*. 2014. Vol. XXXV, n.º 3, p. 225-233.
- [4] GABRIEL FILHO, Luís R.A., VIAIS NETO, Daniel Dos S., CREMASCO, Camila P., SERAPHIM, Odivaldo J. and CANEPPELE, Fernando De L. Mathematical analysis of maximum power generated by photovoltaic systems and fitting curves for standard test conditions. *Engenharia Agricola*. 2012. Vol. 32, n.º 4, pp. 650-662. DOI 10.1590/S0100-69162012000400004.
- [5] CENTRO NACIONAL DE PLANEAMIENTO ESTRATÉGICO - CEPLAN. *Megatendencias: un análisis del estado global*. Lima - Perú, 2016.
- [6] CEPLAN. *Megatendencias: un análisis del estado global*. Centro Nacional de Planteamiento Estratégico. 2016. Vol. 1, p. 104. Web Library
- [7] CEBALLO, Ponce. Fotocal, sistema automatizado para la determinación del área y el costo de un módulo fotovoltaico. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2010. Vol. 19, n.º 2, p. 71-74.
- [8] FIGUEROA, Catalina, PARRA, Nelly and RODRÍQUEZ, Cristian. Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en hogares de familias de escasos recursos de la comuna de San Nicolás. 2014. p. 24.
- [9] GROENEWOLT, Abel, BAKKER, Jack, HOFER, Johannes, NAGY, Zoltan and SCHLÜTER, Arno. Methods for modelling and analysis of bendable photovoltaic modules on irregularly curved surfaces. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*. 2016. Vol. 7, n.º 3, p. 261–271. DOI 10.1007/s40095-016-0215-3.





- [10] ARAMAYO, L., SILVA JUNIOR, C. A. P. and FONTENELE, H. B. Escala visual para evaluación de pavimentos urbanos: *Revista ingeniería de Construcción*. 2019. Vol. 34, n.º 1, pp. 45-54. DOI 10.4067/s0718-50732019000100045.
- [11] ROSAS LUNA, Márcia Andréa, FONTES CUNHA, Felipe Barroco, DE MIRANDA MOUSINHO, Maria Cândida Arrais and TORRES, Ednildo Andrade. Solar Photovoltaic Distributed Generation in Brazil: The Case of Resolution 482/2012. In: *Energy Procedia*. 2019.
- [12] FRANÇOIS, Raoul, LAURENS, Stéphane and DEBY, Fabrice. Effects of Reinforcement Corrosion on the Mechanical Behavior of Reinforced Concrete. *Corrosion and its Consequences for Reinforced Concrete Structures*. 2018. P. 105–133. DOI 10.1016/b978-1-78548-234-2.50005-6.
- [13] DANIEL, Cabezas-maslanczuk Marcelo and ISIDRO, Franco-brazes Juan. Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica Design and evaluation of a photovoltaic and thermal solar panel for dispersed populations in regions of large temperature range. . 2018. No. número 2.
- [14] SATHEESH KRISHNAMURTHY. Aplicaciones de sistemas fotovoltaicos. *Open Educational Resources*. 2015. No. helioslab project 2015.
- [15] LEÓN, Esteban Zalamea and BARRAZA, Cristian Cuevas. Adaptability of photovoltaic mono-poly-crystalline solar panels and photovoltaic roof tiles on dwelling roofs of real estate developments. *Revista de la Construcción*. 2019. Vol. 18, no. 1, p. 42–53. DOI 10.7764/RDLC.1.1.42.
- [16] MIKATI, M., SANTOS, M. and ARMENTA, C. Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica. *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial* [online]. 2012. Vol. 9, no. 3, p. 267–281. DOI 10.1016/j.riai.2012.05.010. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.riai.2012.05.010>
- [17] TRONCOSO, Nelson, ROJO-GONZÁLEZ, Luis, VILLALOBOS, Manuel, VÁSQUEZ, Óscar C. and CHÁVEZ, Héctor. Economic decision-making tool for distributed solar photovoltaic panels and storage: The case of Chile. In : *Energy Procedia*. 2019.
- [18] SALAMANCA-AVILA, Sebastian. Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista científica*. 2017. Vol. 3, no. 30, p. 263. DOI 10.14483/23448350.12213.
- [19] ECOINVENTOS. *Los 10 mayores países productores de energía solar del mundo* [online]. 2018. Available from: <https://ecoinventos.com/mayores-paises-productores-energia-solar-del-mundo/>
- [20] PASC, Petru Claudiu and DUMITRU, Cristian Dragoş. *Software Solution Design for Photovoltaic Solar Applications*. *Procedia Technology*. 2015. Vol. 19, p. 695–702. DOI 10.1016/j.protcy.2015.02.098.
- [21] PILICITA-GARRIDO, A. E. and CEVALLOS-DUQUE, D. C. Innovación tecnológica de un sistema integral para monitorear el consumo eléctrico. *Ingenius*. 2019. No. 22, p. 9–16. DOI 10.17163/ings.n22.2019.01.
- [22] HORVAT, Miljana and DUBOIS, Marie Claude. Tools and methods for solar design - An overview of IEA SHC Task 41, Subtask B. In : *Energy Procedia*. 2012.