



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE PRÁCTICAS DE
PANELES SOLARES**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Eléctrico Electrónico

P R E S E N T A

Brandon Ruiz Hernández

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Ing. Alberto Cortez Mondragón



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024

Dedicatoria

A Dios, fuente de toda sabiduría y fortaleza, quien con su amor incondicional y guía me ha permitido llegar hasta este momento tan importante en mi vida. Gracias por darme la paciencia, el entendimiento y la perseverancia necesarios para superar cada desafío en este camino. Tu luz ha sido mi faro en los momentos de duda, y tu gracia, el aliento que me impulsó a seguir adelante. A ti, Señor, dedico este logro con humildad y gratitud, sabiendo que sin ti nada sería posible.

Agradecimientos

Primero que todo, les agradezco a mis padres, quienes siempre me han ofrecido su apoyo, permitiéndome alcanzar todas mis metas tanto personales como académicas. Gracias a su amor, siempre he tenido la motivación para seguir adelante con mis objetivos y no rendirme ante las dificultades. Además, ellos han sido quienes me han proporcionado el respaldo material y financiero necesario para enfocarme en mis estudios y no desistir en el camino a lo largo de estos años.

Al Ing. Alberto Cortez Mondragón, por brindarme su apoyo, asesoría y confianza para la optimización constante en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Juan Ramón Rodríguez Rodríguez por el apoyo, brindando con equipamiento y materiales para la implementación de las prácticas.

A la UNAM y la Facultad de Ingeniería, por brindarme los espacios, materiales y docentes que me ayudaron a formarme como ingeniero.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Objetivo general

Desarrollar una propuesta de manual de prácticas para que el alumnado pueda adquirir y aplicar conocimientos teóricos, incluidos en este manual de prácticas a través de las actividades propuestas.

Alcances

El alcance de este trabajo abarca desde el conocimiento del funcionamiento de las celdas solares, hasta la configuración de los paneles solares con distintas aplicaciones. Incluirá instrucciones detalladas para realizar cada procedimiento de forma segura y eficiente, contemplando el comportamiento de los paneles solares a distintas condiciones, así como los componentes de un sistema fotovoltaico (módulos, inversores, controladores de carga, entre otros). Además, el manual proporcionará guías sobre el uso de herramientas y equipos de medición específicos para evaluar el rendimiento y eficiencia del sistema.

El documento está dirigido de manera principal a estudiantes, teniendo la opción de poder ser utilizados por técnicos e ingenieros. Se busca ofrecer un recurso accesible que respalde el aprendizaje, fomente la estandarización y responda a una correcta ejecución en el manejo del panel solar de forma individual o como sistema.

Justificación

La elaboración de un manual de prácticas para alumnos de la Facultad de Ingeniería es fundamental para estandarizar procedimientos y asegurar una correcta aplicación de conocimientos teóricos en un contexto práctico. El presente documento no solo facilita la capacitación técnica de alumnos, ofreciendo actividades detalladas y secuenciales sobre el uso de equipos, sino que también reduce riesgos y optimiza recursos al promover prácticas seguras y eficientes. Además, un manual de prácticas permite documentar y preservar conocimientos técnicos específicos, beneficiando tanto a alumnos como a profesionales, quienes pueden apoyarse en él para realizar sus actividades con mayor precisión y seguridad.

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivos brindar al alumno el fundamento teórico necesario para comprender los ejercicios realizados de este manual de prácticas. De la misma forma, una parte dinámica compuesta por una parte de diseño de ejercicios y simulación, finalmente complementar las actividades de manera presencial en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Cada práctica iniciará con un resumen general, acerca de lo que se verá y se esperará en la realización de la práctica.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Índice

Previo 1. Conexión de paneles solares (simulación).....	5
1. Introducción	7
2. Objetivos del previo.....	17
3. Equipo a utilizar	17
4. Desarrollo	17
5. Cuestionario Previo.....	28
Práctica 1. Conexión de Paneles solares	29
1. Seguridad en la ejecución.....	30
2. Objetivos.....	30
3. Material y equipo.....	30
4. Desarrollo	30
5. Conclusiones	45
Previo 2. Condiciones externas ambientales (simulación).....	46
1. Introducción	47
2. Objetivos del previo	61
3. Equipo a utilizar	61
4. Desarrollo	61
5. Cuestionario Previo	74
Práctica 2. Condiciones externas ambientales	75
1. Seguridad en la ejecución.....	76
2. Objetivos.....	76
3. Material y equipo.....	76
4. Desarrollo	76
5. Conclusiones	92
Previo 3. Protección eléctrica en un sistema fotovoltaico (simulación).....	93
1. Introducción	94
2. Objetivos.....	104
3. Equipo a utilizar	104
4. Desarrollo	104



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

5. Cuestionario Previo	109
Práctica 3. Protección eléctrica en un sistema fotovoltaico.....	110
1. Seguridad en la ejecución.....	111
2. Objetivos.....	111
3. Material y equipo.....	111
4. Desarrollo.....	112
5. Conclusiones	120
Previo 4. Sistema fotovoltaico (simulación)	121
1. Introducción	123
2. Objetivos del previo	131
3. Equipo a utilizar	131
4. Desarrollo	131
5. Cuestionario Previo	134
Práctica 4. Sistema fotovoltaico	135
1. Seguridad en la ejecución.....	136
2. Objetivos.....	136
3. Material y equipo.....	136
4. Desarrollo	136
5. Conclusiones	147
Referencias	148



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Previo 1. Conexión de paneles solares (simulación)



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Como parte inicial, la práctica busca tener un primer acercamiento con el panel solar, se manejará el concepto efecto fotoeléctrico, los diferentes tipos de materiales sólidos empleados en la fabricación del panel solar o módulo fotovoltaico (amorfo, policristalino y monocristalino), la definición del semiconductor intrínseco y extrínseco, la diferencia de los metales y aislantes, para finalmente conocer el principio de funcionamiento de una celda solar cuando incide un haz de luz.

Posteriormente se verá la estructura de los paneles solares, así como los diferentes elementos que conforman una instalación solar fotovoltaica, conociendo los datos más importantes que son proporcionados por el fabricante.

Por medio de medición, se obtendrá el valor de voltaje de circuito abierto y corriente de cortocircuito, lo que permitirá determinar los parámetros eléctricos básicos del sistema, evaluando la calidad y el rendimiento del panel solar, comparando los resultados con las especificaciones del fabricante.

Se aplicará las diferentes formas de conexión:

- Conexión serie y su impacto en el voltaje total del sistema.
- Conexión paralelo y su influencia en la corriente total.
- Conexión serie-paralelo.

Por último, con la finalidad de esclarecer las ventajas que se tiene con cada una de las conexiones, se realizará la comparación entre ellos.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Introducción

Efecto Fotoeléctrico [1]

El efecto fotoeléctrico es un fenómeno en el cual se emiten electrones dentro de un material con propiedades conductoras, cuando este se expone a un haz de luz (radiación electromagnética), dentro de esto se consideran los siguientes puntos como:

- Incidencia de luz: cuando los fotones inciden sobre el metal.
- Absorción de energía: cuando los electrones absorben energía de los fotones, la cual se define con la siguiente ecuación:

$$E \text{ [eV]} = h \text{ [J.s]} \cdot f \text{ [Hz]} \quad (1)$$

donde:

E = energía del fotón [eV]

h = constante de Planck 6.626×10^{-34} [J.s]

f = frecuencia de la luz [Hz]

- Emisión de electrones: cuando la energía absorbida por un electrón es suficiente para romper el enlace covalente, entonces se liberará el electrón.

La energía de los fotones se puede determinar por su longitud de onda (λ).

$$E_{\lambda} \text{ [eV]} = \frac{h \text{ [J.s]} \cdot c \text{ [\frac{m}{s}]} }{\lambda \text{ [nm]}} \quad (2)$$

donde:

c = velocidad de la luz 3×10^8 [$\frac{m}{s}$]

λ = longitud de onda en [nm]



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Una vez conocido el efecto fotoeléctrico, es necesario conocer a los materiales sólidos [2], los cuales se pueden clasificar en Amorfo (no existe orden), Policristalino (ordenado por segmentos) y Monocristalino (los átomos se ordenan en un único conjunto), lo cual se puede observar en **Fig. 1**.

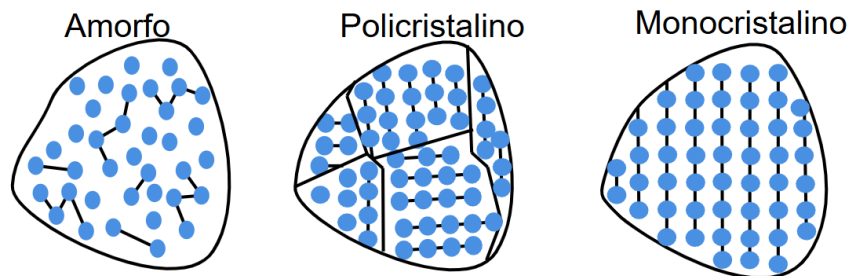


Fig. 1. Clasificación general de los sólidos basada en el grado de orden atómico.

Semiconductor intrínseco [2]

El Silicio (Si) es un semiconductor intrínseco con estructura cristalina y cuatro electrones de valencia. Estos átomos forman enlaces covalentes con otros átomos de silicio, alcanzando estabilidad al completar ocho electrones en su capa de valencia como en la **Fig. 2**.

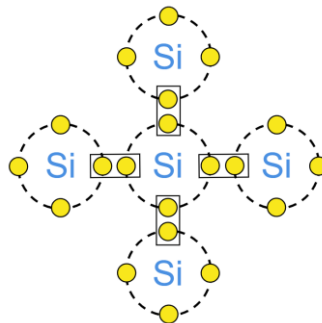


Fig. 2. Estructura del Silicio con sus enlaces covalentes.

A bajas temperaturas, el Silicio (Si) actúa como un aislante, ya que sus electrones de valencia permanecen ligados. A altas temperaturas, algunos enlaces covalentes se rompen, liberando electrones. La energía necesaria para romper estos enlaces debe ser al menos igual a la energía del gap o E_G (en el Silicio, $E_{G_{Si}} \approx 1.12$ [eV] a 300 K [2]).



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Es decir, por la separación del enlace covalente se libera un electrón con carga y masa similar a la del electrón, de signo contrario generando un espacio. El espacio (huevo) atrae a un electrón vecino para sustituir el espacio, generando otro huevo y atrayendo a otro electrón, mientras que el primer electrón desprendido es libre de moverse convirtiendo al Silicio (Si) como conductor. Todo lo anterior explica a los semiconductores intrínsecos, los cuales presentan el mismo número de electrones y huecos para la conducción de corriente eléctrica.

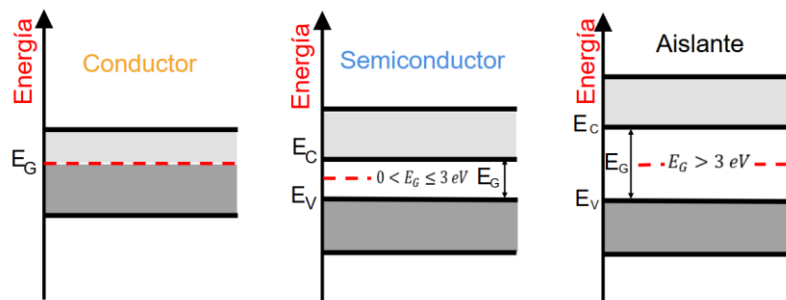


Fig. 3. Diferencia de los materiales conductores, semiconductores y aislantes por el modelo de bandas.

En un semiconductor intrínseco puro [3] a bajas temperaturas, los electrones de valencia están unidos por enlaces covalentes en la banda de valencia (E_v). Existe también una banda superior llamada banda de conducción (E_c), que permanece vacía ya que no se han roto enlaces covalentes, separadas ambas por una banda prohibida o banda gap. La **Fig. 3**, ejemplifica este concepto.

$$E_G [eV] = E_C [eV] - E_V [eV] \quad (3)$$

La cual indica la cantidad de energía necesaria para romper un enlace covalente, así como la energía necesaria para pasar un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción. Como se puede ver en la **Fig. 3**, los materiales se pueden clasificar de acuerdo su nivel de excitación térmica necesaria para romper los enlaces covalentes, determinando si un material es conductor, aislante o semiconductor.

Semiconductores extrínsecos [2]

Los semiconductores extrínsecos presentan la característica de ser dopados, estos se dividen en tipo n y tipo p, para dopar un material existen varios métodos, por ejemplo, por procesos químicos o por implantación de impurezas vía láser, entre otros.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Semiconductor tipo n [2]

En el caso del Silicio (Si) dopado, se utiliza Fósforo (P), Arsénico (As) o Antimonio (Ab), elementos con cinco electrones de valencia. Al formar enlaces covalentes con el silicio, cuatro de estos electrones se enlazan con átomos vecinos, mientras que el quinto queda débilmente ligado, actuando como donante o impureza donadora. Este electrón extra se convierte en el portador mayoritario sin generar huecos al liberarse como se muestra en **Fig. 4**.

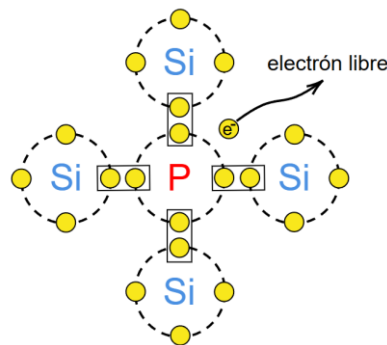


Fig. 4. Enlaces covalentes del Silicio dopado con una impureza donadora.

Al tener un gran número de electrones libres, si se crea un hueco, este se completará rápidamente, aumentando la velocidad de recombinación.

Semiconductor tipo p [2]

De la misma manera, el Silicio puede doparse con elementos como boro (B), galio (Ga), indio (In) o aluminio (Al), que tienen tres electrones de valencia. Esto deja un hueco, ya que no completan los ocho electrones en su capa de valencia. A bajas temperaturas, un electrón vecino puede cubrir temporalmente el hueco, pero siempre queda uno disponible, llamado aceptor o impureza aceptora. Estos huecos se convierten en los portadores mayoritarios, ya que pocos electrones libres se generan por la ruptura de enlaces covalentes, como se muestra en la **Fig. 5**.

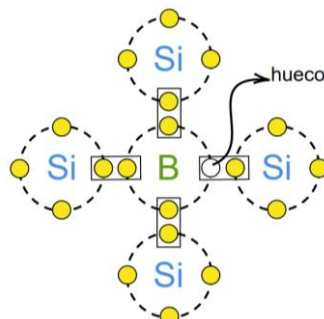


Fig. 5. Enlaces covalentes del Silicio dopado con una impureza aceptora.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Funcionamiento de la Celda Solar (Silicio) [4]

Al juntar los 2 materiales dopados tipo n-p, se forma una región de agotamiento (campo eléctrico) que impide el paso de electrones y huecos de cada material. Cuando al material tipo n-p incide sobre él, luz (fotones) con suficiente energía, puede desprender un electrón de un átomo de la región de agotamiento, dejando detrás un hueco. Debido a que no puede haber electrones y huecos libres en la región de agotamiento, el campo eléctrico atrae al electrón desprendido a la capa tipo n, y el hueco generado es ocupado por electrones de la capa tipo p.

La acumulación de pares electrón-hueco genera una diferencia de potencial entre las capas tipo n y p. Si los electrones de la capa n tienen un camino hacia la capa p (carga), se moverán hacia los huecos en esta última. La exposición continua a la luz aumenta la liberación de pares electrón-hueco, permitiendo el flujo constante de electrones, originando una corriente directa, Tal como indica la **Fig. 6**.

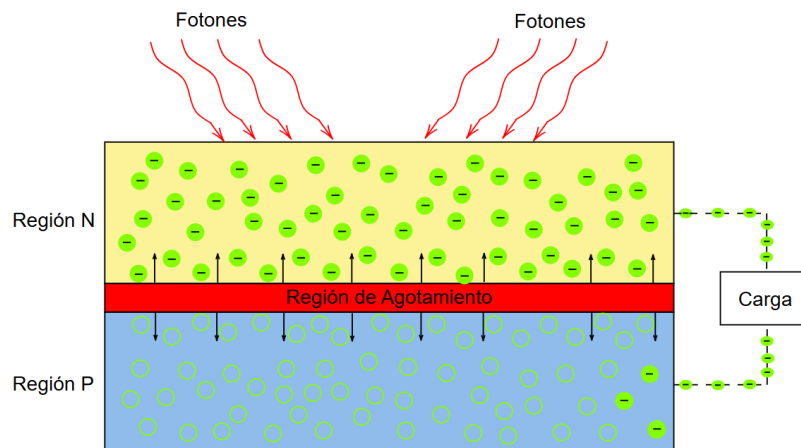


Fig. 6. Representación del flujo de corriente de la celda solar de silicio tipo N-P.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Módulo Fotovoltaico o Panel Solar

Parámetros Panel Solar

El panel solar se compone de los siguientes elementos [5, 6]: Obsérvese la **Fig. 7**.

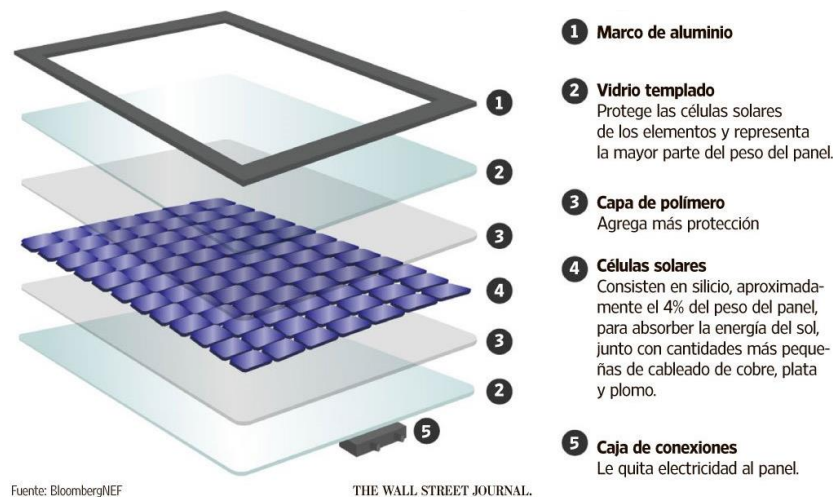


Fig. 7. Partes que conforman un panel solar.

Marco: Normalmente es de Aluminio anodizado para evitar la corrosión, se encarga de proteger los componentes internos de las tensiones térmicas y mecánicas.

Vidrio templado o cristal: Protege a las celdas solares de impactos del agua, vapor o suciedad y no absorbe el calor.

Encapsulado: El material Etileno Vinil Acetato (EVA). Tiene una buena transmisión de la radiación y presenta una baja degradabilidad a la luz solar. Su función es adherir las celdas solares con el vidrio templado, permite el paso de la energía solar, pero evita la entrada de aire externo y la aparición de humedad.

Celdas Solares: La mayoría se conectan en serie, aunque también pueden conectarse en paralelo según la energía requerida. Convencionalmente, el bus bar de la parte superior de una celda (negativa) se suelda a la parte inferior de la siguiente (positiva), repitiendo el proceso entre las celdas, Referirse a la **Fig. 8**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

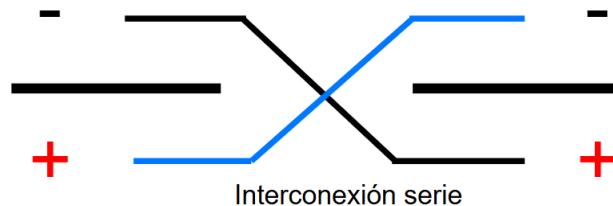


Fig. 8. Interconexión de celdas solares en serie.

Cubierta posterior: Funciona como aislante eléctrico del sistema. La cubierta posterior debe proporcionar resistencia mecánica, resistencia a la intemperie y adherencia.

Caja de conexión: Su función principal es proteger la conexión de los conjuntos de las celdas solares, así como proteger los diodos de derivación que evitan corrientes inversas (ya sean porque las celdas solares estén sucias o sombreadas).

Condiciones estándar de prueba (STC) [7]

Las condiciones de prueba están definidas por la norma IEC 60904 para comparar distintas celdas solares, como son:

Irradiancia: $G = 1000 \text{ [W}\cdot\text{m}^2]$

Masa de aire: $AM = 1.5$

Temperatura ambiente: $T_a = 25 \pm 2 \text{ [}^\circ\text{C]}$

Parámetros de un panel solar

Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): Este valor representa el voltaje máximo que se puede obtener midiendo en sus terminales de salida del panel solar (cables rojo y negro), se produce cuando la corriente es cero, en otras palabras, cuando no hay una carga conectada.

Corriente de cortocircuito (I_{sc}): Este valor representa la corriente máxima que puede generar un panel solar en sus terminales de salida (cables rojo y negro), esto ocurre cuando el voltaje llega al valor de 0 V.

Potencia Máxima ($P_{m\acute{a}x}$): Es la potencia máxima que puede suministrar el panel solar, en el cual el voltaje y corriente alcanzan el valor a plena carga.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Corriente en el punto de máxima potencia (I_{mp}): Es el valor máximo de corriente que puede alcanzar el panel solar bajo su carga máxima.

Voltaje en el punto de máxima potencia (V_{mp}): Es el valor máximo de voltaje que alcanza el panel solar bajo su carga máxima.

Eficiencia (%): Este valor nos indica la cantidad de energía solar que es aprovechada para convertirse en potencia eléctrica.

En dado caso que los valores medidos no sean iguales a los especificados por el fabricante, puede deberse a factores como la irradiancia, sombra, suciedad, temperatura o en el peor de los casos, por un daño interno o externo del panel solar.

Conexión de paneles solares

Conexión Serie

La conexión de paneles solares en serie se utiliza cuando se desea aumentar la tensión del sistema de interconexión y mantener el valor de corriente de cada panel. La tensión total de una conexión en serie se obtiene sumando las tensiones de cada panel. La potencia total del sistema en serie es la suma de las potencias individuales de cada panel, ya que la potencia es el producto de la tensión total y la corriente común de los paneles.

La conexión se puede realizar conectando la terminal negativa del primer panel con la terminal positiva del segundo panel, dejando la terminal positiva del primer panel con la terminal negativa del segundo panel para conectarlo a un inversor o directamente a una carga. Consultar **Fig. 9**.

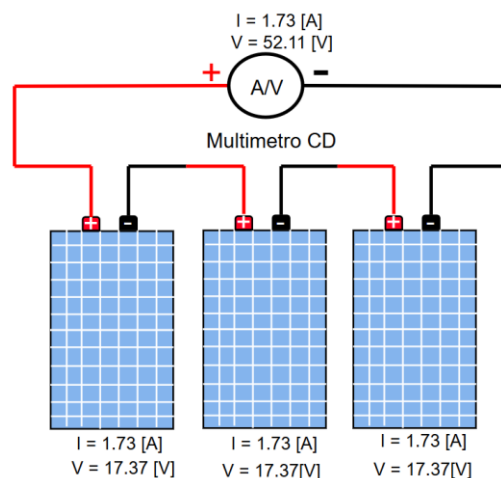


Fig. 9. Conexión de Circuito abierto y Corto Circuito en serie.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Conexión Paralelo

La conexión en paralelo se utiliza para incrementar la corriente total del sistema y mantener el voltaje de cada panel solar. En esta configuración, la corriente total es la suma de las corrientes de cada panel conectado en paralelo, manteniéndose constante el voltaje. La potencia total del sistema en paralelo es también la suma de las potencias individuales de cada panel, ya que la potencia resulta del producto de la corriente total y el voltaje común.

La conexión se puede realizar al conectar las terminales positivas de los paneles y después conectar las terminales negativas, entre sí. Consultar **Fig. 10**.

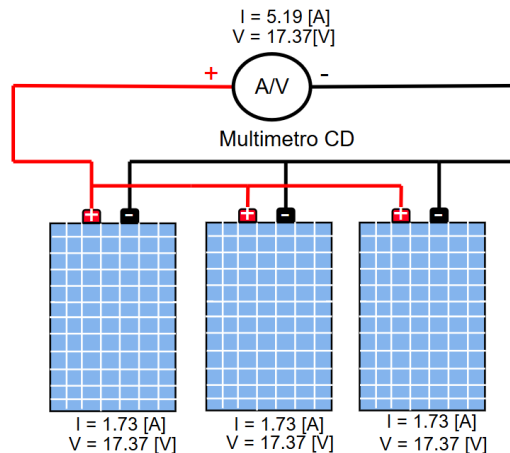


Fig. 10. Conexión de Circuito abierto y Corto Circuito en paralelo.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Conexión Mixta

Una conexión mixta combina conexiones en serie y en paralelo para ajustar tanto el voltaje como la corriente total del sistema. Este tipo de conexión permite obtener el voltaje deseado mediante conexiones en serie y aumentar la corriente mediante conexiones en paralelo, optimizando la configuración de los paneles solares para las necesidades específicas del sistema. Consultar **Fig. 11**.

Un ejemplo, sería para incluir en su uso el Inversor Híbrido HUAWEI SUN2000-6KTL-L1 con el que cuenta el laboratorio de Máquinas Eléctricas, se requiere un voltaje mínimo para el arranque de 100 [V] de CD de alimentación y 80 [V] a 600 [V] para poder realizar su función y una corriente máx. de 12.5 [A] por arreglo de paneles.

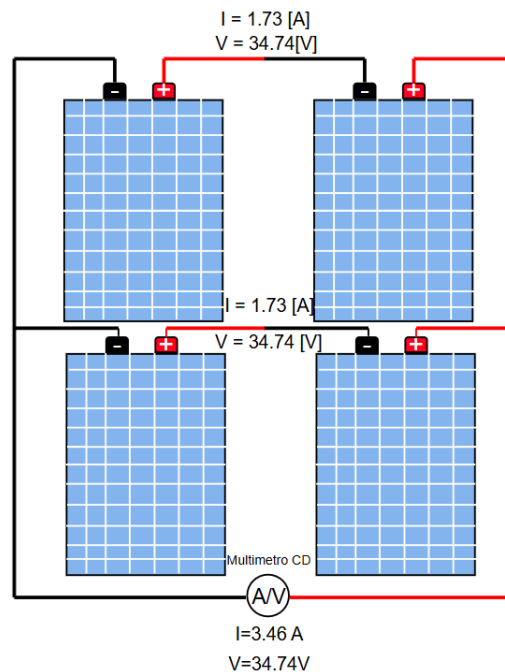


Fig. 11. Conexión de Circuito abierto y Corto Circuito en conexión Mixta.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

2. Objetivos del previo

- Realizar un análisis del comportamiento del panel solar con diferentes valores de carga, mediante la realización de ejercicios a través del software Simulink de Matlab.
- Implementar con el uso del software Simulink de Matlab un sistema del panel solar y obtener la corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto.
- Ambientarse por medio del software en las diferentes formas de conexión con los paneles solares.
- Obtener los valores de potencia en los diferentes paneles a través del software y realizar una comparación con los datos indicados por el fabricante.

3. Equipo a utilizar

- Equipo de cómputo
- Software Simulink de Matlab y librería Simscape Electrical.
- Paneles solares y placa de datos reales a simular.

4. Desarrollo

Parte 1 Parámetros Panel Solar

Para desarrollar la actividad, habilite la librería Simscape Electrical de Simulink Matlab.

Utilice los bloques ilustrados en la **Fig. 12**.

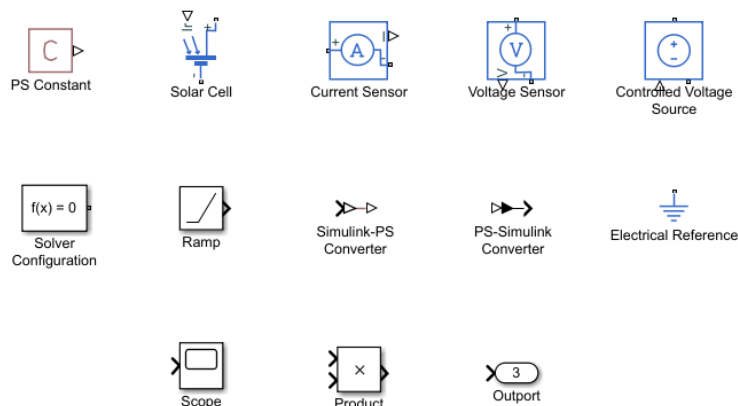


Fig. 12. Bloques de librería Simulink.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Nota: Por practicidad en el uso de los bloques, se puede apoyar del nombre que se indica debajo de cada una de las imágenes y localizarlos mediante la opción **Library Browser**, librería de búsqueda que presenta **Simulink**.

Implemente el diagrama mostrado en la **Fig. 13**:

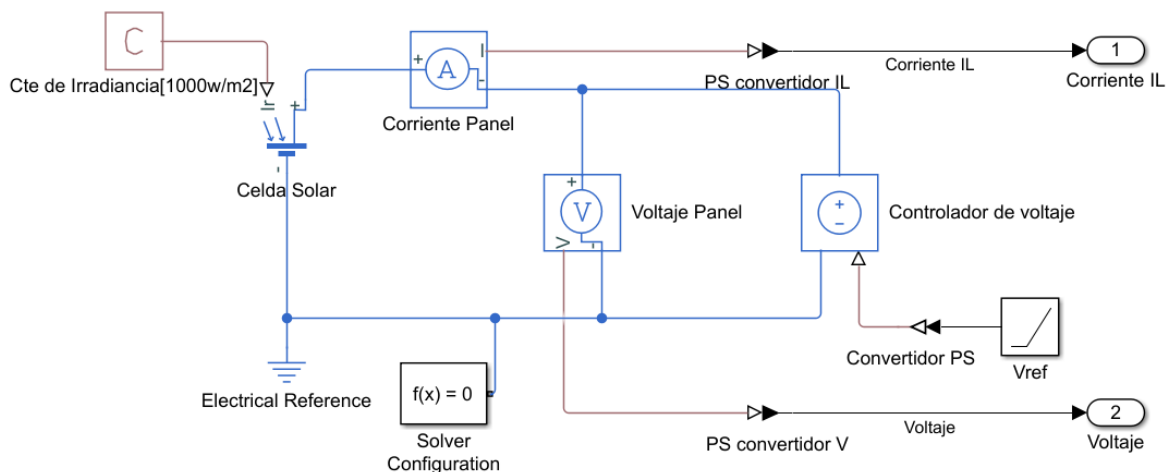


Fig. 13. Diagrama de simulación.

Consideración de valores para los bloques

Para los siguientes bloques, en:

PS Constant-Cte de Irradiancia: Asigne el valor de 1000.

Solar Cell-Celda Solar: En *Cell Characteristics* asigne los valores establecidos en la **Tabla 6** que se encuentra en el Anexo (para el valor de V_{oc} se pide únicamente el de una celda solar). Para el valor de factor de calidad considera $N=1.3$ y en la pestaña *Configuración* coloque el número de celdas del panel solar, los datos restantes no proporcionados por el fabricante, por practicidad se propone dejar con su valor establecido por la paquetería.

Ramp-Vref: Utilice un valor de acuerdo con el tiempo de simulación.

Ejemplo:

Si se requiere simular una corriente de circuito abierto a 0 [A], en la opción *Stop Time* se debe ingresar el valor de V_{oc} más un factor de 0.03 del panel solar (no el de una celda) y con el bloque Ramp el valor de 1.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Nota: Lo anterior se recomienda debido a que las gráficas pueden arrojar valores mayores y puede generar una confusión al uso de la simulación.

Finalmente ingrese los bloques de trabajo para visualizar los resultados del software, Ver detalle en la **Fig. 14**.

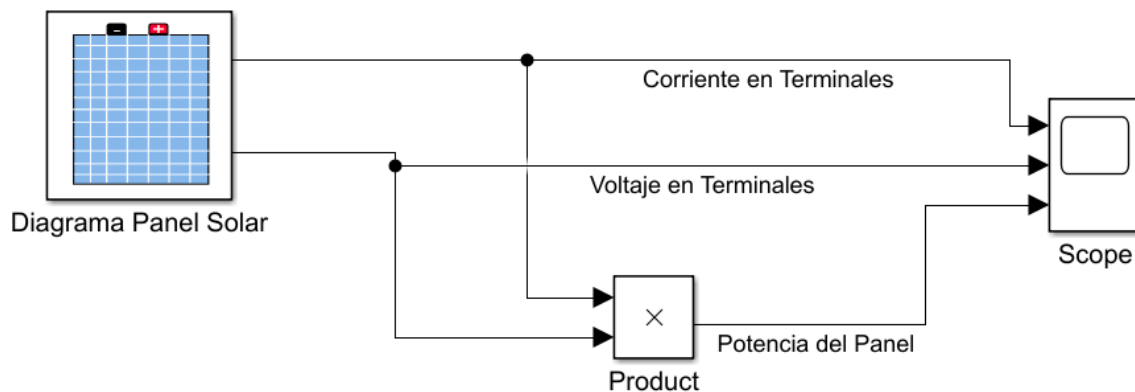


Fig. 14. Diagrama para obtener resultados de manera gráfica.

Nota: El bloque *Diagrama Panel Solar* representa la Fig. 13, de manera simplificada, puede realizar las dos Figuras anteriores en un solo modelo, para lograr esto, seleccione todos los elementos de la Fig. 13, de clic derecho y seleccione la opción *Create Subsystem from Selection*.

Actividades

1. A través de la opción *Run* obtenga la solución del diagrama realizado anteriormente.
 - a) Con el bloque *Scope*, separe las gráficas usando la pestaña *View->Layout*, ver **Fig. 15**.

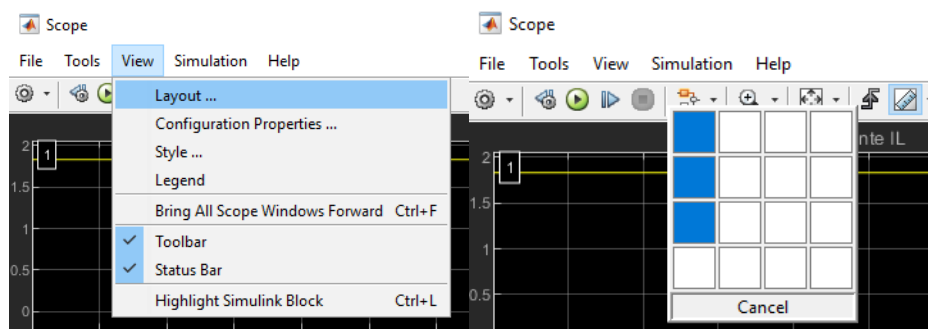


Fig. 15. Separación de las gráficas de los resultados obtenidos en simulación.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- b) Seleccione en la barra Tools->Measurements->Cursor Measurements, para obtener la medida del cursor, sígase **Fig. 16**.

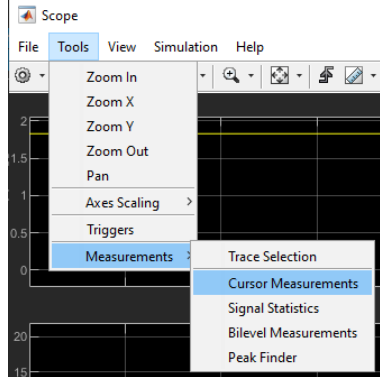


Fig. 16. Forma de agregar la herramienta de medida de cursor.

- c) Para obtener los parámetros de V_{oc} , I_{sc} , mueva un cursor cuando el valor de la Corriente en Terminales es igual a 0 (como opción, utilice la opción zoom y acérquese a la gráfica) cambie la lista que se despliega en *Trace Selection* a *Voltaje en Terminales* y anote su valor en la **Tabla 1** (V_{oc}), posteriormente coloque el cursor cuando el Voltaje en Terminales es igual a 0, de igual manera cambie la lista que se despliega a *Corriente en Terminales* y anote su valor en la **Tabla 1** (I_{sc}).

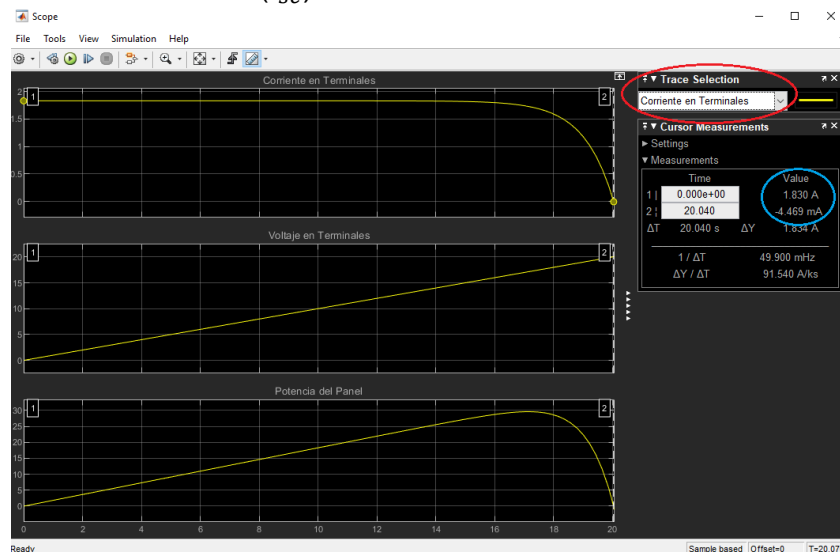


Fig. 17. Círculo rojo muestra la lista desplegable *Trace Selection* y círculo azul los valores de la posición de los cursores.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- d) Cambie la lista desplegable *Trace Selection* a la opción de Potencia del Panel y mueve el cursor al valor de potencia máxima, registre su valor en P_{max} en la **Tabla 1**.
 - e) Vuelve a cambiar la lista desplegable *Trace Selection* al Voltaje en terminales y registre su valor en la columna Voltaje MPP de la **Tabla 1**, de igual forma cambie la lista desplegable a la *Corriente en terminales* y regístrela en la columna *Corriente MPP*.
2. Con los valores de los otros datos de los paneles solares (ver Anexo), realice la actividad anterior y registre los datos en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Parámetros de paneles solares por simulación.

Clave de identificación del Panel Solar	Voltaje Circuito Abierto (V_{oc} [V])	Corriente Corto Circuito (I_{sc} [A])	Voltaje MPP (V_{mp} [V])	Corriente MPP (I_{mp} [A])	Potencia Máxima (P_{max} [W])
PLM-270P-60					
EPL33024					
CSUN275-60P					
NPA30S-12I					

¿Qué diferencia técnica encuentra en cada tipo de Panel Solar?

¿Los valores obtenidos son iguales a los datos del fabricante? ¿Porqué?

¿Los resultados obtenidos por simulación serán los mismos que los que se obtendrían al realizar la actividad de manera física con el panel solar bajo prueba?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 2 Conexiones con paneles solares

1. Del diagrama implementado al momento (**Fig. 14**), ingrese al bloque *Diagrama Panel Solar* y elimine los bloques nombrados *Controlador de voltaje*, *Convertidor PS*, *Vref* e integre el bloque nombrado *Resistor-Rcarga*, realizando una conexión en paralelo con el panel solar, De acuerdo con la **Fig. 18**.

Nota: Del bloque *Celda Solar* si presenta diferentes datos a los del panel NPA30S-12I (del laboratorio) cambie la información a los que se encuentran en la Tabla 9 del anexo, para poder realizar la Parte 2.

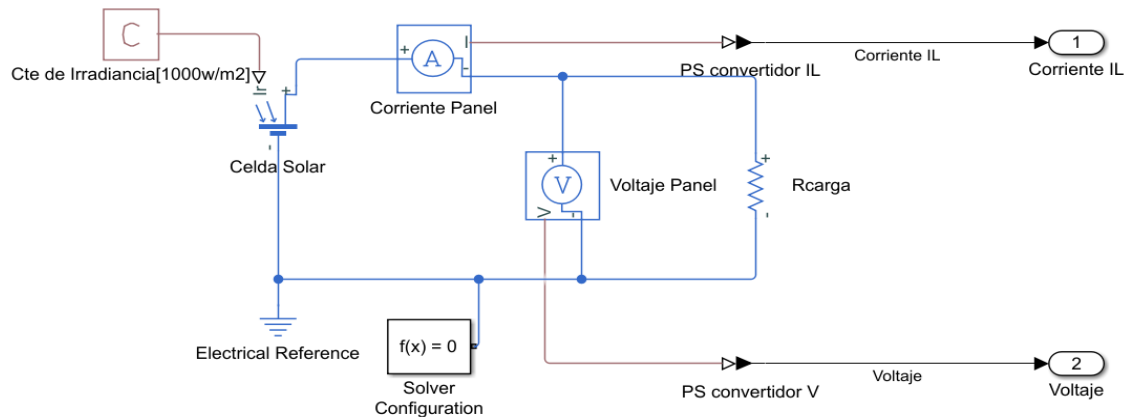


Fig. 18. Diagrama de conexión de un panel solar con una carga resistiva.

2. Para el bloque *Rcarga* en la opción *Resistance* ingrese el valor de 1200 [Ω] y salga de este.
3. Cambie el bloque *Scope* por un bloque *Mux* y un *Display* tal como indica la **Fig. 19**, posteriormente realice la simulación a través de *Run* y registre los datos mostrados por el bloque *Display* en la **Tabla 2**.

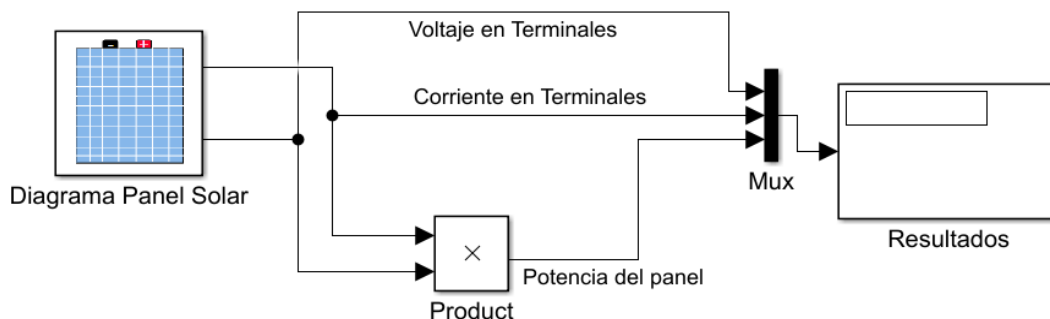


Fig. 19. Colocación del bloque Mux y del Display.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- Cambie los valores del bloque *Rcarga* establecidos en la **Tabla 2** y registre los valores de corriente, voltaje y potencia, correspondientes al *Display*.

Tabla 2. Panel solar con una carga resistiva.

Resistor[Ω]	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			

- Agregue 3 bloques *Celda Solar* en serie con las mismas características al primer bloque, el cual debe tener los datos del panel solar que se indican en la **Tabla 9** del Anexo, obsérvese la **Fig. 20**.

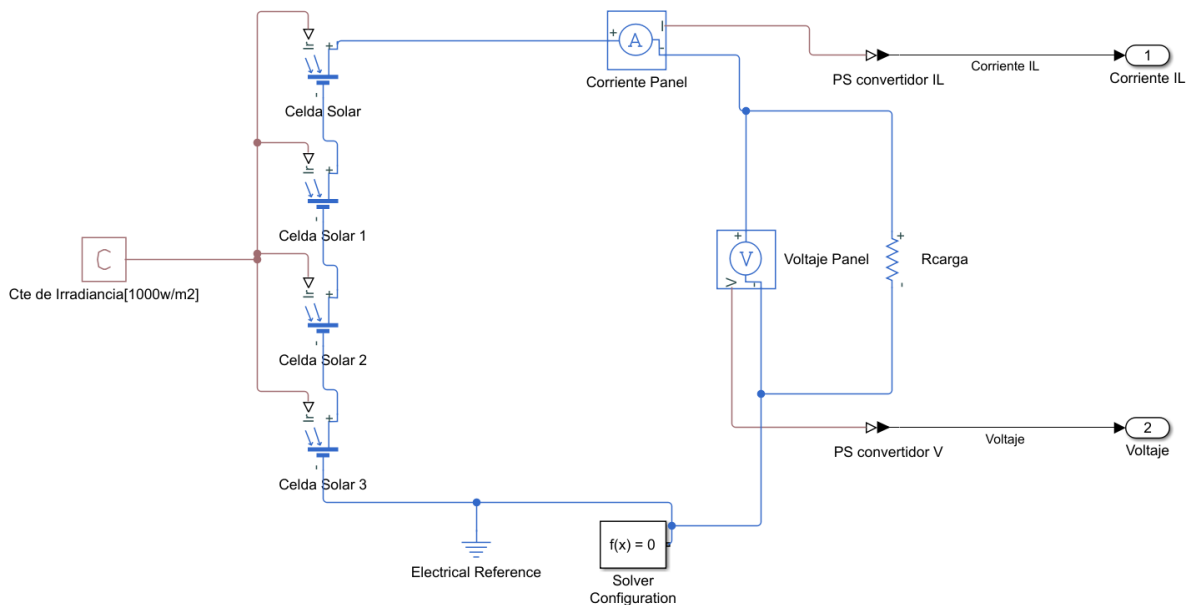


Fig. 20. Diagrama de conexión con 4 paneles en serie y una carga resistiva.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

6. Repite los mismos pasos 2,3 y 4, de esta actividad, use y registre los valores en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Panel solar en serie bajo carga resistiva.

Resistor[Ω]	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			

7. Coloque los bloques *Celda Solar* en conexión paralelo, referirse a la **Fig. 21**.

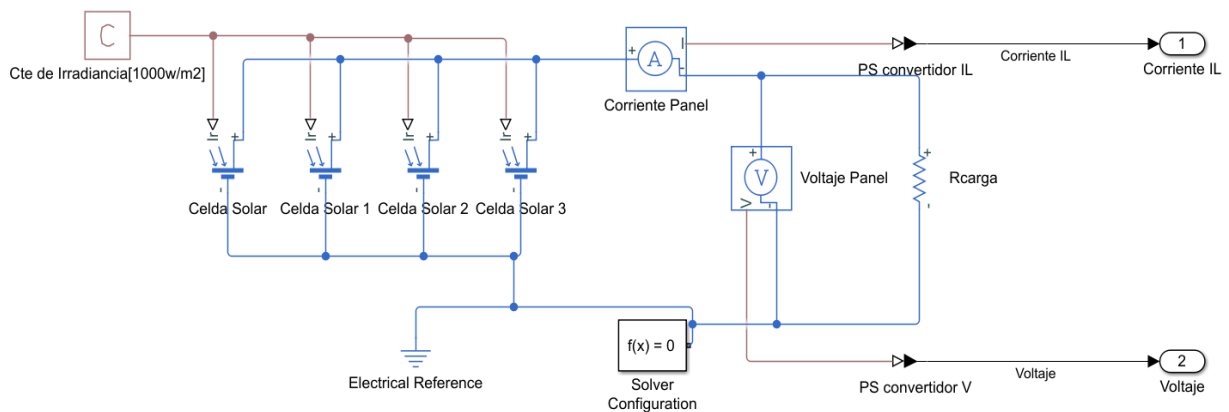


Fig. 21. Diagrama de conexión con cuatro paneles en paralelo y una carga resistiva.

8. Repite de manera similar los pasos 2,3 y 4 y registre los valores en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Panel solar en paralelo bajo carga resistiva.

Resistor[Ω]	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

9. Realice una conexión mixta (serie-paralelo) con los 4 bloques *Celda Solar*, consultar **Fig. 22**.

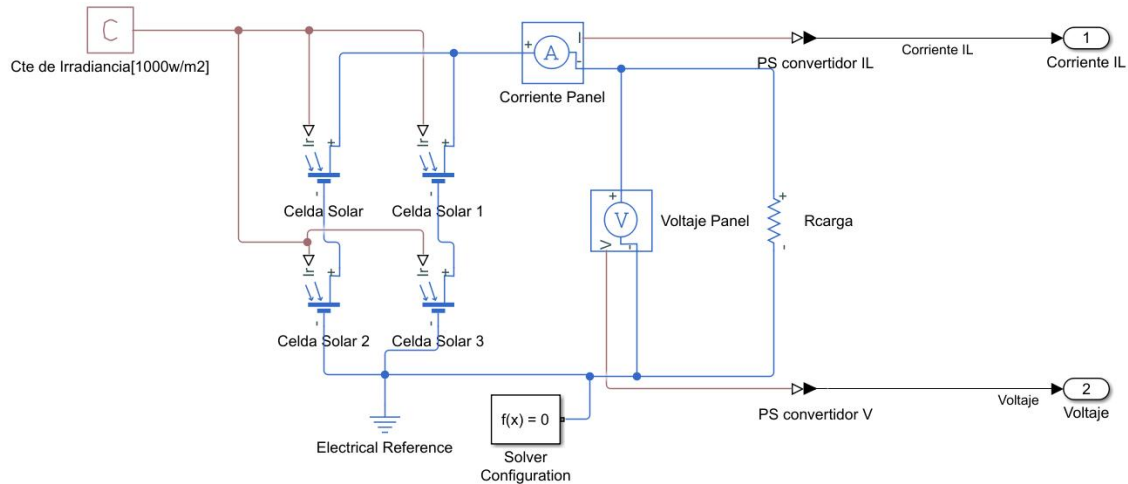


Fig. 22. Diagrama de conexión con 4 paneles en conexión mixta y una carga resistiva.

10. Repite de manera similar los pasos 2,3 y 4 y registre los valores en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Panel solar en conexión mixta bajo carga resistiva.

Resistor[Ω]	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Anexo

Paneles solares

Datos del Panel Solar 1 (60 celdas):

Tabla 6. Datos técnicos del panel solar PLM-270P-60.

Modulo Solar: PLM-270P-60	
Potencia Máxima (Pmax)	270 [Wp] (0± 3%)
Voltaje Circuito Abierto (Voc)	38.23 [V]
Corriente de Cortocircuito (Isc)	9.13 [A]
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	31.22 [V]
Máxima capacidad de corriente (Imp)	8.65 [A]
Máximo Voltaje del sistema	1000 VDC
Clase de aplicación	Clase A
Clasificación máxima de protección contra sobrecorriente	15 [A]

Datos del fabricante

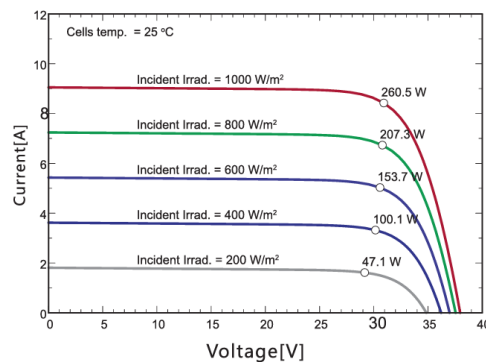


Fig. 23. Gráficas V/I proporcionadas por el fabricante [8].

Datos del Panel Solar 2 (72 celdas)

Tabla 7. Valores del panel solar EPL33024.

Modulo Solar: EPL33024	
Potencia Máxima (Pmax)	330 [W] (0 ± 5%)
Voltaje Circuito Abierto (Voc)	46.79 [V]
Corriente de Cortocircuito (Isc)	9.18 [A]
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	31.22 [V]
Máxima capacidad de corriente (Imp)	8.71 [A]
Máximo Voltaje del sistema	1500 VDC
Clase de aplicación	Clase A



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Datos del fabricante

CURVA I-V

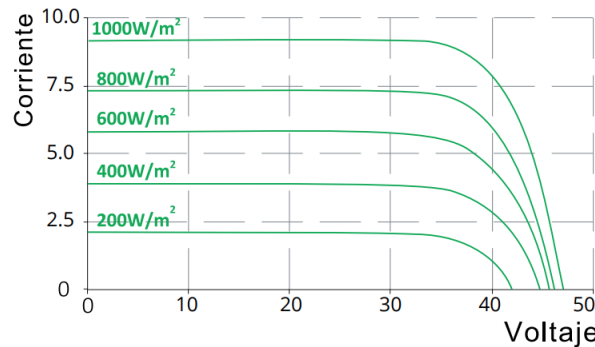


Fig. 24. Gráficas V/I proporcionadas por el fabricante [9].

Datos del Panel Solar 3 (60 celdas)

Tabla 8. Valores del panel solar CSUN275-60P.

Modulo Solar: CSUN275-60P	
Potencia Máxima (Pmax)	275 [Wp] (0 ± 3%)
Voltaje Circuito Abierto (Voc)	38.4 [V]
Corriente de Cortocircuito (Isc)	9.27 [A]
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	31.3 [V]
Máxima capacidad de corriente (Imp)	8.79 [A]
Máximo Voltaje del sistema	1000 VDC
Clase de aplicación	Clase A
Clasificación máxima de protección contra sobrecorriente	20 [A]

Datos del fabricante

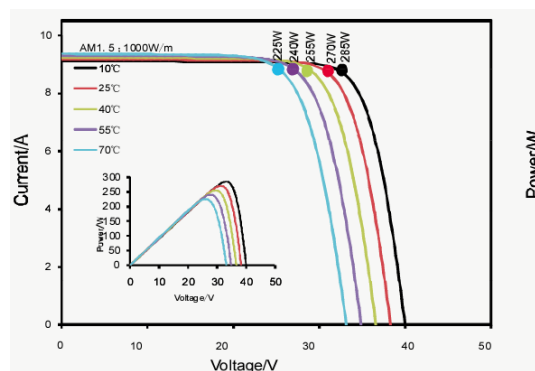


Fig. 25. Gráficas V/I proporcionadas por el fabricante [10].



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Datos Mini panel solar (30 celdas):

Tabla 9. Valores del panel solar NPA30S-12I.

Modulo Solar: NPA30S-12I	
Potencia Máxima (Pmax)	30 W
Voltaje Circuito Abierto (Voc)	20.04 V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	1.83 A
Voltaje MPP(Vmp)	17.37 V
Corriente MPP(Imp)	1.73 A

Datos del fabricante

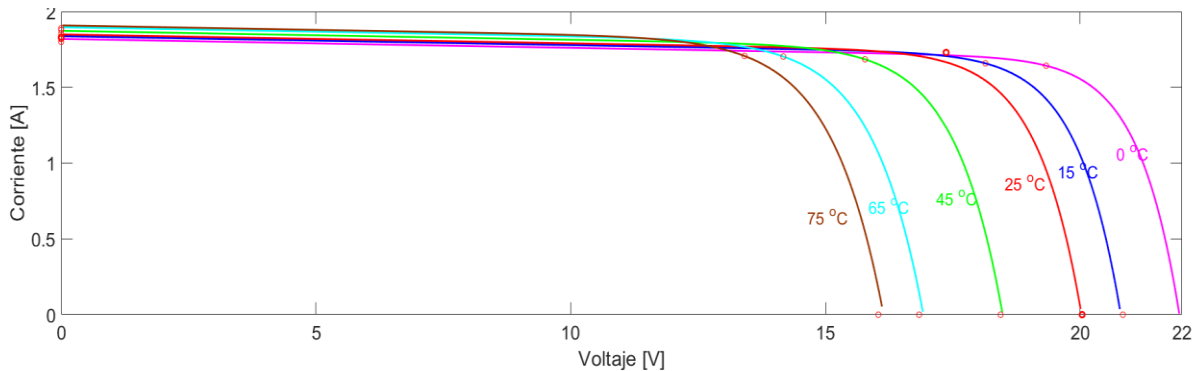


Fig. 26. Gráficas proporcionadas por el fabricante [11].

5. Cuestionario Previo

1. ¿Qué es el efecto fotoeléctrico?
2. ¿Cuál es la diferencia de los sólidos Amorfo, Policristalino y Monocristalino?
3. ¿Qué propiedad tienen los semiconductores a comparación de los conductores y aislantes?
4. ¿Qué es un semiconductor extrínseco e intrínseco?
5. ¿Cuál es el principio de funcionamiento de una celda solar de Silicio?
6. ¿Cómo está conformado un panel solar?
7. ¿Cómo es la conexión de las celdas solares en un panel solar?
8. ¿Cuáles son las características más importantes del panel solar?
9. ¿Qué condiciones estándar de medida son usadas en los paneles solares?
10. ¿Cuáles son las tres formas de conectar a un panel solar?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Práctica 1. Conexión de Paneles solares



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Seguridad en la ejecución.

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Diferencia de potencial continua	Descarga eléctrica y daño a equipo.
2	Diferencia de potencial alterna	Descarga eléctrica y daño a equipo.
3	Alta temperatura	Quemaduras

2. Objetivos.

- Conocer los elementos que conforman a un panel solar.
- Conocer las formas de conexión en un panel solar.
- Prueba de corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto, en paneles solares.
- Analizar el comportamiento del panel solar bajo carga.

3. Material y equipo.

- 4 Paneles solares NPA30S-12I (ubicados en la mesa del área fotovoltaica).
- 2 Multímetros con medición de voltaje y corriente (mA) en directa.
- 2 Lámparas halógenas (instaladas en la mesa del área fotovoltaica).
- 1 Módulo de carga resistiva de Lab Volt EMS 8311.
- Juego Cables de conexión (ubicados en un perchero de metal).
- Juego Cables negros con terminal tipo U (ubicados en un perchero de metal).

4. Desarrollo

Nota: En esta práctica solo se usará la mesa del área fotovoltaica, no usar el sistema de rieles con 3 paneles solares.

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan temperaturas altas y voltajes que pueden provocar una lesión!



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Conociendo al panel solar

1. Examine la estructura de los paneles solares, poniendo especial atención en los dos conductores que se tiene detrás del panel solar. Observe que cada conductor tiene un color específico, uno representa el polo positivo (conductor en color rojo) y el otro el polo negativo (conductor en color negro).
2. Identifique las celdas que componen al panel solar.

¿Cuántas celdas identificó?

¿Indique cómo es la conexión entre las celdas solares?

3. Identifique los elementos siguientes:

- a) El panel solar y sus parámetros V_{oc} , I_{sc} y P_{max} (indicados detrás del panel solar en la placa de datos o ver **Tabla 9**).
- b) El inversor comercial y sus datos de placa.
- c) Contendor de interruptores de corriente alterna y corriente directa.

De acuerdo con el voltaje de potencia máxima y el voltaje de circuito abierto indicados en la placa de datos ¿Cuáles son los voltajes de potencia máxima y de circuito abierto de cada celda solar?

$$V_{Pmax_{celda}} = [V] \quad V_{OC_{celda}} = [V]$$

La corriente de cortocircuito y corriente a potencia máxima de cada una de las celdas solares, ¿Serán las mismas a las que están presentes en la placa de datos? Explique su respuesta.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 1 Prueba de circuito abierto y corto circuito

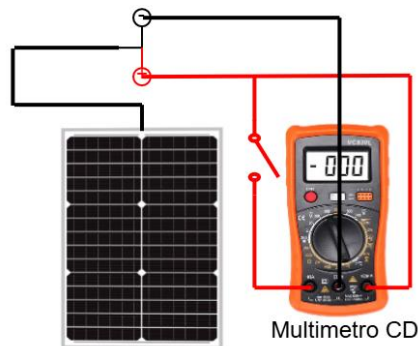


Fig. 27. Conexión en circuito abierto (V_{oc}) y corto circuito (I_{sc}).

Nota: Antes de realizar la siguiente actividad, con una escala mayor a la indicada por el fabricante del panel solar V_{oc} coloque el multímetro en la función de medición Voltaje de cd.

1. Haciendo uso del multímetro en su función de voltaje de cd y con un panel solar ubicado del lado derecho de la mesa del área fotovoltaica, realice la conexión en circuito abierto (**Ver Nota**) como se muestra en la **Fig. 27**. Encienda el interruptor de la lámpara halógena y posteriormente el dimmer, ajuste el dimmer y mueva con mucho cuidado la lámpara, hasta encontrar un valor de V_{oc} registrado en la **Tabla 10**.

Nota: Haga uso de los cables banana-caimán (rojo y negro) que están en la mesa del área fotovoltaica, el cable rojo con el switch ON/OFF debe estar conectado en el conector de corriente, en posición OFF, la otra parte del cable rojo al borne de voltaje y el cable negro debe ir en el conector COM, como en la Fig. 27.

2. Una vez encontrado el valor, coloque el switch ON/OFF a su posición ON, coloque el equipo en la función de cd en la escala de mA o A, y registre el valor en la **Tabla 10**.
3. Repite los pasos 1 y 2 hasta encontrar los valores de corriente para cada valor de voltaje indicado en la **Tabla 10**, calcule la potencia entregada de cada panel ($P[W] = V[V].I[A]$).
4. Finalmente apague la lámpara halógena.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Tabla 10. Valores de Corto Circuito y Circuito Abierto.

Voltaje (V_{oc}) [V]	Corriente (I_{sc}) [mA]	Potencia (P_{cc}) [W]	Eficiencia [η] ($\frac{P_{cc}}{P_{max}} \times 100$)
15.5			
16			
16.5			
17			
17.5			
18			
18.5			

De acuerdo con los valores obtenidos de la **Tabla 10**.

¿Qué relación encuentras entre las mediciones de voltaje y corriente, con respecto a sus valores nominales?

¿Qué factores están afectando al panel solar para los distintos valores?

Comente una alternativa de mejora en la eficiencia del panel solar bajo estas condiciones.

Si se realizara la misma prueba con un panel solar cuya potencia sea mayor a 300 [W] ¿Qué consideraciones debes tomar antes de realizar las mediciones?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 2 Pruebas del Panel Solar con carga resistiva

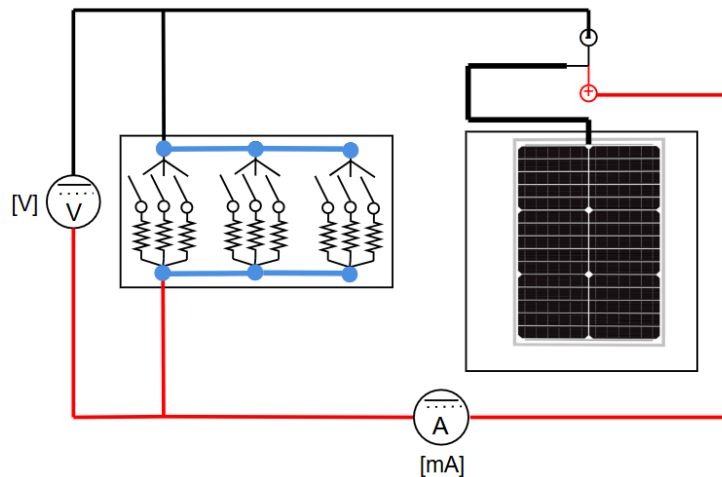


Fig. 28. Panel Solar conectado al módulo de LabVolt EMS 8311.

Nota: - Asegúrese que cada interruptor del módulo de carga resistiva EMS 8311 se encuentren en opción OFF (posición abajo).

1. Realice la conexión de un panel solar con el módulo de carga resistiva EMS 8311, como se muestra en la **Fig. 28**, respetando la polaridad del panel solar, así como la polaridad de los multímetros.

Nota: Considere el punto COM como negativo y los demás bornes como el positivo, para el caso de la corriente de directa, asegúrese de que el multímetro esté conectado al borne adecuado y midiendo en la corriente deseada, puede darse el caso de medir ca y no medirá correctamente.

2. Una vez realizada la conexión habilite el primer interruptor (interruptor arriba) del módulo de carga resistiva EMS 8311, el cual indica el valor de 1200 [Ω], registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 11**.
3. Deshabilite el interruptor 1200 [Ω] y habilite el de 600 [Ω], registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 11**.
4. Realice las configuraciones necesarias para completar la **Tabla 11** y obtener la potencia.

Nota: Considere los siguientes valores de cargas resistivas

$$400 [\Omega] = 1200 [\Omega] \parallel 600 [\Omega]$$

$$171.42 [\Omega] = 1200 [\Omega] \parallel 600 [\Omega] \parallel 300 [\Omega]$$



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

$$85.71 [\Omega] = 171.42 [\Omega] \parallel 171.42 [\Omega] \quad 57.14 [\Omega] = 85.71 [\Omega] \parallel 171.42 [\Omega]$$

Tabla 11. Panel solar con carga resistiva.

Resistor[Ω]	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			

5. Deshabilite los interruptores del módulo de carga resistiva EMS 8311.
6. Desconecte los cables conectados al panel solar y con el multímetro (usado como amperímetro de la **Fig. 28**) en su función de voltaje de cd, realice la conexión de circuito abierto (**Fig. 27**) con los cables banana-caimán.
7. Coloque la lámpara halógena en el centro del panel solar para que la luz incida sobre él, cubriendo la mayor superficie, posteriormente encienda la lámpara halógena.
Nota: Si hace uso de la lámpara con el dimmer, ajuste el dimmer para que la lámpara produzca su mayor luz.
8. Registre el valor de voltaje en la **Tabla 12** (Fila donde la corriente es 0), posteriormente cambie el conector de voltaje del multímetro, al conector de corriente, mide la corriente y regístrela (Fila donde el voltaje es 0) en la **Tabla 12**.
9. Apague la lámpara halógena y vuelva a conectar el panel solar al módulo de carga resistiva EMS 8311 y los dos multímetros como se mostró en la **Fig. 28**.
10. Encienda la lámpara halógena y habilite el interruptor del módulo de carga resistiva EMS 8311 de 1200 [Ω] registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 12**.
11. Deshabilite el interruptor de 1200 [Ω] y habilite el de 600 [Ω], registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 12**.
12. Realice las configuraciones necesarias para completar la **Tabla 12**. Considere las notas del paso 4 anterior.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

13. Finalmente apague la lámpara halógena y deshabilite los interruptores del módulo de carga resistiva EMS 8311.

Tabla 12. Panel solar con lámpara halógena y carga resistiva.

Resistencia del Reóstato[Ω]	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Sin carga		0	0
	0		0
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			

De la **Tabla 11**. ¿A qué se debe que la potencia sea prácticamente cero?

¿Qué relación existe entre el voltaje, la corriente y la resistencia en la **Tabla 11** y **12**?

Compare las potencias obtenidas con la potencia nominal del panel solar (30W) ¿Se logra obtener la potencia? ¿Cuál de los valores prácticos presenta mayor eficiencia? Explique su respuesta.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Con los resultados obtenidos en la **Tabla 12**, realice las gráficas de V vs I y V vs P .

Curva característica V vs I

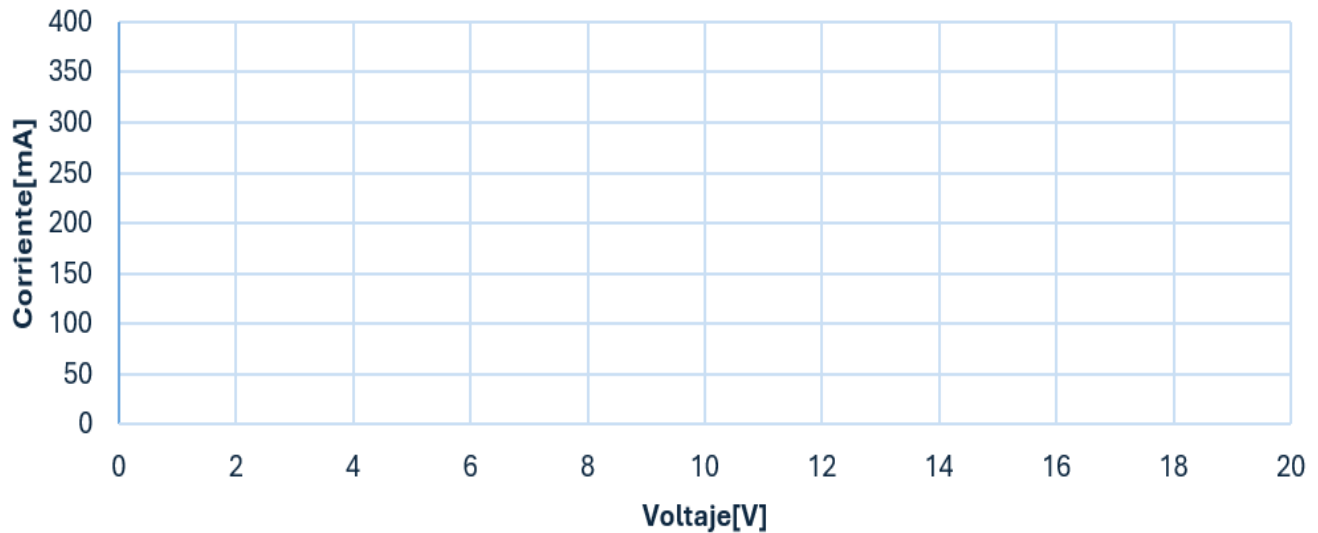


Fig. 29. Gráfica de V vs I .

Curva característica V vs P

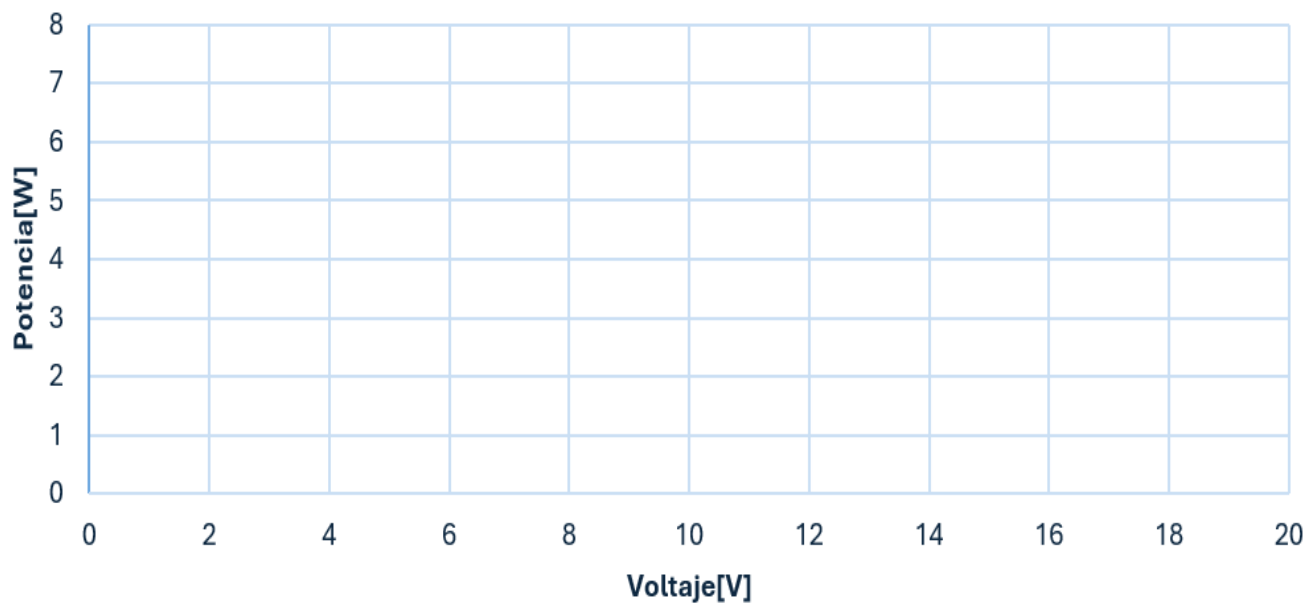


Fig. 30. Gráfica de V vs P .



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Con las gráficas de V vs I y V vs P ¿Cuál es el punto de potencia máxima?

¿Qué diferencia existe de las gráficas anteriores y las gráficas que proporciona el fabricante?

Parte 3 Conexión Serie

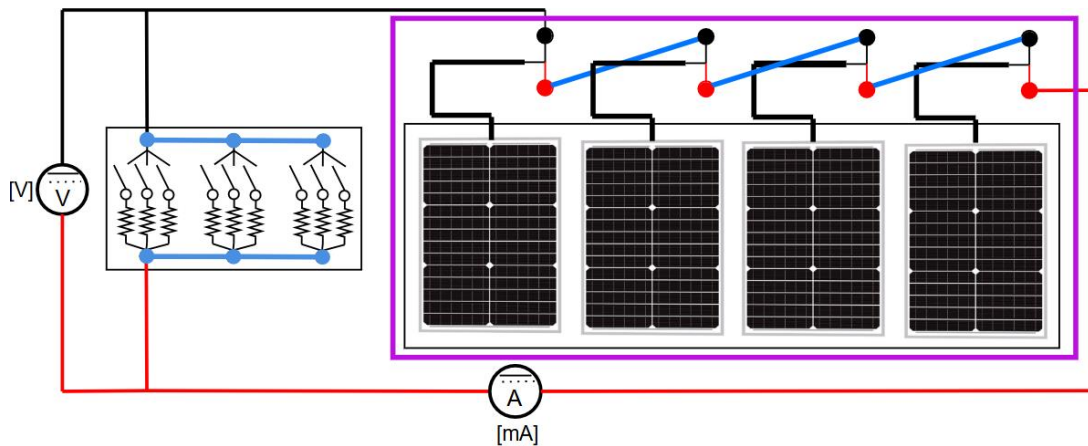


Fig. 31. Diagrama para la conexión de cuatro paneles solares en serie bajo carga.

Nota: - Asegúrese que cada interruptor del módulo LabVolt EMS 8311 se encuentren en opción OFF (posición abajo).

- Considere que el panel solar en conexión serie el voltaje variará.

1. Utilice 4 paneles solares y realice una conexión en serie, considere como referencia lo que está dentro del rectángulo morado de la **Fig. 31**, observe que la parte positiva (conductor rojo) de un panel solar se conecta con la parte negativa (conductor negro) del otro panel solar (línea azul).

Nota: Aun no conecte el módulo de resistencias y los multímetros para medir la corriente o el voltaje.

2. Conecte un multímetro con los cables rojo y negro en circuito abierto en su función de voltaje de cd, como el voltímetro de la **Fig. 31**, omita el módulo de resistencias y el medidor de corriente.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- Coloque una lámpara halógena en medio de los 2 primeros paneles y de la misma manera, la otra lámpara con los otros 2 paneles para que la luz cubra la mayor área. Posteriormente enciende las lámparas halógenas.
Nota: Ajuste el dimmer para que la lámpara produzca su mayor luz.
- Registre el valor de voltaje en la **Tabla 13** (Fila donde la corriente es 0), posteriormente cambie el conector de voltaje del multímetro al conector de corriente, mide la corriente y regístrela (Fila donde el voltaje es 0) en la **Tabla 13**.
- Apague las lámparas halógenas y conecte el módulo de carga resistiva EMS 8311 y los dos multímetros como se mostró en la **Fig. 31**.
- Enciende las lámparas halógenas.
- Habilite el interruptor del módulo de carga resistiva EMS 8311 de 1200 [Ω] registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 13**.
- Deshabilite el interruptor de 1200 [Ω] y habilite el de 600 [Ω], registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 13**.
- Realice las configuraciones necesarias para completar la **Tabla 13** y obtén el valor de potencia.
- Finalmente apague las lámparas halógenas y deshabilite los interruptores del módulo de LabVolt EMS 8311.

Tabla 13. Panel solar en serie.

Resistencia del Reóstato [Ω]	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Sin carga		0	0
	0		0
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Conexión paralelo

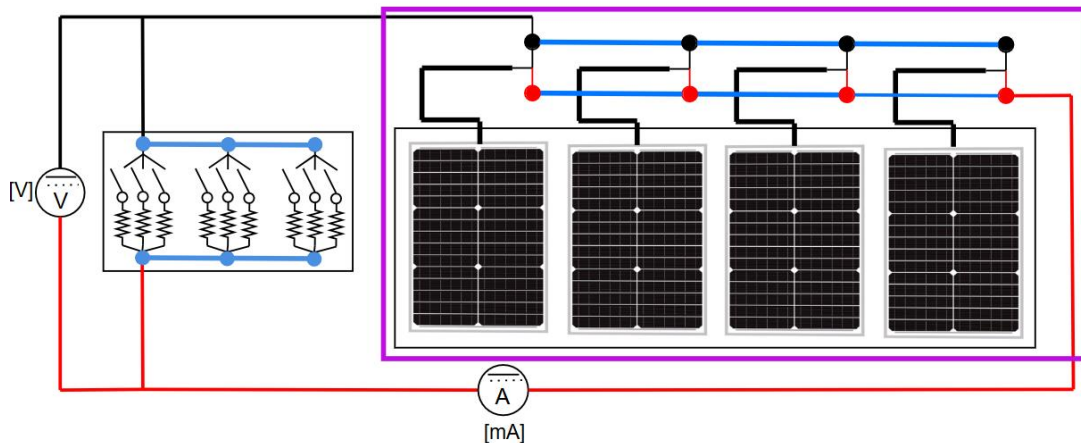


Fig. 32. Diagrama para la conexión de cuatro paneles solares en paralelo bajo carga.

Nota: - Asegúrese que cada interruptor del módulo de carga resistiva EMS 8311 se encuentren en opción OFF (posición abajo).

- Considere que los paneles solares en conexión paralelo la corriente aumentará y se requerirá más cables para esta conexión.

1. Con el uso de cuatro paneles solares, para un sistema en paralelo, considere como referencia lo que está dentro del rectángulo morado de la **Fig. 32**, identifique que la terminal negativa del panel solar se conecta con la otra terminal negativa del otro panel solar y de igual forma la terminal positiva de un panel con la otra terminal positiva del otro panel (líneas azules).

Nota: - Aun no conecte el módulo de resistencias y los multímetros para medir la corriente o el voltaje.

2. Conecte un multímetro en circuito abierto en su función de voltaje de cd, como el voltímetro de la **Fig. 32**, omita el módulo de resistencias y el medidor de corriente.
3. Enciende las lámparas halógenas.
Nota: Ajuste el dimmer para que la lampara produzca su mayor luz.
4. Registre el valor de voltaje en la **Tabla 14** (Fila donde la corriente es 0), posteriormente cambie el conector de voltaje del multímetro al conector de corriente, mide la corriente y regístrela (Fila donde el voltaje es 0) en la **Tabla 14**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

5. Apague las lámparas halógenas y conecte el módulo de carga resistiva EMS 8311 y los dos multímetros como se mostró en la **Fig. 32**.
6. Enciende las lámparas halógenas.
7. Habilite el interruptor del módulo de carga resistiva EMS 8311 de 1200[Ω] registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 14**.
8. Deshabilite el interruptor de 1200[Ω] y habilite el de 600[Ω], registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 14**.
9. Realice las configuraciones necesarias para terminar de completar la **Tabla 14** y calcule la potencia para cada valor de resistencia.
10. Finalmente apague el reflector de halógeno y deshabilite los interruptores del módulo de carga resistiva EMS 8311.

Tabla 14. Panel Solar en paralelo bajo carga.

Resistencia del Reóstato[Ω]	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Sin carga		0	0
	0		0
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Conexión serie-paralelo

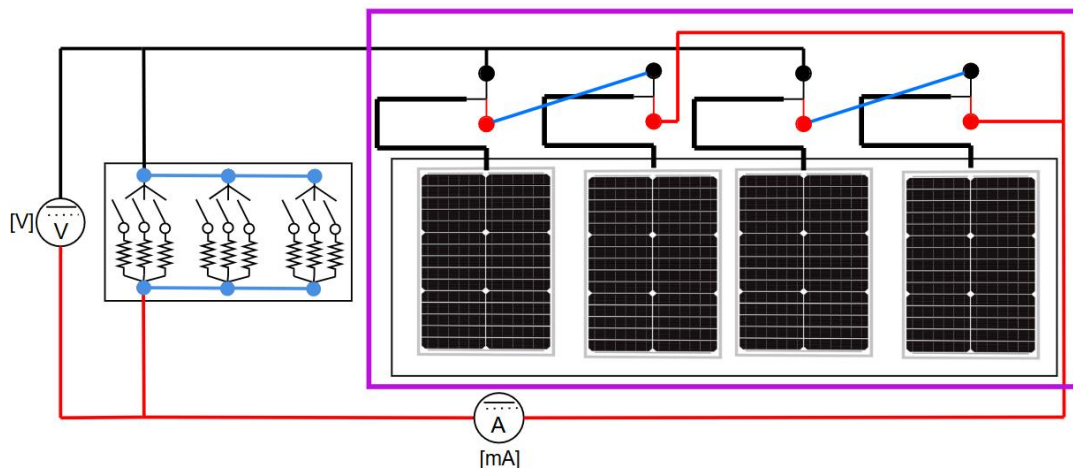


Fig. 33. Diagrama para la conexión de cuatro paneles solares en conexión serie-paralelo bajo carga.

Nota: - Asegúrese que cada interruptor del módulo de carga resistiva EMS 8311 se encuentren en opción OFF (posición abajo).

- Considere que al conectar los paneles solares en conexión mixta el voltaje y corriente aumentarán.

1. Realice la conexión mixta con el uso de los cuatro paneles solares, considere lo que está dentro del rectángulo morado de la **Fig. 33**. Observe la secuencia de conexión, primero se realizan dos conexiones en serie por separado, cada una con 2 paneles y posteriormente la conexión en paralelo entre ellos.

Nota: Por el momento no conecte el módulo de resistencias y multímetros para medir la corriente o el voltaje.

2. Conecte un multímetro en circuito abierto en su función de voltaje de cd, como el voltímetro de la **Fig. 33**, omita el módulo de resistencias y el medidor de corriente.

3. Enciende las lámparas halógenas.

Nota: Ajuste el dimmer para que la lámpara produzca su mayor luz.

4. Registre el valor de voltaje en la **Tabla 15** (Fila donde la corriente es 0), posteriormente cambie el conector de voltaje al conector de corriente, mide la corriente y regístrela (Fila donde el voltaje es 0) en la **Tabla 15**.

5. Apague las lámparas halógenas y conecte el módulo de carga resistiva EMS 8311 y los dos multímetros como se mostró en la **Fig. 33**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Nota: Para medir el voltaje de cd, considere el borne COM del multímetro como el lado negativo y el borne V o con signo +, como positivo.

6. Enciende las lámparas halógenas.
7. Habilite el interruptor del módulo de módulo de carga resistiva EMS 8311 de 1200 [Ω] registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 15**.
8. Deshabilite el interruptor de 1200 [Ω] y habilite el de 600 [Ω], registre el voltaje y la corriente en la **Tabla 15**.
9. Realice las configuraciones necesarias para terminar de completar la **Tabla 15** y calcule la potencia para cada valor de resistencia.
10. Finalmente apague las lámparas halógenas y deshabilite los interruptores del módulo de carga resistiva EMS 8311.

Tabla 15. Paneles solares en conexión mixta.

Resistencia del Reóstato[Ω]	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Sin carga		0	0
	0		0
1200			
600			
400			
300			
171.42			
85.71			
57.25			



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Realice una gráfica comparativa de *Potencia vs Carga* para las Tablas 13, 14 y 15, omitiendo las filas de *Sin carga*.

Carga vs Potencia

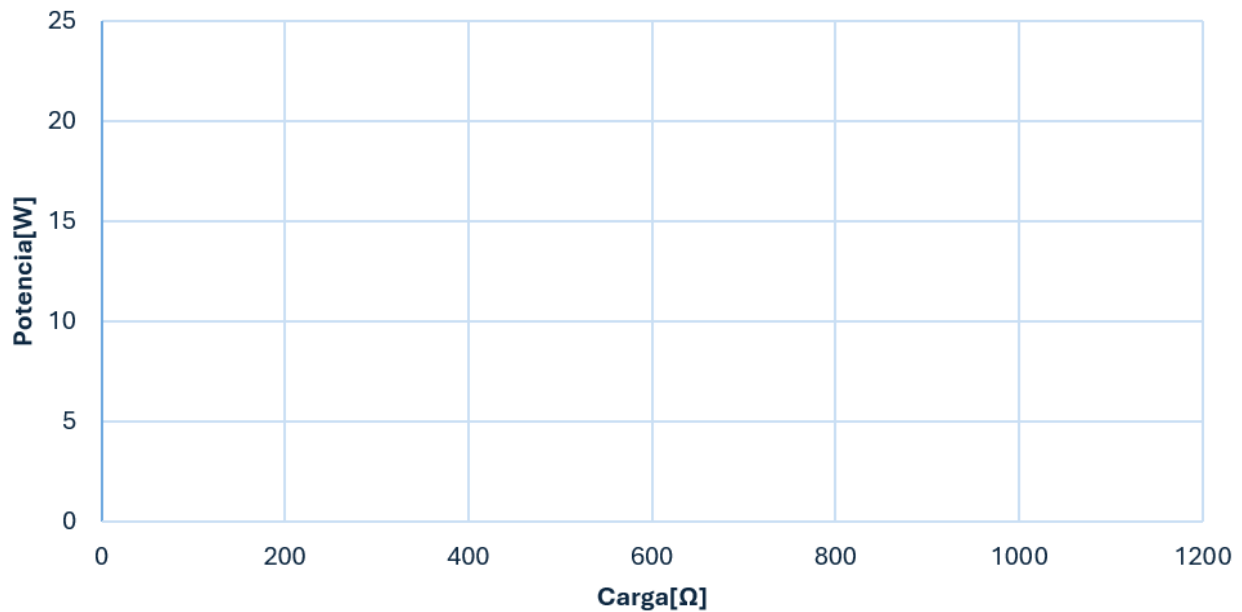


Fig. 34. Gráficas de Potencia vs Carga de los 3 tipos de conexiones en un panel solar.

¿Por qué la conexión serie comienza a disminuir su potencia al aumentar la carga después de 171.42[Ω] en vez de comportarse como la **Tabla 3** del previo?

¿Por qué la conexión paralelo genera menor energía para alimentar las diferentes cargas?
¿Qué problema puede traer esta situación?

¿Por qué en este caso la conexión mixta es la que genera mayor energía para alimentar las diferentes cargas?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Mencione las diferencias de los tres tipos de conexiones con los paneles solares

Para los tres tipos de conexiones. ¿Porque aumenta la potencia al aumentar la carga?

¿Cuál será la conexión más usada?

5. Conclusiones



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Previo 2. Condiciones externas ambientales (simulación)



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Introducción

En esta práctica se verán los factores que afectan a los paneles solares, cabe destacar que estos factores deben ser tomados en cuenta en el estudio que se realiza antes de la instalación, ya que puede llegar a ocurrir que el sistema solar fotovoltaico, no opere de la manera esperada, ocasionando pérdidas de generación de energía eléctrica, las cuales a largo plazo se traducirán en pérdidas económicas importantes reflejadas en la facturación.

En primer lugar, se conocerá que es el valor de irradiancia, así como diferentes definiciones de radiación, horas solar pico e irradiación solar, estos conceptos son muy importantes, ya que dependen del lugar en el cual se desea realizar la instalación, por lo que será necesario realizar los estudios y adecuaciones necesarias antes de la instalación del equipo del sistema fotovoltaico.

Posterior se conocerá la forma de calcular la inclinación angular, observando el impacto que se tiene sobre los paneles solares, por medio de mediciones eléctricas en dos tipos de sistemas posibles que se tienen, con el fin de comparar la generación de ambos sistemas.

- Sistema fijo: Ajustando manualmente a una sola inclinación del panel solar en diferentes ángulos y registrando la generación de energía.
- Sistema móvil (a través del seguidor solar): Utilizando un sistema móvil que se ajusta de forma perpendicular a la inclinación del haz luminoso para maximizar la captación de energía a lo largo de un periodo del día.

El impacto de las sombras en los paneles solares es un factor más a considerar, bajo esta condición se busca analizar cómo las sombras que se presentan en los sistemas en forma parcial y/o total en el panel afectan la generación de energía, así como la estrategia para evitar el impacto de las sombras, por medio de del uso de diodos de bypass.

El análisis del factor temperatura y la generación de energía en el panel solar, en la condición de operación con o sin carga, es un factor más a tomar en cuenta, con el propósito de llevar a la reflexión acerca de los resultados ya sean teóricos o prácticos y no se tenga el error de no tomar en cuenta este factor antes de realizar una instalación solar.

Finalmente se entrará más a fondo acerca del tema del espectro solar y del impacto en los paneles solares a diferentes valores de longitud de onda.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Factores que afectan la eficiencia en el panel solar

Radiación solar [12]: Es la energía emitida por el sol en forma de luz y calor, que llega a la superficie de la tierra, existen tres tipos de forma de radiación que se presentan en un panel solar (en referencia a la **Fig. 35**), directa, difusa y reflejada.

En donde, la radiación:

- Directa, es la que llega directamente desde el sol, sin ser dispersada ni absorbida por la atmósfera.
- Difusa, es la que se dispersa en la presencia de moléculas y partículas en la atmósfera y llega en todas las direcciones desde el cielo.
- Reflejada, es la que se refleja por la superficie de la tierra o por otros objetos antes de alcanzar al panel solar.

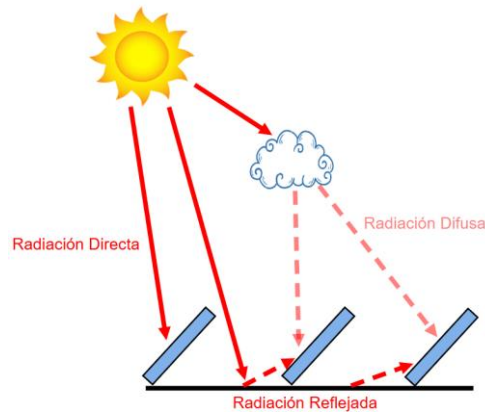


Fig. 35. Esquema de los 3 tipos de radiación solar en un panel solar, después de atravesar la atmósfera.

Irradiancia [13]

Representa la cantidad de potencia solar en una superficie específica. Cuanto mayor es el valor de irradiancia que incide en una celda solar, más energía generará. Este valor fluctúa a lo largo del día debido a factores como la posición del sol, la cobertura de nubes, las condiciones climáticas y la contaminación atmosférica, su unidad de medida es $\left[\frac{W}{m^2}\right]$.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Los efectos de la variación de irradiancia son [14]:

El voltaje de circuito abierto (V_{OC}) [15], el cual disminuirá de manera logarítmica al disminuir el valor de irradiancia.

La corriente de cortocircuito (I_{SC}) [16], el cual disminuirá linealmente al disminuir el valor de irradiancia.

El factor de forma, el cual indica el valor de calidad del panel solar, si el valor de ese factor se acerca a 1.0 indica una buena calidad, este valor es independiente del valor de la irradiancia y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$FF = \frac{P_{max} [W]}{V_{OC} [V] \cdot I_{SC} [A]} \quad (4)$$

El efecto de cambio de irradiancia en los paneles solares se puede calcular con las siguientes ecuaciones.

Los valores se obtienen de la ficha técnica del panel solar a condiciones estándar de prueba (STC) [6, 17].

$$V_{OC}(G_p)_{T=300[k]} [V] = V_{OC_{STC}} [V] + \frac{n \cdot k_B \left[\frac{J}{K} \right] \cdot T [K]}{q [C]} \ln \left(\frac{G_p \left[\frac{W}{m^2} \right]}{G_{STC} \left[\frac{W}{m^2} \right]} \right) \quad (5)$$

$$I_{SC}(G_p) [A] = I_{SC_{STC}} [A] \left(\frac{G_p \left[\frac{W}{m^2} \right]}{G_{STC} \left[\frac{W}{m^2} \right]} \right) \quad (6)$$

$$P_{max}(G_p) [W] = FF \cdot V_{OC_{G_p}} [V] \cdot I_{SC}(G_p) [A] \quad (7)$$

Donde: $V_{OC}(G_p)$: Tensión de circuito abierto a cierto nivel de irradiancia G_p [V]

$I_{SC}(G_p)$: Corriente de corto circuito a cierto nivel de irradiancia G_p [A]

$P_{max}(G_p)$: Potencia máxima a cierto nivel de irradiancia G_p [W]

G_{STC} : Irradiancia en condiciones estándar de medida 1000 [W/m²]

G_p : Irradiancia incidente del panel [W/m²]



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

n : Factor de idealidad de la celda solar (en Silicio 1.3)

k_B : Constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} [J/K])

q : Carga del electrón 1.602×10^{-19} [C]

Irradiación solar [13]: Es la cantidad total de energía solar que llega a una superficie específica en un período de tiempo determinado, generalmente medida en $\left[\frac{Wh}{m^2}\right]$.

Horas Solar Pico [HSP] [18]: Es la medida que se utiliza para estandarizar la cantidad de energía solar recibida durante un día. Se define como el número de horas durante las cuales el valor de irradiancia ideal es igual a $1000 \left[\frac{W}{m^2}\right]$. Se obtiene con los datos de irradiación solar en un determinado día y se divide entre la irradiancia ideal.

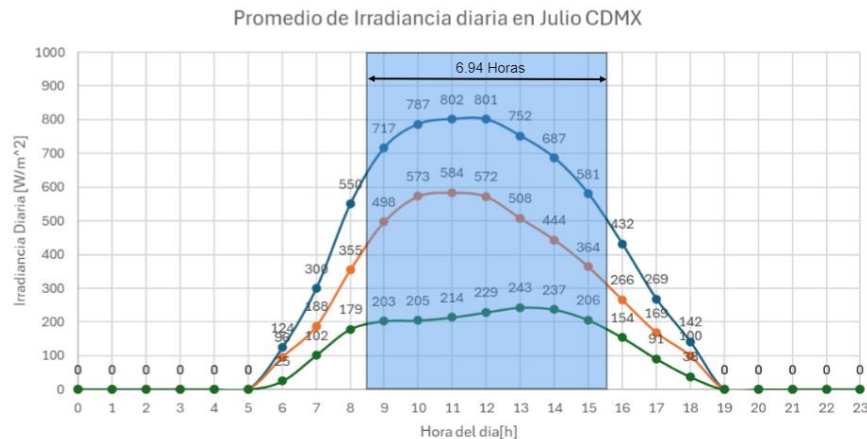


Fig. 36. Datos promedio de Irradiancia diaria en el mes de Julio en la CDMX. Elaboración propia.

La **Fig. 36** muestra la curva promedio de irradiancia en un día del mes de julio tomando como referencia la ubicación del Laboratorio de Máquinas Eléctricas con apoyo de la página de PVGIS [19], para el cual en ese mes se registró un promedio de $6944 \left[\frac{Wh}{m^2}\right]$ que, al dividirlo entre el valor de irradiancia ideal, se obtuvo en promedio 6.94 HSP por día.

Ángulo de inclinación y orientación [20]

La eficiencia en un sistema de paneles solares puede variar significativamente según la inclinación de los paneles, el ajustar la inclinación a lo largo del año sería lo ideal, ya que el ángulo del sol varía estacionalmente, siendo más alto en verano y más bajo en invierno.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Sin embargo, los sistemas que siguen la trayectoria del sol son más caros y necesitan mantenimiento debido a sus componentes móviles. Los sistemas de inclinación fija tienen un ángulo óptimo para maximizar la producción en cada estación del año. Aunque pequeños ajustes pueden no parecer significativos en un año, a lo largo de la vida útil del sistema, pueden tener un impacto sustancial en su eficiencia.

El ángulo de orientación deberá estar en dirección hacia el Ecuador, por ejemplo, si uno se encuentra ubicado en el hemisferio Norte se utiliza un ángulo Azimut de 180° , de lo contrario si se está ubicado en el hemisferio Sur se utiliza un ángulo Azimut de 360° o 0° .

El ángulo de inclinación se puede obtener mediante 3 ecuaciones:

Ángulo óptimo de inclinación anual [20]

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69\phi \quad (8)$$

Ángulos óptimos de inclinación invierno y verano respectivamente [21].

$$\beta_{opt} = \phi + 15 \quad \beta_{opt} = \phi - 15 \quad (9)$$

o por medio de [22]

$$\beta_{opt} = 0.9\phi + 29 \quad \beta_{opt} = 0.9\phi - 23.5 \quad (10)$$

Donde:

ϕ : Latitud del lugar

Sombra y distancia entre paneles

Los paneles solares están compuestos por varias celdas solares que funcionan en conjunto. Cuando alguna de estas celdas se ve afectada por una sombra, en lugar de generar energía, podrían llevar a un proceso inverso, lo que puede llevar al sobrecalentamiento o al deterioro de la celda solar. Esta situación puede resultar en una disminución de la potencia de toda la instalación, ya que el rendimiento de cada celda solar impacta en las demás.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

De acuerdo con [23] se define el siguiente circuito equivalente:

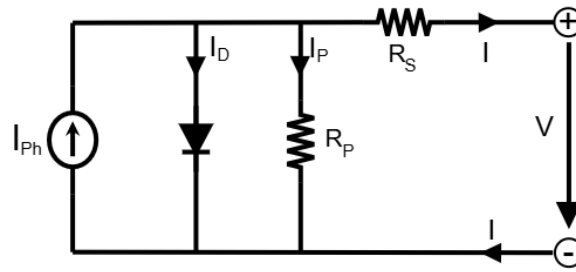


Fig. 37. Circuito equivalente de una celda solar. Fuente [23].

Donde:

La fuente de corriente I_{ph} se genera por los fotones de la luz y depende del valor de irradiancia.

En donde:

I_D , es la característica de la unión P-N y se comporta como un diodo.

R_s , es una resistencia serie, generalmente en $[m\Omega]$ que representa la caída de voltaje a través de la unión del semiconductor hasta los contactos externos.

R_p , presenta una resistencia en paralelo con un valor mayor a $10[\Omega]$ la cual describe las corrientes de fuga en los bornes de la celda solar.

Por lo que, al existir una sombra sobre la celda solar ocurrirá lo siguiente [24]:

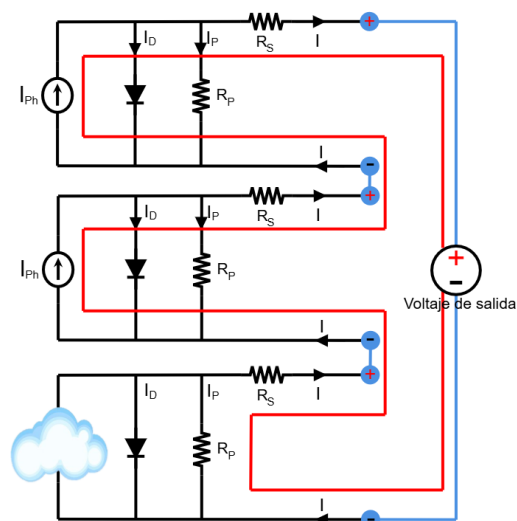


Fig. 38. Representación del flujo de la corriente en 3 celdas solares con una sombra.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

De acuerdo con la **Fig. 38**, la corriente pasará por la resistencia en paralelo de la celda solar con sombra (línea roja), lo que generará calentamiento por efecto joule y una menor corriente, lo que ocasionará que las demás celdas solares se ajusten a esa corriente y aumenten su voltaje, a lo cual la celda sombreada experimentará un voltaje negativo con lo que comenzará a consumir energía eléctrica, causando daños en la celda por sobrecalentamiento.

Del cual, para evitar el efecto de la sombra en una celda solar se recomienda utilizar diodos de derivación o bypass, como se muestra a continuación:

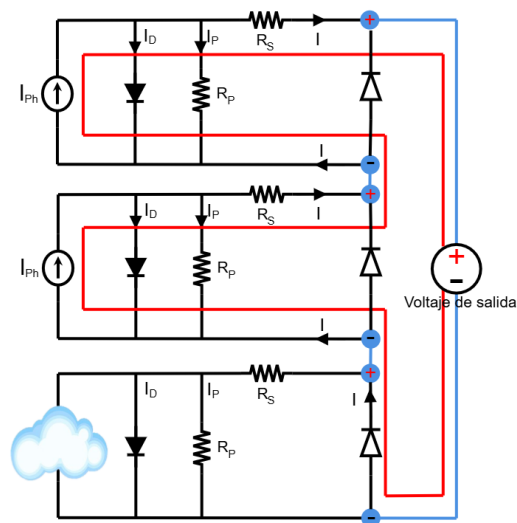


Fig. 39. Representación del flujo de la corriente en 3 celdas solares con una sombra y diodo de bypass.

Los cuales evitarán que la celda solar consuma energía y genere calentamiento por la resistencia R_p , ya que el diodo evita un flujo de corriente a través de él, evitando la caída de corriente en las demás celdas [24]. Sin embargo, el problema de agregar diodos en cada celda solar representa en un costo elevado, por lo que, para evitar esto [23], usualmente se recomienda colocar un diodo en derivación de 18 a 24 celdas solares y/o dos diodos en celdas de 36 a 40 celdas solares, dependiendo de la cantidad de cadenas que se desee colocar, ilustrado en la **Fig. 40**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

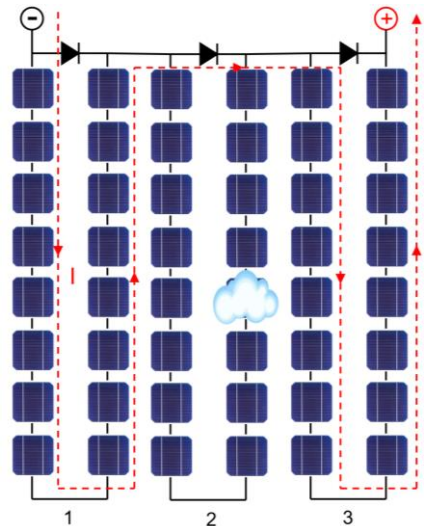


Fig. 40. Funcionamiento de los diodos de bypass en un panel solar tradicional.

Para poder evitar el efecto de las sombras en los paneles solares se puede usar la tecnología de celda partida, la cual consiste en cortar por la mitad las celdas solares y agruparlas en serie, para después conectarlas en paralelo, sígase la **Fig. 41**:

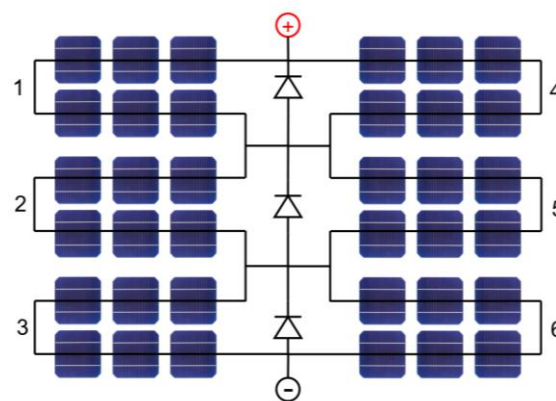


Fig. 41. Panel solar de celda partida y diodos de bypass.

Con la imagen anterior, podemos observar que en lugar de 3 cadenas de celdas solares ahora se tienen 6 cadenas, por lo que, al tener una sombra en una celda de la cadena, solo se perdería esa cadena y no se generaría calor en la celda sombreada, y únicamente una sexta parte de la potencia dejaría de generar energía, lo que a diferencia del panel solar tradicional se perdería una tercera parte de la potencia generada al tener una sombra en una celda de la cadena.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Otra forma de evitar las sombras por otros paneles cercanos es determinar la distancia entre ellos, las siguientes ecuaciones sirven para calcular la distancia que debe haber entre paneles en un espacio plano [25]:

$$h [m] = \text{sen}\phi [^\circ] \cdot L [m] \quad (11)$$

$$b [m] = \text{cos}\phi [^\circ] \cdot L [m] \quad (12)$$

$$a [m] = \frac{h [m]}{\text{tan}\theta [^\circ]} \quad (13)$$

$$d_{\min} [m] = a [m] + b [m] \quad (14)$$

Donde:

h : Altura del piso a la arista superior [m]

ϕ : Ángulo óptimo inclinación del panel [°]

L : Longitud del panel solar [m]

b : Distancia de la arista inferior y la superior del mismo panel [m]

a : Distancia de la arista inferior a la superior de los paneles [m]

θ : Ángulo de la sombra respecto a la horizontal = $90 - \phi$ [°]

d_{\min} : Distancia mínima entre aristas de paneles solares

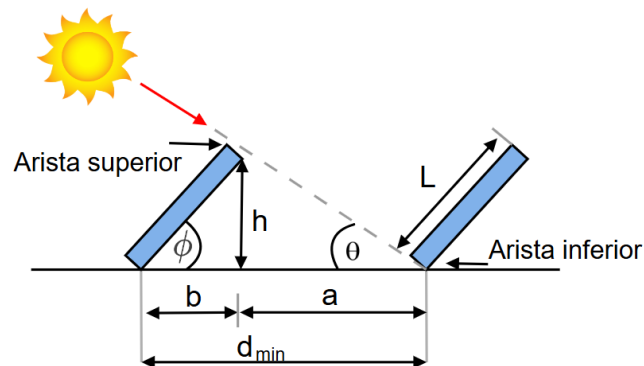


Fig. 42. Esquema que representa los datos para calcular la distancia entre paneles solares.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Temperatura

La temperatura del panel solar es un parámetro que puede afectar considerablemente la eficiencia; viéndolo desde el punto de la energía recibida por el sol, una celda solar de Silicio solo necesita una cantidad de energía de $E_{G_{Si}} \approx 1.12$ [eV] para que puedan pasar electrones de la banda de valencia a la banda de conducción y tener electrones-hueco [2]. Pero la energía que proporciona el sol, al panel solar es mayor a la energía necesaria para desprender electrones, debido a esto, esa energía sobrante se transformará en calor, formando concentraciones de portadores intrínsecos que generarán saturación de corriente.

Los fabricantes de paneles solares ofrecen información para poder calcular el efecto de la temperatura los cuales se ocuparán en las siguientes ecuaciones:

Aumento de la temperatura del panel solar [14]:

$$T_p [^{\circ}\text{C}] = T_a [^{\circ}\text{C}] + G \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right] \cdot \left(\frac{T_{ONC} [^{\circ}\text{C}] - 20 [^{\circ}\text{C}]}{0.8 \left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right]} \right) \quad (15)$$

T_p : Temperatura del panel solar en [$^{\circ}\text{C}$]

T_a : Temperatura ambiente en [$^{\circ}\text{C}$]

G : Irradiancia máxima del lugar $\left[\frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right]$

T_{ONC} : Temperatura de operación nominal de la celda [$^{\circ}\text{C}$]

Por medio de las siguientes ecuaciones [14], considerando el valor de irradiancia constante, se podrá observar que, al aumentar la temperatura, el voltaje de circuito abierto disminuirá, mientras que la corriente de cortocircuito aumentará en valores muy pequeños, por lo que la potencia podrá aumentar o disminuir:

$$V_{OC(T_p)} [V] = V_{OC_{STC}} [V] \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100} \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right] \cdot (T_p [^{\circ}\text{C}] - T_{STC} [^{\circ}\text{C}]) \right) \quad (16)$$

$$I_{SC(T_p)} [A] = I_{SC_{STC}} [A] \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{100} \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right] \cdot (T_p [^{\circ}\text{C}] - T_{STC} [^{\circ}\text{C}]) \right) \quad (17)$$

$$P_{Max(T_p)} [W] = P_{Max_{STC}} [W] \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \left[\frac{\%}{^{\circ}\text{C}} \right] \cdot (T_p [^{\circ}\text{C}] - T_{STC} [^{\circ}\text{C}]) \right) \quad (18)$$



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Donde:

$V_{OC_{T_p}}$: Tensión de circuito abierto a cierta temperatura T_p [V]

$I_{SC_{T_p}}$: Corriente de corto circuito a cierta temperatura T_p [A]

$P_{Max_{T_p}}$: Potencia en el punto de máxima potencia a cierta temperatura T_p [W]

T_{STC} : Temperatura en condiciones estándares de prueba 25 [°C]

α : Coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito o I_{sc} [%/°C]

β : Coeficiente de temperatura de la tensión de vacío o V_{oc} [%/°C]

γ : Coeficiente de temperatura de la potencia en el punto máximo [%/°C]

$V_{OC_{STC}}, I_{SC_{STC}}, P_{Max_{STC}}$: Son datos que brinda la ficha técnica del panel solar

Para el caso de tener variaciones de temperatura e irradiancia se ocuparán las ecuaciones (16), (17) y (18), pero solo las ecuaciones (17) y (18) se multiplicarán por la división del valor de irradiancia que llega al panel solar sobre el valor de irradiancia de STC “1000 [$\frac{W}{m^2}$]”.

Ejemplo para la corriente de cortocircuito usando la ecuación (17):

$$I_{SC(T_p)} = I_{SC_{STC}} [A] \left(1 + \frac{\alpha}{100} \left[\frac{\%}{^{\circ}C} \right] x (T_p - T_{STC}) \right) \left(\frac{G \left[\frac{W}{m^2} \right]}{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} \right)$$

Algunas causas del aumento de temperatura son [26]:

Radiación solar directa: cuando los paneles solares absorben la luz solar para convertirla en electricidad, también absorben calor, lo que eleva la temperatura del panel.

Ventilación insuficiente: los paneles solares instalados cerca de superficies de techos o sin espacio suficiente para la circulación de aire, puede generar más calor.

Clima: fenómenos atmosféricos como el niño y el aumento de temperatura por gases de efecto invernadero, factores que considerar y monitorear para una instalación solar.

Polvo y suciedad: la acumulación de polvo, suciedad y otros residuos en la superficie de los paneles solares puede aumentar la absorción de calor, ya que estas partículas pueden absorber y retener calor.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Resistencia interna y corrientes de fuga: Se puede generar calor cuando la corriente eléctrica pasa a través de la resistencia interna. Las corrientes de fuga, aunque son mínimas, también pueden contribuir al aumento de temperatura.

Longitud de onda

Como se comentó anteriormente el material de Silicio necesita una energía de 1.12 [eV] [2] para que un enlace covalente se rompa y el electrón desprendido de la banda de valencia salte a la banda de conducción y tomando en cuenta la ecuación (2) se puede determinar el valor de la longitud de onda mínima para que esto ocurra.

$$E_{\lambda} [\text{eV}] = \frac{h [\text{J} \cdot \text{s}] \cdot c \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]}{\lambda [\text{nm}]} \quad (2)$$

Despejando la longitud de onda

$$\lambda [\text{nm}] = \frac{h [\text{J} \cdot \text{s}] \cdot c \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]}{E_{\lambda} [\text{eV}]} \quad (19)$$

Sustituyendo datos y convirtiendo los eV a Joule, se tiene que:

$$\lambda = \frac{(6.626 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]) (3 \times 10^8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right])}{(1.12 \text{eV}) (1.602 \times 10^{-19} \left[\frac{\text{J}}{\text{eV}}\right])} = 1107.89 [\text{nm}] \quad (20)$$



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Con el valor calculado y tomando como fuente la siguiente Fig.

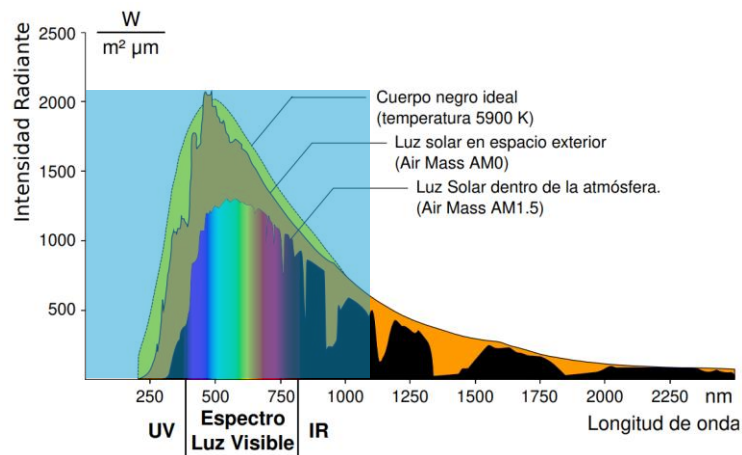


Fig. 43. Espectro teórico del cuerpo negro y espectro solar completo en la superficie terrestre y en la parte superior de la atmósfera. Fuente [5].

Se puede observar que se ocupan todas las longitudes de onda por debajo del valor calculado (zona azul), además de que el valor de irradiancia que recibe un cuerpo negro ideal y la irradiancia que está fuera de la atmosfera de la tierra tendrán un valor diferente, en comparación con el valor de irradiancia en la superficie de la tierra.

El 98% de la radiación solar [27] que llega a la tierra, abarca de los 250 [nm] a los 2500 [nm] por lo que no tenemos que preocuparnos que el sol no tenga suficiente energía para romper los enlaces covalentes de los átomos de Silicio.

Pero dado que los mayores valores de irradiancia sobre la superficie de la tierra son el espectro visible, es necesario conocer las longitudes de onda de cada color para conocer sus límites:

Tabla 16. Longitudes de onda de la luz visible.

Color	Longitud de onda [nm]
Rojo	625-740
Naranja	590-625
Amarillo	565-590
Verde	500-565
Cyan	485-500
Azul	440-485
Violeta	380-440



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Sin embargo, la luz que llega al panel solar por el sol no se comporta de la misma manera que es ilustrado en la **Fig. 43**, esto es debido a los materiales de la celda solar, por ejemplo, la celda solar de Silicio puede aumentar su eficiencia absorbiendo ciertas longitudes de onda, como es el caso de la **Fig. 44**, en la cual se muestran los resultados del impacto de la irradiancia en el Silicio y la celda de Perovskita a diferentes valores de longitud de onda y para el caso de la **Fig. 44 a)** esa celda solar de Silicio aprovecha más las longitudes de onda del color rojo y parte de la radiación infrarroja. Pero en el caso de una celda solar de Perovskita **Fig. 44 b)**, se aprovecha mejor el espectro visible.

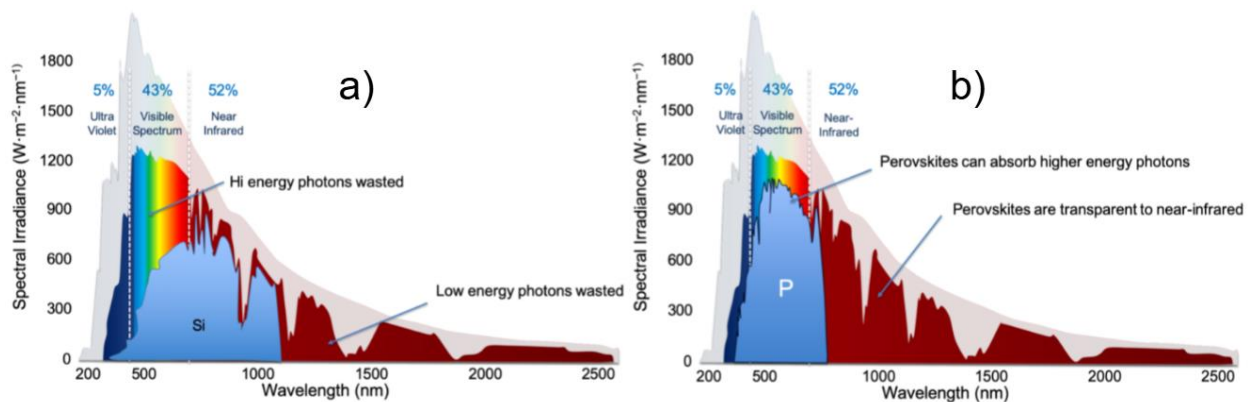


Fig. 44. Espectro de captación de una celda solar de Silicio y una celda solar de Perovskita. Fuente [28].

Con todo lo anterior se puede deducir, que una manera para aumentar la eficiencia de un panel solar es, mediante el desarrollo de más tecnologías similares a la Perovskita, o diferentes materiales que capten mejor la radiación solar. Hoy en día ese es el desafío en las industrias, el poder desarrollar tecnologías más eficientes a bajo costo.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

2. Objetivos del previo

- Realizar un análisis de la variación del valor de irradiancia en un panel solar mediante el uso del software Simulink de Matlab.
- Analizar e implementar un sistema que represente el impacto de las sombras en los paneles solares mediante el uso del software Simulink de Matlab.
- Comprobar el funcionamiento del diodo bypass mediante el uso del software Simulink de Matlab.
- Observar el comportamiento de un panel solar el aumento de temperatura mediante el software Simulink de Matlab.

3. Equipo a utilizar

- Equipo de cómputo
- Software Simulink de Matlab con librería Simscape Electrical.
- Juego de paneles solares con placa de datos reales por simular.

4. Desarrollo

Parte 1 efecto de la Irradiancia

Haciendo uso del mismo diagrama del Previo 1 de la **Fig. 13**, realice los cambios que se muestran en la siguiente Fig.

Nota: Se cambio el bloque *PS Constant-Cte* de Irradiancia por dos bloques, un bloque *Inport-Irradiancia* y un bloque *Simulink-PS Converter-Convertidor SP* y se creó un subsistema.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

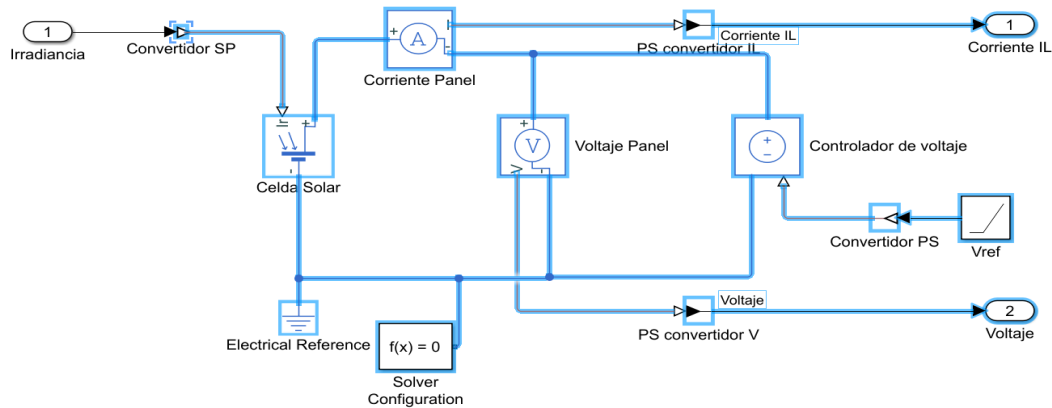


Fig. 45. Diagrama de simulación de un panel solar.

Al crear el subsistema de Simulink, realice los ajustes necesarios para que sea igual al de la **Fig. 46**.

Nota: Solo se agregó el bloque *Constant-Irradiancia* como entrada al sistema.

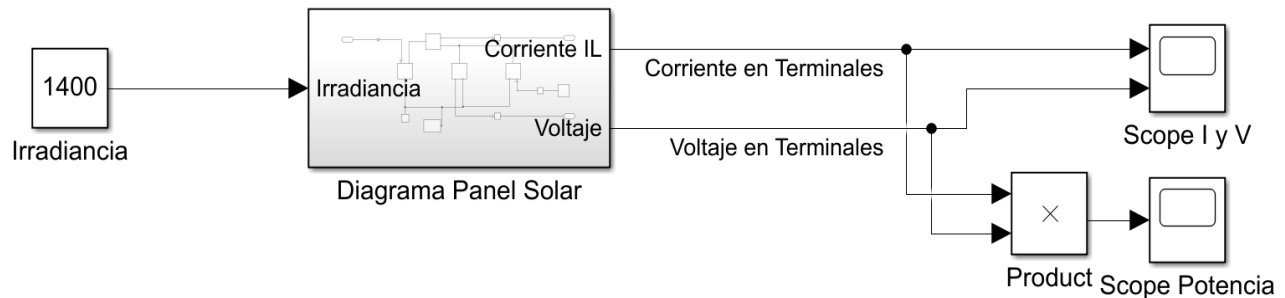


Fig. 46. Diagrama del subsistema de un panel solar con valor de entrada para la Irradiancia.

Consideración de valores para los bloques

Para los siguientes bloques, en:

Constant-Irradiancia: Asigne el valor de 1400.

Solar Cell-Celda Solar: Asigne los valores del panel solar de la **Tabla 9** y considere el valor de $N = 1.3$.

Ramp-Vref: Utilice el valor de 1 y un tiempo en Stop Time de 20.4 segundos.

Nota: En los datos de Solar Cell no olvide considerar los datos para una sola celda en el apartado de *Cell Characteristics* y en Configuración el *número de celdas en serie*.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Actividades:

1. A través de la opción *Run* obtenga la solución del diagrama realizado anteriormente.
2. Observe los valores de I y V en el bloque llamado *Scope* y registre los datos de corriente de cortocircuito ($V = 0$ [V]) y voltaje de circuito abierto ($I = 0$ [A]) en la **Tabla 17**.
Nota: Una vez activas las gráficas de *Scope I* y *V* no olvide colocar los cursores de medición *Parte 1-Actividad 1, incisos a) y b) del Previo 1* para obtener los datos de la gráfica, si ya los tiene colocados puede ignorar esta nota.
3. Habilite el bloque llamado *Scope Potencia* y registre el valor máximo de la gráfica en la **Tabla 17**.
4. Seleccione todo el diagrama de la **Fig. 46**, copie y pegue en otro lado del espacio en blanco de Simulink, cambie el valor del bloque *Constant-Irradiancia1* al otro valor de Irradiancia de la **Tabla 17**, obsérvese la **Fig. 47**.

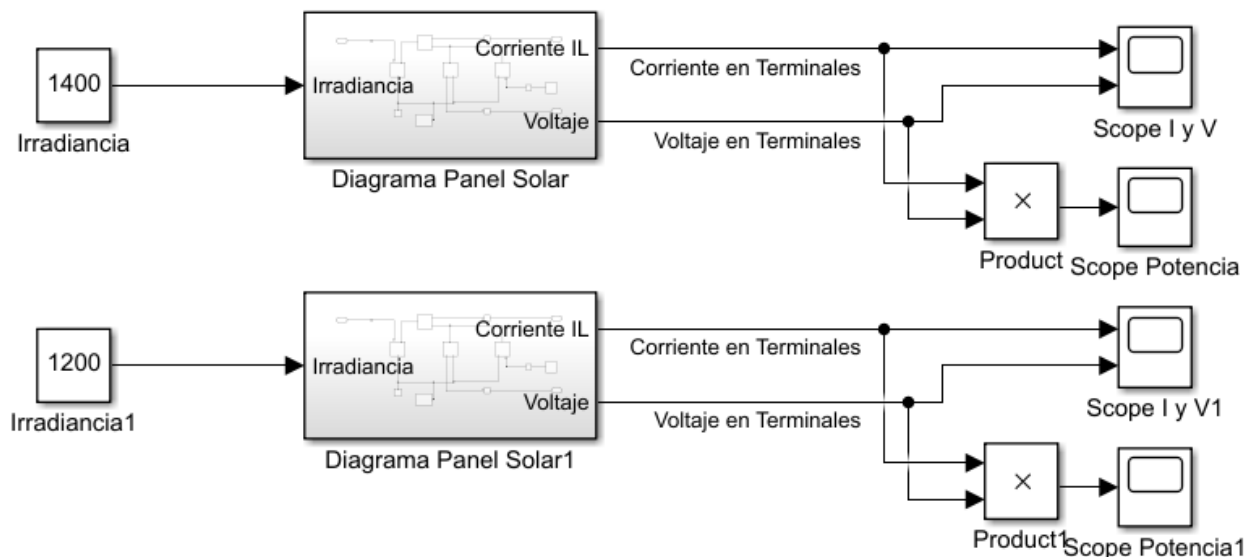


Fig. 47. Diagrama de dos subsistemas de paneles solares con diferente valor de irradiancia.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

5. Repite los pasos 1, 2, 3 y 4 para cada valor de Irradiancia de la **Tabla 17**.

Tabla 17. Comportamiento del panel solar a distintos valores de irradiancia.

Irradiancia [$\frac{W}{m^2}$]	Voltaje de circuito abierto V_{oc} [V]	Corriente de cortocircuito I_{sc} [A]	Potencia Max P_{max} [W]
1400			
1200			
1000			
800			
600			
400			
200			
100			

6. Una vez completa la **Tabla 17**, utilice el bloque nombrado *Scope* y presente todas las gráficas de potencia, obsérvese la **Fig. 48**.

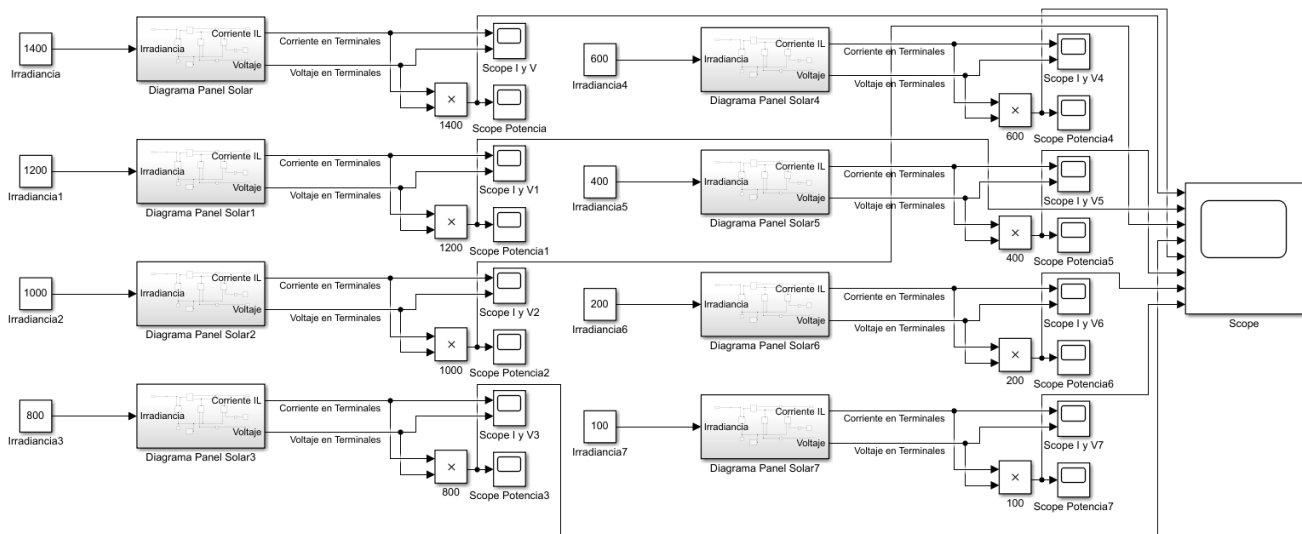


Fig. 48. Diagrama final de conexión para observar el comportamiento de la irradiancia en un panel solar.

De acuerdo con los valores de la **Tabla 17** al variar la irradiancia ¿qué varía más, la corriente de cortocircuito o el voltaje de circuito abierto? comente su respuesta.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿Qué se observa en el bloque *Scope* agregado en el paso 6?

¿Qué pasaría si se usan valores de Irradiancia mayores a 1400 o menores de 100 en los bloques *Constant-Irradiancia*?

¿Cuál es el impacto en los paneles solares al variar el valor de Irradiancia?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 2 Impacto de las sombras en un panel solar

1. Usando el diagrama de la **Fig. 48**, acceda al bloque nombrado *Diagrama Panel Solar*.
2. Copie todos los bloques y conexiones, posteriormente presione las teclas Ctrl+n, para crear un nuevo espacio de trabajo.
3. Pegue el diagrama y realice los ajustes necesarios para igualar al sistema que se muestra en la **Fig. 49**.

Nota: Integre dos bloques nuevos, uno llamado *Mux* y otro denominado *Display*, de igual manera integre los bloques que anteriormente se usaron como el bloque *Constant* y el bloque *Resistor*.

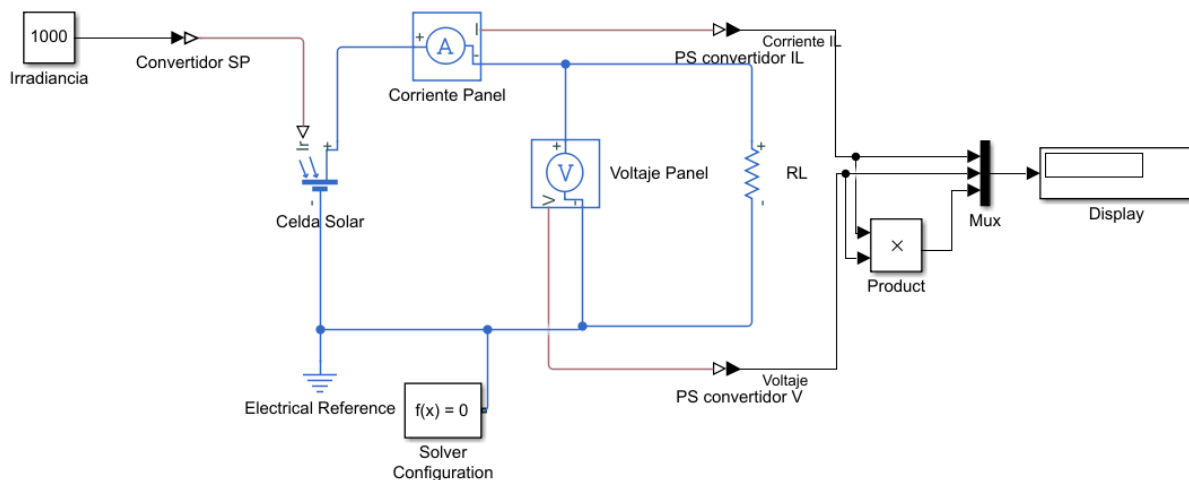


Fig. 49. Diagrama de conexiones para simular el efecto de sombras en un panel solar.

4. Para el bloque *Constant*-Irradiancia coloque el valor de 1000 y el valor del bloque RL será de 57.14 [Ω].
5. Coloque un tiempo de simulación de 10 seg y a través de la opción *Run*, obtenga la solución del diagrama, después de finalizar la simulación mejore la imagen del bloque *Display* para observar los 3 valores obtenidos.
6. Registre los valores en la **Tabla 18**, los cuales se registrarán en la fila nombrada *Ninguna*.
7. De clic en el bloque *Celda Solar* y en el apartado *Configuration*, cambie el número de celdas serie de 30 a 5.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

8. Copie los bloques con nombre *Irradiancia*, *Convertidor SP* y *Celda Solar*, pegue 5 veces los bloques y realice una conexión en serie referirse a la **Fig. 50**.

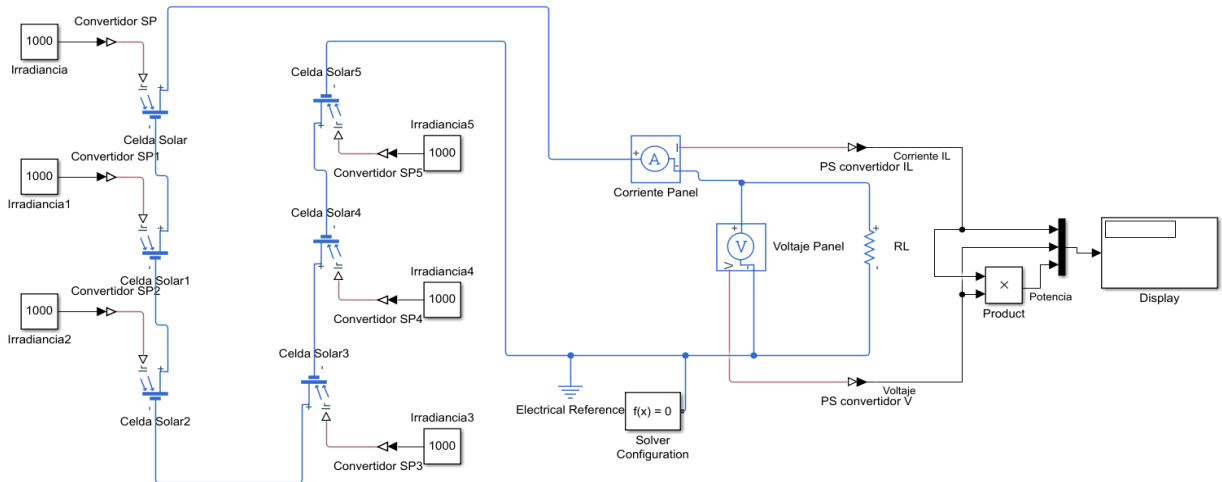


Fig. 50. Diagrama de la conexión de un panel solar de 30 celdas en serie.

9. Cambie el valor del bloque *Irradiancia* al siguiente *Valor de irradiancia* de la **Tabla 18**, este valor se obtiene realizando la siguiente operación:

$$Irradiancia = 1000 \left[\frac{W}{m^2} \right] - \left(\frac{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]}{\#_{buses}} \times (\#_{buses_{sombreados}} - 0.5) \right) \quad (21)$$

Para el caso de sombrear un bus:

$$1000 \left[\frac{W}{m^2} \right] - \left(\frac{1000 \left[\frac{W}{m^2} \right]}{9} (1 - 0.5) \right) = 944.44 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Donde, el 9 es el número de buses que tiene una sola celda solar, el 0.5 representa la superficie sombreada al tapar un bus.

Nota: Ese cálculo se obtiene por el tipo de panel solar que está en el Laboratorio, cuando lo observe, identifique la parte que se sombrea. La cantidad de celdas solares que se sombreen en la Práctica 2 son 5, por ello se colocó la representación de sombrear las 5 celdas en un solo bloque de Celda Solar por mayor practicidad.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

10. A través de la opción Run obtenga la solución del diagrama realizado anteriormente y anote los valores obtenidos del bloque *Display* en la **Tabla 18**.
11. Repite los pasos 9 y 10 hasta completar la **Tabla 18** y calcule la potencia del sistema.

Tabla 18. Simulación del sombreado de 5 celdas del panel solar.

Bus Sombreado	Valor de irradiancia	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Ninguno	1000			
1	944.44			
3	722.22			
6	388.88			
9	55.5			
Panel completo	0			

Conforme se sombrea una celda solar ¿Qué afectaciones sufre el panel solar?

En este diagrama se simula el sombreado de 5 celdas a la vez ¿Qué pasaría si solo se sombrea una celda solar?

¿Como puedes evitar el impacto de las sombras?

12. Seleccione los 6 bloques de *Celda Solar* con sus respectivos bloques de *Convertidor SP* y *Constant*, copie y pegue a un lado los bloques.
13. Realice una conexión en serie con los bloques agregados y asigne los mismos valores de los bloques llamados *Irradiancia* como se muestra en la **Fig. 51**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

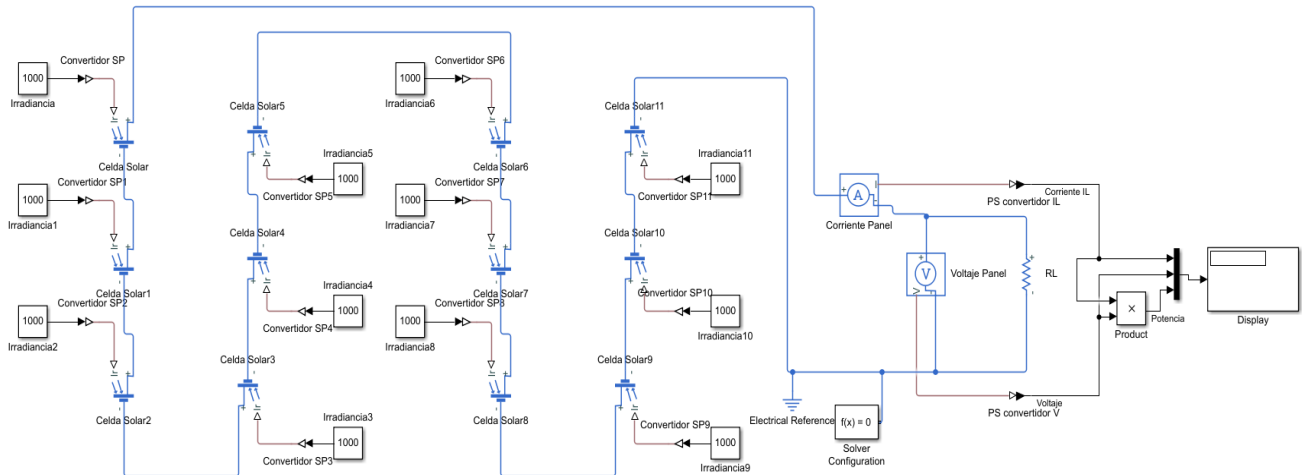


Fig. 51. Diagrama de conexión para la simulación de dos paneles en serie.

14. A través de la opción Run obtenga la solución del diagrama y registre los valores de corriente, voltaje y potencia en la **Tabla 19**.
15. Habilite el bloque nombrado *Irradiancia* y modifique los valores mostrados indicados según la **Tabla 19**, repite el paso 14 hasta completar la tabla y calcule la potencia del sistema.

Tabla 19. Sombreado de 2 paneles solares en serie sin Diodo de Bypass.

Bus Sombreado	Valor de irradiancia	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Ninguno	1000			
1	944.44			
3	722.22			
6	388.88			
9	55.55			
Todo cubierto	0			

16. Coloque dos bloques *diode* en polarización inversa, ver detalle en **Fig. 52**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

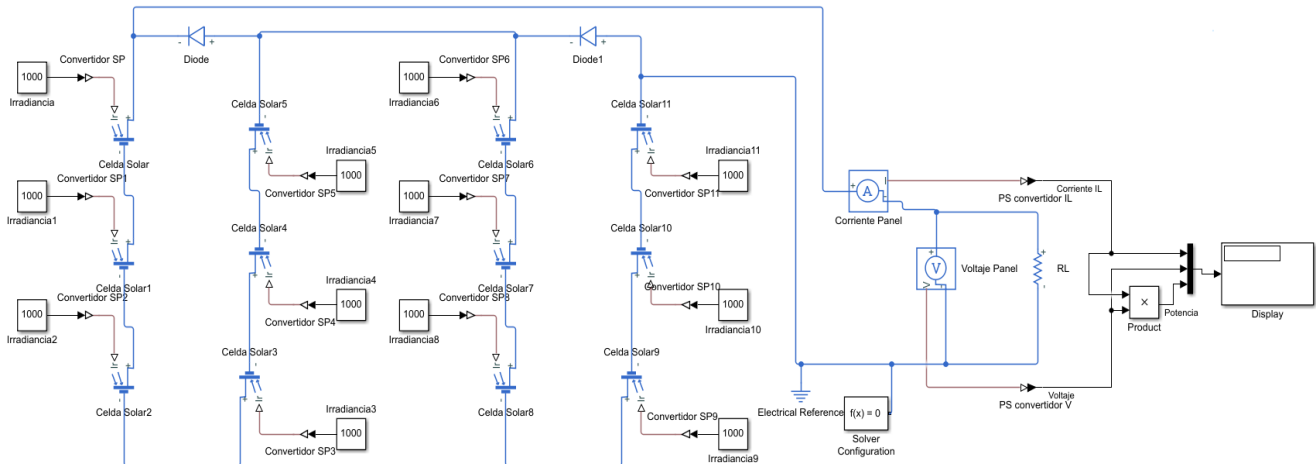


Fig. 52. Diagrama de conexión para la simulación de dos paneles de 30 celdas en serie y 2 diodos de Bypass.

17. En cada bloque de los diodos agregados, asigne un valor a *Forward Voltage* de 1V, dato obtenido del diodo que usan los paneles solares a simular.
18. Asigne el primer valor de irradiancia de la **Tabla 20** en el bloque *Irradiancia*, obtenga la solución con la opción *Run* y registre los valores de voltaje y corriente simuladas en la **Tabla 20**.
19. Cambie el valor del bloque *Constant* al siguiente *valor de irradiancia* indicado en la **Tabla 20**.
20. A través de la opción *Run* obtenga la solución del diagrama, registre los datos obtenidos en la **Tabla 20**, Repite el paso 19 y este paso hasta completar la tabla y calcule la potencia del sistema.

Tabla 20. Sombreado de 2 paneles solares en serie con Diodo de Bypass.

Bus Sombreado	Valor de irradiancia	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Ninguno	1000			
1	944.44			
3	722.22			
6	388.88			
9	55.55			
Todo cubierto	0			



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿Qué relación encuentra con los resultados obtenidos entre la **Tabla 18** y **19**?

¿Cuál es la función del diodo bypass al comparar la **Tabla 19** y **20**?

Nota: Si requiere observar el funcionamiento del diodo de bypass, repite la simulación para cada valor de la **Tabla 20**. Considere dos bloques *Voltage Sensor* conexión paralelo en los dos bloques *diode*, con su respectivo *PS-Simulink Converter* y el bloque *scope*.

¿Por qué el último valor de voltaje de la **Tabla 20** no es igual al primer valor de voltaje de la **Tabla 18** si se considera que sólo trabaja uno de los paneles solares?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 3 Impacto de la temperatura en un panel solar

Con fines dinámicos, en esta actividad se hará uso del bloque PV Array de Simulink, el cual permite de forma práctica observar los efectos de la temperatura de un panel solar de manera gráfica. Cabe destacar que este bloque permite modelar módulos fotovoltaicos preestablecidos por el modelo System Advisor del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, Denver Colorado USA) (2018).

Para lo anterior, realice lo siguiente:

1. Abra un nuevo modelo (espacio en blanco) de Simulink.
2. Coloque el bloque llamado *PV Array*, puede hacerlo mediante el navegador de la librería o dando doble clic izquierdo y colocando el nombre del bloque.
3. Ingrese los datos mostrados en la **Fig. 53**, esos datos son los que brinda el fabricante del panel solar de la **Tabla 9**, otros datos se encuentran en la ficha técnica, por ejemplo, los coeficientes de temperatura.

Fig. 53. Valores obtenidos de la ficha técnica de los paneles solares de la **Tabla 9** para simular el efecto de la temperatura.

4. Una vez ingresado los datos, aplique la opción *Apply* y posterior la opción *Plot*, iconos enmarcados en color rojo, ver **Fig. 53**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

5. Ubique el cursor del ratón en los círculos rojos y de clic izquierdo en cada uno de ellos para mostrar los datos que muestra, estos círculos indican los puntos de potencia máxima del panel solar, cada uno asignado para cada distinto valor de temperatura. Ver **Fig. 54**.
Nota: Los círculos en color rojo sobre el eje Y del lado superior izquierdo, indican los valores de cortocircuito y los círculos sobre el eje X, cuando la corriente es cero, indican los valores de circuito abierto.

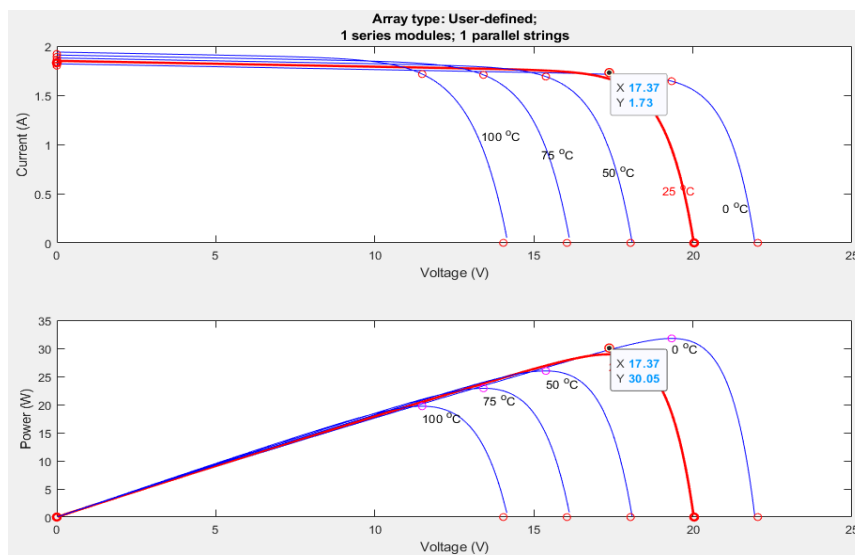


Fig. 54. Manera de visualizar los datos de las gráficas obtenidas.

6. Registre los valores del punto de potencia máxima en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Valores obtenidos en el punto de potencia máxima a distintos valores de temperatura.

Temperatura[°C]	Voltaje[V]	Corriente[A]	Potencia[W]
0			
25			
50			
75			
100			

¿Cómo afecta la temperatura a los paneles solares?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿Qué recomendarían para reducir o evitar altas temperaturas en los paneles solares?

Usando los datos mostrados en la pregunta 9 del Cuestionario Previo, las fórmulas (14) (15) y (16) y una temperatura del panel de 50°C. Realice los cálculos para ese valor de temperatura. ¿Existe alguna diferencia entre estos datos obtenidos y los obtenidos en las gráficas del paso 5? ¿A qué se debe?

5. Cuestionario Previo

1. ¿Cuáles son los tres tipos de radiación solar que llegan a un panel solar?
2. ¿Cuál es la diferencia de irradiancia, irradiación y horas solar pico?
3. ¿Cuántas horas solar pico representan en un día nublado si se registra un valor de 3400 $\left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right]$?
4. ¿Si se tiene una época del año en verano y la latitud del lugar es de 32°, cuál sería el ángulo óptimo de inclinación?
5. ¿En un circuito equivalente de una celda solar, que representan R_s , R_p y en que afectan al panel solar?
6. ¿Qué panel solar evita más la sombra el panel solar tradicional o el panel de celda partida?
7. ¿Tomando el ángulo óptimo de inclinación calculado de la pregunta 4, cuál sería la distancia entre paneles si la longitud del panel solar es de 0.490 [m]?
8. Considerando los siguientes datos $\text{NOCT} = 47$ [°C] y $G = 1000$ $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right]$, ¿Cuál es la temperatura de operación nominal del panel solar?
9. Considerando los datos de la pregunta anterior y los siguientes datos: $\alpha = 0.065$ $\left[\frac{\%}{\text{°C}}\right]$, $\beta = -0.3992$ $\left[\frac{\%}{\text{°C}}\right]$ y $\gamma = -0.5$ $\left[\frac{\%}{\text{°C}}\right]$ ¿Cuáles son los valores de voltaje de circuito abierto, corriente de cortocircuito y potencia máxima a esa temperatura de operación?
10. Usando la ecuación (2) ¿Cuál es la energía en [eV] para cada longitud de onda del espectro visible?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Práctica 2. Condiciones externas ambientales



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Seguridad en la ejecución.

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Diferencia de potencial continua	Descarga eléctrica y daño a equipo.
2	Diferencia de potencial alterna	Descarga eléctrica y daño a equipo.
3	Alta temperatura	Quemaduras

2. Objetivos.

- Analizar el impacto del ángulo de inclinación en el panel solar.
- Comprender el impacto que tienen las sombras parciales y totales en el panel solar.
- Comprender el impacto de la temperatura en paneles solares bajo y sin carga.
- Estudiar el efecto longitud de onda en el panel solar.

3. Material y equipo.

- 4 Paneles solares NPA30S-12I (ubicados en la mesa del área fotovoltaica).
- 2 Multímetros con medición de voltaje y corriente (mA) en directa.
- 2 Lámparas halógenas (instaladas en la mesa del área fotovoltaica).
- 1 Módulo de carga resistiva de Lab Volt EMS 8311.
- 1 Dispositivo con conexión a Wifi (Laptop, celular, tablet).
- 1 Cronometro.
- Juego Cables de conexión (ubicados en un perchero de metal).
- 1 Medidor infrarrojo de temperatura Truper.
- 1 Celda solar Monocristalina.
- 1 Bolsa con focos de colores (verde, violeta, azul, naranja y blanco).
- 1 Base Socket E27.

4. Desarrollo.

Nota: En esta actividad se usará el sistema con riel curvo ubicado al lado de la mesa del área fotovoltaica.

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan temperaturas altas y voltajes que pueden provocar una lesión!



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 1: Impacto del ángulo de inclinación

1. Usando el sistema de riel curvo, coloque el panel solar del centro en posición horizontal sin ningún ángulo de inclinación a 90° , perpendicular al horizonte. Colóquese detrás del sistema de riel curvo; el panel solar ubicado del lado derecho, gírelo al centro de la marca de 60° y el tercer panel girarlo a la marca de 120° . Puede guiarse de la **Fig. 55**.

Nota: El diente con la marca debe estar colocado justo en el centro del riel.

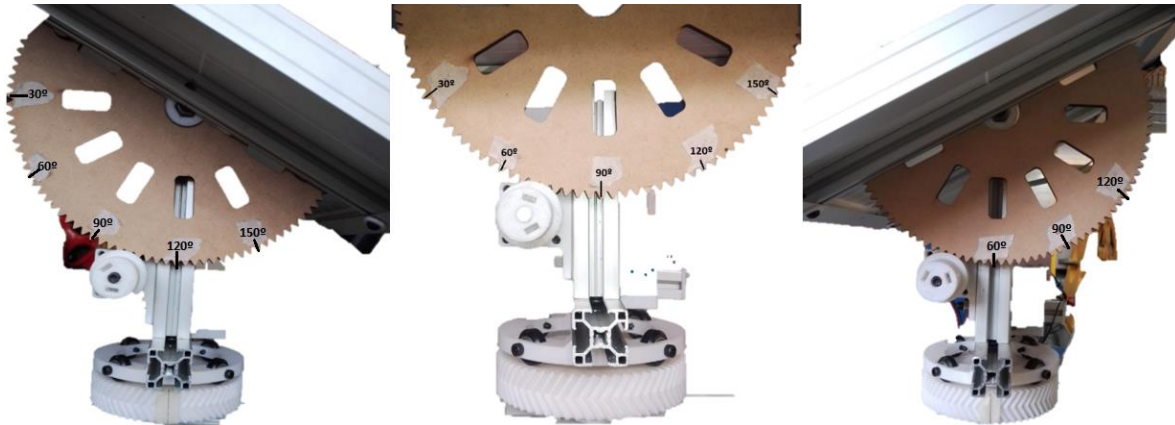


Fig. 55. Forma de colocar los paneles solares de manera fija a un ángulo de inclinación.

2. Conecte la clavija tipo B del sistema de riel curvo para encender los motores de las bases de los 3 paneles solares.
Nota: La clavija debe estar cerca, no confunda la clavija tipo B con el tipo A, ya que esta encenderá la lámpara halógena y el motor de su base.
3. Con su dispositivo con wifi, conéctese a la red del router del sistema de rieles llamada *HelioPanel*, con contraseña: 12helio34
4. Una vez conectado, habilite un navegador e ingrese a la siguiente dirección: <http://192.168.1.101>
5. Conecte la clavija tipo A para encender la lámpara halógena y su motor.
6. En la interfaz del navegador, seleccione el botón dentro del rectángulo rojo mostrado en la siguiente Fig. posteriormente presione 8 veces el botón dentro del rectángulo azul.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

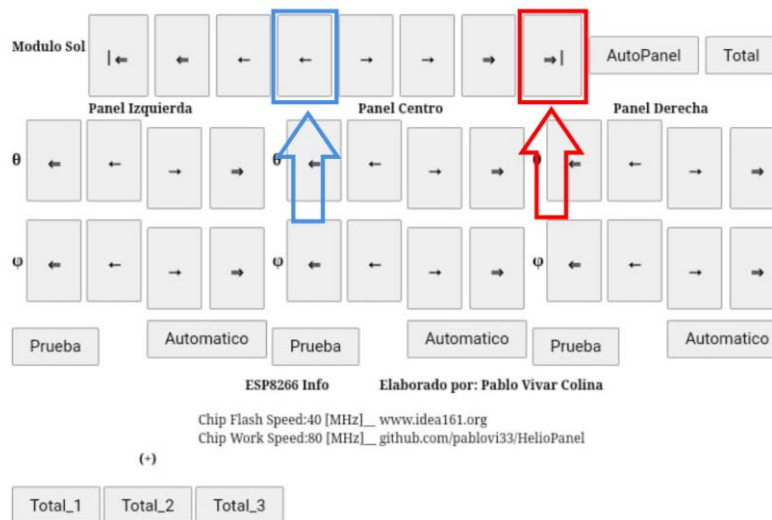


Fig. 56. Señalización de los botones para mover la lámpara halógena a su posición inicial.

7. Con un multímetro mide en la *bornera* de la mesa del área fotovoltaica (esquina derecha), el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}) de los 3 paneles solares y registre los valores en la **Tabla 22**.
Nota: Para este caso se deben de cambiar los bornes del multímetro ya sea para medición de voltaje y corriente. Puede usar un multímetro para medir voltaje y el otro para medir corriente.
8. En la interfaz del navegador, seleccione el botón mostrado en la siguiente Fig., para que el motor de la lámpara halógena se mueva al siguiente ángulo de inclinación de la **Tabla 22**.

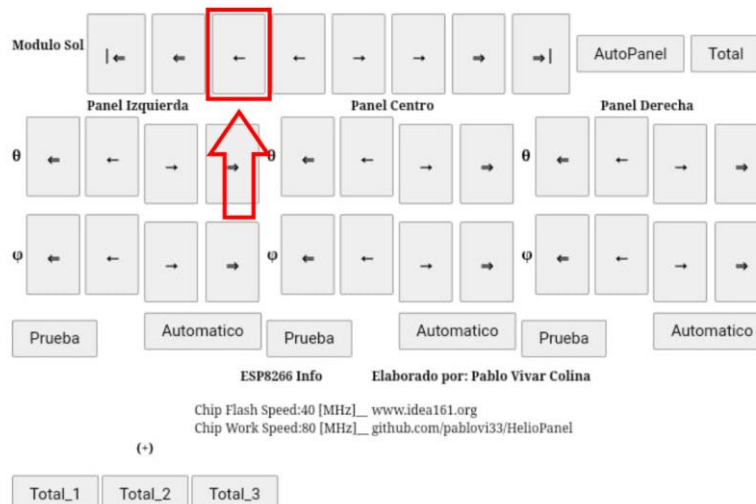


Fig. 57. Señalización del botón para mover la lámpara halógena al siguiente valor de inclinación.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

9. De igual forma al paso 7, haciendo uso de la bornera, mide en los paneles solares V_{oc} e I_{sc} y registre los valores en la **Tabla 22**.
10. Repite los pasos 8 y 9 hasta completar la **Tabla 22**.
11. Con la interfaz del navegador Repite el paso 6 para dejar en su posición inicial a la lámpara halógena.
12. Desconecte la clavija tipo A para apagar la lámpara halógena y su motor.

Tabla 22. Valores obtenidos de los paneles al variar el ángulo de inclinación de la lámpara halógena y ángulos fijos en los 3 paneles solares.

Angulo de inclinación de luz	Panel 1 -30°		Panel 2 horizontal fijo		Panel 3 +30°		Potencia de los paneles		
	V[V]	I[mA]	V[V]	I[mA]	V[V]	I[mA]	P1[W]	P2[W]	P3[W]
40									
50									
60									
70									
80									
90									
100									
110									
120									
130									
140									

13. Calcule la potencia de los paneles y realice en una gráfica de comparación Ángulo de luz vs Potencia para cada panel.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Ángulo vs Potencia

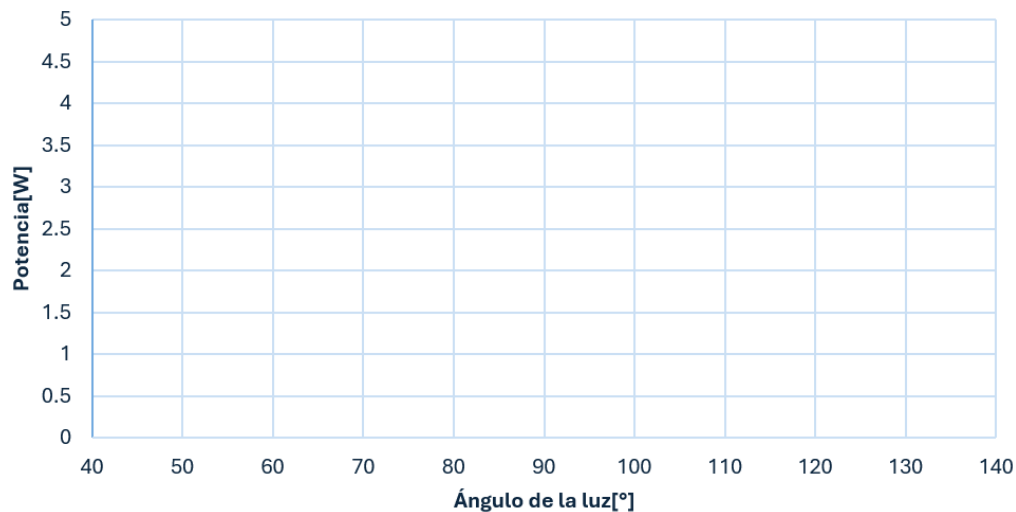


Fig. 58. Gráfica de Potencia de los 3 paneles solares con un ángulo fijo.

- Esperé 5 minutos antes de iniciar el siguiente paso, esto para que el panel solar regrese a su temperatura de trabajo.
- Conecte la clavija tipo A para volver a encender la lámpara halógena y su motor.
- Con la interfaz del navegador seleccione el botón de Auto Panel mostrado en la siguiente Fig.

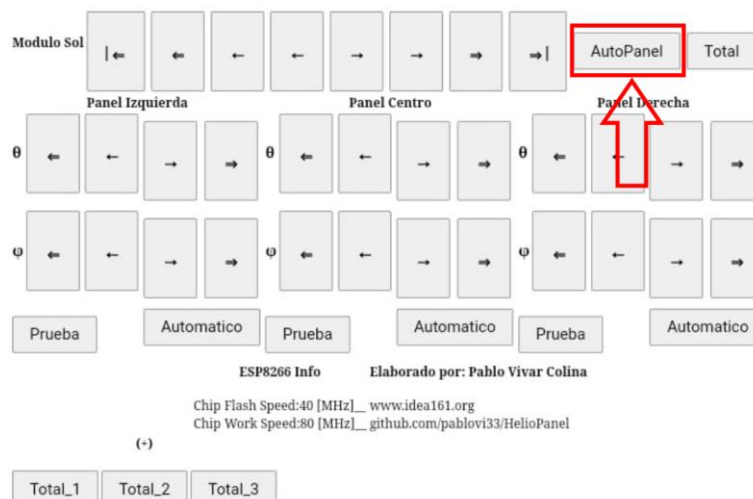


Fig. 59. Señalización del botón para activar el seguidor solar de los 3 paneles solares.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

17. Una vez dejen de moverse los motores de cada uno de los paneles solares, mide en la bornera de la mesa del área fotovoltaica el valor de V_{oc} e I_{sc} y registre los valores en la **Tabla 23**.
18. De la **Fig. 57**, seleccione el botón del paso 8 para mover la lámpara halógena al siguiente valor de inclinación.
19. Repite los pasos 16, 17 y 18 hasta completar la **Tabla 23** y desconecte las clavijas tipo A y tipo B, para apagar todo el sistema.

Tabla 23. Valores obtenidos de los paneles con su función de seguidor solar.

Angulo de inclinación de luz	Panel 1		Panel 2		Panel 3		Potencia de los paneles		
	V[V]	I[mA]	V[V]	I[mA]	V[V]	I[mA]	P1[W]	P2[W]	P3[W]
40									
50									
60									
70									
80									
90									
100									
110									
120									
130									
140									

20. Calcule la potencia de los paneles y realice la gráfica Ángulo de luz vs Potencia.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Ángulo vs Potencia

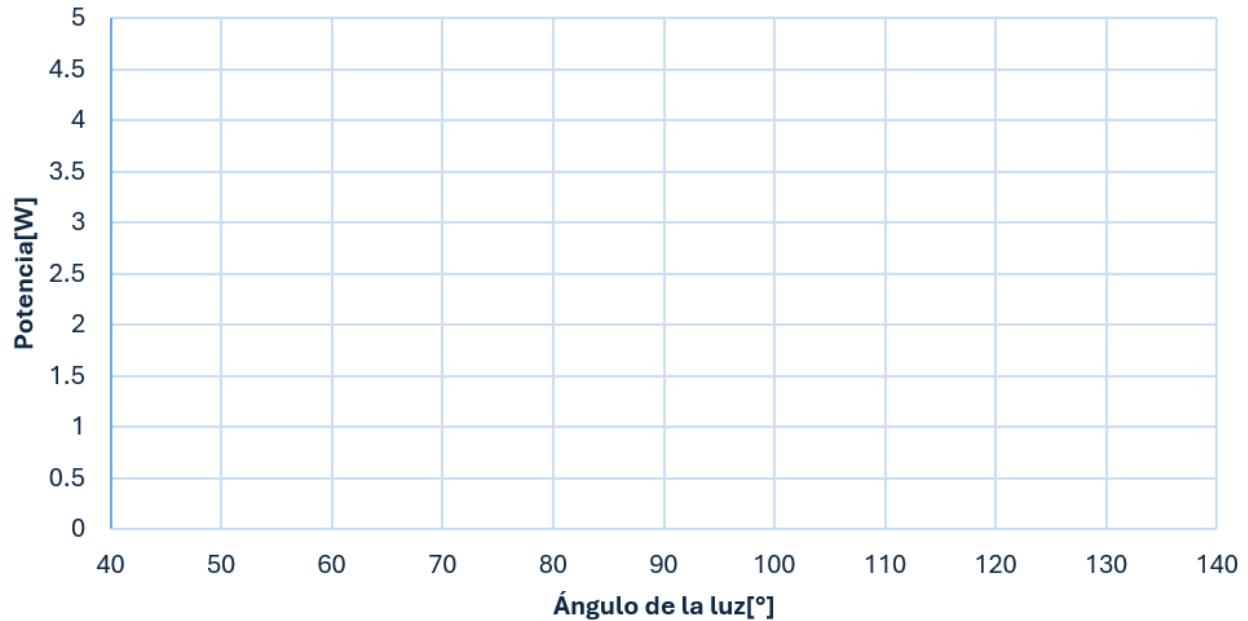


Fig. 60. Gráfica de Potencia de los 3 paneles solares con seguidor solar automatizado.

Para los 3 paneles solares. ¿En qué sistema (fijo o con seguidor) tuvieron un mejor comportamiento en cuanto a generación de energía eléctrica? ¿En qué momentos se debería de usar cada tipo de sistema?

Con lo visto en la Introducción, **Fig. 36.** ¿Qué puede observar en la gráfica de Potencia vs Ángulo del panel 2 en los dos casos con respecto a esa figura?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 2: Impacto de las sombras

Nota: A partir de aquí se usará la mesa del área fotovoltaica.

1. Conecte el módulo de carga resistiva EMS 8311 con un valor de 57.14Ω (todos los interruptores arriba) en paralelo a un panel solar y con 2 multímetros, conéctelos para medir corriente y voltaje en cd, como se muestra en la **Fig. 61**.

Nota: Se recomienda usar 2 multímetros para obtener valores más exactos.

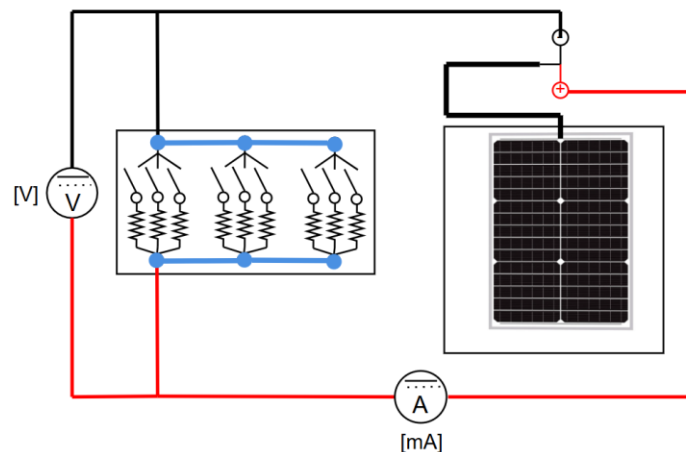


Fig. 61. Conexión para la medición de voltaje y corriente del panel solar bajo carga.

2. El panel solar se divide en 6 conjuntos de 5 celdas solares, cada celda contiene 9 bus bar. Ver **Fig. 62**.



Fig. 62. Conjunto de 5 celdas solares y ubicación de los 9 bus bar.

3. Coloqué la lámpara halógena en el centro del panel solar para que la luz incida sobre él, cubriendo la mayor superficie, posteriormente enciende la lámpara halógena.

Nota: Si está usando la lámpara con el dimmer, ajuste el dimmer para que la lámpara produzca su mayor luz.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- Mide y registre el valor del voltaje y corriente en la **Tabla 24**.
- Con un pedazo de hoja de papel cubra el bus de cinco celdas hasta completar los buses sombreados que se solicitan en la **Tabla 24**, guíese de la **Fig. 63**.
Nota: El pedazo de hoja de papel debe ubicarse cerca de los paneles, en dado caso considere recortar una hoja de cuaderno, sígase la Fig. 63.

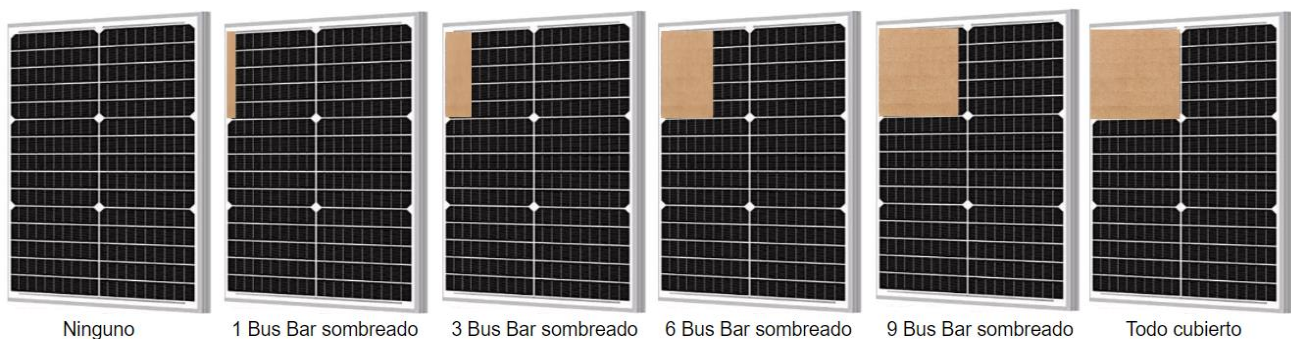


Fig. 63. Formas de sombrear los buses del panel solar con una hoja de papel o un cartón.

- Mide y anote el valor de voltaje y corriente en la **Tabla 24**.
- Apague la lámpara halógena. Obtenga la potencia generada para cada caso de la **Tabla 24**.

Tabla 24. Valores de voltaje, corriente y potencia.

Bus sombreado	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Ninguno			
1			
3			
6			
9			
Todo cubierto			

- Enciende la lámpara halógena y con un pedazo de cartón de la misma medida que la hoja de papel, repite los pasos 5 al 7 anteriores y anote los valores en la **Tabla 25**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Tabla 25. Valores de voltaje, corriente y potencia, con el bus sombreado por un pedazo de cartón.

Bus Sombreado	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Ninguno			
1			
3			
6			
9			
Toda la celda			

9. Agregue al sistema anterior un panel solar conectado en serie, obsérvese la **Fig. 64**.

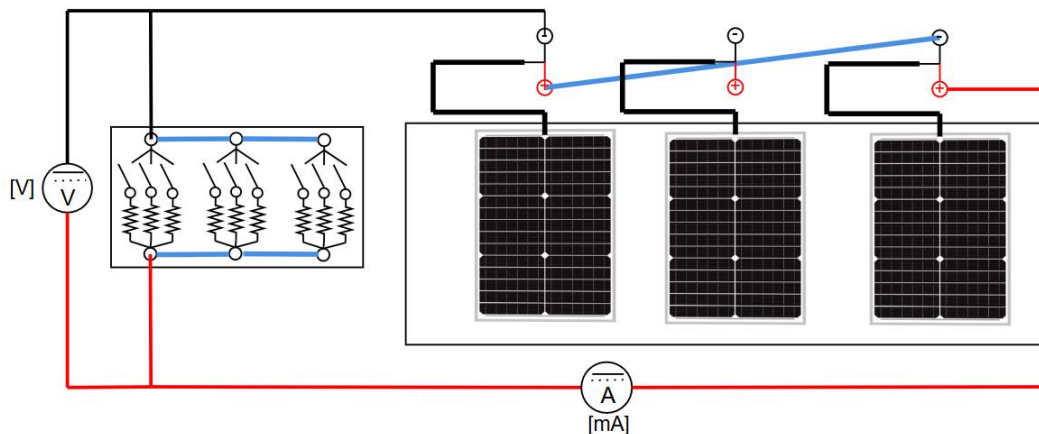


Fig. 64. Conexión en serie de dos paneles solares y una carga resistiva.

10. Coloque una lámpara halógena en el centro de cada panel solar conectado en serie, posteriormente enciende las lámparas halógenas.

Nota: Si está usando la lámpara con el dimmer, ajuste el dimmer para que la lámpara produzca su mayor luz.

11. Anote el voltaje y la corriente en la **Tabla 26** y calcule su potencia.

12. De la misma manera que el experimento anterior, use el pedazo de cartón para sombrear los buses del conjunto de 5 celdas solares de un solo panel solar (**Fig. 63**), obtenga y registre los valores de voltaje, corriente y potencia para cada bus sombreado en la **Tabla 26**.

13. Apague las lámparas halógenas.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Tabla 26. Valores de voltaje, corriente y potencia de 2 paneles solares en serie con el bus sombreado por un pedazo de cartón.

Bus sombreado	Voltaje [V]	Corriente [mA]	Potencia [W]
Ninguno			
1			
3			
6			
9			
Toda la celda			

Compare las **Tablas 24 y 25** ¿Cuál es la diferencia entre ellas y a que se debe?

¿Por qué en la **Tabla 26** no cae la potencia a 0 [W] como en la **Tabla 25** si los 2 paneles solares están en conexión serie? De una prueba que compruebe su respuesta.

Mencione la importancia del porque se debe evitar todo tipo de sombras.

¿Qué pasaría si se sombrearan de igual manera que la conexión en serie y sus diodos de bypass, 2 paneles solares conectados en paralelo y 4 paneles en conexión mixta?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 3: Impacto de la temperatura en paneles solares sin carga.

Nota: Antes de realizar estas actividades de las prácticas, en dado caso de haber usado recientemente la lámpara halógena espere 10 minutos para que los paneles solares se enfríen y poder tomar mejores mediciones para la práctica.

1. Coloque una lámpara halógena en el centro de un panel solar.
2. Con el medidor infrarrojo de temperatura mide la temperatura en un punto del panel solar y regístrelo en la **Tabla 27**.
Nota: Verifique que el medidor infrarrojo de temperatura este midiendo en grados Celsius.
3. Prepare el cronómetro para medir el tiempo que permanece encendida la lámpara halógena y conecte los cables banana-caimán al panel solar, para medir con un multímetro V_{oc} e I_{sc} de corriente directa.
4. Enciende la lámpara halógena e inmediatamente después, inicie la cuenta del cronometro.
5. Mide los valores de V_{oc} e I_{sc} y registre los valores en la **Tabla 27**.
Nota: Recuerde usar las escalas adecuadas del multímetro.
6. Cuando el cronómetro llegue a la siguiente cantidad de minutos de la columna de *Tiempo* de la **Tabla 27**, vuelve a medir los valores de V_{oc} , I_{sc} , temperatura y registre los valores en la **Tabla 27**.
Nota: Para medir la temperatura, debe medir en el mismo lugar del paso 2.
7. Repite el paso 6 hasta completar la **Tabla 27**.
8. Apague la lámpara halógena.
9. Calcule la potencia de la **Tabla 27** y realice la gráfica del comportamiento de la temperatura en el panel solar ($T[^\circ\text{C}]$ vs $P[\text{W}]$).



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Tabla 27. Pruebas de circuito abierto y cortocircuito del panel solar con aumento de temperatura.

Tiempo[min]	Temperatura[$^{\circ}\text{C}$]	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

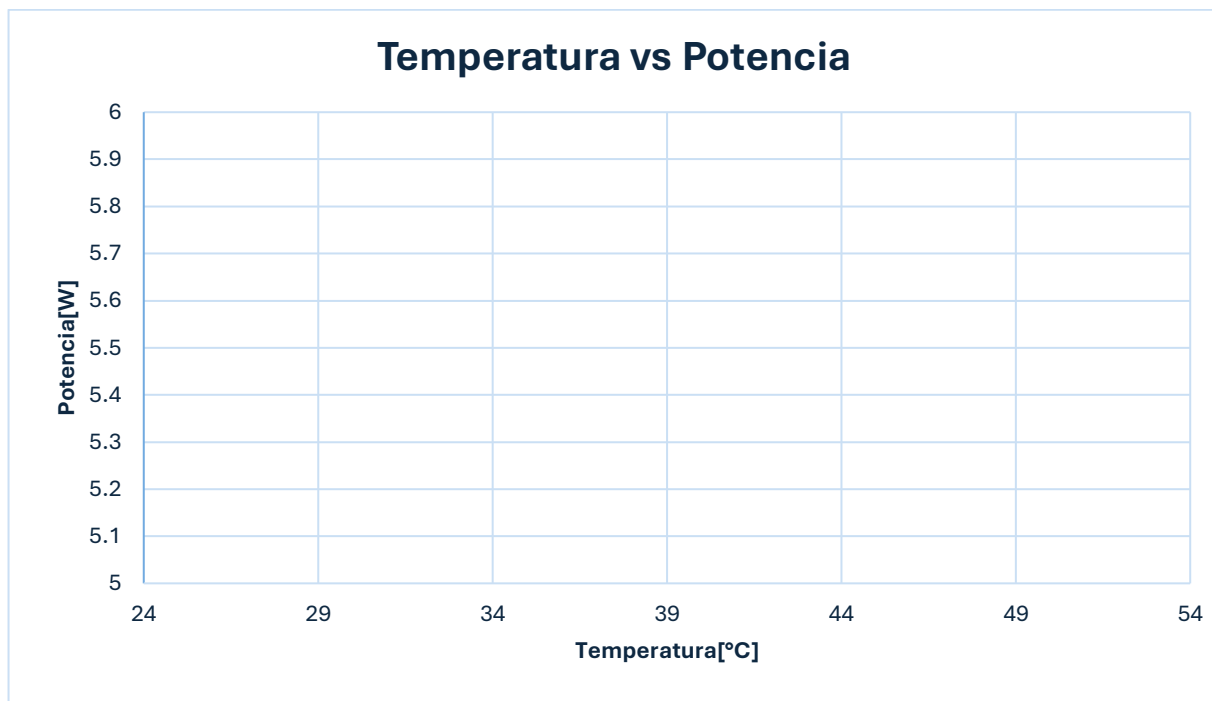


Fig. 65. Gráfica de Temperatura vs Potencia de un panel solar sin carga conectada.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Impacto de la temperatura en un panel solar con carga.

- Usando un panel solar diferente, conectarle un módulo de carga resistiva EMS 8311 en paralelo, colocando el valor de $57.14 [\Omega]$ (todos los interruptores arriba) y dos multímetros para obtener mediciones de voltaje y corriente de directa, obsérvese la **Fig. 61**.
- Con el medidor infrarrojo de temperatura, mide en el mismo punto del experimento anterior y registre el valor de la temperatura en la **Tabla 28**.
- Prepare el cronometro para medir el tiempo que permanece encendida la lámpara halógena.
- Enciende la lámpara halógena e inmediatamente después, inicie la cuenta del cronometro.
- Mide y registre los valores de voltaje y corriente en la **Tabla 28**.
- Cuando el cronometro llegue a la siguiente cantidad de minutos de la columna de *Tiempo* de la **Tabla 28**, vuelve a medir los valores de voltaje, corriente, temperatura y registre los valores en la **Tabla 28**.
- Repite el paso 15 hasta completar la **Tabla 28**.
- Apague la lámpara halógena y baje los interruptores del módulo EMS 8311.

Tabla 28. Panel solar bajo carga a diferentes temperaturas.

Tiempo[min]	Temperatura[°C]	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

18. Calcule la potencia de la **Tabla 28** y realice las gráficas del comportamiento de la temperatura en los paneles solares (T [°C] vs P [W]).

Temperatura vs Potencia

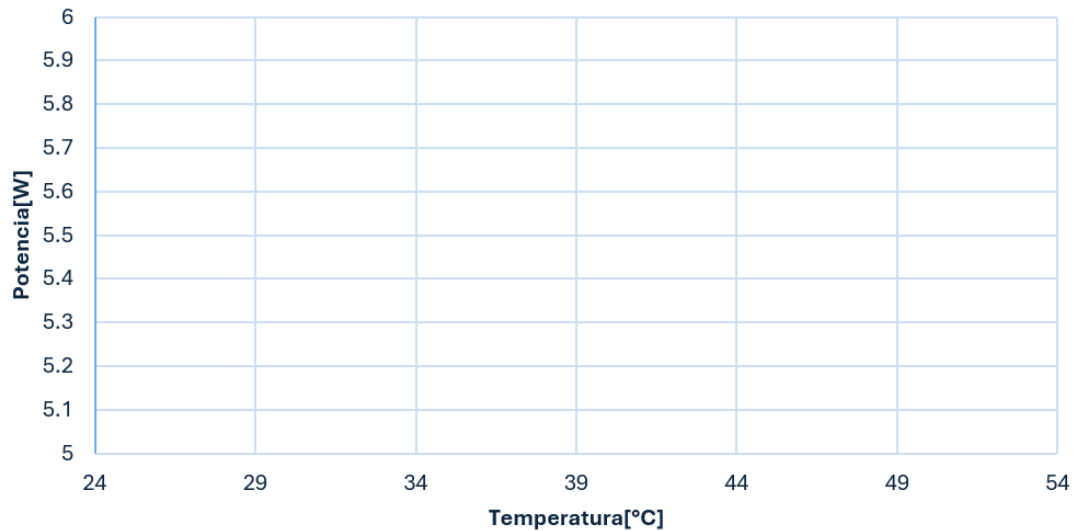


Fig. 66. Gráfica de Temperatura vs Potencia de un panel solar con carga conectada.

¿Qué tiene de común los resultados de la **Tabla 27** con el documento introductorio de esta práctica?

De igual manera observando la gráfica de la **Tabla 27** ¿A qué se debe que la potencia aumente al inicio y posterior comience a disminuir con el incremento de la temperatura?

¿Por qué la gráfica de la **Tabla 28** no tiene el mismo comportamiento al de la **Tabla 27**? ¿Qué ley está implicada en este experimento?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿De qué maneras podemos evitar el aumento de la temperatura del panel solar?

Parte 4: Efecto de la longitud de onda

1. Coloque la celda solar en el centro y debajo de la Base Socket E27.
2. Realice la conexión de circuito abierto con un multímetro y la celda solar.
3. Del conjunto de focos, utilice el foco en color verde y colóquelo en la Base Socket E27.
4. Energice el sistema, conectando la clavija tipo A al enchufe con energía eléctrica.
Nota: La clavija está en la mesa del área fotovoltaica, esquina superior derecha.
5. Mide los valores de V_{oc} e I_{sc} y regístrelos en la **Tabla 29**.
Nota: Recuerde cambiar los conectadores de los cables del multímetro para cada parámetro.
6. Desconecte la clavija tipo A o apague el multicontacto.
7. Con mucho cuidado quite el foco de la Base Socket E27 ya que posiblemente presente una temperatura elevada o espere unos minutos a que disminuya la temperatura.
8. Coloque otro foco del color que se indica en la **Tabla 29**, repite los pasos 4, 5, 6 y 7 hasta completar la **Tabla 29**.

Tabla 29. Valores de V_{oc} e I_{sc} de una celda solar a diferentes longitudes de onda.

Valor de irradiancia	Voltaje[V]	Corriente[mA]	Potencia[W]
Verde			
Violeta			
Azul			
Naranja			
Blanco			



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿Qué diferencia se tiene al comparar los resultados obtenidos de la **Tabla 29** con la gráfica de la **Fig. 43** del espectro solar?

¿Por qué algunos focos tienen mayores valores de voltaje y corriente que los demás focos, si los focos tienen la misma potencia?

5. Conclusiones



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Previo 3. Protección eléctrica en un sistema fotovoltaico (simulación).



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Introducción

La protección y una adecuada coordinación de un sistema eléctrico tiene como objetivo primordial prevenir de daño alguno a la persona, posteriormente a los elementos eléctricos que lo componen y, por último, aislar el área afectada y la reducción del tiempo de interrupción, siempre dando prioridad a la integridad de una persona. Por el cual, con respecto a la capacidad y tiempo de interrupción, el equipo de protección seleccionado que se encuentre en operación deberá ser técnicamente confiable, respaldado de un espacio y sus envolventes o elementos aisladas para su operación. En conjunto, la coordinación adecuada del sistema favorecerá a mitigar riesgos contra arco eléctrico, explosión, fuego o descargas eléctricas posibles.

Para esto, por condiciones de corto circuito a causa de fallas de aislamiento internas o por elementos externos que se generan por fallas ya sean trifásicas, fase a tierra o una combinación de ellas, así como sobre cargas por exceso de carga o sobretensiones causadas también por descargas atmosféricas, una protección eléctrica en un sistema confiable estará compuesta de interruptores automáticos, fusibles y relevadores, operando de manera coordinada, considerando también la necesidad del uso del supresor de picos, ante descargas atmosféricas.

De lo anterior, en general, para esta práctica se considera como actividad el manejo del panel solar con la máquina de cd acompañado de un sistema de protecciones eléctricas. Teniendo la limitación de equipo y presupuesto dentro del laboratorio.

Como primer parte se maneja el arranque de un motor de corriente directa (cd), considerando la consecuencia posible de arrancar un motor a voltaje nominal y el arranque controlado, por medio de un divisor de voltaje realizado con el reóstato. Este arranque se realiza usando paneles solares como fuente de alimentación, con el objetivo de demostrar algunos factores a tomar en cuenta para realizar la conexión de paneles solares con motores.

También se presentarán los diferentes tipos de protecciones que debe tener todo sistema de energía fotovoltaica, dando a conocer el principio de funcionamiento de cada elemento del sistema de protección, así como a identificar el tipo de protección adecuada para cualquier sistema fotovoltaico, para finalmente ver su funcionamiento mediante la práctica y brindar una mejor comprensión acerca de su importancia en un sistema.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Máquina de corriente directa [29]

Antes de utilizar cualquier motor eléctrico, es necesario saber cuáles son las mejores maneras para ponerlo en marcha, para este caso se verá la forma menos usada y más económica de arrancar a un motor.

De [29] se menciona que se debe proteger al motor de cd en el arranque, esto es debido a la poca resistencia interna que presenta el motor (resistencia del inducido), en consecuencia, se presentara una corriente a plena carga nominal muy alta, la cual, aun presentándose por un instante de tiempo, puede dañar el motor de cd severamente. La ecuación que representa la corriente de arranque de un motor se presenta a continuación:

$$I_A[A] = \frac{V_T [V] - E_A[V]}{R_A[\Omega]} \quad (22)$$

Donde:

V_T : Voltaje en terminales [V]

E_A : Voltaje interno generado [V]

I_A : Corriente de armadura o del inducido [A]

R_A : Resistencia de armadura [Ω]

La manera más sencilla para evitar esa corriente alta es agregando un resistor de arranque, en serie con el inducido del motor o en otras palabras a su armadura, hasta que el voltaje interno inducido se acumule y actúe como limitante.

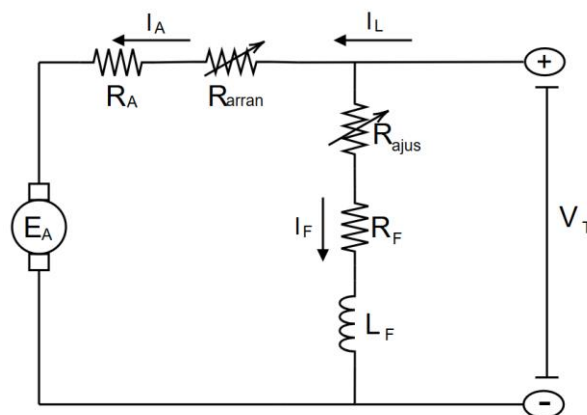


Fig. 67. Diagrama del arranque de un motor de cd a través de un divisor de tensión. Fuente [29]



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Esto provocara un arranque controlado, pero se debe tomar en cuenta que es necesario retirar el resistor de arranque, después de arrancar el motor, para no tener pérdidas y evitar una caída excesiva del par-velocidad con el aumento de carga, por ello al retirar el resistor se presentan dos situaciones [29], por una parte, si se retira la resistencia demasiado rápido (antes de que el motor acelere lo suficiente), el flujo de corriente resultante será demasiado grande. Por otro lado, si la resistencia se retira demasiado lento, se puede quemar el resistor de arranque.

Para lograr quitar el resistor de arranque, en esta práctica se usará un reóstato, para evitar la desconexión tardía o temprana.

Cabe mencionar que en sistemas como el bombeo de agua usando paneles solares, pueden encontrarse tanto motores de cd, como motores de ca, pero los más fáciles de usar con paneles solares son los motores de cd, debido a que los paneles solares generan energía en cd, que fluirá de manera directa hacia el motor, claro tomando en cuenta un controlador del motor de cd, mientras que el uso de los motores de ca, es necesario tener un inversor adecuado para poder trabajar con este tipo de motor, por ello es importante saber el tipo de aplicación del sistema de energía solar y buscar los elementos que tengan un mejor rendimiento en la instalación.

Diferencia de las protecciones de corriente alterna y corriente directa [30]

Las protecciones eléctricas se definen como un conjunto de dispositivos y mecanismos diseñados para prevenir o minimizar daños en los sistemas eléctricos cuando ocurren condiciones anormales o fallos, como el caso de cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones atmosféricas etc. Su objetivo principal es proteger a las personas como a equipos eléctricos que puedan recibir daños o accidentes mortales.

Estas protecciones eléctricas se pueden encontrar en corriente alterna (CA) o corriente directa (CD), la principal diferencia de estos dos tipos de corriente es su comportamiento, ya que la ca tiende a cambiar de dirección y magnitud de acuerdo con su frecuencia, mientras que la CD tiende a mantener una magnitud constante en una sola dirección.

Algunas diferencias de las protecciones de CA y CD son:

- Las protecciones de CA son más pequeñas y baratas que las protecciones de CD.
- De acuerdo con su uso: Las protecciones de ca protegen los circuitos principales, mientras que los de CD protegen las cargas individuales.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- Una protección de CA tiene rango de valores de 120 [V] a 480 [V], mientras que el rango de una protección de CD puede tener valores de más de 1000 [V].

Por su interrupción de corriente:

- Los dispositivos en CA se benefician de que la corriente pasa por cero en cada ciclo, lo que facilita la interrupción del arco eléctrico cuando el dispositivo se abre para cortar la corriente.
- Los dispositivos de CD, su corriente no pasa por cero, lo que hace más difícil la interrupción del arco eléctrico. Esto requiere que están diseñados específicamente para manejar la corriente constante y evitar la formación de arcos prolongados.

Protección en un sistema solar fotovoltaico

Interruptor Termomagnético [31]

Como primer elemento de protección y el más conocido, se encuentra el interruptor termomagnético, el cual se encarga de proteger los circuitos eléctricos y personas contra dos situaciones principales: las sobrecargas y los cortocircuitos.

Las sobrecargas ocurren cuando la corriente que circula por un conductor excede la corriente nominal, debido a una demanda mayor en el conductor, el cual comenzara a calentarse por efecto joule (I^2R). Esto puede deberse al uso excesivo de dispositivos conectados al circuito o al mal funcionamiento de algún equipo.

Los cortocircuitos, en cambio, son situaciones en las que un conductor tiene un contacto directo con otro de diferente potencial o está conectado directamente a tierra, lo que causa una corriente extremadamente alta que puede dañar los equipos y a su vez generar incendios.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

El interruptor termomagnético consta de dos elementos de activación:

Elemento Térmico [32]

El componente térmico del interruptor termomagnético consiste en una lámina bimetálica, compuesta por dos metales con coeficientes de dilatación térmica diferentes. Cuando la corriente excesiva circula a través del interruptor, la lámina bimetal se calienta y se dobla debido a la diferencia de expansión de los metales. Este doblado mecánico activa el mecanismo de liberación, abriendo el circuito y desconectándolo, tal como indica la **Fig. 68**.

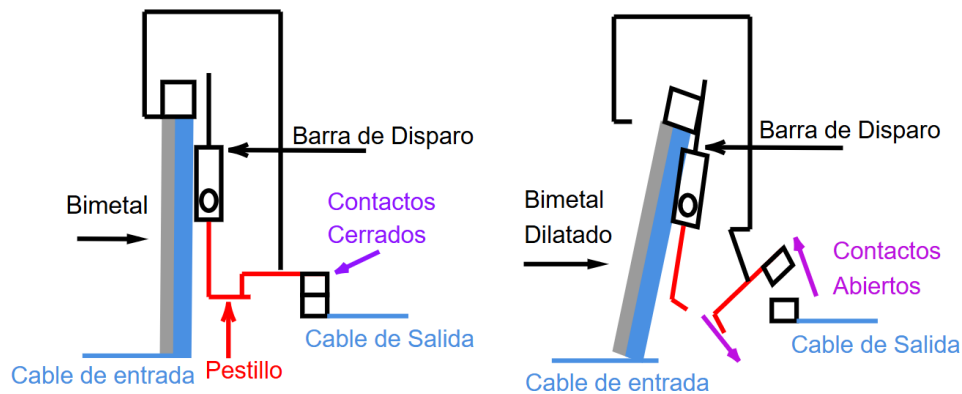


Fig. 68. Funcionamiento del disparo térmico de un interruptor termomagnético.

Elemento Magnético [32]

El componente magnético del interruptor termomagnético utiliza una bobina que funciona como un electroimán, el cual se basa en la ley de Ampere. Cuando se produce una corriente de cortocircuito, la intensidad de la corriente aumentará drásticamente en un corto período de tiempo, este cambio rápido genera un campo magnético grande alrededor del conductor. El electroimán detecta este campo magnético, activando el mecanismo de liberación, para abrir el circuito y detener el flujo de corriente, tal como indica la **Fig. 69**.

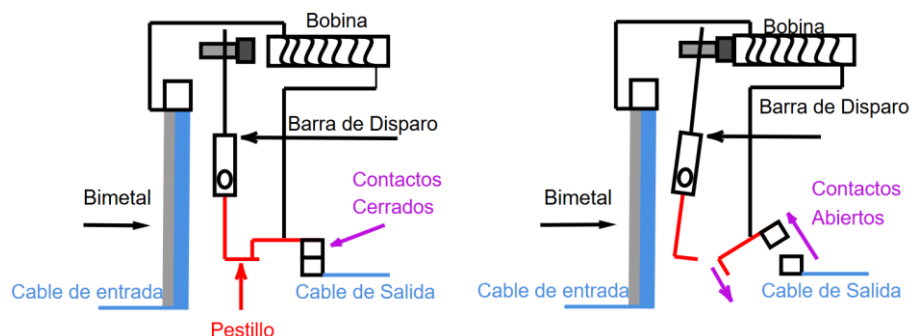


Fig. 69. Funcionamiento del disparo magnético de un interruptor termomagnético.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Curvas de disparo [33]

El interruptor termomagnético presenta 3 zonas las cuales se presentan a continuación:

- Zona A: Disparo térmico debido a una sobrecarga.
- Zona B: Disparo magnético debido a una sobrecorriente por cortocircuitos.
- Zona C: Banda de tolerancia o transición entre ambas zonas.

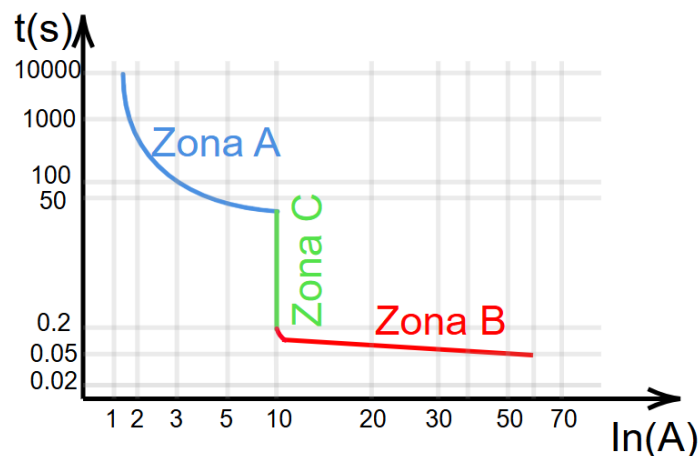


Fig. 70. Zonas del interruptor termomagnético.

Las curvas normalizadas según UNE-EN 60898 de disparo del interruptor termomagnético en su zona magnética son:

- Tipo Z: Corriente de 2 a 3 veces I_n , es ideal para proteger circuitos electrónicos.
- Tipo B: Corriente de 3 a 5 veces I_n es ideal cuando no hay arranque de motores o bobinados.
- Tipo C: Corriente de 5 a 10 veces I_n es la más usada en hogar e industria.
- Tipo D: Corriente de 10 a 20 veces I_n se usa en motores de mucha inercia y transformadores.
- Tipo K: Corriente de 8 a 12 veces I_n para motores de mucha inercia y transformadores.
- Tipo S: Corriente de 13 a 17 veces I_n también para motores de mucha inercia y transformadores.

Mientras que la mayoría de las zonas de disparo térmico están comprendidas entre 1.05 y 1.45 veces la corriente nominal.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

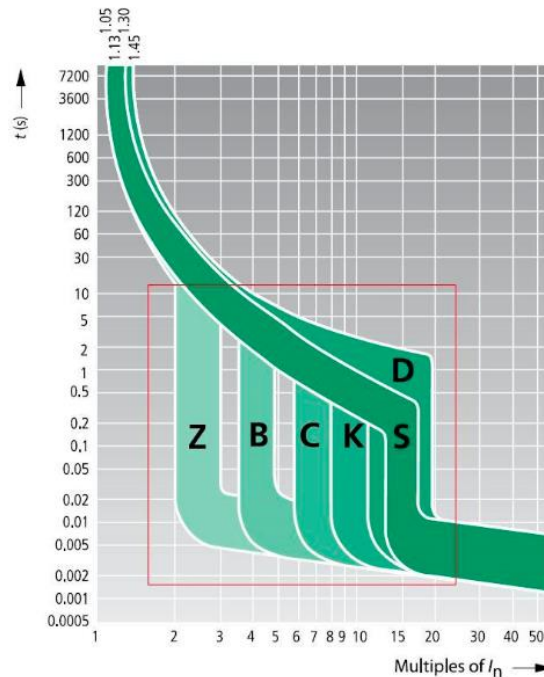


Fig. 71. Curvas de t y corriente del interruptor termomagnético. Fuente [34]

Fusible [35]

Este elemento está diseñado para interrumpir el paso de una sobrecorriente al sistema instalado, a diferencia de los interruptores termomagnéticos, el fusible utiliza un elemento de fusión o también llamado conductor eléctrico, el cual está dentro de una caja que lo protege, consultar **Fig. 72**.

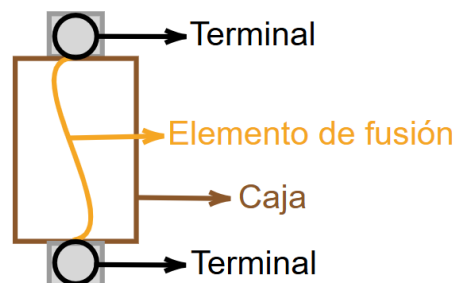


Fig. 72. Representación de las partes de un fusible.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Cuando pasa una corriente mayor a la soportada por el elemento de fusión, este se funde y se rompe, evitando así el paso de la corriente y protegiendo el sistema instalado, existe también el fusible de reacción lenta que ignoran picos bruscos de corriente por ejemplo el arranque de un motor.

Los lugares donde se recomienda colocar los fusibles en un sistema fotovoltaico son los siguientes [36]:

- Entre los paneles solares y el controlador de carga: Un fusible por cadena y si se tiene una conexión de 3 o más paneles en paralelo, en el cable positivo del controlador de carga solar del lado de conexión de los paneles solares.
- Entre el controlador de carga y la batería: Se coloca un fusible en el cable positivo que conecta el controlador de carga a la batería o si es el caso, al arrancador de batería.
- Entre el controlador y el inversor: Se coloca un fusible en el cable positivo que conecta el controlador al inversor.
- Entre el inversor y el panel de distribución de CA y en cada circuito de carga de CA y CD.

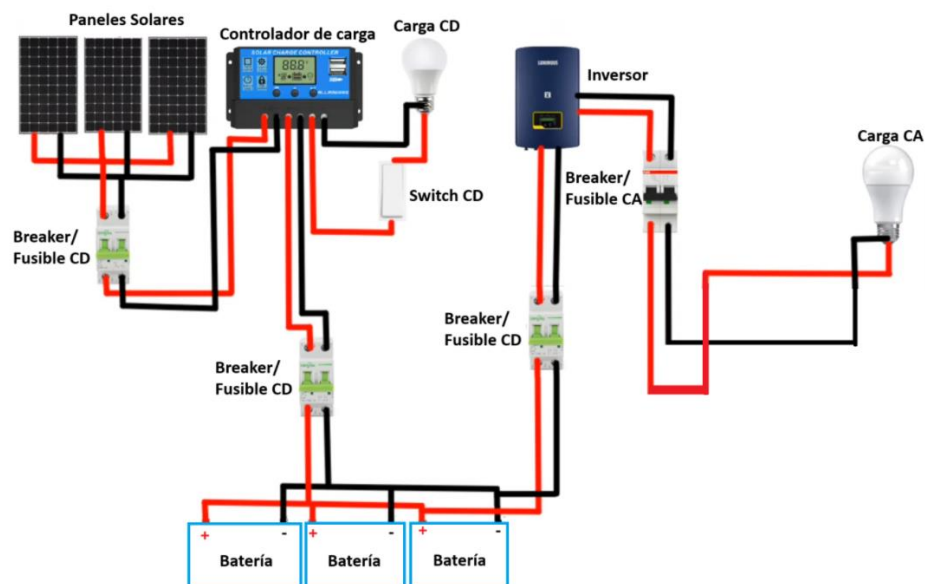


Fig. 73. Diagrama de cableado eléctrico para la ubicación de fusibles en un sistema solar.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Interruptor Diferencial [37]

El interruptor diferencial es un componente esencial para garantizar la seguridad eléctrica en hogares, edificios e instalaciones industriales.

Su principal función es proteger a las personas de contactos directos e indirectos. Estos elementos son capaces de detectar corrientes de fuga a tierra, que pueden causar daños a una persona, desconectando rápidamente el circuito ayudando a prevenir accidentes eléctricos.

En la siguiente **Fig. 74** se muestran las partes del funcionamiento del Interruptor Diferencial.

Fig. 74 a) se muestra que al conectar la fase y neutro con la carga y al no haber corriente de fuga a tierra, los flujos magnéticos Φ_F [Wb], Φ_N [Wb] son iguales.

Fig. 74 b) una nueva corriente, llamada “corriente de derivación” circulara por la bobina del neutro, lo cual ocasiona que los flujos magnéticos Φ_F , Φ_N sean diferentes y por la ley de Ampere circulara una corriente i al electroimán, la cual si alcanza el valor de umbral (normalmente 30 [mA]) el electroimán realizara la apertura de los interruptores de Fase y Neutro.

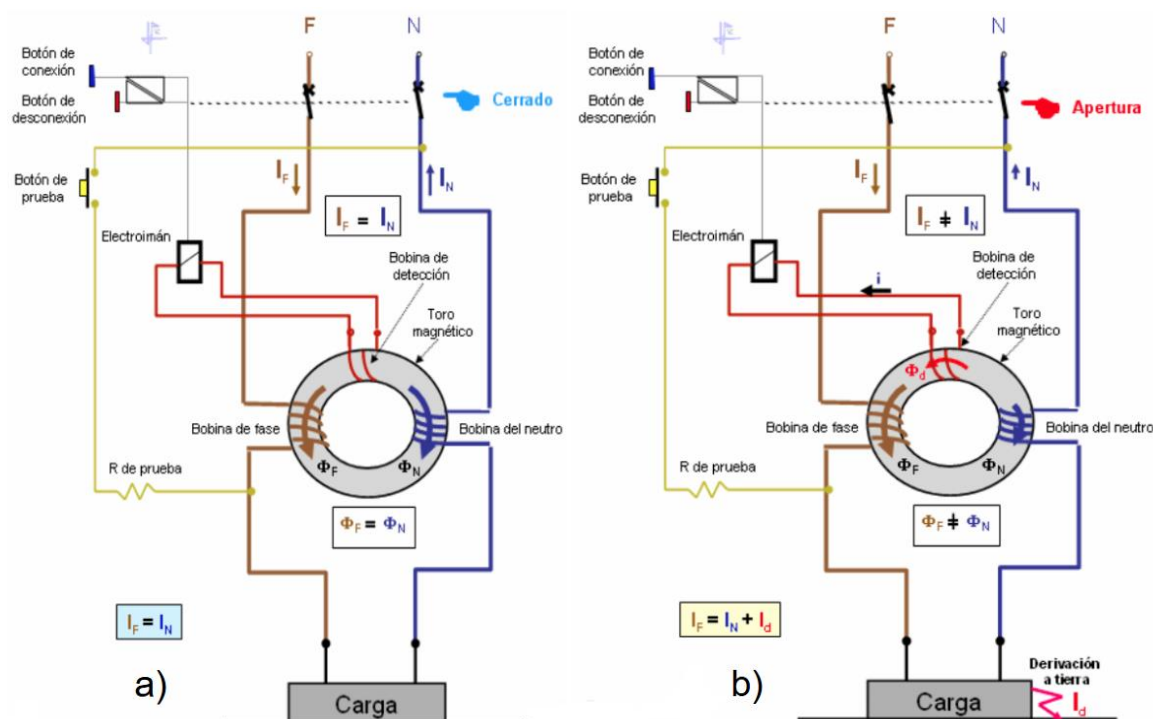


Fig. 74. Principio de funcionamiento del interruptor diferencial.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Sistema de Protección de Sobretensiones (SPD) [38]

Es un dispositivo diseñado para proteger equipos eléctricos y electrónicos sensibles contra daños causados por sobretensiones transitorias en una red eléctrica. Las sobretensiones pueden surgir debido a diversas razones, como descargas atmosféricas, conmutación de cargas grandes, maniobras en la red eléctrica, o fallas en el suministro eléctrico.

Principio de funcionamiento:

1. El SPD trabaja con normalidad a su tensión nominal del sistema, la impedancia del SPD tiende a infinito (muy grande), por lo que pasa una corriente de fuga muy pequeña [μA], ilustrado en la **Fig. 75**.
2. Ocurre una sobretensión y el SPD pasa de un valor de impedancia muy grande a un valor casi cero, para derivar la corriente y mantener constante la tensión en los extremos.
3. Finalmente, el SPD extingue el arco creado por la sobretensión protegiendo la instalación.

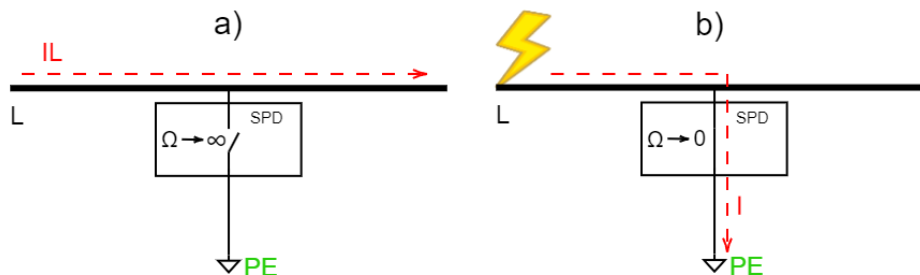


Fig. 75. Principio de funcionamiento de un SPD. Fuente FINDE.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

2. Objetivos

- Realizar un análisis del comportamiento del motor de corriente directa al arranque con paneles solares, a través del software Simulink de Matlab.

3. Equipo a utilizar

- Equipo de cómputo
- Software Simulink de Matlab y librería Simscape Electrical.
- Paneles solares y placa de datos reales a simular.

4. Desarrollo

La **Fig. 76** contiene los bloques a utilizar, estos se ubican en la librería Simulink de Matlab para desarrollar la actividad.

Nota: Por practicidad de poder localizar cada uno de los bloques, se puede apoyar del nombre que se indica a un costado de ellos y así localizarlos mediante la opción Library Browser, librería de búsqueda que presenta Simulink.

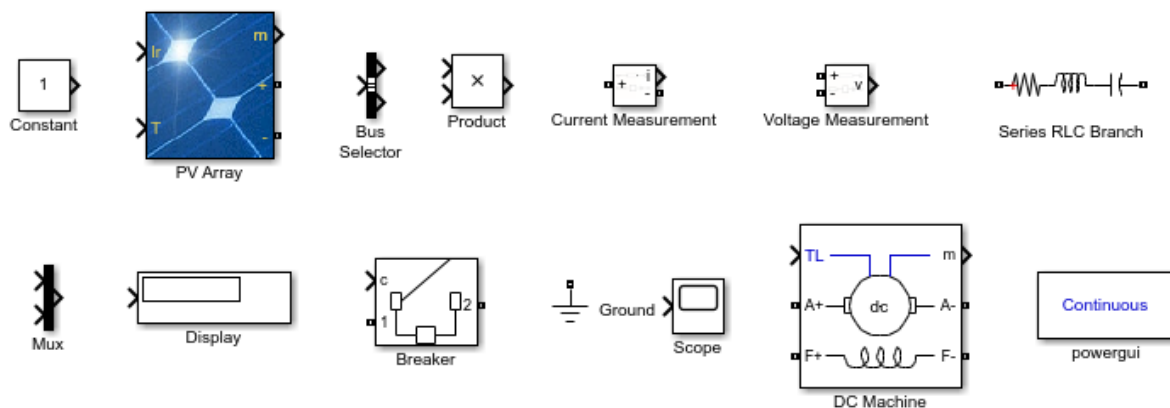


Fig. 76. Bloques de librería Simulink a utilizar.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Implemente el diagrama mostrado en la **Fig. 77**:

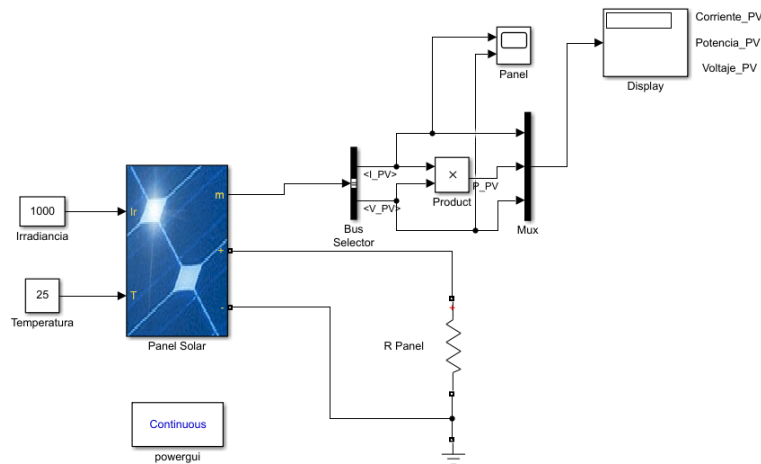


Fig. 77. Primer Diagrama para simular el arranque de un motor de corriente directa con paneles solares.

Consideración de valores para los bloques

Constant - Irradiancia: Asigne el valor de 1000 [W/m^2].

Constant - Temperatura: Asigne el valor de 25 [$^{\circ}\text{C}$].

Series RLC Branch - R Panel: Seleccione únicamente la opción R en Branch type y asigne un valor de 15.29 [Ω] en Resistance.

Bus Selector: Para colocar las señales que se requieren, seleccione con clic izquierdo la *Signals in the bus*, después de clic izquierdo en el rectángulo *Select>>*, repite este paso para agregar las mismas señales del *Bus Selector* que se ven en la **Fig. 77**.

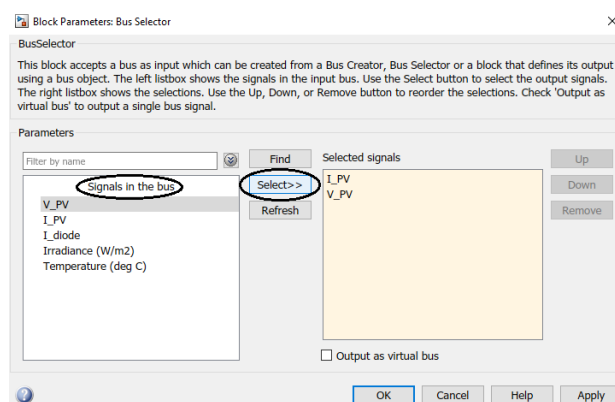


Fig. 78. Demostración para agregar señales al Bus Selector.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

PV array – Panel Solar: Asigne los valores establecidos en la **Fig. 79 (Tabla 6)**.

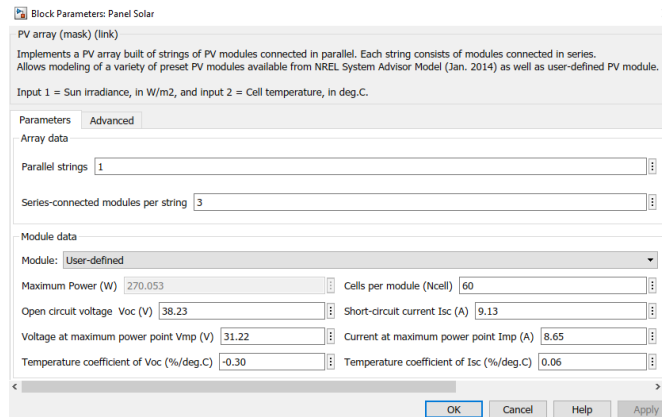


Fig. 79. Valores del panel solar de la **Tabla 6**.

El diagrama de la **Fig. 77** representa la simulación del funcionamiento de un panel solar con una carga dada, pero aún falta añadir más elementos:

Implemente la siguiente parte para la simulación.

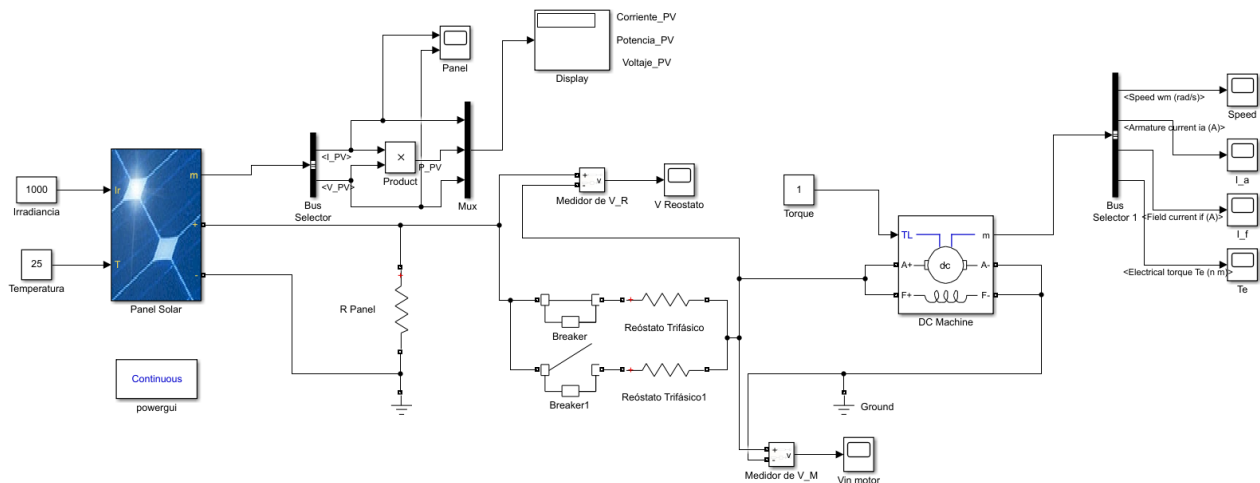


Fig. 80. Diagrama completo para la simulación del arranque de un motor de corriente directa con paneles solares.

Consideración de valores para los nombres de los bloques

Breaker: Asigne en *Initial status* el valor de 1. En el cuadrado con una paloma y una leyenda de *External*, quite la paloma dando clic izquierdo y en *Switching times (s)* coloque lo siguiente: “[5]”.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Para el bloque llamado Breaker1 agregue lo mismo que el bloque anterior, pero en lugar de asignar el valor de 1 en *Initial status*, asigne el valor de 0.

Series RLC Branch - Reóstato Trifásico: Seleccione la opción R en Branch type y asigne un valor de 16 [Ω] en Resistance.

Para el bloque llamado Reóstato Trifásico 1 asigne un valor de 0 en Resistance (Ohms).

Constant - Torque: Asigne el valor de 1 para definir a la máquina de DC como motor.

Bus Selector 1: Se agregan las señales de la misma manera que el *Bus Selector*, ver **Fig. 78**. Pero de tal manera que quede igual al de la **Fig. 80**.

DC Machine: Asigne los valores como se muestra en la **Fig. 81**.

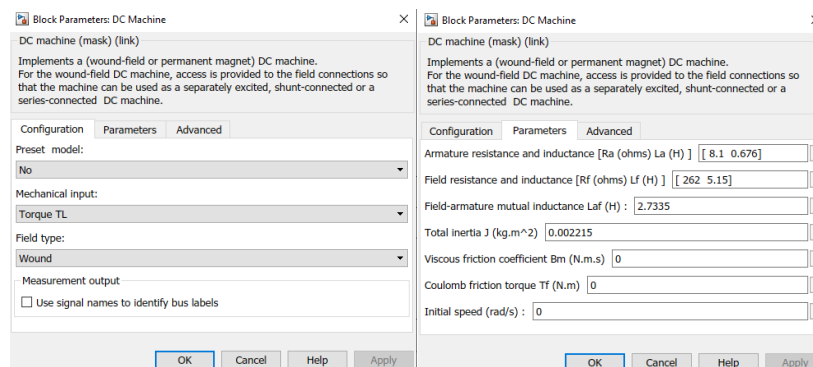


Fig. 81. Valores del motor de corriente directa del laboratorio de máquinas eléctricas.

Actividades

1. Asigne un tiempo de simulación de 5 segundos y de clic en el botón de *Run* para simular el modelo.
2. Abre el bloque Scope I_a y anote la corriente de armadura al arranque y la misma corriente de armadura después de 3 segundos de simulación en la columna I_a [A] de la **Tabla 30**.
3. Abre los bloques Scope de *Vin motor*, *V Reóstato*, I_f , *Speed*, y anote los valores después de 3 segundos de simulación en la **Tabla 30** con su columna correspondiente.
4. Cambie el bloque llamado *Constant-Torque* por un bloque *Step* y asigne los valores como se muestra en la **Fig. 82**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

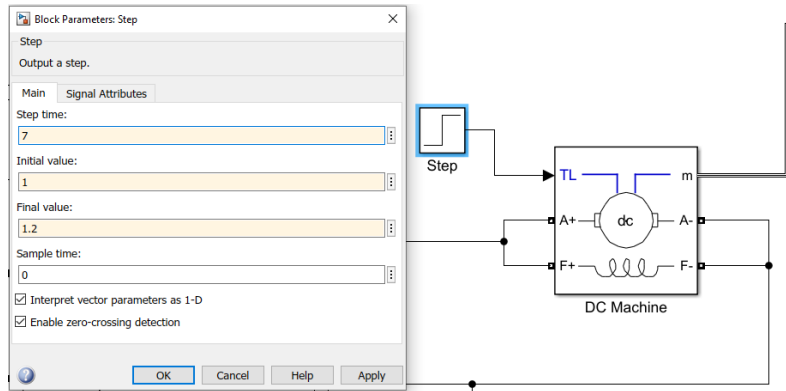


Fig. 82. Valores de simulación para el bloque DC Machine.

5. Asigne un tiempo de simulación de 10 seg.
6. Para llenar la segunda fila de la **Tabla 30**, abra los bloques Scope de *V_{in motor}*, *V_{Reóstato}*, *I_a*, *I_f*, *Speed*, y anote los valores estables después de 5 segundos y antes de 7 segundos de simulación en la **Tabla 30** con su columna correspondiente.
7. Anote los valores en la siguiente fila de la **Tabla 30**, de los bloques Scope de *V_{in motor}*, *V_{Reóstato}*, *I_a*, *I_f*, *Speed*, después de 8 segundos de simulación.
8. Abra el bloque *Step* agregado en el paso 4 y cambie el valor de *Final Value*: a 1.6[4 lbf.plg] y de clic en el botón de *Run* para simular el modelo.
9. Repite el paso 7 y 8 pero con valores de Final Value de 2.0[6 lbf.plg] y 2.4[8 lbf.plg].

Tabla 30. Valores obtenidos de simulación de la máquina de corriente directa.

Corriente de arranque:					
Tiempo [Seg] PAR = 0	$V_{in\ motor}[V]$	$V_{Reóstato}[V]$	$I_a[A]$	$I_f[A]$	Velocidad $\left[\frac{rad}{s}\right]$
3 a 5 seg					
5 a 7 seg					
PAR[lbf. plg]	$V_{in\ motor}[V]$	$V_{Reóstato}[V]$	$I_a[A]$	$I_f[A]$	Velocidad $\left[\frac{rad}{s}\right]$
2					
4					
6					
8					



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿Qué diferencia hay entre la corriente de arranque simulada y la corriente de arranque que se calculara en el previo-pregunta 2? ¿A qué se debe?

Compara las gráficas de los bloques Scope *V Reóstato*, *Vin motor e I_a*. ¿Cuál es la relación entre estas 3 gráficas?

¿Qué función tienen los bloques Breaker y Breaker 1?

¿Cómo se comportan los paneles solares conectados en serie, en cuanto a su voltaje, corriente y potencia, que suministran al motor de corriente directa al aumentar el torque de carga bloque *Step*?

5. Cuestionario Previo

1. ¿Por qué no se puede arrancar un motor con su voltaje nominal?
2. Si se tiene un resistor en serie de 16 [Ω] con el inducido del motor $R_a = 8.1$ [Ω] y se arranca un motor con 100 [V] en sus terminales ¿Cuál será el valor de la corriente de arranque?
3. Después de arrancar el motor de corriente directa ¿Se puede dejar el reóstato con su valor inicial? ¿Por qué?
4. ¿Qué es un interruptor termomagnético y cómo funciona?
5. Si un interruptor termomagnético de 2 [A] con curva de disparo Tipo C ¿Cuánto tiempo tarda en activarse al circular una corriente de 6.6 [A] y una corriente de 13.17 [A]?
6. ¿Qué es un Interruptor Diferencial y cómo funciona?
7. ¿Qué es un sistema de protección de sobretensiones y cuál es su principio de funcionamiento?
8. ¿Cuáles son las zonas que protege un SPD según la UL?
9. ¿Cuál es la diferencia de un interruptor termomagnético y un fusible?
10. Menciona 3 lugares donde se recomienda colocar fusibles en una instalación solar.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Práctica 3. Protección eléctrica en un sistema fotovoltaico



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Seguridad en la ejecución.

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Diferencia de potencial continua	Descarga eléctrica y daño a equipo.
2	Diferencia de potencial alterna	Descarga eléctrica y daño a equipo.
3	Alta temperatura	Quemaduras

2. Objetivos.

- Realizar el arranque de un motor de corriente directa en conexión shunt con paneles solares.
- Conocer los diferentes tipos de protecciones para una instalación fotovoltaica.
- Comprobar el funcionamiento de las protecciones de corriente alterna mediante la realización de pruebas.

3. Material y equipo.

- 3 Paneles solares (Instalados en el exterior del Laboratorio de Máquinas Eléctricas).
- 1 Multímetro con medición de voltaje y corriente(mA) en directa y alterna.
- 1 Módulo de reóstato trifásico EMS 8731.
- 1 Módulo de electrodinamómetro EMS 8911.
- 1 Amperímetro de gancho.
- 1 Banda para rotor.
- 1 Módulo volt-amperímetro CD EMS 8412.
- 1 Fuente de alimentación EMS 8821-22.
- 1 Banco de resistencias con cuchilla eléctrica.
- 1 Conexión a la red eléctrica (clavija trifásica).
- Juego Cables de conexión (ubicados en un perchero de metal).
- 1 Módulo de interruptores en CA y CD (ubicado en la mesa del área fotovoltaica).
- 1 Cable gris de 24 [V].
- 1 Cronometro.
- 1 Socket con foto de 127 [V].
- 1 Caja de acrílico transparente y bolsa con hilos de cobre.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

4. Desarrollo.

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes y voltajes elevados que pueden provocar una lesión!

Nota: Esta práctica se realiza en la mesa del área fotovoltaica, utilizando contenedor de interruptores en CA y CD y el gabinete más cercano que tiene una fuente de alimentación EMS 8821-22.

Parte 1: Arranque de un motor de corriente directa con paneles solares

1. Coloque el motor de cd en el gabinete más cercano y realice la conexión shunt del motor de corriente directa (**Fig. 83** rectángulo azul), posteriormente, agregue el reóstato y el módulo EMS 8412 para medir 2 corrientes y un voltaje, use un multímetro para medir V1 o V2. Ver **Fig. 83**.

Nota: No conecte los bornes de salida de los paneles solares. Para el caso del reóstato trifásico, solo se conectará una fase.

2. Coloque el reóstato trifásico en 16Ω , girando en sentido horario hasta su posición extrema, también puede verificar el valor, colocando en paralelo a las terminales del resistor un multímetro, con la función de óhmetro.

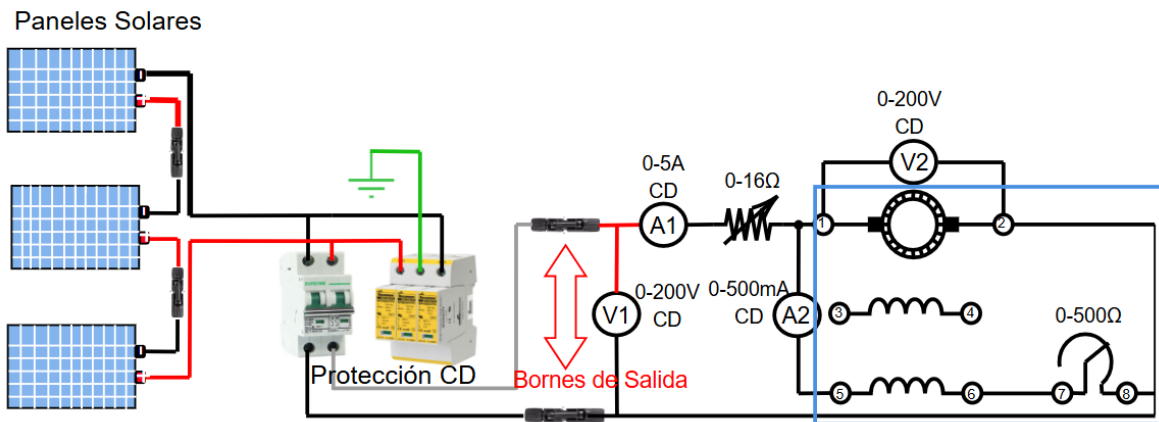


Fig. 83. Diagrama de conexión para el arranque de un motor de corriente directa con paneles solares.

3. Coloque un Dinamómetro (Carcasa negra) al gabinete y acóplelo mediante una banda con el rotor del motor de cd, ajuste la perilla ubicada en *DINAMÓMETRO-CONTROL DE CARGA-MANUAL* en su posición mínima, girándola en sentido antihorario, coloque el interruptor de *MODO* a su posición *DIN*.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

4. Energizar la Mesa 3 del laboratorio de Máquinas Eléctricas.
5. En las puertas debajo del gabinete, encuentre la extensión de cable rojo con clavija y conector trifásicos.
6. Conecte la extensión a la fuente de alimentación EMS 8821-22 y después al contacto de la Mesa 3.
7. Conecte un cable gris a la fuente de alimentación EMS 8821-22 en su opción de 24 [V] de CA, a la *alimentación de baja potencia* del Dinamómetro.
8. Gire en sentido horario a su posición extrema el reóstato que se encuentra entre el punto 7 y 8 de la **Fig. 83** para obtener 0 [Ω] o su cantidad mínima.
9. Antes de conectar los bornes de salida de los paneles solares al motor de cd, primero use la fuente de alimentación EMS 8821-22, sustituyendo la conexión de los bornes de salida de los paneles solares, con la fuente variable de CD o también conocida como CC, en la fuente de alimentación se identifica como 7 y N.
10. Gire la perilla de la fuente de alimentación a su tope en sentido antihorario, enciende la fuente, gire la perilla aumentando el voltaje lentamente hasta que el motor arranque, lea la nota.
Nota: Observe el amperímetro A1. Si el motor alcanza una corriente mayor a los 5 [A] y el motor no arranca, quiere decir que hay una conexión incorrecta o algún cable está dañado, revise de nuevo la conexión hasta que el motor arranque.
11. Una vez arrancado el motor, después de 5 segundos, gire rápidamente la perilla de la fuente de alimentación a su tope en sentido antihorario para que el motor se apague.
12. Después de comprobar que no hay ningún inconveniente con las conexiones o los cables, mire atentamente el amperímetro A1 y conecte los bornes de salida de los paneles solares, como se muestra en la **Fig. 83** y registre la corriente al arranque en la **Tabla 31**.
13. Una vez arrancado el motor, disminuye el valor del reóstato trifásico a su valor mínimo, girando su perilla hasta el tope en sentido antihorario.

Nota: Las mediciones de V1, V2 y A2 son para monitorear el estado del equipo, si algún valor como A2 aumenta mucho más del valor nominal 0.4 [A], apague el equipo inmediatamente. Si V1 disminuye mucho por ejemplo el paso de una nube, el equipo se detendrá.

- Estar atentos a los posibles eventos que puedan ocurrir.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

14. Mide los voltajes (V_1 , V_2), corrientes (I_1 , I_2) y velocidad del motor para la condición sin carga, anótelos en la **Tabla 31**.

Nota: Para ver los valores de velocidad o par en el dinamómetro, mueve la palanca debajo de “VISUALIZADOR”.

15. Mueve la perilla de carga del dinamómetro hasta obtener el siguiente valor de PAR [N.m] mostrado en la **Tabla 31**, mide los voltajes (V_1 , V_2), corrientes (I_1 , I_2) y velocidad, repite este paso hasta terminar de llenar la **Tabla 31**.

Tabla 31. Datos del motor a diferentes valores de carga.

Corriente de arranque:					
$PAR[N.m]$	$V_1[V]$	$V_2[V]$	$A_1[A]$	$A_2[A]$	$Velocidad[RPM]$
0					
2					
4					
6					
8					

16. Disminuye el PAR a 0 [N.m] y desconecte los bornes de salida de los paneles solares.

17. Desconecte la extensión conectada entre la fuente de alimentación y la Mesa 3, posteriormente guárdela dentro del gabinete.

¿Usando la **Tabla 32** y conociendo la potencia del motor de cd que es de $\frac{1}{4}$ de HP, de manera ideal, cuantos de estos motores pueden operar con los 3 paneles conectados en serie?

Tabla 32. Potencia de los paneles solares del techo del Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Modulo Solar	Potencia Máxima (P_{max})
PLM-270P-60	270 Wp(0/+ 3%)
EPL33024	330 W(0 \pm 5%)
CSUN275-60P	275 W(0 \pm 3%)



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿Qué consideraciones se deben tener antes de alimentar motores de corriente directa con paneles solares?

Mencione 3 aplicaciones que puede tener el uso de motores de corriente directa alimentados con paneles solares

Parte 2: Interruptor Termomagnético

Comprobación del estado del interruptor termomagnético

1. Con un multímetro en su posición de continuidad, colóquelo en el borne de la entrada y la salida del interruptor termomagnético marcado con 3) de la **Fig. 85**.
2. Verifique que la palanca de accionamiento este en su posición ON (arriba) y compruebe que existe continuidad, si hay continuidad, significa que el interruptor termomagnético funciona adecuadamente, posteriormente coloque la palanca de accionamiento en su posición OFF (abajo).

Pruebas de sobrecarga y cortocircuito

3. Desconecte los cables de *Salida Inversor*, para ello solo siga los cables hasta la salida del inversor y quite el conector de ca. Ver rectángulo rojo de la **Fig. 84**.

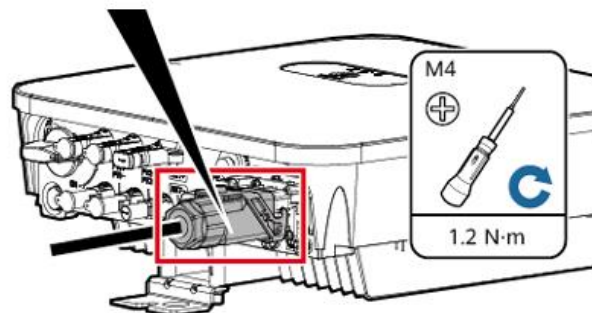


Fig. 84. Conector de CA del inversor.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- Realice las conexiones de la **Fig. 85**, coloque todas las cuchillas del Banco de Resistencias en su posición central, no deje ninguna haciendo contacto.

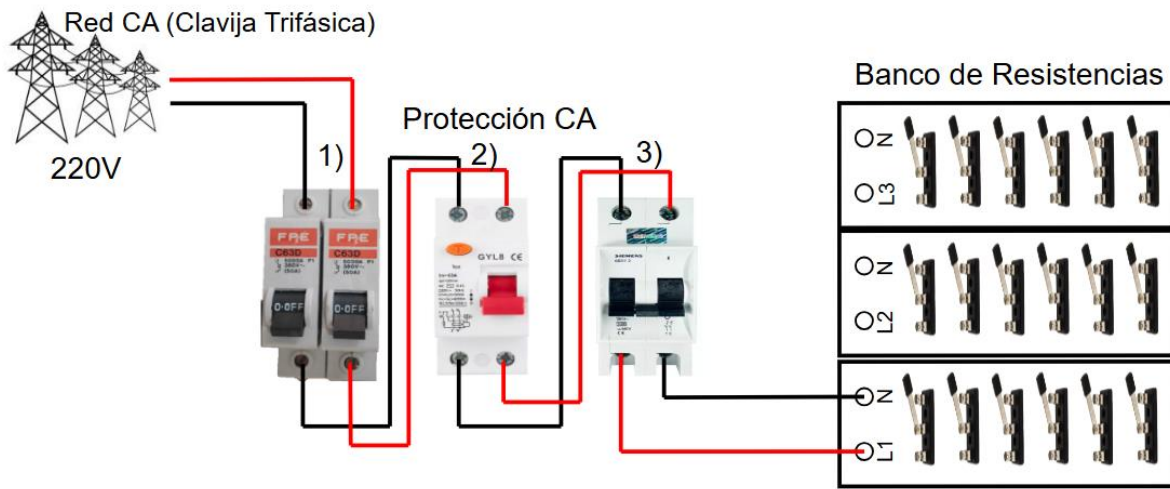


Fig. 85. Diagrama de conexión para las pruebas del interruptor termomagnético.

- Verifique que la palanca de accionamiento de las 3 protecciones esté en su posición OFF (abajo).
- Conecte la *Red ca (clavija trifásica)* al contacto de la mesa 3.
- Subir las palancas de accionamiento de las tres protecciones, ver la **Fig. 85**, en el siguiente orden “1), 2) y 3)”.
- Coloque el Amperímetro de gancho para medir la corriente del cable de L1 del Banco de Resistencias.
- Prepare el cronometro, baje las primeras 2 cuchillas del banco de resistencias (una hacia un lado y la otra al lado contrario) e inmediatamente inicie el cronometro.
Nota: El amperímetro o pinza amperimétrica, deberá marcar aproximadamente 6.6 [A].
- Espere a que actúe la protección para detener el cronometro, después coloque en su posición central las 2 cuchillas del banco de resistencias.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

¿Cuánto tiempo tardo en actuar el interruptor termomagnético? ¿Por qué tardo eso?

11. Sube la palanca de accionamiento del Interruptor termomagnético que se activó.

12. Baje con cuidado y rapidez 3 clavijas del banco de resistencias (una hacia un lado, la segunda al lado contrario y la tercera al lado contrario a la segunda).

¿Cuánto tiempo tardó en trabajar la protección? ¿Por qué?

13. Baje las palancas de las protecciones eléctricas de corriente alterna.

Parte 3: Interruptor Diferencial

1. Sube la palanca del interruptor diferencial marcado con un “2)” en la **Fig. 86** y presione el botón marcado con una T.

¿Se activó la protección al apretar el botón? Explica tu respuesta.

2. Sube la palanca de accionamiento del interruptor marcado con “1)” en la **Fig. 86**.

3. Presione el botón marcado con una T del disyuntor diferencial.

¿Por qué esta vez sí se activó la protección del interruptor diferencial?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

4. Baje las palancas de accionamiento de las dos protecciones.
5. Realice las conexiones de la **Fig. 86**, coloque todas las cuchillas del Banco de Resistencias en su posición central, no deje ninguna haciendo contacto y coloque un foco de 127 [V] en el socket.

Nota: La Barra de Tierra está ubicada debajo de las protecciones eléctricas y conectada directamente tierra, solo es necesario conectar el cable del Banco de Resistencias a la Barra de Tierra (Cable azul de la Fig. 86).

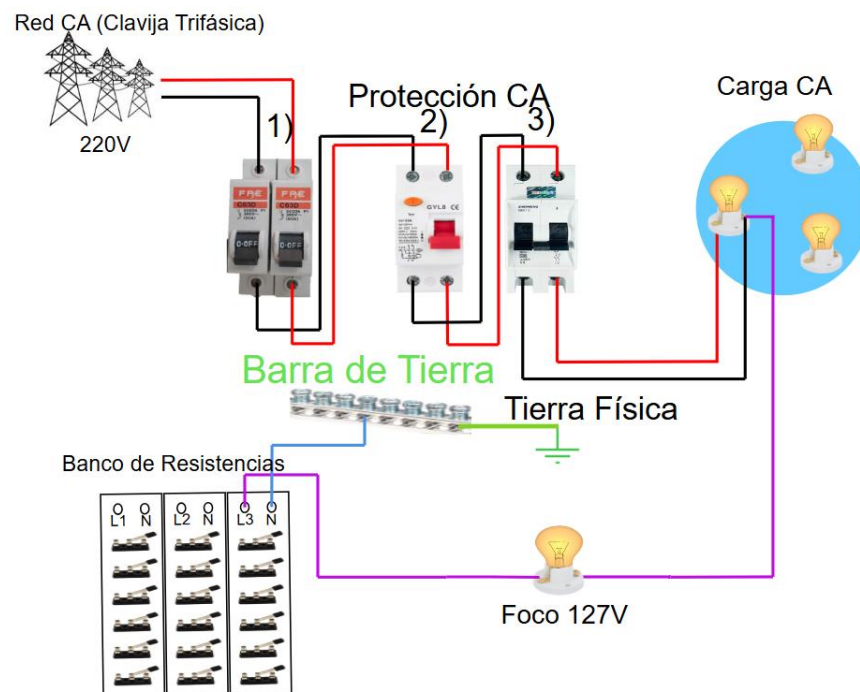


Fig. 86. Diagrama para activar la protección diferencial con una corriente de fuga a tierra.

6. Sube las palancas de accionamiento de las tres protecciones, ver la **Fig. 86**, en el siguiente orden "1), 2) y 3)".
7. Baje hacia cualquier lado la primer cuchilla del Banco de Resistencias.
8. Con cuidado y rapidez baje la segunda cuchilla del Banco de Resistencias al lado contrario de la primer cuchilla, deberá accionar una protección.
9. Después coloque en su posición central las 2 cuchillas del banco de resistencias.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

10. Baje las palancas de accionamiento de las 3 protecciones y realice las conexiones de la **Fig. 87**, observe que no se usara la protección diferencial, marcada con “2”.
11. Coloque un hilo de cobre enrollado (ubicado en una bolsa pequeña en la mesa del área fotovoltaica), en los tornillos de la caja de vidrio transparente.

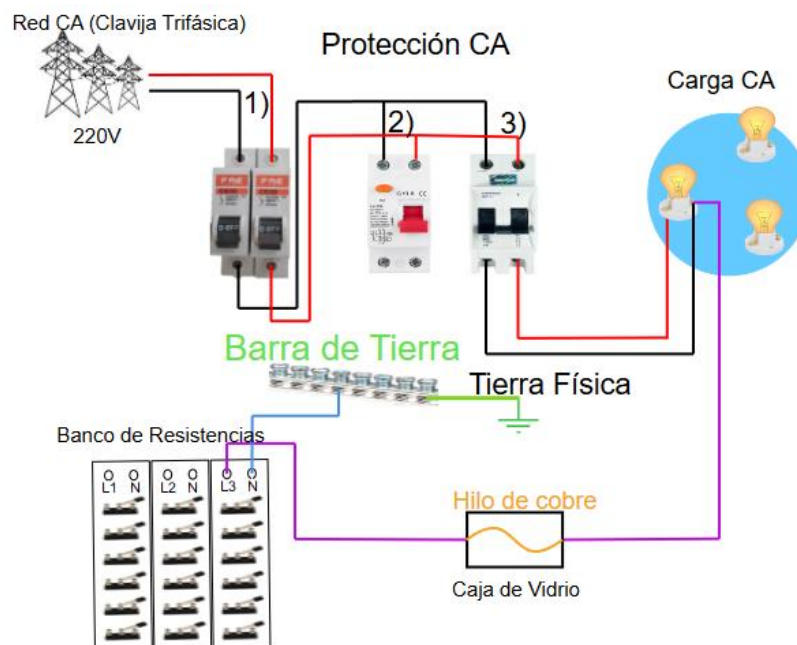


Fig. 87. Diagrama que muestra la acción de protección del fusible.

12. Baje hacia cualquier lado la primer cuchilla del Banco de Resistencias.
13. Observe la caja de vidrio, con cuidado y rapidez baje la segunda cuchilla del Banco de Resistencias al lado contrario de la primer cuchilla.
14. Después coloque en su posición central las 2 cuchillas del banco de resistencias.
15. Baje las palancas de las protecciones eléctricas de CA.
16. Desconecte la extensión de Red ca (clavija trifásica) de la Mesa 3.
17. Desenergizar la Mesa 3 con la ayuda del laboratorista o profesor encargado del Laboratorio de Máquinas Eléctricas.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

De la primera conexión ¿Por qué no se dañaron los focos de Carga CA y el de 127 [V]?

¿Por qué actuó solo la protección diferencial y no la protección termomagnética de 2 [A]?
¿Qué protección actuaría si no hay carga conectada y solo se conecta la fase a tierra?

De la segunda conexión ¿Por qué se rompió el hilo de cobre?

5. Conclusiones



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Previo 4. Sistema fotovoltaico (simulación)



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Esta actividad práctica tiene como objetivo principal el manejo conceptual del inversor y sus diferentes clasificaciones como parte de un sistema solar fotovoltaico. Considerando el impacto operacional en los elementos que lo integran como sistema fotovoltaico en casos de estudio.

Se busca que el estudiante se adentre conceptualmente y de manera práctica en aspectos técnicos que se manejan en el área como es la interconexión a la red eléctrica y conexión aislada (modo isla) mediante un sistema con un inversor.

Para el cual, se analizará:

- La sincronización del inversor con la red y la inyección de energía excedente.
- Los parámetros de salida del inversor en diferentes condiciones de carga.

El primer punto para trabajar con el inversor es en modo interconectado a la red, cuyo objetivo es demostrar el funcionamiento principal del inversor, posteriormente se trabajará con el inversor en modo isla, conocido como sistema aislado de la red, cuya actividad es analizar las limitantes que se presentan al trabajar en este modo del sistema en comparación con el modo de interconexión a la red. Favoreciendo la actividad mediante un caso práctico, se involucra el manejo del transformador, donde se resalta la ventaja que se tiene con el sistema.

Finalmente, como actividad extra, se hace uso de un controlador de carga PWM con el uso de baterías de litio, esto, con el propósito de manejar una alternativa de controlador que se tiene, así como los diferentes tipos de baterías para un sistema solar fotovoltaico. Con el fin de llevar a la comprensión del controlar la carga a través de baterías, determinando el correcto funcionamiento del controlador de carga solar, la eficiencia en la carga y descarga de las baterías.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Introducción

Inversor

Se considera que el inversor es el dispositivo más importante en una instalación solar fotovoltaica, su función es convertir la corriente directa (CD) generada por los paneles solares a corriente alterna (CA), como parámetro sinusoidal común que ocupa la red eléctrica del país para uso industrial, comercial y nivel doméstico.

Existen diferentes tipos de inversores solares, los cuales determinarán el tipo de instalación que se desea realizar, por lo tanto, es importante conocer las diferentes alternativas que se tienen con estos equipos.

Clasificación por el número de fases [39]:

De acuerdo con el servicio que proporciona la CFE, se puede clasificar de la siguiente forma:

- **Inversores monofásicos:** Generalmente son utilizados en sistemas solares con una capacidad de potencia eléctrica de hasta 10 [kW]. Más allá de esta capacidad, puede resultar más eficiente y práctico utilizar un inversor trifásico.
- **Inversores trifásicos:** Son empleados en sistemas solares con capacidades de potencia superiores a los 10 [kW], y pueden llegar a manejar desde unos pocos [kW] hasta varios [MW], dependiendo del tamaño del proyecto y de las necesidades específicas de la instalación.

Clasificación por su tipo de onda [40]:

- **Inversor de onda cuadrada**
Este tipo de inversor genera una forma de onda de salida que fluctúa abruptamente entre los valores máximos y mínimos de voltaje, creando una forma de onda que se asemeja a un cuadrado. Los inversores de onda cuadrada son menos comunes hoy en día debido a su baja calidad de energía y a su incompatibilidad con muchos dispositivos electrónicos sensibles.
- **Inversor de onda modificada**
Este tipo de inversor produce una forma de onda que es una variación de una onda sinusoidal. Aunque no tan suave como una onda sinusoidal pura, la forma de onda modificada es adecuada para muchas aplicaciones, como herramientas eléctricas, electrodomésticos y sistemas de respaldo de energía en el hogar.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- **Inversor de onda senoidal pura**

Este tipo de inversor produce una forma de onda de salida que es idéntica a la forma de onda de la corriente alterna (CA) suministrada por las redes eléctricas convencionales. La onda sinusoidal pura es la forma de onda más suave y de mayor calidad. Estos inversores son ideales para sistemas de energía solar en aplicaciones donde se requiere una calidad de energía alta y compatible con todos los dispositivos eléctricos.

Clasificación por su tipo de aplicación [40]:

- **Inversor de conexión a red:** Este tipo de inversor permite que la energía generada por los paneles solares sea utilizada directamente por los dispositivos eléctricos en corriente alterna (CA), y también puede enviar el exceso de energía a la red eléctrica para su distribución a otros usuarios. Los inversores conectados a red no tienen baterías integradas y funcionan únicamente cuando hay alimentación de la red eléctrica.
- **Inversor aislado:** Este tipo de inversor son independientes y no se conectan a la red eléctrica, tienen la capacidad de alimentar la potencia instalada en el hogar o edificio, también gestiona la carga y descarga de las baterías, las cuales actúan cuando los paneles solares no pueden operar adecuadamente, por ejemplo, la noche o días muy nublados.
- **Inversor híbrido:** Tiene las dos características anteriores, puede trabajar interconectado a la red y sin ella, por ello puede ocupar baterías para operar de manera más eficiente, las baterías pueden ser cargadas por la energía de la red o por otro tipo de energía.

También se pueden clasificar por su topología y tecnología: Inversores de cadena, Inversores centrales, Micro inversores, Inversores optimizados por panel.

Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red (SFVI):

De acuerdo con [39] define al SFVI como:

Un sistema de generación de energía eléctrica que aprovecha la energía del sol a través del panel solar con los cuales se genera energía en corriente directa, la cual a través de un dispositivo llamado inversor convertirá la corriente directa en corriente alterna a la tensión y frecuencia de diseño o de la red eléctrica de la región, para conectarse en paralelo y poder suministrar energía, de los cuales se encuentran dos casos para el suministro de energía.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

- Uno, cuando la generación fotovoltaica es mayor a la carga demandada, en este caso sólo se usa la energía producida por el panel solar con la finalidad de cubrir la demanda de carga. De presentarse la condición, la energía restante es compartida a la red eléctrica.
- Dos, cuando la generación fotovoltaica es menor a la carga que se demanda, por consiguiente, se puede usar de manera simultánea la generación fotovoltaica con la red eléctrica, o en dado caso únicamente la aportación directa por la red eléctrica.

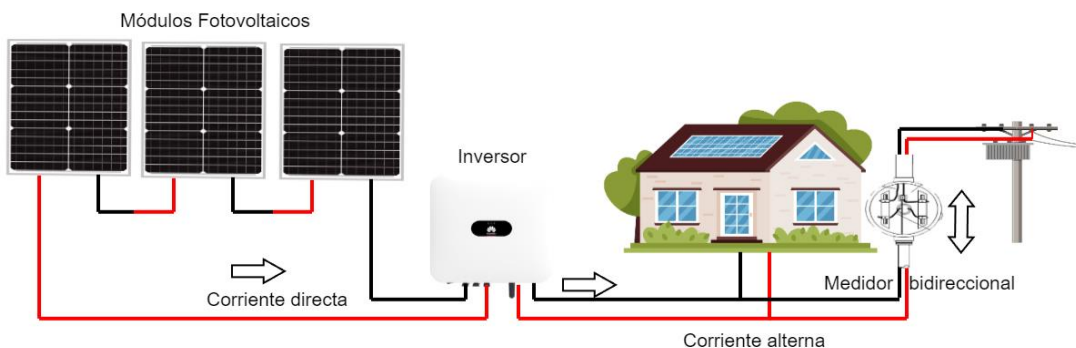


Fig. 88. Sistema Fotovoltaico Interconectado a la Red.

Las aplicaciones generales de uso en un sistema fotovoltaico interconectado a la red son:

- **Nivel comercial (central fotovoltaica y granja solar):** se considera como recintos que contienen instalaciones solares fotovoltaicas ya sea de un solo propietario (como empresa) o por varios propietarios (como grupo de inversionistas) que, a través de un contrato, transfieren su energía producida a la compañía eléctrica.
- **Nivel doméstico (casas y edificios):** en esta instalación se hace uso del panel solar para uso común, en donde la mayoría de las veces se instalan a nivel techo, considerado como el máximo punto que se logra alcanzar para la captación solar, aunque en algunas ocasiones se instalan en muros y fachadas, no siendo lo más recomendable. Su propósito es reducir costos de suministro de electricidad propia y en algunos casos para obtener ganancias al suministrar a la red el excedente.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Sistema Fotovoltaico Aislado [41]:

Los sistemas fotovoltaicos aislados, también llamados sistemas solares autónomos o fuera de la red, son sistemas que producen electricidad a partir de la energía solar y no están conectados a la red eléctrica convencional. Estos sistemas constan normalmente de paneles solares fotovoltaicos para capturar la energía del sol, baterías para almacenar la energía generada durante el día, reguladores de carga para controlar la carga de las baterías y un inversor, que en conjunto son de uso para suministro de energía a carga conectada.



Fig. 89. Sistema Fotovoltaico aislado. Fuente [41].

Las aplicaciones generales en un sistema fotovoltaico aislado se consideran como [42]:

- **Espaciales:** donde los paneles fotovoltaicos suministran energía eléctrica a elementos colocados en el espacio, por ejemplo, satélites, estaciones espaciales y robots, que, al imposibilitarse el suministro de energía por una red eléctrica continua por tierra, dependen de energía con poco tiempo de servicio, los cuales, aprovechan de la energía solar hasta que el sistema fotovoltaico deje de producir energía por su vida útil.
- **Terrestres:** utilizadas en telecomunicaciones (radio, telefonía, cámaras), zonas rurales aisladas (países en desarrollo, un pueblo, una aldea), alumbrado público (el cual, utiliza baterías para almacenar la energía), bombeo de agua (granjas, ranchos, especialmente para la agricultura).



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Sistema Fotovoltaico Híbrido [43]:

Un sistema fotovoltaico híbrido es una instalación que combina tecnología solar fotovoltaica con otra fuente de energía para generar electricidad. Esto se hace típicamente para mejorar la eficiencia, la fiabilidad o la capacidad de suministro de energía, especialmente en áreas donde la generación solar puede ser intermitente o insuficiente para satisfacer la demanda de energía.

El sistema híbrido más usado a nivel doméstico en casas y edificios es mediante la interconexión a la red, con un medidor bidireccional, baterías, un inversor/cargador o un inversor con un controlador de baterías, esto para alimentar la carga conectada de la casa o edificio con energía fotovoltaica y cargar las baterías ya sea con el panel solar o la red eléctrica.

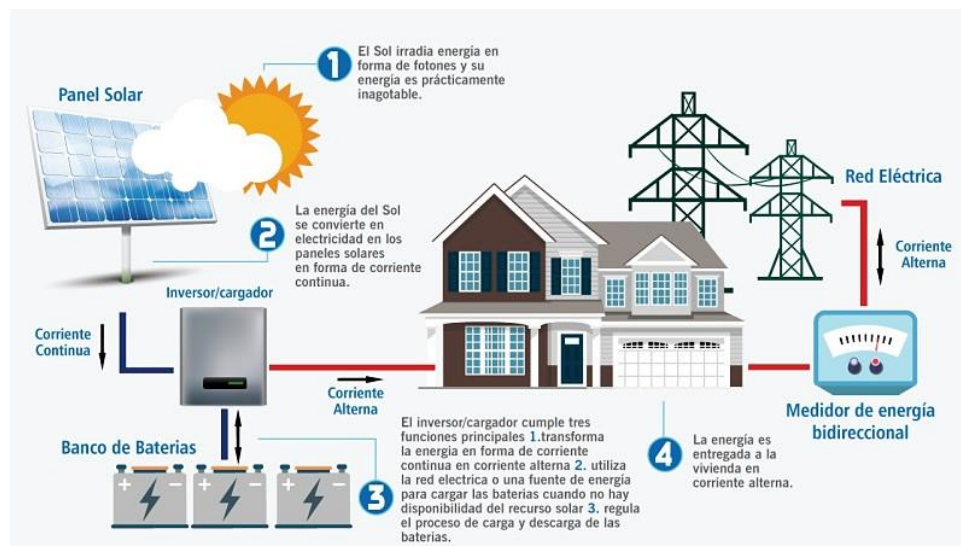


Fig. 90. Sistema Fotovoltaico Híbrido. Fuente [43].

Algunos de los sistemas híbridos fotovoltaicos conectados con otro tipo de generación de energía son:

Sistemas fotovoltaicos-diésel.

Sistemas fotovoltaicos-eólico.

Sistemas fotovoltaico-hidroeléctrico.

Finalmente, para las condiciones de un sistema híbrido se vuelve una necesidad el uso de baterías, con el fin de mejorar la eficiencia del sistema fotovoltaico. En la actualidad se recomienda el uso de sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS) [44] ya que



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

exhiben una alta eficiencia y tienen la capacidad de almacenar considerables cantidades de energía, pueden ofrecer servicios esenciales para la red eléctrica, como control de frecuencia y voltaje, lo que los convierte en activos cruciales para garantizar la estabilidad del sistema. Además, los BESS tienen una vida útil prolongada en comparación con otros métodos de almacenamiento y presentan una menor probabilidad de fallos.

Transformador en sistemas fotovoltaicos

En sistemas fotovoltaicos [45], los transformadores permiten aumentar o reducir la tensión de la energía eléctrica generada por los paneles solares, ya sea para una transmisión de energía más eficiente y a mayores distancias o alimentar una red de baja tensión.

De acuerdo con CFE [39] la interconexión del sistema fotovoltaico con la red de distribución deberá realizarse con un transformador que proporcionará un aislamiento galvánico y prevenir el flujo de corrientes de falla a tierra a la red.

Tipos de baterías [46]

Existen dos tipos de baterías, baterías de arranque y ciclo profundo, cada una está diseñada para distintas aplicaciones, por lo cual es importante conocer qué tipos de baterías se deben usar en un sistema fotovoltaico.

Baterías de arranque: Estas baterías como su nombre lo indica, están diseñadas para proporcionar una corriente de arranque durante un breve periodo de tiempo, normalmente para el arranque de un motor de automóvil, las cuales no se deben descargar más del 20% de su capacidad total, ilustrado en la **Fig. 91 a)**.

Baterías de ciclo profundo: Este tipo de baterías están diseñadas para almacenar y proporcionar cantidades constantes de corriente durante un largo periodo de tiempo, llegando en algunos casos, a alcanzar una descarga del 100% de la batería, ilustrado en la **Fig. 91 b)**.

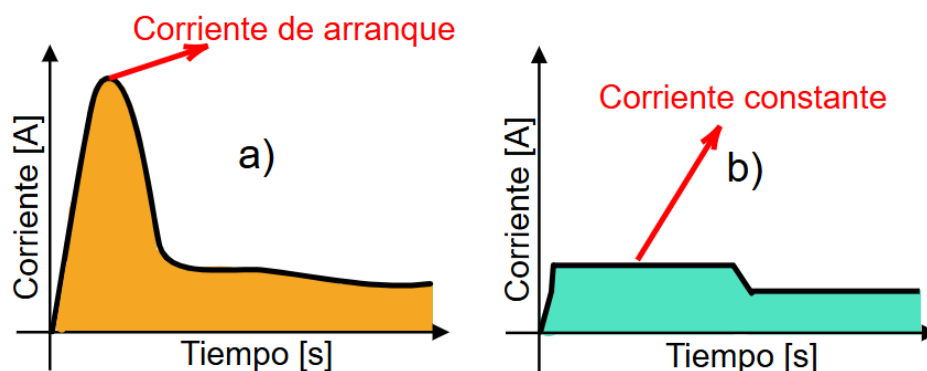


Fig. 91. Gráficas de a) una batería de arranque y b) una batería de ciclo profundo.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Clasificación de baterías de ciclo profundo:

Plomo-Acido [47,48]: De las diferentes opciones, son las más económicas, tiene una profundidad de descarga del 50% para prolongar su vida útil, se cargan lentamente, se degradan más rápidamente que algunas otras baterías. Existen 3 tipos de esta batería, la batería inundada de plomo-acido, que requiere un mayor mantenimiento, la batería de gel y de AGM que son más caras y no duran tanto como las baterías inundadas en aplicaciones más exigentes. Si no se desechan adecuadamente, pueden contaminar el medio ambiente y amenazar la salud de personas y la naturaleza.

Niquel-Cadmio [47,48]: Son empleadas en proyectos de almacenamiento de energía a gran escala debido a su buen rendimiento en una amplia gama de temperaturas, son especialmente adecuadas para instalaciones aisladas de la red, tienen una larga vida útil y un rendimiento de carga excepcional, así como un menor costo por ciclo. Algunas desventajas son su energía específica baja, tienen un voltaje de celdas bajo y ocupa un metal toxico lo que la vuelve en la batería menos ecológica.

Flujo [47,48]: Las baterías de bromuro de cinc son una tecnología nueva que utiliza una solución acuosa, permitiendo una profundidad de descarga del 100%. Ofrecen mayor flexibilidad en el diseño para gestionar la carga y descarga de energía, además son seguras y no tóxicas. Debido a que este tipo de tecnología no está totalmente desarrollada, es la batería más costosa.

Litio [47,48]: Estas baterías, ampliamente utilizadas a nivel doméstico, han evolucionado junto con el desarrollo de los automóviles eléctricos, lo cual ha permitido reducir sus costos. Ofrecen una alta profundidad de descarga del 80% o más, una larga vida útil, requieren poco mantenimiento y pueden almacenar grandes cantidades de energía en un espacio reducido. Algunas desventajas que se encuentran, es que su costo de fabricación es caro, presentan riesgo de descontrol térmico y el transporte e instalación deben realizarse con mucha precaución.

Controlador de carga solar [49]

Este dispositivo puede estar integrado en el inversor o estar de manera independiente, tiene como funciones principales proteger las baterías de sobrecargas y sobredescargas, bloquear corrientes inversas y cargar la batería de manera óptima.

Existen dos tipos de reguladores de acuerdo con la gestión de la energía:



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Regulador PWM [50]: Como su nombre lo indica, usa la técnica de modulación por ancho de pulso, para suministrar la potencia requerida a las baterías y así cargarlas; cuando se necesita más carga, los pulsos son más largos, cuando se necesita menos carga, los pulsos son más cortos.

Este regulador de carga solar monitorea el voltaje de las baterías y lo compara con voltajes preajustados, ya sea para recargar o detener el proceso de carga de las baterías.

La desventaja de este tipo de regulador es que trabajan a un voltaje definido, por lo tanto, al tener uno o varios paneles solares con un voltaje mayor al de las baterías, se desaprovecha el voltaje, se recomienda usar estos controladores con el mismo voltaje del panel solar.

Regulador MPPT [50]: Su principio de funcionamiento se da utilizando un convertidor de CD a CD, el cual es capaz de reducir la tensión que entra de los paneles solares, a la tensión de la batería, incrementando la corriente suministrada a las baterías y así mantener su potencia, esto con la ayuda de su seguidor, tratando de estar trabajando sobre el punto de máxima potencia de los paneles solares.

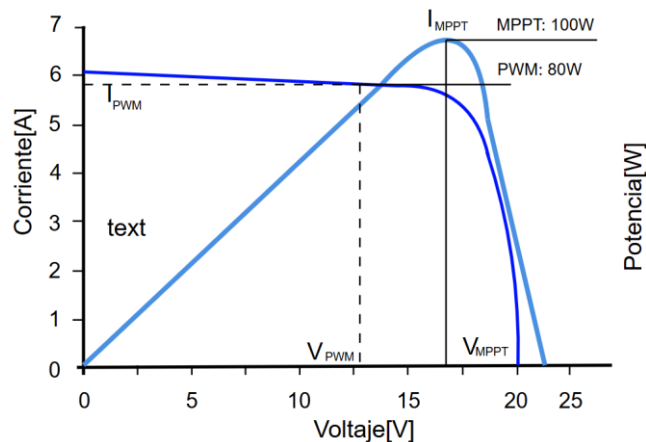


Fig. 92. Gráfica de un controlador de carga solar PWM y un controlador de carga solar MPPT.

La **Fig. 92** representa la comparación de utilizar un controlador PWM, el cual presenta pérdida de energía, debido a que únicamente trabaja a la tensión de la batería, mientras que con un controlador MPPT por su proceso de seguimiento, se obtiene una mayor energía demanda al panel solar.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

2. Objetivos del previo

- Implementar con el uso del software Simulink de Matlab un sistema inversor de onda senoidal pura.
- Colocar al sistema inversor de onda senoidal pura un transformador y aumentar su carga con el uso del software Simulink de Matlab.

3. Equipo a utilizar

- Equipo de cómputo.
- Software Simulink de Matlab y librería Simscape Electrical.
- Datos del Inversor.

4. Desarrollo

Para desarrollar la actividad, habilite la librería Simscape Electrical de Simulink Matlab.

Utilice los bloques que se muestran en la siguiente Fig.

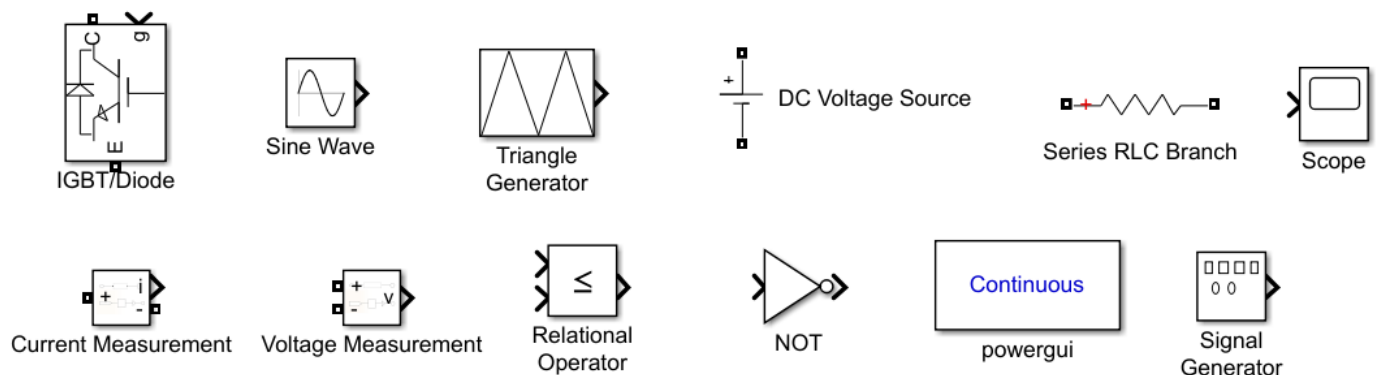


Fig. 93. Bloques de librería Simulink.

Nota: Por practicidad en el uso de los bloques, se puede apoyar del nombre que se indica debajo de cada una de las imágenes y localizarlos mediante la opción Library Browser, librería de búsqueda que presenta Simulink.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Implemente el diagrama que se muestra a continuación:

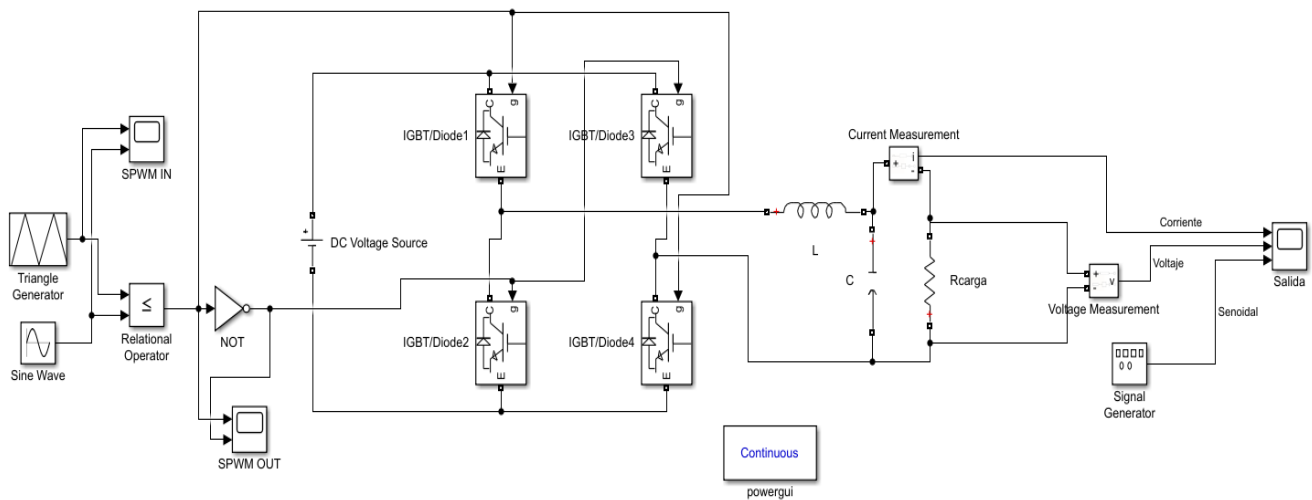


Fig. 94. Diagrama de simulación de un inversor SPWM.

Considere los datos siguientes:

Triangle Generator: Asigne un valor de frecuencia de 1200 [Hz].

Sine Wave: Asigne la ecuación de frecuencia $2 \cdot \pi \cdot 60$ [rad/sec].

DC Voltage Source: Utilice un valor de voltaje 100 [V].

IGBT/Diode: Elimine (deshabilite) la opción *Show measurement port*.

Series RLC - L: Asigne el valor de $15 \cdot 10^{-3}$ [H].

Series RLC - C: Asigne el valor de $150 \cdot 10^{-6}$ [F].

Series RLC - Rcarga: Asigne el valor de 10 [Ω].

Signal Generator: Utilice los siguientes valores: Amplitud de 100, Frecuencia de 60 y Unidades en Hz.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Actividades

1. Representando un ciclo completo de la señal senoidal de 60 [Hz], en la opción *Stop Time* considere el valor de 0.016 [s].
2. A través de la opción *Run* obtenga la solución del diagrama.
 - a) Habilite el bloque *Scope-SPWM IN* posteriormente abra el bloque *Scope-SPWM OUT* y separe las gráficas de este bloque.

¿Qué relación tienen los dos bloques Scope? (Puede investigar el método SPWM bipolar).

- b) Abre el bloque *Scope-Salida* y separe las 3 gráficas.

¿Qué diferencia existe entre las señales de corriente y voltaje a la salida, con respecto a la señal senoidal generada por el bloque *Signal Generator*?

3. Agregue un bloque *Linear Transformer* después del filtro LC y antes del bloque *Rcarga*, así como se muestra en la **Fig. 95**.

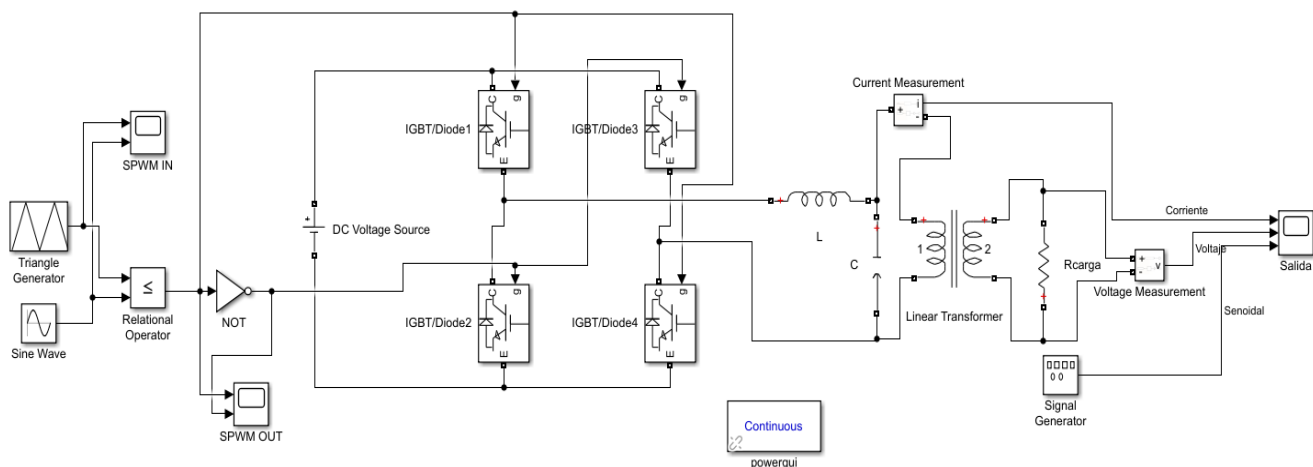


Fig. 95. Diagrama de un inversor con un transformador reductor.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

4. Para el bloque recién agregado asigne los siguientes valores en unidad SI: 15 [kVA], 220 V1, 120 V2 y desmarque (deshabilite) la opción *Three windings transformer*.
5. Cambie el valor del bloque *DC Voltage Source* a 220 [V] y la amplitud del bloque *Signal Generator* de 120.
6. Modifique los valores de los bloques del filtro LC, utilice un valor de $L = 70$ [mH] y un valor de $C = 50$ [μ F].
7. A través de la opción *Run* obtenga la solución del diagrama realizado anteriormente.

¿Qué tipo de transformador es, elevador o reductor? ¿Por qué?

¿Cuáles son las 2 principales diferencias de la entrada y salida al tener este transformador?

¿Qué ventajas tiene usar este transformador?

5. Cuestionario Previo

1. ¿Qué es un inversor?
2. Menciona 3 tipos de clasificación de los inversores solares.
3. ¿Qué es un SFVI?
4. ¿Cuál es la diferencia de un sistema fotovoltaico interconectado a la red y un sistema aislado?
5. ¿Cuál es la principal característica de un sistema fotovoltaico híbrido?
6. ¿Qué otros tipos de fuente de energía podrían trabajar con inversores híbridos?
7. ¿Qué significa BESS?
8. ¿Cuál es la diferencia de una batería de arranque y una de ciclo profundo?
9. Menciona 3 tipos de baterías de ciclo profundo.
10. ¿Cuál es la diferencia entre un controlador de carga solar PWM y un MPPT?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Práctica 4. Sistema fotovoltaico



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

1. Seguridad en la ejecución.

	Peligro o fuente de energía	Riesgo asociado
1	Diferencia de potencial continua	Descarga eléctrica y daño a equipo.
2	Diferencia de potencial alterna	Descarga eléctrica y daño a equipo.
3	Alta temperatura	Quemaduras

2. Objetivos.

- Realizar una interconexión a la red con un inversor y conocer su funcionamiento.
- Comprender el funcionamiento de un sistema aislado de la red, así como sus limitaciones.
- Utilizar un transformador para la interconexión a la red y conocer sus ventajas y desventajas.
- Probar un controlador de carga solar con baterías de litio y conocer su modo de operación.

3. Material y equipo.

- 3 Paneles solares (Instalados en el exterior del Laboratorio de Máquinas Eléctricas).
- 2 Multímetros con medición de voltaje y corriente(mA) en directa y alterna.
- 1 Inversor Huawei SUN2000-(2KTL-6KTL)-L1.
- 1 Módulo de carga resistiva de Lab Volt EMS 8311.
- 1 Módulo volt-amperímetro CD EMS 8412.
- 1 Amperímetro de gancho.
- Sistema 3 focos de 220V.
 - 1 Banco de resistencias con cuchilla eléctrica.
 - 1 Conexión a la red eléctrica (clavija trifásica).
- Juego Cables de conexión (ubicados en un perchero de metal).
 - 1 Módulo de interruptores en CA y CD (ubicado en la mesa del área fotovoltaica).

4. Desarrollo

Nota: Para esta práctica solo se usará la mesa del área fotovoltaica.

Advertencia: ¡Tome sus precauciones de seguridad, en este experimento de laboratorio se manejan voltajes y corrientes que pueden provocar una lesión!



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 1 Interconexión a la red L-L

1. Con un multímetro en su función de voltaje de cd mida en los bornes de salida (Ver **Fig. 96**) de la conexión en serie de los paneles solares ubicados en el techo del Laboratorio de Máquinas Eléctricas (cables gris y negro que salen del lado superior derecho de la mesa del área fotovoltaica) y compruebe que el voltaje medido no sea menor a 95 V.
Nota: Si el valor obtenido está por debajo de 95 V, no es posible realizar la práctica debido a que el inversor presenta un límite de operación.
2. Si el voltaje es mayor a 95 V conecte la carga (3 focos como se muestra en la **Fig. 96**), posteriormente retírelos de sus sockets correspondientes.

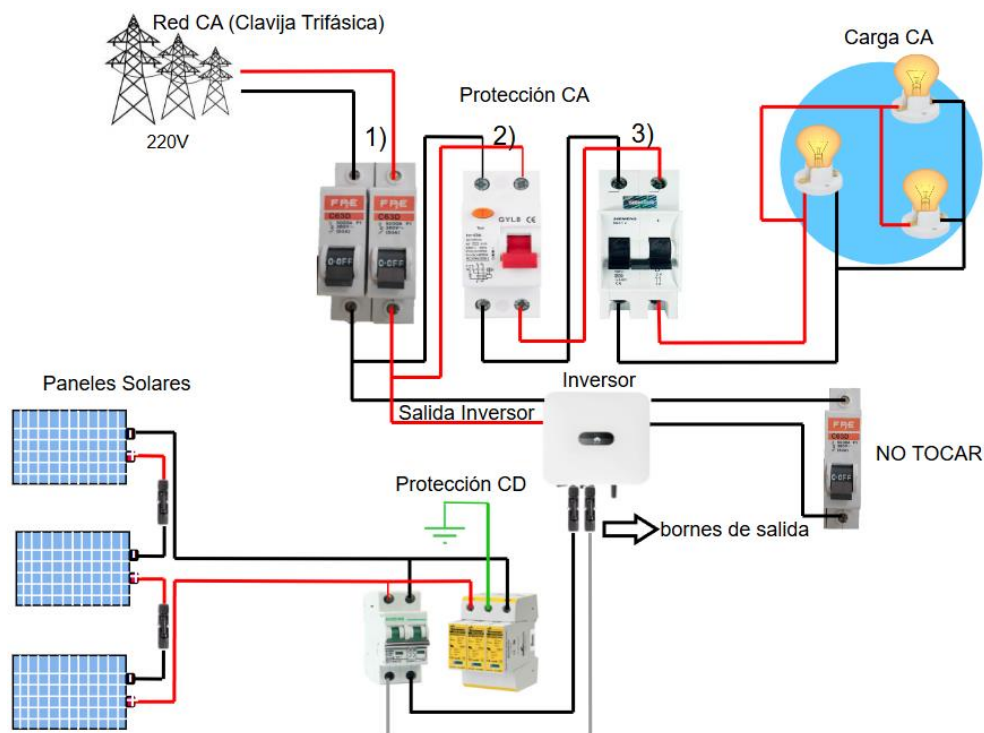


Fig. 96. Diagrama de conexión para la interconexión a la red.

3. Observe que el DC Switch (que está en la parte baja del inversor) este en su posición OFF (en caso contrario colocarlo en OFF). Conecte los cables del paso 1 al inversor (solo en PV1).
Nota: Los cables tienen su conector macho o hembra no hay manera de confundirlos, el macho es el positivo (+) y la hembra el negativo (-).



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

4. Energice la mesa 3 del laboratorio de Máquinas Eléctricas, solicite apoyo a los laboratoristas o al profesor encargado del laboratorio.
5. Conecte la extensión con clavija trifásica al contacto de la mesa 3 (en este caso solo se están energizando dos fases a la salida del inversor) como se muestra en la **Fig. 97**.

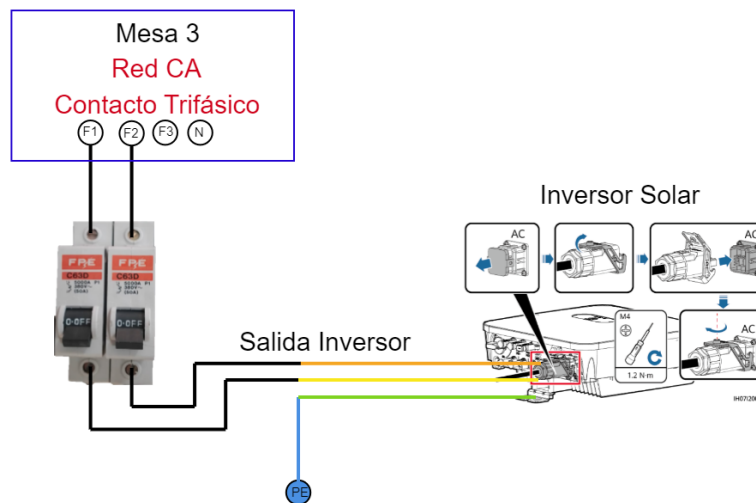


Fig. 97. Conexión del inversor a la Red de CA.

6. Observe que el interruptor de NO TOCAR de la **Fig. 96** este en su posición OFF, después habilite los interruptores de las protecciones “ 1, 2 y 3 ” de CA.
7. Girar el *DC Switch* del inversor a su posición ON.
8. Observe el LED del Inversor, después de 3 minutos deberán prender los primeros dos (de izquierda a derecha) de manera fija, si no es el caso, compruebe el estado del equipo mediante la **Tabla 33**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Tabla 33. Indicadores LED del inversor.

Categoría	Estado		Descripción
Indicador de Funcionamiento LED1 LED2	LED1	LED2	-
	Verde fijo	Verde fijo	El SUN2000 está funcionando en modo ligado a la red.
	Verde intermitente con intervalos largos (encendido 1 s y apagado 1 s)	Apagado	La CC está encendida y la ca apagada.
	Verde intermitente con intervalos largos (encendido 1 s y apagado 1 s)	Verde intermitente con intervalos largos (encendido 1 s y apagado 1 s)	Tanto la CC como la ca están encendidas y el SUN2000 no está transmitiendo energía a la red eléctrica.
	Apagado	Verde intermitente con intervalos largos (encendido 1 s y apagado 1 s)	La CC está apagada y la ca está encendida.
	Apagado	Apagado	Tanto la CC como la ca están apagadas.
	Rojo intermitente con intervalos cortos (encendido 0,2 s y apagado 0,2 s)	-	Se ha activado una alarma relacionada con el entorno de CC, como una alarma que indica tensión de entrada de cadena alta, conexión inversa de cadena o resistencia de aislamiento baja.
	-	Rojo intermitente con intervalos cortos (encendido 0,2 s y apagado 0,2 s)	Se ha activado una alarma relacionada con el entorno de ca, como una alarma que indica subtensión de red, sobretensión de red, sobrefrecuencia de red o subfrecuencia de red.
Rojo fijo	Rojo fijo	Fallo	

Indicador de comunicación	LED3	-
Categoría	Estado	Descripción
 LED3	Verde intermitente con intervalos cortos (encendido 0,2 s y apagado 0,2 s)	Se está estableciendo la comunicación.
	Verde intermitente con intervalos largos (encendido 1 s y apagado 1 s)	El teléfono móvil está conectado al SUN2000.
	Apagado	No hay comunicación.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

9. Una vez escuche el sonido de un relevador o vea los primeros dos leds de izquierda a derecha encendidos sin parpadear, el inversor estará sincronizado a la red.
10. Con el amperímetro de gancho, mide las corrientes de salida del inversor y las corrientes de Red ca y coloque los datos en la **Tabla 34**.
Nota: Puede guiarse de la **Fig. 96** para observar cuales cables vienen de la red y cuales salen del inversor.
11. Coloque un foco en un socket.
12. Usando el amperímetro de gancho, mide los valores de corriente de salida del inversor, la corriente de la Red CA y la corriente en la carga CA (focos), anote los datos en la **Tabla 34**.
13. Repite el paso 11 y 12 para llenar la **Tabla 34**.

Tabla 34. Valores de corriente obtenidos de una interconexión a la red con paneles y un inversor.

Carga ca[A]	Corriente Salida Inversor[A]	Corriente de Red ca[A]	Corriente de Carga ca[A]
Sin carga			
1 foco			
2 focos			
3 focos			

MODO ISLA

¡Precaución!

En esta parte sigue correctamente los pasos de la práctica, debido a que puede dañar el equipo de forma permanente.

14. Baje la palanca del interruptor termomagnético de la **Fig. 96** marcada con “3”).
15. Del sistema de los 3 focos, únicamente quite 2 focos (no las conexiones) y vuelve a subir la palanca del paso 14.
16. Baje la palanca del interruptor termomagnético de la red, ver **Fig. 96** la protección marcada con “1)”. 2 segundos después, sube la palanca del interruptor que tiene la leyenda “**NO TOCAR**”.
Nota: Seguir tal cual el paso, después los 2 primeros leds del inversor deben estar en color verde-amarillo.
17. Con el amperímetro de gancho, mide los valores de corriente de salida del inversor y de la carga ca (focos).



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

18. Coloque otro foco y repite el paso 17 y este paso hasta llenar la **Tabla 35**.

Tabla 35. Valores de corriente obtenidos en un sistema aislado a la red.

Carga ca[A]	Corriente Salida Inversor[A]	Corriente de carga ca[A]
1 foco		
2 focos		
3 focos		

19. Baje el interruptor que tiene la leyenda “NO TOCAR”.

20. Baje las palancas de las protecciones eléctricas de ca en el siguiente orden “3), 2)” de acuerdo con la **Fig. 96**.

21. Gire el DC Switch del inversor en su posición de OFF y desconecte los bornes de salida de los paneles solares del inversor.

Nota: Los que se conectaron en el paso 3.

De la **Tabla 34** ¿Por qué cuando no hay carga conectada, se tienen los mismos valores de corriente de Salida Inversor y en la Red ca?

¿Cuál es la relación que tiene la energía inyectada a la red eléctrica con la energía suministrada a la carga? ¿Qué pasaría si la carga demanda una mayor energía a la producida por los paneles solares?

De la **Tabla 35** ¿Por qué los valores de Corriente Salida Inversor y de la Carga ca son iguales? ¿Existen excedentes?

¿Qué tipos de clasificación tendrá el inversor que se utiliza en esta práctica?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 2 Uso de Transformador y carga resistiva

1. Con un multímetro en su función de voltaje de cd, mide en los bornes de salida de la conexión en serie de los paneles solares ubicados en el techo del laboratorio de Máquinas Eléctricas (cables gris y negro que salen del lado superior derecho, de la mesa del área solar) y comprobar que el voltaje medido no sea menor a 95V.

Nota: Si el valor del voltaje obtenido está por debajo, no se puede realizar la práctica, debido a que el inversor no podrá arrancar.

2. Si el voltaje es mayor a 95V, realice la conexión del Banco de Resistencias con cuchilla eléctrica y del transformador (quite la barra de cobre en el lado de baja tensión), como se muestra en la **Fig. 98**, sube todas las cuchillas (colocar la palanca en el centro), no deje ninguna haciendo contacto.

Nota: Observe que no se usa el interruptor termomagnético de 2 amperes para la realización de esta actividad.

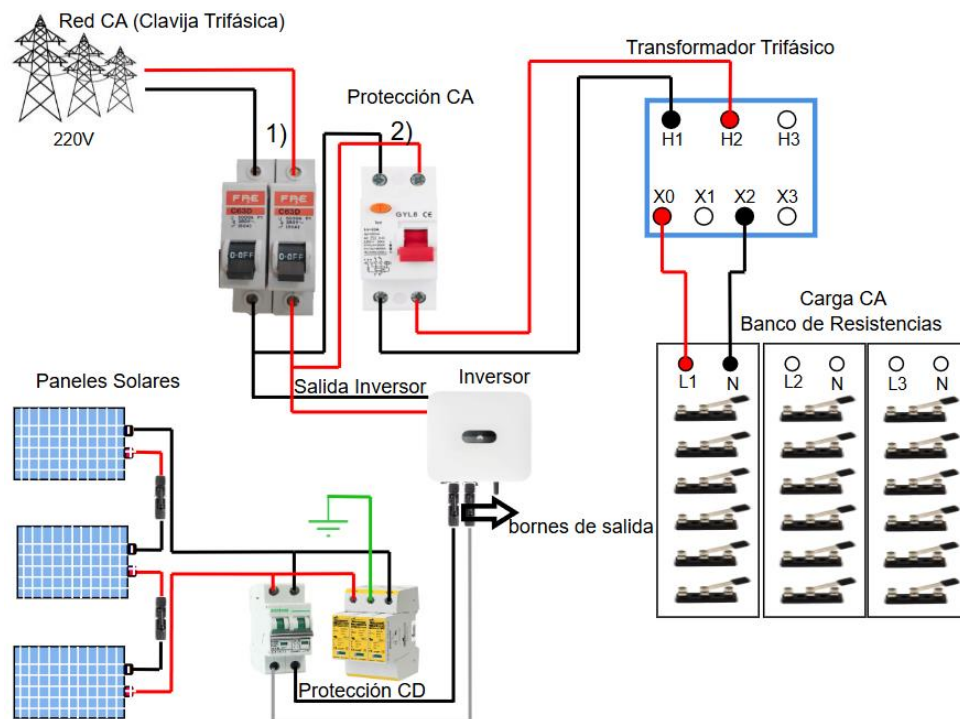


Fig. 98. Diagrama de conexión para la interconexión a la red con un transformador y carga resistiva.

3. Observe que el DC Switch (que está en la parte baja del inversor) este en su posición OFF (en caso contrario colocarlo en OFF). Conecte los cables del paso 1 al inversor (solo en PV1).



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Nota: Los cables tienen su conector macho o hembra no hay manera de confundirlos, el macho es el positivo (+) y la hembra el negativo (-).

4. En dado caso que se desenergizó la Mesa 3 del laboratorio de Máquinas Eléctricas o se desconectó la clavija trifásica de la Red ca, vuelve a energizar y conectar la clavija trifásica, sino es el caso ignore este paso.
5. Sube las palancas de las protecciones de ca de la red, ver la **Fig. 98** las protecciones marcadas con “1) y 2)”.
6. Girar el DC Switch del inversor a su posición ON.
7. Observe los LED del Inversor, deberán prender los primeros dos (de izquierda a derecha) de manera fija.
8. Una vez escuche el sonido de un relevador o vea los primeros dos leds de izquierda a derecha encendidos sin parpadear, el inversor estará sincronizado a la red.
9. Prepare el amperímetro de gancho.
10. Mide las corrientes de Salida del Inversor, las corrientes de la Red ca y la corriente del transformador, coloque los datos en la **Tabla 36**.
Nota: Puede guiarse de la Fig. 98 para observar cuales cables son de la red y cuales salen del inversor.
11. Baje con cuidado y rapidez, la primer cuchilla hacia un lado (izquierdo o derecho) y la siguiente cuchilla hacia el lado contrario.
12. Mide las corrientes de Salida Inversor, Red ca, la corriente del lado primario del transformador y la corriente de la carga (Banco de Resistencias) coloque los datos en la **Tabla 36**.
13. Baje la cuchilla siguiente del lado contrario de la cuchilla anterior, repite el paso 12 y este paso hasta llenar la **Tabla 36**.
14. Finalmente, una cuchilla a la vez, con cuidado y rapidez sube todas las cuchillas del banco de resistencias.
15. Baje las palancas de las protecciones eléctricas de ca en el siguiente orden 2), 1)” de acuerdo con la **Fig. 98**.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

16. Gire el DC Switch del inversor en su posición de OFF y desconecte los bornes de salida de los paneles solares del inversor.
17. Desconecte la extensión con clavija trifásica de la Mesa 3.
18. Desenergizar la Mesa 3 con la ayuda del laboratorista o profesor encargado del Laboratorio de Máquinas Eléctricas.

Tabla 36. Interconexión a la red con un transformador bajo carga.

Carga	Corriente Salida Inversor[A]	Corriente Red ca[A]	Corriente del transformador[A]	Corriente Carga ca[A]
Sin carga				
2 cuchillas 33 Ω				
3 cuchillas 16.7 Ω				
4 cuchillas 11.3 Ω				
5 cuchillas 8.6 Ω				

¿Qué ocurre cuando el transformador opera en vacío (sin carga conectada)?

¿Qué ocurre cuando la carga demanda una mayor energía a la producida por los paneles solares? ¿Qué beneficios tendrá el dueño si la instalación fotovoltaica opera de esta manera?



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Parte 3 Controlador de Carga Solar

1. Realice una conexión mixta con los 4 paneles solares NPA30S-12I ubicados en la mesa del área fotovoltaica, puede guiarse de la **Fig. 99**.
2. Con un multímetro en su función de voltaje de cd, mide con mucha precaución el voltaje de la batería de color azul que se encuentra en la mesa del área solar.
Nota: En el laboratorio hay 4 bancos de baterías, si no encuentra alguna, hable con el laboratorista o encargado de laboratorio.
3. Verifique que la batería tenga un valor mínimo de 23V o un valor máximo de 27.4V, en dado caso que estén por debajo de 23 o arriba de 27.4, use otra batería.
Nota: En caso de que las 4 baterías no cumplan esos límites, pedirle al encargado del laboratorio de Máquinas Eléctricas que le ayude a preparar las baterías.
4. Realice la conexión como se muestra en la **Fig. 99**, use un multímetro en su función de cd, poner especial atención a la polaridad de las conexiones, el cable color rojo es la polaridad positiva y el cable color negro es la polaridad negativa.

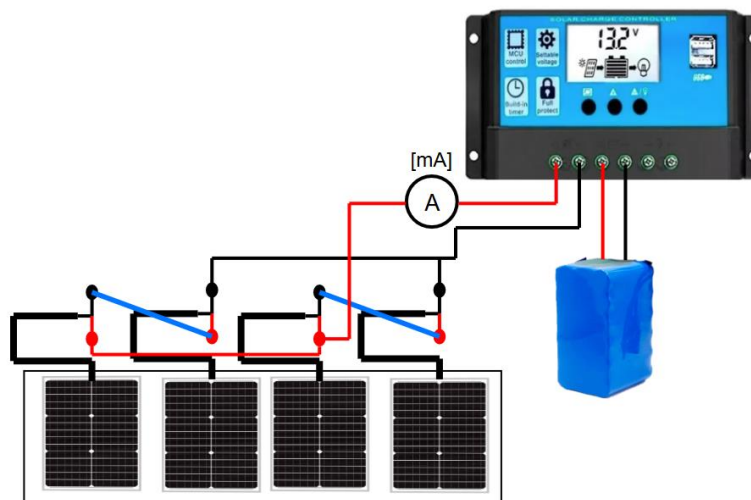


Fig. 99. Diagrama de conexión del Controlador de carga Solar.

5. Coloque una lámpara halógena en medio de los 2 primeros paneles y de la misma manera, la otra lámpara con los otros 2 paneles para que la luz cubra la mayor área. Enciende las lámparas halógenas, debe aparecer en el display del controlador de carga solar el dibujo del panel solar, registre el valor de corriente en la **Tabla 37**.
Nota: Ajuste el dimmer para que la lámpara produzca su mayor luz.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

6. En los contactores del controlador solar, con un multímetro en su función de voltaje de cd, mide el voltaje de los paneles solares, el voltaje de la batería, el voltaje de la carga y registre los datos en la **Tabla 37**.
7. Apague las lámparas halógenas.
8. Conecte el módulo carga resistiva EMS 8311 al controlador y sube todas las palancas como se muestra en la **Fig. 100**.
9. Conecte el módulo volt-amperímetro cd EMS 8412 al módulo de carga resistiva y a la salida de carga del controlador de carga solar (últimos contactores de la derecha) para medir voltaje y corriente en la carga, ver **Fig. 100**.

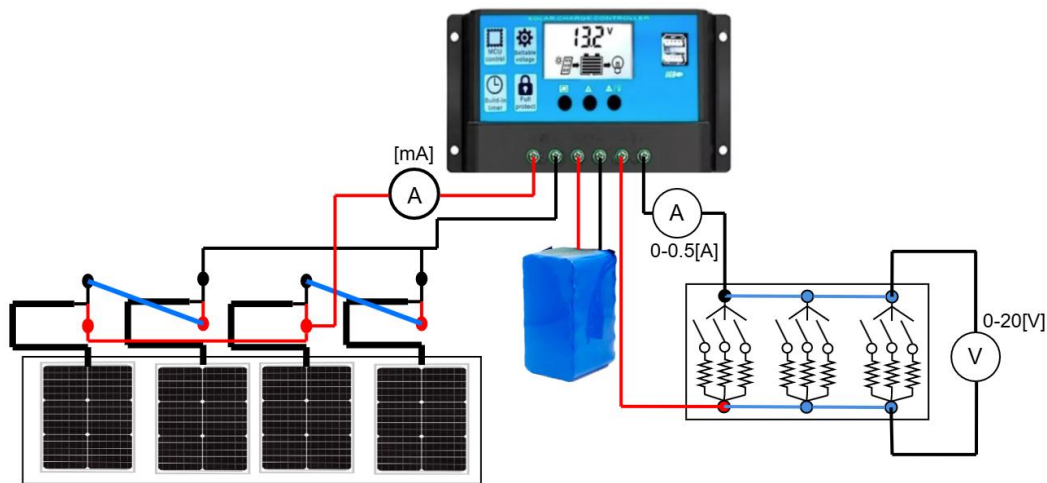


Fig. 100. Controlador de carga Solar con carga resistiva.

10. Enciende el reflector de halógeno y registre los datos del módulo volt-amperímetro cd EMS 8412 y del multímetro que mide la corriente de los paneles en la **Tabla 37**.

Tabla 37. Valores del funcionamiento del controlador PWM.

Carga[Ω]	Corriente paneles[mA]	Voltaje paneles[V]	Voltaje batería[V]	Voltaje carga[V]	Corriente carga[mA]
Sin carga					
57.14					



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

5. Conclusiones



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

Referencias

- [1] S. Saint André, “Caracterización y fabricación de celdas solares basadas en compuestos III-V para aplicaciones espaciales”, Tesis de Licenciatura, Universidad de Buenos Aires, 2017. [En línea].
Disponible: https://hdl.handle.net/20.500.12110/seminario_nFIS000032_SaintAndre
- [2] F. Hernando Briongos, M. V. Rodríguez Cuesta, J. R. Gutiérrez Serrano y M. J. Sáenz Novales. “Electrónica General”. UPV/EHUko OpenCourseWare (OCW) proiektua. [En línea].
Disponible: https://ocw.ehu.eus/file.php/110/electro_gen/teoria/tema1.pdf
- [3] Perpiñán Lamigueiro, O. (2023). Célula Solar [En línea].
Disponible: <https://oscarperpinan.github.io/esf/Celula.pdf>
- [4] Kim S, Hoang VQ, Bark CW. “Tecnologías basadas en silicio para dispositivos fotovoltaicos (PV) flexibles: desde el mecanismo básico hasta las tecnologías de fabricación.” 2021; 11(11):2944. <https://doi.org/10.3390/nano11112944>
- [5] N. M Nieto Arroyo, “Estudio por simulación de los efectos de diseño en celdas solares semiconductoras”, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Baja California, 2018. [En línea]. Disponible:
<https://repositorioinstitucional.uabc.mx/server/api/core/bitstreams/4ece29de-7246-420c-930f-b42c53c81d4d/content>
- [6] M. Sierra Céspedes, C. Vásquez Stanescu y R. Ramírez-Pisco. “Disposición final e impacto ambiental de las celdas fotovoltaicas.” Publicaciones en Ciencias y Tecnología. 14(2): 74-90, 2020, [En línea]. Disponible:
https://www.researchgate.net/publication/352667210_Disposicion_final_e_impacto_ambiental_de_las_celdas_fotovoltaicas_Final_disposal_and_environmental_impact_of_photovoltaic_cells
- [7] Smets, A., Jäger, K., Isabella, O., Swaaij, R. v., Zeman, M. (2016). “Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems.” Reino Unido: Bloomsbury Publishing.
- [8] Panel solar PERLIGHT. <https://paneles-solares.co/wp-content/uploads/2020/03/panel-solar-perlight-60-celdas-270-w.pdf>
- [9] Panel solar Epcor, [En Línea].
Disponible: <https://www.tmsmx.com/panel-solar-de-330-w-epcor/>
- [10] Panel solar CSUN, [En Línea].
Disponible: <https://cdn.ensolar.com/Product/pdf/Crystalline/5a0be2e3aed66.pdf>



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

[11] Panel solar Newpowa, [En Línea].

Disponible: <https://www.newpowa.com/30w-12v-monocrystalline-solar-panel/>

[12] P. Pitchford, J Jones, B. Glenn, “Photovoltaic Fundamentals”. U.S. Department Of Energy, 1995. [En línea]. Disponible: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/16319.pdf>

[13] Perpiñán Lamigueiro, O. (2023). “Radiación Solar”, [En línea]. Disponible: <https://oscarperpinan.github.io/esf/RadiacionSolar.pdf>

[14] H. E. “Dependencia de la temperatura y la irradiancia sobre el módulo fotovoltaico - HelioEsfera”. HelioEsfera. [En línea]. Disponible: <https://www.helioesfera.com/dependencia-de-la-temperatura-y-la-irradiancia-sobre-el-modulo-fotovoltaico/>

[15] C. Honsberg, S. Bowden, “Voltaje de circuito abierto”. PVEducation. [En línea]. Disponible: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/voltaje-de-circuito-abierto>

[16] C. Honsberg, S. Bowden, “Corriente de cortocircuito”. PVEducation. [En línea]. Disponible: <https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/4-operaci%C3%B3n-de-c%C3%A9lula-solar/corriente-de-cortocircuito>

[17] D. Tudor Cotfas, P. A. Cotfas, O. M. Machidon, “Study of Temperature Coefficients for Parameters of Photovoltaic Cells”. International Journal Of Photoenergy, 1-12, 2018. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1155/2018/5945602>

[18] R. Brion, “Aprovechamiento de la Radiación Solar”. Upsin, 2016. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.upsin.edu.mx/Fragmentos/Capitulo2Cap2RosaBrion.pdf>

[19] European Commission. PVGIS. (2022, versión 5.3). [En línea]. Disponible: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

[20] S. Helene Nordahl, “Design of roof PV installation in Oslo”. NTNU, 2012. [En línea]. Disponible: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/257364/566421_FULLTEXT01.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[21] R. Germán Cordero, “Orientación e inclinación de placas solares”, jul. 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>

[22] R. Fernandez, “How to Calculate Solar Panel Tilt Angle?” jun. 2023. [En línea]. Disponible: https://www.ecgsolax.com/blogs/for-beginners/how-to-calculate-solar-panel-tilt-angle?srltid=AfmBOopdgUg1Uxddoblge4OnspsS5cNZIJePwK0oM131Uqy__SsxUXb



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

[23] Volker Quaschnig, “Understanding Renewable Energy Systems” 1ra ed. 2005. [En línea].

Disponible: https://www.cleanenergy.ru/wp-content/uploads/files/knigi/solar_energ/understanding-renewable-energy-systems.pdf

[24] Zhejiang Dongshuo, “Diodo de derivación de la caja de conexiones fotovoltaicas para la protección del panel solar”, 29 jun. 2021. [En Línea].

Disponible: <https://www.dsisolar.com/info/pv-junction-box-s-bypass-diode-for-solar-panel-54221810.html>

[25] V. L. M. Ramírez y A. E. P. Toruño, “Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para el edificio de la FTI de la Universidad Nacional de Ingeniería (Recinto Universitario Pedro Araúz Palacios)”, ago. 2016. [En Línea].

Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/250143931.pdf>

[26] B. H. A. Espinosa-Ramírez, A. Garrido-Hernández, G. García-Domínguez, E. A. Vargas-León, and J. M. A. Castillo-Minjarez, “Efecto de la temperatura en la eficiencia de paneles fotovoltaicos,” PÄDI bol. cient. cienc. básicas ing. ICBI, vol. 11, no. Especial5, pp. 184–190, 2023.

[27] B. Hernández y J. Felipe, “Diseño de planta energética con recursos fotovoltaicos para el área administrativa, alumbrado de área social y aireadores de agua de la Urbanización El Rio”, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2023. [En línea].

Disponible: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/21657/1/T-UCSG-PRE-TEC-IELE-12.pdf>

[28] “Technology -,” Qdsolarinc.com, 22-ene-2020. [En Línea]. Disponible: <https://qdsolarinc.com/technology/>.

[29] Pau, “¿Qué son los controladores de carga PWM y MPPT?”, DIREENERGY, 14-nov-2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.direenergy.net/index.php/blog/cargador-bateria-solar-pwm-mppt/>.

[30] S. J. Chapman, “Máquinas eléctricas”. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 2012. [En línea]. Disponible en:

https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/20762/mod_resource/content/1/Maquinas-electricas-Chapman-5ta-edicion-pdf.pdf

[31] B. Hu, “The difference between AC and DC circuit breaker”, LinkedIn.com, 02-dic-2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/difference-between-ac-dc-circuit-breaker-bindy-hu/>.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

[32] “Protección de las instalaciones de baja tensión”, Uco.es. [En línea]. Disponible en: <https://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>.

[33] P. Rodríguez, “Interruptor Termomagnético: Funcionamiento y aplicaciones”, Aprende Electricidad, 26-feb-2024. [En línea]. Disponible en: <https://electricidad-basica.com/dispositivos-electricos/interruptor-termomagnetico/>.

[34] M. Kāns, “Circuit breakers comparison: Guide to MCB, RCCB, and RCBO differences”, Leading Industrial Automation Solutions in Sensors | ZTF Lāsmā, 19-mar-2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.lasma.eu/en/news/circuit-breakers-comparison-guide-to-mcb-rccb-and-rcbo-differences>

[35] EATON, “Fundamentos acerca de la protección contra sobrecorriente”, Euroelectrica, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://euroelectrica.com.mx/wp-content/uploads/2019/04/Fuseolog%C3%ADa-Fundamentos-de-la-protecci%C3%B3n-contra-sobrecorriente.pdf>

[36] R. Renogy, “How to properly fuse your solar system”, Renogy United States. [En línea]. Disponible en: <https://www.renogy.com/blog/how-to-fuse-your-solar-system/>.

[37] “Interruptores Diferenciales - Funcionamiento y Características”, circuito electrico.com, 23-jun-2024. [En línea]. Disponible en: <https://circuito electrico.com/elementos-proteccion-electrica/interruptor-diferencial/>.

[38] Finder, “Guía para el uso de los protectores contra sobretensiones”, Findernet.com, 2013. [En línea]. Disponible en: https://cdn.findernet.com/app/uploads/2020/10/02142151/Surge_protection_ES.pdf.

[39] Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW. (2008, ago.). Lapem. <https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/f/G0100-04.pdf>

[40] G. Rojas, “Paneles solares inversores fotovoltaicos”, sep. 2015. [En Línea]. Disponible: <https://www.gedisa.com.ve/boletin/pdf/2015/Boletin%20t%C3%A9cnico%2024%20Paneles%20solares%20Inversores.pdf>

[41] “IMAGO,” Imagosoluciones.com. [En línea]. Disponible: https://www.imagosoluciones.com/Servicios/Energia_solar_fotovoltaica.html.

[42] EEU, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica”, Mheducation.es. [En línea]. Disponible: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>.

[43] E. Ingenieros, “Tipos de sistemas fotovoltaicos,” LinkedIn.com, 15-jun-2022. [En línea]. Disponible: <https://www.linkedin.com/pulse/tipos-de-sistemas-fotovoltaicos-eycingenieros/>.



Manual de prácticas Paneles Solares

División de Ingeniería Eléctrica

Departamento de Energía Eléctrica

La impresión de este documento es una copia no controlada

[44] emmi.mx, “Conoce qué son los BESS y las ventajas que ofrecen”, sep. 2024. [En línea]. Disponible: <https://emmi.mx/sistema-de-almacenamiento-de-energia-de-baterias-que-es-y-cuales-son-sus-ventajas>

[45] I. Power, “IEEE guide on transformers for application in distributed photovoltaic (DPV) power generation systems”, Digitaloceanspaces.com. [En línea]. Disponible en: <https://nyc3.digitaloceanspaces.com/electroenergyservidor/SESSION%2013/IEEE%20C57.159%20PV%20transformers.pdf>.

[46] “Batería de arranque vs batería de ciclo profundo”, cceea.mx. [En línea]. Disponible en: <https://cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/bateria-de-arranque-vs-bateria-de-ciclo-profundo>.

[47] K. Gubangxa, “Solar+Storage: Battery types for solar systems”, Elum, 16-oct-2023. [En línea]. Disponible en: <https://elum-energy.com/blog/solarstorage-battery-types-for-solar-systems/>.

[48] Meelis, “Learn all about solar batteries and their types”, Roofit.Solar, 08-nov-2022. [En línea]. Disponible en: <https://roofit.solar/everything-you-need-to-know-about-solar-batteries/>

[49] M. S. Bordón, “Estudio y análisis de un regulador de carga de baterías”, 1 mar. 2010. [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/c23c8c64-f1c6-4197-a9f1-6af57491e711>

[50] Prosumidores, “Reguladores, inversores y baterías”, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/12/M%C3%B3dulo-4-Inversores-reguladores-bater%C3%ADas.pdf>

MathWorks. Matlab - Simulink. (1984). MathWorks. [En línea]. Disponible: <https://la.mathworks.com/products/simulink.html>

CONOCER, “Instalación de sistemas fotovoltaicos en residencia, comercio e industria”, sep. 2017. [En línea]. Disponible: https://www.conocer.gob.mx/contenido/publicaciones_dof/2017/EC0586.01.pdf