

Generación de electricidad fotovoltaica para una vivienda en el estado de Puebla, controlado por un sistema domótico

Photovoltaic electricity generation for a house in the state of Puebla, controlled by a domotic system.

*Heriberto Hernández Rodríguez^{*1}, José Luis Gutiérrez García¹, Guadalupe García Toribio¹*

¹Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán
heriberto.hr@teziutlan.tecnm.mx

Resumen: El cambio climático y la contaminación del ambiente han hecho que exista una mayor preocupación por encontrar fuentes de energía que sean eficientes y que estén en armonía con la naturaleza. Este artículo aborda el estudio y la implementación de un sistema solar fotovoltaico controlado por domótica enfocándose en soluciones sustentables para la generación de electricidad, el cual será controlado por medio de un dispositivo central en un escenario donde se energizarán aparatos electrodomésticos en una vivienda del estado de Puebla. Los electrodomésticos considerados en el estudio incluyen servicios de iluminación, lavandería, pantallas de televisión, una computadora portátil y un refrigerador. El periodo de estudio esta comprendió entre los meses de marzo 2022 a marzo de 2023. El artículo profundiza los conceptos fundamentales y avanzados relacionados con la energía fotovoltaica, explorando sus principios teóricos y detallados, así como los cálculos necesarios para su implementación y su aplicación en la práctica. Finalmente, los resultados obtenidos y las experiencias adquiridas se presentan de manera detallada describiendo el estudio por medio de etapas en forma de gráficas, tanto en el ahorro de energía eléctrica como los resultados en el impacto ambiental. El propósito de este trabajo es contribuir y brindar apoyo tanto a investigadores como ingenieros, así como a cualquier lector interesado en adoptar soluciones de energía solar en sus hogares u otros entornos. En conclusión, este artículo ofrece una perspectiva valiosa para aprovechar las fuentes de energía renovable y sostenibles, allanando el camino hacia un futuro más ecológico, automatizado y consciente del cuidado del medio ambiente.

Palabras clave: Fotovoltaica, Electricidad, Panel Solar, Vivienda, Domótica.

Abstract: Climate change and environmental pollution have led to an increased concern for finding energy sources that are efficient and in harmony with nature. This article addresses the study and implementation of a solar photovoltaic system controlled by home automation focusing on sustainable solutions for electricity generation, which will be controlled by a central device in a scenario where household appliances will be energized in a house in the state of Puebla. The appliances considered in the study include lighting services, laundry, television screens, a laptop computer and a refrigerator. The study period was from March 2022 to March 2023. The article delves into the fundamental and advanced concepts related to photovoltaic energy, exploring its theoretical and detailed principles, as well as the calculations necessary for its implementation and practical application. Finally, the results obtained and the experiences gained are presented in detail describing the study by means of stages in the form of graphs, both in electrical energy savings and the results in environmental impact. The purpose of this paper is to contribute to and support both researchers and engineers, as well as any reader interested in adopting solar energy solutions in their homes or other environments. In conclusion, this article offers a valuable perspective on harnessing renewable and sustainable energy sources, paving the way for a greener, more automated and environmentally conscious future.

Keywords: Photovoltaic, Electricity, Solar Panel, Housing, Home Automation.

1. Introducción

Es bien sabido que actualmente, estamos pasando por una era de cambios en la humanidad y en la forma de vivir como por ejemplo los cambios que están ocurriendo en el transporte y la manera de trasladarnos de migrar de los autos a gasolina a los autos eléctricos.

Este artículo hablará de las posibilidades en la captación de esta energía a través del sol y de los aspectos físicos y matemáticos que se realizaron para su implementación y monitoreo, propone un método simple que puede usarse en sistemas de energía fotovoltaica independientes. Asu vez recopilar estos datos en tiempo real a un subsistema electrónico para su procesamiento. Los resultados experimentales muestran

que la salida de energía de las celdas de referencia se correlaciona bien con la salida del módulo domótico y de monitoreado que puede usarse para optimización (Yahya, 2008).

Los estudios previos se presentan el artículo llamado “Sistema control supervisor de clientes con acceso remoto para sistemas solares fotovoltaicos autónomos”, donde se presenta un sistema solar autónomo, explicando que actualmente el monitoreo de estos sistemas es muy complicado, siendo el principal de ellos la falta de un sistema controlador general de energía para optimizar su funcionamiento. Esta situación limita la robustez de los diseños, reduce la confianza y tranquilidad de los clientes o usuarios de estos sistemas, a la vez que dificulta el soporte técnico por parte de los vendedores de los Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFVA).

En el mercado actual, estos sistemas pueden implementarse de dos formas: los inyectados o conectados a red y los autónomos. Los primeros se conectan a la red eléctrica convencional para inyectar energía extra para uso residencial, de forma que en algunos países pagan esta generación extra con bonos verdes que se descuentan en el recibo de la energía eléctrica, según la normativa de cada país (Pereira-Blanco, 2015; López & Cano, 2016).

Los segundos corresponden a sistemas diseñados a la medida, que cumplan con la operación de cargas temporizadas predeterminadas, aun cuando no esté disponible la luz solar, permitiendo el almacenamiento de energía en baterías, quien finalmente determina la autonomía del sistema (Álvarez-López, & Araque-Manrique, 2013; Pabón-Fernández, Díaz-Rodríguez, & Pardo-García, 2016).

Adicionalmente, a diferencia de otros generadores de energía eléctrica, los equipos requeridos para la generación de la energía fotovoltaica no tienen partes móviles, son de tipo modular, fácilmente ampliables e incluso, en algunos casos, transportables, su mantenimiento es mínimo, tienen larga vida útil y no produce ningún ruido durante su operación (Beleño-Sáenz, Torres-Chávez, Pardo-García, & Díaz-Rodríguez, 2011).

Los Sistemas Solares Fotovoltaicos Autónomos, SFVA, a pesar de sus ventajas, presentan algunos inconvenientes, siendo el principal de ellos la falta de un sistema controlador de energía para optimizar su funcionamiento y la automatización de los recursos que provee, (Duitama Jan, 2017).

2. Objetivo

Este trabajo propone como objetivo, monitorear y controlar un Sistema Fotovoltaico Autónomo SFA, donde se almacena la energía en baterías de ciclo profundo, a su

vez el documento presenta el desarrollo de un controlador por medio de arduino para los aparatos conectados clientes, el cual se encargue de cumplir con las condiciones de diseño, junto con un monitor basado en Raspberry que monitorea las variables de los servicios de electricidad en los aparatos conectados al generador de energía.

3. Metodología

La investigación, toma en cuenta la metodología que parte desde sus fundamentos matemáticos, así como características físicas y técnicas para la instalación, con el fin de visualizar de manera práctica y concreta la investigación y de mostrar los objetivos planteados; logrando con ellos la puesta a punto del proyecto y su funcionamiento.

La metodología que acompaña este trabajo se realiza de manera descriptiva, esto debido a la descripción que se realiza en cada etapa y da pie a la solución del proyecto; con respecto al diseño de investigación se considera experimental, ya que se realiza la manipulación de variables de forma deliberada; también la investigación se considera longitudinal debido a que reúne información en diferentes momentos de manera que se relacionan aspectos indispensables al paso del tiempo y se observan diferentes causas presumibles con lo que se avanza longitudinalmente con el fin de observar consecuencias y comportamientos.

Los datos obtenidos durante el periodo de trabajo se irán describiendo en la documentación, tratando de aclarar al lector sus dudas y respondiendo a la pregunta **¿Qué tan factible es monitorear el estado de salud de un sistema fotovoltaico en una vivienda, controlado por domótica?**

4. Materiales

Para esta investigación se utilizó los materiales que conforman un kit solar completo, mismos que a continuación se describen:

- Dos baterías ácido-plomo 12 volts, para aplicaciones solares ciclo profundo de 115 amperio hora.
- Un controlador solar MPPT (Maximum Power Point Tracking) 30 amperios, 780 watts, 12/24 volts de trabajo.
- Dos paneles solares policristalinos, grado “A” de 330 watts de trabajo, voltaje de 37.87 volts y amperaje de 8.71 a., voltaje a circuito abierto de 46.79 volts y corriente a corto circuito de 9.18a.
- Un inversor o amplificador de voltaje, onda pura de 24 volts a 110 volts con 2000 watts de potencia pico.
- Cables de cobre de 8 milímetros para aplicaciones solares.
- Conectores MC4 de instalación a azotea.
- Armazón de metal para paneles solares.

5. Preparación

En el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta la importancia en la instalación del equipo, así como los aparatos electrónicos que se necesitaría energizar y que fueran básicos para los servicios que ocupan las personas en la vivienda, se trabajó en el estudio de cargas correspondiente el cual arrojó la energía en watts que se necesitaría para alimentar los aparatos y servicios como la iluminación. Se consideró la medición de cada componente involucrado que se sumaría a la carga de trabajo; en resumen, se prepararon áreas específicas con las condiciones necesarias de espacio y protección para la instalación de componentes y cables eléctricos. Por ejemplo, en el caso de los paneles, se acondiciono un área en la azotea de la vivienda con el espacio necesario para su instalación ya que los paneles ocupan dimensiones de 1956 mm de alto x 992 mm de ancho, se buscó el mejor lugar en la azotea así como sus grados de inclinación con la mejor orientación perpendiculares a su superficie, los datos de la instalación se explican mejor en el párrafo número ocho; en el caso de la instalación de baterías y controlador se necesitó un área no húmeda y ventilada que estuviera lo más cerca posible al controlador solar y los cables de conexión (Graciana Parodi, E., 2018).

6. Desarrollo

Originalmente la investigación se pensó para la captación de energía solar y su aprovechamiento, controlado por sensores y domótica, empezando por calcular la potencia que se necesitaría para abastecer la vivienda y sus electrodomésticos, cuidando siempre el estado de salud del sistema que genera la energía eléctrica. Debemos partir de los fundamentos que dan sustento a la investigación y entender mejor el efecto fotovoltaico, en la captación de energía eléctrica por medio de celdas solares.

7. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es el proceso por el cual los paneles solares generan electricidad a partir de la luz solar. Este fenómeno se basa en las propiedades de ciertos materiales semiconductores, como el silicio, que componen los paneles solares. Éstos se caracterizan porque conducen la electricidad mejor que un aislante y menos efectivamente que un metal, pero sobre todo porque mejoran su capacidad para conducir la electricidad al ser iluminados. Cuando incide luz sobre un semiconductor, la energía suministrada ayuda a darle mayor movilidad a algunos de los electrones presentes en el material, por lo que su capacidad para conducir la electricidad aumenta. Sin embargo, para producir el efecto fotovoltaico no basta con liberar electrones. Es necesario que aparezca un voltaje que mueva a estos electrones en una dirección preferencial, generando una corriente eléctrica. La forma más común de lograr esto es unir dos materiales semiconductores de características electrónicas diferentes, uno de ellos debe ser capaz de ceder parte de sus electrones

con facilidad (se le llama material tipo N), mientras que el otro debe aceptar fácilmente electrones adicionales (Material tipo P), como lo cita el autor Graciana Parodi en su artículo "Arquitectura Solar", en 2018 (Parodi, 2018). El efecto fotovoltaico se produce precisamente al iluminar la superficie de unión entre los dos diferentes materiales (Figura 1).

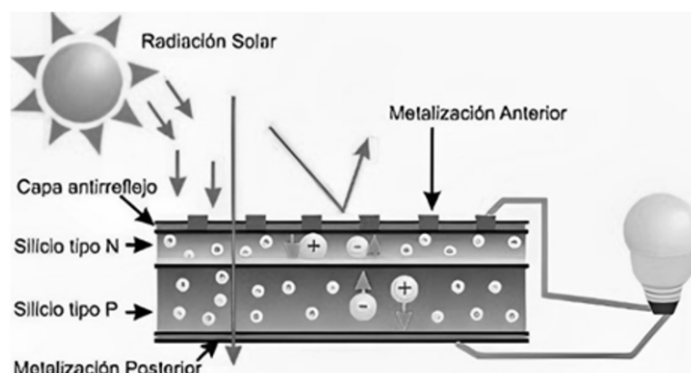


Figura 1. Estructura básica de una celda fotovoltaica, y el efecto fotovoltaico.

Fuente: elaboración propia en base a los datos del artículo "Energía Solar Fotovoltaica", (Montoya Rasero, 2011).

Dado que la potencia que genera una celda solar es pequeña, lo que se hace es conectar varias entre sí para aumentar el voltaje o la corriente, generalmente se fabrican para producir voltajes de 12v, 24v y 48 volts en corriente directa CV.

8. Instalación de los paneles

La eficiencia de los paneles solares depende de su orientación y ángulo de inclinación, idealmente los paneles deben estar orientados hacia el sur o hacia el norte conectados en una configuración ya sea en serie o en paralela, para recibir la máxima radiación solar durante el día, esto depende de la latitud de la vivienda, una referencia rápida sería orientarse con la línea del ecuador en base al área donde se encuentre. La importancia del ángulo de inclinación debe ser ajustado a la maximiza captación de luz solar que por la ubicación del proyecto en la Sierra Norte del Estado de Puebla debe estar entre los 15 y 20 grados con una inclinación hacia el sur (Yahya, C. B., 2008).

Existen dos tipos de configuraciones en la instalación de paneles y baterías, se seleccionó la conexión en serie en las baterías para formar los 24 voltios y una conexión paralela en los paneles. La primera busca aumentar el amperaje para energizar mejor las baterías, aun en días nublados y la segunda busca incrementar el voltaje para energizar el inversor y optimizar la demanda de arranque en la potencia de los electrodomésticos a la hora de encenderlos, como en el caso del refrigerador (Tonda Juan, 1993).

9. Controlador solar

Hablemos del controlador solar, existen capacidades en amperios de los controladores solares, los de 20 amperios(a) a los de 100 amperios con voltajes de trabajo entre 12v, 24v y 48 voltios, así como del tipo MPPT (Maximum Power Point Tracking) y PWM (Pulse Width Modulation), y los híbridos. Los del primer tipo maximizan su corriente a la salida de las baterías, son capaces de adaptar la entrada fotovoltaica a la tensión de las baterías, esto les permite hacer funcionar la placa solar en su punto máximo de potencia para así obtener la mejor eficiencia en la producción de energía en cada instante. El segundo tipo es el PWM esté obliga a trabajar siempre sobre los 13V para alimentar la batería ya que no es capaz de modificar el voltaje de entrada como en el caso de los MPPT. Ya que siempre busca el punto óptimo, que es el caso entre los 19v y los 20 volts, aprovechando al máximo la producción de energía recibida (O. J. Villao Miranda, E. R., 2011).

10. Administrador domótico

Este dispositivo es una selección de herramientas que supervisará la residencia, su objetivo es gestionar los recursos generados por el sistema solar, administrar la energía eléctrica según las necesidades del hogar, como ejemplo, supervisar el sistema de bombeo de agua en base a mediciones del indicador de almacenamiento, controlar la iluminación nocturna y diurna; este será programado de acuerdo con las condiciones de luminosidad de la casa usando sensores de presencia, el estudio del comportamiento de la casa habitación lo darán los habitantes de la vivienda, ya que este controlador tiene la misión de otorgarles los servicios de energía eléctrica que necesiten, por ejemplo: el detector de presencia se conecta al gestor domótico y tiene diversas funciones, incluida la protección de la vivienda. A través de un sistema de alarmas, emitirá una notificación si detecta un movimiento sospechoso, como la entrada de una persona no autorizada, enviando de inmediato una señal que se registra y se dirige al panel del gestor.

Una vez recibida la alerta, el gestor inicia el proceso de verificación de la alarma para determinar si se activó por error o si realmente se ha comprometido la propiedad. En caso necesario, suena una alarma de advertencia y enciende las luces en todas las áreas en cuestión de segundos, como se dará cuenta el controlador domótico es el cerebro que brinda los recursos, además de cuidar la integridad de los que la habitan (Miguel Ángel Pérez, 2020).

11. Bitácoras.

Cuando el sistema esté operando, será necesario tener un registro capaz de recolectar información de diversos usos de los dispositivos y permitir la visualización de los perfiles de la residencia y sus habitantes. Para lograr esto, se creará un aparato basado en Arduino que, a su vez,

capturará todos los datos recopilados por los sensores y los almacenará en una base de datos de código abierto.

12. Arduino

Arduino se emplea como un microcontrolador, cuando posee un programa cargado desde una computadora y opera de manera autónoma, dirigiendo y alimentando específicos dispositivos y efectuando decisiones conforme al programa descargado, mientras interactúa con el controlador físico mediante sensores y actuadores (Leonel G. Corona Ramírez, 2021).

13. Raspberry Pi

Una Raspberry PI es un dispositivo del tamaño de una tarjeta de crédito, compuesto por una placa base que integra diversos componentes de una computadora como un procesador ARM de hasta 1500 MHz, una unidad gráfica y una memoria RAM de hasta 8 Gb.

Este equipo brinda versatilidad al proyecto ya que, además de ser un ordenador compacto, ofrece la capacidad de supervisar otros dispositivos inteligentes, al igual que Arduino, pero desde la perspectiva de una interfaz de usuario inteligente (Germán Tojeiro Calaza, 2021).

14. Sensores

Es un dispositivo diseñado para captar una señal de su entorno y traducir esa información que recibe. Esta información captada se transforma normalmente en un impulso eléctrico que luego es procesado por una serie de circuitos que generan una acción previamente establecida en un aparato, sistema o máquina. Es un artefacto que en algunas aplicaciones convierte un tipo de información en otro que se desea medir o controlar (Leonel G. Corona Ramírez, 2021).

Los sensores responden a cambios en las condiciones físicas alterando sus propiedades eléctricas. En consecuencia, la mayoría de estos dispositivos industriales se apoyan en sistemas electrónicos para capturar, analizar y transmitir información acerca del entorno.

Estos sistemas electrónicos se fundamentan en los mismos principios que los circuitos eléctricos para operar, por lo que la habilidad de gestionar el flujo de energía eléctrica es fundamental. En otras palabras, un sensor convierte los estímulos como el calor, la luz, el sonido y el movimiento en señales eléctricas. Estas señales son luego transmitidas a través de una interfaz que las convierte en un código binario y lo envía al Arduino para su procesamiento (Charles Alexander, 2020).

15. Baterías solares

La selección de baterías solares es un tema complejo a tratar, que posiblemente saldría en un nuevo artículo al respecto, uno de ellos son sus características de almacenamiento en amperios hora y voltaje de trabajo.

Para el proyecto se seleccionaron las de aplicaciones solares de 12 voltios ya que son las baterías propias para este tipo de aplicaciones, llamadas de ciclo profundo; estas se caracterizan por el consumo de voltaje que producen el cual se va consumiendo a menor velocidad que las baterías convencionales como las de automotores, dependiendo del modelo tienen una diferencia en la composición interna del tipo Gel, AGM, Litio, y Acido-Plomo. Debemos resaltar que las baterías que mejor se comportan son las baterías de Litio, pero su alto costo no se optó por ocuparlas en el experimento, y en su lugar se seleccionaron las baterías de Ácido-Plomo, optimizando lo más posible el presupuesto. Otro factor a considerar de las baterías es el tiempo de vida y utilidad, en promedio las baterías de Litio duran entre 7 y 12 años con 4,000 a 10,000 ciclos de carga. Las baterías de Ácido-Plomo duran entre 3 a 6 años dependiendo su uso, siempre y cuando se cuiden los niveles de carga, es decir nunca descargue las baterías a un porcentaje menor al 60% o 70% ya que podría dañarlas y disminuir su ciclo de vida útil (Graciana Parodi, 2018).

Para la realización del estudio de cargas se realizó un análisis de los artefactos que se alimentaran de la energía eléctrica en la vivienda, mismo que aparecen en la siguiente tabla (ver tabla I):

Tabla I: Suma de la energía necesaria.

#	Artefactos	Watts	Horas uso x Día(H)	Total (Wh)
1	TV de 42" LCD	128	4	512
2	Lámpara Led Cocina	32	4	256
1	Lámpara Recamara	32	4	128
1	Computadora Laptop	65	1	65
1	Refrigerador Inverter	153	14	1400

Total, de energía: **2,361 Watts**

Fuente: Propia del autor.

16. Hora solar y paneles solares

Para poder generar 2,361 watts hora se tiene que contemplar las celdas solares suficientes, con el termino Hora Solar Pico (HSP). Debemos tomar en cuenta la potencia de nuestros paneles (Wp) y el valor de la radiación solar pico HSP en la zona de instalación el cual tendrá una variación de entre 0 por falta radiación y 5 con alta radiación solar al día, por supuesto en función de las estaciones del año; por citar otro ejemplo existen altos valores en verano y valores muy bajos en invierno en este caso el factor de la hora solar pico va a depender de la zona donde se encuentre la vivienda, en este caso el factor es de **1.9 HSP** en promedio anual. Otro factor a considerar es

el tipo de panel que se utilizó para la investigación, ya que existen un universo de modelos y marcas a considerar; en el caso de las condiciones que presenta la zona con continuos días lluviosos, la opción viable era seleccionar un panel del tipo monocristalino de potencia mediana-alta, para captar la mayor energía posible tomando en cuenta los días de neblina, la potencia seleccionada fue de 330 watts con 24 volts de trabajo (Rasheed, J. F., & Babu, V. S., 2017).

17. Cálculos y puesta a punto

Los cálculos son la base que nos dan los parámetros para la implementación del proyecto, estos procedimientos matemáticos se tomaron de referencia del libro: "Cálculo de Líneas Y Redes Eléctricas", del autor Ramón M. Muijar Rosas, los cuales se describen en secuencia como se describió en la metodología y se expresan partiendo de la siguiente manera:

17.1 Calculo de paneles solares

$$330Wp \times 1.9 HSP = 627 Wh/día$$

Posteriormente se divide el total de energía a producir / potencia pico del panel solar a utilizar (Wp) / las horas solar pico y daría como resultado el total de paneles a utilizar de manera redondeada.

$$Energía Total = 2,361 Wh / 330 Wp / 1.9 HSP = 3.7 \text{ Total de paneles a utilizar (4 paneles).}$$

17.2 Calculo del banco de baterías

Ahora se calcula el banco de baterías a utilizar (Ruth Lacomba, 2021):

Energía Total = 2,361 Wh considerando un horario nocturno y tomando en cuenta que se utiliza un 60% de las baterías, como factor de protección para brindar los servicios descritos en la tabla I, es decir:

$$Energía Total = 2,361 Wh \\ 60\% \text{ de uso de carga de las baterías}$$

$$Energía Total = 2,361 \times 0.6 = 1,416 Wh \text{ (energía disponible)}$$

1,416 Wh es la energía que vamos a necesitar de las baterías, cuidando siempre no exceder del 60% de su uso debido a que se podrían dañar al bajar de ese parámetro.

Ahora vamos a calcular el valor nominal de la batería, tomando en cuenta que cada batería acido plomo (NVS) tiene 12 volts y 115 amperios hora, esto se calcula multiplicando el voltaje por lo amperios (Ruth Lacomba, 2021), quedando de la siguiente manera:

$$Valor nominal = 12v \times 115 ah = 1,380 Wh \text{ de energía nominal}$$

Tomando en cuenta que solo se dispone del 60%, quedaría:

$$\text{Energía Disponible} = 1,380 \times 0.6 = 828 \text{ Wh}$$

Donde cada batería otorga 828 Wh y necesitamos energizar 1,380 Wh de energía nominal para la vivienda y tomamos el total de energía disponible de: 1,416 Wh / 828 Wh = **1.7 baterías** (2 baterías)

Entonces el equipamiento a considerar, sería:

- 1 inversor de 2000 Watts
- 2 baterías ácido – plomo de 12 volts – 115ah
- 4 paneles solares de 330 Watts
- 1 Controlador a 24V, 60a

17.3 Cálculo del tiempo de carga de baterías

Para calcular el tiempo de carga de las baterías, se realizó con la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Amperios batería}}{\text{Amperios panel solar}}$$

$$T = \frac{115 \text{ ah}}{8.71 \text{ a}} = 13 \text{ h} = 13 \text{ horas carga x batería}$$

17.4 Con 4 paneles de 330 watts a 8.71 amperios del panel solar330, tenemos:

$$T = \frac{115 \text{ ah}}{34.84 \text{ a}} = 3.3 \text{ horas}$$

En el cálculo se puede observar que en promedio las baterías se cargarán en 3.3 horas al 100%, pero este factor tiene un margen debido a las condiciones del clima; ya que en la aplicación los paneles generaban mayor voltaje y amperaje con un tiempo de carga y la estación del año con 2 horas en promedio, lo que resulta muy práctico (Yahya, C. B., 2008).

17.4 Calculo del controlador solar

Para calcular la capacidad del controlador en amperios y voltaje, condiremos:

- 4 paneles de 330 watts, 24 volts
- 2 Baterías 115 ah, 12 volts

Fórmula:

$I_R = ?$ donde I es la incógnita a buscar

R = Regulador o controlador

c = Número de paneles en paralelo

1.25 Factor de seguridad del 25%

9.18 Corriente a corto circuito ISC

Fórmula:

$I_R = \text{No de Paneles en paralelo} \times$

$\text{Corriente a corto circuito} \times \text{Factor de seguridad}$

$I_R = \text{No de Paneles} \times I_{cc} \times 1.25$

$$I_R = 4 \times 9.18 \times 1.25 = 45.9 \text{ Amperios}$$

En este caso el controlador recomendado debe ser superior a los 45.9 a, por lo que un controlador de 60a, es suficiente para energizar el circuito y debe de ser del tipo si o si MPPT, ya que por la corriente que se manejará en el circuito el controlador debe de tener esta característica. El esquema general de la instalación se vería de la siguiente manera, (Figura 2).

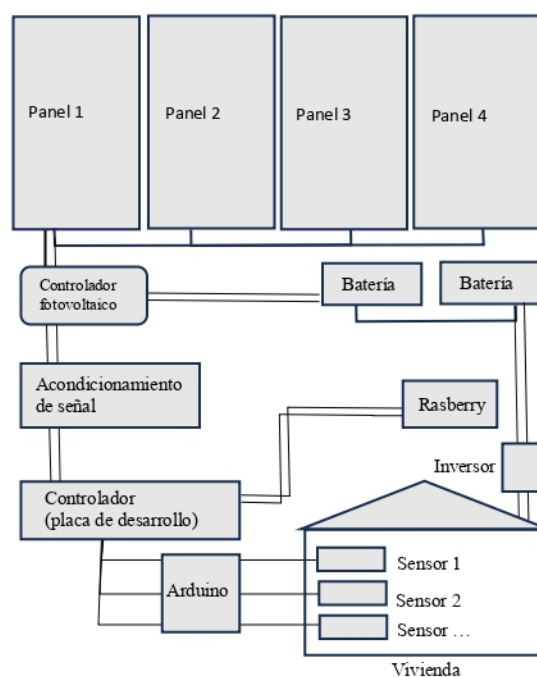


Figura 2. Instalación general del proyecto.

Fuente: Propia del autor.

18. Resultados

18.1 Primeros resultados

En la Tabla 2 se muestra el análisis comparativo, por bimestre, entre el servicio tradicional, proporcionado por CFE y el servicio con la implementación de la energía solar, a un periodo anual.

Tabla 2. Tarifas de cobro bimestral de energía eléctrica.

No.	Año	Bimestre	Costo CFE	Implemento con Energía Solar
1	2022	Mar-May	\$ 458	\$ 300
2	2022	May-Jul	\$ 544	\$ 302

3	2022	Jul-Sep	\$ 505	\$ 341
4	2022	Sep-Nov	\$ 463	\$ 360
5	2023	Nov-Ene	\$ 633	\$ 521
6	2023	Ene-Mar	\$ 520	\$ 350
7	2023	Mar-May	\$ 458	\$ 301

Fuente: Propia del autor.

A continuación, se muestran los resultados de manera gráfica, en el comportamiento que tiene el consumo de energía eléctrica fotovoltaica en comparación con el año 2021 que no se tenía; donde se puede ver el ahorro en cada periodo expresado de forma bimestral (Figura 3).

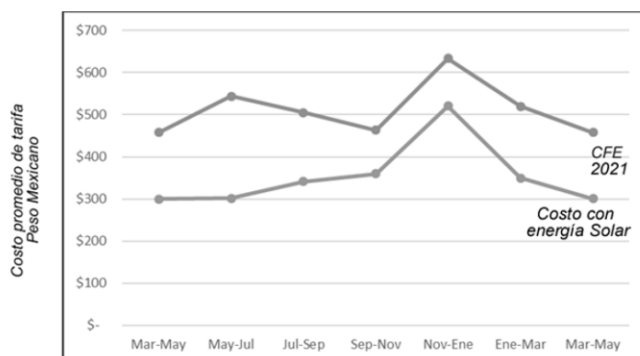


Figura 3. Comportamiento en el ahorro de energía eléctrica.

Fuente: Propia del autor.

18.2 Segundos resultados

De acuerdo con lo mostrado en la Tabla 3. La tabla muestra un desglose del presupuesto en pesos mexicanos para instalar los elementos mencionados en una casa habitación.

Tabla 3. Presupuesto para instalar. Los costos son aproximados y pueden variar según la marca, calidad y proveedor de los productos.

Elemento	Costo en Pesos Mexicanos
Instalación del kit solar	20000
Inversor CA	8000
Regulador	2500
Baterías de Ciclo Profundo	12000
Bitácoras	500
Arduino	1000
Raspberry Pi	1500
Total	45000

Fuente: Propia del autor.

Para calcular el tiempo de justificación de la instalación fotovoltaica, primero necesitamos determinar la diferencia de costos anuales entre continuar con el servicio de Comisión Federal de Electricidad (CFE) y utilizar la instalación solar.

Diferencia de costos anuales = Costo de CFE - Costo de instalación solar

Diferencia de costos anuales = 9700 MXN - 0 MXN (no hay costo de consumo de energía solar)

Diferencia de costos anuales = 9700 MXN

Tiempo de justificación = Costo de instalación / Diferencia de costos anuales

Tiempo de justificación = 45000 MXN / 9700 MXN/año

Tiempo de justificación ≈ 4.6 años

Por lo tanto, la instalación fotovoltaica se justifica en aproximadamente 4.6 años en comparación con el servicio de CFE.

18.3 Terceros resultados

La Tabla 4, presenta información sobre el impacto ambiental del consumo eléctrico de una casa habitación utilizando energía de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Se evidencia que esta fuente de energía conlleva una serie de efectos negativos para el entorno, como la emisión significativa de dióxido de carbono (CO₂), el consumo de recursos fósiles no renovables, el uso intensivo de agua y la generación de residuos. Estos indicadores reflejan una considerable contaminación ambiental y una dependencia de recursos finitos. En contraste, la utilización de energía solar a través de una instalación fotovoltaica en una casa habitación resulta preferible. Las instalaciones fotovoltaicas aprovechan la radiación solar para generar electricidad de manera limpia y renovable, lo que reduce drásticamente las emisiones de CO₂ y minimiza la explotación de recursos no renovables. Además, al requerir poca o ninguna agua en su operación y generar residuos mínimos, las instalaciones fotovoltaicas presentan un enfoque sostenible y responsable hacia la generación de energía, contribuyendo de manera significativa a la preservación del medio ambiente y a la mitigación del cambio climático.

Tabla 4. Impacto ambiental del consumo eléctrico de una casa habitación.

Tipo de Impacto	Indicador Ambiental	Valor	Unidad de Medida
Emisiones de CO ₂	Emisiones de CO ₂ por consumo	1.5 toneladas	Toneladas CO ₂ /año
Consumo de recursos	Consumo de recursos fósiles	1200 litros	Litros de petróleo/año
Uso de agua		9000 litros	Litros de agua/año
Generación de residuos	Residuos generados por embalajes	20 kg	Kilogramos/año
Contaminación del aire	Emisiones de partículas	15 gramos	Gramos/año

Fuente: Propia del autor.

18.4 Últimos resultados

En la Tabla 5, se muestra una tabla donde se comparan los indicadores ambientales entre el consumo eléctrico proveniente de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el uso de una instalación fotovoltaica en una casa habitación. La instalación fotovoltaica elimina por completo las emisiones de CO₂ y el consumo de recursos fósiles, reduciendo drásticamente el impacto ambiental. Además, se necesita muy poca agua para mantener y limpiar los paneles solares en comparación con el consumo de agua asociado a la generación eléctrica tradicional. También se evitan los residuos generados por embalajes y otros procesos asociados a la generación convencional de electricidad.

Tabla 5. Beneficios ambientales de utilizar una instalación fotovoltaica en una casa habitación.

Indicador Ambient	Consumo Eléctrico de CF	Uso de Instalación Fotovoltaic
Emisiones de CO2 (kg/año)	1500	0
Consumo de recursos (litros de petróleo/año)	1200	0
Uso de agua (litros/año)	9000	100
Generación de residuos (kg/año)	20	0

Fuente: Propia del autor.

19. Trabajo a futuro

En primer lugar, se estará reforzando la adquisición del equipamiento para producir mayor electricidad ya que la vivienda se tienen aparatos que se excluyeron en el estudio y que es necesario incluirlos. Otro de los objetivos es que la vivienda sea totalmente Off Grid (Fuera de la red), es decir que sea auto sustentable con el proyecto de energía solar, así como también se buscará la incorporación de la domótica para la automatización en el suministro de energía y los servicios tratando de optimizarlos de la mejor manera. En proyectos solares cada volt es un recurso valioso, por lo que se analizará el consumo de energía para ver su comportamiento y realizar un estudio por medio de la minería de datos.

El controlador domótico se sigue desarrollando ya que su estudio y comportamiento es un tema que merece ser estudiado a profundidad, así como los protocolos y la manera de interactuar con los sensores, la interconexión con su entorno ha sido muy difícil realizarla ya que hay involucradas tecnologías cerradas y el fabricante no permite su estudio; sin embargo, se está buscando opciones genéricas y su desarrollar, pero el proceso lleva tiempo considerable.

20. Conclusiones y recomendaciones

En resumen, el uso de la energía solar desempeña un papel fundamental en la transición hacia una matriz energética más limpia y sostenible, contribuyendo a la mitigación del cambio climático. Este trabajo ofrece una guía a través de

la investigación, pero debe tomar en cuenta e investigar las disciplinas que se necesitan para su instalación, como la electricidad, electrónica, programación de Arduino y Raspberry Pi, se debe tomar en cuenta que las personas que requieran adentrarse en la implementación de estas aplicaciones deben contar con conocimientos mínimos en el manejo estructuras, seguridad industrial.

Por lo tanto, desde el punto de vista de la investigación se concluye, que la instalación solar ayudo con el consumo de energía por parte de comisión federal en un porcentaje de ahorro del 53% en periodos bimestrales, tomando de referencia un año de uso. Se concluye que el ahorro es significativo en los meses de mayor radiación solar de marzo a octubre con un porcentaje de 89% de cobertura de energía eléctrica en el día para cubrir la demanda, y un 30% de eficiencia en el horario nocturno por el consumo en iluminación y 4 horas de uso para la Tv.

Otra de las conclusiones que merece citar es que el servicio de energía decae en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero por la poca radiación solar, de 1.9 a 1.1 HSP, volviendo a reactivarse en el mes de marzo, lo que genera una menor producción de electricidad hasta en un 50%.

En el costo de implementación como puede ver en la tabla 3, superaron los \$45,000 pesos por lo que se considera un costo alto, en este caso se recomienda realizar el estudio correspondiente de cargas en la demanda de energía y automatización y adquirir su equipo de menor a mayor escala, pensando en la expansión del mismo, hoy en día estas soluciones tienen esta flexibilidad, y se debe pensar en expandir la propuesta hasta colocarlo a punto.

Por la región donde se encuentra la vivienda se recomienda empezar con la compra de los paneles solares, ya que son equipos difíciles de conseguir y su envío es costoso; tome en cuenta que los paneles arriba de 150 watts se consideran grandes por lo que los gastos de envío se incrementan en un 70% arriba de su precio normal.

Si busca optimizar los gastos en la compra de equipo, no le recomendamos adquirir baterías solares, es decir realizar una instalación off grid, (fuera de red); ya que las baterías representan un 50% de la inversión y el tiempo de vida es corto; en el análisis de los resultados indico que una conexión dentro de la red (on grid) es rentable por el ahorro en los gastos de instalación.

Si usted requiere generar su propia energía y no depender del servicio que le brinda CFE, así como los gastos de su recibo de luz sobrepasan los mil pesos mexicanos, ya se puede considerar candidato a tomar en cuenta alternativas de este tipo. Si lo que busca es reducir sus tarifas de cobro de luz hasta en un 80%, puede buscar implementar la conexión dentro de la red o bien optar por la independencia energética.

Antes de empezar la implementación de su proyecto solar, se recomienda realizar su estudio de cargas. Para ello lo invitamos a utilizar el sistema informático que se desarrolló derivado de esta investigación en la dirección:

<http://187.157.132.18/solar/>, el cual le servirá para darse una idea más clara y técnica si desea empezar con este mundo maravilloso de la energía sustentable.

En cuanto a la parte domótica y el controlador, su desarrollo tomo bastante tiempo y se considera aun en su fase de prototipo ya que se está trabajando en él y siguen realizando pruebas; por ejemplo, la parte de interconexión con el controlador solar se realizó por medio de la conexión RS232 y se obtuvieron datos del comportamiento en el suministro de energía. En la parte que controla la automatización con los sensores, los microcontroladores, actuadores y relés, se combinaron para la conexión con Arduino y se sigue su monitoreo en el Raspberry, esto permitió crear microinstrucciones para crear programas y controlar la vivienda. La información de los sensores es captada y trasladada al controlador, el cual se encargará de procesar los datos con la ayuda de arduino traducidos en formato legible para ser monitoreados.

Finalmente, se observa que el comportamiento de utilizar energías renovables y amigables con el medio ambiente, resulta factibilidad en la zona nororiental en el estado de Puebla, aun con niveles de radiación por debajo de los 1.9 HSP y con días de neblina, esto llama la atención ya que en comparación con ciudades colindantes y de climas cálidos, como en el caso de Tlapacoyan y Martínez de la Torre, Veracruz. Resulta ser factible, así como su automatización por medio de la domótica.

Por lo tanto, la contestación a la pregunta **¿Qué tan factible es monitorear el estado de salud de un sistema fotovoltaico en una vivienda, controlado por medio de la domótica?**, podemos decir que es posible ya que existe la tecnología y los recursos para la implementación de la investigación al respecto.

Por otro parte en la tabla 4, se muestran los niveles de CO₂ que son nulos al utilizar esta tecnología; pero los derivados en contaminación por basura electrónica y desechos de silicio será tema para otra investigación.

21. Agradecimientos

Se hace una mención especial y gratitud a los doctores María Salas Zárate y Mario Andrés Paredes Valverde por el apoyo incondicional y por sus consejos para llevar a cabo este artículo.

Referencias

Yahya, C. B. (2008, December). *Performance monitoring of solar photovoltaic systems using reference cells*. In *2008 International Conference on Microelectronics* (pp. 445-449). IEEE.

Rasheed, J. F., & Babu, V. S. (2017, July). *Simulation on performance of series and parallel connected tandem solar cells—A comparison study*. In *2017 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)* (pp. 1-5). IEEE.

Camilo Arancibia Buldes, Roberto Best y Brown, "Energía del Sol", Universidad Nacional Autónoma de México, 2020.

Sierra Aévalo, Javier. PFC, "Diseño de una vivienda basada en la arquitectura solar (Elementos activos y pasivos)", Universidad de Carlos III, Vol. I, 2010.
Ruth Lacomba, "Arquitectura Solar y Sustentabilidad C/Cd", Editorial Trillas, 2012.

Graciana Parodi, E. "Arquitectura Solar", Urbanismo, Universidad de Chile, vol. I, 2018.

Arq. Rosenfeld Elías, "Arquitectura Solar y Bioclimática", Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 978-950-34-0994-7, 2013.

Almanza Salgado, Rafael y Felipe Muñoz Gutiérrez (2003), *Ingeniería de la energía solar*, 2ª edición, México, Cromocolor.

Pilatowsky Figueroa, Isaac y Rodolfo Martínez (2009), *Sistemas de calentamiento solar de agua, una guía para el consumidor*, 2a edición, México, Trillas.

Tagüeña, Julia y Manuel Martínez (2008), *Fuentes renovables de energía y desarrollo sustentable*, México, ADN editores.

Tonda, Juan (1993), *El oro solar y otras fuentes de energía*, México, Fondo de Cultura Económica, (colección "La ciencia para todos").

O. J. Villao Miranda, E. R. Consuegra Mite y J. M. Silva Becherán, *de Dimensionamiento óptimo de un sistema fotovoltaico a través de herramientas computacionales en zonas aisladas.*, Guayaquil Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador, 2021.

Sarmiento Montenegro, *de desarrollo e implementación de un sistema domótico basado en software libre para una vivienda unifamiliar*, Santander, cantabria, España, universidad de cantabria, 2019.

E. A. López Pérez y J. F. Méndez Díaz, *de Propuesta de componentes para un sistema híbrido fotovoltaico interconectado a la red, en pozo agrícola oriental Puebla*, Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciencia Latina Revista, 2023.

G. Silvente Niñirola, A. Molina-García y A. Mateo Aroca, *de sistemas de bajo coste para la monitorización*

de instalaciones fotovoltaicas: aplicación de arduino y raspberry PI, Cartagena, 23rd International Congress on Project Management and Engineering, 2019.

*“Instrumentación Electrónica”, Autores: Miguel Ángel Pérez García, Editorial: Paraninfo
ISBN: 9788428337021, México, Ed. 2020.*

“Domótica Para Vivienda Y Edificios”, Autor: Werner Harker, Editorial: Alfaomega, ISBN: 9786077071594, Ed. 2023.

*“Fundamentos de circuitos eléctricos”, Autor: Charles Alexander, Editorial: McGraw Hill,
ISBN: 9786071517531, Ed. 2020.*

*“Robótica Y Domótica Básica”, Con Arduino
Autor: PEDRO PORCUNA LOPEZ, Editorial: Ra-Ma
ISBN: 9788499646091, Ed. 2024.*

*“Montaje en instalaciones domóticas en edificios”,
ELES0208, Autor: José Javier, Editorial: IC Editorial
ISBN: 9788411032407, Ed. 2020.*

“Cálculo de Líneas Y Redes Eléctricas”, Autor: Ramón M. MugarRosas, Editorial: Universitat Politècnica de Catalunya, ISBN: 9786075382111, Edición 2020.

*“Metodología para el cálculo de la energía eléctrica imputable a la utilización de combustibles en las instalaciones solares termoeléctricas”, Autor: Val Moscoso, Editorial: Jose manuel Ferro Veiga
ISBN: 1230004632962, Ed. 2021.*

“Electricidad Básica”, Autor: David Arboledas Brihuega, Editorial: Starbook, ISBN: 9788492650408, Ed. 2020.

“Arduino Práctico”, Autor: Daniel Lozano Equisoain, Editorial: Anaya multimedia, ISBN: 9788441538382, Edición 2017.

*“Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino”, Autor: Leonel G. Corona Ramírez, Editorial: Patria
ISBN: 9786075501215, Ed. 2021.*

*“Raspberry Pi2 para electrónicos”, Autor: Germán Tojeiro Calaza, Editorial: Alfaomega,
ISBN: 9786076226193, Ed. 2021.*