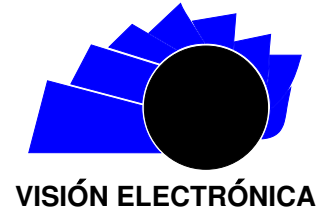




# Visión Electrónica

## Más que un estado sólido

<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/index>



VISIÓN DE CASO

## Diseño y simulación de un sistema fotovoltaico generador de energía eléctrica

*Design and simulation of a photovoltaic system power generator*

Javier E. Martínez B.<sup>1</sup>, Carlos A. Rodríguez B.<sup>2</sup>, Claudia L. Pabón C.<sup>3</sup>

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Enviado: 12/02/2016

Recibido: 16/02/2016

Aceptado: 25/02/2016

#### Palabras clave:

Consumo energético

Potencia

Radiación solar

Simulador

### RESUMEN

Este artículo presenta el diseño y simulación de un sistema para la generación de energía con planta solar fotovoltaica, usando lenguaje de programación interpretado y multiparadigma. La investigación, luego de documentar, desarrollar e implementar, obtiene un simulador que permite conocer la viabilidad económica y técnica de la implementación del sistema diseñado, basándose en el consumo energético mensual del inmueble donde se pretende instalar, y de esta forma establecer las características técnicas y la cantidad de cada uno de los componentes de la planta solar para lograr el suministro de potencia eléctrica requerido. El diseño final, obtenido por medio del simulador, hace posible conocer el costo del sistema y el ahorro monetario que representaría con respecto al consumo de energía proveniente de fuentes convencionales.



### Keywords:

Energy consumption

Power

Solar radiation

Simulator

### ABSTRACT

This article presents the design and simulation of a power generation system with solar power plant by using a multiparadigm and interpreted programming language. The developments of the research in three methodological steps: the pertinent documentation for the appropriation, the developed simulator and the implementation allow obtain a simulator that provides information on the economic and technical feasibility of the implementation of the system designed from the monthly energy consumption of the building where it will be installed; therefore the technical characteristics and quantity of each of the components of the solar photovoltaic plant are established to achieve the necessary electrical energy supply. The final design obtained by the simulator makes it possible to know the cost of the system and the monetary saving would that represent in terms of energy consumption from conventional sources.

<sup>1</sup>Ingeniero Electrónico; especialista en Instrumentación Electrónica; magíster en Tecnología Educativa y Medios Innovadores en la Educación; docente de Planta Universidad de los Llanos, Villavicencio – Meta, Colombia. Correo electrónico: [jmartinez@unillanos.edu.co](mailto:jmartinez@unillanos.edu.co)

<sup>2</sup>Ingeniero Electrónico, Universidad De Los Llanos, Colombia. Correo electrónico: [cabueno3@hotmail.com](mailto:cabueno3@hotmail.com)

<sup>3</sup>Ingeniero Electrónico, Universidad De Los Llanos, Colombia. Correo electrónico: [clau2408@hotmail.com](mailto:clau2408@hotmail.com)

## 1. Introducción

El aprovechamiento de las diferentes formas de energía le ha brindado a la humanidad la posibilidad de avanzar notablemente en distintas áreas; inicialmente, el hombre utilizaba los recursos naturales como fuentes de energía, en forma de biomasa, agua, viento y sol. Estos elementos fueron la base para el desarrollo energético del mundo. En cuanto al sol, la energía que proporciona es imprescindible para la vida del hombre, los animales y las plantas sobre la Tierra, es la principal fuente de energía suministrando luz y calor para el planeta. [1] [2]

El sol es una fuente de energía limpia e inagotable; la energía que irradia sobre la superficie de la tierra puede ser recuperada, en parte, y ser transformada en energía eléctrica por medio de paneles o módulos fotovoltaicos [3]. Puede considerarse como desventaja que su potencial energético está en función de la hora del día, época del año y situación atmosférica; adicionalmente, no es continua, ya que en horas de la noche no es posible su captación y aprovechamiento. Por otro lado, su gran ventaja, debido a las características de esta energía, es que el consumo en cuanto a su producción es inmediato, además reduce la dependencia energética a la cual está expuesta la humanidad utilizando otras formas de generación de electricidad. Debido a que las fuentes de energía no renovables han producido un impacto ambiental poco favorable para el bienestar del hombre, se ha buscado explotar la energía proveniente de recursos renovables. [4].

La producción de electricidad por medio de centrales solares fotovoltaicas ha tomado bastante fuerza en el mundo; la capacidad fotovoltaica instalada se ha expandido de 39 GW en 2010 a 140 GW a finales de 2013, [5] con un incremento de 47 GW estimada para 2014, sobresaliendo Japón, con 110 MWe. En Estados Unidos las tecnologías han aumentado 4000 veces en la última década pasando de 2 GWh en 2003 a 8,3 GWh en 2013 y por último la Unión Europea con 38,4 MWe. [6] La corriente eléctrica que se genera a partir de la energía solar fotovoltaica tiene diversas aplicaciones, por ejemplo, brindar energía eléctrica a zonas aisladas que no cuentan con un suministro eléctrico convencional constante, inyectar energía eléctrica en las redes eléctricas y el suministro de corriente directa a algunos aparatos electrónicos. [7].

En cuanto al costo económico que tiene el uso de la energía solar fotovoltaica, implica el costo de la instalación de la planta solar fotovoltaica que se compone de los siguientes elementos: sistema de

captación energética, sistema de regulación, sistema de acumulación y sistema de adaptación de corriente. [8] [9] El precio de cada KWh que se adquiere mediante el sistema fotovoltaico depende igualmente del valor total de la instalación aplicando la amortización de su vida útil y el total de energía producida, además, para el periodo 2005-2012, la energía solar fotovoltaica ha ido creciendo en un factor de 16. [10] [11].

De esta manera, el presente artículo describe el desarrollo del proyecto de investigación realizado en las instalaciones de la Universidad de los Llanos donde se desarrolla un simulador para sistemas de generación de energía, con el cual se brinda al usuario (cualquier persona que desea hacer uso del simulador del sistema instalado en su hogar, no requiriendo conocimiento amplio sobre el software empleado) información clara sobre los beneficios que conlleva la implementación de sistemas de generación eléctrica incluyendo fuentes de energía renovable.

### 1.1. Formulación del Problema

El aprovechamiento de la energía eléctrica le ha brindado a la humanidad la posibilidad de avanzar notablemente en distintas áreas como lo son: la industria, las comunicaciones, la salud, la agricultura, entre otras, mejorando la calidad de vida de las personas. [12]

La obtención de la electricidad se puede lograr de muchas maneras; en la actualidad, las formas de generación de energía eléctrica que más predominan se dan en centrales termoelectricas, hidroelectricas y nucleares, también existen nacientes formas de generación de energía eléctrica alternativas. [13]

La ascendente tendencia mundial de buscar diferentes recursos energéticos que proporcionen la sustitución gradual de los combustibles fósiles y la energía nuclear, debido al impacto negativo que tienen sobre el medio ambiente y la salud humana, han originado una oferta de opciones de producción de energía eléctrica más amigable con el medio ambiente, que en contra posición con la generación eléctrica convencional, no generan un impacto tan perjudicial a la salud del planeta; por otro lado, con este tipo de generación alternativa se trabaja con recursos no agotables a diferencia de las energías convencionales, que usan como fuente los combustibles fósiles, cuyas reservas son limitadas y se agotan con el uso. [14]

La demanda mundial de energía eléctrica exige una producción permanente y fuentes de alimentación

confiables, en este aspecto la generación de energía por medio de recursos renovables está en desventaja en cuanto a la convencional debido a que esta depende de factores ambientales que no son constantes en el transcurso del tiempo, teniendo así dificultad en garantizar el suministro de energía de forma permanente, lo que hace necesario que sean capaces de ser autoalimentadas con otro tipo de energías. [15]

Para finalizar, el principal problema al cual nos enfrentamos es la contaminación ambiental que se presenta en la producción de energía eléctrica con los recursos no renovables, por lo cual se busca a través de la investigación un mecanismo que produzca energía con elementos renovables pero que a la vez logre abastecer las necesidades de una comunidad, falencia que se ha visto hasta este momento con las diferentes soluciones dadas en este ámbito. [16] [17]

## 2. Metodología

Para la ejecución, el proyecto se dividió en tres fases, la primera fase consistió en la documentación acerca de la temática, como resultado se obtuvo dominio sobre el tema en estudio y visión clara de los objetivos a alcanzar.

En la segunda fase se llevaron a cabo los pasos necesarios para la creación del simulador, estos se basaron en la aplicación de una encuesta dirigida a un sector de la población de la ciudad de Villavicencio, con el fin de conocer la dinámica del consumo eléctrico en los hogares; así, el simulador se fundamentó en el análisis a los resultados de la encuesta. En la última fase se expone los resultados obtenidos con la finalización del proyecto.

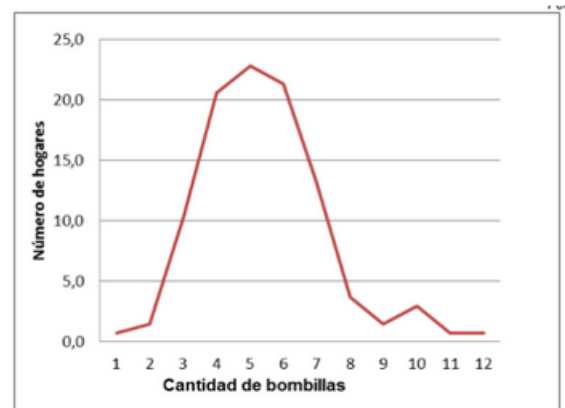
### 2.1. Encuesta

La encuesta se realizó en la comuna 7 de la ciudad de Villavicencio a un total de 136 personas, para saber de qué dispositivos disponía, además de saber la cantidad de horas de uso diario de aquellos dispositivos de mayor uso.

Para calcular y dimensionar las instalaciones de la planta solar fotovoltaica, se usa el método del mes menos favorable, que consiste en realizar las estimaciones en el mes con menos incidencia de radiación solar; en otras palabras, el peor de los casos. Para comenzar, es necesario conocer cuánto es el consumo promedio del lugar donde se pretende instalar el sistema; para esto es imprescindible conocer los diferentes dispositivos eléctricos y electrónicos que conforman la carga de la planta solar fotovoltaica y el uso diario en horas de estos. De esta forma se puede estimar un consumo aproximado diario y mensual.

Los resultados que se obtuvieron de la encuesta sobre la iluminación de los hogares se representan en la Figura 1.

**Figura 1:** Cantidad de bombillas presentes en los hogares de la Comuna 7 de la ciudad de Villavicencio

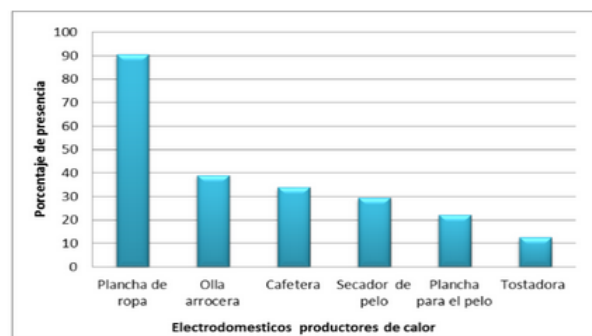


Fuente: elaboración propia.

Se observa en la Figura 1 que un mayor porcentaje de los hogares entrevistados tienen cinco bombillos en su inmueble, de los cuales un 22 % de estos usa hasta cuatro bombillos ahorradores y el periodo de uso diario de estas bombillas se encuentra entre cuatro y seis horas.

En lo referente a los electrodomésticos que producen calor, se obtuvo que el 90 % de los hogares encuestados poseen plancha para la ropa, lo que significa que es un electrodoméstico indispensable; en menor proporción se observó la tostadora presente con un 12%, como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2:** Porcentaje de presencia de electrodomésticos productores de calor en la Comuna 7 de la ciudad de Villavicencio



Fuente: elaboración propia.

**Tabla 1:** Consumo energético diario de un hogar de la Comuna 7 de la ciudad de Villavicencio – Meta

Cantidad	Aparato eléctrico o electrónico	Vatios de potencia	Equivalencia en kw	Tiempo de uso diario (horas)	Consumo en kwh día	Consumo total día en kwh
4	Bombillo ahorrador	15	0,015	4	0,06	0,24
1	Bombillo 60 vatios	60	0,06	2	0,12	0,12
1	Plancha de ropa	1000	1	0,5	0,5	0,5
1	Olla arrocera	600	0,6	1	0,6	0,6
1	Cafetera	900	0,9	0,25	0,225	0,225
1	Secador de pelo	1500	1,5	0,25	0,375	0,375
1	Horno microondas	1000	1	0,5	0,5	0,5
1	Equipo de sonido	150	0,15	1	0,15	0,15
1	Computador de mesa	140	0,14	3	0,42	0,42
1	DVD	30	0,03	1	0,03	0,03
1	Nevera	180	0,18	12	2,16	2,16
1	Lavadora	750	0,75	1	0,75	0,75
1	Licudadora	400	0,4	0,25	0,1	0,1
3	Ventilador	100	0,1	2	0,2	0,6
3	Cargador celular	12	0,012	1	0,012	0,036
1	Televisor a color	100	0,1	2	0,2	0,2
1	Televisor plasma	75	0,075	4	0,3	0,3
<b>Total consumido en un día</b>						<b>7,306</b>
<b>Total consumido en un mes</b>						<b>219,18</b>

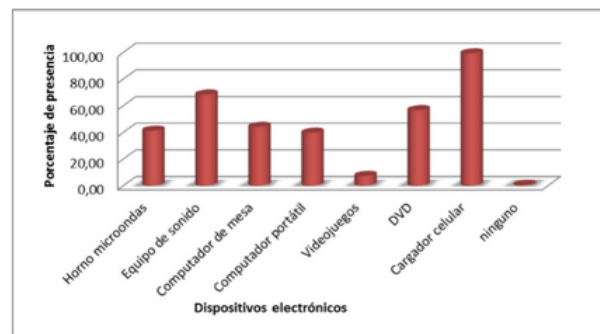
Fuente: elaboración propia.

El aparato electrónico líder en presencia en los hogares de la Comuna 7 de la ciudad de Villavicencio es el televisor con un 100%; de los cuales el 26% de los hogares encuestados tienen un televisor, el 38% poseen dos televisores y el 36% restante cuenta con tres o más televisores.

Otros dispositivos electrónicos que tienen una presencia considerable en estos hogares son los cargadores para el celular, el equipo de sonido y el DVD. La Figura 3 muestra los porcentajes de presencia de diferentes dispositivos electrónicos; es posible apreciar que los videojuegos poseen un porcentaje muy bajo, lo que los ubica como un electrónico secundario.

Para los electrodomésticos que funcionan con motor, se obtuvo que su porcentaje de presencia es elevado; se tiene que la nevera está presente en el 98% de los hogares encuestados, el ventilador en el 99%, la lavadora en el 85% y la licudadora en el 95%.

Finalmente, en la Tabla 1 se muestran los aparatos eléctricos y electrónicos con mayor presencia en los hogares encuestados, de esta manera el valor total de consumo diario es aproximado, ya que algunos de estos electrodomésticos no son de uso diario pero se considera un día de mayor consumo al mes, donde todos los aparatos serán utilizados.

**Figura 3:** Porcentaje de presencia de dispositivos electrónicos en la Comuna 7 de la ciudad de Villavicencio

Fuente: elaboración propia.

El consumo total de un día se obtuvo multiplicando la potencia en KW con el tiempo de uso diario, por último, se suma el total de consumo en KWh en el día de cada aparato. [18] Esto se realiza para tener una estimación de cuánto es el consumo eléctrico diario de un hogar y así saber qué tanta energía tiene que generar la planta solar fotovoltaica. [19].

## 2.2. Dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica

Para lograr una estimación del consumo energético más real se utiliza la ecuación (1) que arroja como resultado la energía total en AC. E'ac hace referencia

a la energía consumida que se estimó con ayuda de la Tabla 1; para el rendimiento del inversor normalmente se toma como un 85 %, por último, el factor de seguridad se establece como un margen de 10 %. [20] [21]

$$E'ac = (1 + Fs) \cdot \left( \frac{Eac}{N_{inv}} \right) \quad (1)$$

Donde:

$E'ac$ : energía total en AC (Wh).

$N_{inv}$ : rendimiento del inversor.

$Fs$ : factor de seguridad.

$Eac$ : energía producida en AC (Wh).

Luego se halla con la ecuación (2) el número total de paneles solares, siendo  $Pp$  la potencia pico del panel escogido,  $Hps$  es la radiación global sobre la superficie donde se desea instalar el sistema de generación de energía solar; como la superficie se limita a la ciudad de Villavicencio, se realiza la investigación de la radiación solar en esta zona durante un año y se escoge el mes con menor radiación y el factor global de perdidas  $Pg$ ; están contempladas las pérdidas por conexionado y dispersión de los parámetros, las pérdidas debidas al punto de trabajo del sistema, que en general no coincide con el punto de máxima potencia de los paneles. [22].

$$N_t = 1,1 \frac{E'ac}{Pp \cdot Hps \cdot Pg} \quad (2)$$

Donde:

$Nt$ : número de paneles.

$Pp$ : potencia pico panel (Wh).

$Hps$ : Radiación Global sobre una superficie (KWh/m<sup>2</sup>).

$Pg$ : factor global de pérdidas.

Para saber el número de paneles a utilizar en serie o párelo se utilizan las ecuaciones (3) y (4), así se garantizará la potencia y voltaje necesarios para el correcto funcionamiento del sistema. [23]

$$Ns = \frac{Vb}{Vm} \quad (3)$$

$$Ng = \frac{Nt}{Ns} \quad (4)$$

Donde:

$Nt$ : número de paneles.

$Ns$ : número de módulos en serie.

$Np$ : número de módulos paralelo.

$Vb$ : tensión batería (V).

$Vm$ : tensión módulos (V).

Para calcular el sistema de acumulación de energía acorde con el sistema se hace uso de las ecuaciones (5) y (6), siendo  $N$  la cantidad de horas en el cual el sistema

puede funcionar con total autonomía y  $Pd$  siendo la máxima profundidad de descarga de las baterías.

$$Cn(Wh) = \left( \frac{E'ac \cdot N}{Pd} \right) \quad (5)$$

$$Cn(Ah) = \left( \frac{Cn(Wh)}{Vb} \right) \quad (6)$$

Donde:

$Cn$ : capacidad nominal de la batería (Ah).

$Pd$ : máxima profundidad de descarga de la batería.

$N$ : días de autonomía.

Con la ecuación (7), se tiene la corriente de entrada hacia el regulador, producida por el generador, donde se debe tener en cuenta el número total de paneles en paralelo multiplicado por la corriente de cortocircuito del módulo escogido.

$$I_{reg} = 1,25 \cdot (I_{SC} \cdot Np) \quad (7)$$

Donde:

$I_{reg}$ : Corriente corriente entrada producida por el generador (A).

$I_{SC}$ : Corriente de cortocircuito del módulo (A).

Al escoger el inversor se hace indispensable satisfacer la demanda de potencia en servicio máximo de receptores, por tal razón, se suma la potencia de todos los receptores utilizados al mismo tiempo, aun así se recomienda sobredimensionar el inversor en un 0.2 para hacer más fiable el cálculo, esto se hace con la ayuda de la ecuación (8).

$$P_{inv} = 1,2 \cdot \sum Pac \quad (8)$$

Donde:

$Pac$ : Potencia de las cargas en AC (W).

### 2.3. Simulador

El simulador se realizó en Python, basado en un lenguaje de programación multiparadigma soportando orientación a objetos, programación imperativa y funcional; se escogió por ser software libre, es decir, código abierto denominado Python Software Foundation License, el cual es administrado por Python Software Foundation siendo compatible con la Licencia pública de GNU a partir de la versión 2.1. [8]. Con este simulador se puede establecer el dimensionamiento del sistema de generación de energía, solo basta ingresar los equipos y elementos que estarán encendidos y este proporcionará la cantidad de paneles que deben usarse, así como las características de las baterías y del inversor.

Con base en la información obtenida en la encuesta se seleccionaron los electrodomésticos más frecuentes en los hogares de la Comuna 7 de Villavicencio. La Figura 4 muestra el modelo de la casa diseñado a partir de estos datos, en la cual se presenta un hogar compuesto de dos habitaciones, sala, comedor, un baño, cocina, teniendo en cuenta los electrodomésticos comunes en un hogar, como son plancha, televisores, bombillos, ventiladores, calentador, etc.

Al presionar y pasar el mouse sobre las diferentes figuras, mostrará el nombre del electrodoméstico, con el fin de hacer el programa interactivo con el usuario. [9] En la parte inferior de cada electrodoméstico se encuentra un botón con el que se desplegará una ventana que permite escoger el tiempo de uso diario del aparato; luego de este proceso se tendrá un estimado del consumo eléctrico diario, siendo esta la información más importante y la primordial para comenzar a diseñar el sistema de generación de energía eléctrica con planta solar fotovoltaica. [10].

Figura 4: Diseño casa modelo



Fuente: elaboración propia.

Con el consumo eléctrico diario estimado, lo siguiente es aplicar la ecuación (1) para tener un consumo total y aplicar un factor de seguridad; con esto es posible aplicar la ecuación (2) para encontrar el número de paneles necesarios para soportar ese consumo. En la ecuación (2) es necesario conocer la irradiación solar sobre una superficie, [11] en este caso sobre la ciudad de Villavicencio, esta información se obtiene en bases de datos de la NASA ingresando la ubicación longitudinal de la superficie en estudio <https://eosweb.larc.nasa.gov/>. En la Tabla 2 muestra los datos recogidos durante el año 2014 [12].

Como se aplica el método del peor mes para lograr el dimensionamiento del sistema, en la Tabla 2 se observa que abril es el mes con menos radiación solar y este valor se usa en la ecuación (2); después de esto, el usuario puede escoger por medio de la interfaz, como se muestra en la Figura 5, el módulo que desee teniendo en cuenta

las características técnicas y el costo económico, cada vez que selecciona un módulo aparece en la parte superior de la interfaz el número de paneles necesarios y su costo, también el usuario debe ingresar las horas de autonomía que el considere para la planta solar.

Tabla 2: Nasa meteorología de superficie y energía solar 2014 latitud 4.143/longitud -73.629. [24]

MES	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Diario de radiación solar-horizantal KWh/m <sup>2</sup> /d
Enero	19.6	76.9	4.72
Febrero	20.1	75.6	4.56
Marzo	20.2	79.3	4.40
Abril	19.9	82.8	4.06
Mayo	19.6	82.9	4.16
Junio	19.0	82.5	4.16
Julio	18.7	76.8	4.09
Agosto	19.5	70.0	4.15
Septiembre	20.2	68.7	4.50
Octubre	20.1	76.5	4.33
Noviembre	19.7	81.7	4.27
Diciembre	19.5	81.6	4.43
Medición anual	19.7	77.9	4.32

Figura 5: Interfaz dimensionamiento sistema generador



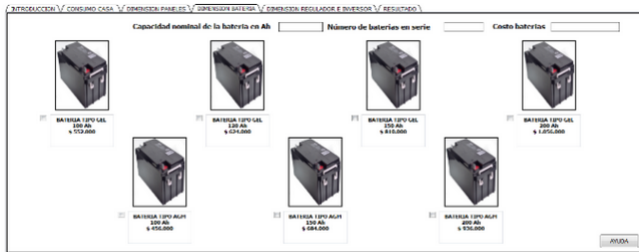
Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso consiste en calcular la capacidad del sistema de acumulación de la planta solar con ayuda, como se mencionó en páginas anteriores, de las ecuaciones (5) y (6), donde se tiene la corriente nominal y la potencia nominal de las baterías; en la parte superior de la interfaz aparecerá la corriente nominal del sistema de acumulación, con este dato el usuario puede escoger dentro de las diferentes opciones la batería que desea para su sistema teniendo en cuenta las características y el costo económico. Luego de ser seleccionada algunas de las baterías se muestra al usuario la cantidad de baterías necesarias y su costo económico. [25] [26].

Por último, el simulador calcula las características para el regulador como son su corriente, mediante

la ecuación (7), potencia del inversor, ecuación (8), y presenta al usuario los sistemas de regulación y conversión necesarios para el sistema solar fotovoltaico. La Figura 7 presenta la interfaz del dimensionamiento del sistema regulador y sistema convertidor.

**Figura 6:** Interfaz dimensionamiento del sistema acumulador



Fuente: elaboración propia.

**Figura 7:** Interfaz dimensionamiento del sistema regulador y convertidor



Fuente: elaboración propia.

**Figura 8:** Interfaz costo total del sistema solar fotovoltaico



Fuente: elaboración propia.

Para finalizar, el usuario puede calcular el costo total de la planta solar fotovoltaica según la cantidad y tipo de equipos y dispositivos en uso, los cuales ingresan al simulador por medio de la interfaz de la casa modelo (ver Figura 4) y según sus elecciones de paneles solares y baterías seleccionados en la respectiva interfaz (ver Figura 5 y Figura 6). A parte de esto, también se le da al usuario un bosquejo del sistema diseñado con planta solar fotovoltaica, donde aparecen las características principales de sus los componentes. La Figura 8 ilustra lo descrito. [27] [28].

### 3. Resultados

A continuación, se presentarán tres pruebas en las cuales se hace uso del simulador a diferentes horas del día, teniendo en cuenta los electrodomésticos que estarían en funcionamiento en cada momento, con el objetivo de mostrar el funcionamiento del simulador y los resultados que se obtienen con su implementación. El primer ejemplo se ubica en horas de la mañana, donde en la Tabla 3 se muestran los electrodomésticos que estarán en funcionamiento, su consumo eléctrico, el tiempo de uso y por último una estimación del total de la energía consumida.

**Tabla 3:** Ejemplo de consumo de una casa en horas de la mañana

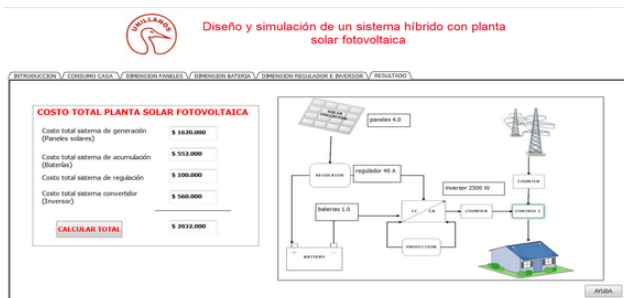
Cuarto uno	Consumo en kw	Horas/día	Cantidad consumo kw
Bombillo	0,015	0	0
Tv color	0,1	0	0
Ventilador	0,1	0	0
Plancha	0,6	0,3	0,18
Cargador	0,012	0	0
<b>Cuarto dos</b>			
Bombillo	0,015	0	0
Ventilador	0,1	0	0
Cargador	0,012	2	0,024
<b>Sala</b>			
TV plasma	0,075	3	0,225
Equipo sonido	0,15	2	0,3
Dvd	0,03	0	0
Pc mesa	0,14	0	0
Cargador	0,012	0	0
Ventilador	0,1	0	0
Bombillo	0,015	0	0
<b>Cocina</b>			
Horno	1	0,3	0,3
Licudadora	0,4	0,1	0,04
Lavadora	0,75	1	0,75
Nevera	0,18	0,3	0,054
Olla	0,6	0	0
Cafetera	0,9	0,1	0,09
Bombillo	0,015	0	0
<b>Baño</b>			
Secador pelo	0,4	0	0
Bombillo	0,06	0,2	0,012
<b>Total en W</b>			<b>1975</b>

Fuente: elaboración propia.

En el dimensionamiento de los paneles por medio del simulador se escogió el panel Monocristalino 150 W-12 V, dando como resultado un total de cuatro paneles necesarios para cubrir la demanda del usuario; se decidió que el sistema presentara cinco horas de autonomía con lo cual se necesita mínimo una batería que brinde 50 Ah; por tal razón se eligió la batería tipo gel 100 Ah, siendo esta la más cercana a este valor. En cuanto al regulador e inversor el simulador nos brinda la opción más acorde para cubrir la demanda del sistema, para este caso se necesitará un regulador de 40A y un inversor de 2500W.

La Figura 9 muestra el resultado final del primer ejercicio, después de haber escogido los electrodomésticos y las horas de uso, el simulador brinda los costos de los elementos principales del sistema, para este ejercicio el costo total de los paneles solares, batería, regulador, e inversos es de \$ 2.838.000. Sirviendo como una primera estimación para el diseño y construcción de un sistema híbrido de generación de energía con planta solar fotovoltaica.

Figura 9: Resultado simulación ejemplo uno



Fuente: elaboración propia.

El segundo ejemplo se estima en horas de la tarde, en la Tabla 4 se observa la dinámica del consumo eléctrico que se propuso para este horario.

En la interfaz de dimensionamiento se escogió un módulo Monocristalino de 190 W-24 V, dando como resultado un total de dos paneles a utilizar para satisfacer las necesidades de consumo eléctrico del usuario; además, el usuario decide que el sistema tendrá ocho horas de autonomía, así que el sistema de acumulación deberá cubrir 47 Ah, por tal motivo se escogió la batería tipo Agm 100 Ah.

El regulador con el cual se satisface la demanda será de 30A y el inversor será de 1500W, datos que son obtenidos del simulador.

Para terminar, como se observa en la Figura 10, luego de seguir el procedimiento de dimensionamiento de cada uno de los subsistemas de la planta, el usuario puede calcular con ayuda del simulador, el costo total de paneles solares, regulador, batería e inversor, dando como resultado el valor de \$2.092.000; sirviendo como una primera estimación para el diseño y construcción de un sistema híbrido de generación de energía con planta solar fotovoltaica, que cumple con los requerimientos del usuario.

Tabla 4: Ejemplo de consumo de una casa en horas de la tarde

Cuarto uno	Consumo en kw	Horas/día	Cantidad \ consumo kw
Bombillo	0,015	0	0
Tv color	0,1	2	0,2
Ventilador	0,1	2	0,2
Plancha	0,6	0	0
Cargador	0,012	2	0,024
<b>Cuarto dos</b>			
Bombillo	0,015	0	0
Ventilador	0,1	0	0
Cargador	0,012	0	0
<b>Sala</b>			
Tv plasma	0,075	2	0,15
Equipo sonido	0,15	0	0
Dvd	0,03	0	0
Pc mesa	0,14	2	0,28
Cargador	0,012	3	0,036
Ventilador	0,1	2	0,2
Bombillo	0,015	0	0
<b>Cocina</b>			
Horno	1	0	0
Licudadora	0,4	0	0
Lavadora	0,75	0	0
Nevera	0,18	0,3	0,054
Olla	0,6	0	0
Cafetera	0,9	0	0
Bombillo	0,015	0	0
<b>Baño</b>			
Secador pelo	0,4	0	0
Bombillo	0,06	0,3	0,018
<b>Total en W</b>			<b>1162</b>

Figura 10: Resultado simulación ejemplo dos



Fuente: elaboración propia.



El último ejercicio como se observa en la Figura 11. Se ubica en las horas de mayor consumo eléctrico, que son las horas de la noche. En la Tabla 5 se muestra el consumo energético total estimado para este ejemplo, como se observa el total es más elevado que el de los ejemplos anteriores.

Por medio del simulador se escoge un panel Monocristalino 175 W-24 V, para este ejemplo se necesitarían cinco módulos; el usuario ingresa un total de diez horas de autonomía para el sistema.

Con el dato del tiempo de autonomía, el simulador arroja la corriente nominal para el sistema acumulador, que son 139 Ah, para satisfacer esta necesidad es seleccionada una batería tipo gel 150 Ah, y el simulador dice que es una batería de este tipo que hay que implementar, de acuerdo a los electrodomésticos y horas de uso el simulador arrojó un regulador de 60A y un inversor de 5000W, dando como resultado un coste total de materiales de \$ 5.595.000, siendo más costoso que los anteriores ejemplos, esto se debe a que se requiere un inversor de una potencia más alta.

**Tabla 5:** Ejemplo de consumo de una casa en horas de la noche

Cuarto uno	Consumo en kw	Horas/día	Cantidad consumo kw
Bombillo	0,015	3	0,045
Tv color	0,1	3	0,3
Ventilador	0,1	0	0
Plancha	0,6	0	0
Cargador	0,012	2	0,024
<b>Cuarto dos</b>			
Bombillo	0,015	3	0,045
Ventilador	0,1	1	0,1
Cargador	0,012	2	0,024
<b>Sala</b>			
TV plasma	0,075	3	0,225
Equipo sonido	0,15	0	0
Dvd	0,03	1	0,03
Pc mesa	0,14	2	0,28
Cargador	0,012	3	0,036
Ventilador	0,1	2	0,2
Bombillo	0,015	3	0,045
<b>Cocina</b>			
Horno	1	0,3	0,3
Licuadaora	0,4	0	0
Lavadora	0,75	1	0,75
Nevera	0,18	0,3	0,054
Olla	0,6	0,3	0,18
Cafetera	0,9	0	0
Bombillo	0,015	2	0,03
<b>Baño</b>			
Secador pelo	0,4	0,2	0,08
Bombillo	0,06	0,3	0,018
<b>Total en W</b>			<b>2766</b>

Fuente: elaboración propia.

**Figura 11:** Resultado simulación ejemplo tres



Fuente: elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

En Colombia, la generación de energía eléctrica mediante fuentes no convencionales es relativamente nueva, comienza en el año 2014 mediante la ley 1715, siendo el primer paso para ayudar a los empresarios a invertir en estos sistemas. En la actualidad se están creando los lineamientos necesarios para que el empresario tenga las bases jurídicas para poder invertir de manera satisfactoria en este mercado. Siendo esta la principal razón por la cual se buscó crear una herramienta que brinde información de cómo implementar un sistema híbrido de generación de energía con planta solar fotovoltaica.

Para el diseño de estos sistemas es importante conocer las necesidades del usuario, así como el lugar donde será instalado; estos datos son de suma importancia a la hora de desarrollar el sistema. Esta herramienta se presta como la primera gran ayuda para el usuario ya que se logra hacer una estimación no muy lejana de lo que puede costar los dispositivos principales como lo son panel solar, baterías, regulador e inversor.

Es contundente que entre mayor sea el consumo eléctrico y las horas de autonomía del sistema, mayor será la potencia que tendrá que suministrar la planta solar fotovoltaica, aquí radica una ventaja de un sistema, ya que la planta no va a suplir toda la demanda energética, si no que cuenta con un suministro energético complementario, en este caso se propone que este sea la red eléctrica, ya que el proyecto se ubica en un área urbana. En caso de ser un área rural que no cuente con este suministro constante, el sistema podría integrar otra fuente de energía renovable como complementaria.

Para que el sistema dé un resultado favorable en cuanto ahorro monetario, no solo es importante realizar un correcto dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica, también es primordial establecer

los criterios de mando y control en la alternación del suministro de energía entre la fuente principal, este caso la energía solar y la fuente complementaria, para lograr el máximo aprovechamiento de la fuente primaria.

Se observa que cuando el usuario elige un panel solar de una potencia más alta en comparación de otro, es posible reducir el número de paneles necesarios para generar la potencia eléctrica requerida, lo que trae consigo ciertas ventajas en cuanto al espacio físico que ocuparía la planta solar, que claramente lo reduciría; también tendría implicación con respecto a otros componentes complementarios, tales como el cableado. Cabe resaltar que la elección de los paneles solares es decisiva y de esta dependen las características del resto de sistemas de la planta.

## Referencias

- [1] J. Roldán, “Fuentes de energía”,. Madrid, Editorial Paraninfo, 2008.
- [2] I. Guerra, M. Ballesteros y M. R. Heras, “Fuentes de energía para el futuro”, . España, Ministerio de educación, 2008
- [3] J. A. Carta, R. Calero, A. Colmenar y M. A. Castro, “Centrales de energía renovable” . Editorial Pearson Educación S.A., 2009
- [4] M. Moro, “Instalaciones solares fotovoltaicas”, Madrid: Editorial Paraninfo, 2010.
- [5] H. Eriksson y P. E. Danielsson, “Two problems on Boolean memories”, “. *IEEE Trans. Electron. Devices*, vol. ED-11, pp. 32-33, Enero January, 2007.
- [6] G. Carr, “Sunny uplands”. *The Economist*, June, 2nd, 2012.
- [7] P. Alvar, “An emerging innovation system for deployment of building-sited solar photovoltaics in Sweden”, *Environmental Innovation and Societal Transitions*, Vol. 15,pp. 140-157, June, 2015.
- [8] Unni Pillai, “Drivers of cost reduction in solar photovoltaics”, *Energy Economics*, vol. 50, pp. 286-293, July 2015.
- [9] K. Kumpf, S. Blumsack, G. S. Young and R. S. Jeffrey Brownson, “Portafolio analysis of solar photovoltaics: Quantifying the contributions of locational marginal pricing and power on revenue variability” . *Solar energy*, vol. 119, pp. 277-285, July, 2015.
- [10] B. Cointe, “From a promise to a problem: The political economy of solar photovoltaics in France”, *Energy Research & Social Science*, vol. 8, pp 151-161, June, 2015.
- [11] S. J. McColl, P. Rodgers and V. Eveloy, “Thermal management of solar photovoltaics modules for enhanced power generation”, *Renewable Energy* vol. 82, pp. 14-20, October, 2015.
- [12] K. Shivarama and K.Sathish Kumar, “A review on hybrid renewable energy systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 52, pp. 907-916, December, 2015.
- [13] B. Lin and J. Li,” “Analyzing cost of grid-connection of renewable energy development in China”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 50, pp 1373-1382, October 2015.
- [14] P.K. Halder, N. Paul, M.U.H. Joardder, M. Sarker,” , “Energy scarcity and potential of renewable energy in Bangladesh”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.51, pp 1636-1649, November, 2015.
- [15] H. Mälkki, K. Alanne and L. Hirsto, “A method to quantify the integration of renewable energy and sustainability in energy degree programmes: a Finnish case study”, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 106, pp. 239-246, November, 2015.
- [16] Z. Abdmouleh, A.M. Rashid, A. Gastli, “Review of policies encouraging renewable energy integration & best practices”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 45, pp. 249-262, May, 2015.
- [17] C. Youngho and L. Yanfei, “Renewable energy and policy options in an integrated ASEAN electricity market: Quantitative assessments and policy implications”, *Energy Policy*, Vol. 85, pp. 39-49, October, 2015.
- [18] E. Prieto, P. Olivella, M.Cheah, R.Villafafila and O. Gomis, “Renewable energy emulation concepts for microgrids”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 50, pp. 325-345, October, 2015.
- [19] J. Mohtasham, “Review Article-Renewable Energies”, *International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES 15, 2015, Energy Procedia*, Vol. 74, pp. 1289 – 1297, 2015.
- [20] L. Bendato, L. Cassettari, M. Mosca, R. Mosca, “A design of experiments/response surface methodology approach to study the economic sustainability of a 1 MWe photovoltaic plant”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 51, pp 1664-1679, November, 2015.

- [21] A. Bonfiglio, F. Delfino, M. Invernizza, R. Procopio, P. Serra, “An approximate methodology to verify the compliance of large photovoltaic power plants to system operator steady-state requirements”, *Electric Power Systems Research*, Vol. 127, pp. 80-92, October, 2015.
- [22] M. A. Abella. “Dimensionado de sistemas fotovoltaicos”. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas”. Tesis para optar al título de maestría, Departamento de Energías Renovables. Escuela de organización industrial, Noviembre de 2014, [En línea] Disponible en: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45302/componente45301.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45302/componente45301.pdf)
- [23] U. Desideri, E. Pietro, “Analysis and comparison between a concentrating solar and a photovoltaic power plant”, *Applied Energy*, Vol. 113, pp, 422-433, August, 2014.
- [24] “Atmospheric Science Data Center”, Noviembre de 2014 [En línea] Disponible en: <https://eosweb.larc.nasa.gov/>
- [25] A. C. Koberle, D. E.H.J. Gernaat, D. P. Van Vuuren, “Assessing current and future techno-economic potential of concentrated solar power and photovoltaic electricity generation”, *Energy*, Vol. 89, pp. 739-756, September, 2015.
- [26] A. M. Ershad, R. J. Brecha, K. Hallinan, “Analysis of solar photovoltaic and wind power potential in Afghanistan”, *Renewable Energy*, Vol. 85, pp. 445-453, June, 2015.
- [27] A. B. Karaveli, U. Soytaş, B. G. Akinoglu, “Assessing current and future techno-economic potential of concentrated solar power and photovoltaic electricity generation”, *Energy*, Vol. 89, pp. 739-756, September, 2015.
- [28] O. Z. Sharaf, M. F. Orhan, “Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems: Part I – Fundamentals, design considerations and current technologies”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 50, pp. 1500-1565, October, 2015.