



Diseño de un sistema fotovoltaico interconectado a la red para la alimentación de una escuela primaria en una comunidad de Guerrero

Martín Dario Castillo Sánchez, María de Jesús Velázquez Vázquez, Juan Daniel Rivas Martínez*

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para generar energía eléctrica a la escuela primaria de la comunidad de Igualita, Guerrero. Se desarrolló considerando la energía solar de la zona geográfica, determinando la energía que demanda la escuela; y calculando el número de paneles fotovoltaicos, controladores de carga, baterías, ya que la escuela cuenta con la suficiente infraestructura para implementar un sistema fotovoltaico interconectado a la red, se obtuvieron las dimensiones y ángulos de inclinación óptimos para la disminución de pérdidas eléctricas, así como la selección de los conductores y protecciones que garantizarán una vida útil del SFI más prolongada, de manera satisfactoria se llevó a cabo el diseño del sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica con las características necesarias para dotar de energía eléctrica al edificio de la escuela primaria Cuauhtémoc y cubrir con la demanda energética del mismo, para evitar las interrupciones del suministro eléctrico en dicha escuela y beneficiar a los alumnos.

ABSTRACT

The objective of this research is to design a photovoltaic system interconnected to the grid to generate electricity at the primary school in the community of Igualita, Guerrero. It was developed considering the solar energy of the geographical area, determining the energy demanded by the school; and calculating the number of photovoltaic panels, charge controllers, batteries, since the school has sufficient infrastructure to implement a photovoltaic system interconnected to the grid, the optimal dimensions and inclination angles were obtained to reduce electrical losses, as well such as the selection of the conductors and protections that will guarantee a longer useful life of the SFI, the design of the photovoltaic system interconnected to the electrical network with the necessary characteristics to provide electrical energy to the elementary school building was carried out satisfactorily. Cuauhtémoc and cover its energy demand, to avoid interruptions in the electricity supply in said school and benefit the students.

Palabras claves: Fotovoltaico, sistema interconectado, controladores, conductores.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, se ha buscado implementar el uso de las energías renovables, debido a que hoy es preocupante la condición del planeta. La agenda 2030, aceptada en 2015, menciona en varios de sus 17 acuerdos la sostenibilidad; más específicamente, el acuerdo número 7 dice que se debe garantizar una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

En la escuela primaria Cuauhtémoc, ubicada en la comunidad de Igualita, Guerrero; se han tenido interrupciones en el suministro de energía eléctrica con gran frecuencia; ocasionando con ello la faltas en la operación del proceso de enseñanza aprendizaje, por no brindar las condiciones necesarias para un óptimo desarrollo académico, al utilizar tecnologías de información existentes en la escuela.

En este proyecto de ingeniería se diseñó un sistema fotovoltaico interconectado a la red, con el objetivo de generar energía eléctrica para alimentar seis salones, los cuales utilizan energía eléctrica para la iluminación y equipo de cómputo la mayor parte del día.

El diseño del sistema fotovoltaico se desarrolló considerando la irradiación solar de la zona geográfica, determinando la energía que demanda la escuela; y calculando el número de paneles fotovoltaicos, controladores de carga, baterías, ya que la escuela cuenta con la suficiente infraestructura para implementar un sistema fotovoltaico interconectado a la red.

Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales y son inagotables o con capacidad de renovación. Estas energías se han convertido en cierta forma clave para conseguir los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) y en el propósito de conseguir la sostenibilidad del mundo. BBVA (2022). Las energías renovables se considera son respetuosas con el medio ambiente, y aunque provoquen efectos negativos sobre el ámbito, son mucho menores que los impactos al medio ambiente que las energías convencionales como combustibles fósiles. Méndez & Cuervo (2006).

Las fuentes de energía renovable cuentan con una clasificación de la variedad de fuentes de energía limpia que podemos utilizar. Entre las energías renovables o también llamadas energías limpias encontramos. Acciona Bunisses as Unusual (2015).

- Energía eólica.
- Energía solar.
- Energía hidráulica o hidroeléctrica.
- Energía geotérmica.

* Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco, Departamento de Mecánica, Dr. Martín Dario Castillo Sánchez, C Dr. María de Jesús Velázquez Vázquez, Ing. Juan Daniel Rivas Martínez, Correo electrónico: avinfer@hotmail.com





ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Por otro lado, en las ramas de la energía solar, contamos con la energía solar fotovoltaica, este tipo de energía permite convertir la energía solar directamente en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en crear un voltaje para producir una corriente eléctrica. El descubrimiento de la energía fotovoltaica es atribuido a Becquerel que en 1839 publicó un estudio describiendo sus experimentos con una batería húmeda, en lo cual encontró que cuando unas láminas de plata eran expuestas a la luz del sol aumentaban su tensión eléctrica. Gil (2008).

Este tipo de energía permite la generación directa de electricidad a partir de la radiación solar. Una de las grandes ventajas de esta tecnología es su modularidad: los paneles (figura 1) se pueden utilizar para autoconsumo (suministro de electricidad en viviendas o edificios) o también para su inyección a la red por parte de grandes centrales eléctricas. BBVA (2022).



Figura 1. Energía solar fotovoltaica

EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

Un material semiconductor (el silicio), es expuesto a los rayos solares, que contienen energía luminosa (fotones). Estos fotones aportan energía a los electrones de valencia de los átomos de silicio. Si la energía que aportan es suficiente para vencer la fuerza que mantienen los electrones unidos al átomo, estos electrones se liberan y llegan a formar una corriente de electrones, que se representa por un circuito capaz de encender una lámpara, a esto se le llama efecto fotoeléctrico. Madrid (2009)

COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Generalmente, los sistemas fotovoltaicos se componen de los elementos que se muestran a continuación en la figura 2.

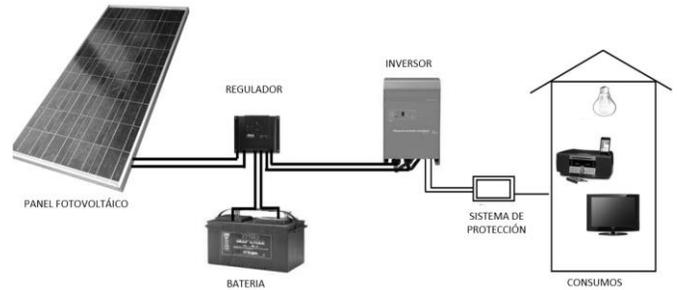


Figura 2. Componentes de un sistema fotovoltaico

Nota: Componentes de un sistema fotovoltaico. Obtenido de: <https://www.odins.es/soluciones/control-de-produccion-de-energia-fotovoltaica/>

PANEL FOTOVOLTAICO

El módulo fotovoltaico es un dispositivo que absorbe la energía del sol e inicia el proceso de transformación en energía eléctrica. Así mismo, el módulo fotovoltaico constituido por células fotovoltaicas individuales conectadas eléctricamente entre sí, las cuales, entregan en la salida de cada módulo la energía por medio de dos terminales. Está recubierto por un material semiconductor que es sensible a la luz, generalmente el silicio; el cual genera energía eléctrica cuando es expuesto a la radiación solar por medio del efecto fotovoltaico. Díaz y Carmona (2018), Enel Green Power (2022).

BATERÍAS

En el caso de los sistemas fotovoltaicos aislados, se hace uso de baterías que almacenen energía debido a que la energía del sol que llega a los módulos fotovoltaicos, no lo hace de manera uniforme, es decir, algunas veces se presentan variaciones como las nubosidades que en algún momento no permiten que la energía solar incida de una manera satisfactoria en el panel. Casa & Barrio (2017).

Las baterías en sistemas fotovoltaicos tienen la capacidad de transformar energía química en eléctrica y viceversa. En el proceso de generación, las baterías reciben energía eléctrica proveniente de los paneles fotovoltaicos; las baterías la transforman en energía química y entonces se encuentran en una fase de almacenamiento. Luego, en la fase de consumo las baterías transforman la energía química almacenada en ellas en energía eléctrica para su utilización. Díaz & Carmona (2018). En la tabla 1, se muestran los tipos de baterías utilizadas principalmente en sistemas fotovoltaicos.

Tabla 1. Características de los principales tipos de baterías

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga hr.	Auto Descarga por mes %	Nº de ciclos	Capacidad (por Tamaño) Wh/kg	Precio



Plomo-ácido	2	8-16	<5	Medio	30-50	Bajo
Ni-Cd (Níquel Cadmio)	1.2	1	20	Elevado	50-80	Medio
Ni-Mh (Níquel-Hidruro de metal)	1.2	2-4	20	Medio	60-120	Medio
Li ion (ión litio)	3.6	2-4	6	Medio-Bajo	110-160	

Nota: Tabla de las características de los tipos de baterías. Extraída de <https://deltavolt.pe/general/baterias-de-litio-para-panel-solar/e>

REGULADOR

Se encarga de controlar las cargas y descargas de la batería, protegiéndola, evitando averías y por lo tanto extendiendo la vida útil de las baterías, es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador a la vez que limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para el mantenimiento. Alcor (2002).

El regulador opera en dos zonas: la zona de carga y la zona de descarga. En la zona de carga, su objetivo es asegurar que las baterías tengan una carga suficiente, pero al mismo tiempo, evitando sobrecarga. En la zona de descarga tiene como objetivo garantizar un consumo satisfactorio, pero al mismo tiempo, evitando descarga excesiva de las baterías. Díaz & Carmona (2018).

INVERSOR

Un inversor de corriente es uno de los elementos más esenciales de las instalaciones de los paneles fotovoltaicos, ya sean instalaciones fijas o aisladas, aunque no son exclusivos de estas. Los inversores de corriente, también conocidos como convertidores, son dispositivos electrónicos que básicamente se encargan de transformar la corriente continua en corriente alterna igual a la utilizada en la red eléctrica (en el caso de la República Mexicana, 127 VAC, 60Hz), para que pueda ser utilizada sin que ocasione daños. Guzmán y Arsenio (2016).

INSTALACIONES CONECTADAS A LA RED

La instalación fotovoltaica conectada a la red (figura 3) se caracteriza por la inyección de energía eléctrica a la red, ya sea con fines de venta de la electricidad del sistema fotovoltaico o como aportación de energía a la red eléctrica. En un sistema fotovoltaico conectado a la red, se produce una conversión de la corriente continua proporcionada por el generador fotovoltaico, en corriente alterna, de iguales características en cuanto a tensión y frecuencia que la que está circulando por la red eléctrica. Este proceso de conversión es totalmente automático, al no requerir la intervención directa del usuario. Carmona G y Díaz T. (2018).

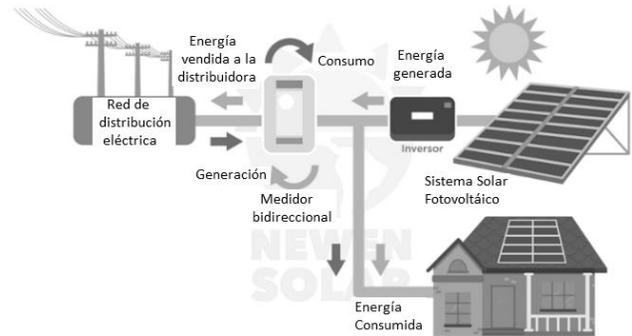


Figura 3. Instalación fotovoltaica conectada a la red

Nota: Instalación fotovoltaica conectada a la red. Extraída de: <https://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/>

DESARROLLO

DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS

Para el cálculo de las cargas se tomaron en cuenta seis computadoras las cuales consumen 220 W por un tiempo de seis horas al día, seis proyectores de 200 W por un tiempo de seis horas al día, en los seis salones de la escuela se encuentran doce contactos y diez luminarias, las cuales por el horario de trabajo se utilizan durante seis horas al día (Tabla 2).

Para saber la carga de contactos en W se utiliza la ecuación 1.

$$W = (Con) (180 VA) \quad (1)$$

$$W = (12 \text{ contactos}) (180 VA) = 1944 W$$

Donde:

W= Watts totales de los contactos

Con= Contactos totales utilizados

Tabla 2. Cuadro de cargas

No.	Equipo	Can tidad	Carga por unidad (W)	Tiempo de utilización (hrs)
1	Computadora	6	220	6
2	Proyector	6	200	6
3	Contactos	12	162.3	6
4	Luminaria	10	15	6
Total, de las cargas				4,614 W/h
Total, de las cargas por el tiempo de utilización				27,684 Wh/d

ORIENTACIÓN DE LOS PANELES

En nuestro caso el techo de la escuela primaria es completamente plano por lo cual podemos aprovechar el mayor espacio posible, por lo cual, orientación de nuestros paneles fotovoltaicos tiendo en



cuenta que la trayectoria que sigue el sol sobre nuestro planeta durante un día es de Este a Oeste, pero la trayectoria que sigue durante un año es de Norte a Sur, esto nos indica que los paneles fotovoltaicos debería estar orientados hacia el Sur ya que con esto logramos la mayor captación de luz solar en todo el día.

INCLINACIÓN DE LOS PANELES

Para obtener la máxima cantidad de luz solar sobre los paneles durante el día, los paneles fotovoltaicos se deben colocar orientados directamente donde se encuentra el sol y con la ecuación 2, se encuentra la inclinación óptima:

$$\alpha_{opt} = 3.7 + (0.69 * \text{latitud del lugar}) \quad (2)$$

La latitud donde se encuentra la escuela primaria es 17.27° , por lo tanto:

$$\alpha_{opt} = 3.7 + (0.69 * 17.27) = 15.6163^\circ \quad (3)$$

La inclinación de los paneles fotovoltaico debe de ser de 15.6163° , se recomienda que el ángulo de inclinación sea mayor a 15° grados ya que, con esto logramos que cuando llueva el agua escurra y no se quede estancada, por lo cual también se limpiar el polvo que se adhiere en los paneles.

ELECCIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICO

Se seleccionó el panel fotovoltaico de 500 W (figura 4) monocristalino de la marca EVANS®, la elección de este panel fotovoltaico fue gracias a su potencia máxima nominal, a el material con el que está fabricado, ya que tiene mayor eficiencia que otros paneles consultados, además de que este panel nos permite operarlo sin muchos problemas gracias a sus múltiples configuraciones de montaje.

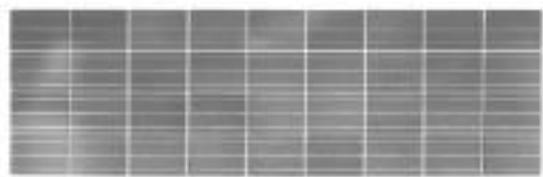


Figura 4. Panel fotovoltaico

DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE LOS PANELES

La distancia mínima de separación entre filas depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado este el panel, deberá estar más separado uno del otro como se muestra en la figura 5.

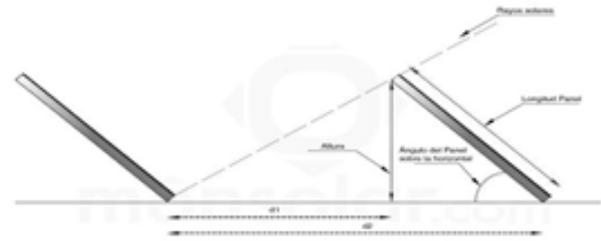


Figura 5. Separación entre paneles fotovoltaicos

Nota: Separación entre Panel fotovoltaico. Obtenido de: <https://www.monsolar.com/blog/calcular-la-separacion-entre-filas-de-placas-solares-para-evitar-sombras/>

Donde:

dmin: Distancia mínima entre cada arista del panel fotovoltaico.

a: Distancia de la arista inferior de un panel fotovoltaico a la arista inferior.

b: Distancia de la arista inferior del panel a la arista superior respecto a la horizontal.

L: Longitud del panel fotovoltaico.

h: Altura del panel fotovoltaico.

β : Grado de inclinación del panel respecto a la horizontal.

θ : Angulo de la sombra respecto a la horizontal.

Teniendo el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico y el largo del panel fotovoltaico podemos calcular la altura del mismo, utilizando las ecuaciones 4, 5, 6.

$$h = \text{sen}(\beta) * L = (\text{Sen}(15.6163^\circ) * (2.05 \text{ m})) = 0.5518 \text{ m} \quad (4)$$

Considerando que el bloque de hormigón mide 40 cm, entonces:

$$h = \text{sen}(\beta) * L + h_{norm} = 0.5518 \text{ m} + 0.40 \text{ m} = 0.9518 \text{ m} \quad (5)$$

Con la formula anterior calculamos la distancia b:

$$b = \text{cos}(\beta) * L = (\text{Cos}(15.6163^\circ) * (2.05 \text{ m})) = 1.9743 \text{ m} \quad (6)$$

La sombra junto con el panel fotovoltaico forma un triángulo escaleno, por lo tanto, podemos calcular la distancia respecto a la horizontal que proyecta la sombra, utilizando la ecuación 7.

$$a = \frac{h}{\text{tanan} \theta} = \frac{1.9743 \text{ m}}{\text{tanan}(74.3837)} = 1.2275 \text{ m} \quad (7)$$

Una vez obtenida las distancias se suman para obtener la distancia mínima entre aristas de los paneles fotovoltaicos, mediante la ecuación 8.



$$d_{\min} = a + b = 1.2275 \text{ m} + 1.9743 \text{ m} = 3.2018 \text{ m} \quad (8)$$

Por lo que la distancia entre cada panel sería la d_{\min} menos la distancia del panel fotovoltaico (2.05 m), por lo cual la distancia obtenida es de: 1.1518 m.

CÁLCULO DEL NÚMERO DE PANELES

Teniendo en cuenta la selección del panel fotovoltaico en base al tamaño de la escuela, tenemos que la potencia máxima nominal es de 500 W la cual se encuentra en el anexo B.

Para determinar el número de paneles que se utilizarán, debemos contabilizar las pérdidas por diversos factores. Contabilizando las pérdidas tenemos:

- Pérdidas por conversión de energía = 5%
- Pérdidas por Cableado = 1
- Pérdidas por efectos de Temperatura = 15 % promedio
- Pérdidas por polvo y sombreado mínimo = 6 % promedio

El cual nos da un total del 27 % pero tomando en cuenta lo anterior se recomienda considerar un 30 % extra.

Por lo tanto, utilizando la ecuación 9, tenemos:

$$E_{\text{real}} = \left(27,684 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times 0.3 \right) + 27,684 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} = 35,989.2 \quad (9)$$

Calculando la potencia suministrada por los paneles fotovoltaicos, obtenemos que se utilizarán 6 horas pico/día en promedio, ver tabla 3.1, se tiene por la ecuación 10.

$$P_{\text{FV}} = \frac{E_{\text{real/día}}}{\text{Hora-pico/día}} = \frac{35,989.2 \text{ Wh/día}}{6 \text{ horas-pico/día}} = 5,998.2 \text{ W} \quad (10)$$

Recordando que cada panel fotovoltaico es de 500 W de potencia máxima nominal, el número de paneles calculado es de acuerdo con la ecuación 3.11.:

$$\begin{aligned} \text{N}^{\circ} \text{ de paneles} &= \frac{P_{\text{FV}} (\text{en W})}{P_{\text{mpp del modulo}} (\text{en W})} = \frac{5,998.2 \text{ W}}{500 \text{ W}} \\ &= 11.9964 \approx 12 \text{ paneles} \end{aligned} \quad (11)$$

Finalmente tenemos que son 11.9964 paneles, por lo tanto tenemos que utilizar doce paneles fotovoltaicos.

SELECCIÓN DEL INVERSOR

Debido a los cálculos de la potencia requerida por los paneles fotovoltaicos, podemos decir que necesitamos un inversor de 5,998.2 W, quedando así en 6000W.

Por lo tanto, el inversor seleccionado es de 6500 W marca SunGoldPowerCo®. UL1741, el fabricante asegura que la eficiencia del inversor es del 93%, de acuerdo a la ecuación 12.

$$P_{\text{sum}} = P_{\text{inv}} * (0.93\%) = 6500 \text{ w} * (0.93) = 6045 \text{ W} \quad (12)$$

ARREGLO DE LOS PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

El arreglo consistirá en la conexión de los paneles fotovoltaicos, en serie y paralelo, tomando las especificaciones de los mismos, se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Características de los equipos seleccionados

Panel fotovoltaico	Inversor SunGold PowerCo®		
Evans®			
Voc (V)	46.80	Max Isa (A)	27.7
Vmp (V)	39	Vmax DC(V)	390
Isc (A)	13.40	Rango de Voltaje	120- 390
Potencia (W)	500	Potencia Max (W)	6500

Con los datos obtenidos podemos calcular la cantidad máxima de paneles fotovoltaicos en serie que podemos utilizar, por lo tanto, se necesita conocer Vmax DC del inversor y el Voc del panel fotovoltaico utilizando la ecuación 13, tenemos que:

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{inv}}}{V_{\text{oc}}} = \frac{390 \text{ V DC}}{46.80 \text{ V}} = 8.3 \quad (13)$$

Y para determinar la cantidad mínima, en la ecuación 14.

$$N_{\text{serie}} = \frac{V_{\text{inv}}}{V_{\text{oc}}} = \frac{120 \text{ V}}{39 \text{ V}} = 3.07 \quad (14)$$

Una vez obtenidos los datos en serie, necesitamos el número de paneles fotovoltaicos conectados en paralelo, por lo que utilizando la ecuación 15, obtenemos lo siguiente:

$$N_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{inv}}}{I_{\text{sc}}} = \frac{27.7 \text{ A}}{13.40} = 2.06 \quad (15)$$

Una vez obtenidos los datos anteriores, el arreglo quedaría con seis paneles fotovoltaicos colocados en serie y dos filas colocadas en paralelo.

Para poder asegurar si los seis módulos conectados en serie no rebasan la tensión de entrada del inversor se realiza la siguiente operación en la ecuación 16.

$$(6 \text{ modulos}) * (39 \text{ v}) = 234 \text{ V} \quad (16)$$

Esto quiere decir que los seis módulos conectados en serie se encuentran dentro del rango de tensión de entrada del inversor.

Se tiene que corroborar que los módulos conectados en paralelo no sobrepasen la corriente del inversor, por lo cual en la ecuación 17 tenemos:

$$(2 \text{ modulos}) * (13.40 \text{ v}) = 26.8 \text{ A} \quad (17)$$



Demostramos que ni la tensión, ni la corriente sobrepasan los límites determinados, entonces nuestro arreglo es correcto.

DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE INVERSORES

Sabiendo el número total de arreglos y el número total de paneles, podemos determinar el número de inversores que utilizaremos, con la ecuación 18 tenemos que.

$$\text{Numero}_{inv} = \frac{M}{\text{Numero}_{arreglo}} = \frac{12}{12} = 1 \text{ Inversor} \quad (18)$$

Para corroborar que el número de inversores sea el correcto, podemos multiplicar el número de inversores por la máxima potencia de cada una y compararla con la cantidad de potencia total de la carga, en la ecuación 19 tenemos:

$$(1 \text{ Inversor}) * (6500 \text{ W}) = 6500 \text{ W} \quad (19)$$

Con esto comprobamos que efectivamente, con un inversor nos es suficiente para abastecer nuestro arreglo.

ESTRUCTURA DE SOPORTE

Se seleccionó una estructura metálica capaz de soportar seis paneles fotovoltaicos, como se muestra en la figura 6., el sistema de montaje que se emplea es instalable en azoteas planas.

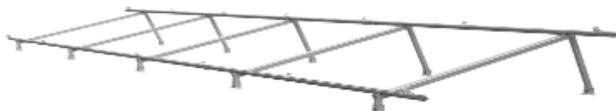


Figura 6. Sistema de montaje vertical para paneles fotovoltaicos

Nota: Estructura metálica para el soporte de paneles fotovoltaicos. Obtenido de: <https://solida.com.mx/sbv1.html>

Para esto se implementaran dos estructuras para nuestro arreglo, los seis paneles fotovoltaicos quedarían como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Montaje de seis paneles fotovoltaico

Nota: Estructura metálica para el soporte de seis paneles fotovoltaicos. Obtenido de: <https://solida.com.mx/sbv1.html>

PROTECCIONES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED

La mejor forma de proteger toda nuestra instalación eléctrica es mediante un centro de cargas la cual nos permite proteger el circuito contra sobre cargas, corto circuito y fallas de tierra. Para

determinar la capacidad de nuestro interruptor es importante determinarlo utilizando la ecuación 20, tenemos:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{5,998.2 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 49.985 \text{ A} \quad (20)$$

Nuestro interruptor tiene que ser de 60 A, de acuerdo a la sección 240-6 de la NOM-001-sede-2012.

CÁLCULO DEL CABLEADO

Para determinar el calibre del cable a utilizar, mediante la I_{sc} de nuestro panel fotovoltaicos, tenemos que basarnos en la NOM-001-sede-2012, sección 210-19(a) (1), y en la ecuación 21.

$$I_{ajustada} = 125\% I_{ajustada} = 1.25 * (13.40 \text{ A}) = 16.75 \text{ A} \quad (21)$$

Una vez obtenido la $I_{ajustada}$, procedemos a calcular el valor de corriente ajustada, con base la sección 210-19(a) (1) de la NOM-001-sede-2012, ecuación 22.

$$I_{ajus\ total} = \frac{1.25 * (I_n)}{F.C.T * F.A.A} = \frac{16.75 \text{ A}}{1 * 1} = 16.75 \text{ A} \quad (22)$$

En base, a la NOM-001-sede-2012, sección 310-15(b) (16), se propone el conductor: 14 AWG – THHW-LS, por lo tanto, según por su ampacidad el conductor de cobre en la terminal es de 60 °C 15 A, tomamos en cuenta lo anterior encontramos que el conductor es de 12 AWG – THHW-LS, en base la sección 110-14(c) (1).

SELECCIÓN DEL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA

Para el cálculo del conductor de puesta a tierra, la nom-001-sede-2012, sección 250-122, tomando los datos del conductor propuesto anteriormente, calculamos el factor por incremento, de acuerdo con la ecuación 23.

$$fi = \left(\frac{12 \text{ AWG}}{14 \text{ AWG}} \right) = \frac{3.31 \text{ mm}^2}{2.088 \text{ mm}^2} = 1.5913 \quad (23)$$

Por lo cual tenemos, que el factor por incremento es según la ecuación 3.24.

$$fi = 1.5913 * 2.08 \text{ mm}^2 = 3.31 \text{ mm}^2 \quad (24)$$

Por lo tanto, según la tabla de la nom-001-sede-2012, sección 250-122 (b), nos dice que el conductor seleccionado es de 3.31 mm² a 12 AWG

CONEXIÓN ENTRE PANELES

Las conexiones entre (Serie y Paralelo) se realizan mediante cables suministrados con los propios paneles fotovoltaicos. Cuando se conecta en paralelo, todos los polos positivos están conectados entre sí en la parte superior (polo positivo), y todos los polos negativos están conectados entre sí en la parte inferior, como se puede ver en la figura 8.

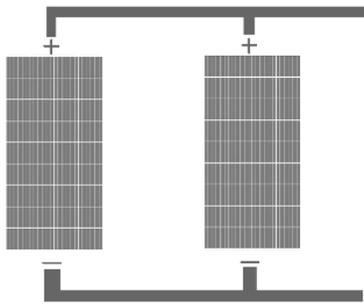


Figura 8. Conexión de paneles fotovoltaicos en serie

Para la conexión en serie, el polo positivo se conecta con el polo negativo, la parte superior del panel fotovoltaico, con la parte inferior del mismo, como se muestra en la siguiente figura 9.

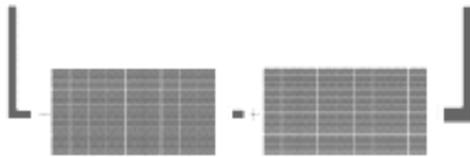


Figura 9. Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo
Nota: Elaboración propia. Photoshop® 2022. Diciembre 2022

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se determinaron las cargas que demanda el sistema eléctrico, esta fue de 27684 Wh/d en total, se requiere un número de 12 paneles fotovoltaicos para abastecer la carga demandada, así mismo, se calculó la orientación e inclinación de los mismos, se seleccionó un panel de 500W y se configuro la distribución de los mismos en la azotea de la escuela considerada, el arreglo definido para la conexión entre los paneles es en serie paralelo, dos grupos de seis paneles en serie y ambos conectados en paralelo. Se calculó un inversor de 6500W y el cable de conexión de calibre 14 AWG, para la conexión a tierra se encontró que el conductor es de calibre 12 AWG.

CONCLUSIONES

Se logró el diseño y cálculo del sistema fotovoltaico para abastecer de energía eléctrica a la escuela primaria Cuauhtémoc en Guerrero. El arreglo considerado es eficiente y se acopla muy bien en el espacio considerado sobre la azotea de la escuela primaria.

Todos los materiales y accesorios definidos son comerciales y se consiguen en el mercado mexicano. Con este proyecto, una vez realizado se aportara un gran beneficio a la escuela primaria en cuanto a calidad y eficiencia de energía eléctrica.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Acciona Bussines as Unusual (2023). Energías Renovables. En línea, obtenido de: https://www.acciona.com/es/proyectos/?_adin=02021864894
- Alcor, E. (2002). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Sevilla: PROGENSA
- Alvarado, RAV, (2015), Componentes principales de un sistema fotovoltaico interconectado a la red. Manual para la evaluación técnica-económica de "Sistemas Fotovoltaicos Interconectados a la Red apoyados a través del Programa de Fideicomiso de Riesgo Compartido" En línea, obtenido de: https://energypedia.info/images/6/67/GIZ_Manual_SF_Interconectados_Red_2015.pdf
- Banco Bilbao Vizcaya Argentina (BBVA, 2022). ¿Qué tipos de energías renovables existen y qué papel juegan? En línea, obtenido de: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-tipos-de-energias-renovables-existen-y-que-papel-juegan/>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentina (BBVA, 2022). ¿Qué tipos de energía solar existe? En línea, obtenido de: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar/>
- Carmona G. y Díaz T. (2018). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. España: McGraw-Hill.
- Casa, M. y Barrio, M. (2017). Instalaciones Solares Fotovoltaicas. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Enel Green Power. (2022, 11, 02). Módulo Fotovoltaico. Del sitio web <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>
- Gil, G. (2008). Energías del Siglo XXI. De las Energías Fósiles a las Alternativas. Madrid: Mundi-Prensa
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones Eléctricas, NOM-001-sede-2012, Anexo D. Sección 240-6 de la nom-001-sede-2012, Anexo E. Sección 210-19 de la nom-001-sede-2012, Anexo E. Sección 210-19 de la nom-001-sede-2012, Anexo F. Tabla 310-15(b)(16) de la nom-001-sede-2012. Anexo G. Tabla 250-122 de la nom-001-sede-2012, Anexo H. Tabla 8 de la nom-001-sede-2012.
- Madrid, A. (2009). Energías Renovables. España: AMV Ediciones y Mundi-Prensa
- Méndez Muñiz, J. M. y Cuervo García, R. (2006). Energía Solar Térmica. Fundación Confemetal. Recuperado en junio de 2022

INFORMACIÓN ACADÉMICA

María de Jesús Velázquez Vázquez: Licenciada en Economía por la Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en ciencias en educación y especialista en finanzas, Candidata a Doctor en Ciencias en Ingeniería de Sistemas por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la



ESIME Zacatenco, profesora investigadora de tiempo completo y exclusivo en el IPN.

Juan Daniel Rivas Martínez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Experto en Manufactura, profesor de tiempo completo en el IPN.

Martín Dario Castillo Sánchez: Ingeniero Mecánico egresado de la Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, Maestría en Ingeniería Mecánica en diseño mecánico, por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, Doctorado en ciencias en ingeniería mecánica por la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la ESIME Zacatenco, profesor investigador de tiempo completo y exclusivo en el IPN.