

Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante una interfaz gráfica

Photovoltaic systems sizing using graphical user interface

Kenneth Vega-Carranza¹, Juan Francisco Piedra-Segura²,
Gustavo Richmond-Navarro³


Fecha de recepción: 13 de agosto de 2018

Fecha de aceptación: 6 de noviembre de 2018

Vega-Carranza, K; Piedra-Segura, J; Richmond-Navarro, G. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos mediante una interfaz gráfica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 32-3. Julio-Setiembre 2019. Pág. 66-78.

DOI: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i3.4480>


1 Ingeniero Eléctrico. Unidad Verificadora de la Calidad del Suministro Eléctrico. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: kennethveca@gmail.com.

 <https://orcid.org/0000-0003-0124-6099>

2 Ing. Electromecánico. Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica y Dirección de Proyectos Caja Costarricense de Seguro Social. Costa Rica. Correo: jpiedraseg@gmail.com.

 <https://orcid.org/0000-0002-7523-4499>

3 Ing. Electromecánico. Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: grichmond@tec.ac.cr.

 <https://orcid.org/0000-0001-5147-5952>



Palabras clave

Energías renovables; sistemas fotovoltaicos; panel solar; batería; regulador de carga; inversor.

Resumen

Este artículo, muestra la implementación de una interfaz gráfica desarrollada en MATLAB para el dimensionamiento de los principales componentes de un sistema fotovoltaico, sea conectado a la red como autónomo. El primer paso consiste en el cálculo de la cantidad de paneles requeridos para cierta demanda de energía y para ciertas variaciones que dependen del sistema y de los niveles de radiación solar en la zona, seguidamente se dimensiona el banco de baterías -para el caso de los sistemas autónomos (*off-grid*)-, posteriormente se dimensionan los inversores y los reguladores de carga -en caso de tener banco de baterías-. Por último, la interfaz muestra una tabla de resumen con la cantidad de elementos a utilizar, así como las características eléctricas nominales de estos.

Keywords

Renewable energy; photovoltaic systems; solar panel; battery; solar controller; inverter.

Abstract

This paper shows a graphical interface implementation carried out using MATLAB to determine the size of the main components of a photovoltaic system. With this interface it is possible to select the main components in off-grid and on-grid systems.

First, it is necessary calculate the photovoltaic array according to the energy demand and some conditions related to solar radiation and the system's configuration.

Then, for off-grid systems, it will be necessary to determine the size and array for the batteries. After that, it will possible to select solar controllers (for off grid systems) and inverters (for both kinds of systems).

Finally, the graphical interface will show a summary table with the quantity of each component and its main electrical specs.

Introducción

Desde hace aproximadamente medio siglo, las fuentes de energía renovables han sido aprovechadas en forma más recurrente por el ser humano, para el desempeño de sus labores cotidianas; entre estas fuentes de energía se encuentran la solar, la eólica y la hidráulica. Durante la revolución industrial (1760-1840) estas fueron desechadas por el bajo precio del petróleo [1]. En la actualidad, el aumento en el precio del petróleo, la creciente demanda de energía eléctrica y el cambio climático comprometen a todas las instituciones e industrias a buscar fuentes de energía renovables. En este sentido los temas relacionados con la energía, como el aumento de los precios del petróleo, tienen consecuencias directas e inmediatas [2]; lo que ha propiciado la búsqueda y aprovechamiento de otras fuentes de energía. Incluso los objetivos de desarrollo sostenible del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo establecen como su sétimo objetivo a la energía asequible y no contaminante [3].

Las fuentes renovables son limpias, de costo cada vez más competitivo y presentan múltiples ventajas. La energía solar fotovoltaica presenta las siguientes características [2]:

- Puede utilizarse en zonas donde no se cuenta con distribución eléctrica, por ejemplo, zonas rurales [4].
- Al ser un sistema sin componentes en movimiento el costo por mantenimiento se reduce y los fallos son menos frecuentes que otros sistemas de energías renovables.
- Los componentes constituyentes prácticamente no generan ruido.
- Durante su operación no generan emisiones de gases contaminantes por lo que ayuda a la conservación del ambiente.

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas de generación de energía eléctrica, que pueden variar en su tamaño y aplicaciones, diseñados para atender pequeñas demandas de energía hasta grandes generadores en parques solares. Como parte de la creciente explotación de energías renovables o limpias, la utilización de herramientas computacionales que faciliten los procesos de diseño es de gran utilidad [4].

En el caso específico de la energía fotovoltaica el diseño de los sistemas, ya sean autónomos o conectados a la red eléctrica, por medio de paquetes computacionales representan una aplicación de gran valor técnico. Este trabajo muestra una interfaz gráfica implementada en la plataforma MATLAB, en la que se permite dimensionar los sistemas fotovoltaicos de pequeña escala, sean autónomos o conectados a la red, de forma rápida y confiable.

Generalidades de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse en forma muy general en dos tipos, a saber, autónomos (*off-grid*) y conectados a la red (*on-grid*).

Los sistemas autónomos son aquellos que no se conectan a la red de distribución eléctrica. Por lo general se ubican en sitios alejados sin servicio eléctrico público. El sistema autónomo permite almacenar la energía por medio de un banco de baterías cuyo dimensionamiento depende entre otros factores de los días de autonomía que se requieran. En muchos casos es más económica la implementación de un sistema fotovoltaico que la instalación de líneas de distribución.

En los sistemas conectados a la red el sistema fotovoltaico está conectado con la red de distribución pública. Por esta razón, es común que no incluyan bancos de baterías; aunque actualmente existe una tendencia para incluir baterías como medio de respaldo. La interacción de la energía, entiéndase como la inyección de electricidad a la red pública cuando existan excedentes desde el sistema fotovoltaico o el consumo de la red cuando se consuma más de lo producido por el arreglo fotovoltaico [5] debe regirse por la legislación nacional o la correspondiente. Por ejemplo, en Costa Rica se debe considerar el decreto 39220-MINAE *“Reglamento generación distribuida para autoconsumo con fuentes renovables modelo de contratación medición neta sencilla”*.

La cantidad de energía que se puede producir depende de varios factores entre los que se pueden mencionar los ambientales (irradiancia y temperatura), geográficos (latitud, presencia de sombras, entre otros) y la eficiencia de los distintos elementos eléctricos del sistema. Por esta razón, cada elemento debe ser evaluado pues influye en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos. El principal factor ambiental es la radiación solar disponible en la zona. Este factor se puede ver afectado por la nubosidad asociada a la estacionalidad del año (en el caso de Costa Rica época seca y lluviosa). Otros factores como la humedad, la temperatura y la velocidad del viento afectan ya sea la eficiencia o durabilidad del sistema [6]. Además, las altas temperaturas disminuyen la eficiencia de los paneles fotovoltaicos [7]. Un factor geográfico de suma relevancia es la latitud, pues esta determina factores de instalación y su eficiencia [8].

Debido a la ubicación de Costa Rica se recomienda que los paneles fotovoltaicos se orienten hacia el sur con una inclinación entre 0 y 15 grados aproximadamente. La presencia de las sombras producidas por montañas, edificios u otros elementos que obstaculicen la radiación solar sobre celdas fotovoltaicas deben considerarse pues pueden reducir el rendimiento del sistema.

Los aspectos eléctricos que disminuyen la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos tales como pérdidas en los conductores por efecto Joule, eficiencia en la conversión corriente continua-corriente alterna en los inversores y pérdidas en los acumuladores de energía (baterías) deben ser también considerados.

Método de cálculo seleccionado

En [5] se expone en forma clara los métodos de cálculo existentes para sistemas fotovoltaicos. Los métodos de cálculo han variado poco desde hace algunos años.

A partir de ese momento, el desarrollo del tema de energía solar fotovoltaica se ha centrado principalmente en diseño de paneles fotovoltaicos, inversores, reguladores de carga y baterías más eficientes y económicos. Si bien el método desarrollado no incluye el efecto de variables como el ángulo de inclinación o la temperatura ambiente; incluye otras variables que a criterio de los autores hacen del método una aproximación confiable en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

Existen diferentes métodos para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, unos más complicados que otros. El método que se utiliza para el desarrollo de la interfaz es de los más sencillos que existen, dado que se busca que una persona, con conocimientos intermedios en el tema, pueda realizar el dimensionamiento de estos sin necesidad de entender desarrollos matemáticos avanzados; dando a su vez una buena aproximación en los resultados. En los sistemas conectados a la red se busca maximizar la producción de energía mientras que en los sistemas autónomos se busca mayoritariamente la fiabilidad, es decir se busca minimizar los fallos en el sistema [9] y el suministro de energía cuando se requiera, incluso en períodos de baja radiación solar. El método se basa en la estimación del consumo de energía y el dimensionamiento del equipamiento: generador fotovoltaico, banco de baterías y regulador de carga (para sistemas autónomos) e inversor (tanto para sistemas conectados a la red como sistemas autónomos). La diferencia básica en la topología y el método de dimensionamiento para sistemas autónomos y conectados a la red, radica en los elementos que conforman el sistema de acumulación de energía y su control. Se utilizarán las mismas ecuaciones, sin considerar las variables y coeficientes que sean parte de dicho sistema. En la figura 1, se muestra un diagrama de flujo de la interfaz diseñada, en dicho diagrama existe una toma de decisión con respecto al tipo de sistema, de ser un sistema autónomo se sigue la secuencia del algoritmo, diseñando así el sistema de acumulación, de tratarse de un sistema conectado a la red, se omitiría el sistema de acumulación y se procede al dimensionamiento de los inversores. La interfaz permite seleccionar la opción por seguir según el tipo de sistema sobre el que se trabaja.

Estructura de la interfaz

La interfaz gráfica se diseñó utilizando la herramienta GUI (*graphical user interface*) de *MATLAB*, basándose en [10]. La herramienta desarrollada es de fácil uso y comprensión, presenta interfaces accesibles, lo que permite al usuario una interacción rápida e intuitiva. En la figura 2, se muestra la ventana inicial del programa.

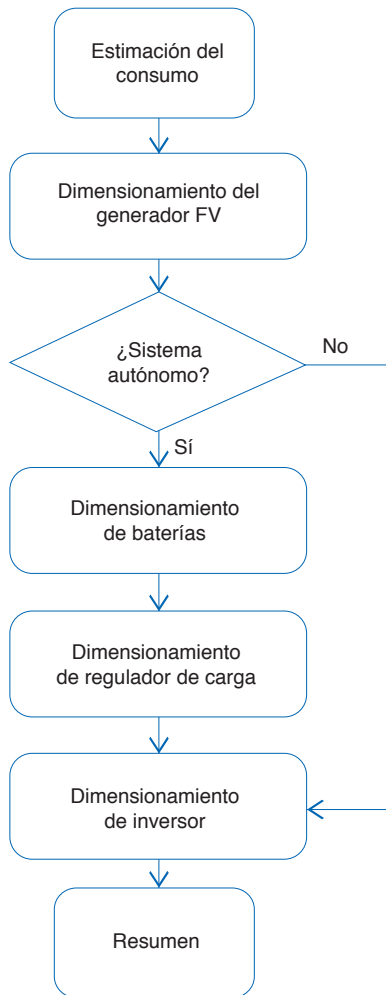


Figura 1. Diagrama de flujo de la interfaz.

Esta ventana se compone de cinco bloques, el bloque llamado Coeficientes Rendimiento del Sistema que despliega los cuatro coeficientes involucrados en la ecuación 1. Según [11] la ecuación 1 calcula el rendimiento del sistema, permitiendo estimar la eficiencia real del sistema al considerar algunos factores que producen pérdidas de energía.

$$R = \left(1 - k_b - k_c - k_v\right) \left(1 - \frac{k_a N}{P_d}\right) \quad (1)$$

Donde R es el rendimiento global del sistema, k_b , coeficiente de pérdidas en el acumulador, k_c el coeficiente de pérdidas en el inversor, k_v ; coeficiente de pérdidas varias, k_a el coeficiente de auto descarga, N el número de días de autonomía del sistema y P_d la profundidad de descarga de las baterías (a criterio profesional se recomienda que sea igual o mayor a 80% [6], esto para no perjudicar la vida de útil de las mismas). No obstante, un valor mínimo de 50% de profundidad de descarga es aceptado en baterías con tecnología ácido plomo inundadas o de gel (VRLA); siendo las comúnmente utilizadas actualmente.

En el bloque titulado Cálculo Energía, se introducen los días de autonomía del sistema, la profundidad de descarga y la energía teórica; es decir, la energía demandada estimada o medida (generalmente para sistemas conectados a la red se utilizan datos de energía producto de mediciones) sin incluir las pérdidas del sistema. Para sistemas conectados a la red donde

no se deben considerar los días de autonomía ni la profundidad de descarga; el usuario de la interfaz solamente tiene que digitar cero y esta no considerará tales variables. Esta energía teórica puede ser digitada en el espacio (si se cuenta con el dato de medición) o podrá calcularse, para ello se presiona Calcular y se muestra la ventana de la figura 3.



Figura 2. Interfaz para el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico.

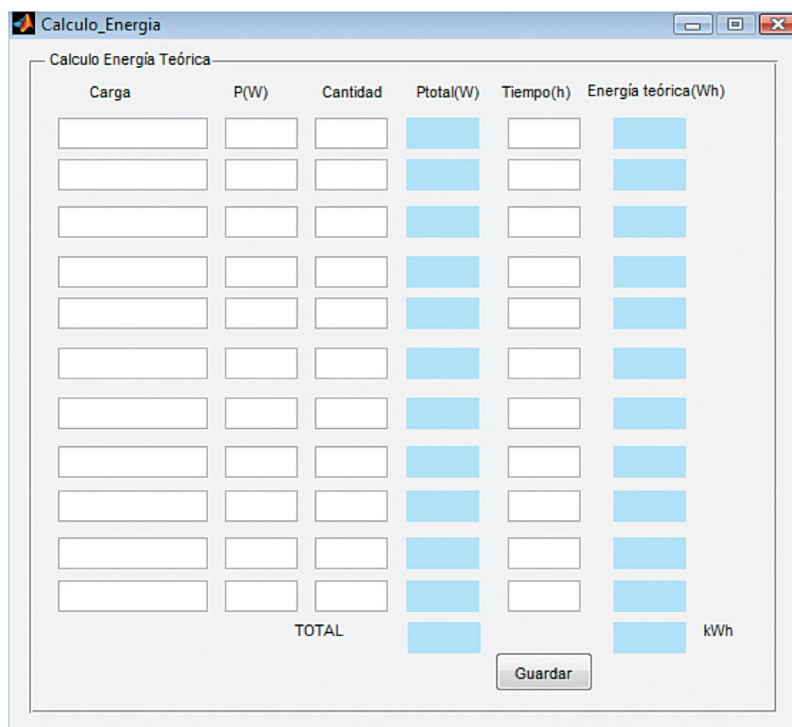


Figura 3. Cálculo de energía teórica.

En la ventana de la figura 3, en la casilla de Carga se puede describir el tipo de carga y posteriormente indicar la potencia nominal de la misma, la cantidad de cargas iguales y el tiempo estimado de uso. La interfaz calcula la energía teórica para cada una de las cargas y la total del sistema. Los espacios sombreados muestran los resultados de los cálculos.

Una vez que se conoce el dato de energía teórica (E_T) el programa es capaz de calcular la energía real (E) (incluyendo las pérdidas de energía ya descritas), la cual se obtiene de la ecuación (2) de acuerdo con [11]:

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (2)$$

El bloque titulado como HPS (horas pico solares) y Potencia despliega una lista de las horas solares pico mínimas anuales en algunas regiones del país; estos datos son reales tomados del Instituto Meteorológico Nacional [12] de Costa Rica para el caso en estudio y representan una base de datos interna en el programa desarrollado. También, se incluye otra base de datos de modelos de paneles solares, los cuales se encuentran disponibles en el mercado nacional, con sus determinadas potencias nominales y modelos. Ambas bases de datos y otras que se mencionarán más adelante, pueden ser actualizadas por un usuario con conocimientos en MATLAB.

Con estos datos y los obtenidos anteriormente ya se puede calcular el número de paneles solares necesarios para alimentar la carga, para este cálculo se utiliza la ecuación 3 [11]. El resultado se muestra en el bloque Paneles una vez que se presiona el botón Calcular, que se encuentra en este mismo bloque.

$$N_p = \frac{E}{0,9 \times W_p \times HPS} \quad (3)$$

Donde N_p es el número de paneles, y W_p la potencia nominal del panel, comúnmente llamada potencia pico.

El último bloque de esta ventana (ver figura 2), tiene cuatro funciones específicas, la primera Salir que al presionarlo finaliza la aplicación, la segunda Limpiar que borra los datos calculados (más no los digitados) y por último están las opciones Baterías e Inversores, estas últimas dos opciones nos llevan al dimensionamiento de las baterías o en su defecto al dimensionamiento de los inversores. Al presionar Baterías se muestra la ventana que se observa en la figura 4, al presionar Inversores se obtiene la ventana mostrada en la figura 6. En los sistemas autónomos, existe una necesidad intrínseca de almacenar energía por lo que un banco de baterías (acumuladores de energía) es necesario y es el medio más usado [13], [5] con el fin de proveer energía en períodos de alta nubosidad donde el rendimiento del generador fotovoltaico es bajo o en las noches donde la generación de electricidad es nula. En caso contrario si el sistema es *on-grid*, se procedería al dimensionamiento de los inversores en forma directa, siendo una elección que debe tomar el usuario de la interfaz.

La ventana de la figura 4, posee tres recuadros, en Características de la Batería se encuentran: la capacidad de cada batería, la tensión de la misma y la tensión del sistema. Para calcular la capacidad requerida del banco de baterías se utiliza la ecuación (4),

$$C = \frac{E \times N}{V \times P_d} \quad (4)$$



Figura 4. Dimensionamiento del banco de baterías.

Donde C es capacidad del banco de baterías y V la tensión de la batería. el número de baterías se calcula con la ecuación (5) de acuerdo con [11].

$$N_b = \frac{C}{C_{bat}} \quad (5)$$

Donde N_b es el número de baterías y C_{bat} la capacidad de la batería (Ah), la cual corresponde a la capacidad de las baterías disponibles comercialmente.

Se debe resaltar que una de las características más importantes durante la operación de las baterías es el número de ciclos de operación [6], situación que se debe considerar como una característica adicional a la capacidad seleccionada y considerando que estas deben ser de ciclo profundo. La conexión de las baterías, o los arreglos de estos en su configuración, también se facilita, considerando la tensión del sistema y la cantidad de baterías calculadas.

En el bloque Baterías, se muestran los resultados tras aplicar las ecuaciones anteriores. En el bloque superior derecho se cuenta con cuatro opciones, Salir, Limpiar, Iniciar (que devuelve al usuario a la ventana principal) y Regulador. Al presionar este último se obtiene la ventana mostrada en la figura 5.

Para este caso, se elige el tipo de regulador en el bloque Reguladores de carga, esto tomando en cuenta la tensión del sistema seleccionado. Con el dato de la corriente de corto circuito máxima de los paneles solares y la corriente máxima que soporta el regulador, es posible calcular la cantidad de reguladores de carga requeridos. Según [9] las ecuaciones requeridas para el cálculo del número de reguladores N_R son las mostradas en (6) y (7).

$$I_t = I_{SC} \times N_{pp} \quad (6)$$

$$N_R = \frac{I_t}{I_R} \quad (7)$$

Donde I_t es corriente de corto circuito máxima total, I_{sc} la corriente de corto circuito máxima por panel, N_{pp} el número de paneles en paralelo e I_R la corriente máxima del regulador.



Figura 5. Dimensionamiento de los reguladores de carga.

Continuando en el recuadro Reguladores de carga, se muestra la distribución que deben tener los paneles, utilizando para esto las ecuaciones (8) y (9) según [9]. En el caso de paneles en serie:

$$N_{ps} = \frac{V}{V_p} \quad (8)$$

Donde N_{ps} es el número de paneles en serie y V_p la tensión nominal del panel. Para el caso de paneles en paralelo.

$$N_{pp} = \frac{N_p}{N_{ps}} \quad (9)$$

Donde N_{pp} es el número de paneles en paralelo.

El tercer bloque cuenta con las mismas opciones de la ventana anterior, con la diferencia de que el siguiente elemento a dimensionar son los inversores. Si se presiona el botón Inversores, se obtiene la ventana de la figura 6. Esta cuenta con dos bloques principales, uno que involucra los inversores de gran potencia (recomendados para sistemas autónomos y utilizados en sistemas conectados en la red alternativamente) y otro bloque con los micro-inversores (utilizados por lo general para sistemas conectados a la red) [14]. El número de inversores de gran potencia necesarios se calcula tomando como referencia la potencia total del sistema. Por otra parte, los micro inversores generalmente van conectados en cada uno de los paneles, esto significa que el número de micro inversores es comúnmente igual al número de paneles.

Por último, al presionar el botón Tabla Resumen, la interfaz genera una tabla con el número de elementos a utilizar en el proyecto, así como sus principales características (tensiones, corrientes, potencias) y los arreglos recomendados para baterías y paneles. Por tanto, en este punto se cuenta con la información primordial para implementar el sistema fotovoltaico. En la figura 7, se muestra la tabla resumen que genera el programa.

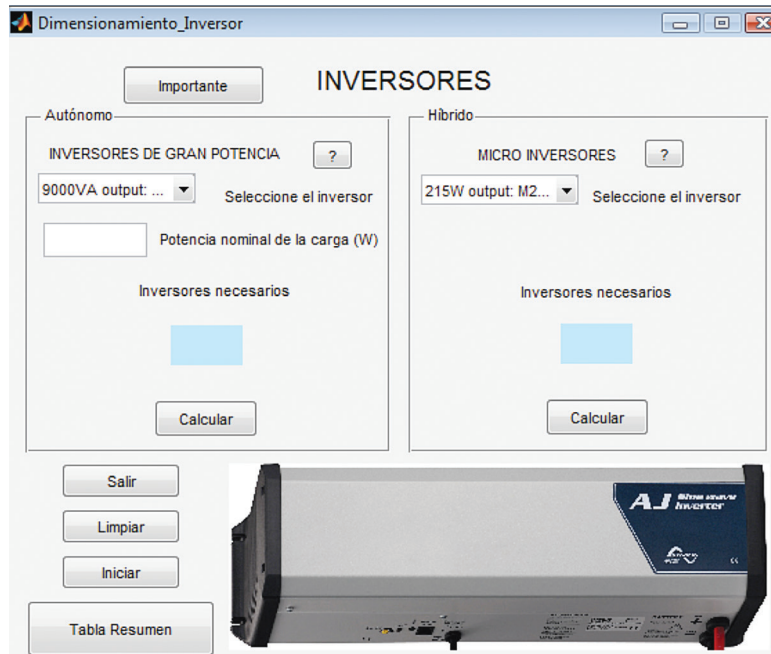


Figura 6. Dimensionamiento de los inversores.

Se resalta que entre las características generales de la interfaz se encuentra la disposición de botones de ayuda en cada una de las interfaces que permiten al usuario consultar información relacionada con el uso de esta herramienta computacional.

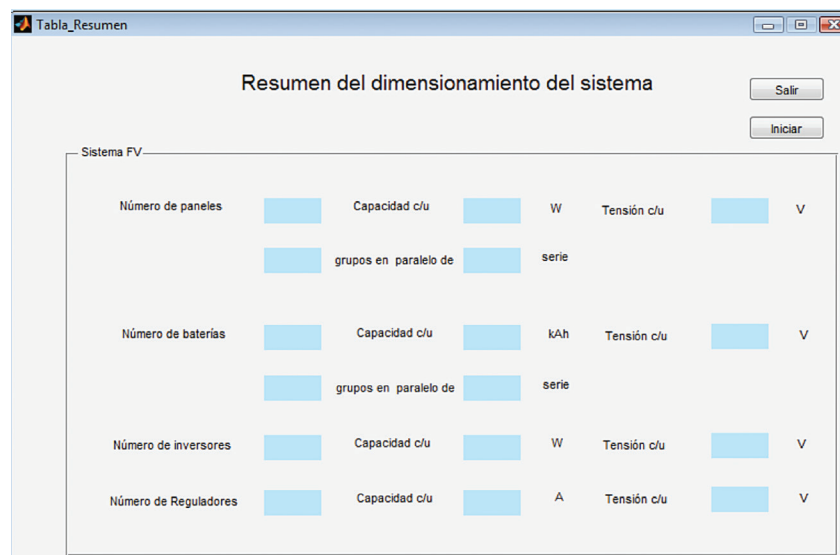


Figura 7. Diagrama de flujo de la interfaz.

Validación

Se usa como referencia para la validación, un ejemplo desarrollado por [9] para un sistema autónomo, esto porque el método utilizado por los autores para calcular la energía real del sistema presenta diferencias con respecto al utilizado para el desarrollo de la interfaz. De esta forma se valida tanto la interfaz como el método utilizado.

Se cuenta con un sistema que posee un consumo energético teórico de 3 kWh, una potencia demandada de aproximadamente 800 W, paneles de 106 W, HPS de 1,5 kWh/m². 6 días de autonomía y una profundidad de descarga en las baterías del 60%, los datos obtenidos por [9] se muestran en el cuadro 1. Para la solución obtenida en este ejemplo, la distribución del arreglo fotovoltaico se compone de 14 grupos en paralelo de 2 en serie.

Tras ingresar los datos a la interfaz se obtiene la solución. El cuadro 1 también muestra los resultados obtenidos y los compara con los correspondientes por [9].

Cuadro 1. Validación de los resultados obtenidos.

Elemento	Solución de referencia		Solución propuesta	
	Cantidad	Capacidad	Cantidad	Capacidad
Paneles	27	106 W	21	100 W
Banco de baterías	-	1389 A.h	-	1960 A.h
Reguladores	-	182 A	2	80 A
Inversor	1	600 W	1	800 W

Fuentes: [9] y resultados según la interfaz propuesta.

Tras ingresar los datos a la interfaz se obtuvo como resultado lo mostrado en el cuadro 1. Se puede observar que los resultados son similares. En la solución propuesta se usó un HPS de 2.3 kWh/m² que era el más próximo al utilizado en la referencia; lo anterior pues la base de datos de la interfaz fue completada con datos para Costa Rica.

Adicionalmente el panel utilizado fue de 100 W, según los datos de la base de datos en la interfaz. Existen otras diferencias que no son significativas pues son propias de este tipo de procesos de dimensionamiento. Según la cantidad de paneles, su potencia y las HPS utilizadas la energía es de 4830 kWh/día; siendo rendimientos del generador fotovoltaico bastantes similares. La configuración dada por la interfaz es de 11 grupos en paralelo de 2 paneles en serie.

Lo siguiente consiste en realizar el cálculo para el mismo consumo de energía, pero esta vez para un sistema conectado a la red, el resultado obtenido es de 18 paneles de 100 W y 18 inversores, estos conectados a cada uno de los paneles. Se puede ver la disminución del número de paneles esto porque se desprecian las pérdidas provocadas por el sistema de almacenamiento de energía.

Al momento de la elaboración del presente artículo la interfaz fue utilizada en varios dimensionamientos de sistemas, mostrando resultados confiables en comparación con los obtenidos mediante otros métodos aplicados.

Conclusiones

La energía solar fotovoltaica es un recurso que se encuentra en expansión en el mundo y Costa Rica no es la excepción. El proceso del dimensionamiento de los principales componentes, tanto para sistemas conectados a la red como autónomos, se puede realizar por medio de diferentes procesos que en esencia consideran los mismos criterios de diseño en muchas etapas del proceso. Adicionalmente, existen varios softwares comerciales que permiten desarrollar este proceso en forma rápida. No obstante, algunos no son gratuitos, lo que limita en cierta forma su uso. Debido a lo anterior el desarrollo de una interfaz gráfica permite el acceso a un proceso ágil y confiable sin incurrir en gastos adicionales.

De los resultados obtenidos, al realizar las diferentes pruebas con la interfaz propuesta, se puede concluir que:

- La interfaz propuesta calcula de forma correcta la cantidad de elementos necesarios y sus principales características eléctricas para un sistema fotovoltaico, ya sea autónomo o conectado a la red, siendo funcional y sencilla de utilizar.
- La distribución de baterías que se despliega es tal cual debe implementarse, así como el arreglo de los paneles fotovoltaicos, lo anterior considerando las variables eléctricas esenciales para la integración de estos elementos en un sistema.
- Si el número de paneles es impar la distribución redondea dicha asignación al número par más cercano y el ajuste se considera para el resto del proceso de dimensionamiento.
- Es posible obtener los reguladores de carga e inversores, con los que se definen los principales elementos.
- Es posible realizar el dimensionamiento de los componentes de los sistemas fotovoltaicos, conectados a la red o autónomos, en forma sencilla, rápida y confiable.

Algunos elementos pueden ser incorporados como mejoras a la interfaz desarrollada para considerar variables adicionales que afectan el rendimiento del sistema, por ejemplo, la temperatura tanto en los paneles fotovoltaicos como en las baterías y la inclinación del arreglo fotovoltaico de manera que el método de cálculo sea más confiable. Además, se puede automatizar el proceso de actualización de las bases de datos con los datos de HSP y especificaciones técnicas de forma que la integración de la nueva información sea más sencilla.

Referencias

- [1] Soluciones Energéticas S.A, «Breve introducción a las energías renovables,» S.F. [En línea]. Available: <http://www.solener.com/index.html>. [Último acceso: 02 Mayo 2018].
- [2] G. Carta, R. Calero-Pérez, A. Colmenar-Santos y M. Castro-Gil, Centrales de Energías Renovables-Generación Eléctrica con Energías Renovables, Madrid: Pearson Education S.A. , 2009.
- [3] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, «Objetivos de desarrollo sostenible,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>. [Último acceso: 19 04 2018].
- [4] NABCEP, «Photovoltaic (PV) Installer Resource Guide,» NABCEP, Clinton, New York, 2012.
- [5] E. Endo y K. Kurokawa, «Sizing procedure for photovoltaic systems,» de 1st World Conference on Photovoltaic Energy Conversion - WCPEC (A Joint Conference of PVSC, PVSEC and PSEC), Waikoloa, HI., 1994.
- [6] Energy (European Commission), «Universal technical standard for solar home systems,» 07 07 1999. [En línea]. Available: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d97b36dd-2431-4c57-b525-74106bb4a1be/language-en>.
- [7] H. Kazem, «Feasibility of photovoltaic systems in Oman,» de First Workshop on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE), Doha, 2015.

- [8] E. Sassine, «Optimal solar panels positioning for Beirut,» de 7th International Renewable Energy Congress (IREC), Hammamet, Tunisia, 2016.
- [9] J. Aguilera y L. Hontoria, «Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos,» S.f. [En línea]. Available: <https://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>.
- [10] D. Barragán Guerrero, «Manual de Interfaz Gráfica de Usuario en Matlab,» 21 08 2007. [En línea]. Available: https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/19/%255Bmatlab%255D_MATLAB_GUIDE.pdf.
- [11] D. Oñate-Arresti, «Diseño de una Instalación Solar Fotovoltaica,» s.f, 2006.
- [12] Ministerio de Ambiente y Energía e Instituto Meteorológico Nacional, «Series de Brillo Solar en Costa Rica,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>.
- [13] R. Guardiola, «Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica de 1,1 MW.,» Universidad Rovira I Virgili, Tarragona, 2008.
- [14] A. M. Raboso, «Diseño de un Sistema Fotovoltaico para Alimentar una Potabilizadora Desalinizadora Autónoma,» Universidad Internacional de Andalucía, Andalucía, 2013.