

Procedimiento para el dimensionamiento de sistemas autónomos de generación de energía solar fotovoltaica

Procedure for sizing of offgrid photovoltaic energy systems

Oscar Camilo Fuentes Amín, Mariano Esteban Romero Torres

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnologías e Ingenierías – Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, Sahagún, Colombia.

oscar.fuentes@unad.edu.co, mariano.romero@unad.edu.co

Resumen

Conociendo el impacto negativo sobre el medio ambiente, que pueden producir los sistemas autónomos de generación de energía solar por el uso de baterías, se propone un procedimiento básico para el dimensionamiento de estos sistemas, con el fin de obtener diseños más precisos y así mitigar el uso excesivo de las mismas.

El procedimiento se realizó a partir de siete pasos, comenzando por la caracterización de la carga, la estimación de la radiación solar en una zona geográfica específica, el dimensionamiento y la configuración de los módulos fotovoltaicos, la escogencia del controlador de carga y el inversor, y el cálculo del banco de baterías con el fin de suplir la demanda energética en horas de poca producción solar.

Se muestra como resultado un algoritmo representado en forma de diagrama de flujo, donde se resume un procedimiento estándar para el diseño de sistemas autónomos de energía solar, con el propósito de brindar a las empresas comercializadoras, una herramienta que permita agilizar los procesos de diseño y venta de estos sistemas, pero a la vez se garantice una implementación ajustada sin aumentar los efectos sobre el medio ambiente.

Palabras clave: *acumuladores de carga, energía solar, medio ambiente.*

Abstract

By Knowing the negative effects on environment, produced by Solar Off Grid Systems, according to use of batteries, it is shown a basic process for the design of photovoltaic devices, for the purpose of that systems are becoming more and more accurate and to limit the use of batteries.

The process was made from seven steps, which began with the charge characterization, solar radiation estimation in a specific geographic area, setup and sizing of photovoltaic modules, the choose of solar regulator and inverter, and the calculation of the battery bank designed to enable autonomous operation when there is little sunshine.

It is shown an algorithm in the form of a flow chart, as a result of this work, which is a basic standard process about the design of Solar Off Grid Systems, for the purpose of offer to

trading companies a tool that allows them to improve the design and sell of these systems, ensuring a tight implementation without increasing the effects on the environment.

Key words: *Solar energy, Battery bank, Environment.*

1. Introducción

El abastecimiento de energía eléctrica se ha convertido en una problemática ambiental, ya que los procesos convencionales de transformación de energía tienen una incidencia negativa sobre el medio ambiente. En el año 2017, la producción de electricidad y calor a partir de gas, petróleo y carbón emitió más de 13 mil toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, 2975 $MtCO_2$, 715 $MtCO_2$ y 9761 $MtCO_2$ respectivamente (International Energy Agency, 2020). A medida que la sociedad evoluciona, crece la dependencia hacia los dispositivos eléctricos y con esto la demanda de electricidad, por esto se han elaborado diversos métodos y normas que permiten dimensionar el impacto del uso de la energía en diferentes sectores (International Organization for Standardization, 2006; British Standards Institution, 2011). De acuerdo a las problemáticas planteadas, es conveniente que la producción de energía eléctrica se apoye en procesos más amigables con el planeta.

Muchas investigaciones apuntan a la generación de energía eléctrica a partir de

paneles solares fotovoltaicos, sin embargo, la implementación de estas tecnologías no siempre garantiza un aporte positivo determinante. Existen sistemas de generación de energía solar, comúnmente conocidos como “sistemas autónomos”, los cuales se componen de un grupo de paneles solares, un arreglo de baterías, un equipo llamado controlador de carga y un equipo llamado inversor, que en conjunto transforman la luz del sol en una forma de energía eléctrica estándar. Uno de los puntos críticos de este tipo de sistemas es el uso de baterías, ya que éstas se conforman de materiales nocivos para el medio ambiente (Castro & Díaz, 2004), sumado a esto, su vida útil es de aproximadamente cinco años; así que, cambiar baterías cada vez que se dañen no es una actividad favorable, ni para el planeta ni para la economía. Una vez reconocidas estas condiciones, es pertinente aclarar que el dimensionamiento de este tipo de sistemas debe ser un proceso riguroso, con mucha precisión y que permita equilibrar el costo y el beneficio de los proyectos.

El cálculo para el dimensionamiento de sistemas de generación de energía solar ha

tenido muy buenos avances, en cuanto procedimientos resumidos en hojas de cálculo, aplicaciones de cómputo o incluso aplicaciones Android, (Capacho, Pinzón, & Cely, 2017; Fernández, Molina, Ruiz, & Jiménez, 2012). Incluso los mismos comerciantes, con el fin de agilizar ventas, se han puesto en la tarea de prediseñar sistemas de energía solar empaquetados, lo cual puede llegar a ser contraproducente. Es importante que se sepa de dónde salen los datos, y enfocarse en diseños personalizados, ya que como se ha mencionado antes, hay un impacto que

eléctrica del tipo DC (corriente directa). Por su parte, las baterías se encargan de almacenar la energía para brindarla en horas de poca producción solar. El controlador de carga es responsable de gestionar la energía de los paneles solares y cargar las baterías de forma óptima. Finalmente, el inversor es el equipo encargado de transformar la energía de tipo DC en energía de tipo AC (corriente alterna) regulada y apta para su uso en electrodomésticos.

De acuerdo al número de módulos

Tabla 1. Caracterización de la carga

Cantidad	Descripción	Potencia	Horas	Potencia total	Energía
C_1	Electrodoméstico 1	P_1	h_1	$P_{T1} = C_1 * P_1$	$E_{T1} = P_{T1} * h_1$
C_2	Electrodoméstico 2	P_2	h_2	$P_{T2} = C_2 * P_2$	$E_{T2} = P_{T2} * h_2$
C_3	Electrodoméstico 3	P_3	h_3	$P_{T3} = C_3 * P_3$	$E_{T3} = P_{T3} * h_3$
Total				$\sum P_T$	$\sum E_T$

depende de la cantidad de baterías utilizadas, y es que, la solución implementada para un proyecto específico no necesariamente es la solución que aplica en otro. Con estas consideraciones, se propone un procedimiento de cálculo instructivo, como herramienta de diseño de sistemas autónomos de energía solar, a partir de la estimación de cargas y la adquisición de información meteorológica, de manera que la implementación de este tipo de sistemas conlleve a un impacto positivo real.

2. Método y experimentación

Son cuatro los dispositivos que se usan para transformar la energía proveniente del sol en energía eléctrica, estos son; módulos fotovoltaicos, baterías, controlador de carga e inversor. La función de los módulos fotovoltaicos es la transformación de luz solar en energía

fotovoltaicos usados, se obtiene mayor o menor energía, sin embargo hay que garantizar un dimensionamiento del resto de equipos que permita gestionar la energía de manera precisa. A continuación, se plantea un procedimiento que permite diseñar un sistema de energía solar, capaz de suministrar la energía eléctrica requerida en una carga:

2.1 Dimensionar la carga

Es importante conocer las condiciones energéticas requeridas por la carga, lo cual es preciso para el dimensionamiento del sistema. En este sentido se propone la creación de una tabla donde se diligencie la información de los electrodomésticos, ver Tabla 1.

En la Tabla 1 se muestran las variables C_1 , C_2 , C_3 , y así indefinidamente, de la primera columna, correspondientes al

número de electrodomésticos que serán alimentados con energía solar, en la segunda columna se describe el tipo de electrodoméstico, seguido de la potencia unitaria denotada por la letra P , las horas estimadas de uso de cada electrodoméstico h , la potencia total P_T y la Energía total E_T . Los valores de Potencia total y Energía total resultantes de la caracterización de la carga, serán la base para el dimensionamiento del sistema. En el caso de la energía se propone adicionarle un 20% por posibles pérdidas.

2.2 Dimensionar los módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos deben cumplir con unas especificaciones técnicas y de seguridad, para tener en cuenta estos lineamientos se recomienda seguir la norma NTC 5899 (Icontec, 2011). Para calcular el número de módulos fotovoltaicos a usar, es preciso partir de dos conceptos básicos que resultan de la incidencia de los rayos del sol en la tierra; la irradiancia, que se puede entender como la potencia eléctrica por metro cuadrado, y la radiación solar, que corresponde a la energía por metro cuadrado obtenida a lo largo de un día (Rakesh, Anbazhagan, & Jayabal, 2019). La potencia eléctrica es un valor instantáneo, corresponde a la multiplicación del voltaje por la corriente de los módulos fotovoltaicos y se mide en watts [W]. La energía por su parte es un valor acumulado y corresponde a la multiplicación de la potencia eléctrica por el tiempo transcurrido, la cual se mide en watts hora [Wh]. El número de módulos fotovoltaicos debe ser tal que garantice que la energía acumulada a lo largo del día sea igual a la energía total calculada en la Tabla 1. Teniendo en cuenta esta condición, se propone calcular en primera

instancia la potencia que se debe obtener de los módulos fotovoltaicos de forma instantánea, como se muestra en la ecuación 1.

$$Pp = \frac{E_T}{H_S} \quad (1)$$

Donde:

Pp : Potencia pico [W]

E_T : Energía total [Wh]

H_S : Horas efectivas de sol [h]

De la ecuación anterior se conoce la energía total requerida, la cual se calcula a partir de la Tabla 1, sin embargo, se desconoce el tiempo correspondiente a las horas efectivas de sol. Para estimar las horas de sol en una zona geográfica cualquiera, es necesario conocer el comportamiento de los rayos del sol en la misma, por lo que se recurre a los conceptos de irradiancia y radiación solar. En la Figura 1 se muestra la irradiancia del sol en la tierra, medida en W/m^2 por metro cuadrado, de acuerdo a las longitudes de onda que inciden en el planeta.

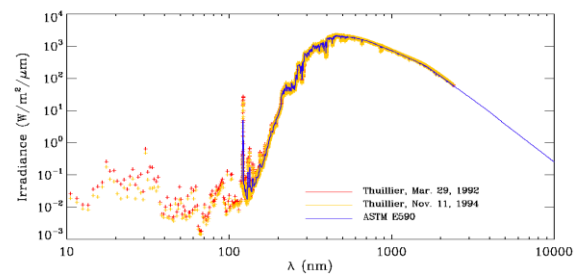


Fig 1. Irradiancia en watts por metro cuadrado (NASA, 2008).

A partir de las medidas mostradas en la Figura 1, se puede estimar que la tierra recibe alrededor de 1kW de potencia por

metro cuadrado, correspondiente al espectro de luz visible.

Por otro lado, es importante conocer la radiación solar, la cual corresponde a la energía que se puede obtener del sol en un metro cuadrado a lo largo de un día. Para obtener este valor se puede recurrir a diferentes bases de datos, donde se registra la radiación solar de acuerdo a diferentes zonas geográficas, para Colombia, por ejemplo, se puede utilizar la plataforma Atlas del IDEAM (IDEAM, 2005).

Según la zona escogida en Atlas, se obtiene una tabla con la medida de radiación solar, la cual se da en watts hora por metro cuadrado [Wh/m^2] a lo largo del día. La tabla muestra la radiación solar promedio por cada mes del año, por lo que se sugiere escoger la menor radiación obtenida a lo largo de los meses. Con este dato y la irradiancia es posible estimar las horas de sol, como se muestra en la ecuación 2.

$$H_s = \frac{R}{I} \quad (2)$$

Donde:

H_s: Horas efectivas de sol [h]

R: Radiación solar [Wh]

I: Irradiancia [W]

Lo anterior no quiere decir que el sol brilla solamente en las horas determinadas, con una potencia de $1.000 W/m^2$ constante, sino que se estima como un promedio en el que el sol ha suministrado ese equivalente de energía a lo largo del día.

Volviendo al cálculo de potencia pico, se sabe que dividiendo la energía total

entre las horas de sol se obtiene la potencia eléctrica que deben suministrar los módulos fotovoltaicos, así que se reemplazan los valores en la ecuación 1 y se obtiene la potencia pico.

Con la potencia pico establecida, el siguiente paso sería calcular el número de módulos necesarios para obtener esa potencia, para esto es importante conocer la potencia nominal de un módulo fotovoltaico y aplicar la ecuación 3:

$$N = \frac{P_p}{P_m} \quad (3)$$

Donde:

N: Número de módulos fotovoltaicos

P_p: Potencia pico [W]

P_m: Potencia de un módulo fotovoltaico [W]

La cantidad de módulos fotovoltaicos debe ser, en lo posible, un número par, con el propósito de facilitar las conexiones más adelante. Para finalizar con esta fase, se propone elaborar una tabla donde se muestre el resumen de los parámetros correspondientes al dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos, cuyos datos son ofrecidos por el fabricante del equipo, ver Tabla 2.

Tabla 2. Dimensionamiento de módulos fotovoltaicos

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia nominal	P_m	[W]
Voltaje máximo	V_{MAX}	[V]
Voltaje de circuito abierto	V_{OC}	[V]
Corriente de corto circuito	i_{SC}	[A]
Cantidad	N	

2.3 Escoger el voltaje dc del sistema

En esta fase también se escoge el controlador de carga, teniendo en cuenta los parámetros de la Tabla 2 y los datos técnicos ofrecidos por los mismos fabricantes de estos equipos. De esta manera se escoge un controlador, se diligencia su información en una tabla y más adelante se procede a descartar o confirmar el equipo, ver Tabla 3.

Tabla 3. Información técnica del controlador de carga

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje de trabajo	$V_1 V_2 V_3 V_4$	[V]
Voltaje máximo de entrada	V_{IMAX}	[V]
Potencia máxima	$P1(V1) P2(V2) P3(V3) P4(V4) $	[W]
Corriente nominal	I	[A]

Los controladores de carga traen dos o hasta cuatro posibilidades de voltaje de trabajo, generalmente estos voltajes son múltiplos de 12. Este parámetro es determinante para saber cómo conectar las baterías; por ejemplo si se escoge 12V, entonces el arreglo de baterías debe ser en paralelo, teniendo en cuenta que las baterías vienen a 12V y que el voltaje resultante de una conexión en paralelo es igual al de una batería individual. Las otras opciones de voltaje pueden ser 24V, 36V y 48V, lo cual indica que deben conectarse

varias baterías en serie para lograr la suma de voltaje respectiva.

Ahora bien, no hay un criterio absoluto para escoger el controlador y el voltaje de trabajo o arreglo de baterías; como se aprecia en la Tabla 3 el controlador puede trabajar con diferentes potencias de entrada, y éstas dependen del voltaje escogido. Así pues, si se prefiere trabajar con el voltaje V_1 , entonces el controlador podrá soportar en su entrada la potencia $P1$, si se escoge trabajar con el voltaje V_2 , entonces el controlador podrá soportar en su entrada la potencia $P2$, en este sentido, cuanto mayor sea el voltaje escogido, mayor será la potencia que pueda soportar el controlador en su entrada. Considerando lo anterior, se propone multiplicar la potencia nominal de un módulo fotovoltaico " P_m " por la cantidad a usar " N " para conocer la potencia máxima que va a entrar al controlador, estos datos se aportan en la Tabla 2. Seguidamente se debe verificar el parámetro de potencia máxima del controlador, lo cual se muestra en la Tabla 3, e identificar cuál de las potencias del controlador supera la potencia de los módulos fotovoltaicos. A partir de lo anterior se pueden presentar varias situaciones; la primera es que ninguna de las potencias del controlador supere la potencia de los módulos fotovoltaicos, en cuyo caso se debe buscar un controlador más grande, es decir, de mayor amperaje, la segunda es que todas las potencias superen la cantidad hallada, así que se recomienda buscar un controlador un poco más pequeño, es decir, con menor amperaje, o en su defecto escoger el voltaje de trabajo más pequeño del controlador, la tercera es que algunas de las potencias del controlador superen la potencia de los módulos fotovoltaicos y

algunas no, en ese caso se escoge el voltaje correspondiente a la potencia más pequeña dentro de las que superen dicha cantidad. A partir del ensayo y error propuesto en esta fase, será posible establecer el tipo de controlador de carga a usar y el voltaje dc del sistema.

2.4 Diseñar el arreglo de los módulos fotovoltaicos

Para determinar el arreglo de los módulos fotovoltaicos, se recurre al Voltaje de circuito abierto de los mismos, " V_{OC} " y la cantidad de módulos fotovoltaicos a usar " N " de la Tabla 2, y al voltaje máximo de entrada del controlador " V_{IMAX} " de la Tabla 3. El voltaje máximo de entrada del controlador siempre debe ser mayor al voltaje obtenido por el arreglo de los módulos fotovoltaicos. En este caso se puede comenzar determinando el voltaje de estos módulos conectados en serie y luego descartar o confirmar el arreglo; se multiplica el voltaje de circuito abierto de los módulos fotovoltaicos " V_{OC} " por la cantidad a usar " N " y se evalúa el resultado. Si el voltaje del arreglo es menor que el voltaje máximo de entrada del controlador " V_{IMAX} " se confirma el arreglo en serie y se continúa con el siguiente paso, pero si el resultado es mayor, entonces se debe ajustar el arreglo; en este caso se propone dividir la cantidad de módulos fotovoltaicos en dos grupos iguales, y de esta manera se conectan los módulos de cada grupo en serie y al final se hace un arreglo en paralelo de ambos grupos, ver figura 2.

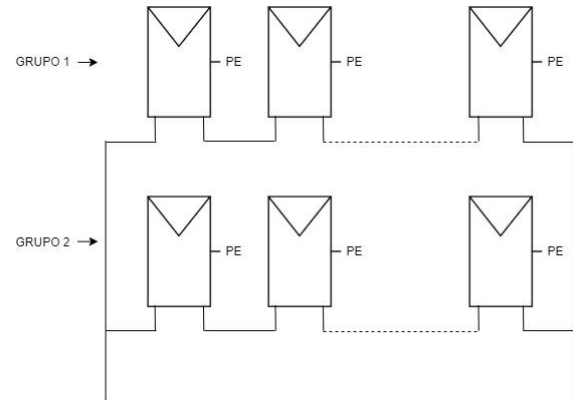


Fig 2. Arreglo de módulos fotovoltaicos.

El voltaje resultante del arreglo de los módulos fotovoltaicos de la Figura 2 se calcula de acuerdo a la ecuación 4:

$$V_A = \frac{N * V_{OC}}{2} \quad (4)$$

Donde:

V_A : voltaje del arreglo [V]

N : número de módulos fotovoltaicos

V_{OC} : voltaje de circuito abierto de los módulos fotovoltaicos.

A continuación se vuelve a evaluar el voltaje del arreglo respecto al voltaje máximo de entrada permitido por el controlador; si V_A es menor que V_{IMAX} entonces se confirma el arreglo y se continúa con el siguiente paso, pero si es mayor se debe ajustar nuevamente el arreglo, dividiendo ahora en tres grupos iguales de módulos fotovoltaicos y repitiendo el procedimiento hasta que el voltaje resultante del arreglo sea menor que el voltaje permitido por el controlador.

2.5 Escoger el inversor

Para escoger el inversor es necesario conocer el voltaje dc del sistema, el cual se determinó en el paso 3, la demanda máxima de potencia, la cual se obtiene de

la Tabla 1 como la sumatoria de las potencias totales, y finalmente el tipo de voltaje AC de la carga, lo cual se establece con la descripción de los electrodomésticos. De esta forma el inversor se escoge con un voltaje de entrada igual al voltaje dc del sistema, con una potencia mayor a la potencia total dimensionada en el paso 1 y con un voltaje de salida con las características requeridas por la carga, es muy usual un voltaje de salida de 110 VAC de tipo senoidal puro y con 60 Hz de frecuencia.

Se recomienda elaborar una tabla donde se diligencien los siguientes parámetros del inversor escogido, ver Tabla 4.

Tabla 4. Características del inversor

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia	P_{OUT}	[W]
Voltaje de entrada	V_{IN}	[V]
Voltaje de salida	V_{OUT}	[V]
Forma de onda	Pura Modificada	
Eficiencia	Ef	

2.6 Calcular las baterías

Para calcular el número de baterías hay que tener en cuenta que éstas manejan dos parámetros; el voltaje, medido en volts [V], y la capacidad de carga, medida en ampers hora [Ah], lo cual se obtiene de la hoja de características ofrecida por el fabricante. Asimismo, hay que considerar el voltaje dc del sistema, establecido en el paso 3, la demanda total de energía, establecida en el paso 1, la eficiencia del inversor y un nuevo parámetro conocido como profundidad de descarga. Para

mantener la vida útil de las baterías, no es recomendable descargarlas completamente, este dato se conoce como profundidad de descarga y se sugiere que sea a un 50%.

En primer lugar se calcula el número de baterías que deben conectarse en serie para obtener el voltaje dc del sistema, para esto se divide el voltaje dc establecido entre 12V, que es el voltaje de las baterías, ecuación 5.

$$N_S = \frac{V_{DC}}{V_{BAT}} \quad (5)$$

Donde

N_S : número de baterías en serie

V_{DC} : voltaje del sistema [V]

V_{BAT} : voltaje de una batería [V]

Seguidamente se calcula la capacidad de carga que debe tener el banco de baterías, lo cual se mide en amperios hora [Ah]. Es importante anotar que si se multiplica el voltaje de la batería con su capacidad de carga se obtiene la energía acumulada, la cual viene dada en vatios hora [Wh]. Teniendo en cuenta lo anterior, se determina la capacidad de carga del banco de baterías a través de la ecuación 6.

$$C = \frac{E_T / Ef}{V_{DC}} \quad (6)$$

Donde

C: capacidad de carga del banco de baterías [Ah]

E_T : demanda total de energía [Wh]

Ef: eficiencia del inversor

V_{DC} : voltaje del sistema [V]

Como se ha dicho, cada batería trae dos parámetros, el voltaje y la capacidad de carga. Teniendo en cuenta la capacidad de carga individual de una batería, se debe calcular el número de baterías que deberían estar en paralelo para suplir la capacidad de carga del banco de baterías que se estableció en la ecuación anterior. Como se había calculado un número de baterías en serie " N_S ", ahora se va a determinar cuántos subgrupos conformados por estas baterías se deben conectar en paralelo, para esto se aplica la ecuación 7.

$$N_P = \frac{C/PD}{C_{BAT}} \quad (7)$$

Donde

N_P : número de subgrupos de baterías en paralelo

C : capacidad de carga del banco de baterías [Ah]

PD : profundidad de descarga = 0.5

C_{BAT} : capacidad de carga de una batería individual

Teniendo en cuenta el número de baterías en serie " N_S " y a su vez el número de estos subgrupos de baterías en paralelo " N_P ", se procede a realizar un diagrama de conexiones como el que se muestra en la figura 3.

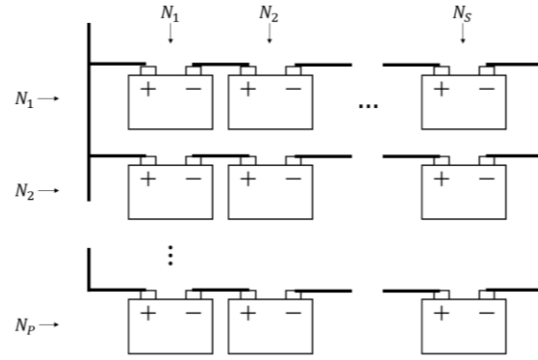


Fig 3. Arreglo de baterías.

2.7 Realizar el diagrama final

Para finalizar con el procedimiento, se propone la elaboración de un diagrama donde se especifiquen las conexiones de los módulos fotovoltaicos, las conexiones de las baterías, el controlador de carga y el inversor, todo con sus respectivas características eléctricas, ver Figura 4.

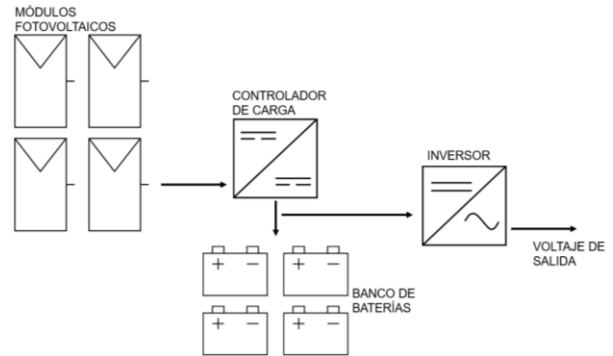


Fig 4. Diseño del sistema.

3. Resultados y análisis

Una vez descrito el procedimiento para el dimensionamiento de este tipo de sistemas, a continuación, se muestra un algoritmo en forma de diagrama de flujo, ver Figura 5.

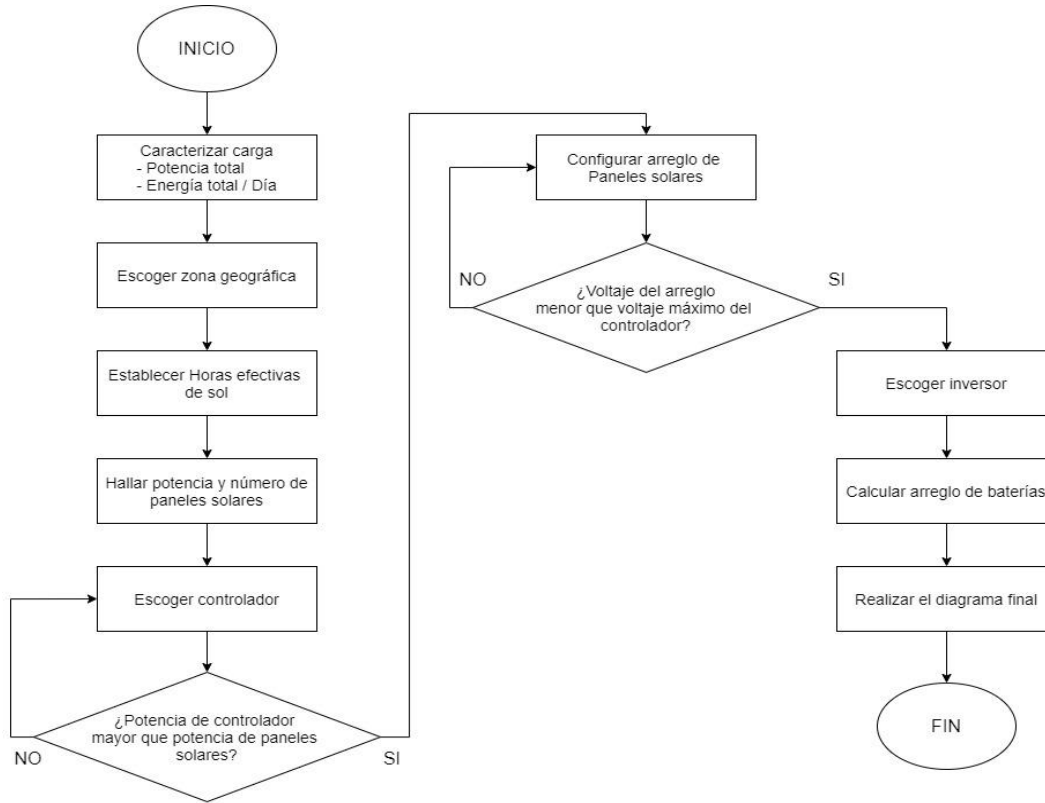


Fig 5. Diagrama de flujo de dimensionamiento de sistemas de energía solar.

Con este procedimiento es posible agilizar el diseño de sistemas autónomos de generación de energía solar, con el fin de evitar que la implementación de esta tecnología se haga a partir de diseños preestablecidos, que muchas veces son sobredimensionados y que al final pueden ser contraproducentes para el medio ambiente. Se ofrece entonces un procedimiento básico con instructivo en cada etapa, que permite personalizar los diseños y ajustar la cantidad de dispositivos a usar, logrando con esto un mejor impacto ambiental de los sistemas de generación de energía solar.

4. Conclusiones y trabajos futuros

La creciente demanda de los sistemas de generación de energía solar les abre las puertas a nuevas empresas, siendo un sector que ofrece posibilidades para que se desarrollen proyectos importantes. Los emprendedores se encuentran frente a un campo de acción que puede ser determinante en su desarrollo personal y el de la misma comunidad. Sin embargo, no sólo debe consistir en la compra y venta de dispositivos para la generación de energía eléctrica, el diseño de estos sistemas requiere de acciones responsables; para favorecer el medio ambiente no basta con instalar una cantidad de paneles solares y equipos al azar, por lo que es recomendable realizar estudios rigurosos y evaluar siempre el costo-beneficio de cada proyecto.

Este procedimiento se puede apoyar con más acciones, es esencial seguir avanzando en la consecución de un proceso que ofrezca agilidad y seguridad a la hora de diseñar sistemas de generación de energía solar. En consecuencia, se deja abierta la posibilidad de llevar el procedimiento propuesto hacia su implementación sobre plataformas digitales, incluyendo las tecnologías como el internet de las cosas, que les permita a los diseñadores gestionar el dimensionamiento de estos sistemas con mayor precisión.

Adicionalmente, el uso de los sistemas de generación de energía solar debe ser pieza clave en la construcción de una nueva cultura ambiental, es decir, el uso de la energía solar debe promover y motivar a la humanidad a adoptar mejores prácticas respecto al consumo energético. La humanidad está obligada a ejercer acciones que impacten positivamente sobre el medio, ya que el desarrollo sostenible, es una meta que se alcanza a través del crecimiento económico, la elevación de la calidad de vida y el bienestar social, pero sin agotar los recursos naturales ni afectar al planeta.

Referencias

- British Standards Institution. (2011). *Newly revised PAS 2050 poised to boost international efforts to carbon footprint products*. <https://www.bsigroup.com/en-GB/about-bsi/media-centre/press-releases/2011/9/NEWLY-REVISED-PAS-2050-POISED-TO-BOOST-INTERNATIONAL-EFFORTS-TO-CARBON-FOOTPRINT-PRODUCTS/>
- Capacho, D., Pinzón, C., & Cely, M. (2017). Dimensionamiento y aplicación android para un sistema fotovoltaico autonomo en zona rural: caso de estudio. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 2(28), 150-157.
- Castro, J., & Díaz, M. L. (2004). La contaminación por pilas y baterías en México. *Gaceta Ecológica*, 72, 53-74.
- Fernández, D., Molina, J., Ruiz, A., & Jiménez, M. (2012). A new mobile application for maintenance tasks in photovoltaic installations by using GPS data. *Energy Conversion and Management*, 57, 79-85.
- Icontec. (2011). *Norma Técnica colombiana NTC 5899-1 calificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos (fv)*.
- Ideam. (2005). *Atlas*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- International Energy Agency. (28 de Mayo de 2020). *Explore energy data by category, indicator, country or region*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20from%20electricity%20and%20heat%20by%20energy%20source>
- International Organization for Standardization. (2006). *ISO 14040:2006(es) Gestión ambiental - Análisis del ciclo de*

vida - Principios y marco de referencia.

<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

NASA. (1 de enero de 2008). *Solar Irradiance.*

https://www.nasa.gov/mission_pages/sdo/science/solar-irradiance.html

Rakesh, N., Anbazhagan, G., & Jayabal, S. (2019). Design Estimation of the Amount of Solar Radiation Entering Automobile Glazing. *International Journal of Psychosocial Rehabilitation*, 23(3), 346–370.