

SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE SOLUCIONES CON SISTEMAS DE PANELES SOLARES Y SU BENEFICIO ECONÓMICO DE COSTOS

SOFTWARE FOR THE DESIGN OF SOLUTIONS WITH SOLAR PANEL SYSTEMS AND ITS ECONOMIC BENEFIT OF COSTS

Esmerlis Camargo Torres¹
 Marieth Orcasitas Peñaloza²
 Jesús Céspedes Rangel³
 Carlos Antonio Salas Solano⁴
 David José Garcés Conde⁵

Resumen

La energía renovable es una forma fundamental que permite mitigar el cambio climático, debido a que el desarrollo acelerado de la tecnología en energías sostenibles es relevante para sustituir las fuentes de energía convencionales. Una fuente de energía renovables es la energía solar que aprovecha la luz del sol para producir electricidad a través de paneles solares. No obstante, en la instalación de un sistema de paneles solares, muchas veces no se tiene en cuenta el diseño del sistema, por lo cual no se aprovecha el máximo rendimiento del mismo. Por tanto, el propósito de la investigación fue desarrollar un software para el diseño de soluciones con sistemas de paneles solares. El tipo de investigación fue cualitativa y aplicada, con diseño investigación-acción y enfoque práctico. Como resultado se obtuvo un software para diseñar una solución de un sistema de paneles solares que permite aprovechar el máximo rendimiento del sistema a instalar.

Palabras clave: Energía fotovoltaica, diseño, rendimiento, aplicación, electricidad

Abstract

Renewable energy is a fundamental way to mitigate climate change, because the accelerated development of sustainable energy technology is relevant to replace conventional energy sources. A renewable energy source is solar energy that harnesses sunlight to produce electricity through solar panels. However, in the installation of a solar panel system, the design of the system is often not taken into account, so the maximum performance of the system is not used. Therefore, the

Fecha de recepción: Marzo de 2020 / Fecha de aceptación en forma revisada: Junio de 2020

¹Doctora en Ciencias Gerenciales, Magister en Informática Educativa, Magister en Gestión de la Innovación, Especialista en Gerencia en Finanzas, Ingeniera industrial, Contadora Pública, Líder de investigación SENNOVA, SENA. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5530-9353>.Mail: ecamargot@sena.edu.co

²Doctora en Ciencias Gerenciales, Especialista en Gerencia Social, Trabajadora Social, Coordinadora Grupo de Formación Integral, Gestión Educativa y Relaciones Corporativas, SENA. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9812-5087>.Mail: morcasitas@sena.edu.co

³Msc Gerencia de Proyecto de I+D, Ingeniero Mecánico, Instructor de Mecánica y Mantenimiento Adscrito a la Red Automotriz, SENA. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4225-145X>.Mail: jcespedesr@sena.edu.co

⁴Magister en Telemática, Especialista en redes, Ingeniero de Sistemas, Instructor de Redes, SENA. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3128-1186>.Mail: csalas@sena.edu.co

⁵Estudiante de Ingeniería de sistemas. Grupo de investigación INGESINFO. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1343-4900>. Mail: dgarcescl@unicartagena.edu.co

purpose of the research was to develop software for the design of solutions with solar panel systems. The type of research was qualitative and applied, with action research design and practical approach. As a result, software was obtained to design a solution of a solar panel system that allows to take advantage of the maximum performance of the system to be installed.

Keywords: Photovoltaic energy, design, performance, application, electricity

Introducción

La producción de energía mediante fuentes convencionales ocasiona problemas ambientales, entre los que se encuentra la reducción de la capa de ozono, aumento del calentamiento global, el agotamiento de los recursos, acidificación, entre otros (Dorotić, Doračić, Dobravec, Pukšec, Krajačić & Duić, 2019). Esta realidad ha impulsado a la optimización de la eficiencia en la sustracción, transporte, utilización, preservación de recursos energéticos y exploración de otras formas de obtener energía de recursos y fuentes renovables (Badii, Guillen & Abreu, 2016; Nikoobakht, Aghaei, Khatami, Mahboubi-Moghaddam & Parvania, 2019). Una de estas nuevas formas es la producción de energía eléctrica a través del sol, cuyo producto final es la energía solar fotovoltaica (Zhang & Hredzak, 2019).

En diversos países la energía solar fotovoltaica es una opción significativa con el propósito de sustituir o completar la generación de energía tradicional, y Colombia no es ajena a la tendencia de utiliza fuentes alternativas de generación, que para el año 2017 a nivel mundial la capacidad de generación por medio de renovables fue de 2.180 GW en total (Urrego, Mendoza, León & Ocampo, 2018). No obstante, en las instalaciones fotovoltaicas, se pueden presentar problemas como: dimensionado insuficiente de la instalación, mala elección de materiales, medición incorrecta de materiales a emplear (Manrique y Cardona, 2015).

Por otro lado, si no se realiza un diseño apropiado es posible que se carezca de material cuando se ejecuta la instalación y puede que no se aproveche el máximo rendimiento del sistema (Lamigueiro, Santos y Gil, 2012). Diferentes investigaciones evidencian la importancia de un buen diseño, en Abella (2005), se expone que la capacidad de descarga, la vida de la batería, entre otros factores, dependen del diseño, y que de los diseños depende la fiabilidad y los costos finales de las aplicaciones fotovoltaicas. De igual manera, Forget (2011). Propone un manual de diseño de sistemas fotovoltaicos aislados, donde expone los parámetros que se deben tener en cuenta para diseñar un sistema fotovoltaico. Por lo anterior, se necesita de la contratación de expertos en la elaboración de diseños de sistemas de paneles solares lo cual puede ser costoso.

Existen alternativas que facilitan el diseño de sistemas fotovoltaicos, no obstante, son aplicaciones pagas y no se pueden utilizar de forma adecuada sin comprender los resultados (Viñas, 2013). Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue desarrollar un software libre para el diseño de soluciones con sistemas de paneles solares, fácil de utilizar, con una guía que lo acompañará durante el proceso de diseño y que cuenta con conexión a los motores de búsqueda relacionados con los materiales actualizados para sistemas fotovoltaicos.

Marco teórico

Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se define como la porción de energía del sol favorable en la extensión de la tierra, establece una fuente de energía sostenible, limpia y abundante en la mayoría de territorios durante todo el año. Se puede usar en la producción de electricidad a través del empleo de paneles solares fotovoltaicos para transformar la radiación solar en electricidad. Su utilización es importante para proyectarse a un futuro sostenible (Arencibia-Carballo, 2016).

Paneles solares

Los paneles solares están conformados por número determinado de celdas solares, las cuales oscilan entre 36 y 72, conectadas en serie-paralelo y montadas sobre una placa metálica encapsulada por un aislante térmico. Típicamente, genera un voltaje de entre 0.5 y 0.8 V dependiendo del semiconductor utilizado y la tecnología con la que fue fabricado (Granda-Gutiérrez, 2013) Un panel solar es una colección de células solares repartidas en un área grande para trabajar juntas y proporcionar suficiente energía útil. (Arencibia-Carballo, 2016).

Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico está compuesto por uno o más paneles solares combinados con un inversor, hardware eléctrico y mecánico que utiliza la energía del Sol para generar electricidad. Se llama sistema porque está compuesto por varios elementos que permiten un correcto funcionamiento. Entre los elementos que constituyen el sistema fotovoltaico están: panel solar regulador de carga batería conversor de voltaje cables, tomas y lámparas. La generación eléctrica mediante sistema fotovoltaico se realiza mediante dispositivos inversores de estado sólido. Estos dispositivos utilizan transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT) para realizar la conmutación de corriente directa a corriente alterna, lo cual es causante de componentes armónicas al no ser capaz de generar una onda sinusoidal pura (Solis, 2016).

Software

El software es un conjunto de instrucciones, datos o programas utilizados para operar computadoras y ejecutar tareas determinadas. El software a menudo se divide en software de aplicación, o programas descargados que satisfacen un deseo o necesidad, y software de sistema, el cual contiene sistemas operativos y programas que admiten software de aplicaciones.

Metodología

El desarrollo de este proyecto se considera como una investigación cualitativa y aplicada con diseño investigación-acción y enfoque práctico. Cualitativa debido a que no se fundamenta en la estadística (Cairampoma, 2015; Leavy, 2017). Aplicada porque se pretende resolver un determinado problema y se enfoca en la consolidación del conocimiento con el propósito de enriquecer el desarrollo científico (Bordens & Abbott, 2018). Investigación-acción porque como producto se presenta un programa o proyecto para resolver una problemática específica (Hernández, Fernández & Baptista, 2014), en este caso, el diseño de instalaciones fotovoltaicas. En cuanto al enfoque, es práctico debido a que involucró indagación individual o en equipo, se implementó un plan de acción para realizar el software (Christensen, Johnson & Turner, 2015).

Técnica de recolección de información

Las técnicas usadas para la recolección de información fueron entrevistas, revisión y el análisis documental y se obtuvo información disponible en libros, artículos y diferentes publicaciones científicas asociadas al diseño de instalaciones fotovoltaicas.

Metodología de desarrollo del software

La realización de este proyecto se fundamentó bajo los criterios y principios de la metodología Rational Unified Process (RUP), la cual se caracteriza por enfocarse en los casos de uso y arquitectura de la solución a desarrollar, además es una metodología iterativa e incremental. Estas características permiten tener siempre en cuenta los requerimientos, la creación modelos y

vistas para comprender cada parte del software y fomentar la reutilización de componentes (Martínez y Martínez, 2014).

A continuación, se describen las fases correspondientes a la metodología RUP, que dieron solución a los objetivos específicos del proyecto:

Fase inicial: se recolectó información relacionada con el diseño de instalaciones con energía fotovoltaica, la cual ayudó a determinar y especificar los requerimientos funcionales.

Fase de elaboración: en esta fase se diseñaron los artefactos UML (diagramas y modelos), que permitieron crear una arquitectura y un plan de desarrollo para el software.

Fase de construcción: se desarrolló un prototipo del software a partir de los artefactos UML desarrollados en la fase anterior. Es decir, el desarrollo de los componentes y funcionalidades, implementación de estructuras de datos, elaboración de documentación técnica y la integración de la solución y las pruebas de verificación del prototipo desarrollado.

Fase de transición: se realizaron las pruebas de validación del software desarrollado en un entorno real, así como la elaboración de la documentación final del software.

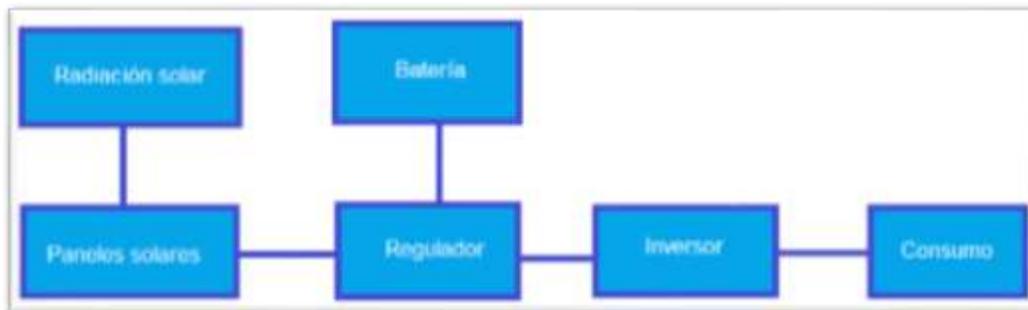
Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados de la investigación con base en la metodología propuesta.

Fase inicial

En esta fase se presenta la estructura de un sistema de paneles solares (Figura 1).

Figura 1. Estructura de un sistema de paneles solares



La estructura se conforma por paneles fotovoltaicos que reciben la radiación del sol para convertirla en energía eléctrica, la cual para a un controlador o regulador que se encarga de ajustar la corriente para proteger los dispositivos y baterías de alguna sobrecarga, además distribuye la energía hacia estos dos. En una parte, la corriente llega a las baterías donde es almacenada de acuerdo a su capacidad y se utilizan cuando no hay suministro eléctrico, mientras en la otra, se conecta un inversor que realiza la conversión de energía alterna a directa, con el fin de abastecer a los dispositivos y electrodomésticos con la energía compatible con su estructura eléctrica.

Caracterización de software existente para el diseño de un sistema de paneles solares

En el Cuadro 1, se presentan una caracterización de software existente para el diseño de sistemas fotovoltaicos.

Software	Características	Limitaciones
Solarius PV	El instrumento completo, fiable e innovador para el diseño y la simulación económica de instalaciones fotovoltaicas de cualquier tipo y dimensión. Se puede utilizar para instalaciones en edificios nuevos, existentes o parques fotovoltaicos, en cualquier localidad, con	De escritorio Pago Para uso profesional

	cualquier condición alrededor, con cada tipo de paneles e inversores y cuenta con modelado 3D.	
EasySolar	Herramienta que sirve para diseñar sistemas solares directamente en fotos y Proyectos comerciales en Google Maps, genere una oferta de precio con un solo clic, genera un análisis financiero.	Pago Solo muestra cómo queda el diseño
PV*SOL	Un software realizado para el dimensionamiento y diseño, simulación dinámica, evaluación de rendimientos de sistemas fotovoltaicos. Incluye modelado 3D y cálculo de sombras en instalaciones On-Grid.	De escritorio Pago

Cuadro 1. Caracterización de software fotovoltaico

Requisitos funcionales del producto software

En los cuadros 2, 3, y 4, se muestran los principales requisitos funcionales del producto software.

Identificación	RF01
Nombre	Realizar diseño fotovoltaico
Características	El usuario debe conocer el consumo eléctrico y la ubicación del lugar donde se instalará el sistema fotovoltaico.
Descripción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocer consumo eléctrico. 2. Conocer ubicación geográfica. 3. Conocer la radiación solar.
Prioridad	Alta

Cuadro 2. Requisito funcional denominado realizar diseño fotovoltaico

Identificación	RF02
Nombre	Definir consumo eléctrico
Características	El usuario debe conocer la potencia necesaria de cada electrodoméstico o cualquier artículo que consuma energía eléctrica para su funcionamiento en el lugar donde se instalará el sistema de paneles solares.
Descripción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocer la potencia necesaria de cada artículo que consuma electricidad para su funcionamiento. 2. Identificar el tiempo de uso de cada artículo que consume electricidad.
Prioridad	Alta

Cuadro 3. Requisito funcional denominado definir consumo eléctrico

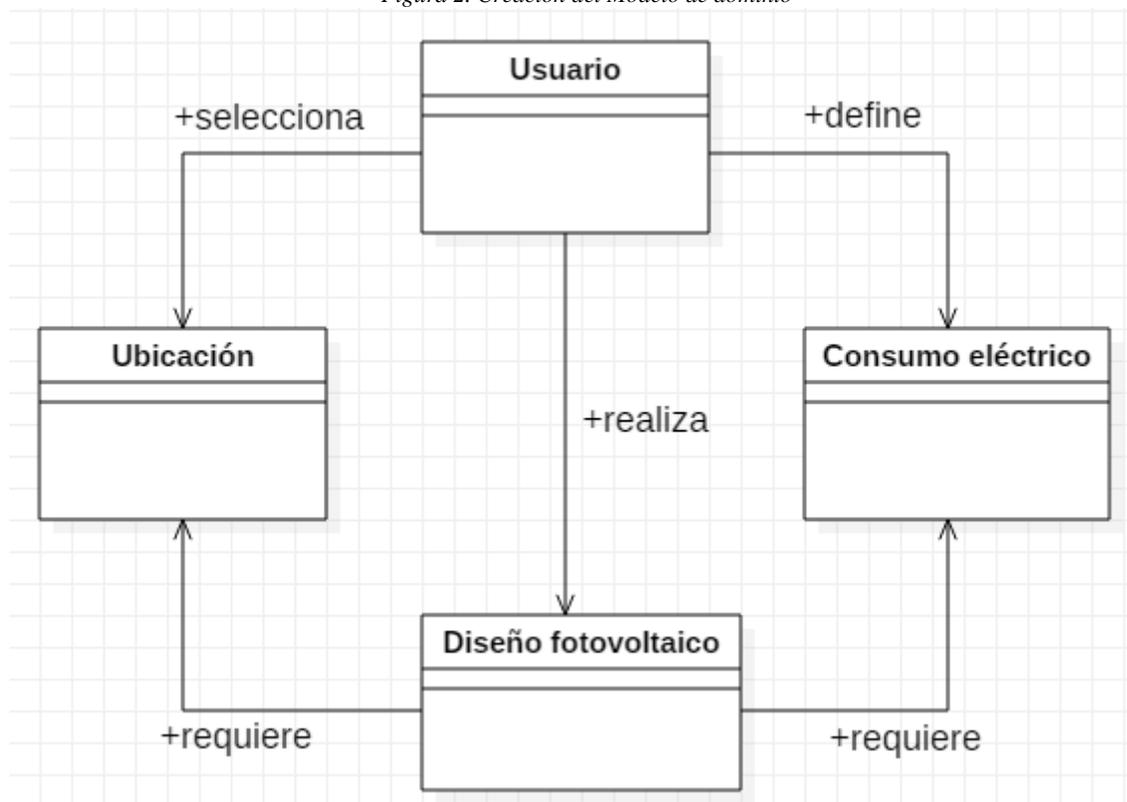
Identificación	RF03
Nombre	Seleccionar ubicación
Características	El usuario debe conocer la latitud y longitud del lugar donde se instalará el sistema de paneles solares, con el propósito de conocer la radiación solar en el lugar seleccionado.
Descripción	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocer las coordenadas geográficas del lugar. 2. Utilizar un aplicativo que permita reflejar la radiación solar con base en las coordenadas proporcionadas.
Prioridad	Alta

Cuadro 4. Requisito funcional denominado seleccionar ubicación

Fase de elaboración

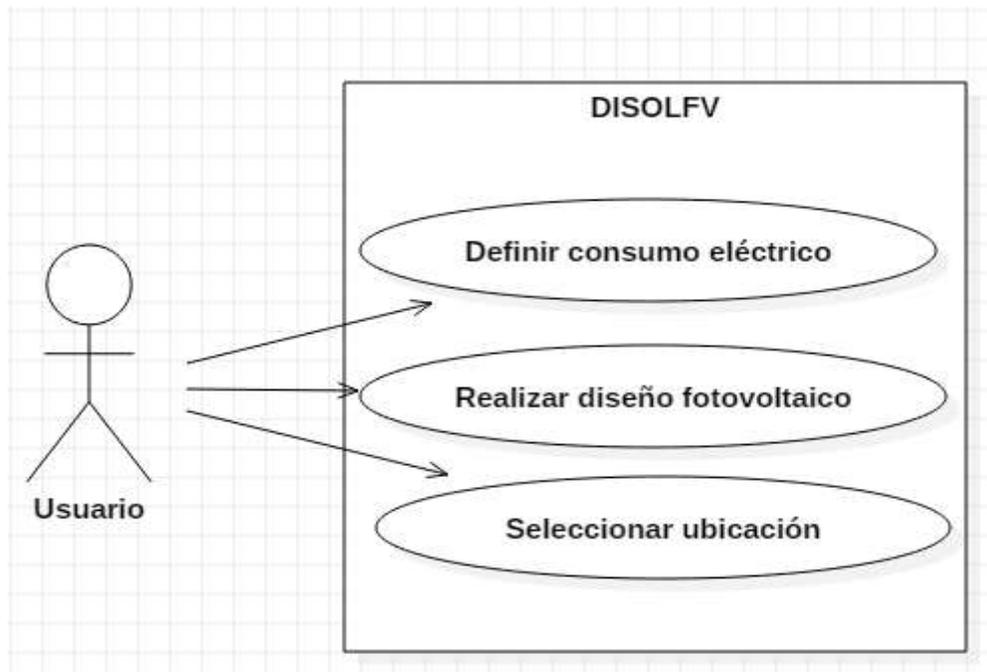
En esta fase se construyeron los artefactos modelo de dominio (Figura 2) y casos de usos (Figura 3).

Figura 2. Creación del Modelo de dominio



En la figura anterior, se observa al usuario interactuar con varias entidades, entre ellas están Ubicación, Diseño fotovoltaico y Consumo eléctrica, lo cual indica que este actor selecciona una ubicación geográfica y define un consumo eléctrico para realizar un diseño fotovoltaico.

Figura 3. Casos de usos



En la figura de casos de uso, se observa que el usuario es el encargado de definir el consumo eléctrico del lugar donde se instalará el sistema de paneles solares y seleccionar la ubicación geográfica del proyecto, los cuales son fundamentales para realizar el diseño fotovoltaico.

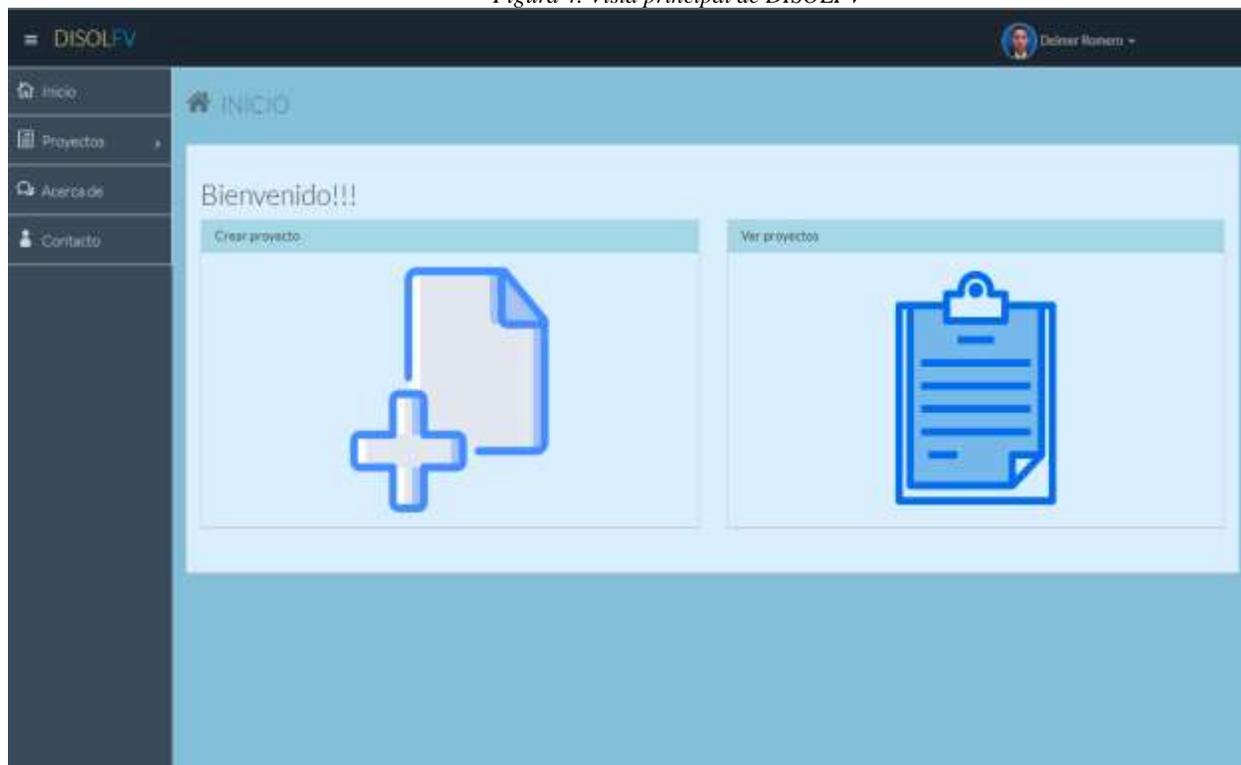
Fase de construcción

En esta fase, se realizó la implementación del componente software basándose en los modelos realizados en la fase de elaboración.

Front-End de las vistas principales de DISOLFV

El software permite al usuario crear proyectos donde puede ingresar los datos requeridos para calcular el sistema fotovoltaico. En la Figura 4., se muestran dos opciones que son crear y ver proyectos, con las cuales el usuario tendrá la posibilidad de administrar los proyectos de sistemas fotovoltaicos requeridos.

Figura 4. Vista principal de DISOLFV



Una vez que el usuario ingresa la información correspondiente como el nombre o descripción del proyecto, se muestra un mapa donde se puede seleccionar el lugar donde se quiere implementar el sistema de paneles solares (Figura 5).

Figura 5. Selección del lugar de instalación



Lo anterior permite determinar el nivel de radiación solar que es emitida en la zona geográfica seleccionada, con el fin de aplicar las ecuaciones necesarias en la definición del sistema fotovoltaico pertinente a las circunstancias del usuario. Luego, este puede elegir o importar planos en 2D de casa, con el fin de diseñar una estructura de los electrodomésticos que quiere abastecer con la energía suplementada por el sistema fotovoltaico. Este proceso se puede evidenciar en la Figura 6, donde el software muestra algunos planos predeterminados que posiblemente sean de utilidad para los usuarios.

Figura 6. Vista de selección del plano



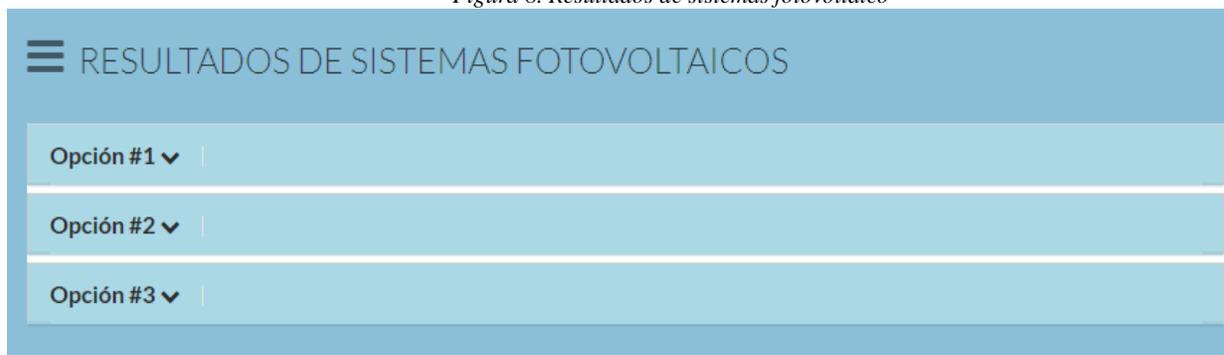
Cuando el usuario selecciona el plano, la aplicación muestra los electrodomésticos que puede incluir en el plano (Figura 7), donde el usuario puede ubicarlos en el sitio pertinente. Cuando se elige el elemento eléctrico, el software le pide que al usuario que seleccione la potencia del mismo y el tiempo de uso.

Figura 7. Vista de diseño de la estructura eléctrica



Después de seleccionar el lugar de instalación, se muestran los resultados del sistema fotovoltaico con varias opciones (Figura 8), las cuales son analizadas por el usuario con el fin de escoger aquella que mejor se adapte a sus necesidades y presupuesto económico.

Figura 8. Resultados de sistemas fotovoltaico



Cuando se elige una opción de la figura anterior, se despliega un panel de información relacionada con el sistema fotovoltaico (Figura 9), donde se muestran las características como información de paneles, baterías, regulador e inversor del sistema fotovoltaico que se desea instalar.

Figura 9. Despliegue de resultados

Información General	
Tipo de instalación:	Off - Grid
Consumo:	6.300,5 Wh/día
Margen de seguridad ideal (20%):	7.560,6 Wh/día
Margen de seguridad real :	9.023,27 Wh/día
Radiación:	5,08 Kwh/día
Información de paneles	
Cantidad:	8
Potencia:	280 W
Configuración en serie:	1 panel
Configuración en paralelo:	8 paneles
Información de baterías	
Días de autonomía:	3
Dimensionado de almacenamiento:	1.552,62 Ah
Capacidad de la batería:	250 A
Voltaje:	24 V
Cantidad:	7
Información de regulador	
Dimensionado:	83,5 A
Información de inversor	
Dimensionado:	1.525,2 W

Considerado lo anterior, el software se puede utilizar como una herramienta para el ahorro de costos debido a que permite dar a conocer los elementos que conformarán el sistema de paneles solares y la forma en la cual deben conectarse para cumplir con los parámetros energéticos especificados, por lo cual no es necesario de invertir en la contratación de expertos en diseños de soluciones con sistemas de paneles solares. Esto puede servir como complemento a la investigación de (Kusmantor, et al., 2020) donde se llevan a cabo diferentes etapas de la elaboración de un diseño de sistemas de paneles solares que requieren de la realización de cálculos matemáticos que pueden ser complejos para personas que no tienen conocimientos avanzados, por lo cual la contratación de expertos en la elaboración de diseños de sistemas de paneles solares se hace necesario. En este sentido, el software adquiere pertinencia como alternativa para usuarios del común que carecen de conocimientos avanzados para realizar los cálculos matemáticos necesarios y que desean ahorrar costos en la contratación de expertos en la elaboración de diseño de sistemas de paneles solares.

Ecuaciones aplicadas en la implementación de DISOLFV

De acuerdo a la revisión documental realizada, se encontraron libros, artículos científicos y tesis doctorales que explican el proceso para calcular la cantidad de paneles, baterías, capacidad del regulador controlador e inversor que se utilizaran en un sistema fotovoltaico.

Fase de transición

Para realizar esta fase, se seleccionó un grupo de 15 estudiantes de diferentes programas académicos a que ingresaran a una sala informática de la Universidad de Cartagena y se le proporcionó acceso al software DISOLFV para que lo utilizaran y realizaran el diseño fotovoltaico planteado por ellos. Una vez terminada la interacción de los estudiantes con el software, es decir, cuando finalizaron su diseño, se entregó una encuesta donde se formularon preguntas sobre la facilidad de uso, errores en tiempo de ejecución, entorno amigable, entre otras. El análisis de los datos obtenido de la encuesta arrojó que, el 93,3% de los estudiantes estuvo de acuerdo con la eficiencia del software, mientras que el 6,7% tuvo dificultades con el ingreso de los datos. Las pruebas de usabilidad realizadas a componente software reflejaron que es sencillo y fácil de usar porque presenta funciones y menús sencillos, por lo cual el usuario se encuentra satisfecho con la manipulación del mismo.

Conclusiones

A partir de los resultados, se concluye que la utilización de este componente software será de utilidad para las personas que cuenten con pocos conocimientos sobre el diseño de sistemas fotovoltaicos, debido a que el usuario solo debe ingresar la potencia eléctrica de cada dispositivo eléctrico, el tiempo de uso y el lugar donde se quiere implementar el sistema de paneles solares, lo cual permite ahorrar costos en cuanto a la contratación de expertos en el diseño de soluciones con sistemas de paneles solares. Además, la selección de la ubicación a través de Google Maps le ofrece mayor interacción y facilidad de uso al usuario. Por otro lado, apoya al consumidor en la toma de decisiones estratégicas acerca de los componentes pertinentes para la instalación que desea realizar, puesto que el software muestra varias opciones con dispositivos de calidad y distribuciones de circuitos variada, considerando el presupuesto y las especificaciones técnicas definidas por este.

Referencias bibliográficas

- Abella, M. (2005). *Sistemas fotovoltaicos*. SAPT Publicaciones Técnicas, SL.
- Arencibia-Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 17(9), 1-4.
- Badii, M., Guillen, A., Abreu, J. (2016). Energías Renovables y Conservación de Energía (Renewable Energies and Energy Conservation). *Daena: International Journal of Good Conscience*, 11(1), 141-155.
- Bordens, K., y Abbott, B. (2018). *Research Design and Methods: A Process Approach*. New York: McGraw-Hill Education.
- Cairampoma, M. (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente nomenclatura y clasificación. *Redvet. Revista electrónica de veterinaria*, 16(1), 1-14.
- Christensen, L., Johnson, R., & Turner, L. (2015). *Research Methods, Design, and Analysis (twelfth edition)*. Harlow, England: Pearson Education Limited.
- Dorotić, H., Doračić, B., Dobravec, V., Pukšec, T., Krajačić, G., & Duić, N. (2019). Integration of transport and energy sectors in island communities with 100% intermittent renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 99, 109-124.
- Forget, A. (2011). *Manual de diseño de sistemas fotovoltaicos aislados*. Lima, Perú.
- Granda-Gutiérrez, E., Orta, O., Díaz-Guillén, J., Jiménez, M., Osorio, M., & González, M. (2013). Modelado y simulación de celdas y paneles solares. In *Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica* (pp. 17-22).

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (sexta edición)*. Ciudad de México, Mexico: McGRAW-HILL Education.
- Kusmanto, A., Novita, M., & Thindriati, W. (2020). Design of Electricity Energy Sources in University of PGRI Semarang Using Off-Grid Solar Panel Systems. *7th International Conference on DV-Xa Method: The Advances-Related Experiments and Theories on Material Science*. 835, págs. 1-8. Semarang: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Lamigueiro, Ó., Santos A. y Gil, M. (2012). *Diseño de sistemas fotovoltaicos*. España: J. de Haro Artes Gráficas, S. L.
- Leavy, P. (2017). *Research Design*. Nueva York: The Guildford Press.
- López, G. (2015). *Informática básica: sistema operativo, Internet y correo electrónico. Manual teórico*. EDITORIAL CEP.
- Martínez, A., & Martínez, R. (2014). *Guía a rational unified process*. Escuela Politécnica Superior de Albacete–Universidad de Castilla la Mancha.
- Manrique, A., Monroy, Á., & Cardona, A. (2015). Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca. *Revista Mutis*, 5(1), 55 - 65.
- Nikoobakht, A., Aghaei, J., Khatami, R., Mahboubi-Moghaddam, E., & Parvania, M. (2019). Stochastic flexible transmission operation for coordinated integration of plug-in electric vehicles and renewable energy sources. *Applied energy*, 238, 225-238.
- Solis, R. (2016). *Estudio de flujos de potencia con armónicos utilizando espectros típicos para Costa Rica*.
- Urrego, L., Mendoza, M. V., León, H., & Ocampo, P. (2018). La gestión para cadena de suministro de sistemas de energía solar fotovoltaica en Colombia y su situación actual. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 15(1), 112-130.
- Viñas, L. P. (2013). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Zhang, R., & Hredzak, B. (2019). Distributed Control System with Aperiodic Time-Delayed Sampled Data for Batteries and Renewable Energy Sources in Microgrid. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*.