

## CAPÍTULO 2

# DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UN KIOSCO INTELIGENTE FOTOVOLTAICO PARA SU INSTALACIÓN EN ÁREAS COMUNES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA - UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE

*Data de aceite: 01/11/2023*

### **Mauricio Huchin Miss**

Universidad Autónoma de Campeche,  
Posgrado de la Facultad de Ingeniería,  
San Francisco de Campeche, Campeche,  
México.  
ORCID: 0000-0002-5669-9098

### **Germán Escalante**

Universidad Autónoma de Campeche,  
Posgrado de la Facultad de Ingeniería,  
San Francisco de Campeche, Campeche,  
México.  
ORCID: 0000-0002-5900-4570

### **Roberto López**

Tecnológico de Estudios Superiores de  
Jocotitlán,  
Estado de México, México.  
ORCID: 0000-0001-8341-3684

### **Antonio Coyopol**

Benemérita Universidad Autónoma de  
Puebla,  
Posgrado en Dispositivos  
Semiconductores,  
Puebla, México.  
ORCID: 0000-0001-5498-5640

### **Román Romano Trujillo**

Benemérita Universidad Autónoma de  
Puebla,  
Posgrado en Dispositivos  
Semiconductores,  
Puebla, México.  
ORCID: 0000-0001-8824-025X

**RESUMEN:** En el presente capítulo, se describe el diseño 3D de un de kiosco inteligente fotovoltaico junto con su dimensionamiento, la implementación de paneles fotovoltaicos tiene el objetivo de aprovechar la energía solar y convertirla a energía eléctrica mediante un sistema fotovoltaico autónomo, el cual está integrado por paneles fotovoltaicos, controlador, banco de baterías, inversor y componentes para su interconectividad. De igual forma, se busca impactar localmente a corto y mediano plazo entre la comunidad estudiantil de la Facultad de Ingeniería - UAC, con el desarrollo e implementación física del kiosco (segunda etapa), logrando así ahorro en el consumo de energía eléctrica de los equipos electrónicos que emplean los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en sus actividades académicas.

**PALABRAS CLAVE:** Energía solar, sistema

fotovoltaico, kiosco inteligente.

## 1 | ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

### 1.1 Radiación.

Se llama irradiancia ( $I$ ), a la potencia de la radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada ( $W/m^2$ ). Su integración en un intervalo de tiempo irradiación ( $kJ/m^2$  o  $Wh/m^2$ ), se representa por la letra  $H$  (Bérmudez Díaz).

En función de cómo inciden los rayos solares en la tierra, se puede identificar tres componentes de la radiación solar:

**Radiación directa (B):** es la radiación solar recibida sin modificar su dirección al atravesar la atmósfera terrestre. La dirección de la radiación solar directa depende de la localidad geográfica y del instante de tiempo considerado.

**Radiación difusa (D):** es la radiación solar recibida después de modificar su dirección al atravesar la atmósfera como consecuencia de la dispersión atmosférica.

**Radiación solar reflejada o albedo (A):** es la radiación solar recibida después de reflejarse en una superficie.

**Radiación global:** está conformada por la suma de estas tres:  $G = B + D + A$ .

### 1.2 Condiciones estándares de prueba.

Son las condiciones para la medición de la potencia nominal de salida de los módulos fotovoltaicos (FV) a  $1000 W/m^2$ , espectro solar AM 1.5 y una temperatura de la celda o módulo de  $25^\circ C$  (CFE, 2008).

### 1.3 Tipos de módulos y eficiencias.

En el mercado se cuenta con distintos tipos de módulos para aplicaciones interconectadas y fuera de red. Sin embargo, los más empleados actualmente se muestran en a tabla 1.

Tipo	Rendimiento	Característica
Amorfo	< 10%	En general requiere de 14-20 $m^2/kWp$ . Tiene un color marrón en su parte frontal.
Monocristalino	15 - 18%	En general requiere de 7-9 $m^2/kWp$ . Su color característico en la parte frontal es negro y se observa la división de celdas.
Policristalino	12 - 14%	En general requiere de 7-10 $m^2/kWp$ . Su color característico en la parte frontal es azul y se observa la división de celdas.

Tabla 1. Tipos de módulos

Para el caso de módulos monocristalino y policristalino existen arreglos de 36, 60, 72 y 144 celdas. Esta variedad se debe a las distintas aplicaciones o su conectividad con la red.

#### 1.4 Tipos de baterías y sus características.

Las baterías son el medio de almacenamiento de energía en los sistemas fotovoltaicos fuera de red, su principal características es que son de ciclo profundo, por lo que se pueden descargar más del 50% aunque en las baterías del tipo plomo-ácido esto no es recomendable ya que se acorta significativamente la vida útil.

Es común que las baterías se conecten en serie o paralelo mediante un conjunto denominado banco. Éste se diseña en función de la capacidad en Amperes-hora (Ah) requerida por los equipos eléctricos. Otras funciones que también son de relevancia son:

- Almacenar energía para cierta cantidad de días de autonomía.
- Fijar el voltaje de operación del sistema fotovoltaico.

La tabla 2 resume la clasificación de los distintos tipos de baterías.

Tipo	Máxima descarga	Característica	Capacidades máximas a 12 V
Plomo ácido	50%	Requiere mantenimiento	357 Ah
Gel	60%	Libre de mantenimiento	225 Ah
AGM	50%	Libre de mantenimiento	250 Ah
Litio	80 - 100%	Libre de mantenimiento	Variedad de capacidades

Tabla 2. Clasificación de baterías (Alvarado Contreras & Cruz Peralta, Manual del instalador fotovoltaico, 2021).

#### 1.5 Tipos de controladores en sistemas fuera de red.

Los controladores solares también conocidos como reguladores. Son convertidores de corriente directa a corriente directa, que tienen la función de gestionar la energía generada por los módulos evitando la descarga y sobrecarga de la batería. Otras funciones para algunos modelos comprenden:

- Protección contra polaridad inversa
- Sensor de temperatura
- Alimentación hacia cargas de corriente directa

En aplicaciones fotovoltaicas, se pueden emplear principalmente dos tipos de reguladores, siendo PWM o MPPT (ver figura 1).



Figura 1. Controladores solares PWM y MPPT (Carmona Rubio & Díaz Corcobado, 2018).

El regulador PWM utiliza el voltaje que necesita la batería o el banco de baterías para su carga o descarga, por ejemplo, en una batería o banco de baterías de 12V, en un determinado momento, el módulo fotovoltaico está generando 16V, al cargar la batería el regulador suministrará el voltaje de la batería y los 4V de diferencia no se aprovecharán. En cambio, el regulador MPPT identifica el voltaje de la batería o banco y la del módulo fotovoltaico, de manera que aprovecha el máximo voltaje disponible del arreglo (punto de máxima potencia) para cargar el banco (Alvarado Contreras & Cruz Peralta, Manual del instalador fotovoltaico, 2021).

### 1.6 Inversores y características para sistemas fuera de red.

Otro elemento que compone un sistema fuera de red es el inversor, se encarga de convertir la corriente directa en corriente alterna y estos no requieren ser interconectados a la red (ver figura 2).



Figura 2. Inversores para aplicaciones fuera de red (Alvarado Contreras & Cruz Peralta, Manual de instalador fotovoltaico, 2016).

En el mercado se cuenta con tres tipos de inversores según la aplicación y capacidad, como se muestra en la tabla 3.

Voltaje (V)	Capacidad (W)	Aplicación	Tipo
12	100 - 999	Iluminación	Onda cuadrada
12 - 24	1000 - 1999	Televisión, bluray, taladros	Onda senoidal modificada
12 - 24	2000 - 2999	Motores de mediana capacidad	
12 - 48	3000 - 7000	Bombas, aire acondicionado	Onda senoidal pura

Tabla 3. Tipos de inversores para aplicaciones fuera de red (Alvarado Contreras & Cruz Peralta, Manual de instalador fotovoltaico, 2016).

## 2 I APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE LA ENCUESTA.

Se aplicó una encuesta a una muestra de 100 estudiantes de la facultad, para estimar los usos y consumos de energía en las instalaciones, dicha información se aplicará para realizar el dimensionamiento del kiosco inteligente.

En la figura 3, se muestra la comparación de 4 dispositivos de uso común entre la comunidad estudiantil.

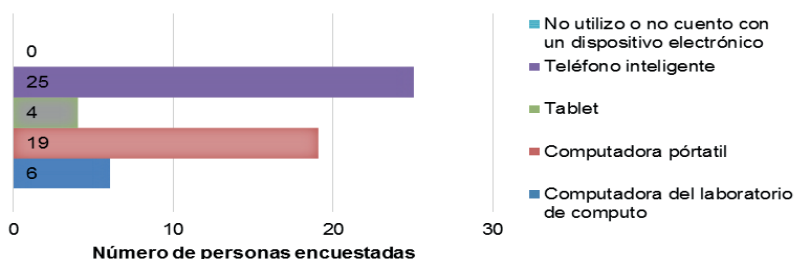


Figura 3. Dispositivos electrónicos de uso común utilizados por los estudiantes.

El teléfono inteligente y la computadora portátil son los dispositivos de mayor uso entre la comunidad estudiantil.

Se preguntó a los estudiantes encuestados el tiempo de uso de estos dispositivos dentro del horario académico, indicando entre 1 a 3 horas para realizar actividades académicas o de esparcimiento, resultando una hora promedio de uso, la opción de mayor elección para cualquier dispositivo electrónico portátil (ver figura 4a). Mientras que fuera del horario académico, los estudiantes permanecen en las instalaciones de la facultad para realizar actividades extras relacionadas a lo académico (ver figura 4b), el uso de estos dispositivos es igualmente de 1 hora en promedio.

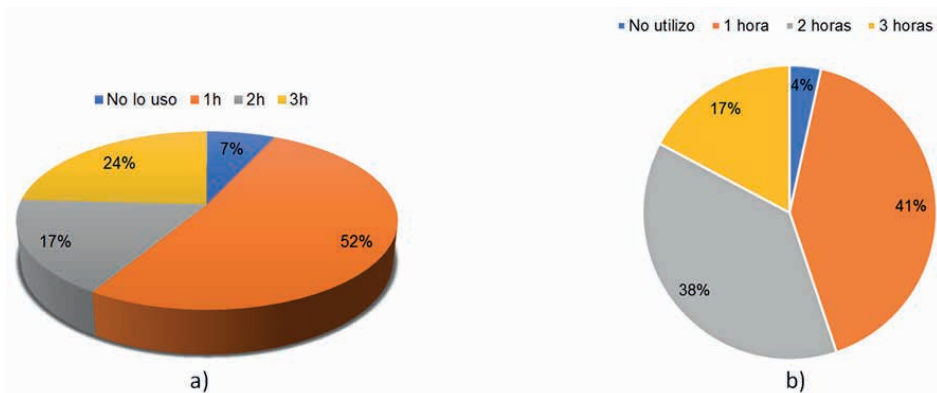


Figura 4. Horas de uso promedio de dispositivos electrónicos a) dentro y b) fuera del horario académico.

Un dato relevante obtenido de la encuesta, es la limitación de espacios o áreas dentro de la Institución que tengan las condiciones mínimas necesarias de confort, para que los estudiantes puedan realizar actividades académicas fuera de sus horas de clase (tareas, consultas por internet, entre otras), los espacios más utilizados por los estudiantes son los salones desocupados o bancas para realizar dichas actividades (ver la figura 5).

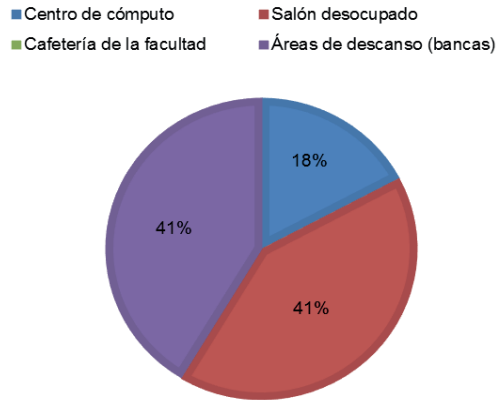


Figura 5. Espacios utilizados por estudiantes para las actividades académicas.

En esta última, se obtuvieron recomendaciones y sugerencias relacionadas a implementar nuevas áreas en puntos estratégicos, mayor cobertura de conexión inalámbrica a través de éstas e incremento de la disponibilidad de espacios, ya que, en su mayoría se encuentran ocupadas, no cuentan con medio de sombreado o conexiones eléctricas

### 3 | ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA

A partir de los resultados de la encuesta, se clasificaron los usos de la energía en iluminación, considerando una lámpara led de 20 W y 1500 lúmenes/m<sup>2</sup> y misceláneos, que incluye un contacto, dos computadoras portátiles y un módem, para un total de 175 W. Las horas de uso promedio son de 4 a 6 h/día y solo el modem un tiempo de 8 h/día. El uso significativo de la energía se debe a la operación de los equipos misceláneos y para este caso, coincide con el consumo promedio mensual y la carga instalada, como se observa en la figura 6.

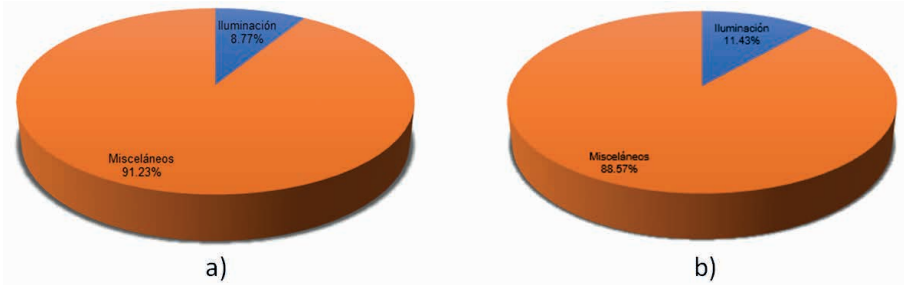


Figura 6. a) Consumo promedio mensual y b) potencia nominal de los equipos del kiosco.

#### 4 I DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

En el caso de un sistema fotovoltaico autónomo se parte de un análisis de los equipos eléctricos y electrónicos que conformarán el kiosco inteligente, como se muestra en la tabla 4.

Equipo	Potencia W	Wh/día
Luminaria	20	100
Laptop	60	360
Contacto	80	320
Modem	15	120
Total	175	900

Tabla 4. Potencia y consumo energético de las cargas a alimentar.

#### Banco de batería

A partir de la energía total requerida por día se determina la capacidad del banco de baterías mediante la ecuación 1:

$$Ah_{banco} = \frac{\text{Energía requerida}}{\text{Tensión Banco (\%DOD)}} = \frac{900 \text{ Wh/día}}{(12 \text{ V})(0.5)} = 150 \text{ Ah} \quad (1)$$

Por el tipo de cargas se optó por un sistema de 12 V y Profundidad de descarga del 50% (DOD) para prolongar la vida útil. Con estas características, el modelo que se ajusta es el AGM POWER 160 Ah-12 V. Por lo tanto, el banco de baterías estará conformado por:

$$\text{Banco baterías} = \frac{150 \text{ Ah}}{160 \text{ Ah}} = 1 \text{ Bateria}$$

#### Inversor

La potencia total del sistema es de 175 W de acuerdo con la tabla 4 y considerando su operación al 80%, se calcula su capacidad mediante la ecuación 2:

$$\text{Capacidad} = \frac{\text{Potencia total}}{0.8} = \frac{175 \text{ W}}{0.8} = 218 \approx 250 \text{ W} \quad (2)$$

Por la disponibilidad en el mercado, se requiere un inversor de 250 W a 12 V. El modelo que se ajusta es el SAM-250-12 onda senoidal modificada. Las principales características que se deben tomar en cuenta en este modelo son:

- Rango de voltaje de entrada = 10.5-15 VCD
- Onda senoidal modificada = 115 VCA



Figura 7. Inversor SAM-250-12 (TVC en línea.com, 2019).

### Arreglo fotovoltaico

Se debe calcular la potencia fotovoltaica requerida, mediante la ecuación 3, de manera que:

$$P_{FV} = \frac{\text{(Energía diaria requerida)} (1.3)}{HSP} = \frac{(900 \frac{Wh}{\text{día}})(1.3)}{5.2 HSP} = 225 Wp \quad (3)$$

Empleando módulos policristalinos modelo EGE-150-36 de 150 Wp se requieren instalar:

$$\text{No. módulos} = \frac{225 Wp}{150 W} = 1.6 \approx 2 \text{ módulos}$$

La caída de voltaje cuando los módulos alcancen una temperatura de 60 °C con un coeficiente de -0.31%/°C será de:

$$60^{\circ}C - 25^{\circ}C = 35^{\circ}C$$

$$\left(\frac{-0.31 \%}{^{\circ}C}\right) (35^{\circ}C) = -10.85 \% (18.3) = 1.9 V$$

Por lo que la pérdidas de voltaje de operación del módulo a 60 °C, serán de

$$18.3 - 1.9V = 16.4 V$$

Cuando el voltaje que suministra el arreglo fotovoltaico no se encuentra dentro del intervalo óptimo para cargar las baterías, se tendrá un banco con déficit de carga. Este sistema, tendrá una operación nominal de 12 V, sin embargo, el voltaje en estado flotación puede alcanzar hasta 18 V por lo que un voltaje de 16.4 V no será suficiente para cargar eficientemente el banco, por esta razón se deben conectar al menos 2 módulos en series. La conexión del arreglo se muestra en la figura 8.



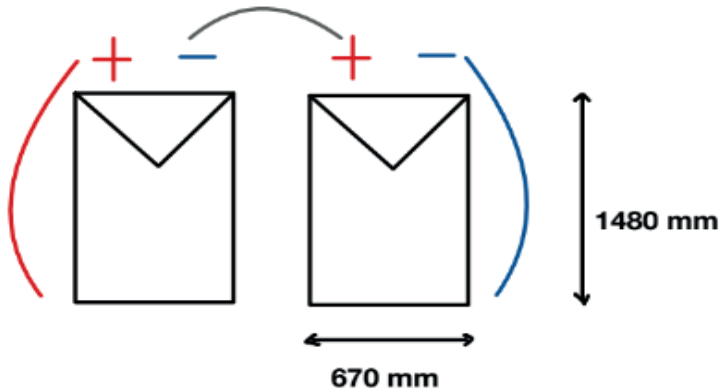


Figura 8. Conexión del arreglo para el kiosco

Las características del arreglo se muestran en la tabla 5.

Potencia pico	300 $W_p$
LID	3%
Voltaje máxima potencia	36.8 V
Corriente máxima potencia	8.1 A
Voltaje de circuito abierto	45.0 V
Corriente de circuito abierto	8.7 A
Coefficiente de temperatura	-0.31 %/°C

Tabla 5. Parámetros eléctricos del arreglo fotovoltaico.

## Controlador

Para hacer más eficiente el proceso de carga de la batería, se usará un controlador MPPT, con las siguientes características:

- Soportar una potencia de  $= 2 \times 150 \text{ Wp} = 300 \text{ Wp}$
- Soportar una corriente de carga de hasta  $= \frac{300 \text{ Wp}}{12 \text{ V}} = 25 \text{ A}$
- Soportar un voltaje de circuito abierto de  $= 2 \times 22.7 = 45.4 \text{ V}$

El controlador que se ajusta a las características es el modelo PS-MPPT-25 (ver figura 9) soporta 12/24 V y hasta 120 V en circuito abierto y 350 W de potencia a 12 V.



Figura 9. Controlador PS-MPPT-25.

Los anteriores equipos conformarán el sistema fotovoltaico y se interconectarán como se muestra en la figura 10.

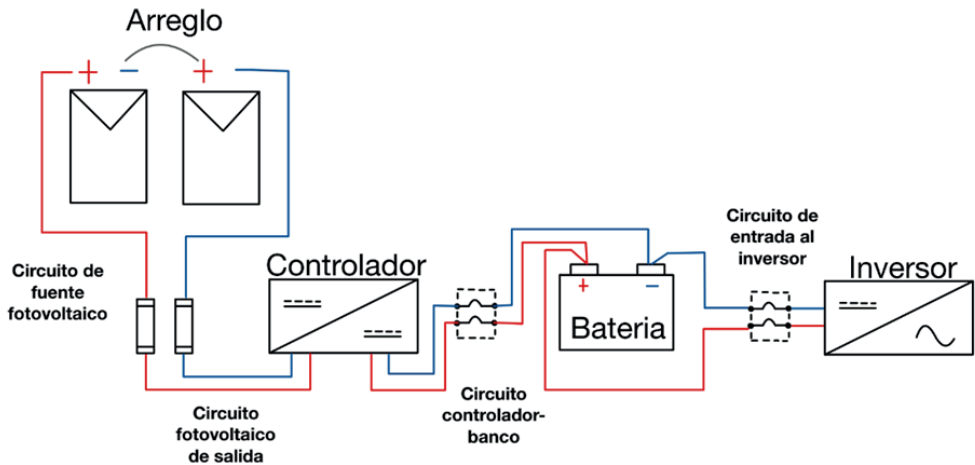


Figura 10. Diagrama del sistema fotovoltaico propuesto.

## Cálculo por caída de voltaje

Para evaluar la caída de voltaje en corriente directa, se considera una longitud del conductor de 5 m, a partir de la ecuación 4.

$$e\% = \frac{2iRL}{V_{mp}} (100) \quad (4)$$

donde:

$$L = 5 \text{ m} = 0.005 \text{ km}$$

$$I_{mp} = 8.2 \text{ A}$$

$$V_{mp} = 36.6 \text{ V}$$

$$R_{\frac{\Omega}{km}} = 6.5 \frac{\Omega}{km}$$

$$e\% = \frac{(2)(8.2 A)(6.5 \Omega/km)(0.005 km)}{36.6 V}(100) = 1.45\% < 3\%$$

## 5 I COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO

Las temperaturas medias que se alcanzan en el sitio afectarán la potencia y energía generada por el arreglo, cuando se superen 25°C, de manera que las pérdidas podrán ser de hasta el 0.4-0.5%/°C (Goetzberger & U.Hoffmann, 2005), esto ocasionaría que el arreglo propuesto no satisfaga la necesidad energética.

La evaluación de las pérdidas se realizó mediante dos modelos teóricos utilizados en la literatura. El primer modelo Standard, denominado temperatura de operación nominal de la celda, este no considera la velocidad del viento, pero toma en cuenta la temperatura ambiente y la irradiancia incidente en el plano del módulo (Markvart, 2000) como se muestra en la ecuación 5.

$$T_c = T_a + \frac{I}{I_{NOCT}} (T_{NOCT} - T_{a,NOCT}) \quad (5)$$

donde:

$T_a$  = Temperatura ambiente

$I$  = Irradiancia incidente

$I_{NOCT}$  = 800 W/m<sup>2</sup>

$T_{NOCT}$  = Temperatura del módulo de 45 °C

$T_{a,NOCT}$  = Temperatura ambiente de 20 °C

Respecto a la generación de energía, el arreglo propuesto satisface el requerimiento diario aún con un valor crítico en diciembre de 1,127 Wh/día que es mayor a los 900 Wh/día requeridos. Además, se cuenta con excedentes de energía en el intervalo de 20-39% según el mes, que servirán para almacenamiento de energía y que en conjunto permitirán cargar el 100% de la batería en un promedio de 5 días, como se muestra en la figura 11.

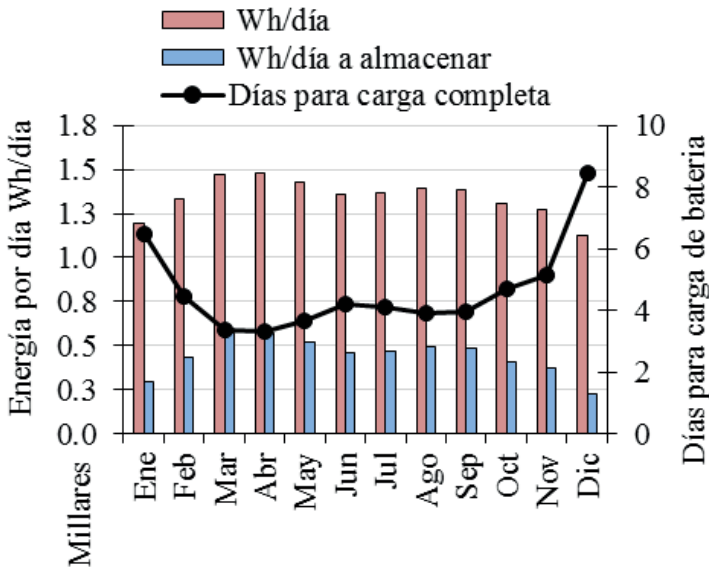


Figura 11. Generación de energía del arreglo propuesto a 1000  $W/m^2$ .

Considerando un decremento de la irradiancia a 400  $W/m^2$ , el comportamiento energético será el mostrado en la figura 12. La energía generada es de 544  $Wh/día$ , por lo que no se satisface el requerimiento diario, toda la energía generada es de uso exclusivo de los equipos a alimentar y en consecuencia no se cargará la batería

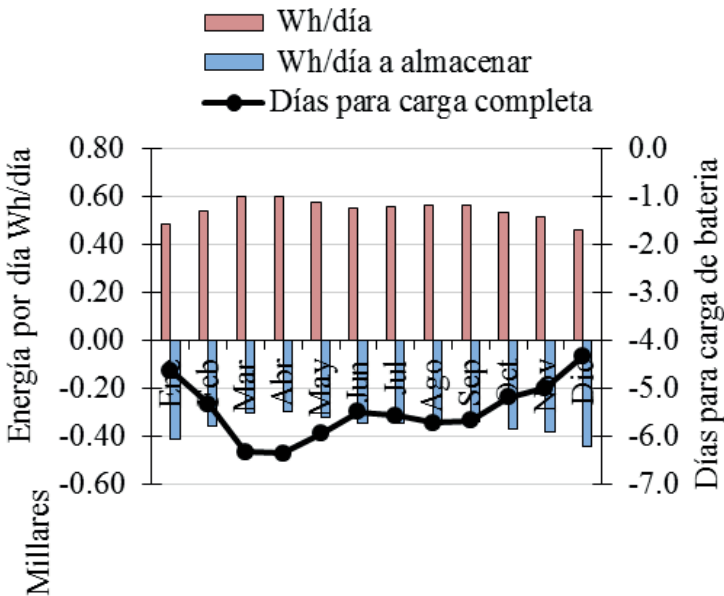


Figura 12. Generación de energía del arreglo propuesto a 400  $W/m^2$ .

## 6 | MODELADO EN 3D DEL KIOSKO INTELIGENTE.

Como se observa en la figura 13 el prototipo estará integrado por dos módulos EGE-150-36 Wp, en conjunto con una batería AGM POWER 160 AH-12V dimensionada al 50% de descarga. La regulación de voltaje se realizará mediante un controlador PS-MPPT-25 que soporta tensiones de 12/24 V y hasta 120V en circuito abierto. La conversión de corriente directa a alterna se realizará con un inversor SAM-250-12 seleccionado para operar al 70% de capacidad (250W).

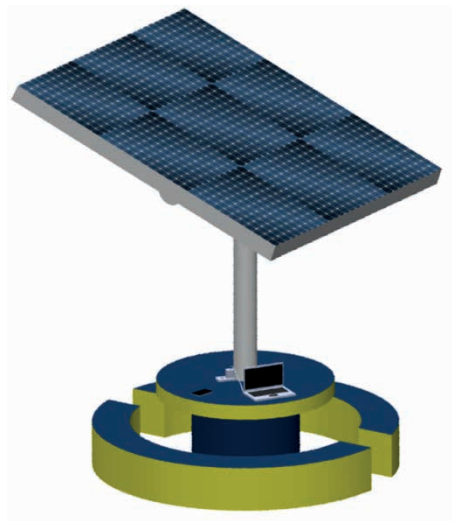


Figura 13. Prototipo funcional de kiosco solar.

Los componentes instalados para satisfacer las necesidades energéticas serán un contacto para conexión de dispositivos electrónicos a 120V-60 Hz protegido contra la intemperie, así como una luminaria de 14W y un módem para conexión a internet inalámbrico.

## 7 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A partir de los principales resultados, se obtienen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- En los meses críticos de menor recurso solar (enero y diciembre), el sistema alcanzará la carga completa en una semana, siempre que se disponga del 20% de la energía generada por los módulos.
- En los meses de mayor recurso solar (marzo y abril), el sistema alcanzará la carga completa en tres días, siempre que se disponga del 39% de la energía generada por los módulos.
- La cantidad de energía a almacenar en la batería dependerá, dependerá de la

disponibilidad energética.

- Es recomendable diseñar nuevos espacios en la Facultad enfocados al desarrollo de actividades académicas y de esparcimiento.
- La colaboración continua con profesores investigadores de otras Instituciones educativas del país, han generado mesas de trabajo para poder desarrollar lo descrito en este capítulo y si, poder contribuir en la medida de lo posible en la transición energética del país.

## REFERENCIAS

Alvarado Contreras, M., & Cruz Peralta, G. (2016). *Manual de instalador fotovoltaico*. México.

Alvarado Contreras, M., & Cruz Peralta, G. (2021). *Manual del instalador fotovoltaico*. México: 1450 Ediciones.

Bérmudez Díaz, J. M. (s.f.). *Sistemas de energía solar a baja temperatura en viviendas multifamiliares*. Sevilla.

Carmona Rubio, & Díaz Corcobado. (2018). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Mc Graw Hill.

CFE. (Agosto de 2008). Recuperado el 01 de agosto de 2023, de <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/f/G0100-04.pdf>

Goetzberger, A., & U.Hoffmann, V. (2005). *Photovoltaic Solar Energy Generation*. Springer.

López Meraz, R. A. (Noviembre de 2012). *Repositorio Institucional Universidad Veracruzana*. Recuperado el 01 de Agosto de 2023, de <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/31564/lopezmerazraulalberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Markvart, T. (2000). *Solar Electricity*. Southampton.

Mattei, M., Notton, G., Cristofari, C., Muselli, M., & Poggi, P. (2006). Calculation of the polycrystalline PV module temperature using a simple method of energy balance. *Renewable energy*, 15.

SENER. (Noviembre de 2012). *Gobierno de México*. Recuperado el Julio de 2023, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/512096/NOM-001-SEDE-2012.pdf>

*TVC en línea.com*. (junio de 2019). Recuperado el 15 de Junio de 2023, de <https://tvc.mx/products/24843/sam-250-12-inversor-de-corriente-cd-ca-potencia-nominal>