

DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL INTERCONECTADO A LA RED

SIZING AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A GRID-CONNECTED RESIDENTIAL PHOTOVOLTAIC SYSTEM

Arturo Ocampo Bahena

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México
m23ce108@cenidet.tecnm.mx

Susana Estefany De León Aldaco

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México
susana.da@cenidet.tecnm.mx

Jesús Aguayo Alquicira

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México
jesus.aa@cenidet.tecnm.mx

Eligio Flores Rodríguez

Tecnológico Nacional de México / ITS de Los Reyes, México
eligio.fr@losreyes.tecnm.mx

Mario Ponce Silva

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México
mario.ps@cenidet.tecnm.mx

Luis Gerardo Vela Valdés

Tecnológico Nacional de México / CENIDET, México
luis.vv@cenidet.tecnm.mx

Recepción: 9/diciembre/2024

Aceptación: 27/diciembre/2024

Resumen

Este trabajo aborda el análisis de rendimiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red seleccionando como caso de estudio una ubicación en el estado de Guerrero, México. Se consideran variables meteorológicas locales para el dimensionamiento, y con el objetivo de observar cómo estas pueden influir en el rendimiento del sistema fotovoltaico. Se usan herramientas de software como PVGIS y POWER para la extracción de datos meteorológicos de la zona, así como el software PVsyst para la simulación del sistema. Se analiza el comportamiento

que tienen los módulos fotovoltaicos bajo la influencia de las variables meteorológicas y se comprueba la producción energética del sistema, así como las pérdidas que tiene en cada una de sus etapas. Como resultado se obtuvo un sistema con una proporción de rendimiento del 76.5%, esto debido principalmente a las pérdidas generadas por la influencia de la temperatura en los módulos y otras etapas del sistema.

Palabras Clave: Energías renovables, Dimensionamiento fotovoltaico, Pérdidas en sistemas fotovoltaicos, Producción energética, Variables meteorológicas.

Abstract

This work deals with the performance analysis of a grid-connected photovoltaic system, selecting as a case study a location in the state of Guerrero, Mexico. Local meteorological variables are considered for sizing, and with the objective of observing how these can influence the performance of the PV system. Software tools such as PVGIS and POWER are used for the extraction of meteorological data from the area, as well as PVSyst software for the simulation of the system. The behavior of the photovoltaic modules under the influence of meteorological variables is analyzed and the energy production of the system is verified, as well as the losses in each of its stages. As a result, a system with an efficiency ratio of 76.5% was obtained, mainly due to the losses generated by the influence of the temperature in the modules and other stages of the system.

Keywords: Energy production, Losses in photovoltaic systems, Meteorological variables, Photovoltaic sizing, Renewable energies.

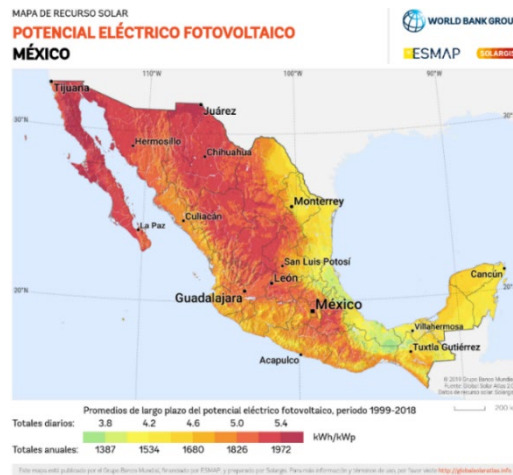
1. Introducción

El aprovechamiento de las energías renovables ha incrementado de manera considerable a nivel mundial en los últimos años. Este crecimiento está siendo impulsado debido a la constante lucha contra el calentamiento global, la volatilidad de los precios de los combustibles convencionales y el incremento de oportunidades de negocio con las nuevas tecnologías [Santiago, 2017]. El sol es la mayor fuente de energía renovable en el planeta. La energía fotovoltaica puede generarse en

cualquier punto del planeta sin importar el clima ni el tipo de ambiente ya sea urbano o rural, con la única condición de que exista la cantidad de luz solar adecuada [Dondariya, 2018]. Debido a que la energía solar es un recurso energético libre, la producción de energía fotovoltaica puede volverse la mayor contribuidora a la disminución de la producción de dióxido de carbono [Mary, 2015]. En las últimas décadas la tecnología fotovoltaica ha experimentado un considerable avance a nivel tecnológico y científico. La cantidad de energía necesaria para la producción de paneles solares y su costo han reducido de tal manera que actualmente es mucho más rápido recuperar la inversión inicial durante los primeros años de uso. Conforme la tecnología sigue avanzando, los sistemas se vuelven más confiables y con menor riesgo de fallas, haciendo que la vida útil del sistema se alargue hasta 20 años [Santiago, 2017]. La eficiencia de las células solares ha aumentado hasta 5 veces, esto debido a la constante investigación y búsqueda de nuevos materiales que contengan propiedades fotovoltaicas para el desarrollo de las células solares [Oriana, 2018]. En años anteriores los sistemas fotovoltaicos solo eran viables para ser usados como fuente de energía para satélites de telecomunicación. En la actualidad, los mercados eléctricos subastan la energía producida por este tipo de sistemas a un precio que es menor a los de las fuentes convencionales [Santiago, 2017]. México es un país con un gran potencial eléctrico fotovoltaico, como se puede observar en la Figura 1. Esto permite la posibilidad de generar un gran cambio al utilizar la energía fotovoltaica como fuente de generación de energía limpia. De esta manera se puede lograr disminuir el consumo de los combustibles fósiles y el avance del cambio climático en nuestro planeta. Es por esto que es necesario realizar estudios enfocados al desarrollo de los sistemas fotovoltaicos y analizar el comportamiento e impacto que estos tienen en distintas zonas geográficas.

Un sistema fotovoltaico es la combinación de varios elementos entre los cuales podemos encontrar módulos fotovoltaicos, inversores o microinversores, elementos de protección, sistemas de seguimiento solar, entre otros. Los elementos varían dependiendo del tamaño del sistema y la finalidad del mismo. A nivel residencial el tipo de sistema fotovoltaico más común es el interconectado a la red. Esto es debido a que durante el día se puede consumir la energía generada por el propio sistema

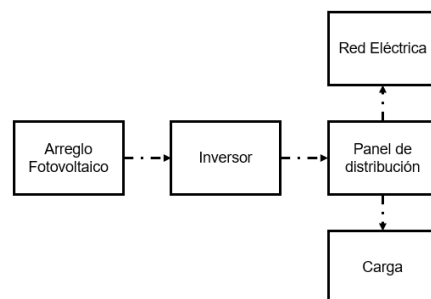
fotovoltaico y durante la noche cuando no hay luz solar se puede obtener energía de la red eléctrica sin necesidad de depender cien por ciento de la luz solar. Además, en caso de existir un excedente de energía producido para no desperdiciarla se puede inyectar el excedente a la red eléctrica. La empresa suministradora de energía tomara en cuenta la energía inyectada como saldo a favor para el usuario y así obtener un ahorro monetario.



Fuente: solargis

Figura 1 Potencial eléctrico fotovoltaico en México.

En la Figura 2 se muestra como está compuesto un sistema fotovoltaico interconectado a la red. Como se puede observar, un sistema fotovoltaico interconectado se compone principalmente de un arreglo fotovoltaico usado como fuente de energía, un inversor para transformar la corriente directa en corriente alterna y un panel de distribución para enviar la corriente alterna a las cargas.



Fuente: Soteris, 2013

Figura 2 Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico interconectado.

Todo sistema fotovoltaico tiene una finalidad, la cual es producir energía eléctrica usando como fuente de energía la radiación solar incidente en el planeta [Aghaei, 2020]. Sin embargo, existen factores a tomar en cuenta a la hora de dimensionar un sistema fotovoltaico y esto es debido a que son muy sensibles a las condiciones climáticas locales de la instalación. La irradiancia solar el factor más importante para la producción energética del sistema. Entre mayor sea la irradiancia que incide en los módulos fotovoltaicos mayor será su producción eléctrica [Pabasara, 2018].

En la Tabla 1 se muestran una serie de artículos en los cuales se ha realizado estudios sobre el dimensionamiento, simulación y análisis de rendimiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red (SFVI).

Tabla 1 Artículos relacionados al estudio de SFVI.

Referencia	Ubicación geográfica	Tamaño del sistema	Software de simulación	Descripción
[Sawner, 2021]	Jabalpur, India	100 <i>kWp</i>	PVsyst	Simulación y análisis de rendimiento de un SFVI.
[Abdullah, 2021]	Tochigi, Japón	40.1 <i>kWp</i>	–	Análisis de rendimiento de un SFVI.
[Shrivastava, 2021]	Tamil Nadu, India	20 <i>kWp</i>	PVsyst	Evaluación de rendimiento de un SFVI.
[Haffaf, 2021]	Mulhouse, Francia	2.4 <i>kWp</i>	PVGIS, HOMER	Análisis de rendimiento de un SFVI.
[Husain, 2021]	Selangor, Malasia	380 <i>kWp</i>	PVSyst	Dimensionamiento y análisis tecno-económico de un sistema fotovoltaico interconectado.
[Baseer, 2020]	Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos	100 <i>MW</i>	PVsyst	Rendimiento y optimización de plantas comerciales de energía solar fotovoltaica.
[Chauhan, 2020]	Sevilla, España	15 <i>kWp</i>	PVsyst	Diseño y análisis de rendimiento de un SFVI.

Fuente: elaboración propia

2. Métodos

La ubicación geográfica para el presente caso de estudio es la ciudad de Iguala de la Independencia ubicada en el estado de Guerrero, México. Esta ubicación fue elegida debido a que a pesar de que el estado de Guerrero cuenta con un buen recurso solar, los estudios donde se evalúan sistemas fotovoltaicos en esta zona son escasos. Es por esta razón que se optó por realizar un caso de estudio donde se muestre detalladamente el proceso para dimensionar un sistema fotovoltaico y

evaluar su rendimiento en esta zona geográfica. En esta ubicación se tiene una vivienda con un consumo de energía diario de 7.93 kWh el cual se tiene como objetivo cubrirse con la producción energética del sistema fotovoltaico a instalar. Para el dimensionamiento del sistema se necesitan conocer algunas variables además del consumo, tales como el ángulo óptimo para la inclinación de los paneles solares, las temperaturas máximas y mínimas de la zona, la irradiancia solar que recibe dicha ubicación y las horas solares pico. Para obtener los datos de las variables anteriormente mencionadas se utilizan herramientas de software que usan bases de datos meteorológicas, tales como PVGIS, POWER y Meteonorm. Con ayuda de estas herramientas se extraen los datos históricos para su posterior análisis. Para conocer el consumo de la vivienda se recurrió a los datos históricos de consumo proporcionados por la empresa local suministradora de energía eléctrica, que en caso de México es la CFE. En la factura bimestral se muestran los datos históricos de consumo. Para un buen dimensionamiento de un sistema fotovoltaico es recomendable tomar datos de por lo menos un año entero, ya que de esta forma se pueden observar las variaciones de consumo durante todo el año. Estas variaciones son debidas a las diferentes estaciones del año que involucran cambios de temperatura y por tanto un diferente uso de los electrodomésticos. En la Tabla 2 se muestran los datos de consumo obtenidos de la vivienda para este caso de estudio.

Tabla 2 Historial de consumo.

Periodo	Consumo (Wh)
Enero - Febrero	352,000
Marzo - Abril	451,000
Mayo - Junio	611,000
Julio - Agosto	551,000
Septiembre - Octubre	512,000
Noviembre - Diciembre	415,000
Promedio diario	7,925

Fuente: elaboración propia

El promedio diario de consumo es uno de los datos importantes a tomar en cuenta durante el proceso del dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Una vez obtenido el consumo se procedió a extraer los datos meteorológicos de la zona. La

herramienta POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) de la NASA proporciona datos meteorológicos globales que son útiles para diversas aplicaciones. Esta herramienta se usa particularmente en campos de la energía, gestión ambiental e investigación científica. Los datos de temperatura mensuales que fueron extraídos con ayuda de la herramienta anteriormente descrita se pueden observar en la Tabla 3. Los datos extraídos se encuentran divididos en temperaturas máximas y mínimas alcanzadas a lo largo del año en la ubicación geográfica seleccionada para este estudio.

Tabla 3 Temperaturas obtenidas en la ubicación geográfica seleccionada.

Mes	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
Enero	32.12	10.05
Febrero	33.3	11.15
Marzo	35.29	11.48
Abril	37.82	15.4
Mayo	37.82	17.05
Junio	33.75	16.25
Julio	32.25	16.21
Agosto	30.31	15.61
Septiembre	28.04	13.55
Octubre	28.94	12.93
Noviembre	30.42	12.82
Diciembre	30.6	10.23

Fuente: elaboración propia

Los datos de temperatura máxima y mínima son importantes debido a que estas afectan el rendimiento de los paneles solares. Cuando un módulo fotovoltaico es expuesto a temperaturas elevadas el voltaje producido por este mismo disminuye, en cambio cuando se expone a temperaturas bajas el voltaje aumenta [Hasan, 2022]. Para la obtención de los datos de irradiancia solar se utilizó la herramienta PVGIS. Primeramente, se tiene que conocer la inclinación a la cual se planea instalar los módulos fotovoltaicos, Ecuación 1 [Mario, 2012].

$$\text{Ángulo Óptimo} = \text{Latitud } (\Phi) \quad (1)$$

En este caso la ubicación seleccionada tiene como coordenadas: 18.343, 99.546 por tanto el ángulo óptimo según la Ecuación 1 es igual a 18.34°. El ángulo óptimo

es necesario para la obtención de los datos de irradiancia solar debido a que dependiendo de la posición de los paneles solares la irradiancia solar incidente en ellos varía. PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) es una herramienta desarrollada por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea, diseñada para proporcionar datos y recursos clave para la evaluación y el diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica.

Conociendo el ángulo óptimo para los paneles solares se obtienen los valores promedio de irradiancia solar mensual a través de la herramienta PVGIS. Esta herramienta obtiene información de la base de datos nacional de radiación solar (NSRDB) para esta ubicación en específico, obteniendo así los datos de la Tabla 4.

Tabla 4 Valores promedio de irradiancia solar mensual.

Mes	W/m^2
Enero	922.75
Febrero	985.82
Marzo	1,026.01
Abril	993.85
Mayo	913.31
Junio	843.77
Julio	867.58
Agosto	906.10
Septiembre	856.48
Octubre	856.48
Noviembre	941.59
Diciembre	917.15

Fuente: elaboración propia

Las horas solares pico (*HSP*) son la cantidad de energía solar que se recibe por metro cuadrado suponiendo una irradiancia solar constante de $1,000 W/m^2$ [Maykop, 2017]. Este dato es importante para saber cuánta energía es capaz de generar un módulo fotovoltaico al día. Para la obtención de las horas solares pico de la zona geográfica se utilizó la herramienta POWER, obteniendo así los datos de la Tabla 5. Con los datos obtenidos se da comienzo al dimensionamiento del sistema fotovoltaico. El objetivo es cubrir la demanda energética de la vivienda así que se debe seleccionar el módulo fotovoltaico y la cantidad necesaria del mismo para producir la energía requerida. En este caso se eligió el módulo CS6W 550MS de la empresa CanadianSolar que tiene una potencia nominal de $550 W$. Las

características del módulo en condiciones estándar de prueba se resumen en la Tabla 6 [CanadianSolar, 2023].

Tabla 5 Horas solares pico.

Mes	HSP
Enero	6.09
Febrero	6.71
Marzo	7.03
Abril	6.85
Mayo	6.04
Junio	5.63
Julio	5.83
Agosto	5.94
Septiembre	5.62
Octubre	5.95
Noviembre	6.14
Diciembre	5.82

Fuente: elaboración propia

Tabla 6 Características eléctricas del módulo CS6W 550MS.

Máxima potencia nominal	550 W
Voltaje de máxima potencia	41.7 V
Corriente de máxima potencia	13.2 A
Voltaje de circuito abierto	49.6 V
Corriente de corto circuito	14 A

Fuente: CanadianSolar

Para calcular la energía producida por un módulo se usa la Ecuación 2 la cual requiere tener el dato del promedio de horas solares pico de la zona, la potencia del módulo en kW y un factor de rendimiento del sistema. Por seguridad es común usar un factor de rendimiento de un 75% en el caso de un sistema doméstico.

$$E_{m, \text{ día}} = HSP \times P_m \times R \quad (2)$$

Donde:

$E_{m, \text{ día}}$: Energía promedio del módulo fotovoltaico por día (kWh)

HSP : Horas solares pico

P_m : Potencia del módulo fotovoltaico (kW)

R : Rendimiento del sistema (0.75)

El resultado obtenido es una energía diaria producida de 2.53 kWh por módulo fotovoltaico. Para conocer la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios se usa

la Ecuación 3 en donde se considera el consumo de la vivienda y la energía producida por módulo [José, 2017].

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Em, día}} \quad (3)$$

Donde:

Consumo : Energía diaria consumida (*kWh*)

Em, día : Energía promedio del módulo fotovoltaico por día (*kWh*)

Como resultado se obtuvo una cantidad de cuatro módulos los cuales conectados eléctricamente en serie dan una suma de 10.12 *kWh* de energía producida al día. La cantidad de energía obtenida por el arreglo fotovoltaico (AFV) es suficiente para cubrir la demanda. El inversor a utilizar debe cumplir con las especificaciones adecuadas para poder trabajar con el arreglo fotovoltaico dimensionado. Para esto se debe cumplir con una serie de condiciones las cuales se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 Condiciones para la selección del inversor solar.

Parámetro en inversor	Condición
Corriente máxima de entrada	Mayor a la corriente máxima de salida del AFV
Corriente máxima de corto circuito	Mayor a la corriente de corto circuito del AFV
Tensión máxima de entrada	Mayor al voltaje de corto circuito del AFV
Rango de voltaje MPPT	Voltaje de máxima potencia del AFV dentro del rango
Tensión de arranque	Menor al voltaje de máxima potencia del AFV
Potencia nominal de salida	Límite de sobredimensionado en AFV de 25%
Potencia máxima de entrada	Mayor a la potencia máxima de salida del AFV

Fuente: elaboración propia

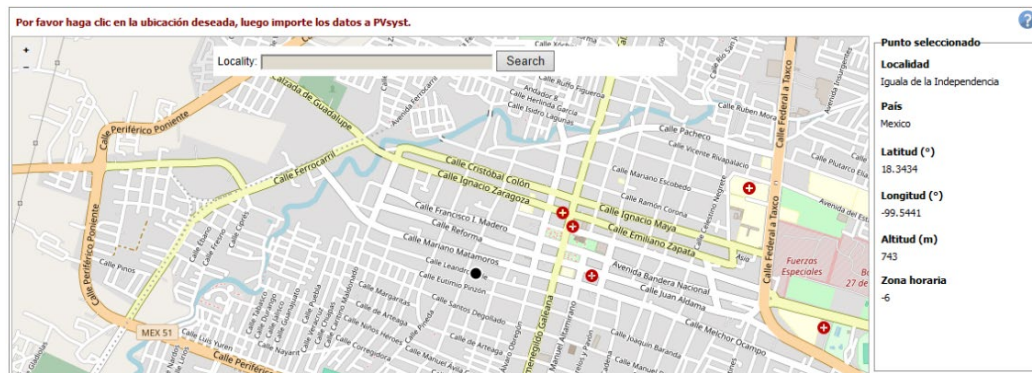
El inversor seleccionado que cumple las características anteriormente mencionadas es el Fronius Galvo 2.0-1. En la Tabla 8 se muestran las características eléctricas del inversor [Fronius, 2015].

Tabla 8 Características eléctricas del inversor.

Corriente máxima de entrada	17.4 A
Corriente de máxima potencia	22.4 A
Tensión máxima de entrada	420 V
Rango de voltaje de MPPT	120 a 335 V
Tensión de arranque	140 V
Potencia nominal de salida	2,000 W
Potencia máxima de entrada	3,200 W

Fuente: Fronius

Una vez dimensionados los elementos del sistema fotovoltaico se procedió a realizar una simulación del sistema. PVsyst es una herramienta de software especializada en la simulación, diseño y análisis de sistemas de energía solar fotovoltaica. Para simular el sistema existen varias etapas que deben realizarse desde la interfaz del software. Las etapas necesarias para este tipo de sistema en concreto son: sitio, orientación, sistema y autoconsumo. En la etapa de sitio se selecciona la ubicación geográfica ingresando las coordenadas del lugar de la instalación, esto sirve para que el software extraiga los datos meteorológicos de esa ubicación en específico. Esta etapa se muestra a continuación en la Figura 3.



Fuente: elaboración propia

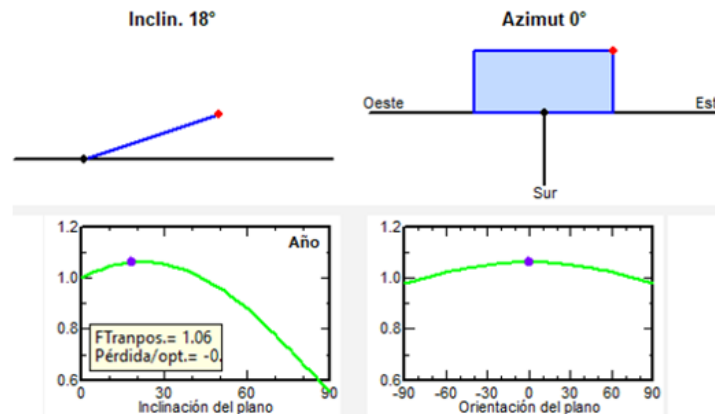
Figura 3 Selección del sitio geográfico.

En la etapa de orientación se asigna el ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos el cual fue previamente calculado con la Ecuación 1 obteniendo un ángulo de 18.34° . En la Figura 4 se comprueba con el software que el ángulo obtenido es el adecuado para lograr un mayor rendimiento en el sistema fotovoltaico, obteniendo un factor de transposición de 1.06 lo cual indica que se produce un 6% más de energía a diferencia de si los paneles se posicionaran de manera totalmente horizontal.

En la etapa de sistema se ingresan los elementos que conforman el sistema fotovoltaico. En la Figura 5 se observa la selección del inversor y los módulos fotovoltaicos a utilizar, así como todas sus características eléctricas.

Una vez teniendo los elementos se procede a diseñar el conjunto. En este caso el sistema consiste de una sola cadena de cuatro módulos en serie. En la Figura 6 se

muestra el resultado del diseño del conjunto en donde se observa que las condiciones de operación son las adecuadas y por tanto no cuenta con pérdidas por sobrecarga.



Fuente: elaboración propia

Figura 4 Ángulo óptimo para los paneles solares.

La imagen muestra la interfaz de usuario del software PVsyst. La sección superior, 'Seleccione el módulo FV', muestra un filtro de 'Todos los módulos F', un fabricante seleccionado como 'Canadian Solar' y un modelo '550 Wp 35V Si-mono CS6W 550MS'. Se muestran los voltajes de operación: 'Dimensiona. voltaje : Vmpp (60°C) 36.2 V' y 'Voc (-10°C) 54.5 V'. La sección inferior, 'Seleccione el inversor', muestra un filtro de 'Disponibles ahora', un voltaje de salida de '230 V Mono 50Hz', un fabricante 'Fronius International' y un modelo '2,0 kW 120 - 335 V HF Tr 50/60 Hz Galvo 2.0-1'. Se muestran los parámetros de operación: 'Núm. de inversores 1', 'Voltaje de funcionamiento: 120-335 V', 'Poder global inversor 2.0 kWca' y 'Voltaje máximo de entrada: 420 V'.

Fuente: elaboración propia

Figura 5 Elección de elementos del sistema en el software PVsyst.

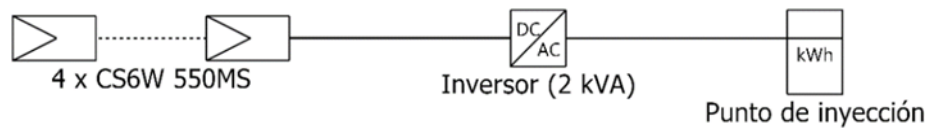
La imagen muestra la interfaz de usuario del software PVsyst en la sección 'Diseñe el conjunto'. El título es 'Diseñe el conjunto' y el sub-título es 'Núm. de módulos y cadenas'. Se muestran los parámetros de configuración: 'Mód. en serie' con un valor de 4, 'Núm. cadenas' con un valor de 1, y 'Perdida sobrecarga' con un valor de 0.0%. Se muestra también la 'Proporción Pnom' con un valor de 1.10. En la parte inferior, se muestran los resultados: 'Núm. de módulos 4' y 'Área 10 m²'. Hay un botón 'Dimensionamiento' con un signo de interrogación.

Fuente: elaboración propia

Figura 6 Diseño del conjunto fotovoltaico.

3. Resultados

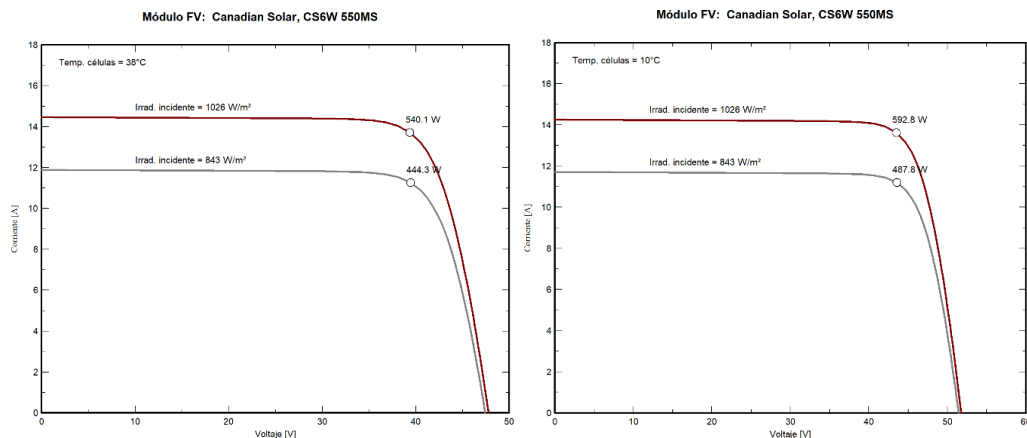
Las siguientes figuras y diagramas fueron obtenidos de los resultados de la simulación realizada en el software PVsyst. En la Figura 7 se observa el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico dimensionado y sus elementos. El resultado fue un sistema con un arreglo fotovoltaico de 4 módulos fotovoltaicos conectados eléctricamente en serie y un inversor de 2 kW.



Fuente: elaboración propia

Figura 7 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico.

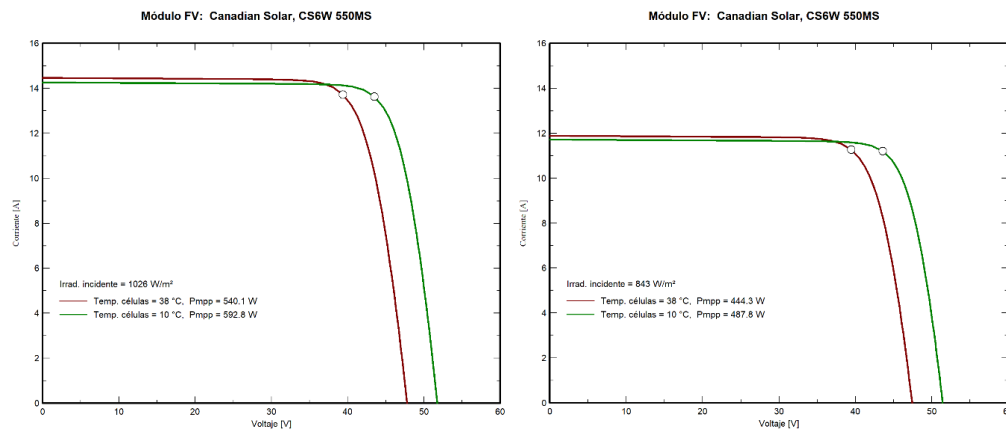
En la Figura 8 se muestran las gráficas de corriente-voltaje o también conocida como curva I-V donde se observa cómo influye la irradiancia solar en la corriente de salida de cada módulo fotovoltaico. En las gráficas se consideran valores de temperatura ambiente cercanos a los máximos y mínimos obtenidos a lo largo del año. En la gráfica de la izquierda se considera un valor de temperatura ambiente fijo de 38 °C, y en la gráfica de la derecha un valor de temperatura ambiente fijo de 10 °C. En ambas gráficas se consideran los valores de irradiancia máxima y mínima (1,026 y 843 W/m²) obtenidos a lo largo del año.



Fuente: elaboración propia

Figura 8 Curva I-V en valores mínimo y máximo de irradiancia solar.

Se puede observar que a mayor irradiancia solar mayor es la salida de corriente de los módulos fotovoltaicos y a mayor temperatura el voltaje de salida disminuye, por tanto, la potencia de salida varía dependiendo de estas variables. En la Figura 9 se muestran las gráficas de variación de voltaje de salida del módulo con los valores mínimo y máximo de temperatura ambiente tomando en cuenta el valor máximo de irradiancia solar (gráfica izquierda) y valor mínimo de irradiancia solar (derecha).

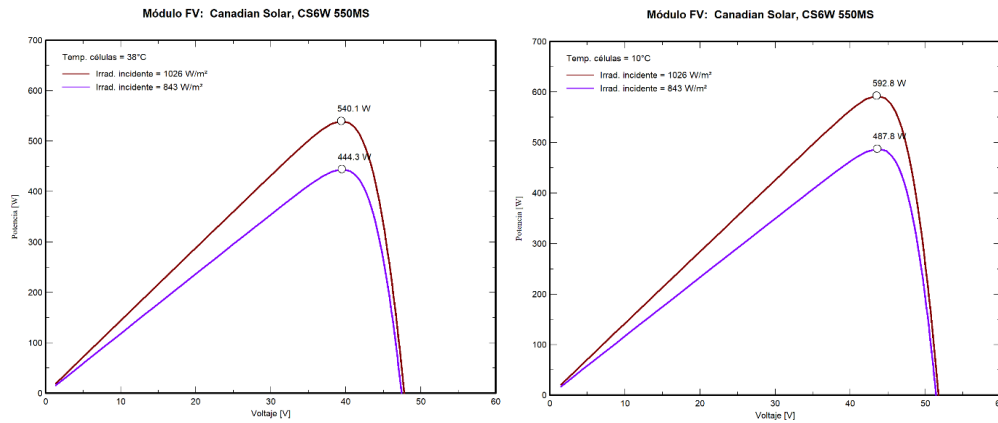


Fuente: elaboración propia

Figura 9 Curva I-V en valores mínimo y máximo de temperatura ambiente.

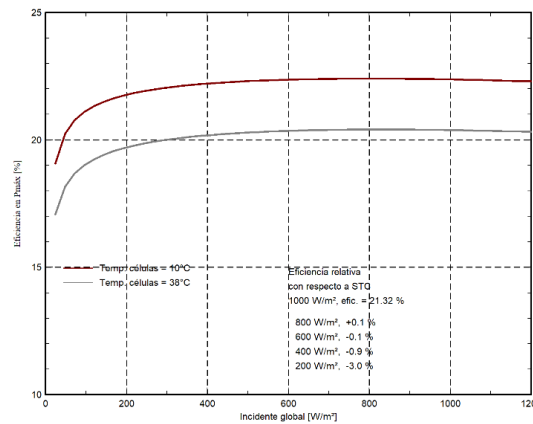
Como se vio en las figuras anteriores la irradiancia y temperatura afectan de manera significativa la corriente y el voltaje respectivamente en los módulos fotovoltaicos. En la Figura 10 se observa como varía la potencia del módulo bajo los valores máximo y mínimo de irradiancia solar tomando como referencia los valores máximo y mínimo de temperatura. Se puede observar cómo disminuye significativamente la potencia al reducir el valor de la irradiancia solar y aumentar la temperatura.

Como consecuencia a las variaciones de voltaje y corriente debido a los cambios en la temperatura e irradiancia solar también el rendimiento del módulo fotovoltaico es afectado. Esto se puede observar en la Figura 11, al aumentar la temperatura la eficiencia en los módulos fotovoltaicos disminuye. En la Figura 12 se observa la gráfica de producción de energía del sistema fotovoltaico. El color morado representa las pérdidas del arreglo fotovoltaico, el color verde representa las pérdidas del inversor solar y el color rojo representa la energía útil tomada de la salida del inversor solar.



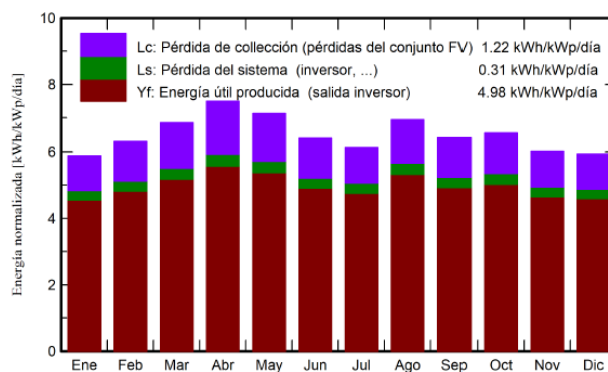
Fuente: elaboración propia

Figura 10 Gráficas de potencia vs voltaje a distintos niveles de irradiancia y temperatura.



Fuente: elaboración propia

Figura 11 Eficiencia vs irradiancia a diferentes temperaturas.

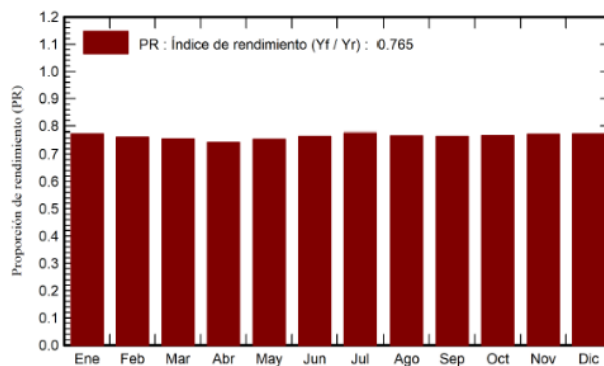


Fuente: elaboración propia

Figura 12 Gráfica de producción del sistema fotovoltaico.

La proporción de rendimiento (PR) es una medida para evaluar la eficiencia con la que un sistema fotovoltaico transforma la radiación solar en energía eléctrica. Esta

medida proporciona información útil sobre las pérdidas totales que se producen en todas las etapas de conversión de energía [El-Hadi, 2021]. El PR muestra la relación entre la energía efectivamente generada por el sistema y la energía que teóricamente podría haberse generado bajo condiciones estándar de medida (1000 W/m^2 , y a $25 \text{ }^\circ\text{C}$) [Sawner, 2021]. En la Figura 13 se puede observar que como resultado de la simulación se obtuvo una proporción de rendimiento del 76.5% lo cual es aceptable pero no el esperado para un sistema de este tipo. Lo ideal en sistemas fotovoltaicos es obtener un valor de PR por encima de 80% por lo cual será necesario optimizar el sistema. Optimizar un sistema se refiere al proceso de realizar cambios en los elementos que lo conforman para obtener una mayor producción y una reducción de pérdidas.



Fuente: elaboración propia

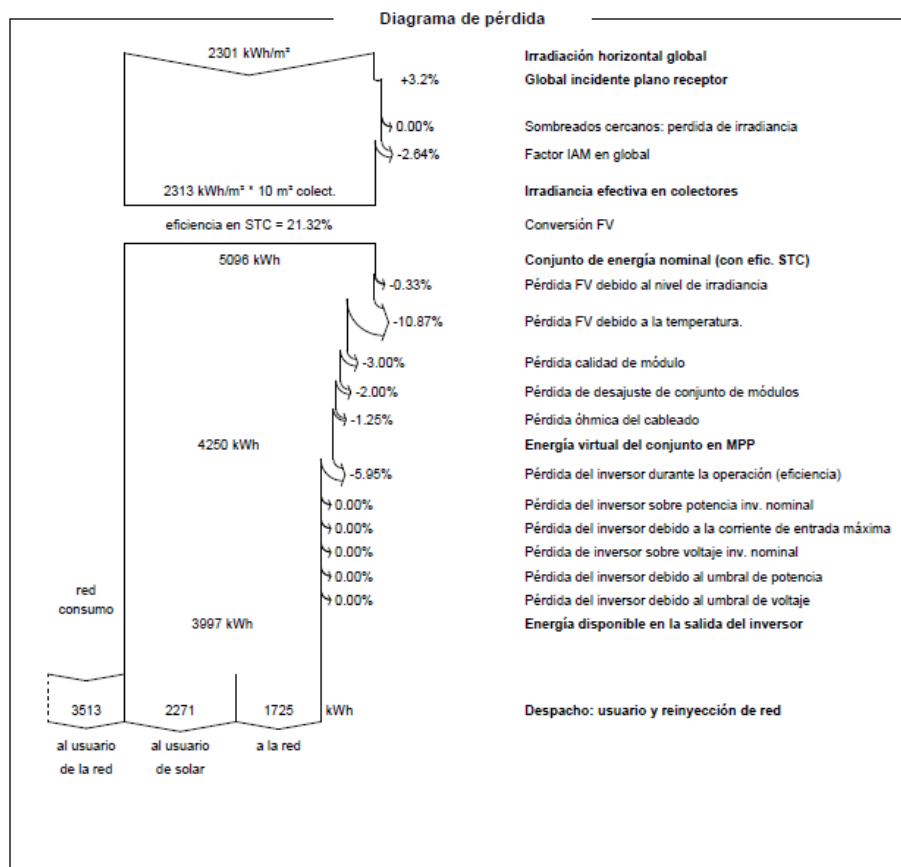
Figura 13 Proporción de rendimiento.

Las pérdidas en el sistema se dividen en sus diferentes etapas. Existen pérdidas en el arreglo fotovoltaico debido a las variaciones de temperatura e irradiancia solar, así como sus características mecánicas y eléctricas. Además, hay pérdidas en el inversor debido a factores como la eficiencia del mismo y sus variables de entrada. Otras pérdidas también se generan en la parte del cableado. En la Figura 14 se muestra el diagrama de pérdidas obtenido en la simulación del sistema fotovoltaico.

4. Discusión

Como se puede observar en los resultados obtenidos los módulos fotovoltaicos son muy sensibles a la variación de la temperatura e irradiancia solar, por lo cual es

necesario el análisis de la influencia de las variables meteorológicas en los mismos, esto para evitar el riesgo de obtener una instalación deficiente que no cumpla con la producción energética requerida. En el diagrama de pérdidas se observa la influencia de estas variables ya que la mayor pérdida se genera en el conjunto fotovoltaico debido a la temperatura, llegando a ser de un 10.87% lo cual es demasiado tomando en cuenta que el objetivo es lograr la mayor producción energética posible. Para evitar esto es necesario realizar pruebas con distintos módulos y verificar que la variación de temperatura afecte de manera mínima a su producción.



Fuente: elaboración propia

Figura 14 Diagrama de pérdidas del sistema fotovoltaico.

5. Conclusiones

Durante el dimensionamiento del sistema fotovoltaico interconectado se puede observar la importancia que tiene tomar en cuenta las variables meteorológicas,

como son la temperatura e irradiancia solar, que dependen de la zona geográfica a estudiar. El sistema obtenido en este caso de estudio tuvo una pérdida considerable de energía debido a la temperatura de la zona geográfica, por tanto, es necesario realizar cambios en los elementos del sistema para de esta forma aumentar la producción energética y obtener un sistema óptimo con un PR adecuado. El desarrollo de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red es un proceso de varias etapas, las cuales deben realizarse de manera cuidadosa para obtener un resultado que se asemeje al comportamiento que tendría físicamente y así poder predecir el comportamiento del sistema antes de su implementación.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Abdullah, G, Nishimura, H. Techno-Economic Performance Analysis of a 40.1 kWp Grid-Connected Photovoltaic (GCPV) System after Eight Years of Energy Generation: A Case Study for Tochigi, Japan. *Sustainability*, p. 19, 2021.
- [2] Aghaei, N, Kumar, A, Eskandari, H, Ahmed, A, Chopra, S. Solar PV systems design and monitoring, in *Photovoltaic solar energy conversion*. Elsevier, p. 117-145, 2020.
- [3] Baseer, M, Praveen, R, Zubair, M, Galal, A, Al Saduni, I. Performance and Optimization of Commercial Solar PV and PTC Plants. *IJRTE*, P. 12, 2020.
- [4] CanadianSolar. https://elalmacenfotovoltaico.com/img/cms/CANADIAN/550/CS-Datasheet-HiKu6_CS6W-MS_v2-4_EN-30mm-frame.pdf. 2023.
- [5] Chauhan, A, Sharma, M, Baghel, S. Designing and Performance Analysis of 15KWP Grid Connection Photovoltaic System Using Pvsyst Software. *IEEE*, p. 6, 2020.
- [6] Dondariya, C. Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households: A case study of Ujjain, India. *Energy Reports*, Vol. 4, p. 546-553, 2018.
- [7] El-Hadi, D, Bekkouche, B, Sudhakar, K, Guezgouz, M, Chenafi, A, Chaouch, A. Performance evaluation and analysis of grid-tied large scale PV plant in Algeria. Elsevier, p.15, 2021.
- [8] Fronius. <https://ipemsolar.com/wp-content/uploads/2020/06/Ficha-T%C3%A>

- [9] 9cnica-FRONIUS-GALVO-2.0-1.pdf. 2015.
- [10] Haffaf, A, Lakdja, F, Ould, D, Meziane, R. Monitoring, measured and simulated performance analysis of a 2.4 kWp grid-connected PV system installed on the Mulhouse campus, France. Elsevier, p. 12. 2021.
- [11] Hasan, K, Yousuf, B, Tushar, Das, M, Das, P, Islam, M. Effects of different environmental and operational factors on the PV performance: A comprehensive review. *Energy Science & Engineering*, Vol. 10, No. 2, p. 656-675, 2022.
- [12] Husain, A, Ahmad, M, Abidin, M, Ungku, A. Techno-Economic Analysis of Commercial Size Grid-Connected Rooftop Solar PV Systems in Malaysia under the NEM 3.0 Scheme. *Applied Sciences*, p. 14, 2021.
- [13] José, T, Luis, V, Isidro L,. Metodología para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red incorporando el uso de ecotecias. *Semana nacional de energía*, Michoacán, p. 1-6, 2017.
- [14] Mario, P. Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. *Prospectiva*, Vol. 10, No. 1, p. 97-107, 2012.
- [15] Mary, D, Martin, G. *Clean Electricity From Photovoltaics*, 2 ed. (Photoconversion of solar energy). London: Imperial College Press, p. 677, 2015.
- [16] Maykop, P, Idalberto, M, Elio, C. La hora solar pico equivalente: Definición e interpretación. *Ingeniería Energética*, Vol. 38, No. 2, p. 124-131, 2017.
- [17] Oriana, N, Ricardo, P, Jhon, V. La eficiencia de los nuevos materiales fotosensibles usados en la fabricación de paneles solares. *Iteckne*, Vol. 15, No. 1, p. 7-16, 2018.
- [18] Pabasara, W, Rebecca, J, Yang, Eric, T, Ron, W. Design and development of distributed solar PV systems: Do the current tools work?. *Sustainable Cities and Society*, Vol. 45, p. 553-578, 2018.
- [19] Santiago, R, Emmanuel, E. La industria solar fotovoltaica y fototérmica en México. *ProMéxico*, p. 172, 2017.

- [20] Sawner, A, Shukla, S. Application of “PVsyst” to Simulate the 100 kWp Rooftop Solar Grid-Tied PV System at College Campus: Jabalpur Engineering College, India. EasyChair Preprint, p. 6, 2021.
- [21] Shrivastava, A, Sharma, R, Kumar, M, Shanmugasundaram, V. Solar energy capacity assessment and performance evaluation of a standalone PV system using PVSYST. Elsevier, p. 8, 2021.
- [22] Soteris, K. Solar energy engineering: processes and systems. Academic press, p. 507, 2013.