



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

**SISTEMA FOTOVOLTAICO DE ILUMINACIÓN DEL
PARQUE DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA
UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

TRABAJO MONOGRÁFICO

Para obtener el Grado de

Ingeniero en Sistemas de Energía

PRESENTA

VICENTE DE PAUL MAY CERVANTES

SUPERVISORES

M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA
M.C. EMMANUEL TORRES MONTALVO
M.C. JAVIER VÁZQUEZ CASTILLO

Chetumal, Quintana Roo, Julio 2008



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

División de Ciencias e Ingeniería

Trabajo monográfico elaborado bajo la supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA

COMITÉ DE TRABAJO MONOGRÁFICO

Supervisor: _____
M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA

Supervisor: _____
M.C. EMMANUEL TORRES MONTALVO

Supervisor: _____
M.C. JAVIER VÁZQUEZ CASTILLO

Chetumal, Quintana Roo, México, Julio de 2008

UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

AGRADECIMIENTOS

Un triunfo no se obtiene sólo, ya que muchas veces para lograrlo se requiere hacer muchos sacrificios, por eso siempre es importante tener con quien contar, primeramente he de agradecerle a *Dios* por darme a dos personas con quien contar, estoy seguro que también para ellos este es un logro, **GRACIAS** a mis padres el **Sr. Auditor funcionario bancario Vicente De Paúl May Maldonado** y la **Sra. Bertha Margarita Cervantes López** por todo el apoyo que me han brindado durante mi formación personal y profesional, mil gracias por todos sus regaños, por todos sus consejos, por todas las alegrías, muchas gracias principalmente por los sacrificios que hicieron para que pudiera lograr este sueño, los AMO.

Este sueño no podría haber sido posible sin el apoyo de mi familia gracias a mis hermanos: *Duly* y *Alvaro*, los cuales también fueron un apoyo fundamental, gracias por todos sus consejos, sin olvidar a mi cuñada *Emilia*, por sus comentarios alegres.

Gracias a todos *mis profesores* de la carrera y a la Universidad de Quintana Roo ya que sin ellos sería imposible llegar hasta este momento, le agradezco principalmente a los tres profesores que me apoyaron para realizar este trabajo, al *M.E.S Roberto Acosta* por darme su confianza y la oportunidad para realizar este proyecto, al *M.C. Javier Vázquez* por su tiempo y sus comentarios para mejorar este trabajo, al *M.C. Emmanuel Torres* por su tiempo y sus comentarios.

Gracias a todos mis compañeros de clase: Isis, Sergio, David, Gener, Paul, Irving, Daniel, Luis, Joaquín, Juan, Fernando, Gabriel, ya que con las ocurrencias de cada uno de ellos el camino fue mas ligero, en especial quiero darle las gracias a mi compañero y amigo Omar Martínez Valenzuela por su apoyo incondicional en la realización de diferentes trabajos.

RESUMEN

La carrera de Ing. en Sistemas de Energía es impulsora del uso de nuevas fuentes de energía, es por ello, que en el siguiente trabajo se pone en funcionamiento un ejemplo de una de ellas, la *energía solar*. En este trabajo se hablara específicamente de la energía solar fotovoltaica y para ello se pone en operación un sistema fotovoltaico de iluminación en el parque de energías renovables de la Universidad de Quintana Roo.

En el capítulo 1, se da una pequeña introducción de las energías renovables. Así también, se describen las ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica así como algunas de sus aplicaciones.

En el capítulo 2, se describe a los sistemas fotovoltaicos (SFV) y cada uno de los componentes que lo conforman: Módulos fotovoltaicos, controlador, inversor, baterías y la carga a alimentar, mencionando las características de cada uno de ellos, así como su funcionamiento en el sistema.

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico es uno de los objetivos a realizar en este trabajo. En el capítulo 3, se aborda paso a paso el dimensionamiento de un sistema de iluminación para el parque de energías renovables de la UQRoo. Lo anterior abarca determinar la demanda o carga del sistema fotovoltaico. Así también, realizar el dimensionamiento del banco de baterías, el cálculo de las horas solares por medio de mapas y tablas de radiación. Una vez realizado lo anterior se eligieron los módulos a utilizar, como el equipo y conductores.

En el capítulo 4, se muestra el proceso de instalación del sistema fotovoltaico de iluminación, con este capítulo se cumple con el objetivo principal de este trabajo, logrando así dejar iluminado el parque de energías renovables de la UQRoo con un SFV.

"El Sol no brilla sobre nosotros, sino dentro de nosotros" (John Muir)

ÍNDICE

JUSTIFICACION	1
OBJETIVOS	2
CAPITULO I. INTRODUCCION	3
1.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)	5
1.2 USOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	7
1.2.1 Sistemas de protección catódicos.....	7
1.2.2 Cercas eléctricas.....	7
1.2.3 Sistemas de iluminación.....	7
1.2.4 Sistemas médicos solares.....	8
1.2.5 Telecomunicaciones y sistemas de monitoreo remotos.....	9
1.2.6 Sistemas solares para la educación.....	9
1.2.7 Sistema computadora personal –impresora.....	10
1.2.8 Bombas de agua accionadas por energía solar.....	10
1.2.9 Sistemas de tratamiento de aguas.....	11
1.2.10 Electrificación rural.....	12
1.2.11 Otros usos de celdas solares.....	12
CAPITULO 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	13
2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
2.1.1 Modulo fotovoltaico.....	13
2.1.2 Sistema de control y protección.....	17
2.1.3 Inversor.....	19
2.1.4 Sistema de almacenamiento (baterías).....	21
2.1.5 La carga alimentada por el sistema.....	24
CAPITULO 3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	26
3.1 DIMENSIONAMIENTO.....	26
3.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR.....	31
3.2.1 Características de los módulos.....	31
3.2.2 Características del controlador.....	32
3.2.3 Características del inversor.....	33
3.2.4 Características de las baterías.....	33
3.3 SELECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.....	34
3.3.1 Cálculo de conductores por medio de Ampacidad.....	34

3.3.2 Selección del calibre de los conductores por medio de la tabla del proveedor Kyocera.....	38
CAPITULO 4. INSTALACION DEL SFV	40
4.1 MODULOS	40
4.2 CONEXIÓN DEL LOS MODULOS AL REGISTRO DE EMPALMES.....	41
4.3 CONTROLADOR	43
4.4 BATERÍAS	45
4.5 INVERSOR.....	45
4.6 CARGAS	46
CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....	48
BIBLIOGRAFÍA	49
ANEXO 1	51
ANEXO 2.....	52

JUSTIFICACION

Mientras que la era de los combustibles fósiles está entrando en sus últimos años, actualmente existen nuevas opciones relacionadas a sistemas energéticos, los cuales se basan haciendo uso de la radiación solar, esta opción tiene el potencial de producir energía por medio de una celda fotovoltaica y a medida de que esta tecnología se aproveche adecuadamente, se podrá decir que se cuenta con un —combustible eterno”.

Desde que el tema de la conservación de las fuentes de energía no renovables empezaron a tratarse como una necesidad, los desarrollos que se han producido en el aprovechamiento de las energías renovables han sido espectaculares. En concreto, el mercado fotovoltaico ha crecido de forma contundente y actualmente es respaldado por intereses gubernamentales en algunos países.

Debido a la importancia de tener sistemas de generación con energías renovables y más aún su importancia en la formación de recursos humanos, con una cultura de aprovechamiento de este tipo de recursos energéticos; en la Universidad de Quintana Roo, la carrera de Sistemas de Energía busca sentar bases a través de la implantación de un Sistema Solar Fotovoltaico en el parque de energías renovables y así, aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera en el diseño del sistema.

La Universidad de Quintana Roo (UQROO) tiene como finalidad involucrar a estudiantes en sus proyectos y así, generar futuros profesionistas e investigadores en el área de energía renovables, haciendo uso de la información obtenida y analizada en la institución.

Por otro lado, para el caso del aprovechamiento de la energía solar; instalando un sistema fotovoltaico en el parque de energías renovables los alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Energía podrán realizar prácticas de campo y tener contacto con un equipo en funcionamiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO PRINCIPAL:

- Poner en operación el sistema fotovoltaico de iluminación del parque de energías renovables de la UQROO.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- Dimensionar el sistema fotovoltaico.
- Dimensionar el sistema de almacenamiento de energía.
- Seleccionar los acondicionadores de energía (controlador e inversor).
- Armar y poner en servicio el sistema fotovoltaico.

CAPITULO I. INTRODUCCION

La fuente renovable por excelencia es la **energía solar**. Algunas de sus manifestaciones son:

- I) El viento, son producto de un calentamiento desigual en la tierra debido a la radiación solar.
- II) La hidráulica, tiene su origen en la evaporación por la acción del calor solar, del agua de los océanos, ríos y lagos, encharcamientos, etc., y su posterior condensación y caída en forma de lluvia.
- III) La biomasa, que es materia orgánica que está formada por arbustos, árboles, pastos, cultivos, residuos orgánicos, etc., que se nutrieron con la energía del sol.
- IV) El oleaje marino (mareomotriz) que a su vez es ocasionado por el viento entre otras cosas.

Quizás los términos más correctos para denominar a estas fuentes limpias de energía sean: ~~“fuentes inagotables de energía, en escalas de tiempo de la existencia humana como especie”~~.

~~“Las energías renovables son un recurso manejable y contribuyen a proporcionar una completa seguridad de su suministro. Es virtualmente un recurso ininterrumpible. Tiene una disponibilidad infinita y debido a la amplia gama de tecnologías para su aprovechamiento se adapta a las políticas de diversificación de suministro energético. No implican además aspectos de seguridad que involucren temores de tipo militar, como sucede con las nucleoelectricas y otras grandes plantas”~~.

~~“Las energías renovables son, con mucho, libres de contaminantes y consistentes con las políticas de protección del medio ambiente. Ellas no contribuyen al efecto invernadero”~~.

Nuestro país recibe una cantidad inmensa de radiación solar en casi el 40% de su extensión territorial de aproximadamente 2 millones de kilómetros cuadrados, recibiendo¹ unos 21 MJ/m² día. En un día despejado, en horas de mayor insolación, inciden cerca de 1kW térmico sobre cada metro cuadrado de superficie. Sobre una azotea de 100 m² de planta, se reciben unos 550 kilowatt-hora/cada día.

Hay tres tecnologías para aprovechar directamente la energía solar:

- 1) ~~“Solarización pasiva”~~, aunque no es una forma de producir energía, si es una manera de evitar tener que consumirla, por ejemplo en la

¹ Galindo I. y Fuentes G., (1996) irradiación solar global en la Republica Mexicana: valores horarios medios. PUE-UNAM, México.

construcción de algún edificio, su ubicación y orientación es importante, ya que así se podría aprovechar la luz del Sol y la acción de los vientos.

- 2) Los sistemas fototérmicos” como son: el uso de —colectores planos” de diversos diseños para la producción de agua caliente para usos domésticos en el baño y la cocina; en el empleo de —concentradores solares de enfoque” se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 3000 °C, suficientemente altas para todos los procesos industriales y cualquier aplicación que se requiera.
- 3) —Sistemas fotovoltaicos” que consiste en transformar directamente energía solar en energía eléctrica, mediante **—celdas fotovoltaicas”**.

El elevado precio de los paneles fotovoltaicos es por el momento la principal limitación para su empleo masivo.

Durante gran parte de los años 80 y principios de los años 90, el mayor mercado para los paneles solares estaba en las fuentes de alimentación para áreas remotas y algunos productos de consumo (relojes, juguetes y calculadoras). Sin embargo a mediados de los años 90, se realizo un importante esfuerzo en Europa para desarrollar paneles solares integrados en la construcción de edificios para ser conectados a la red de suministro eléctrico, como puede observarse en la Tabla 1.

Year	% Market Off Grid	% Market Grid Connected
1986	92%	8%
1987	96%	4%
1988	95%	5%
1989	97%	3%
1990	92%	8%
1991	92%	8%
1992	93%	7%
1993	93%	7%
1994	81%	19%
1995	87%	13%
1996	86%	14%
1997	66%	34%
1998	69%	31%
1999	61%	39%
2000	49%	51%
2001	42%	58%
2002	42%	58%
2003	28%	72%
2004	20%	80%
2005	18%	82%
2006	17%	83%

Tabla 1. Porcentaje de SFV Fuera de la red Vs conectados a la red.

La revista Solar Power Markets Boom, en un reporte² [2] de 1998 informo que las ventas de celdas solares se incrementaron en más del 40% durante 1997, y su mercado ha crecido a una tasa del promedio de 16% anual desde 1980. De acuerdo con éste, ~~es~~ los mercados de sistemas solares están creciendo 10 veces más rápido en comparación a la industria petrolera, cuyas ventas se expandieron con una tasa de solo el 1.4% anual desde 1990”.

1.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS (SFV)

Un sistema fotovoltaico (SFV) es una fuente de potencia eléctrica en la cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en energía de corriente directa (CD).

Los SFV permiten un suministro ininterrumpido de potencia, de tal suerte que la disponibilidad de energía es elevada. Esto no requiere combustible y por tratarse de dispositivos de estado sólido, carecen de partes móviles, y por consiguiente, el mantenimiento es mínimo. Tampoco producen ruidos, emisiones tóxicas, contaminación ambiental o contaminación electromagnética. Su confiabilidad es elevada y se emplean desde hace 40 años en lugares inhóspitos, tales como el espacio, desiertos, selvas y regiones remotas, en donde otros sistemas serían difíciles de operar.

Los SFV pueden alimentar cargas en corriente directa (CD) o en corriente alterna (CA). Los sistemas de CD generalmente consisten del arreglo de módulos, diodos de paso (by-pass) y de bloqueo, regulador de carga (controlador), banco de baterías y elementos de montaje. Los sistemas para carga de CA incluyen adicionalmente un inversor de CD-CA

Un sistema Fotovoltaico esta generalmente integrado de:

- Módulos Fotovoltaico (Convierte la energía solar en energía eléctrica).
- Un sistema de Control y Protección (Controla la generación y provee un sistema de protección en general, controlador).
- Un inversor (convierte la corriente directa en corriente alterna).
- Sistema de almacenamiento de energía (Baterías).
- La carga a la que está conectado. (Lo que está siendo alimentado por el sistema).

Un sistema solar fotovoltaico se puede emplear en una aplicación dada por una o varias de las siguientes razones:

² Solar Power Markets Boom, reporte escrito por Christopher Flavin y Molly O'Meara, publicado en la edición de septiembre de 1998 del *World Watch Magazine*.

- Su costo (inversión + operación) es menor que extender la línea eléctrica hasta el lugar donde se localiza la aplicación.
- Su costo es menor que emplear un equipo electrógeno (diesel o gasolina). Aun cuando la inversión inicial de un sistema fotovoltaico puede ser más alta que un generador diesel o gasolina, el ahorro en el combustible y en el mantenimiento hacen más rentable al sistema fotovoltaico en aquellas aplicaciones donde la carga eléctrica es menor a 10 Kw-H/día.
- Su instalación es muy rápida. Un sistema fotovoltaico típico puede transportarse y estar en operación en menos de una semana, mientras que extender la línea eléctrica puede llevar meses.
- La instalación de un sistema fotovoltaico tiene un impacto mínimo en la ecología del sitio. En comparación extender una línea eléctrica puede significar derribar decenas de árboles y operar una planta diesel contamina el aire y produce ruido.

Entre las ventajas encontramos los siguientes:

- La radiación solar es segura y gratuita.
- Es una energía limpia, sin generación de contaminantes.
- Es una energía renovable, ya que no se agota, sino, que se usa la energía solar.
- Es utilizable en todo lugar en donde exista radiación solar.
- En la mayor parte de los casos, es una energía que se produce en el lugar en donde se va a utilizar, no teniendo que transportarla grandes distancias.
- La capacidad del SFV puede ser variable para satisfacer necesidades crecientes del usuario.
- La vida útil larga permite amortizar la inversión a largo plazo.
- El sistema es relativamente fácil de transportar, ya que se ensambla en el sitio.
- Puede combinarse con otras formas de generación eléctrica, donde el análisis técnico—económico de la aplicación específica lo justifique.

Entre las desventajas encontramos las siguientes:

- El costo inicial del SFV relativamente alto que conduce a costos de generación de electricidad a lo largo de la vida útil del sistema.
- Depende de las condiciones climatológicas del lugar.
- Debido a la baja densidad energética, se requieren grandes extensiones de terreno.

1.2 USOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Entre las aplicaciones más comunes de los SFV se encuentra:

1.2.1 Sistemas de protección catódicos.

La protección catódica es un método de proteger las estructuras de metal contra la corrosión. Es aplicable a puentes, tuberías, edificios, estanques, perforaciones y líneas ferroviarias. Para alcanzar la protección catódica se aplica un pequeño voltaje negativo a la estructura de metal y éste evita que se oxide o aherrumbre. La terminal positiva de la fuente es conectada a un ánodo galvánico o de sacrificio que es generalmente un pedazo del metal de desecho, que es corroído en vez de la estructura que se desea proteger.

Las celdas solares fotovoltaicas a menudo se utilizan en lugares remotos para proporcionar este voltaje.

1.2.2 Cercas eléctricas.

Las cercas eléctricas se utilizan extensamente en agricultura para evitar que el ganado o los depredadores entren o deje un campo cerrado. Estas cercas tienen generalmente uno o dos alambres "vivos" que se mantienen con cerca de 500 voltios de Corriente Continua. Éstos dan una dolorosa descarga, pero inofensiva a cualquier animal que los toque. Esta descarga generalmente es suficiente para evitar que el ganado derribe los cercos. Estas cercas también se utilizan en recintos de la fauna y áreas protegidas. Requieren de un alto voltaje pero muy poca corriente y a menudo están situadas en áreas alejadas donde el costo de energía eléctrica es alto. Estas necesidades se pueden resolver mediante un sistema fotovoltaico compuesto de celdas solares, controlador de energía y baterías.

1.2.3 Sistemas de iluminación.



Figura 1. Fotografía de un sistema de iluminación.

A menudo se requiere iluminación en lugares remotos donde el costo de emplear energía de la red es demasiado alto. Tales aplicaciones incluyen la iluminación de seguridad, ayudas a la navegación (ej. boyas y faros), señales iluminadas en los caminos (Figura 1), señales en cruces ferroviarios y la iluminación de aldeas, casas, etc. Las celdas solares pueden satisfacer tales usos, aunque siempre se requerirá de una batería de almacenaje. Estos sistemas generalmente consisten de un panel fotovoltaico más una batería de almacenaje, un acondicionador de energía (controlador) y una lámpara fluorescente de CC. de baja tensión y alta eficiencia. Estos sistemas son muy populares en áreas remotas, especialmente en países en vías de desarrollo y es uno de los usos principales de celdas solares.

En la Figura 2 se muestra un pequeño SFV designado para operar un numero pequeño de lámparas, es ideal para comunidades ubicadas en áreas muy remotas.

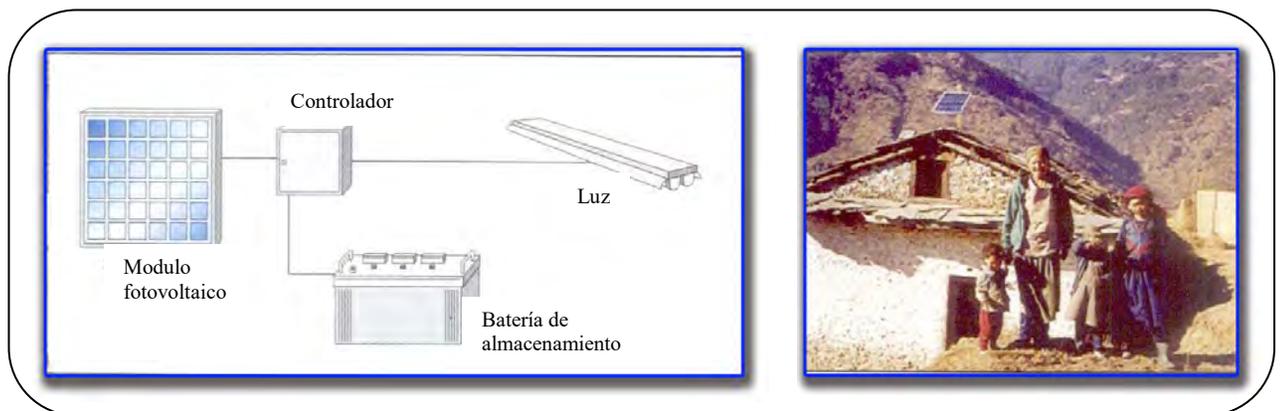


Figura 2. Diagrama y fotografía de un sistema fotovoltaico para iluminación.

1.2.4 Sistemas médicos solares.

La conservación de vacunas y el suministro de otros medicamentos sensibles son cruciales para la salud de la gente rural. Estos equipos existen en el mercado desde hace aproximadamente una década pero por sus costos no tiene gran demanda, ver Figura 3.

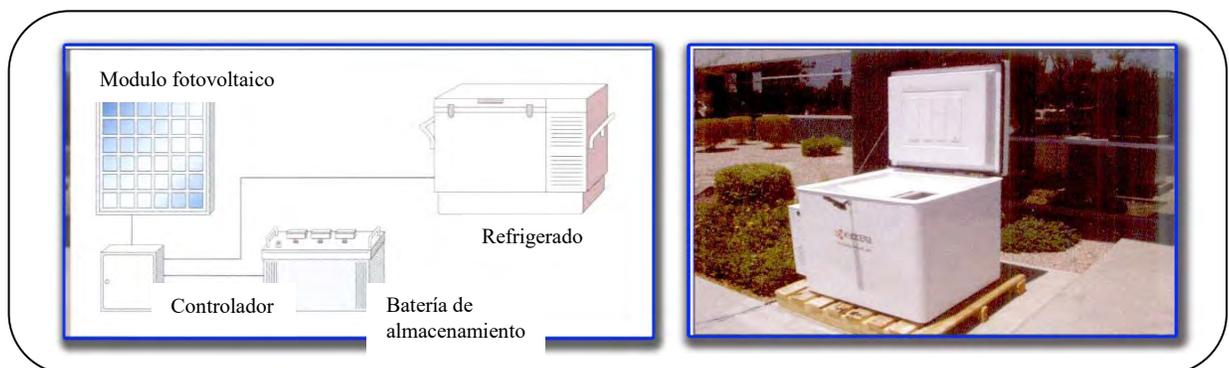


Figura 3. Diagrama y fotografía de un Sistema de refrigeración para vacunas.

1.2.5 Telecomunicaciones y sistemas de monitoreo remotos.

Las buenas comunicaciones son esenciales para mejorar la calidad de vida en áreas alejadas. Sin embargo el costo de energía eléctrica de hacer funcionar estos sistemas y el alto costo de mantenimiento de los sistemas convencionales han limitado su uso. Los sistemas fotovoltaicos han proporcionado una solución rentable a este problema con el desarrollo de estaciones repetidoras de telecomunicaciones en área remotas. Estas estaciones típicamente consisten de un receptor, un transmisor y un sistema basado en una fuente de alimentación fotovoltaica. Existen miles de estos sistemas instalados alrededor del mundo y tienen buen prestigio por su confiabilidad y costos relativamente bajos de operación y mantenimiento.

Principios similares se aplican a radios y televisiones accionadas por energía solar, los teléfonos de emergencia y los sistemas de monitoreo. Los sistemas de monitoreo remotos se pueden utilizar para recolectar datos del tiempo u otra información sobre el medio ambiente y transmitirla automáticamente vía radio a una central.

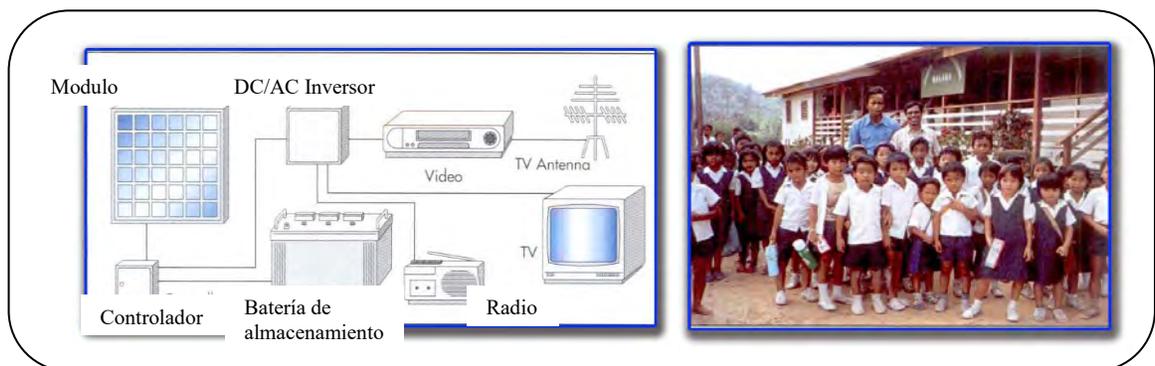
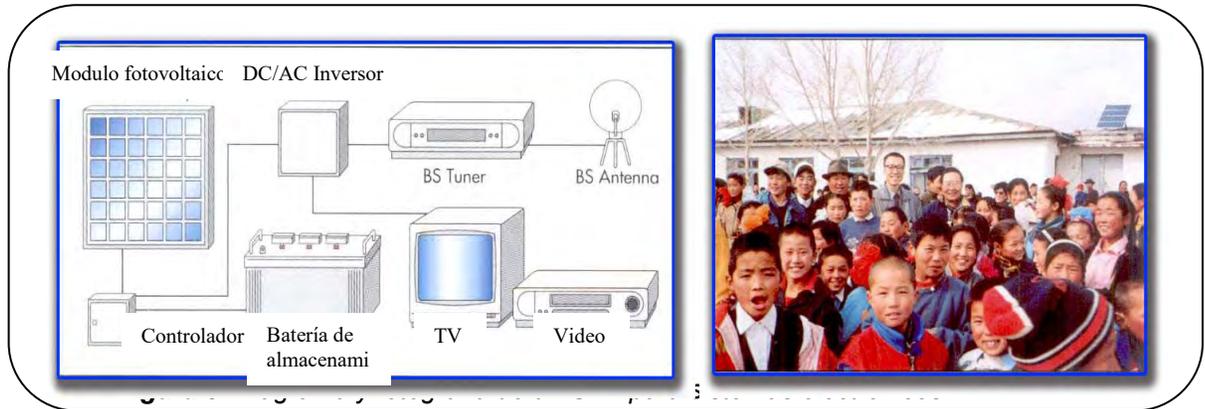


Figura 4. Diagrama y fotografía de un SFV de TV-Radio.

1.2.6 Sistemas solares para la educación.

Muchos avances en la enseñanza a distancia se pueden disponer por medio de un equipo de audio visual equipado con energía solar, ver Figura 4. Escuelas y oficinas en el área rural principalmente requieren un incremento en la cantidad de electricidad para ir al mismo paso con el avance tecnológico que está en constante cambio, ver Figura 5.



1.2.7 Sistema computadora personal –impresora.

Avances en la información de la educación tecnológica pueden ser accesibles con la instalación de un sistema solar para PC e Impresora, ver Figura 6.

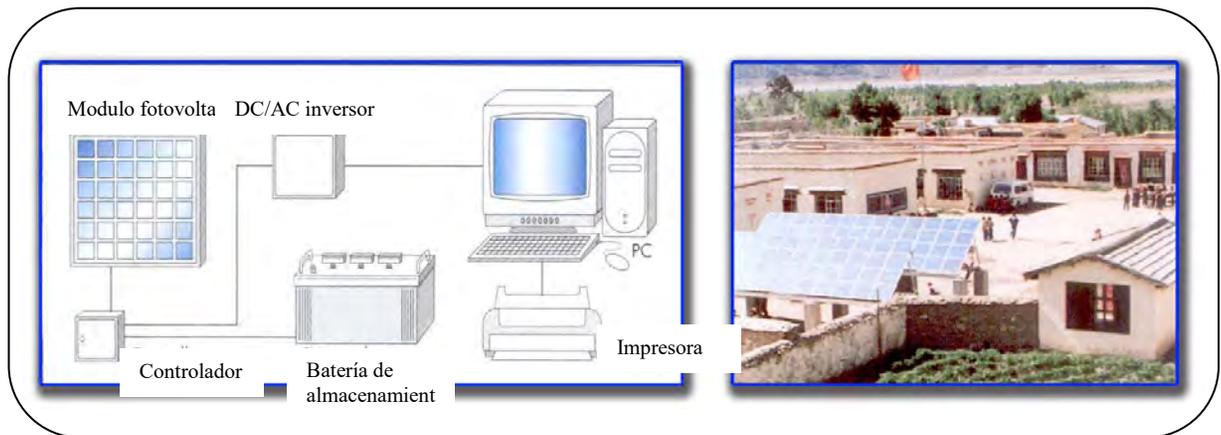


Figura 6. Diagrama y fotografía de un sistema de computo para una escuela rural.

1.2.8 Bombas de agua accionadas por energía solar.

Son utilizadas extensamente en granjas para proveer de agua al ganado. En países en vías de desarrollo se les utiliza extensivamente para bombear agua de pozos y de ríos a las aldeas para consumo doméstico y la irrigación de cultivos. Un típico sistema de bombeo accionado por energía fotovoltaica consiste en un conjunto de paneles fotovoltaicos que accionan un motor eléctrico, el cual impulsa la bomba. El agua se bombea de la tierra o afluente a un tanque de almacenaje que proporciona una alimentación por gravedad. No es necesario un almacenaje de energía en estos sistemas. Los sistemas de bombeo accionados por energía solar se encuentran disponibles en proveedores de equipo agrícola y son una alternativa rentable a los molinos de viento agrícolas para el abastecimiento de agua en áreas alejadas.

1.2.8.1 Sistema de bomba sumergible (CD) de baja profundidad.

El sistema opera con una mínima cantidad de electricidad, el agua se puede utilizar para que tomen los humanos y para la ganadería, el sistema de la Figura 7 es ideal para pozos y estanques de baja profundidad.

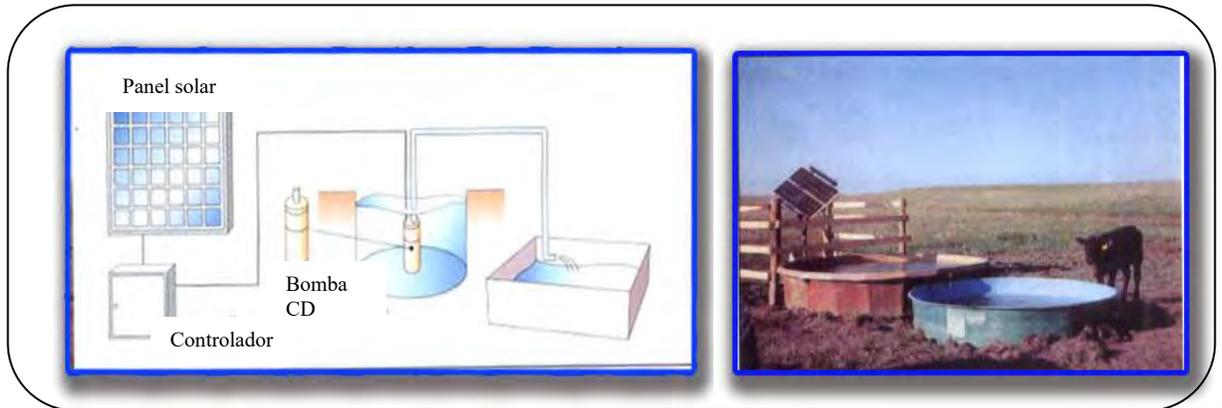


Figura 7. Diagrama y fotografía de un SFV para bombeo de agua de baja capacidad.

1.2.8.2 Sistema de bomba sumergible (CD).

El sistema de bombeo de la Figura 8 es apropiado para cantidades más grandes de bombeo de agua en pozos más profundos. Ideal para uso humano y para propósitos de irrigación.

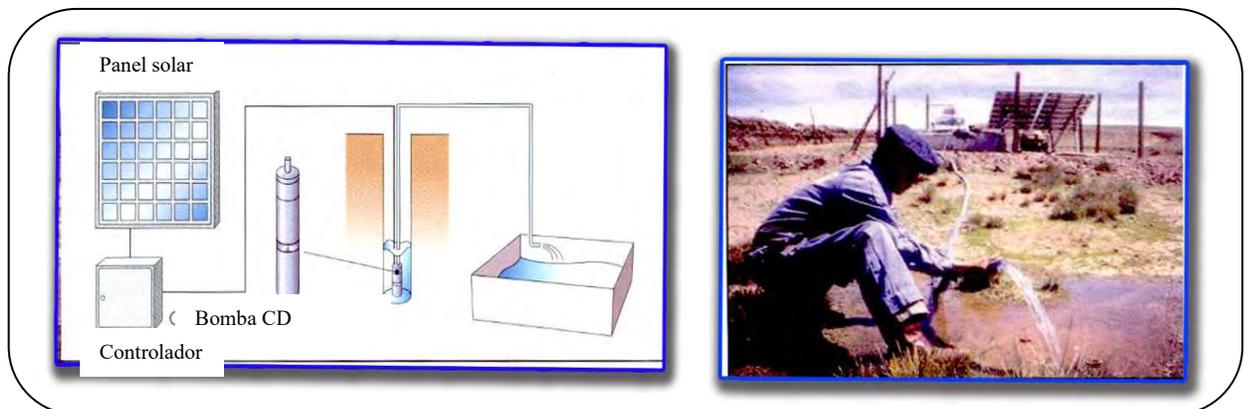


Figura 8. Diagrama y fotografía de un SFV para bombeo de agua para riego.

1.2.9 Sistemas de tratamiento de aguas.

En áreas alejadas la energía eléctrica se utiliza a menudo para desinfectar o purificar agua para consumo humano. Las celdas fotovoltaicas se utilizan para alimentar una luz fuerte ultravioleta utilizada para matar bacterias en agua. Esto se puede combinar con un sistema de bombeo de agua accionado con energía solar.

La desalinización del agua salubre se puede alcanzar mediante sistemas fotovoltaicos de ósmosis inversa.

1.2.10 Electrificación rural.

Las baterías de almacenaje se utilizan en áreas aisladas para proporcionar corriente eléctrica de la baja tensión para iluminación y comunicaciones así como también para vehículos. Un sistema fotovoltaico de carga de baterías consiste en generalmente un pequeño conjunto de paneles solares más un regulador de carga. Estos sistemas se utilizan extensamente en proyectos rurales de electrificación en países en vías de desarrollo.

En la Figura 9, el SFV genera electricidad para proveer a las aldeas y así cargar sus baterías a un bajo costo, su función es igual a la de una estación de gas para vehículos.

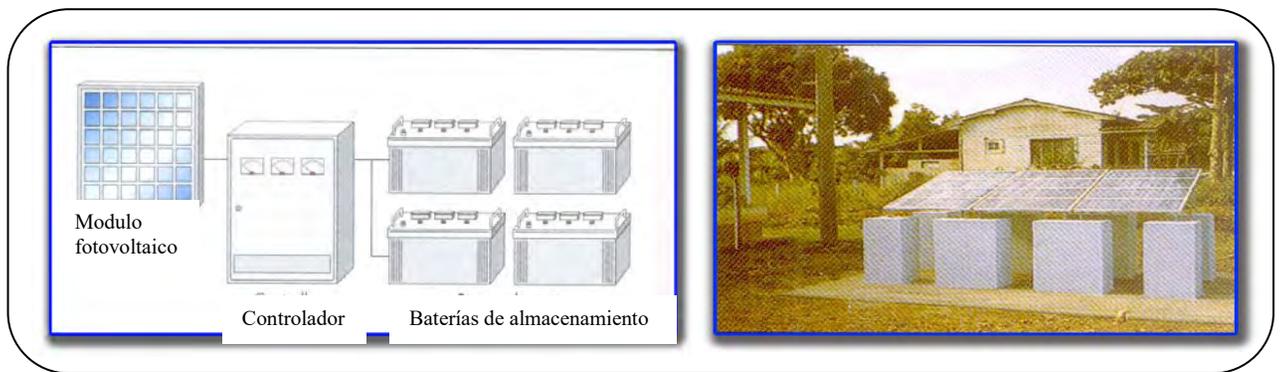


Figura 9. Diagrama y fotografía de un SFV para cargar baterías.

1.2.11 Otros usos de celdas solares.

Se puede utilizar celdas fotovoltaicas en una gran variedad de aplicaciones incluyendo:

- Productos de consumo tales como relojes, juguetes y calculadoras.
- Sistemas de energía de emergencia.
- Sistemas de la aireación para estanques.
- Fuentes de alimentación para satélites y los vehículos espaciales.
- Fuentes de alimentación portátiles para camping y pesca.

CAPITULO 2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La palabra fotovoltaico está formada por la combinación de dos palabras, una de origen griego: **foto**, que significa luz, y la otra, **voltaico** que proviene del campo de la electricidad, en honor al físico italiano Alejandro Volta (que también proporciona el término voltio a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de medidas). El nombre resume la acción de estas celdas: transforma directamente la energía luminosa del Sol en energía eléctrica de corriente continua.

La transformación de la energía luminosa en eléctrica toma lugar en la naturaleza durante el proceso de fotosíntesis, pero desde el punto de vista práctico (menores pérdidas) sólo tiene valor comercial la que toma lugar dentro de un diodo semiconductor. Como el proceso de elaboración de estos diodos precede al de la manufactura de las celdas fotovoltaicas, las unidades tienen un alto grado de repetitividad.

La energía solar fotovoltaica, es aquella que produce electricidad a partir de la radiación solar y empleando **paneles fotovoltaicos** con los cuales se forman arreglos y se obtienen un **sistema fotovoltaico**.

Un sistema fotovoltaico esta generalmente integrado de:

- a) Módulo fotovoltaico (convierte la energía solar en energía eléctrica).
- b) Un sistema de Control y Protección (controla la generación y provee un sistema de protección en general, regulador de carga).
- c) Un inversor (convierte la corriente directa en corriente alterna).
- d) Sistema de acumulación (baterías).
- e) La carga a la que está conectado (Lo que está siendo alimentado por el sistema).

A continuación se mencionan los componentes de los cuales se integra un sistema fotovoltaico, así como una descripción de funcionamiento que cada uno de ellos realiza.

2.1.1 Modulo fotovoltaico.

Las **celdas** solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia del voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de producir un flujo de corriente a través de un circuito externo de modo que puede producir trabajo útil.

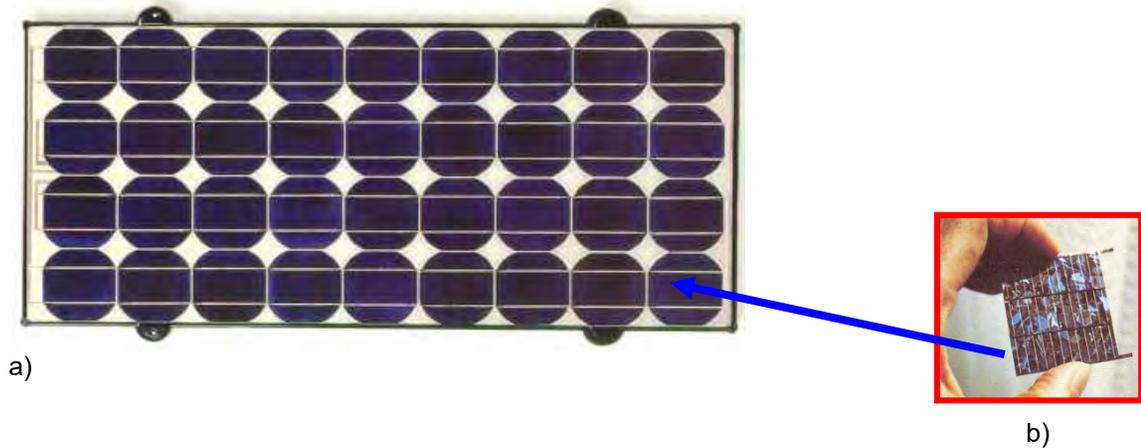


Figura 10. Fotografías a) Modulo fotovoltaico, b) celda fotovoltaica.

Las celdas fotovoltaicas (Figura 10b) son manufacturadas usando diferentes materiales y procesos, la materia base de las celdas son materiales semiconductores también utilizados en otros dispositivos como diodos, transistores y circuitos integrados. Los investigadores y fabricantes continúan explorando la manera de abaratar el costo o incrementar la eficiencia de conversión de las mismas. Cuando la luz solar incidente tiene la energía y el espectro luminoso necesario para alterar el estado de equilibrio de la juntura N-P (Figura 11) en estos diodos, se genera un exceso de cargas libres, las que pueden sostener una corriente, si se cierra el circuito externo.

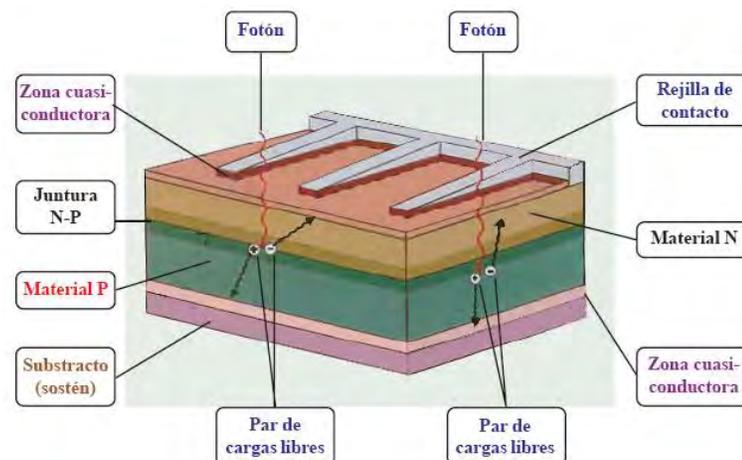


Figura 11. Corte de una celda fotovoltaica.

Las celdas fotovoltaicas son placas fabricadas principalmente de silicio, cuando al silicio se le añaden cantidades relativamente pequeñas de ciertos materiales con características muy particulares, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar: los electrones son excitados por los fotones asociados a la luz y se mueven a través del silicio produciendo una corriente eléctrica; este efecto es conocido como fotovoltaico. La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%, por lo que un metro cuadrado puede proveer 150 Watts, potencia suficiente para operar un televisor mediano.

Los sistemas fotovoltaicos, para poder proveer de energía eléctrica en las noches, requieren de baterías donde se almacena la energía eléctrica generada durante el día, lo cual encarece su aplicación. Sin embargo, en la actualidad se están desarrollando sistemas fotovoltaicos conectados directamente a la red eléctrica, evitando así el uso de baterías a los usuarios conectados a la misma, por lo que la energía que generan se usa de inmediato por el propio usuario que la genera, con la posibilidad de vender los excedentes de electricidad a las compañías generadoras.

Debido a su fragilidad, las celdas fotovoltaicas son vulnerables a la acción de los elementos naturales (lluvias, granizo, nieve, vientos, polvo, alta humedad, etc). Esta característica, sumada a la necesidad de ofrecer un voltaje de salida práctico (superior al $\frac{1}{2}V$), hacen necesario el uso de una estructura mecánica rígida y hermética que pueda contener un elevado número de celdas. El **modulo fotovoltaico** cumple con ambos requisitos, facilitando además el transporte de las unidades, el conexionado externo, y el montaje de la unidad a un sostén.

El **modulo fotovoltaico**, es un conjunto de **celdas** interconectadas eléctricamente y protegidas contra la intemperie. Debido a que no tienen partes móviles, es mínimo el mantenimiento que requieren y además son muy confiables y duraderos. El arreglo final de las celdas en el módulo tiene grupos en serie para elevar el voltaje (V) y un grupo en paralelo para aumentar la corriente (I).

Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir el panel fotovoltaico. Sin embargo, ciertas características son comunes a todos ellos, como el uso de una estructura —sándwich” como se muestra en la Figura 12, donde ambos lados de las celdas quedan mecánicamente protegidas.

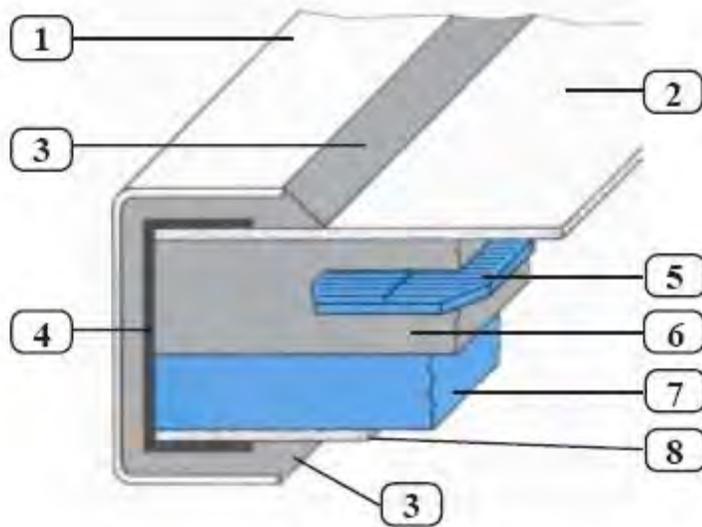


Figura 12. Montaje típico de un modulo fotovoltaico

Con referencia a la Figura 12,

- I) El marco del panel **(1)** está hecho de aluminio, para evitar su oxidación. Su rigidez provee la presión necesaria para mantener juntas las partes que integran el “sándwich”.
- II) La superficie colectora **(2)** tiene un vidrio templado o un plástico de alto impacto, con un alto valor de transmisividad para la luz incidente.
- III) Un material esponjoso **(3)** cumple con una doble función: proteger los bordes del vidrio y proveer un cierre hermético para el panel a lo largo del perímetro de la estructura.
- IV) La junta selladora **(4)**, colocada a lo largo del perímetro, contribuye a evitar la presencia de agua (humedad) dentro del panel, evitando que las conexiones internas se oxiden o causen la apertura del contacto al semiconductor.
- V) Las celdas fotovoltaicas **(5)** son cubiertas con un material encapsulante **(6)** de alta transparencia. La rigidez del panel se incrementa con el uso de un sostén rígido **(7)**, plástico o metálico, al que se conoce como sustrato.
- VI) La cara posterior del panel **(8)** tiene una superficie de sostén, que en algunos modelos es plástica y en otras metálicas.

Un **arreglo fotovoltaico** (Figura 13) es el conjunto de módulos solares que generan corriente eléctrica a un voltaje dado cuando son expuestos al sol. El arreglo fotovoltaico es pues, el generador eléctrico en si mismo cuya energía varía de acuerdo a como lo haga la insolación (ANES 1994).

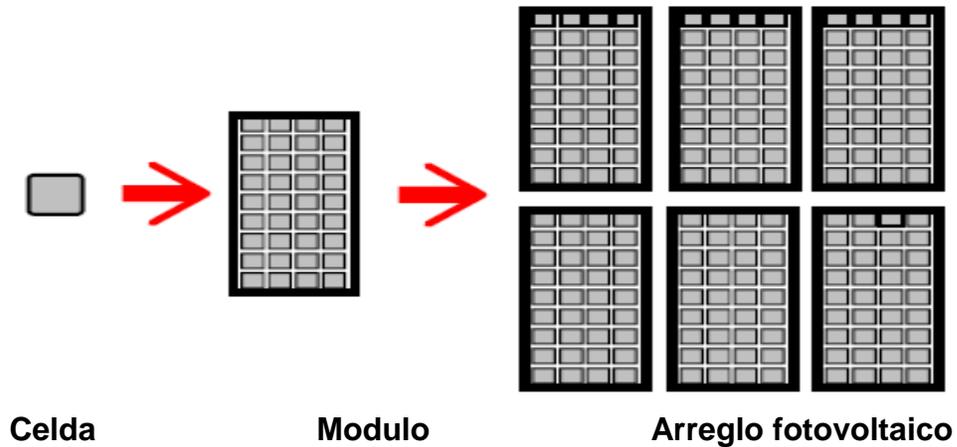


Figura 13. Celda, modulo y arreglo fotovoltaico.

Esta definición es la misma que corresponde al servicio domiciliario de una planta generadora tradicional. La diferencia fundamental es que en un arreglo fotovoltaico el “combustible” es la energía solar. Por ahora es importante destacar dos conceptos que están implícitos en la definición:

- La carga eléctrica determina que bloques funcionales deben formar parte del sistema.
- Diariamente, el sistema deberá mantener un balance energético entre la cantidad generada y la consumida. Al analizar el diseño veremos que el costo del sistema se incrementa cuando el balance energético debe mantenerse durante períodos de insolación baja o nula.

El régimen de carga estará definido cuando se conozcan los valores de tres variables:

- La cantidad de energía que la carga requiere por día.
- El período del día durante el cual se usará esa energía.
- El valor máximo (pico) que alcance el consumo.

2.1.2 Sistema de control y protección.

Las baterías requieren protección contra-sobre carga y contra sobre descargas para que tengan una vida útil aceptable.

La función del **regulador de carga** (controlador), ver Figura 14, es fundamentalmente proteger y preservar las baterías de un exceso de energía generada por el sistema fotovoltaico y de la descarga por el exceso de uso.

Ambas condiciones son perjudiciales para la correcta generación y vida útil de las baterías.

La mayoría de los controladores detectan el voltaje de la batería y actúan de acuerdo con los niveles de la tensión. Los controladores no son aparatos muy simples, ya que el estado de recarga de la batería depende de muchos factores y es difícil de medir.

Existen dos métodos básicos para controlar o regular la carga que va del arreglo fotovoltaico hacia la batería. En el **Método de Shunt** la carga de la batería se regula interrumpiendo la corriente proveniente del arreglo provocando un corto circuito en el arreglo. Esto se logra mediante un diodo de bloqueo colocado en serie entre la batería y el arreglo. Los controladores tipo **Shunt** generalmente se diseñan para aplicaciones de corrientes fotovoltaicas menores de 20 A. El otro método es el del **controlador en serie**, donde la regulación se lleva a cabo mediante un relevador que impide el paso de la corriente cuando la batería se encuentra en condiciones de plena carga; en este caso la interrupción se lleva a cabo poniendo el arreglo en circuito abierto.

Capacidad del controlador. El controlador debe dimensionarse para manejar 1.25 veces la corriente de corto circuito.

Voltaje del controlador. El otro parámetro para la selección del controlador se especifica de acuerdo al voltaje nominal del conjunto fotovoltaico, sin embargo, dado que su principal función consiste en proteger a la batería de sobrecargas y descargas profundas, los voltajes de corte y reconexión representan un papel muy importante en el diseño del sistema.

Voltaje de corte. Éste puede ser **superior al voltaje de carga** para proteger a una batería que se encuentre en estado de carga plena. Cuando esto sucede, la corriente que proviene del conjunto fotovoltaico es interrumpida por medio de un relevador o un diodo en el controlador, así se evita que la batería se sobrecargue y dañe sus celdas. El **voltaje o punto de corte superior** depende del tipo de batería y los valores típicos para sistemas de 12 V oscilan de los 13.3 a los 13.8 V.

La mayoría de los controladores también protegen a la batería contra descargas profundas, esto se logra mediante un relevador, que actúa en el **punto de corte inferior**, y corta la corriente que va de la batería hacia las aplicaciones cuando la energía contenida en la batería alcanza un mínimo establecido. Otros controladores no interrumpen el suministro, simplemente emiten un zumbido para indicar al usuario que la batería se encuentra en estado de carga mínima permisible. El **punto de corte inferior** depende de la naturaleza de la batería y los valores típicos para sistemas de 12 voltios van de **12 @ 12.2 V**.



Figura 14. Fotografías de controlador de carga y descarga.

2.1.3 Inversor.

La finalidad del **inversor** (ver Figura 15) en los sistemas fotovoltaicos es la de transformar corriente continua (CC) producida por el SFV, en corriente alterna (CA), necesaria para dar un suministro directo a los usuarios.

Los inversores más comunes de sistemas fotovoltaicos aislados funcionan a 12, 24, 48 o 120 V de entrada en corriente directa (CD) y salida a 120 o 240 V en CA a 60 Hertz (Hz).

Algunos inversores pueden soportar sobretensiones transitorias de hasta tres veces su capacidad, pero no pueden funcionar a capacidad máxima durante más de media hora sin sobrecalentarse. Son apropiados para la carga de arranque de motores pero, si se requiere su funcionamiento continuo, deben tener un exceso de capacidad sobre el valor de régimen. En general dicho exceso debe ser 25 por ciento o más para aumentar la confiabilidad y vida útil. El proyectista del sistema debe obtener información de fábrica acerca de los parámetros específicos de rendimiento antes de comprar el inversor.

2.1.3.1 Forma o tipo de onda.

Los inversores generalmente se clasifican de acuerdo al tipo de la forma de onda que producen, las tres formas de onda más comunes son la **cuadrada**, la **sinusoidal modificada** y la **sinusoidal**.

Las unidades de **onda cuadrada** proporcionan una salida conmutada de CA son económicos y adecuados para alimentar ciertos artefactos de corriente alterna como calentadores con resistencia eléctrica, herramientas o artefactos de mano y lámparas incandescentes.

Los inversores de tipo de **onda sinusoidal modificada** soportan perturbaciones transitorias y pueden alimentar una gran variedad de equipos de CA como lámparas, equipos electrónicos y la mayoría de motores.

Los inversores de **onda sinusoidal** producen una forma de onda de CA tan buena como la de empresas de servicios públicos.

A continuación se presentan las características principales que se debe contemplar en la elección de un inversor:

Rendimiento de la conversión de potencia. Es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del inversor. El rendimiento de los inversores para sistemas independientes variará en alto grado según el tipo y la demanda de carga de artefactos eléctricos. No se debe confiar en los folletos de inversores que anuncian rendimientos de más del 90 por ciento. Los valores que aparecen en las especificaciones de fábrica son los máximos que se pueden esperar. Sin embargo, cuando se alimentan ciertos tipos de motores, el rendimiento real puede ser menor del 50 por ciento.

Potencia de régimen. Indica el número de watts que el inversor puede suministrar durante su funcionamiento normal. Se debe seleccionar un inversor que pueda proporcionar no menos del 125 por ciento de la demanda máxima de carga, para dejar un margen en caso que aumente la demanda en el futuro. El régimen de funcionamiento es un dato muy importante.

Régimen de funcionamiento. Es el período de tiempo que el inversor puede alimentar la máxima carga de artefactos eléctricos. El exceder este tiempo puede causar la falla del equipo. Esta es otra razón para comprar un inversor con exceso de capacidad, por ejemplo, 2,5 kW para una carga de 2,0kW.

Tensión de entrada. Se determina por la potencia total que requieren todas las cargas de artefactos de CA. Mientras mayor sea la demanda de carga, mayor deberá ser la tensión de funcionamiento del inversor.

Capacidad de sobretensión transitoria. La mayoría de los inversores puede exceder su potencia de régimen durante cortos períodos de tiempo (segundos). Deben determinarse o medirse los requisitos de sobretensiones de ciertas cargas de artefactos eléctricos. Algunos transformadores y motores de CA requieren una corriente de arranque varias veces mayor que su corriente nominal. Esta corriente de arranque puede ser necesaria durante varios segundos.

Regulación de tensión. Indica las variaciones de tensión de salida. Los mejores inversores producen un valor de tensión eficaz (RMS) casi constante para una gran variedad de niveles de carga.

Protección de tensión. El inversor puede ser dañado si se exceden los niveles de tensión de entrada de CD. Recuerde que la tensión de una batería puede exceder considerablemente su valor nominal si dicha batería esta sobrecargada. Las baterías de 12 V pueden alcanzar hasta 16 V, y un inversor de 12 V puede dañarse si se le aplica una tensión de entrada de 16

V. por lo tanto, los inversores deben estar provistos con circuitos protectores que desconecten el inversor de la batería si se presenta una tensión de entrada demasiado alta o baja.

Frecuencia. La mayoría de las cargas de artefactos eléctricos en México requieren corriente de 60 Hz, mientras que en otros países se usa generalmente 50 Hz. Los equipos de alta calidad requieren una regulación de frecuencia precisa. Cualquier variación puede causar un mal funcionamiento de relojes u otros dispositivos electrónicos con control de tiempo.

Modularidad. Es la formación de un sistema con unidades interconectables. Resulta ventajoso usar inversores múltiples en algunos sistemas. Estos inversores pueden ser conectados en paralelo o usados para alimentar diferentes tipos de cargas de artefactos eléctricos. La conmutación manual de la carga a veces se provee para permitir que un inversor pueda alimentar algunas cargas críticas en caso de falla de otro inversor. Esta redundancia aumenta la confiabilidad del sistema.

Factor de potencia. Es el coseno del ángulo entre las formas de onda de la tensión y de la corriente producidas por un inversor. Este factor varía de acuerdo con el tipo de carga. Los inversores de mejor calidad tienen circuitos diseñados para compensar el valor del factor de potencia.



Figura15. Fotografía de inversores.

2.1.4 Sistema de almacenamiento (baterías).

Un **sistema de almacenamiento** está formado por un conjunto de baterías recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica. Las baterías que se utilizan con esta finalidad son de tipo estacionario. Las **baterías** para uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos: Bajo valor de autodescarga, larga vida útil, mantenimiento casi nulo y elevado número de ciclos de carga-descarga.

La batería almacena la energía eléctrica generada por los módulos durante los periodos de sol. Normalmente, las baterías se utilizan durante las noches

o periodos nublados, el intervalo que incluye un periodo de carga y uno de descarga, recibe el nombre de **ciclo**. Idealmente las baterías se recargan al 100 por ciento de su capacidad, durante el periodo de carga de cada ciclo. Si existe un controlador, las baterías no se descargarán totalmente durante el ciclo, de igual manera no corren el peligro de sobrecargarse durante periodos de poco uso.

A continuación se presentan las características principales en baterías:

Capacidad. La capacidad en Amperes-hora (A-h) es simplemente el número de Amperes que la batería puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente. Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga.

Capacidad de régimen. En teoría una batería de 200 A-h podría entregar 200 A durante una hora, 100 A durante dos horas, 1 A durante 200 horas y así sucesivamente. Sin embargo, en realidad este no es el caso ya que en las baterías siempre se debe especificar el régimen en horas. Si la batería es cargada y descargada a una razón diferente a la especificada en el régimen, la capacidad en A-h puede variar. Generalmente, si la batería se descarga a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor.

Profundidad de descarga. Este parámetro describe la fracción de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería. Como regla general, mientras menor sea la cantidad de energía que se extrae de la batería durante cada ciclo, mayor será la vida útil de la misma. Esta descripción da origen a la clasificación de las baterías en dos grandes grupos: **ciclo ligero o automotriz** y **ciclo profundo**. En el **ciclo ligero o automotriz**, las baterías se diseñan para altas descargas iniciales, como puede ser el arranque de un motor, pero continuamente se están cargando y descargando de manera alterna. Estas baterías, también llamadas **de arranque**, se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20 por ciento. De manera opuesta las baterías de ciclo profundo se diseñan en función de largos periodos de utilización sin necesidad de recibir recarga, por lo tanto éstas son más robustas y generalmente tienen mayor densidad energética. Su profundidad de descarga puede ser hasta el 100% de su capacidad.

Dimensionamiento de la batería. Una batería se dimensiona en función de a) la energía que debe abastecer diariamente; b) la autonomía que debe proporcionar durante periodos nublados; y c) la profundidad de descarga.

Tipo de batería. Las baterías más empleadas en aplicaciones fotovoltaicas son las de **plomo-ácido**, éstas tienen la ventaja de ser más económicas que las formadas por otros compuestos. Adicionalmente, dada la gran familiaridad que el público en general tiene con las baterías automotrices, su

potencial comercial es muy elevado. Estas baterías se fabrican mediante diversas aleaciones de plomo en una solución de ácido sulfúrico que actúa como electrolito. El material de las placas es una aleación de plomo con otro material, ya que el plomo puro es débil físicamente.

Dependiendo del material con que se mezcle el plomo, resultará la profundidad de descarga de la batería. Así por ejemplo, si las placas son de una aleación de plomo y antimonio, el antimonio permite que la batería tenga una mayor profundidad de descarga sin que se dañen las placas, esto significa una mayor vida para la batería, y por lo tanto **las baterías de plomo-antimonio-ácido son de ciclo profundo**. Por otra parte, el calcio aumenta la rigidez del plomo y reduce la autodescarga; sin embargo, la aleación plomo calcio se ve dañada cuando las profundidades de descarga son mayores al 25 por ciento, en consecuencia **las baterías plomo-calcio-ácido son de ciclo ligero**.

Las **placas** en una batería se encuentran alternadas en el interior de la misma con **separadores** entre ellas para no provocar cortocircuito. Los separadores se elaboran de un material poroso para permitir el flujo del electrolito. Son materiales no conductores fabricados con mezclas de sílica y plásticos o hule.

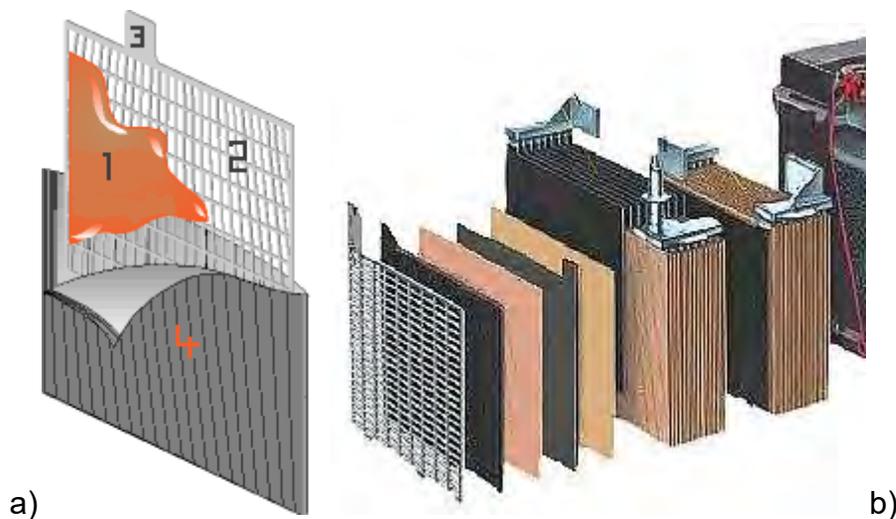


Figura 16. Detalle de construcción y montaje de las placas.

La Figura 16a) y Figura 16b) muestran la estructura interna de una placa y su montaje.

El material activo tiene una estructura esponjosa (1), la que se deposita sobre una rejilla de sostén de plomo (2). Las lengüetas (3) de cada rejilla sirven para conectar las placas de una polaridad a la barra correspondiente. La placa adyacente (diferente polaridad) del entrelazado tiene la lengüeta en el extremo opuesto, para poder separar las barras de diferente polaridad. El

separador (4) envuelve a la placa como un sobre, proveyendo aislamiento en toda su superficie activa. Otros fabricantes usan un separador plano (Figura 16 b).

Otro tipo de batería plomo-ácido es la denominada **Gel**, en la que el ácido se encuentra en ese estado. Tienen la ventaja de que son completamente selladas y pueden operar en cualquier posición sin regar ácido o gas. Debido a que el electrolito se mueve más lentamente, estas baterías no pueden tolerar altas tasas de carga y descarga. Su construcción sellada hace imposible verificar sus condiciones con un hidrómetro y su uso queda reducido a lugares donde se requieren pequeñas cantidades de energía y que no cuenten con ventilación.



Figura 17. Fotografía de baterías (Trojan T-105 y L16-H).

2.1.5 La carga alimentada por el sistema.

Con respecto a la carga (Figura 18 y Figura 19), son los aparatos que consumen la energía proporcionada por el SFV como: lámparas, radios, televisiones, refrigeradores, etc.

Existen diversos tipos de cargas que puede operar en corriente directa las cuales son conectadas directamente a las baterías o las cargas de corriente alterna, las cuales requieren de un inversor.



Figura18. Fotografía de a) refrigerador (SunDanzer) b) lámpara (ESL 18).



Figura 19. Fotografías a) SunWize DL Fluorescentes Compactas b) Lámpara de LEDs.

Los sistemas fotovoltaicos están constituidos básicamente por los elementos antes mencionados, las cargas pueden conectarse directamente o bien utilizando dispositivos como inversores o reguladores.

Existen diferentes configuraciones en sistema fotovoltaicos que bien pueden incluir u omitir algunas partes antes mencionadas.

En la Figura 20 podemos apreciar cada uno de los componentes de un sistema fotovoltaico.



Figura 20. Componentes de un sistema fotovoltaico.

CAPITULO 3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

La Universidad de Quintana Roo, cuenta con un área para instalar y realizar proyectos de materias del plan de estudios en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Energía; especialmente las de energías renovables. Este espacio cuenta con una instalación eléctrica que está conectada a la red convencional, la cual se cambiará a un sistema fotovoltaico que alimentará a cuatro lámparas de 39 W, ya que su función es solamente de iluminación. A esta área también se le conoce como “Parque de energías renovables”.

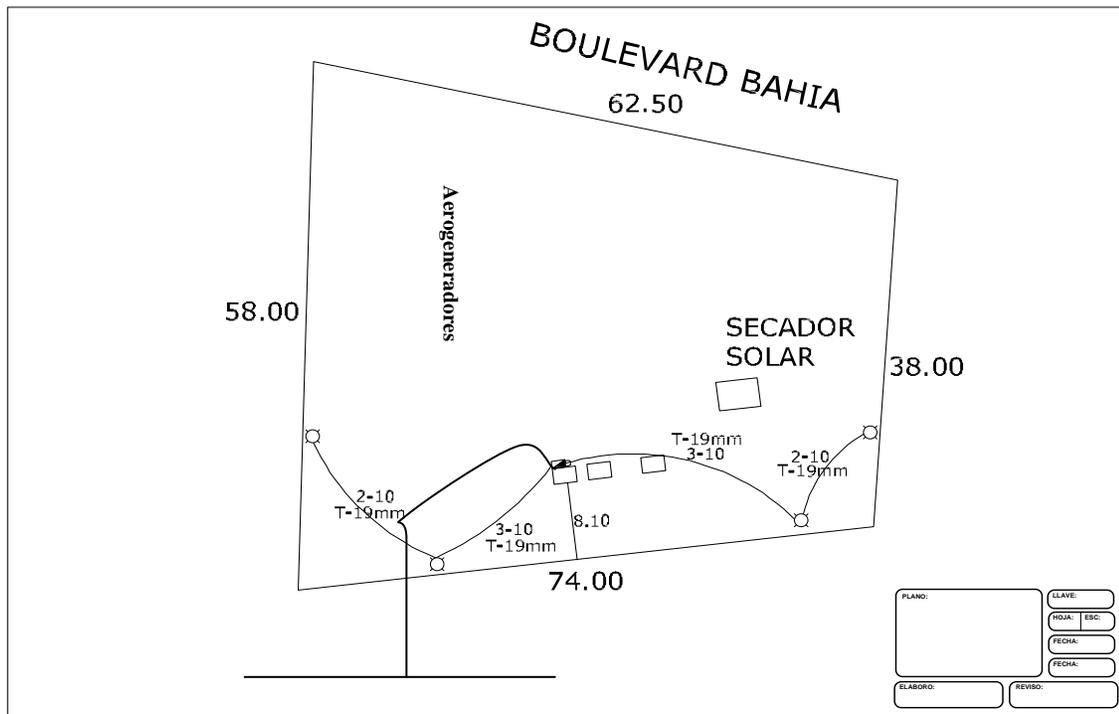


Figura 21. Instalación actual del parque de energías renovables.

3.1 DIMENSIONAMIENTO.

El dimensionamiento consiste en determinar la capacidad del sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía.

El método de dimensionamiento a utilizar se conoce como Amper-Hora, el cual se fundamenta en el balance de energía:

“La energía generada debe ser mayor o igual a la energía demandada más las pérdidas propias de los sistemas fotovoltaicos”.

Estas pérdidas se producen generalmente por:

- Pérdidas de tensión en los conductores.
- Pérdidas de potencia en los módulos por efecto de la temperatura que alcanzan éstos durante su operación.
- Pérdidas en el ciclo carga-descarga de las baterías.
- Pérdidas por autodescarga de las baterías.
- Pérdidas del controlador de carga.

La metodología a utilizar para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico es el siguiente:

1. Determinación de la demanda o carga.
2. Especificaciones del voltaje de operación.
3. Determinación de la energía solar disponible en la localidad.
4. Determinación de la capacidad del panel solar.
5. Determinación de la capacidad del banco de baterías.

1. Determinación de la demanda o carga.

El sistema de iluminación del parque de energías renovables únicamente cuenta con 4 lámparas de 39 W, por lo tanto el cálculo de la demanda se realizo de la siguiente manera:

Descripción	Cantidad	Consumo por unidad (W)	Consumo subtotal (W)	Horas de uso	Días de uso por semana	Consumo promedio diario (W-h/día)
Lámparas	4	39	156	10	7	1560

Tabla 2. Cálculo de consumo energético.

Se tiene un consumo de 1560 W-h/día en c.c. al cual se le aplica un factor de corrección para convertirla a corriente alterna. Este factor se debe al consumo del inversor, por lo tanto, tenemos: $1560 * 1.2$ nos da un valor de **1872 W-h/día** en corriente alterna.

2. Especificaciones del voltaje de operación.

El voltaje de operación de cualquier sistema fotovoltaico, es generalmente múltiplo de 12 Vcc, asimismo, de acuerdo al criterio de Amper-hora, los módulos con 33 y 36 celdas, deben operar con un voltaje nominal de 12 Vcc.

3. Determinación de la energía solar disponible en la localidad

Para estimar de manera cuantitativa la insolación promedio mensual o anual de la ciudad de Chetumal, se utilizan tablas de insolación global promedio diario mensual en KW-h/m² (o en horas pico) o mapas solares de la república mexicana.

Primero se presentan los valores que ofrecen las tablas y posteriormente se obtienen los valores de acuerdo a los mapas solares como se muestra en el anexo 2.

Mes	Radiaron solar con inclinación de 18.5 grados (KW-h/m ²)
Enero	5.3
Febrero	6.0
Marzo	6.5
Abril	6.3
Mayo	6.5
Junio	5.5
Julio	5.8
Agosto	5.9
Septiembre	5.2
Octubre	5.3
Noviembre	5.4
Diciembre	5.3

Tabla 3. Promedio mensual diario de radiación.

Para tomar un solo valor y aumentar la confiabilidad del sistema, se selecciona el valor mensual más crítico (este método puede producir un sistema sobredimensionado), el cual es el mes de Septiembre con una radiación de 5.2 KW-h/m² o 5.2 horas de sol pico al día como se observa en la Tabla 3.

Como segunda referencia, se toman los valores de insolación obtenidos por medio de mapas solares, los cuales se consideran con el mismo criterio anterior (de tomar el mes más crítico).

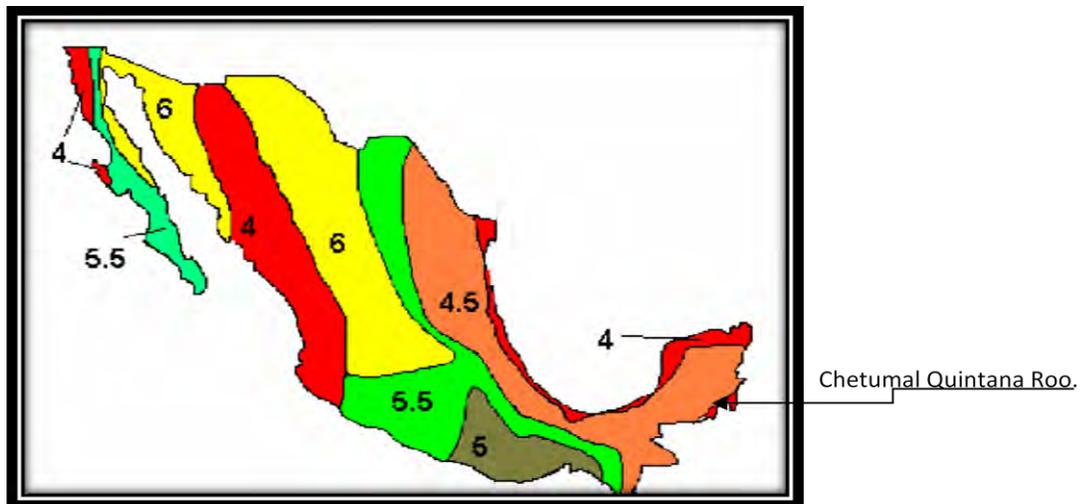


Figura 22. Mapa de Insolación Solar Global diaria promedio anual (unidades hora pico).

En la Figura 22, se puede observar que las horas solares pico promedio en la ciudad de Chetumal es de 4.5 horas pico.

Por lo tanto, el valor promedio que se estableció para la ciudad de Chetumal Quintana Roo, con base a las referencias anteriores fue de: 4.8 horas de sol pico al día (promedio de las horas solares del mes más críticos de la Tabla 2 y del mapa de insolación solar global de la Figura 22).

4. Determinación de la capacidad de los módulos solares.

La potencia necesaria para satisfacer la demanda a cargo del sistema fotovoltaico, se obtiene de la siguiente relación:

$$Potencia\ del\ panel\ solar\ (Watts) = \frac{Watt - hora / día}{(HSP)(factor\ de\ eficiencia)}$$

En donde, HSP son las horas solares pico y el factor de eficiencia es igual a 80 % (las eficiencias especificadas para cada uno de los componentes, son las más utilizadas por los proveedores y especialistas), las cuales han surgido a través de los años de experiencia de éstos.

Algunos especialistas (instaladores, fabricantes, etc.) recomiendan agregar un factor de seguridad de 30 % a la potencia total calculada del arreglo fotovoltaico.

Sin embargo, para el caso de los sistemas de iluminación, se determinó agregar un factor de seguridad de 20 %, ya que el factor recomendado por especialistas se enfoca a sistemas en donde el servicio es de alta prioridad, como son los centros de salud en zonas aisladas, las telesecundarias, los sistemas de comunicación, etc.

Por lo tanto, la potencia y el número de módulos para el sistema fotovoltaico de iluminación son:

$$\text{Potencia del panel solar (Watts)} = \frac{1872}{(4.8)(0.80)} = 487.5W$$

A la potencia del panel solar se le agrega un factor de seguridad del 20 % por lo tanto tenemos que:

$$\text{Potencia del panel solar} = 487.5 W \times 1.20 = 585 W$$

Para saber el número de módulos requeridos se divide la potencia del panel entre la potencia del módulo a utilizar, por lo tanto tenemos:

$$\text{Número de módulos requeridos} = 585 W / 80 W = 7.3 \text{ módulos}$$

Del cálculo anterior se determina que se necesitan **7.3 módulos** de 80 W para cubrir la necesidad de 1872 W-h/día, debido a que no es un número exacto lo redondearemos al número inmediato superior que serían **8 módulos**.

5. Determinación del banco de baterías.

Típicamente la capacidad de almacenamiento de las baterías se expresa en A-h, en lugar de W-h, la capacidad del banco de batería se dimensiona en función de la energía consumida diariamente por las cargas y los días de autonomía requeridos en el sistema que se obtiene de:

$$\text{Capacidad del banco de baterías} = \frac{E_c A_u}{F_u F_i}$$

En donde se tiene que:

E_c = energía consumida (expresada en Amper-hora)

A_u = días de autonomía del sistema (se determino utilizar $A_u = 2$)

F_i = factor de incremento en la capacidad debido a una razón de descarga más lenta.

$F_i = 1.05$ para placa delgada y $F_i = 1.35$ para placa gruesa (baterías de ciclo profundo de Pb-Ácido).

F_u^3 = factor de uso de las baterías.

En el caso de las baterías de Pb-Ácido, se obtiene de la:
Eficiencia en el proceso carga / descarga: 95 %.

³ También se conoce como porcentaje de eficiencia global del sistema de almacenamiento.

Eficiencia en el voltaje de carga / descarga: 89 %

Entonces, el factor de uso $F_u = 0.84$

Por lo tanto, para poder determinar la capacidad del banco de baterías, primero se convierte la demanda diaria de W-h a A-h:

Demanda diaria (A-h/día) = demanda diaria (W-h/día) / voltaje nominal (V).
Es decir, la demanda diaria para el sistema fotovoltaico es:

$$\text{Demanda diaria (A-h/día)} = \frac{1872 \text{ W-h/día}}{12 \text{ V}} = 156 \text{ A-h/día}$$

Por lo tanto, la capacidad del banco de baterías para el sistema fotovoltaico es:

$$\text{Capacidad del banco de baterías} = \frac{(156 \text{ A-h})(2 \text{ días})}{(0.84)(1.35)} = 275.13 \text{ A-h}$$

Por lo tanto, el número de baterías a utilizar es:

$$\text{No. Baterías a utilizar} = \frac{(275.13 \text{ A-h})}{225} = 1.22 \text{ baterías,}$$

Esto nos dice que utilicemos 2 baterías de 225 A-h @ 12 volts. Debido a que utilizaremos las baterías con las que cuenta la Universidad, las cuales son de 225 A-h @ 6 V, debemos hacer un arreglo para conectarlas en serie para formar los 12V, por lo tanto, necesitaremos **4 baterías**.

Después de haber concluido el dimensionamiento del sistema fotovoltaico es importante realizar los cálculos para seleccionar los conductores a utilizar, para esto, es necesario conocer las características del equipo.

3.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO A UTILIZAR.

3.2.1 Características de los módulos.

Los módulos a utilizar son de tipo policristalino de 36 celdas marca TOTAL ENERGIE modelo TE850 y sus características de placa se presentan en la Tabla 4⁴:

⁴ <http://www.tenesol-al.com/productos-modfoto.php>

P_{\max}	=	80 Wp
V_{carga}	=	17.3 V
I_{carga}	=	4.6 A
I_{sc}	=	5 A
V_{ca}	=	21.8 V

Tabla 4. Datos de placa de los módulos.

3.2.2 Características del controlador.

El controlador seleccionado es de la marca Tristar modelo TS-45 de 45A, lo podemos observar en la Figura 23, éste cuenta con las siguientes características⁵:

- ✓ Cuenta con un controlador de función triple que proporciona un control de carga seguro a la batería.
- ✓ Funciona en 12, 24 y 48V.
- ✓ Tiene un disipador de calor mucho más grande, así que puede ser utilizado a su grado completo de la placa de identificación hasta 45°C.
- ✓ El calibre del cable utilizado para el controlador TriStar es de 2AWG / 35 mm².



Figura 23. Fotografía del controlador modelo TS-45.

⁵ <http://www.morningstarcorp.com>

3.2.3 Características del inversor.



Figura 24. Fotografía del inversor Power 700plus.

El inversor a utilizar es de la marca inverter power700plus (Figura 24), y tiene las siguientes características⁶:

- ✓ 700 Watts Continuos
- ✓ 1000 Watts de impulso
- ✓ 12 VCD de entrada
- ✓ 115 VCA de salida.
- ✓ 60 Hz.

3.2.4 Características de las baterías.

Las baterías a utilizar son de la marca Trojan modelo T-105 de 6V @ 225 A-h (Figura 25) de plomo-acido de ciclo profundo, las dimensiones de la batería son 27.94 cm x 17.78 cm x 30.48 cm, con un peso de 27.66 Kg⁷.



Figura 25. Fotografía de Batería Trojan T-105.

⁶ <http://www.xantrex.com>

⁷ <http://www.alternativasolar.com/catalog>

De acuerdo a los datos anteriores, se calcula el calibre de los conductores por medio de la ampacidad y por medio de tablas proporcionadas por productores de la marca Kyocera.

3.3 SELECCIÓN DE LOS CONDUCTORES.

3.3.1 Cálculo de conductores por medio de Ampacidad.

La capacidad de conducción de corriente que tiene un cable, se le denomina *Ampacidad*, la cual se encuentra limitada por la conductividad del metal conductor y capacidad térmica del aislamiento.

Para obtener la ampacidad de los conductores de los módulos que están conectados en paralelo (panel solar) se tiene:

$$I_{diseño} = I_{cc} \times 1.25 \times 1.25$$

Donde:

I_{cc} es la corriente de corto circuito de los módulos en paralelo (Amper), para obtener la ampacidad de los conductores entre los módulos, se utiliza la I_{cc} de un módulo.

Para obtener la ampacidad de cualquier otro conductor del SFV se tiene:

$$I_{circuito} = 1.25 \times I_{carga}$$

Por lo tanto la ampacidad de los conductores es:

- Entre módulos

$$I_{diseño} = 1.25 \times 1.25 \times 5 \text{ A} = 7.81 \text{ Amperes}$$

- Entre módulos y controlador

$$I_{diseño} = 1.25 \times 40 \text{ A} = 50 \text{ Amperes}$$

- Entre controlador y baterías

$$I_{diseño} = 1.25 \times 45 \text{ A} = 56.25 \text{ Amperes}$$

- Entre baterías e inversor

$$I_{diseño} = 1.25 \times 70 \text{ A} = 87.5 \text{ Amperes}$$

- Entre inversor y cargas

$$I_{diseño} = 1.25 \times 6.25 A = 7.81 \text{ Amperes}$$

Finalmente, con base a la ampacidad, se seleccionan los calibres de los conductores.

Selección del calibre de los conductores por medio de la ampacidad.

Observando la Tabla 5, se determina el calibre de los conductores, de acuerdo al cálculo realizado para obtener la ampacidad. Adicionalmente, los conductores a seleccionar deben considerar tres parámetros importantes:

- Deben ser aptos para el ambiente en que se instalan (para intemperie)
- Deben tener la capacidad para soportar la corriente máxima (no sobrepasar la ampacidad).
- Considerar las distancias hacia donde sea requerida.

TIPO	CALIBRE (AWG)	TEMP. AISLANTE	AMPACIDAD MÁXIMA (AMPERIOS)	
			a 30 °C	a 60 - 70 °C
Cables monoconductores	14	90 °C	30,0	17,4
		75 °C	25,0	8,3
	12	90 °C	40,0	23,2
		75 °C	35,0	11,5
	10	90 °C	55,0	31,9
		75 °C	50,0	16,5
8	90 °C	80,0	46,8	
	75 °C	70,0	23,1	
Cables de 2 o más conductores	14	90 °C	25,0	14,5
		75 °C	20,0	6,6
	12	90 °C	30,0	17,4
		75 °C	25,0	8,3
	10	90 °C	40,0	23,2
		75 °C	35,0	11,5
	8	90 °C	55,0	31,9
		75 °C	50,0	16,5

Tabla 5. Calibre de conductores por medio de la ampacidad.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Entre módulos y controlador:

Ampacidad	Calibre obtenido
50 A	AWG # 8 a 90 °C

En este caso con base a la ampacidad, el calibre del conductor para la sección entre el panel solar y el controlador, es de tipo monoconductor calibre **AWG No 8 A 90 °C**.

Entre controlador y baterías:

Ampacidad	Calibre obtenido
56.25 A	AWG # 6 a 90 °C

En este caso con base a la ampacidad, el calibre del conductor propuesto para la sección entre el controlador y baterías, es de tipo monoconductor calibre **AWG No 6 A 90 °C**.

Entre baterías e inversor:

Ampacidad	Calibre obtenido
87.5 A	AWG # 2 a 90 °C

En este caso con base a la ampacidad, el calibre del conductor propuesto para la sección entre las baterías y el inversor, es de tipo monoconductor calibre **AWG No 2 A 90 °C**.

Entre inversor y cargas:

Ampacidad	Calibre obtenido
7.81 A	AWG # 14 a 90 °C

En este caso con base a la ampacidad, el calibre del conductor propuesto para la sección entre el inversor y las cargas, es de tipo monoconductor calibre **AWG No 14 A 90 °C**.

Debido a que también es necesario considerar las distancias para calcular el conductor, recurrimos a las tablas proporcionadas por un proveedor de módulos fotovoltaicos como es Kyocera.

El sistema fotovoltaico quedara de la siguiente manera:

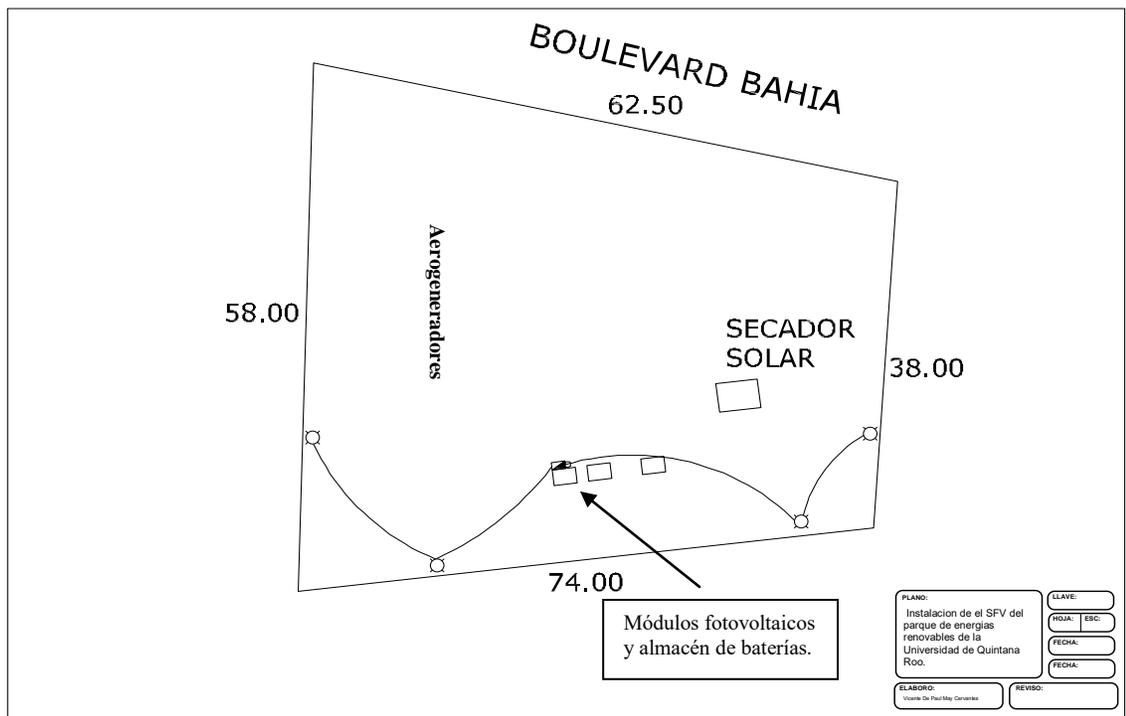


Figura 26. Instalación del SFV.

El sistema estará conectado de la siguiente manera:

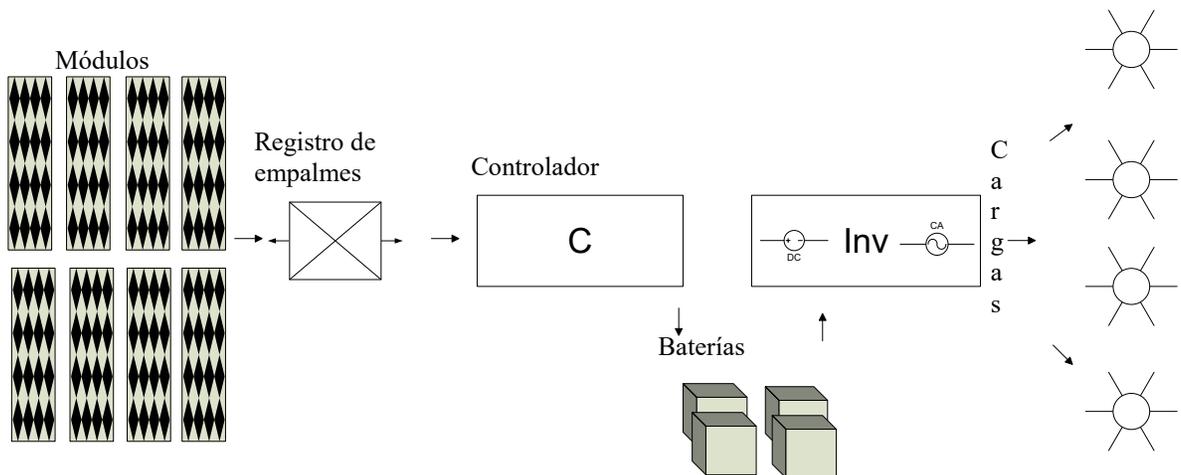


Figura 27. Conexión del sistema fotovoltaico.

3.3.2 Selección del calibre de los conductores por medio de la tabla del proveedor Kyocera (Anexo 1).

Debido a que los módulos estarán conectados en paralelo, éstos irán conectados a un registro (Figura 27), con la finalidad de que se utilice un calibre de conductor adecuado que pueda entrar en la caja de conexión de los módulos, esto también ayudará al momento de dar mantenimiento, ya que facilita la revisión de los módulos sin tener que meterse debajo de ellos, la distancia mas lejana entre el módulo y el registro será de 5.30 m, por lo tanto, el calibre recomendado para una corriente de 5 A con esa distancia es de **AWG # 14** esto con referencia a la tabla proporcionada por la empresa Kyocera.

Del **registro al controlador** hay una distancia de 1 m y circulará una corriente máxima de 40 A-h, es lo que el arreglo fotovoltaico generara en el momento en el que la radiación solar sea la máxima, por lo tanto, el conductor a utilizar de acuerdo ala tabla de Kyocera es **AWG # 10**.

Del **controlador a las baterías** hay una distancia de 1.5 m, el conductor de este tramo deberá soportar una corriente de 45 A-h, que es la máxima que soporta el controlador, refiriéndonos a la tabla de Kyocera, utilizaremos un conductor **AWG # 8**.

El conductor a utilizar entre las **baterías** será el **AWG # 2**, ya que la corriente que circulará es de 225 A-h, esto será en caso de que la demanda sea continua.

De las **baterías al inversor** se utilizará un conductor **AWG # 6**, esto es debido a que la corriente máxima que circulara entre éstos es de 70 A con una distancia de 1.5 m.

Del **inversor a las cargas**, el conductor a utilizar se calcula tomando encuentra la carga a mayor distancia, ésta tiene una distancia de 58.5 m, por este conductor circulará una corriente 0.30 A, por lo tanto, el conductor a utilizar es **AWG # 14**.

Comparación de resultados:

Entre módulos y controlador:

Cálculos	Calibre obtenido
Ampacidad	AWG # 8
Datos tabla Kyocera	AWG # 10

Debido a la diferencia que existe entre el cálculo de la ampacidad con el dato de la tabla Kyocera, el calibre del conductor seleccionado será **AWG # 8**, debido a que la ampacidad es la corriente máxima que soporta un conductor.

Entre controlador y baterías:

Cálculos	Calibre obtenido
Ampacidad	AWG # 6
Datos tabla Kyocera	AWG # 8

En este caso tomaremos el valor de la tabla de Kyocera, debido a que circulara una corriente de 45 A máxima, por lo tanto, el conductor a utilizar es **AWG # 8**.

Entre baterías e inversor:

Cálculos	Calibre obtenido
Ampacidad	AWG # 2
Datos tabla Kyocera	AWG # 6

En este caso tomaremos el valor de la tabla de Kyocera, debido a que el inversor soporta una corriente máxima de entrada de 70 A, por lo tanto, el conductor a utilizar es **AWG # 6**.

Entre inversor y cargas:

Cálculos	Calibre obtenido
Ampacidad	AWG # 14
Datos tabla Kyocera	AWG # 14

En este caso coinciden en el calibre la tabla de Kyocera como el cálculo con la ampacidad, por lo tanto el conductor a utilizar es el **AWG # 14**.

CAPITULO 4. INSTALACION DEL SFV

4.1 MODULOS

Los Módulos fotovoltaicos deben orientarse en la dirección Sur-Norte, y deben inclinarse para que reciban la máxima energía solar durante el año y evitar que se deposite agua en el vidrio, en la ciudad de Chetumal la latitud es de 18.5° y longitud de 88.3° , por lo tanto, la inclinación de los módulos será igual a la latitud, es decir, de 18.5° con dirección Sur-Norte.

El soporte de los módulos es una estructura metálica, la cual fue construida con ángulos de aluminio (Figura 28) debido a que este material es resistente a la corrosión, está estructura esta sujeta a unos pilotes de concreto con medidas de $20 \times 16 \times 50$ cm y $20 \times 10 \times 30$ cm, esto con la finalidad de que los módulos queden asegurados, esta estructura fue colocada con un ángulo de inclinación de 18.5° .



Figura 28. Fotografía del soporte de los módulos fotovoltaicos.

Los módulos fotovoltaicos están sujetos a la estructura de aluminio (Figura 30) con cuatro tornillos $7/16$ con arandelas de retención, para evitar que la tuerca se afloje, como se muestra en la Figura 29.

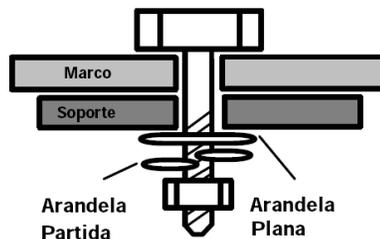


Figura 29. Anclaje del marco del panel al soporte.



Figura 30. Fotografía de Módulos fotovoltaicos instalados en la estructura.

4.2 CONEXIÓN DEL LOS MODULOS AL REGISTRO DE EMPALMES.

Debido a que los módulos se encuentran conectados en paralelo, se decidió conectar los módulos a un registro de empalmes, el cual cumple la función de recepcionar cada uno de los conductores de los módulos, esto, con la finalidad de que en caso de que algún módulo falle o se dañe, ayudará y facilitará su revisión, ya que no será necesario colocarse debajo de los módulos para revisar cada uno de ellos. Otra función del registro de empalmes es evitar que al momento de conectar los módulos fotovoltaicos entre si, el calibre del conductor vaya aumentando llegando al punto de tener problemas con la conexión en el módulo debido a que el calibre del conductor sea mayor que el conector del módulo.

El registro de empalmes esta colocado debajo del volado de la caseta como puede observarse en la Figura 31, éste es resistente a la intemperie y cuenta con unas zapatas para 60 A.



Figura 31. Fotografía del Registro de empalmes.

Los módulos fueron conectados con un conductor AWG #14, utilizando el color negro para el negativo y el color rojo para el positivo, los cuales fueron conectados al registro de empalmes como se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Fotografía de Registro de empalmes.

Del registro de empalmes se enviaron dos conductores AWG # 8 hacia el controlador, éstos son de color rojo para el positivo y el color verde para el negativo como se observa en la Figura 33.



Figura 33. Fotografía de Conexión de cables Registro de empalmes – controlador.

4.3 CONTROLADOR

Debido a que se instaló un controlador que puede trabajar a diferentes voltajes (12, 24 y 48 V) fue necesario ajustar los interruptores tipo DIP, dejando el interruptor 1 en OFF, el interruptor 2 en OFF y el interruptor 3 en ON, se recomienda usar los interruptores tipo DIP para asegurar el voltaje correcto del sistema, esto de acuerdo al instructivo del equipo como podemos observar en la Figura 34.

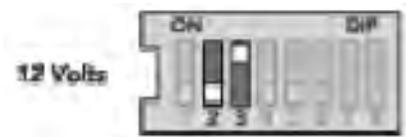


Figura 34. Ajuste de interruptores tipo DIP.

El controlador está colocado dentro de la caseta y sujeto a una tabla que se colocó detrás de éste con la finalidad de evitar el contacto directo con el muro, para evitar la humedad, ver Figura 35.



Figura 35. Fotografía del Controlador.

Para poner en funcionamiento el controlador es necesario conectar primero las baterías hacia el controlador y después conectar los módulos, en caso de conectar los módulos al controlador sin antes haberle conectado la carga (baterías), esto podría causarle daños severos al controlador, el diagrama de conexión del controlador se muestra en la Figura 36, es importante que al momento de colocar el controlador se coloque en un lugar donde la ventilación sea buena para no obstruir el disipador de calor y así permitir el libre flujo de aire para el enfriamiento.

El controlador cuenta con un botón pulsador, el cual sirve para restablecerlo a partir de un error o una falla.

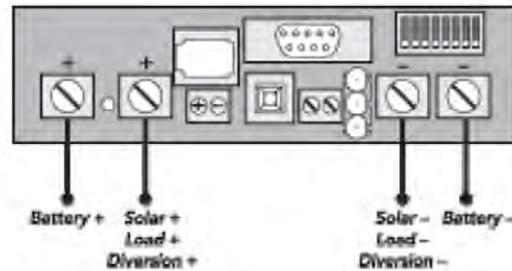


Figura 36. Diagrama de conexión del controlador.

El controlador cuenta con tres LEDs de diferentes colores, verde, amarillo y rojo los cuales indican el estado de las baterías; cuando se pone en marcha el controlador enciende los tres LEDs en forma alternada formando un ciclo (verde, amarillo, rojo), cuando las baterías se están cargando o se encuentran en un estado de 80% a 95% el LED verde permanece encendido, cuando las baterías entran en un porcentaje de 60% a 80% los LEDs verde y amarillo permanecen encendidos (Figura 37), cuando la batería se encuentra en un porcentaje de 35% a 60% de su carga, el LED amarillo es el que permanece encendido, los LEDs amarillo y rojo encienden al mismo tiempo cuando el porcentaje de carga de las baterías es de 0% a 35%, cuando esto sucede, hay que tener cuidado y tratar de consumir lo menos posible de energía, para darle tiempo a que las baterías se vuelvan a cargar, en caso de que el LED rojo es el único que se encuentra encendido, este nos estará indicando que las baterías se están descargando.



Figura 37. Fotografía del controlador con carga de 60% a 80%.

4.4 BATERÍAS

El sistema empleo de 4 baterías de 6V@ 225 A-h, dos pares de baterías se conectaron en serie como se muestra en la Figura 38, obteniendo así los 12 V en cada par para el cual está diseñado el sistema, la siguiente forma de conexión fue en paralelo, para poder cerrar el circuito y así poder conectar el banco de baterías al inversor como se observa en la Figura 39.



Figura 38. Fotografía de baterías conectadas en serie.



Figura 39. Conexión baterías a inversor.

4.5 INVERSOR

El inversor se sujetó en la pared con dos tornillos, se conectó a los conductores de las baterías de acuerdo a su polaridad, como se ilustra en la Figura 40, el inversor recibe un voltaje de 12 V a una corriente máxima de 70 A, a su salida produce un voltaje de 127 V, la salida del inversor fue conectada a un centro de cargas QOD 4 donde cada luminaria cuenta con un interruptor, ver Figura 41.



Figura 40. Fotografía Inversor conectado.



Figura 41. Fotografía Conexión inversor a centro de cargas.

El inversor cuenta con un sistema de alarma de sonido en caso de que exista un corto circuito, altas temperaturas, o cuando el voltaje del sistema es de 10.7 V en caso de ignorar la alarma, el inversor se apagará cuando el voltaje del sistema sea igual a 10 V protegiendo así a las baterías, también cuenta con un fusible como protección interna. Se encuentran disponibles dos salidas a corriente alterna, una de ellas fue conectada al centro de carga para poder encender las luminarias, quedando disponible una salida; dos LEDs uno color verde y uno color rojo indican el estado del inversor, el de color verde indica que el inversor está encendido y el LED de color rojo indica que el controlador ha detectado algún problema, ya sea un alto voltaje, un bajo voltaje o por altas temperaturas.

4.6 CARGAS

Las lámparas están colocadas a diferentes distancias, esto con la finalidad de iluminar la mayor área posible, los postes (Figura 42) son de una altura de 3m, cada poste está sujeto por medio de una base de concreto de 40 X 40cm.



Figura 42. Fotografía lámparas.

Cada lámpara estará controlada por un interruptor termomagnético (Figura 43) que se encuentra ubicado en la caseta.



Figura 43. Fotografía centro de cargas, control de luminarias.

Los termomagnéticos corresponden a cada lámpara de acuerdo a su posición, por ejemplo refiriéndose a la Figura 43, el termomagnético de la derecha, encenderá la lámpara ubicada a su derecha, así sucesivamente.

En la Figura 44 podemos observar el parque de energías renovables de la Universidad de Quintana Roo iluminado.



Figura 44. Fotografía Parque de energía renovables iluminado.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES

El efecto invernadero es una de las principales causas de la destrucción de nuestro planeta, éste es causado por la gran emisión de gases hacia la naturaleza, la producción de energía eléctrica por los diversos métodos convencionales es uno de los principales emisores de estos gases, por ello, el interés de utilizar nuevas fuentes de energías NO contaminantes.

La energía solar es por todos conocida, ya que ha sido utilizada desde la época de nuestros antepasados y hasta la fecha su uso es común, ya que el sol es una fuente inagotable de energía.

El uso de la energía solar, tiene diferentes aplicaciones, desde poder iluminar un hogar, hasta suministrar energía a un satélite en el espacio. Siendo el SFV el que se puede utilizar en múltiples servicios por ser una fuente de energía muy eficaz. Es de vital importancia fomentar una cultura sobre este tipo de energía. Estar conscientes que a pesar que la inversión inicial es importante, al paso del tiempo se obtiene un ahorro económico para el usuario.

En estos tiempos es fundamental involucrar a los estudiantes de las universidades para participar en la elaboración de proyectos, y así mejorar los tipos de generación de energías limpias y con ésto, hacer promoción ante la sociedad para que su uso sea mayoritario a través del tiempo.

La instalación del SFV para la iluminación del parque de energías renovables de la Universidad de Quintana Roo, fue realizada con la finalidad de que los alumnos de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Energía tengan la oportunidad de poder observar cada uno de los componentes de un sistema fotovoltaico.

Al momento de diseñar un SFV, es de suma importancia conocer la cantidad de carga que será alimentada, así como sus horas de uso, ya que de estos dos datos depende todo el equipo a utilizar, como son los módulos, el controlador, el inversor y las baterías.

El sistema de almacenamiento viene siendo una parte importante en el sistema de iluminación, el dimensionar el sistema de almacenamiento correctamente sirve para que el sistema sea utilizado en periodos que no se cuenta con la radiación solar, ya que éste es el encargado de almacenar toda la energía que el sol proporciona. El controlador es un componente fundamental para la protección de las baterías, ya que este se encargará de establecer las condiciones de uso de las mismas, evitando así, daños irreversibles para las baterías.

Al principio de este trabajo monográfico se mencionaron cinco objetivos, los cuales fueron cumplidos satisfactoriamente, siendo el principal poner en

operación un SFV para la iluminación del parque de las energías renovables de la Universidad, se espera que este trabajo sirva como un instrumento útil a los alumnos y público en general para la proyección e instalación de un SFV.

La realización de este proyecto me sirvió como retroalimentación de gran parte de mi formación profesional, ya que pude poner en práctica conocimientos teóricos adquiridos durante la misma, sirviéndome como una experiencia para poder ser participe y creador de proyectos de este tipo, donde día a día el campo laboral va en aumento.

Ver el SFV funcionando es una muestra de la capacidad que los seres humanos podemos lograr para el beneficio de nuestro planeta, utilizando esta tecnología a gran escala nos serviría para evitar seguir contaminándolo, al cual por cada minuto que pase le estamos quitando vida, es importante darse cuenta lo mas pronto posible el daño que le estamos causando al no utilizar debidamente los recursos que nos proporciona.

En lo personal, creo es de vital importancia empezar a utilizar las diferentes fuentes de energías alternas con las que contamos, para así poder heredar un planeta en buenas condiciones a nuestros sucesores, un SFV lo podemos utilizar en cualquier parte del planeta donde contemos con radiación solar sin dañar a la naturaleza, desgraciadamente el costo es aun un poco elevado, si se consigue que el precio de las módulos solares siga disminuyendo, iniciándose su fabricación a gran escala, es muy probable que en pocos años una buena parte de la electricidad consumida en el mundo tenga su origen del sol por medio de la conversión fotovoltaica.

La energía solar puede ser perfectamente complementada con otras energías convencionales, para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación.

BIBLIOGRAFÍA

- IBAÑEZ PLANA, M; ROSELL POLO, J. R.; ROSELL URRUTIA. Energías renovables, " tecnología solar"; Madrid-Barcelona-México, Ediciones Mundi-prensa, 2005.
- Varios autores, Photovoltaic power systems and the national electrical code suggested practices, Draft, 1994.
- RICHARD H., Motngomery. Energía solar —selección del equipo, instalación y aprovechamiento", Limusa grupo noriega editores, 1986.
- MOPIN POBLET, José, Energía solar fotovoltaica —señal mundo electrónico", Marcombo, Boixareu editores.
- Sandia national laboratorios, Maintenance and operation of stand-alone photovoltaic systems, Albuquerque NM, December 1991.
- COBOR, C.C., Energía solar bases y aplicaciones, Paraninfo Madrid, 1983.
- ENRRIQUEZ, Harper, El ABC de las instalaciones eléctricas industriales, Limusa noriega editores, 1997.
- RINCON MEJIA, Eduardo A., Estado del arte de la investigación en energía solar en México, Edición especial Cuadernos Fica, México, 1999.
- Notas del la —XIII semana nacional de energía solar", Hermosillo Sonora, 3 y 4 de Octubre de 1994.
- Notas de la —XII semana nacional de energía solar", Colima, 1993.
- NOM-001-SEDE-2005

PAGINAS WEB VISITADAS

- www.epsea.org/esp
- www.asif.org
- www.ojaen.es
- www.solarfotovoltaicos.com
- www.censolar.es
- www.enalmex.com
- www.conae.gob.mx

ANEXO 1

Tabla de conductores recomendada por el proveedor Kyocera para sistemas diseñados a 12 V, las distancias están en Pies.

System Voltage: 12V

Voltage Drop: 3.00%

Temperature (°C): 75

R	3.14	1.98	1.24	0.778	0.491	0.308	0.245	0.194	0.154	0.122	0.0967	0.0766	0.0608	0.0515
Wire Gauge														
Amps	#14	#12	#10	#8	#6	#4	#3	#2	#1	#1/0	#2/0	#3/0	#4/0	250MCM
1.00	57.32	90.91	145.16	231.36	366.60	584.42	734.69	927.84	1168.83	1475.41	1861.43	2349.87	2960.53	3495.15
2.00	28.66	45.45	72.58	115.68	183.30	292.21	367.35	463.92	584.42	737.70	930.71	1174.93	1480.26	1747.57
4.00	14.33	22.73	36.29	57.84	91.65	146.10	183.67	231.96	292.21	368.85	465.36	587.47	740.13	873.79
6.00	9.55	15.15	24.19	38.56	61.10	97.40	122.45	154.64	194.81	245.90	310.24	391.64	493.42	582.52
8.00	7.17	11.36	18.15	28.92	45.82	73.05	91.84	115.98	146.10	184.43	232.68	293.73	370.07	436.89
10.00	5.73	9.09	14.52	23.14	36.66	58.44	73.47	92.78	116.88	147.54	186.14	234.99	296.05	349.51
12.00	4.78	7.58	12.10	19.28	30.55	48.70	61.22	77.32	97.40	122.95	155.12	195.82	246.71	291.26
14.00	4.09	6.49	10.37	16.53	26.19	41.74	52.48	66.27	83.49	105.39	132.96	167.85	211.47	249.65
16.00	3.58	5.68	9.07	14.46	22.91	36.53	45.92	57.99	73.05	92.21	116.34	146.87	185.03	218.45
18.00	3.18	5.05	8.06	12.85	20.37	32.47	40.82	51.55	64.94	81.97	103.41	130.55	164.47	194.17
20.00	2.87	4.55	7.26	11.57	18.33	29.22	36.73	46.39	58.44	73.77	93.07	117.49	148.03	174.76
25.00	2.29	3.64	5.81	9.25	14.66	23.38	29.39	37.11	46.75	59.02	74.46	93.99	118.42	139.81
30.00	1.91	3.03	4.84	7.71	12.22	19.48	24.49	30.93	38.96	49.18	62.05	78.33	98.68	116.50
35.00	1.64	2.60	4.15	6.61	10.47	16.70	20.99	26.51	33.40	42.15	53.18	67.14	84.59	99.86
40.00	1.43	2.27	3.63	5.78	9.16	14.61	18.37	23.20	29.22	36.89	46.54	58.75	74.01	87.38
45.00	1.27	2.02	3.23	5.14	8.15	12.99	16.33	20.62	25.97	32.79	41.37	52.22	65.79	77.67
50.00	1.15	1.82	2.90	4.63	7.33	11.69	14.69	18.56	23.38	29.51	37.23	47.00	59.21	69.90
55.00	1.04	1.65	2.64	4.21	6.67	10.63	13.36	16.87	21.25	26.83	33.84	42.72	53.83	63.55
60.00	0.96	1.52	2.42	3.86	6.11	9.74	12.24	15.46	19.48	24.59	31.02	39.16	49.34	58.25
65.00	0.88	1.40	2.23	3.56	5.64	8.99	11.30	14.27	17.98	22.70	28.64	36.15	45.55	53.77
70.00	0.82	1.30	2.07	3.31	5.24	8.35	10.50	13.25	16.70	21.08	26.59	33.57	42.29	49.93
75.00	0.76	1.21	1.94	3.08	4.89	7.79	9.80	12.37	15.58	19.67	24.82	31.33	39.47	46.60
80.00	0.72	1.14	1.81	2.89	4.58	7.31	9.18	11.60	14.61	18.44	23.27	29.37	37.01	43.69
85.00	0.67	1.07	1.71	2.72	4.31	6.88	8.64	10.92	13.75	17.36	21.90	27.65	34.83	41.12
90.00	0.64	1.01	1.61	2.57	4.07	6.49	8.16	10.31	12.99	16.39	20.68	26.11	32.89	38.83
95.00	0.60	0.96	1.53	2.44	3.86	6.15	7.73	9.77	12.30	15.53	19.59	24.74	31.16	36.79
100.00	0.57	0.91	1.45	2.31	3.67	5.84	7.35	9.28	11.69	14.75	18.61	23.50	29.61	34.95
125.00	0.46	0.73	1.16	1.85	2.93	4.68	5.88	7.42	9.35	11.80	14.89	18.80	23.68	27.96
150.00	0.38	0.61	0.97	1.54	2.44	3.90	4.90	6.19	7.79	9.84	12.41	15.67	19.74	23.30
175.00	0.33	0.52	0.83	1.32	2.09	3.34	4.20	5.30	6.68	8.43	10.64	13.43	16.92	19.97
200.00	0.29	0.45	0.73	1.16	1.83	2.92	3.67	4.64	5.84	7.38	9.31	11.75	14.80	17.48
225.00	0.25	0.40	0.65	1.03	1.63	2.60	3.27	4.12	5.19	6.56	8.27	10.44	13.16	15.53
250.00	0.23	0.36	0.58	0.93	1.47	2.34	2.94	3.71	4.68	5.90	7.45	9.40	11.84	13.98
275.00	0.21	0.33	0.53	0.84	1.33	2.13	2.67	3.37	4.25	5.37	6.77	8.54	10.77	12.71
300.00	0.19	0.30	0.48	0.77	1.22	1.95	2.45	3.09	3.90	4.92	6.20	7.83	9.87	11.65
400.00	0.14	0.23	0.36	0.58	0.92	1.46	1.84	2.32	2.92	3.69	4.65	5.87	7.40	8.74

ANEXO 2

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)
Orientación del captador: Sur

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Aguascal	Aguascal	21.9	102.3	4.0	4.9	5.7	6.2	6.5	5.8	6.0	5.8	5.0	4.9	4.5	3.9	3.9	6.5	5.3
Baja Calif.Sur	La paz	24.2	110.0	3.6	4.3	6.0	6.1	6.9	7.0	6.3	6.3	4.9	5.1	4.3	3.3	3.3	7.0	5.3
B. Calif	Mexicali	32.6	115.4	4	4.6	5.4	7.2	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6	4.7	3.9	3.9	8.6	6.1
B. Calif	Sn Javier	25.8	111.6	4.2	4.6	5.3	6.2	6.5	7.1	6.4	6.3	6.4	5.1	4.7	4.7	4.2	7.1	5.6
Baja Calif.Sur	S.JosCab	23.0	109.7	4.4	5.3	6	6.6	6.5	6.6	6.3	6.2	5.9	5.8	4.9	4.2	4.2	6.6	5.7
Campeche	Campeche	19.9	91.5	3.6	4.5	5.4	5.7	6.4	5.7	6.1	5.9	5.2	4.8	4.0	3.5	3.5	6.4	5.0
Chiapas	Arriaga	16.2	93.9	4.7	5.3	5.8	5.7	5.4	4.9	5.8	5.4	4.8	5.0	5.1	4.7	4.7	5.8	5.2
Chiapas	Sn.Cristo	16.7	92.6	4.1	4.7	4.8	4.9	4.9	4.8	5.4	5.5	4.8	4.1	4	3.7	3.7	5.5	4.6
Chiapas	Tapachula	14.95	92.3	4.2	4.6	4.7	4.7	4.6	4.5	5.0	4.9	4.4	4.4	4.3	4.2	4.2	5.0	4.5
Chiapas	TuxtlaGut	16.7	93.1	5.1	5.3	5.9	5.9	5.4	5.2	5.7	5.4	5.1	5.3	5.1	3.7	3.7	5.9	5.2
Chihuahua	Chihuahua	28.6	106.1	3.3	4.4	5.4	5.9	6.6	6.8	6.4	5.9	5.0	4.8	3.9	3.3	3.3	6.8	5.1
Chihuahua	Guachochi	26.8	107.0	4.1	4.9	6	7.5	6.8	8.3	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	3.8	8.3	5.8
Chihuahua	Cd. Juárez	31.7	106.4	4	4.6	5.4	7.2	8.3	8.6	6.9	6.6	6.7	6	4.7	3.9	3.9	8.6	6.1
Coahuila	Pied.Negr.	28.7	100.5	3.1	3.6	4.4	4.7	4.8	7.1	6.7	6.3	5.5	4.1	3.3	2.9	2.9	7.1	4.7
Coahuila	Saltillo	25.4	100.9	3.8	4.2	4.8	5.1	5.6	5.9	5.9	5.6	5.2	4.4	3.6	3.3	3.3	5.9	4.8
Colima	Colima	19.2	103.7	4.1	5.1	5.4	6.1	6.4	5.3	5.5	5.4	4.6	4.8	4.7	4.1	4.1	5.5	4.8
D.F.	Tacubaya	19.4	99.1	4.4	5.3	6.1	6.0	5.7	5.6	4.9	5.1	4.5	4.5	4.5	4.3	4.0	6.1	4.9
Durango	Durango	24.0	104.7	3.6	4.6	5.3	5.9	6.6	6.0	6.1	5.8	4.9	4.7	4.4	3.4	3.9	6.9	5.4
Guanajuato	Guanajuato	14.5	21.6	3.9	4.8	5.6	5.9	6.1	5.4	5.8	5.6	4.9	4.8	4.3	4.1	3.5	6.5	4.9
Guerrero	Acapulco	16.8	99.9	4.6	5.2	5.9	5.9	6.1	5.2	5.9	5.8	5.0	5.2	4.8	4.6	3.9	6.6	5.3
Guerrero	Agua Blan	17.14	100.33	4.6	5.3	5.9	5.9	5.6	5.1	5.3	5.1	4.9	5.1	5	4.7	4.6	5.9	5.2
Guerrero	Chilpancin	17.6	99.5	4.2	5.0	5.5	5.5	5.4	4.8	5.2	5.1	4.5	4.5	4.3	4.1	4.1	5.5	4.8
Hidalgo	Pachuca	20.1	98.7	4.0	4.9	5.3	5.6	6.1	5.3	5.5	5.3	4.6	4.6	4.4	4.0	4.0	6.1	4.9
Jalisco	Colotlan	22.1	103.3	4.0	4.9	5.9	6.3	6.9	6.1	6.0	5.8	5.0	5.0	4.6	3.9	3.9	6.9	5.3
Jalisco	Guadalaja	20.7	103.4	3.5	4.9	5.2	5.9	6.5	5.4	5.2	5.1	5.0	4.9	4.1	3.7	3.5	6.5	4.9
Jalisco	L.deMore	21.4	101.9	3.9	4.9	5.8	6.4	6.6	6.1	6.0	5.6	5.1	5.0	4.5	3.9	3.9	6.6	5.3
Jalisco	Puert Vall	26.6	105.2	4.1	4.9	6	7.5	6.8	8.3	6.8	6.2	5.7	5.2	4.6	3.8	3.8	8.3	5.8
México	Chapingo	19.5	98.9	4.1	4.9	5.4	5.9	5.9	5.2	5.3	5.3	4.7	4.8	4.4	3.9	3.9	5.9	4.9

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)

Orientación del captador: Sur

Colector Horizontal

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Michoacán	Morelia	19.7	101.2	3.0	3.9	4.3	4.5	4.4	4.3	4.5	4.2	3.8	3.7	3.6	3.4	3.0	4.5	3.9
Morelos	Temixco	18.8	99.2	4.7	5.3	5.9	6.1	5.7	5.3	4.9	4.9	4.7	4.5	4.2	3.8	3.8	6.1	5
Nayarit	Tepic	21.5	4.9	3.8	4.8	5.5	6.3	6.6	5.4	5.4	5.1	4.6	4.6	4.2	3.6	3.6	6.6	4.9
Nuevo León	Monterrey	25.7	100.3	2.7	3.4	4.3	4.5	4.8	4.8	5.4	4.7	3.9	3.2	3.1	2.5	2.5	5.4	3.9
Oaxaca	Oaxaca	17.0	96.7	4.9	5.7	5.8	5.9	6	5.4	5.9	5.6	5	4.9	4.8	4.4	4.4	6	5.3
Oaxaca	Salina Cruz	16.1	95.1	5.4	5.3	6.6	6.4	6.1	5	5.6	5.9	5.2	5.9	5.7	5.2	5	6.6	5.7
Puebla	Puebla	19.0	98.2	4.1	4.9	5.5	5.7	5.7	5.1	5.5	5.5	4.8	4.9	4.5	4.3	4.1	5.7	5.0
Querétaro	Querétaro	20.5	100.3	4.4	5.1	6.1	6.3	6.6	6	6	5.9	5.8	5.2	4.8	4.4	4.4	6.6	5.5
Quintana Roo	Chetumal	18.5	88.3	4.1	4.9	5.6	5.8	6.3	5.5	5.8	5.6	4.7	4.4	4.2	3.9	3.9	6.3	5.1
Quintana Roo	Cozumel	20.5	87.0	3.8	4.4	5.4	5.8	6.2	5.7	5.9	5.5	4.7	4.4	3.9	3.6	3.6	6.2	4.9
Sn.LuisPotosi	Río Verde	21.9	100.0	3.4	4.1	5.0	5.1	5.5	5.2	5.6	5.3	4.6	4.5	3.8	3.4	3.4	5.6	4.6
Sn.LuisPotosi	Sn.Luis Pot	22.1	101.0	3.6	4.5	5.1	5.6	5.7	5.2	5.9	5.5	4.8	4.3	4.0	3.4	3.4	5.5	4.8
Sinaloa	Culiacán	24.8	107.4	3.6	4.2	5.9	6.4	6.2	7.1	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	7.1	5.1
Sinaloa	Los Mochis	25.7	108.9	3.6	4.2	5.9	6.4	6.2	7.1	5.4	5.1	5.2	4.6	4.2	3.4	3.4	7.1	5.1
Sinaloa	Mazatlán	23.2	106.4	3.9	4.8	5.4	5.7	5.7	5.6	4.8	4.9	4.7	5	4.5	3.9	3.9	5.7	4.9
Sonora	Ciu Obrego	27.5	109.9	3.4	4.1	5.3	5.9	6.5	6.4	6.2	5.9	5.2	4.8	3.9	3.4	3.4	6.5	5.1
Sonora	Guaymas	27.9	110.9	3.4	4.2	5.0	5.7	6.5	6.8	6.1	5.9	5.1	4.6	4.0	3.3	3.3	6.8	5.1
Sonora	Hermosillo	29.1	111.0	3.3	4.2	5.0	6.1	7.4	7.7	6.7	6.6	5.6	5.0	3.9	3.4	3.3	7.7	5.4
Tamaulipas	Soto la Ma	23.8	98.2	3.2	4.2	4.9	5.6	5.5	6.1	6.3	6.4	5.2	4.4	3.8	3.2	3.2	6.4	4.9
Tamaulipas	Tampico	22.2	97.8	3.0	3.9	4.7	5.0	5.4	5.5	5.4	5.5	4.8	4.3	3.8	3.1	3.0	5.5	4.5
Tlaxcala	Tlaxcala	19.3	98.2	4.6	5.1	5.5	5.6	5.6	5.3	5.3	5.2	5.1	3.8	4.7	4.4	3.8	5.6	5.0
Veracruz	Córdoba	18.9	96.9	2.8	3.0	3.6	3.4	3.4	3.8	4.0	3.8	3.7	3.1	2.7	3.1	2.7	4.0	3.4
Veracruz	Jalapa	19.5	96.9	3.4	3.9	4.7	4.7	4.9	4.6	5.0	4.9	4.1	4.0	3.7	3.2	3.2	5.0	4.6
Veracruz	Veracruz	19.2	96.1	3.4	4.0	5.0	5.3	5.5	5.3	5.5	5.5	4.8	4.5	3.9	3.3	3.3	5.5	4.6
Yucatán	Mérida	20.9	89.6	3.7	4	4.6	5.2	5.7	5.5	5.7	5.4	5	4.2	3.8	3.4	3.4	5.7	4.7
Yucatán	Progreso	21.2	89.6	4.1	4.9	5.4	5.5	5.3	5.1	5.3	5.3	5	5	4.4	3.4	3.4	5.5	4.9
Yucatán	Valladolid	20.6	88.1	3.9	4.6	5.3	5.7	5.7	5.3	5.4	5.4	4.9	4.4	4	3.4	3.4	5.7	4.8
Zacatecas	Zacatecas	22.7	102.5	4.9	5.7	6.6	7.5	7.8	6.2	6.2	5.9	5.4	4.8	5	4.1	4.1	7.8	5.8

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)

Orientación del captador: Sur

Inclinación del colector: Latitud

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Aguascal	Aguasc	21.9	102.9	5.6	6.3	6.8	6.7	6.6	5.8	6.0	6.1	5.7	6.2	6.2	5.7	5.6	6.8	6.1
Baja Calif.Sur	La paz	24.2	110.0	5.1	5.7	7.2	6.6	7.0	6.9	6.3	6.7	5.6	6.5	6.2	4.9	4.9	7.2	6.2
B. Calif	Mexicali	32.6	115.4	6.7	6.5	6.3	7.3	7.5	7.5	6.2	6.3	7.5	8.3	7.8	6.7	6.2	8.3	7.0
B. Calif	Sn Javier	25.8	111.6	5.8	5.7	5.8	6.1	5.9	6.3	5.7	6.0	6.8	6.1	6.3	6.8	5.7	6.8	6.1
Baja Calif.Sur	S.JosCab	23.0	109.7	5.7	6.4	6.5	6.5	6	5.9	5.7	5.9	6.1	6.7	6.4	5.5	5.5	6.7	6.1
Campeche	Campeche	19.9	91.5	4.6	5.7	6.3	6.1	6.5	5.6	6.1	6.2	5.8	5.9	5.2	4.7	4.6	6.5	5.7
Chiapas	Arriaga	16.2	93.9	6.0	6.5	6.6	6.2	5.6	4.9	5.8	5.7	5.3	5.9	6.5	6.2	4.9	6.6	5.9
Chiapas	Sn.Cristo	16.7	92.6	4.7	5.2	5	4.8	4.6	4.5	5	5.2	4.8	4.4	4.5	4.3	4.3	5.2	4.7
Chiapas	Tapachula	14.9	92.3	4.2	4.9	5.2	5.5	5.8	5.9	6.5	5.9	4.9	4.7	4.4	4.2	4.2	6.5	5.1
Chiapas	TuxtlaGut	16.7	93.1	6.1	6	6.2	5.7	5.1	4.8	5.2	5.2	5.2	5.8	5.9	4.3	4.3	6.2	5.4
Chihuahua	Chihuahua	28.6	106.1	5.2	6.3	6.8	6.6	6.7	6.6	6.3	6.3	5.8	6.5	6.1	5.5	5.2	6.8	6.2
Chihuahua	Guachochi	26.8	107.0	5.8	6.3	6.8	7.4	6.2	7.3	6.1	5.9	6	6.3	6.3	5.4	5.4	7.4	6.3
Chihuahua	Cd. Juárez	31.7	106.4	6.3	6.3	6.2	7.3	7.5	7.5	6.2	6.3	7.4	8	7.4	6.3	6.2	8	6.9
Coahuila	Pied.Negr.	28.7	100.9	4.3	4.5	4.9	4.7	4.4	6.2	5.9	6	5.8	4.9	4.4	4.1	4.1	6.2	5.0
Coahuila	Saltillo	25.4	100.5	5	5.1	5.3	5	5.1	5.3	5.3	5.4	5.5	5.1	4.6	4.5	4.5	5.5	5.1
Colima	Colima	19.2	103.7	5.4	6.4	6.3	6.6	6.5	5.3	5.5	5.7	5.1	5.8	6.2	5.6	5.1	6.6	5.8
D.F.	Tacubaya	19.4	99.1	6.0	6.7	7.1	6.5	5.9	5.6	5.0	5.4	4.9	5.4	5.9	5.8	5.0	7.1	5.8
Durango	Durango	24.0	104.7	5.1	6.1	6.4	6.5	6.7	5.9	6.0	6.1	5.5	6.6	6.3	5.0	5.0	6.7	5.9
Guanajuato	Guanajuato	14.5	21.6	4.8	5.8	6.3	6.3	6.2	5.4	5.9	5.9	5.3	5.5	5.2	5.2	4.8	6.3	5.6
Guerrero	Acapulco	16.8	99.9	5.9	6.4	6.8	6.4	6.2	5.2	5.9	6.1	5.5	6.2	6.1	6.0	5.2	6.8	6.0
Guerrero	Agua Blan			5.5	6	6.2	5.8	5.3	4.7	4.9	4.8	5	5.5	5.9	5.7	4.7	6.2	5.4
Guerrero	Chilpancin	17.6	99.5	5.4	6.2	6.4	5.9	5.6	4.8	5.3	5.3	4.9	5.3	5.5	5.4	4.8	6.4	5.5
Hidalgo	Pachuca	20.1	98.7	5.4	6.2	6.2	6.0	6.2	5.3	5.5	5.6	5.1	5.7	5.8	5.5	5.3	6.2	5.7
Jalisco	Colotlan	22.1	103.3	5.6	6.4	7.0	6.8	7.0	6.0	6.0	6.1	5.7	6.3	6.4	5.7	5.6	7.0	6.2
Jalisco	Guadalaja	20.7	103.4	4.6	6.2	6.1	6.4	6.6	5.4	5.2	5.4	5.6	6.0	5.4	5.2	4.6	6.6	5.6
Jalisco	L.deMore	21.4	101.9	5.4	6.3	6.8	7.0	6.7	6.1	6.0	6.0	5.7	6.2	6.1	5.5	5.4	7.0	6.1
Jalisco	Puert Vall	20.6	105.2	5.7	6.2	6.7	7.4	6.2	7.3	6.1	5.9	6	6.3	6.2	5.3	5.3	7.4	6.2
México	Chapingo	19.5	98.9	5.4	6.1	6.3	6.4	6.0	5.2	5.3	5.6	5.2	5.9	5.8	5.4	5.2	6.4	5.7

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)
Orientación del captador: Sur
Inclinación del colector: Latitud

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Michoacán	Morelia	19.7	101.2	3.7	4.7	4.8	4.7	4.4	4.2	4.5	4.4	4.1	4.3	4.5	4.5	3.7	4.8	4.4
Morelos	Temixco	18.8	99.2	5.8	6	6.3	6	5.3	4.8	4.5	4.7	4.8	4.9	4.9	4.6	4.5	6.3	5.2
Nayarit	Tepic	21.5	4.9	5.2	6.2	6.5	6.8	6.7	5.3	5.4	5.4	5.1	5.8	5.7	5.1	5.1	6.8	5.7
Nuevo León	Monterrey	25.7	100.3	3.7	4.4	5.0	4.8	4.8	4.7	5.4	4.9	4.3	3.8	4.3	3.5	3.5	5.4	4.4
Oaxaca	Oaxaca	17.0	96.7	5.8	6.4	6.1	5.8	5.6	5	5.4	5.4	5.1	5.4	5.6	5.3	5	6.4	5.5
Oaxaca	Salina Cruz	16.1	95.1	6.4	5.9	6.9	6.3	5.7	4.6	5.2	5.7	5.2	6.4	6.7	6.2	4.6	6.9	5.9
Puebla	Puebla	19.0	98.2	5.4	6.1	6.3	6.1	5.8	5.1	5.5	5.8	5.4	5.9	6.0	5.8	5.1	6.3	5.7
Querétaro	Querétaro	20.5	100.3	5.6	5.9	6.5	6.1	6.1	5.4	5.4	5.7	5.9	5.8	5.9	5.6	5.4	6.5	5.8
Quintana Roo	Chetumal	18.5	88.3	5.3	6.0	6.5	6.3	6.5	5.5	5.8	5.9	5.2	5.3	5.4	5.3	5.2	6.5	5.7
Quintana Roo	Cozumel	20.5	87.0	5.1	5.5	6.3	6.3	6.3	5.6	5.9	5.8	5.2	5.4	5.2	4.9	4.9	6.3	5.6
Sn.LuisPotosi	Río Verde	21.9	100.0	4.6	5.2	5.8	5.4	5.6	5.1	5.6	5.6	5.1	5.6	5.1	4.7	4.6	5.8	5.2
Sn.LuisPotosi	Sn.Luis Pot	22.1	101.0	4.9	5.8	5.9	6.0	5.8	5.1	5.9	5.8	5.3	5.2	5.4	4.7	4.7	6.0	5.4
Sinaloa	Culiacán	24.8	107.4	4.8	5	6.5	6.3	5.7	6.3	4.9	4.8	5.4	5.4	5.4	4.6	4.6	6.5	5.4
Sinaloa	Los Mochis	25.7	108.9	4.9	5.1	6.6	6.3	5.7	6.3	4.8	4.8	5.4	5.5	5.5	4.7	4.7	6.6	5.4
Sinaloa	Mazatlán	23.2	106.4	5.1	5.7	5.8	5.6	5.2	5	4.4	4.7	4.9	5.8	5.7	5.1	4.4	5.8	5.2
Sonora	Ciu Obrego	27.5	109.9	5.2	5.6	6.6	6.5	6.5	6.2	6.2	6.3	6.1	6.5	6.0	5.4	5.2	6.6	6.1
Sonora	Guaymas	27.9	110.9	5.3	5.8	6.2	6.3	6.6	6.6	6.1	6.3	6.0	6.2	6.1	5.3	5.3	6.6	6.0
Sonora	Hermosillo	29.1	111.0	5.1	6.0	6.2	6.7	7.5	7.4	6.7	7.0	6.7	6.9	6.2	5.7	5.1	7.5	6.5
Tamaulipas	Soto la Ma	23.8	98.2	4.4	5.4	5.8	6.0	5.6	6.0	6.3	6.8	5.9	5.6	5.3	4.6	4.4	6.8	5.6
Tamaulipas	Tampico	22.2	97.8	4.0	4.9	5.4	5.3	5.5	5.5	5.5	5.8	5.5	5.3	5.1	4.3	4.0	5.8	5.1
Tlaxcala	Tlaxcala	19.3	98.2	5.7	5.9	5.8	5.4	5.2	4.8	4.9	5	5.2	4.1	5.6	5.4	4.1	5.9	5.2
Veracruz	Córdoba	18.9	96.9	3.4	3.5	3.9	3.6	3.5	3.8	4.0	3.9	4.0	3.5	3.2	3.9	3.2	4.0	3.7
Veracruz	Jalapa	19.5	96.9	4.3	4.7	5.3	5.0	5.0	4.5	5.0	5.1	4.5	4.7	4.8	4.1	4.1	5.3	4.7
Veracruz	Veracruz	19.2	96.1	4.4	4.8	5.7	5.7	5.6	5.3	5.5	5.8	5.4	5.4	5.0	4.3	4.3	5.8	5.2
Yucatán	Mérida	20.9	89.6	4.5	4.6	4.9	5.1	5.3	5	5.2	5.1	5.1	4.7	4.5	4.3	4.3	5.3	4.8
Yucatán	Progreso	21.2	89.6	5.2	5.7	5.7	5.4	4.9	4.7	4.8	5.1	5.1	5.6	5.3	4.3	4.3	5.7	5.1
Yucatán	Valladolid	20.6	88.1	4.8	5.3	5.6	5.5	5.3	4.8	5	5.1	5	4.9	4.8	4.3	4.3	5.6	5.0
Zacatecas	Zacatecas	22.7	102.5	6.5	6.9	7.2	7.4	7.1	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5	6.4	5.5	5.5	7.4	6.2

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)

Orientación del captador: Sur

Inclinación del colector: Latitud -15

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Aguascal	Aguasc	21.9	102.3	4.8	5.7	6.5	6.9	7.1	6.3	6.5	6.3	5.6	5.8	5.4	4.8	4.8	7.1	5.9
Baja Calif. Sur	La paz	24.2	110.0	4.4	5.2	6.9	6.8	7.5	7.5	6.8	7.0	5.6	6.0	5.4	4.2	4.2	7.5	6.1
B. Calif	Mexicali	32.6	115.4	5.6	5.9	6.1	7.5	8.1	8.2	6.7	6.6	7.4	7.5	6.6	5.6	5.6	8.2	6.8
B. Calif	Sn Javier	25.8	11.6	4.9	5.2	5.6	6.3	6.4	6.8	6.2	6.3	6.7	5.7	5.5	5.7	4.9	6.8	5.9
Baja Calif.Sur	S.JosCab	23.0	109.7	4.9	5.7	6.2	6.7	6.4	6.4	6.2	6.2	6.1	6.2	5.5	4.7	4.7	6.7	5.9
Campeche	Campeche	19.9	91.5	4.1	5.2	6.1	6.3	6.9	6.1	6.6	6.4	5.7	5.5	4.6	4.1	4.1	6.9	5.6
Chiapas	Arriaga	16.2	93.9	5.2	5.9	6.3	6.3	5.9	5.3	6.3	5.9	5.2	5.5	5.7	5.2	5.2	6.3	5.7
Chiapas	Sn.Cristo	16.7	92.6	4.1	4.8	4.9	4.9	4.9	4.8	5.4	5.5	4.8	4.1	4	3.7	3.7	5.5	4.6
Chiapas	Tapachula	14.9	92.3	4.5	5.0	5.1	5.1	5.1	5.0	5.5	5.3	4.8	4.8	4.6	4.5	4.5	5.5	4.9
Chiapas	TuxtlaGut	16.7	93.1	5.2	5.4	6	5.9	5.4	5.2	5.7	5.4	5.1	5.4	5.2	3.7	3.7	6	5.3
Chihuahua	Chihuahua	28.6	106.1	4.5	5.7	6.6	6.7	7.2	7.2	6.8	6.6	5.8	6.0	5.3	4.6	4.5	7.2	6.1
Chihuahua	Guachochi	26.8	107.0	4.9	5.7	6.5	7.6	6.7	8	6.6	6.2	6	5.8	5.4	4.6	4.6	8	6.1
Chihuahua	Cd. Juárez	31.7	106.4	5.3	5.7	6	7.5	8.1	8.2	6.7	6.6	7.3	7.3	6.3	5.3	5.3	8.2	6.7
Coahuila	Pied.Negr.	28.7	100.5	3.8	4.1	4.8	4.8	4.7	6.8	6.4	6.2	5.8	4.6	3.9	3.5	3.5	6.8	4.9
Coahuila	Saltillo	25.4	100.9	4.4	4.7	5.1	5.2	5.4	5.7	5.8	5.6	5.4	4.8	4.1	3.9	3.9	5.8	5.0
Colima	Colima	19.2	103.7	4.7	5.8	6.1	6.8	7.0	5.7	6.0	6.0	5.1	5.4	5.4	4.8	4.7	7.0	5.7
D.F.	Tacubaya	19.4	99.1	5.2	6.1	6.8	6.7	6.2	6.0	5.3	5.6	4.9	5.0	5.2	4.9	4.9	6.8	5.6
Durango	Durango	24.0	104.7	4.5	5.6	6.2	6.6	7.1	6.4	6.5	6.3	5.5	5.6	5.5	4.3	4.3	7.1	5.8
Guanajuato	Guanajuato	14.5	21.6	4.3	5.3	6.1	6.5	6.7	5.9	6.4	6.2	5.3	5.2	4.7	4.5	4.3	6.7	5.6
Guerrero	Acapulco	16.8	99.9	5.1	5.8	6.6	6.5	6.7	5.7	6.4	6.4	5.4	5.7	5.3	5.1	5.1	6.7	5.9
Guerrero	Agua Blan			4.7	5.4	6	5.9	5.6	5.1	5.2	5	5	5.1	5.1	4.8	4.7	6	5.2
Guerrero	Chilpancin	17.6	99.5	4.7	5.6	6.1	6.0	5.9	5.2	5.7	5.5	4.9	5.0	4.9	4.7	4.7	6.1	5.3
Hidalgo	Pachuca	20.1	98.7	4.7	5.7	6.0	6.2	6.6	5.7	6.0	5.8	5.1	5.3	5.1	4.7	4.7	6.6	5.5
Jalisco	Colotlan	22.1	103.3	4.8	5.8	6.7	7.0	7.5	6.5	6.5	6.3	5.6	5.9	5.5	4.8	4.8	7.5	6.1
Jalisco	Guadalajara	20.7	103.4	4.3	5.4	6.1	6.6	7.2	6.5	6.6	6.3	5.4	5.5	5.3	4.1	4.1	7.2	5.7
Jalisco	L.deMore	21.4	101.9	4.7	5.7	6.5	7.1	7.2	6.6	6.5	6.2	5.6	5.7	5.3	4.7	4.7	7.2	5.9
Jalisco	Puert Vall	20.6	105.2	4.9	5.6	6.5	7.6	6.7	8	6.6	6.2	6	5.8	5.4	4.5	4.5	8	6.1
México	Chapingo	19.5	98.9	4.7	5.6	6.1	6.5	6.5	5.6	5.7	5.8	5.2	5.5	5.2	4.6	4.6	6.5	5.6

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)

Orientación del captador: Sur

Inclinación del colector: Latitud -15

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Michoacán	Morelia	19.7	101.2	3.3	4.4	4.7	4.8	4.7	4.5	4.8	4.5	4.0	4.1	4.1	3.9	3.3	4.8	4.3
Morelos	Temixco	18.8	99.2	5	5.5	6.1	6.1	5.6	5.2	4.9	4.9	4.8	4.6	4.4	4	4	6.1	5.1
Nayarit	Tepic	21.5	4.9	4.6	5.7	6.2	7.0	7.2	5.8	5.9	5.6	5.1	5.4	5.0	4.4	4.4	7.2	5.6
Nuevo León	Monterrey	25.7	100.3	3.3	4.1	4.9	4.9	5.1	5.1	5.8	5.1	4.3	3.6	3.9	3.1	3.3	5.8	4.4
Oaxaca	Oaxaca	17.0	96.7	5	5.8	5.9	5.9	5.9	5.4	5.8	5.6	5.1	5	4.9	4.6	4.6	5.9	5.4
Oaxaca	Salina Cruz	16.1	95.1	5.5	5.4	6.7	6.4	6.1	5	5.6	5.9	5.2	5.9	5.8	5.2	5	6.7	5.7
Puebla	Puebla	19.0	98.2	4.7	5.6	6.1	6.3	6.2	5.5	5.9	6.1	5.3	5.5	5.2	5.0	4.7	6.3	5.6
Querétaro	Querétaro	20.5	100.3	4.8	5.4	6.2	6.3	6.5	5.9	5.9	5.9	5.8	5.4	5.1	4.7	4.7	6.5	5.6
Quintana Roo	Chetumal	18.5	88.3	4.7	5.5	6.2	6.4	6.9	6.0	6.3	6.2	5.2	5.0	4.8	4.6	4.6	6.9	5.6
Quintana Roo	Cozumel	20.5	87.0	4.5	5.1	6.1	6.4	6.7	6.1	6.3	6.1	5.2	5.1	4.6	4.2	4.2	6.7	5.5
Sn.LuisPotosi	Río Verde	21.9	100.0	4.0	4.8	5.6	5.6	6.0	5.5	6.0	5.8	5.1	5.2	4.5	4.1	4.0	6.0	5.1
Sn.LuisPotosi	Sn.Luis Pot	22.1	101.0	4.2	5.3	5.7	6.2	6.2	5.5	6.4	6.1	5.3	4.9	4.7	4.0	4.0	6.4	5.3
Sinaloa	Culiacán	24.8	107.4	4.2	4.6	6.3	6.5	6.1	6.9	5.2	5	5.4	5	4.7	3.9	3.9	6.9	5.3
Sinaloa	Los Mochis	25.7	108.9	4.2	4.7	6.3	6.5	6.1	6.9	5.2	5	5.4	5.1	4.8	4	4	6.9	5.3
Sinaloa	Mazatlán	23.2	106.4	4.4	5.2	5.6	5.7	5.6	5.5	4.7	4.9	4.8	5.4	5	4.4	4.4	5.7	5.1
Sonora	Ciu Obrego	27.5	109.9	4.5	5.1	6.4	6.6	7.0	6.8	6.7	6.6	6.0	6.0	5.2	4.6	4.5	7.0	5.9
Sonora	Guaymas	27.9	110.9	4.6	5.3	6.0	6.4	7.0	7.2	6.6	6.6	5.9	5.7	5.3	4.5	4.5	7.2	5.9
Sonora	Hermosillo	29.1	111.0	4.4	5.4	6.0	6.9	8.0	8.2	7.2	7.3	6.6	6.4	5.3	4.8	4.4	8.2	6.3
Tamaulipas	Soto la Ma	23.8	98.2	3.9	5.0	5.6	6.2	6.0	6.5	6.8	7.1	5.8	5.2	4.6	3.9	3.9	7.1	5.5
Tamaulipas	Tampico	22.2	97.8	3.5	4.5	5.3	5.5	5.8	5.9	5.9	6.1	5.4	5.0	4.6	3.7	3.5	6.1	5.1
Tlaxcala	Tlaxcala	19.3	98.2	4.9	5.3	5.6	5.6	5.6	5.2	5.3	5.2	5.2	3.8	4.9	4.6	3.8	5.6	5.1
Veracruz	Córdoba	18.9	96.9	3.1	3.3	3.8	3.6	3.6	4.0	4.3	4.1	3.9	3.4	3.0	3.4	3.0	4.3	3.6
Veracruz	Jalapa	19.5	96.9	3.8	4.4	5.2	5.1	5.3	4.9	5.4	5.3	4.5	4.4	4.3	3.6	3.6	5.4	4.7
Veracruz	Veracruz	19.2	96.1	3.9	4.5	5.5	5.8	6.0	5.7	6.0	6.1	5.3	5.1	4.4	3.8	3.8	6.1	5.2
Yucatán	Mérida	20.9	89.6	4	4.2	4.7	5.2	5.6	5.4	5.6	5.3	5.1	4.4	4	3.7	3.7	5.6	4.7
Yucatán	Progreso	21.2	89.6	4.5	5.2	5.5	5.5	5.3	5	5.2	5.3	5.1	5.2	4.7	3.7	3.7	5.5	5.0
Yucatán	Valladolid	20.6	88.1	4.1	4.9	5.4	5.7	5.6	5.2	5.4	5.3	4.9	4.6	4.3	3.7	3.7	5.7	4.9
Zacatecas	Zacatecas	22.7	102.5	5.5	6.2	6.9	7.6	7.6	6.1	6	5.9	5.5	5.1	5.5	4.7	4.7	7.6	6.0

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)

Orientación del captador: Sur

Inclinación del colector: Latitud +15

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Aguascal	Aguasc	21.9	102.3	6.0	6.5	6.7	6.3	5.8	5.0	5.3	5.5	5.5	6.3	6.6	6.2	5.0	6.7	5.9
Baja Calif.Sur	La paz	24.2	110.0	5.5	5.8	7.2	6.2	6.2	5.9	5.5	6.1	5.4	6.7	6.6	5.3	5.3	7.2	6.0
B. Calif	Mexicali	32.6	115.4	7.3	6.8	6.2	6.8	6.6	6.4	5.4	5.7	7.2	8.6	8.5	7.5	5.4	8.6	6.9
B. Calif	Sn Javier	25.8	11.6	6.3	5.9	5.7	5.6	5.3	5.5	5.0	5.4	6.5	6.2	6.8	7.6	5.0	7.6	5.9
Baja Calif.Sur	S.JosCab	23.0	109.7	6.2	6.6	6.4	6	5.3	5.1	5	5.4	5.9	6.9	6.9	6.1	5	6.9	5.9
Campeche	Campeche	19.9	91.5	4.9	5.8	6.2	5.7	5.7	4.9	5.4	5.6	5.6	6.0	5.5	5.1	4.9	6.2	5.5
Chiapas	Arriaga	16.2	93.9	6.5	6.8	6.5	5.7	5.0	4.4	5.1	5.2	5.1	6.0	7.0	6.7	5.0	7.0	5.8
Chiapas	Sn.Cristo	16.7	92.6	5.1	5.4	4.9	4.4	4.1	4	4.4	4.8	4.6	4.4	4.8	4.6	4	5.4	4.6
Chiapas	Tapachula	14.9	92.3	3.8	4.5	5.0	5.5	6.1	6.4	7.0	6.1	4.8	4.4	4.0	3.8	3.8	7.0	5.1
Chiapas	TuxtlaGut	16.7	93.1	6.6	6.2	6.1	5.3	4.5	4.2	4.6	4.7	5	5.9	6.3	4.6	4.2	6.6	5.3
Chihuahua	Chihuahua	28.6	106.1	5.6	6.5	6.7	6.1	5.9	5.7	5.5	5.8	5.6	6.6	6.6	6.0	5.5	6.7	6.0
Chihuahua	Guachochi	26.8	107.0	6.3	6.5	6.6	6.9	5.5	6.3	5.3	5.4	5.8	6.5	6.7	5.8	5.3	6.9	6.1
Chihuahua	Cd. Juárez	31.7	106.4	6.9	6.6	6.1	6.7	6.6	6.4	5.4	5.7	7.1	8.3	8	7	5.4	8.3	6.7
Coahuila	Pied.Negr.	28.7	100.5	4.7	4.6	4.8	4.3	4	5.4	5.2	5.4	5.6	5	4.7	4.4	4	5.6	4.8
Coahuila	Saltillo	25.4	100.9	5.4	5.3	5.1	4.7	4.6	4.6	4.7	4.9	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	5.4	4.9
Colima	Colima	19.2	103.7	5.8	6.6	6.2	6.2	5.8	4.7	4.9	5.3	4.9	5.9	6.6	6.1	4.9	6.6	5.7
D.F.	Tacubaya	19.4	99.1	6.4	7.0	7.1	6.1	5.2	4.9	4.4	4.9	4.8	5.5	6.3	6.4	4.4	7.1	5.7
Durango	Durango	24.0	104.7	5.5	6.3	6.3	6.0	5.9	5.1	5.3	5.6	5.3	6.1	6.8	5.4	5.1	6.8	5.8
Guanajuato	Guanajuato	14.5	21.6	5.1	5.9	6.2	5.9	5.5	4.7	5.1	5.4	5.1	5.6	5.5	5.6	4.7	6.2	5.4
Guerrero	Acapulco	16.8	99.9	6.4	6.6	6.7	5.9	5.5	4.6	5.2	5.6	5.3	6.3	6.5	6.6	4.6	6.7	5.9
Guerrero	Agua Blan			5.9	6.2	6.1	5.4	4.7	4.2	4.3	4.4	4.8	5.6	6.3	6.2	4.2	6.3	5.3
Guerrero	Chilpancin	17.6	99.5	5.8	6.4	6.3	5.5	5.0	4.3	4.7	4.9	4.7	5.4	5.9	5.8	4.3	6.4	9.8
Hidalgo	Pachuca	20.1	98.7	5.8	6.5	6.1	5.6	5.5	4.7	4.9	5.1	4.9	5.7	6.2	6.0	4.7	6.5	5.5
Jalisco	Colotlan	22.1	103.3	6.0	6.7	6.9	6.4	6.2	5.2	5.3	5.6	5.5	6.5	6.8	6.2	5.2	6.9	6.1
Jalisco	Guadalaja	20.7	103.4	4.9	6.4	6.0	5.9	5.8	4.7	4.6	4.9	5.4	6.1	5.8	5.8	4.6	6.4	5.5
Jalisco	L.deMore	21.4	101.9	5.8	6.5	6.7	6.5	6.0	5.3	5.3	5.5	5.5	6.3	6.5	6.1	5.3	6.7	6.3
Jalisco	Puert Vall	20.6	105.2	6.2	6.5	6.6	6.9	5.5	6.3	5.3	5.4	5.8	6.4	6.7	5.8	5.3	6.9	6.1
México	Chapingo	19.5	98.9	5.8	6.3	6.2	5.9	5.4	4.5	4.7	5.1	5.0	6.0	6.2	5.9	4.5	6.3	5.6

“INSOLACIÓN GLOBAL”

Valores de insolación global promedio diario mensual en kWh/m² (o en horas pico)

Orientación del captador: Sur

Inclinación del colector: Latitud +15

ESTADO	CIUDAD	LAT	LONG	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEPT	OCT	NOV	DIC	MIN	MAX	PROM
Michoacán	Morelia	19.7	101.2	3.9	4.8	4.8	4.5	4.0	3.8	4.0	4.1	3.9	4.3	4.8	4.8	3.9	4.8	4.3
Morelos	Temixco	18.8	99.2	6.3	6.3	6.2	5.5	4.7	4.2	4	4.3	4.6	5	5.2	5	4	6.3	5.1
Nayarit	Tepic	21.5	4.9	5.6	6.4	6.4	6.3	5.9	4.7	4.8	4.9	4.9	5.8	6.0	5.6	4.7	6.4	5.6
Nuevo León	Monterrey	25.7	100.3	4.0	4.5	5.0	4.5	4.3	4.2	4.7	4.5	4.2	3.8	4.6	3.8	3.8	5.0	4.3
Oaxaca	Oaxaca	17.0	96.7	6.4	6.7	6	5.4	5	4.4	4.8	4.9	4.9	5.5	6	5.8	4.4	6.7	5.4
Oaxaca	Salina Cruz	16.1	95.1	7	6.2	6.8	5.8	5	4.1	4.6	5.2	5	6.6	7.2	6.8	4.1	7.2	5.8
Puebla	Puebla	19.0	98.2	5.8	6.3	6.3	5.7	5.2	4.5	4.9	5.3	5.2	6.0	6.3	6.4	4.5	6.3	5.6
Querétaro	Querétaro	20.5	100.3	6	6.1	6.4	5.7	5.4	4.7	4.8	5.2	5.7	5.9	6.3	6.1	4.7	6.4	5.7
Quintana Roo	Chetumal	18.5	88.3	5.7	6.2	6.4	5.8	5.7	4.8	5.1	5.4	5.0	5.4	5.7	5.7	4.8	6.4	5.5
Quintana Roo	Cozumel	20.5	87.0	5.4	5.7	6.2	5.8	5.6	4.9	5.2	5.3	5.0	5.5	5.5	5.3	4.9	6.2	5.4
Sn.LuisPotosi	Río Verde	21.9	100.0	4.9	5.4	5.7	5.1	5.0	4.5	4.9	5.1	4.9	5.7	5.4	5.1	4.5	5.7	5.5
Sn.LuisPotosi	Sn.Luis Pot	22.1	101.0	5.2	6.0	5.9	5.6	5.2	4.5	5.2	5.3	5.2	5.3	5.7	5.1	4.5	6.0	5.3
Sinaloa	Culiacán	24.8	107.4	5.2	5.2	6.4	5.8	5.1	5.5	4.3	4.4	5.2	5.5	5.8	4.9	4.3	6.4	5.2
Sinaloa	Los Mochis	25.7	108.9	5.3	5.3	6.5	5.8	5.1	5.5	4.3	4.4	5.2	5.5	5.9	5.1	4.3	6.5	5.3
Sinaloa	Mazatlán	23.2	106.4	5.5	5.9	5.7	5.2	4.7	4.4	3.9	4.3	4.7	5.9	6.1	5.5	3.9	6.1	5.1
Sonora	Ciu Obrego	27.5	109.9	5.6	5.7	6.5	6.0	5.8	5.4	5.4	5.8	5.9	6.6	6.4	5.9	5.4	6.6	5.9
Sonora	Guaymas	27.9	110.9	5.7	6.0	6.1	5.8	5.8	5.7	5.3	5.8	5.8	6.3	6.5	5.8	5.8	6.5	5.8
Sonora	Hermosillo	29.1	111.0	5.5	6.2	6.1	6.3	6.6	6.3	5.8	6.4	6.5	7.1	6.6	6.2	5.5	7.1	6.3
Tamaulipas	Soto la Ma	23.8	98.2	4.7	5.6	5.7	5.6	5.0	5.2	5.5	6.2	5.7	5.7	5.6	4.9	4.7	6.2	5.4
Tamaulipas	Tampico	22.2	97.8	4.2	5.0	5.3	5.0	4.9	4.8	4.8	5.3	5.3	5.4	5.5	4.6	4.2	5.5	5.0
Tlaxcala	Tlaxcala	19.3	98.2	6.2	6.1	5.7	5	4.7	4.2	4.3	4.5	5	4.1	6	5.9	4.1	6.2	5.1
Veracruz	Córdoba	18.9	96.9	3.6	3.5	3.8	3.4	3.2	3.4	3.6	3.7	3.8	3.5	3.3	4.1	3.2	4.1	3.5
Veracruz	Jalapa	19.5	96.9	4.5	4.8	5.2	4.7	4.5	4.0	4.5	4.7	4.4	4.7	5.0	4.4	4.0	5.2	4.6
Veracruz	Veracruz	19.2	96.1	4.7	5.0	5.6	5.3	5.0	4.7	4.9	5.3	5.2	5.5	5.3	4.6	4.6	5.6	5.0
Yucatán	Mérida	20.9	89.6	4.9	4.7	4.8	4.7	4.7	4.4	4.6	4.7	4.9	4.7	4.7	4.6	4.4	4.9	4.7
Yucatán	Progreso	21.2	89.6	5.6	5.9	5.6	5	4.4	4.1	4.2	4.6	4.9	5.7	5.7	4.6	4.1	5.9	5.0
Yucatán	Valladolid	20.6	88.1	5.1	5.5	5.5	5.1	4.7	4.2	4.4	4.7	4.8	4.9	5.1	4.6	4.2	5.5	4.8
Zacatecas	Zacatecas	22.7	102.5	7.1	7.2	7.1	6.8	6.2	4.9	4.9	5.1	5.3	5.6	6.9	6	4.9	7.2	6.1