

COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIALES CONECTADOS A LA RED ELÉCTRICA DE CFE

BEHAVIOR OF RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS CONNECTED TO THE CFE ELECTRICAL GRID

Juan José Martínez Nolasco, Monserrat del Carmen Escutía Cervantes, María Fernanda Montoya Hernández, Víctor Manuel Sámano Ortega, Ramon Eduardo Martínez Nolasco

Recibido 30092021

Aprobado 28022022

Juan José Martínez Nolasco recibió el título de Ingeniero Electrónico por el Tecnológico Nacional de México en Ciudad Guzmán, Jalisco, en el 2017; obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Tecnológico Nacional de México en Celaya, Guanajuato, en el año 2009, en este mismo Instituto obtuvo el grado de Doctor en Ciencias de la Ingeniería en el año 2018. Actualmente se desempeña como profesor – investigador adscrito al departamento de Ingeniería Mecatrónica del Tecnológico Nacional de México en Celaya, participando activamente en el Consejo de Posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica y en el Claustro del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería. El Dr. Martínez trabaja en el desarrollo de sistemas mecatrónicos 4.0 con un enfoque hacia el control inteligente y fuentes de energía renovable. Además, funge como coordinador del programa de posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica.

Monserrat del Carmen Escutía Cervantes, actualmente cursa el programa de Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico Nacional de México en Celaya, en el

TECNO TREND^{MR}

mismo instituto que durante el año 2021 formó parte del grupo de investigación de Desarrollo de Sistemas Mecatrónicos 4.0. Su área de estudio comprende el diseño de sistemas automáticos y el internet de las cosas.

María Fernanda Montoya Hernández, estudiante de décimo semestre de Ingeniería Mecatrónica en el Tecnológico Nacional de México en Celaya. Participó en el E-Fest South América 2019 en Lima Perú y, posteriormente, formó parte de ASME Student Regional Board 2021. Actualmente, realiza sus residencias en GKN automotive, desarrollando un sistema de gestión de energía, así como un sistema de control de iluminación en el área productiva de maquinados.

Víctor Manuel Sámano Ortega recibió el título de Ingeniero en Mecatrónica por el Tecnológico Nacional de México en Celaya en 2017 y el título de Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica en 2019. Actualmente, cursa el programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el mismo instituto, desarrollando sistemas de administración para micro-redes de CD. Sus áreas de estudio comprenden: sistemas de control inteligentes, sistemas de administración de energía y hardware in the loop.

Ramón Eduardo Martínez Nolasco recibió el título de Ingeniero Eléctrico en el Instituto Tecnológico de Tepic en 2013, ha sido profesor de asignatura dentro del Sistema de Universidades Tecnológicas en Nayarit hasta el 05 de marzo de 2021. En la actualidad es propietario de la Empresa RAASI (Refrigeración Aire Acondicionado y Sistemas Industriales), diseñando y ejecutando proyectos en el ámbito de las Energías Renovables y acondicionamiento de espacios por temperatura.

Resumen

Uno de los factores esenciales para la adquisición y correcto uso de los Sistemas Fotovoltaicos (SFs) residenciales radica en la interpretación que realiza el usuario de su propio consumo de energía y la cantidad de energía que su SF genera, esto no se logra si existe desconocimiento en la interpretación del medidor de energía bidireccional, la factura que emite la empresa suministradora de energía, y el monitoreo de generación del SF en la red eléctrica de Comisión Federal de Electricidad (CFE). En este artículo se presenta una descripción global del comportamiento de un SF residencial conectado a la red eléctrica de CFE, esto con el objetivo de explicar a la sociedad conceptos claves empleados en esta área, además, se muestra un estudio de la producción de energía eléctrica del SF anual, describiendo los meses de mayor y menor generación de energía y relacionándolos con factores como el clima. Por último, se explica cómo CFE considera la generación de energía eléctrica empleando el SF para el cobro bimestral en una vivienda unifamiliar.

Summary

One of the essential factors for the acquisition and correct use of residential Photovoltaic Systems (SFs) lies in the interpretation made by the user of his own energy consumption and the amount of energy that his SF generates, this is not achieved if there is ignorance in the interpretation of the bidirectional energy meter, the invoice issued by the energy supply company, and the monitoring of SF generation in the electrical network of the Federal Electricity Commission (CFE). This article presents a global description of the behavior of a residential SF connected to the CFE electrical network, this with the aim of explaining to society key concepts used in this area, in addition, a study of the production of electrical energy is shown. of the annual SF, describing the months with the highest and lowest energy generation and relating them to factors such as the weather. Finally, it is

TECNOTREND[®]

explained how the CFE considers the generation of electrical energy using the SF for the bimonthly payment in a single-family home.

Palabras clave

Sistema fotovoltaico residencial, red eléctrica CFE, energía eléctrica.

Keywords

Residential photovoltaic system, CFE electrical network, electrical energy.

Introducción

La energía solar es la segunda energía renovable más utilizada a nivel mundial, los paneles fotovoltaicos constituyen uno de los elementos más simples empleados para transformar la energía solar en energía eléctrica aprovechable (Acciona, 2018). México tiene un alto potencial en materia de recursos naturales y la energía del sol no es la excepción, ya que se tiene la capacidad de captar energía en un promedio de 6 horas pico (Nasa, 2019), lo que representa un promedio mayor al que genera Alemania, que es el país líder en aprovechamiento de energía solar (Powersteim, 2017).

Hoy en día, México sigue apostando a las energías fósiles como el petróleo, lo que es necesario reconsiderar debido a la situación climática que se vive en la actualidad. Es necesario que el pueblo mexicano se familiarice con los Sistemas Fotovoltaicos (SFs), conociendo los elementos que lo conforman, su funcionamiento y el beneficio que representa instalar un sistema de generación de energía eléctrica limpia en su hogar.

Metodología

Para explicar el comportamiento de un *SF* residencial conectado a la red eléctrica de Comisión Federal de Electricidad (CFE) es necesario conocer el funcionamiento de una celda solar, los componentes que integran el *SF*, así como la energía generada por este en distintas condiciones climáticas, para, finalmente, analizar el impacto económico en el cobro de energía por parte de la *CFE*.

Panel Solar y su Funcionamiento

Los paneles fotovoltaicos consisten en un conjunto de elementos denominados células solares o células fotovoltaicas, dispuestos en paneles, los cuales transforman directamente la energía solar en energía eléctrica (Espejo, 2004). Para el funcionamiento de las células solares, una oblea de semiconductor delgada se trata especialmente para formar un campo eléctrico, que es positivo en un lado y negativo en el otro. Cuando la energía de la luz golpea la célula solar, los electrones se desprenden de los átomos en forma de una corriente eléctrica, es decir, electricidad en corriente directa (Dias, 2008). La electricidad obtenida puede usarse para suministrar energía a una carga, pero antes, debe ser convertida a corriente alterna, esto debido a que es el tipo de energía eléctrica que utilizan los electrodomésticos en una casa habitación.

Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado a la Red Eléctrica de CFE

Existen dos formas de usar la energía eléctrica que generan los paneles fotovoltaicos, las instalaciones aisladas y las instalaciones conectadas a la red eléctrica de *CFE* (Espejo, 2004). En las instalaciones conectadas a la red eléctrica, la energía eléctrica producida por los paneles es transformada mediante un inversor a corriente alterna, generando una señal eléctrica con las mismas características de la señal que ofrece la compañía de distribución de energía eléctrica (En el caso de México, *CFE* es la compañía encargada de esta actividad). En la figura 1 se

TECNO TREND

presenta una imagen que ilustra los elementos de un sistema fotovoltaico residencial.

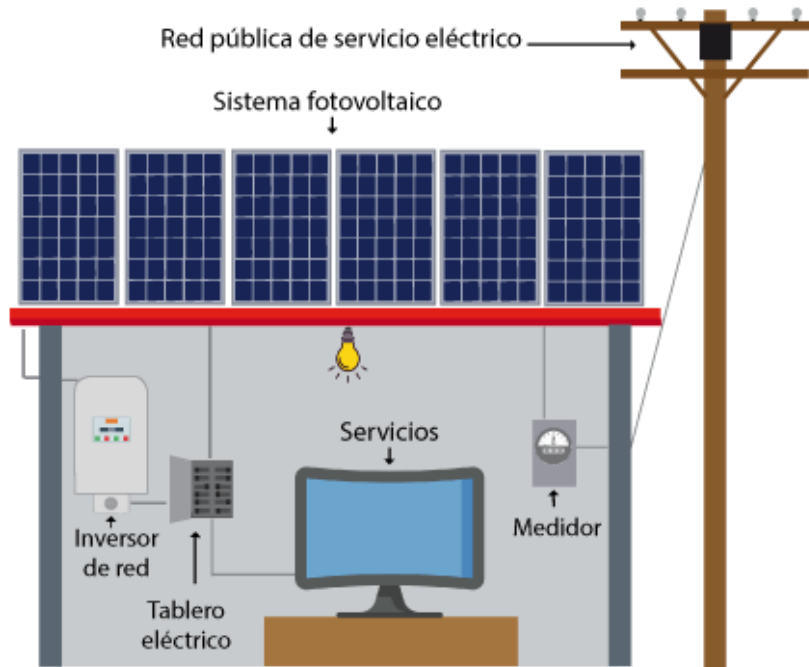


Figura 1. Sistema Fotovoltaico Interconectado

Fuente: Autores

Para el análisis que se presenta en este documento se consideró un *SF* instalado en una residencia ubicada en la ciudad de Celaya, Guanajuato, el cual consiste en un arreglo en serie de seis paneles fotovoltaicos SRP-6MA-DG de 370 W cada uno, además de un inversor modelo GW2000-NS GoodWe de 2 kW. Una de las ventajas de este inversor es que cuenta con un Sistema de Gestión de la Energía Inteligente (SEMS, por sus siglas en inglés).

Este *SEMS* posee la interfaz de usuario gráfica que se presenta en la figura 2, esta página web permite a los usuarios generar gráficos e informes del comportamiento de diversas variables del *SF* (Goodwe, 2021). El *SEMS* realiza lecturas cada 5 minutos de 11 variables del *SF*, para los estudios que se presentan en este

TECNO TREND

documento se exportó el comportamiento de la generación de energía eléctrica diaria (Potencia en W y Energía Eléctrica en kW/h) a archivos en Excel para su análisis.

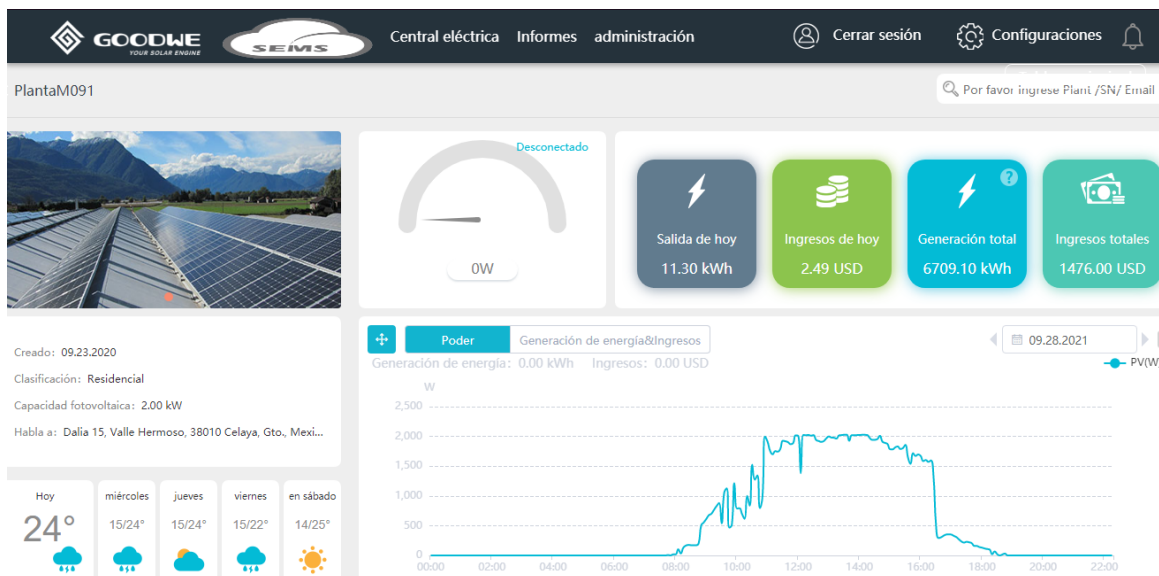


Figura 2. Plataforma GoodWe SEMS

Fuente: Autores

Generación de Energía Eléctrica

La radiación solar y la temperatura de funcionamiento son condiciones de las que depende la operación de un panel fotovoltaico. En Celaya la temporada calurosa abarca de abril a junio, la cual presenta una temperatura máxima promedio diaria superior a 29 °C, la temporada fresca es del 24 de noviembre al 6 de febrero, con una temperatura máxima promedio diaria menor a 25 °C.

Otro punto importante para la generación de energía eléctrica de un SF son las nubes, la parte más despejada del año en Celaya es entre octubre y junio. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 9 de junio y termina aproximadamente el 27 de octubre (Spark, 2021).

Por otro lado, la duración de la luz del sol es una variable de gran importancia en la generación de energía eléctrica en los SFs. En la Tabla 1 se presenta el promedio de horas de generación de energía eléctrica mensual del SF instalado. En esta tabla se aprecia que los meses con más horas de producción de energía son mayo y julio, mientras que diciembre es el mes con menor número de horas.

Tabla 1. Promedio de horas de producción de energía eléctrica fotovoltaica

Mes	Año	Tiempo	Mes	Año	Tiempo
Septiembre	2020	11 hrs 25 min	Marzo	2021	11 hrs 07 min
Octubre	2020	10 hrs 59 min	Abril	2021	11 hrs 41 min
Noviembre	2020	10 hrs 23 min	Mayo	2021	12 hrs 04 min
Diciembre	2020	10 hrs	Junio	2021	11 hrs 34 min
Enero	2021	10 hrs 18 min	Julio	2021	12 hrs 06 min
Febrero	2021	10 hrs 48 min	Agosto	2021	11 hrs 35 min

Las horas de salida y puesta del sol están directamente relacionadas con los solsticios, los cuales ocurren debido a la inclinación angular del eje de rotación de la Tierra. Desde marzo a septiembre, el hemisferio norte está más inclinado hacia el Sol, lo que da lugar a la primavera y el verano. De septiembre a marzo, el hemisferio norte está más alejado, de ahí que ocurran el otoño y el invierno

(Greshko, 2021). Esto está directamente relacionado con la información que se muestra en la Tabla 1, diciembre es el mes con menor producción de energía, porque es invierno, y en la primavera (marzo – septiembre) es el periodo con mayor producción de energía.

Resultados

Empleando el SEMS de GoodWe se obtuvo la información que se presenta en la figura 3, la cual ilustra la cantidad de energía eléctrica generada por el SF mensualmente. Los meses con mayor generación de energía son marzo, mayo y octubre; mientras que los meses con menor generación de energía son junio, noviembre y diciembre.

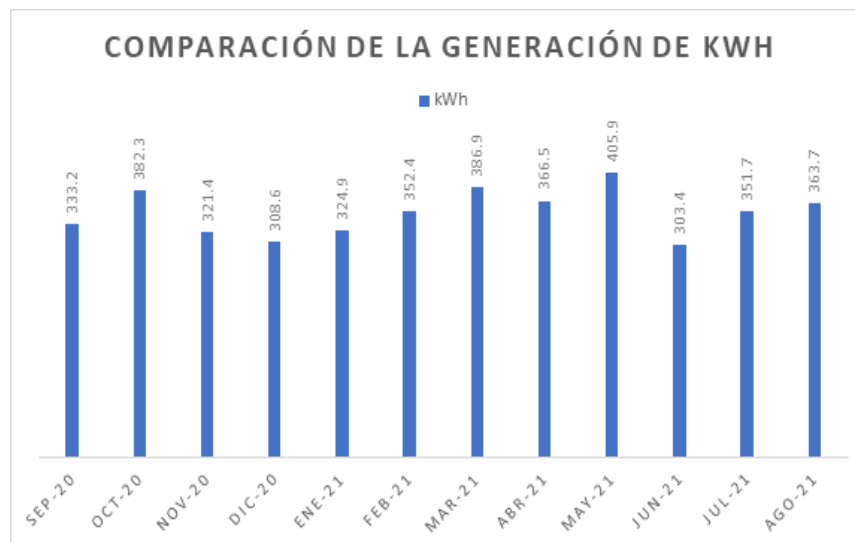


Figura 3. Generación de energía eléctrica anual.

Fuente: Autores

Otro aspecto de suma importancia al contar con un SF residencial es que el usuario comprenda e interprete la factura que emite CFE cada bimestre. En la figura 4 se presenta una gráfica que muestra la cantidad de energía consumida por la vivienda y la cantidad de energía devuelta por el SF a CFE cada bimestre. Con base a la

diferencia de ambas cantidades de energía *CFE* calcula el cobro bimestral. Los datos que se presentan en la figura 4 corresponden al *SF* residencial instalado en la Ciudad de Celaya.

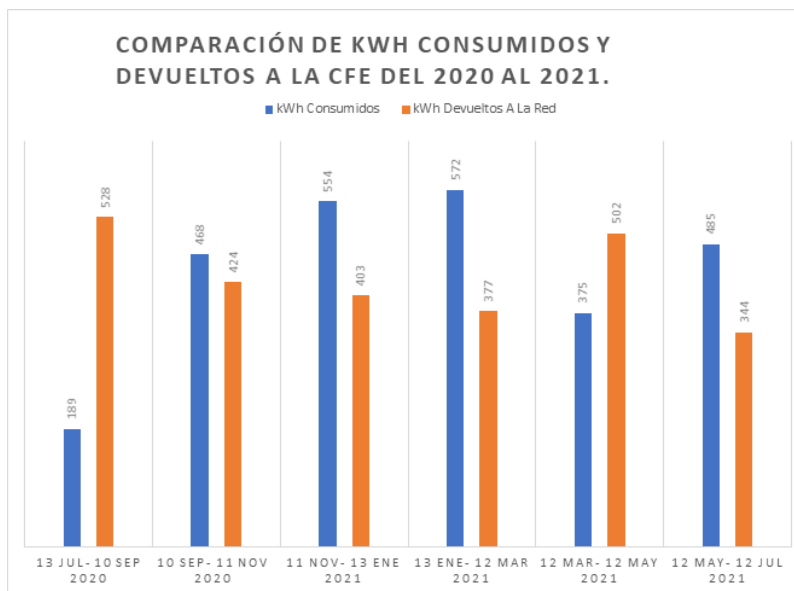


Figura 4. kWh consumidos (azul) y kWh devueltos a la red de la CFE (naranja).

Fuente: Autores

Cuando la energía suministrada a *CFE* excede la energía consumida por los aparatos instalados en la vivienda (el *SF* genera más energía de la que las cargas en la vivienda consumen), por reglamento, *CFE* cobra lo equivalente a 50 kWh bimestrales por el servicio, mientras que los kWh excedentes son acumulados hasta por 12 meses y descontados en la siguiente factura (Rybnik, 2019). Considerando las lecturas obtenidas de las facturas emitidas por *CFE* en un año, se generó el gráfico de la figura 5.

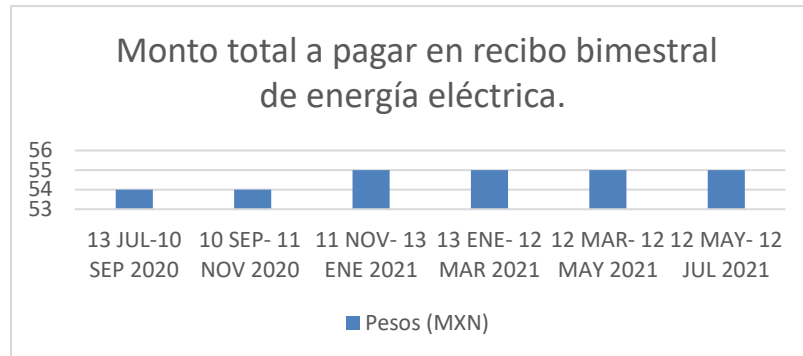


Figura 5. Comparación de recibos residenciales bimestrales en un año.

Fuente: Autores

El bimestre julio - septiembre del 2020 fue el de menor consumo, además, fue el de mayor cantidad de energía suministrada a *CFE*, mientras que el bimestre de mayor consumo de energía fue enero - marzo del 2021, y el de menor cantidad de energía suministrada a *CFE* fue el periodo de mayo - julio del 2021.

Conclusiones

Al adquirir un *SF*, además de revisar que el *SF* cumpla con las condiciones de la demanda energética que su casa habitación presenta, es necesario revisar los complementos que el *SF* posee. Un elemento de gran utilidad para los usuarios es el monitoreo remoto de su *SF*, el cual permite a los usuarios conocer la energía que genera en tiempo real el *SF* empleando un dispositivo con acceso a internet. El *SF* que se analizó en este trabajo cuenta con la plataforma *SEMS*, la cual ofrece monitoreo en tiempo real desde cualquier dispositivo con acceso a internet, acceso a datos históricos del *SF*, generación de reportes con datos personalizados, entre otros.

Una vez que los futuros adquirentes de *SFs* lean este documento comprenderán de manera general los conceptos empleados en esta área, además de los principales componentes de un *SF*, así como el funcionamiento de cada uno de

ellos. Por otro lado, para los actuales usuarios de SFs en sus casas habitación, este documento les permite realizar una interpretación del consumo y generación de energía, leyendo la factura que cada bimestre CFE emite para el reporte y cobro del servicio que se ofrece.

Este documento también presenta información relevante sobre las principales variables climáticas que afectan a los SFs para la generación de energía eléctrica, los meses de mayor generación para la ciudad de Celaya, Guanajuato, así como las causas que provocan las variaciones de la energía eléctrica generada por los SFs.

Referencias

- [1] Powerstein Staff. (2017). Los 5 países líderes en producción de energía solar. 22/03/2021, de Powerstein Sitio web: <http://www.powerstein.com.mx/los-5-paises-lideres-en-produccion-de-energia-solar/>
- [2] Acciona. (2018). FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE MÁS EXTENDIDAS. 27/03/2021, de Sostenibilidad para todos Sitio web: https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/las-energias-renovables-mas-utilizadas/?_adin=11711554438
- [3] Nasa. (2019). Hora solar pico en paneles solares. 23/03/2019, Nasa Prediction of Worldwide Energy Resources. Sitio web: <https://power.larc.nasa.gov/>
- [4] Dias Silva, N. D. J. (2008). Celdas fotovoltaicas en la distribución (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Electroenergética).
- [5] Espejo. (2004). La energía solar fotovoltaica en España. España: Universidad de Murcia.
- [6] Goodwe. (2021). Inversores para uso residencial. Obtenido de <https://es.goodwe.com/productos.asp>

TECNO TREND[®]

[7] Greshko. (21 de 06 de 2021). National Geographic. Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2021/06/que-es-el-solsticio-de-verano-esto-es-todo-lo-que-necesitas-saber>

[8] Spark, W. (2016). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Celaya. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/5015/Clima-promedio-en-Celaya-México-durante-todo-el-año>

[9] Rybnik. (2019). Cómo predecir la producción de energía solar. Obtenido de Ichi Pro: <https://ichi.pro/es/como-predecir-la-produccion-de-energia-solar-150069967768017>