



# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y  
LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS  
DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

*INFORME TÉCNICO PREVIA A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD*

**AUTORES:**

*Lauro Zenón Cuenca Loaiza  
Luis Eduardo Riofrío Martínez*

**DIRECTOR :**

*Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc*

**LOJA - ECUADOR**

**2013**

# **CERTIFICACIÓN**

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc

**DOCENTE DEL ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA; Y DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.**

## **CERTIFICA:**

Que el trabajo de investigación titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**”, desarrollado por los señores Luis Eduardo Riofrío Martínez y Lauro Zenón Cuenca Loaiza, previo a optar el grado de Tecnólogo en Electricidad ha sido realizado bajo mi dirección, el mismo que cumple con los requisitos de grado exigidos en las normas de graduación, por lo que autorizo su presentación ante el tribunal de grado.

Loja, Julio del 2013



Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc

**DIRECTOR DEL INFORME TÉCNICO.**

# AUTORÍA

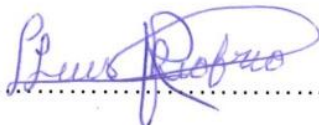
Nosotros Lauro Zenón Cuenca Loaiza y Luis Eduardo Riofrío Martínez, declaramos ser autores del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes y jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Autores: Lauro Zenón Cuenca Loaiza

Luis Eduardo Riofrío Martínez

Firmas:  .....

 .....

Cédulas: 1104017718

1104016058

Fecha: 18 de Julio del 2013

Fecha: 18 de Julio del 2013

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Lauro Zenón Cuenca Loaiza y Luis Eduardo Riofrio Martínez, declaramos ser autores de la tesis titulada: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”** como requisito para optar al grado de: **TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD**; autorizamos al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los 18 días del mes de Julio del dos mil trece, firman los autores.

Firmas: .....		.....	
Autores: Lauro Zenón Cuenca Loaiza		Luis Eduardo Riofrio Martínez	
Cédulas: 1104017718		1104016058	
Dirección: Catamayo- Provincia de Loja		Catamayo- Provincia de Loja	
Correo Electrónico: <a href="mailto:flacoolauro@yahoo.com">flacoolauro@yahoo.com</a>		<a href="mailto:luisriof@hotmail.com">luisriof@hotmail.com</a>	
Teléfono: 0993282945		0993260360	

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

Director de Tesis : Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg.Sc

Tribunal de Grado: Ing. Ramiro Marcelo Borrero Espinosa

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg.Sc

Ing. Edwin Bladimir Paccha Herrera, Mg.Sc

# **DEDICATORIA**

Quiero dedicar el presente trabajo con todo mi cariño a mis Padres y demás familiares, por todo su apoyo y por acompañamiento constante en esta etapa de mi formación académica.

Lauro Zenón Cuenca Loaiza

El presente trabajo técnico es el logro más importante alcanzado luego de culminar mis estudios, una meta soñada en esta etapa de mi vida, doy gracias a Dios y lo dedico en especial a mis Padres queridos por toda su vida de sacrificio y su apoyo incondicional. A mis hermanos, hermanas, abuelos y abuelas, por brindarme ese cariño y afecto.

Luis Eduardo Riofrio Martínez

# **AGRADECIMIENTO**

Presentamos nuestro agradecimiento imperecedero a la Universidad Nacional de Loja y en especial a los Docentes de la Carrera de Tecnología en Electricidad, quienes formaron parte en el desarrollo de nuestra formación profesional.

Así mismo nuestro agradecimiento muy especial al Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, por su gran apoyo brindado durante la ejecución del presente trabajo investigativo y a todas las personas que han colaborado para culminar la carrera.

Lauro Zenón Cuenca Loaiza  
Martínez

Luis Eduardo Riofrio

**LOS AUTORES**



# RESUMEN

En el presente trabajo, se construyó un banco didáctico o llamado también entrenador modular de energía solar fotovoltaica, a escala de laboratorio, está diseñado para abordar los principales parámetros que gobiernan la conversión directa de radiación solar.

Al realizar las prácticas se observó un normal funcionamiento de todos sus elementos y componentes.

Es importante indicar que la posición geográfica del Ecuador simplifica la instalación de sistemas solares fotovoltaicos, ya que elimina la necesidad de determinar parámetros básicos como es la declinación del sol en el sitio en donde se ubica este sistema, debido a que el sol por su recorrido en la bóveda celeste permite el aprovechamiento de este recurso, durante la mayoría de días en el año; así mismo, permite que los paneles fotovoltaicos sean instalados de manera fija a una inclinación de  $10^{\text{a}}$  y  $15^{\text{a}}$ , evitando así los sistemas de seguimiento u orientación de los paneles con respecto al sol.

Además, se determinó la curva  $I - V$  de los paneles fotovoltaicos, que es una de las características más importantes de éstos, por estar directamente relacionados con la radiación solar.

El banco didáctico que reposa en el Laboratorio Eléctrico del AEIRNNR de la UNL, servirá para que los estudiantes realicen prácticas en el tablero didáctico, convirtiendo la energía solar en energía eléctrica que bien se la podría utilizar en viviendas, así como en lugares en donde no exista energía eléctrica.

Se debe manifestar que la mayoría de las instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos, es necesario la instalación de un inversor, por ser un elemento que permite la operación de artefactos eléctricos, que están diseñados para funcionar con corriente eléctrica alterna.

# **ABSTRACT**

This practical work has as main goal, the construction of a modular bench coach training or Photovoltaic Solar Energy, laboratory scale, designed to study the main parameters governing the direct conversion of radiation from the sun into electricity.

The bank is based teaching different application modules and photovoltaic solar panels mounted on independent mobile structures.

It is specially designed for the theoretical and practical electrical installations with solar energy, the typical configurations used in photovoltaic and operation of the different elements involved in the conversion.

Energy from solar radiation can be regulated for DC, to charge a battery, studying parameters such as the level of output load current of the solar module, battery voltage and the current drawn by the load. It is also possible alternating current AC practices as it has an inverter module in this sense can be studied parameters such as voltage and current consumed by the AC loads.



# ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO.	PÁGINAS
PORTADA.	i
CERTIFICACIÓN.	ii
AUTORÍA.	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
1. TEMA	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD	5
3.1 BREVE INTRODUCCIÓN EN LA TÉCNICA DE CORRIENTE CONTINUA	8
3.1.1 CIRCUITO DE LA CORRIENTE	8
3.2 FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA SOLAR	11
3.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA CELDA SOLAR	13
3.4 MÓDULO PV	19
3.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	21
4. MATERIALES UTILIZADAS	25
5. PROCESO METODOLÓGICO	28
6. RESULTADOS	30
PRÁCTICA # 1 Alimentación de una Carga en DC, con Sistema Fotovoltaico.	31
PRÁCTICA # 2 Alimentación de una Carga en AC, con Sistema Fotovoltaico.	39
7. CONCLUSIONES.	47
8. RECOMENDACIONES.	48
9. BIBLIOGRAFÍA.	49

<b>10. ANEXOS</b>		51
ESQUEMA #1	Esquema de Conexión general de los Componentes del Banco Didáctico de Energía Solar Fotovoltaico.	52
ESQUEMA #2	Esquema de Conexión Ilustrativo de los Componentes del Banco Didáctico de Energía Solar Fotovoltaico.	53
ESQUEMA #3	Esquema de Conexión sin Cargas.	54
ESQUEMA #4	Especificaciones Técnicas Panel Fotovoltaico.	55
ESQUEMA #5	Especificaciones Técnicas Controlador de Carga.	57
ESQUEMA #6	Especificaciones Técnicas Inversor Semi Senoidal.	59
ESQUEMA #7	Especificaciones Técnicas de Piranómetro	60
ESQUEMA #8	Banco Didáctico de Energía Solar Fotovoltaico	61

# **1. TEMA:**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA  
PRÁCTICAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

## **2. INTRODUCCIÓN.**

La energía eléctrica no está presente en la naturaleza como fuente primaria de energía y en consecuencia, solo se puede disponer de ella obteniéndola por conversión de alguna otra forma de energía.

En la actualidad la principal forma de obtener la electricidad es mediante el uso de grandes centrales termoeléctricas en las que la energía térmica liberada por una fuente de energía primaria se transforma en electricidad a través de un proceso que exige el uso de turbinas y alternadores. Esta es la etapa final de conversión de energía mecánica en energía eléctrica. Otras energías, como la atómica, también pueden traer consecuencias catastróficas para los países. Desde la gran contaminación que provocan sus desechos hasta los hechos de gran repercusión social como lo ocurrido en Chernovil, accidente que aun plasma sus huellas en la población de esa ciudad.

El uso de energía hidráulica a su vez puede provocar grandes afectaciones en los bosques, ya que para la instalación de las centrales hidroeléctricas se talan una gran cantidad de árboles así como en ocasiones es necesario desviar el curso de ríos, situaciones que alteran el ecosistema del lugar.

Durante los últimos años debido al incremento del costo de los combustibles fósiles y los problemas ambientales derivados de su explotación, así como de lo referente a las otras energías se está asistiendo a un renacer de lo referido a la valoración de las energías renovables. La contaminación de los combustibles fósiles produce gases que deterioran la capa de ozono, provocando un mayor calentamiento de la tierra que se conoce como efecto invernadero. Este hecho

ha generado un interés reciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de fuentes de energía renovable alternativa, que aunque aún presentan problemas de rentabilidad tienen la ventaja de renovarse y reducir en gran medida la contaminación ambiental actual provocada por el uso de energía fósil.

Las energías renovables son inagotables, limpias y se pueden utilizar en forma descentralizada ya que se pueden aprovechar en el mismo lugar en que se producen. El uso de los recursos renovables está directamente relacionado con el desarrollo sostenible. Desarrollo sostenible no significa el crecimiento sostenido del producto interno bruto de una economía determinada; por el contrario, está íntimamente ligado con el medio ambiente y significa que cada día existan mejores condiciones en la naturaleza para seguir dando vida, y ser ésta, a su vez, más feliz.

El aprovechamiento por el hombre de las fuentes de energía renovable, entre ellas la energía solar, eólica e hidráulica, es muy antiguo; desde muchos siglos antes de nuestra era ya se utilizaban y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la “revolución industrial”, en la que, debido al bajo precio de petróleo, fueron abandonadas.

El presente trabajo práctico tiene como finalidad presentar una metodología de diseño, cálculo e implementación de un banco didáctico de generación eléctrica con un sistema solar fotovoltaico. Para lo cual nos hemos basado en los principios fundamentales de la conversión de la energía solar en energía eléctrica, radiación solar incidente, circuito de conversión y almacenamiento de

energía, equipos transformadores de energía luminosa en energía eléctrica, resistencia de conductores eléctricos, diseños eléctricos, entre otros.

El sistema consiste en que de acuerdo a los cálculos obtenidos se pueda seleccionar y acoplar cada uno de los componentes del sistema solar fotovoltaico para poder obtener un rendimiento óptimo y poder suministrar de energía eléctrica sostenible.

### **3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD.**

El banco didáctico de prácticas de energía solar fotovoltaica, se constituye en una equipo del laboratorio de energías renovables y eficiencia energética, para el estudio teórico-práctico de sistemas autónomos de energía solar fotovoltaica.

El banco consta de una estructura móvil que permite ser desplazada a conveniencia para las sesiones prácticas, para así permitir al panel fotovoltaico recibir radiación solar.

El panel fotovoltaico, puede ser inclinado a través de un rango de 0° a 90°; la célula (sensor de radiación) calibrada utilizada para medir la radiación solar, están por un lado, y todos los componentes de una instalación fotovoltaica básica usados para proporcionar 12 V de corriente directa y 120 V de corriente alterna se encuentran en el otro lado.

#### **PRÁCTICAS QUE SE PUEDEN REALIZAR:**

- Identificación de todos los componentes del banco y la forma en que están relacionados con su funcionamiento.
- Medición de la radiación solar.
- Medición de los parámetros de voltaje y potencia del panel fotovoltaico.
- Programación del regulador de carga.
- Análisis de la instalación del banco.
- Alimentación de corriente directa.
- Alimentación de corriente alterna.



El banco didáctico se constituye en un elemento de apoyo a la docencia, ya que con este se puede complementar la cátedra de energías alternativas, que se imparte en la carrera de Ingeniería Electromecánica.

La estructura de los componentes del banco didáctico será la que se presenta en la figura 1.

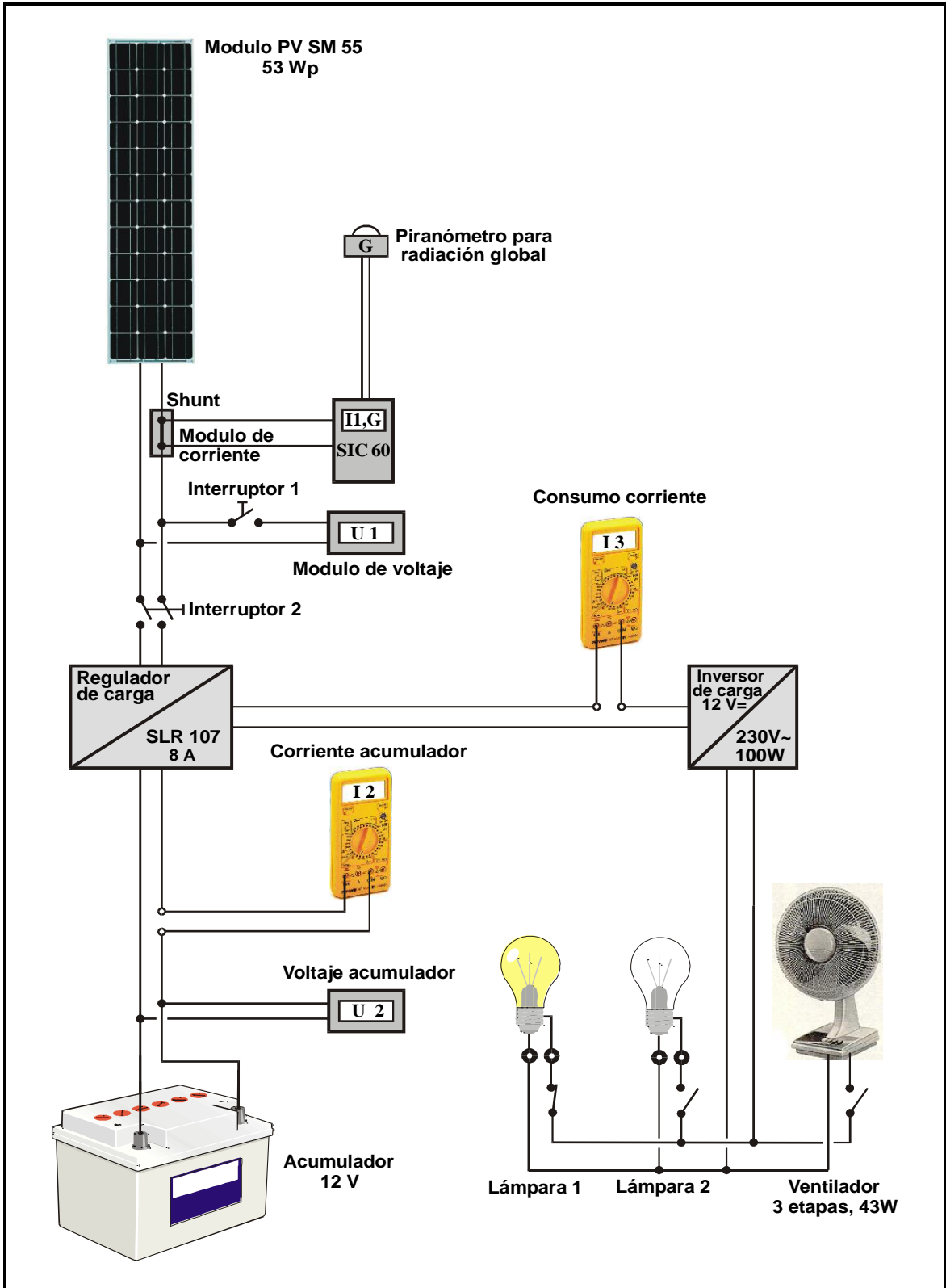


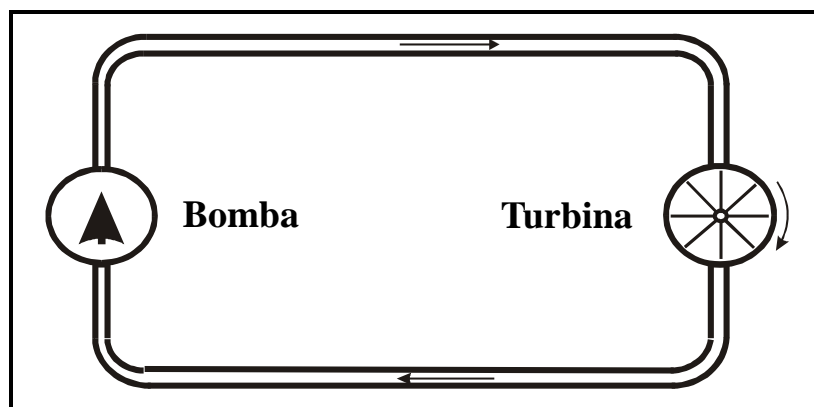
Fig.1 Esquema de conexión de dispositivos del banco

La técnica fotovoltaica trata la transformación directa de la luz del sol en corriente eléctrica. Al contrario de la corriente en un enchufe, aparecen en la técnica fotovoltaica algunos problemas de acoplamiento. Para entender esto, se hace necesario primeramente familiarizarse con un circuito eléctrico y con los conceptos eléctricos como corriente, voltaje, potencia y resistencia.

### **3.1 BREVE INTRODUCCIÓN EN LA TÉCNICA DE CORRIENTE CONTINUA**

#### **3.1.1 CIRCUITO DE LA CORRIENTE**

El circuito de la corriente se puede comparar, haciendo una analogía con un circuito de circulación de agua (figura 2)



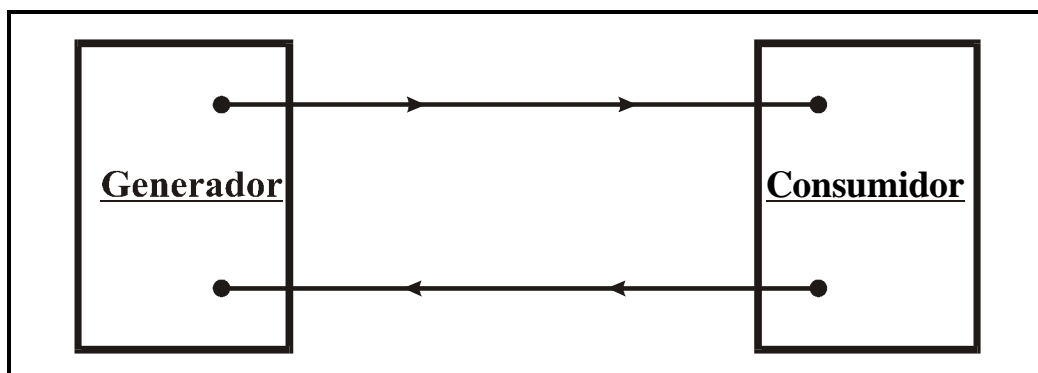
**Fig. 2 Circuito de Circulación de Agua**

De un lado se encuentra la bomba, la que impulsa el agua a través de una tubería hacia la turbina. Desde la turbina fluye el agua por una segunda cañería

de regreso a la bomba. Se tiene entonces un circuito cerrado. La bomba se encarga en este caso de impulsar y mover el agua por la cañería. La turbina representa un consumidor que rota, accionado por la diferencia de presión pudiendo desarrollar trabajo.

De forma análoga se compone un circuito eléctrico de corriente de un generador (impulso), un consumidor y una red de conexión de ida y otra de vuelta. En vez de fluir agua, fluye corriente eléctrica por el sistema, cargas eléctricas. Los transportadores de esta carga se denominan electrones – pequeñas partículas que forman parte de todos los átomos. La corriente eléctrica sale de un generador (por ejemplo una batería) y fluye desde el polo cargado negativamente (polo -) hacia el polo positivo (polo +). La intensidad de la corriente eléctrica depende del número de electrones existentes, los que se desplazan por unidad de tiempo por los conductores.

La intensidad eléctrica de corriente es una cantidad física y se abrevia con la letra  $I$ . La unidad de intensidad eléctrica se denomina Ampere (A).



**Fig. 3 Circuito Eléctrico de Corriente**

Para que efectivamente fluyan los electrones, se requiere al igual que en el circuito de circulación de agua, una fuerza impulsora, una diferencia de presión. Los electrones están cargados negativamente y son atraídos por el polo positivo del generador. Este potencial se logra a través de la tensión eléctrica. La sigla que representa el voltaje eléctrico es generalmente la U. La unidad del voltaje es el Volt (V).

Al igual que en el circuito de circulación de agua, se requiere de un consumidor para exponerlo al flujo de corriente y obtener así un trabajo. Un consumidor en el área eléctrica se caracteriza por su resistencia al flujo de la corriente en sentido contrario. Se habla también de una resistencia eléctrica. La resistencia se representa por la letra R y su unidad de medición es el OHM ( $\Omega$ ).

En un circuito eléctrico cerrado fluye corriente eléctrica por la resistencia, y entre los polos conectores de la resistencia se induce un potencial eléctrico. Cuanto mayor es la resistencia, tanto mayor es la diferencia de potencial en esa resistencia y tanto menor es la corriente que fluye por la resistencia. La corriente, voltaje y resistencia se relacionan entre sí. La resistencia eléctrica está previamente de terminada por la relación:

$$\mathbf{Resistencia} = \frac{\mathbf{Potencial}}{\mathbf{Corriente}} \quad \mathbf{obien} \quad \mathbf{R} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{I}}$$

Se deduce que la corriente eléctrica en la resistencia cede *potencia eléctrica* (por ejemplo hacer iluminar un filamento de una ampolla). La potencia, al igual que la resistencia eléctrica, es dependiente del potencial y de la corriente.

La potencia se abrevia con la letra P y se mide en unidades *Watt* (W). La relación de la potencia eléctrica es:

$$\text{Potencia} = \text{Potencial} * \text{Corriente} \quad \text{obien} \quad P = U * I$$

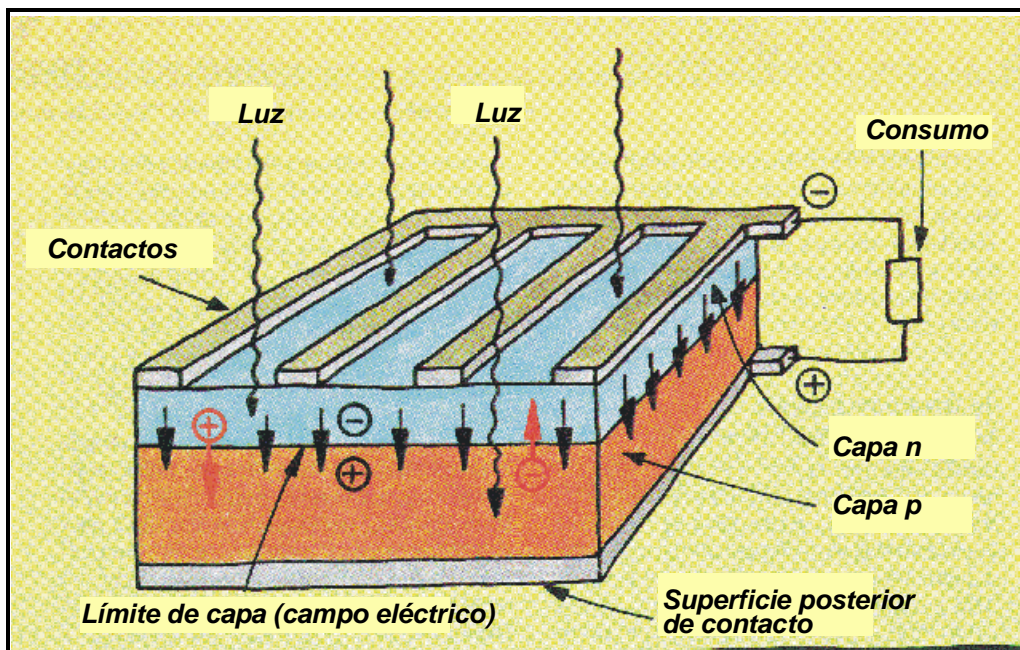
Se puede deducir, que la diferencia de potencial y la corriente por sí solas no son responsables de la potencia eléctrica, sino que ambas juntas, y de forma más exacta el producto de ambas. Si la corriente es cero, entonces el producto también es cero, y no se desarrolla potencia. En este caso se trata de un circuito abierto – se habla también de operación en vacío-. Lo mismo ocurre cuando la diferencia de potencial es igual a cero. Esto es entonces un corto circuito.

### **3.2 FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA SOLAR**

La celda solar es una gran superficie semiconductor. Para la generación de electricidad fotovoltaica se adecúa, para la aplicación, el semiconductor de Silicio. El silicio (en forma natural) después del oxígeno es el segundo elemento más presente en la superficie de la tierra y por ello en cantidad casi ilimitada. La denominación de semiconductor del silicio se debe a que sus propiedades eléctricas se encuentran entre las de un metal (buen conductor) y de un aislante (casi no conducen). A bajas temperaturas el silicio se comporta como

un aislante; bajo la influencia de la luz o aumento de la temperatura aumentan sus propiedades para la conducción como consecuencia de la liberación de electrones.

Para acrecentar las propiedades conductoras se dopa el silicio con átomos externos (fósforo, boro). Como consecuencia de esta dopación (dopación 'n' y 'p') se generan un polo negativo (n, electrones) y otro positivo (p, huecos), con lo que se logra aumentar las propiedades de conducción en más de un 10%. Cuando conectamos, en una celda solar, una capa de silicio n con una p (ver figura 4) se genera en el puente p-n, un campo eléctrico que separa los portadores de carga y crea entre las capas n y p una diferencia de potencial.



**Fig. 4 Esquema y Principio de Función de una Celda Solar**



Con ello se explica el principio de funcionamiento de una celda solar: En las partes conductoras n y p de la celda solar, bajo la acción de la luz se liberan portadores de carga negativos y positivos, los que se separan en el puente-pn como consecuencia del campo eléctrico. Por ello en la capa n se genera un exceso y en la capa p un déficit de electrones respectivamente. La diferencia de carga se puede aprovechar utilizando los contactos eléctricos metálicos de la parte superior e inferior de la celda, y se obtiene como corriente continua. Este “potencial fotovoltaico” alcanza en circuito abierto y bajo un sol de medio día aproximadamente 0,5 Volt.

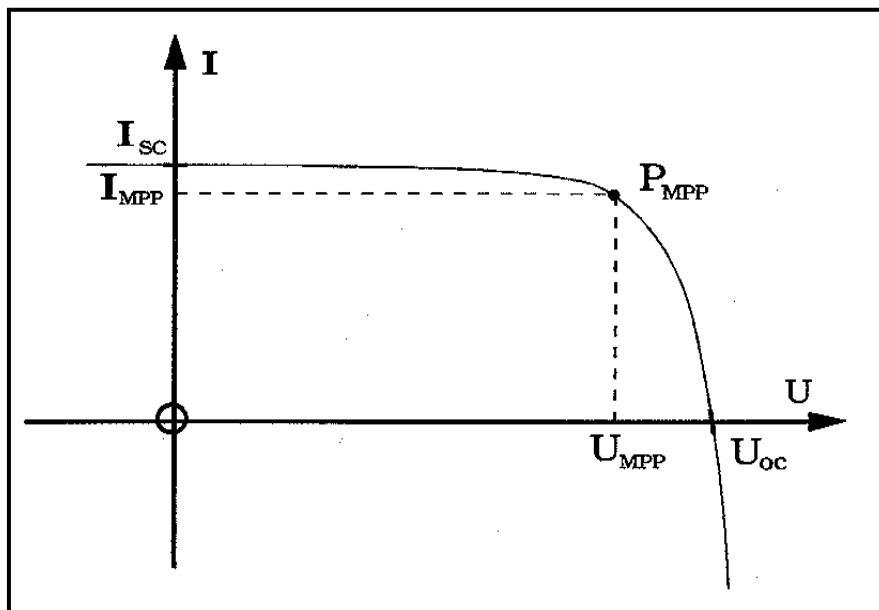
### **3.3 CURVA CARACTERÍSTICA DE LA CELDA SOLAR**

Midiendo en una celda solar la corriente desarrollada bajo un voltaje determinado, y dibujando estos valores en una gráfica, se obtiene la denominada “curva característica corriente-voltaje” de una celda solar. Un ejemplo de una curva característica se presenta en la figura 5.

Cuando los contactos de la celda solar están abiertos, o sea no conectados, se tiene un circuito abierto: no puede circular corriente ( $I = 0$  [A]) y el voltaje en los contactos alcanza el valor máximo. Este voltaje se denomina *Voltaje de circuito abierto*  $U_{OC}$  (el subíndice OC representa la abreviación de Open Circuit: circuito abierto). En la curva característica de la celda solar, este punto es el de intersección con el eje-x del sistema coordenado, entonces el valor para I es  $I = 0$  A. En este punto la celda solar no puede desarrollar potencia, esto es:

$$P = U \cdot I = U_{OC} \cdot 0 = 0 \text{ W}$$

Al contrario, cuando los contactos de la celda solar están conectados sin incluir una carga entre los polos, se obtiene un corto circuito. Debido a que no hay una resistencia en el circuito eléctrico, no se puede generar por consiguiente una diferencia de potencial ( $U = 0 \text{ V}$ ) y la corriente desarrollada es máxima. Esta corriente se denomina *Corriente de corto circuito*  $I_{SC}$  (el subíndice SC representa la abreviación para Short Circuit: corto circuito). En la curva característica de la celda solar este es el punto de intersección con el eje y del sistema coordenado, esto es el valor para  $U = 0 \text{ V}$ . También en este punto la celda solar no puede desarrollar potencia, debido a que no hay un consumidor (una resistencia) conectado al circuito de corriente, esto significa:

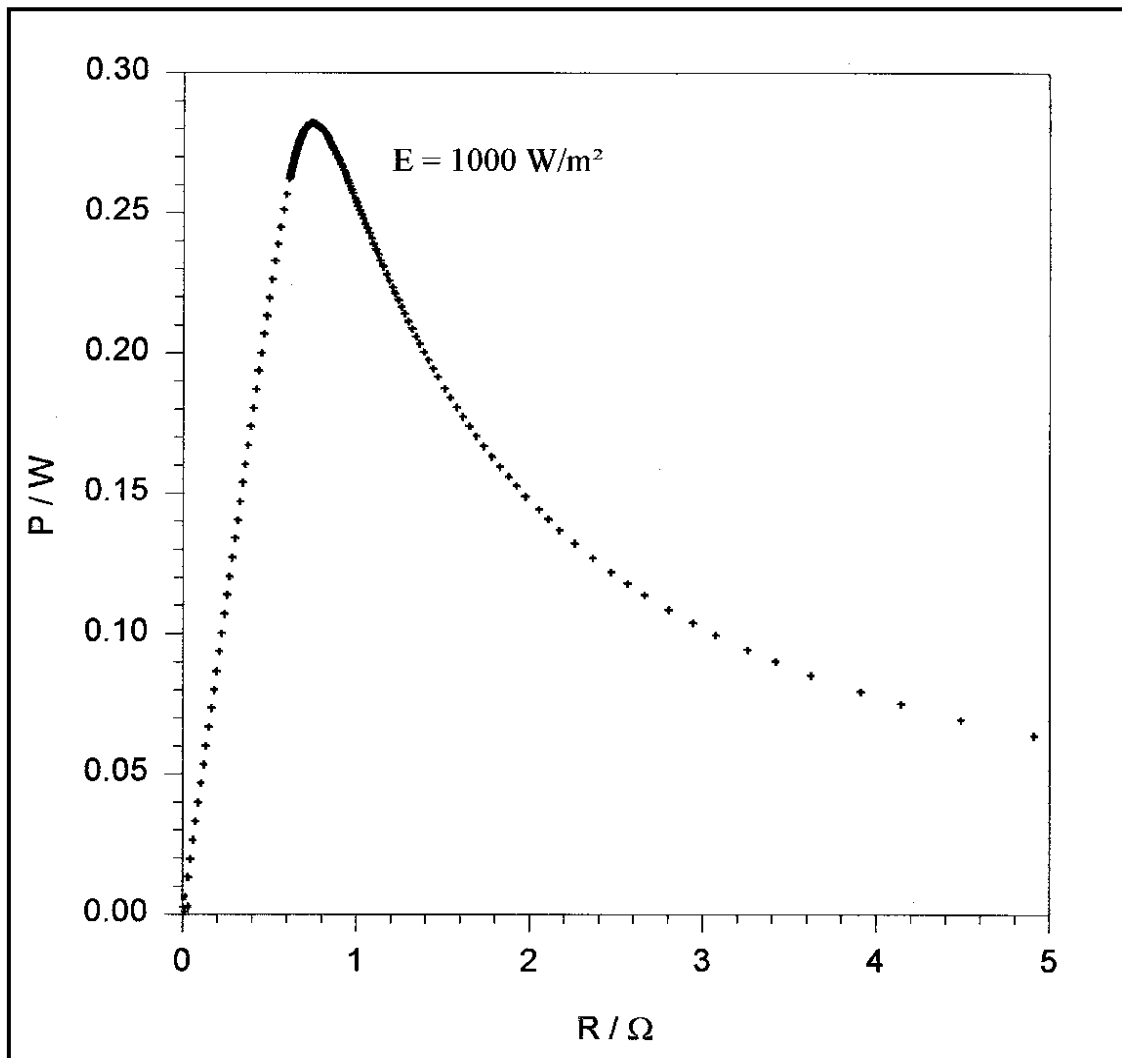


**Fig. 5 Curva Característica I -U de una Celda Solar**

En todos los puntos de la curva de la celda solar que se encuentran entre la corriente de corto circuito y de circuito abierto, se encuentra una resistencia eléctrica conectada al circuito (o sea un consumidor). Cuanto más a la derecha

se encuentren los puntos, tanto mayor es la resistencia eléctrica en el circuito. Por eso si utilizamos una resistencia variable en el circuito, se pueden obtener todos los puntos de la curva característica, en el que variamos el valor de la resistencia desde  $R=0$  (corto circuito) hasta  $R = \infty$  (circuito abierto).

Si se representan gráficamente las distintas potencias en función de la resistencia, se obtiene una gráfica de la siguiente forma (figura 6):

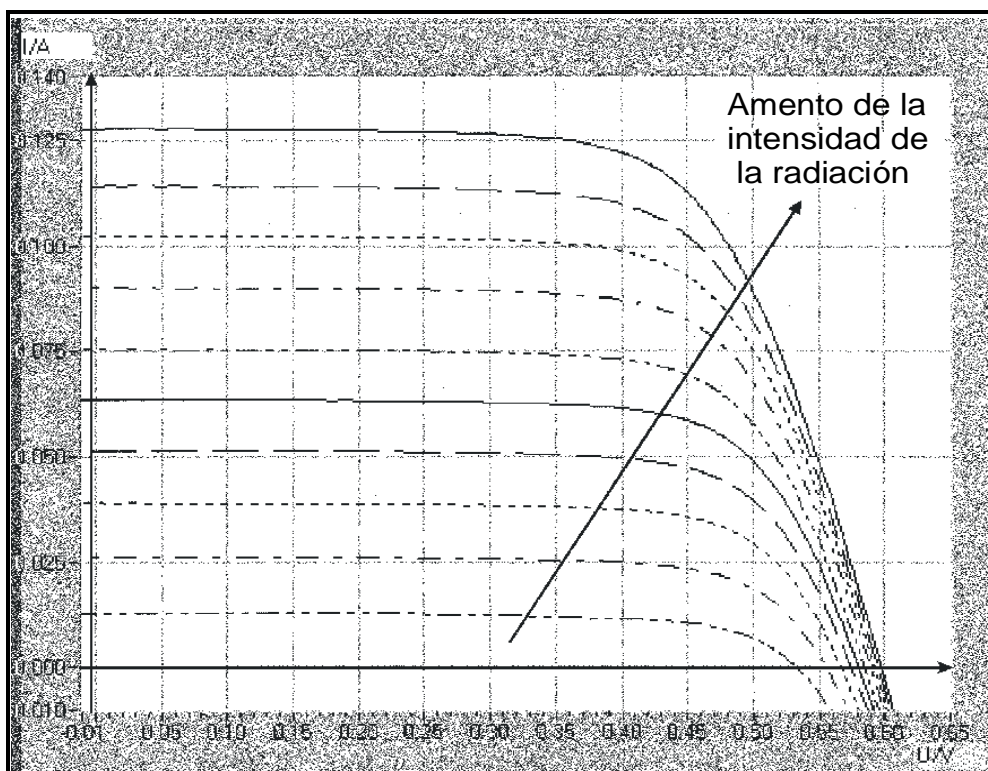


**Fig.6 Curva Característica P- R de una Celda Solar**

Se puede apreciar que esta curva posee un máximo: para una resistencia determinada la celda solar desarrolla una potencia máxima. Este punto se denomina punto de máxima potencia o Maximal Power Point (MPP). En el punto MPP la celda solar desarrolla bajo condiciones específicas su mayor potencia. Para aprovechar en lo posible la mayor cantidad de potencia desarrollada por una celda solar, se debe conectar al circuito un consumidor eléctrico que permita trabajar a la celda solar lo más cercano posible al punto MPP.

La forma de la curva característica corriente-voltaje de una celda solar depende estrechamente de condiciones externas, sobre todo de la radiación solar (Intensidad de radiación, ver en experiencia básica) y de la temperatura de la celda. La figura 7, muestra una curva característica de una celda solar bajo distintas intensidades de radiación.

Se puede apreciar que la corriente de corto circuito es proporcional a la intensidad de radiación, esto significa en el ejemplo que ante el doble de intensidad de radiación se duplica también la corriente de corto circuito. Este efecto se utiliza para medir la intensidad de radiación (fotómetro). El voltaje de circuito abierto, por el contrario, aumenta sólo una pequeña cantidad ante un aumento de la radiación. Esto trae como consecuencia que el voltaje desarrollado por la celda solar pueda ser grande con una baja intensidad de radiación. En los sistemas fotovoltaicos, que trabajan con altos voltajes, es indispensable considerar esta característica durante la instalación y tareas de servicios de mantenimiento.



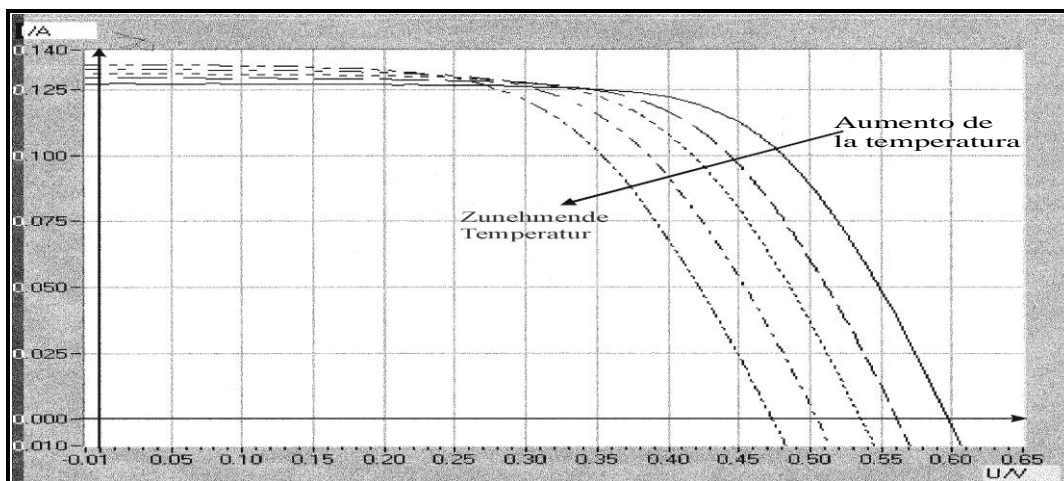
**Fig. 7 Curva Característica de una Celda Solar con Intensidad de Radiación E a 25 °C**

La figura 8, muestra la curva característica de una celda solar ante distintas temperaturas en la celda solar.

Como se puede apreciar, ante un aumento de la temperatura disminuye fuertemente el voltaje de circuito abierto y con ello también el voltaje del punto MPP. Debido a que la corriente de corto circuito, ante un aumento de la temperatura aumenta levemente, la potencia máxima,  $P_{max}$  en el punto MPP, disminuye también ante un aumento de temperatura. La temperatura de la celda solar, en un sistema fotovoltaico, bajo una radiación intensa puede alcanzar temperaturas superiores a la ambiental, entre 20 °C hasta 40 °C, que puede conllevar a una considerable caída de potencia y con ello alcanzar una

baja eficiencia (ver abajo) bajo altas temperaturas, hecho que se subestima en la mayoría de los casos.

Debido a que un mismo generador PV ante distintas condiciones desarrolla curvas características distintas y datos distintos, se acordó para términos de comparación de generadores PV realizar las pruebas bajo un test estándar. Las *condiciones estándar de evaluación* (STC – Standar Test Conditions) se realizan a una radiación de  $1000 \text{ W/m}^2$  para un espectro de luz definido) y una temperatura de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Fig. 8 Curva Característica de una Celda Solar; Temperatura T como Parámetro a  $1000 \text{ W/m}^2$**

En la transformación de energía siempre resulta interesante conocer su eficiencia (representada en la fórmula por  $\eta$ ). Bajo el término de eficiencia de un sistema, se entiende la relación entre la potencia desarrollada con la potencia suministrada. En el caso de un generador PV, a modo de comparación, es la relación entre la máxima potencia eléctrica desarrollada

bajo condiciones estándares de testeo y la potencia de la radiación incidente en el generador PV:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{\text{Potencia de Radiación}}$$

La eficiencia de una celda solar es, en las aplicaciones fotovoltaicas prácticas, una cantidad muy importante. Está claro que todos los investigadores y productores desean desarrollar en lo posible altas eficiencias. Las celdas solares comerciales alcanzan hoy en día, bajo condiciones estándares de testeo (ver arriba) aproximadamente:

- Celdas solares de silicio monocristalinas (c-Si):  $\eta = 12$  hasta  $18 \%$ ,
- Celdas solares de silicio policristalinas :  $\eta = 10$  hasta  $16 \%$ ,
- Celdas solares de silicio amorfo (a-Si) :  $\eta = 4$  hasta  $10 \%$ .

### **3.4 MÓDULO PV**

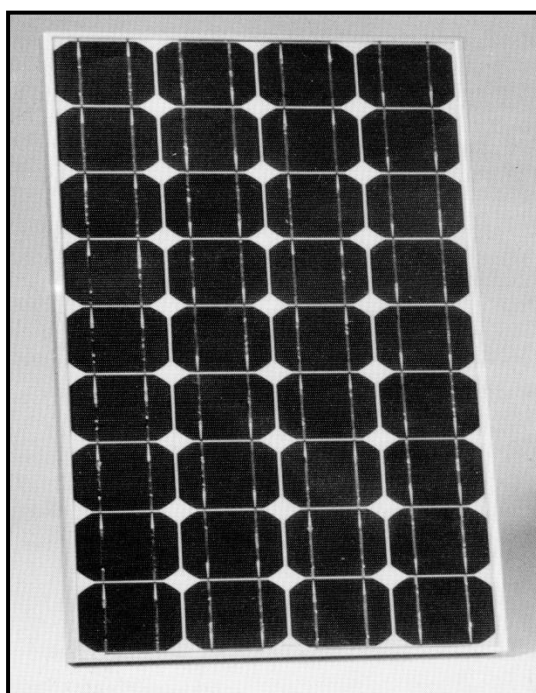
Las celdas solares de silicio cristalinas desarrollan bajo temperaturas de trabajo un voltaje de circuito abierto  $U_{OC}$  de  $0,5$  V hasta  $0,6$  V, y en una superficie de celda de  $100 \text{ cm}^2$  una corriente de corto circuito  $I_{SC}$  de  $2,5$  A hasta  $3,5$  A. En el punto de máxima potencia desarrollada (MPP, ver acápite 3.3) la corriente alcanza  $U_{MPP}$  entre  $0,4$  V a  $0,5$  V. Esta cantidad es suficiente para aplicaciones



de baja potencia (por ejemplo relojes de pulsera, calculadoras, etc). Consumidores con mayores potencias no pueden operar con estos pequeños voltajes. Para desarrollar un voltaje utilizable se deben conectar celdas solares en serie.

Cuando en una aplicación se requiere grandes corrientes, se deben conectar celdas solares en paralelo.

Para muchas aplicaciones es ventajoso conectar 30 a 40 celdas solares en serie y, para evitar la influencia del ambiente, se empacan juntas en una caja. Las unidades de estas características se denominan módulo fotovoltaico (PV).



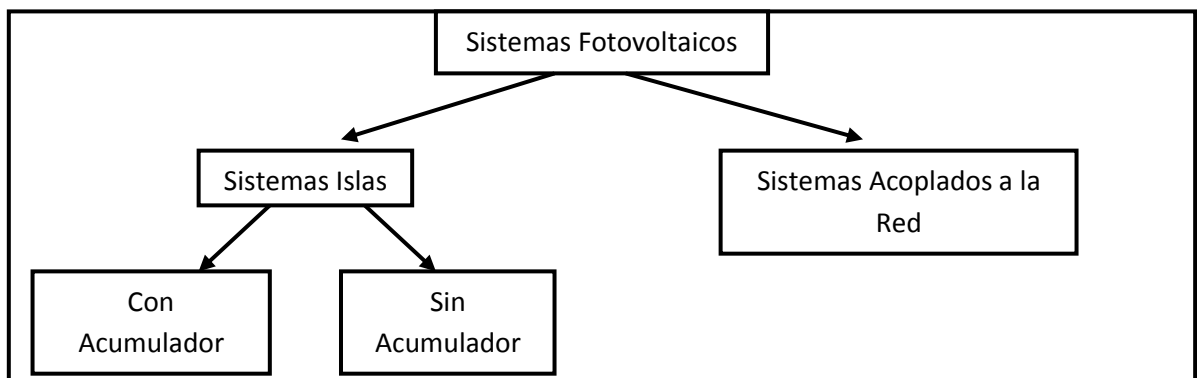
**Fig.9 Módulo PV Monocristalino**

Los módulos PV más utilizados poseen un voltaje de operación de 12 V a 18 V y potencias de 40  $W_p$  hasta 60  $W_p$ , con lo que se pueden realizar pequeños

abastecimientos de electricidad con un módulo PV y una batería de 12 V. Evidentemente se pueden construir también módulos más grandes o más pequeños. Voltajes mayores se logran conectando en serie los módulos PV, y corrientes mayores conectándolos en paralelo. La curva característica de un módulo fotovoltaico posee la misma forma que las curvas características de las celdas solares. Consecuentemente, el espectro del voltaje y/o corriente son mayores.

### **3.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

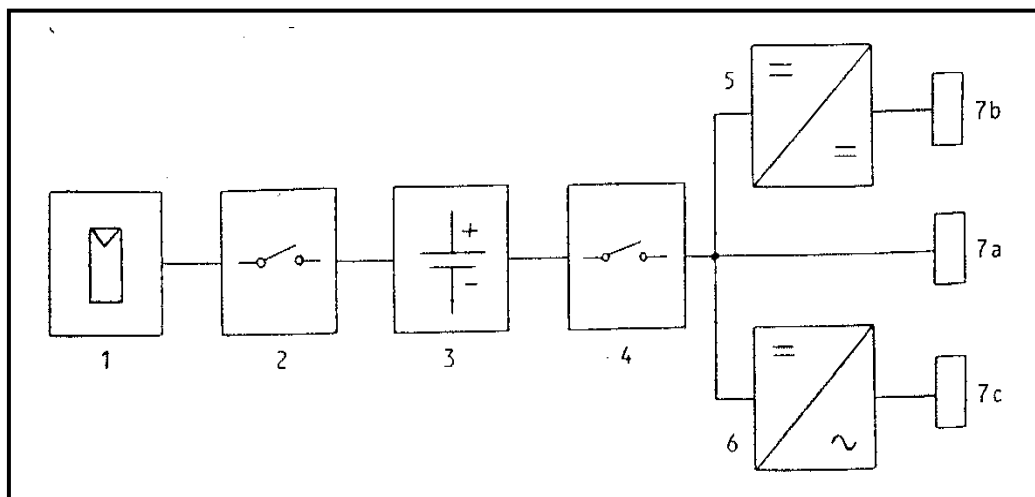
La variación temporal de la radiación solar no permite que la generación de corriente fotovoltaica sea siempre conducida directamente a la carga (consumidor), sino que debe ser de alguna forma preparada o almacenada. Una aplicación directa es pensable de utilizar en sistemas de regadío o en general en aplicaciones en que se tenga libertad temporal y el momento de inicio sea menos importante. El cuadro siguiente, figura 10, muestra una división de los sistemas fotovoltaicos principalmente de acuerdo a su construcción.



**Fig. 10 División de los Sistemas PV de acuerdo al Principio de Construcción**

Un sistema isla es un sistema de suministro de electricidad, que abastece de energía a uno o a más consumidores independientes de la red de electricidad. Las potencias posibles de desarrollar en el suministro de electricidad van desde mW hasta W desde instrumentos portables (relojes, calculadoras, etc) pasando sobre los 10 kW (infraestructura vial, sistemas grandes para casas, equipos de comunicación, etc) hasta plantas fotovoltaicas de potencia sobre 1 MW. Para consumidores que requieren de un suministro de electricidad durante un período de tiempo, se requiere de acumuladores de energía (generalmente una batería). Los acumuladores encarecen los costos de la electricidad.

El siguiente cuadro, figura 11, muestra un esquema en bloques de un sistema fotovoltaico isla.



**Fig. 11 Esquema en Bloques de un sistema PV Isla**

Donde: **1** Generador solar, **2** Regulador de carga, **3** Acumulador, **4** Conector de descarga profunda , **5** Regulador de voltaje CC, **6** Inversor de carga, **7a** Consumidor corriente continua (CC), **7b** Consumidor CC (otro voltaje), **7c** Corriente alterna 230 V.

El comportamiento eléctrico de un generador PV (1) se adecua perfectamente para cargar baterías de plomo. El regulador de carga (2) es un elemento de construcción electrónica y se ocupa de que la batería de plomo no se recargue, porque si no el acumulador puede sufrir daños.

En el acumulador (3) se realiza la verdadera acumulación de energía. El voltaje nominal del acumulador es igual al voltaje del sistema en un sistema isla. Los voltajes de sistemas disponibles en pequeños sistemas son de 12 V, y en los grandes 24 V y eventualmente 48 V o más (sobre todo en sistemas de rangos de kW). El voltaje del sistema determina el voltaje de operación de los consumidores CC conectados en forma directa.

La vida útil de los acumuladores no se reduce tan solo con sobrecargas, sino también con descargas profundas. El regulador de descarga o conector de descarga profunda (4) se desconecta como consecuencia del consumo cuando se pasa bajo un valor mínimo determinado para el voltaje del acumulador. Generalmente se encuentran el regulador de carga y descarga juntos en un aparato, que en conjunto se denomina regulador de carga.

Frecuentemente se deben conectar consumidores con otros voltajes de operación (7b). En este caso se presenta frecuentemente en aplicaciones que

requieren voltajes superiores a 12 V. Con la utilización de un regulador de voltaje CC (5) se ajusta al voltaje requerido.

Muchos equipos operan solo conectados a corriente alterna de 230 V (7c). Para operar estos equipos con un sistema PV isla, se requiere necesariamente incorporar un inversor de carga (6). Los inversores de carga encarecen los precios y empeoran la eficiencia del sistema en su totalidad.

## 4. MATERIALES UTILIZADOS.

Los materiales utilizados en el presente trabajo práctico son los siguientes:

- Dos Paneles Fotovoltaicos 25 W.

Características:

- ✓ Module type: 25 p
  - ✓ Rated Maximum Power 25 W
  - ✓ Open Circuit Voltage (VOC) 22.0 V
  - ✓ Short – circuit current (Isc) 1.54 A
  - ✓ Voltage At Pmax (Vmp) 17.5 V
  - ✓ Current At Pmax (Imp) 1.43 A
  - ✓ Maximum system voltage 600 V
  - ✓ Module Size 510 \* 350 \* 25 (mm)
  - ✓ Serie 120200303025010001
- Controlador de carga de baterías (MORNINGSTAR)

Características:

- ✓ SHS – 6
  - ✓ Solar controller
  - ✓ Max.6A
- Inversor semi senoidad 200 W para obter 120 V de corriente alterna.

Características:

- ✓ Voltaje de entrada DC
- ✓ Potencia de salida

- ✓ Voltaje de salida AC
- ✓ Seleccionador digital
- ✓ Marca (Nascar – performance)

➤ Batería

Características:

- ✓ MARS 2000
- ✓ Maintenance- free Rechargeable Battery

Charging at 20c	Voltage Regulation	Initial Current
Standby Use	13 - 8 - 14.3V	No limited
Cyclic Use	14.8 – 15.3V	8.25 A

➤ Dos luminarias utilizadas

Características:

- ✓ Lámpara DC – 5p70 – 12 V - 5 W
- ✓ Lámpara AC – 8w - 865 – 110 – 130 V - 150mA

El banco didáctico para el estudio teórico-práctico de las instalaciones de energía solar fotovoltaica, está montado en una estructura móvil que permite ser desplazado a conveniencia para las sesiones prácticas, para así permitir al panel fotovoltaico recibir radiación solar.

El panel fotovoltaico, puede ser inclinado a través de un rango de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ , y la células calibrada utilizada para medir la radiación solar, están por un lado, y todos los componentes de una instalación fotovoltaica básica usados para proporcionar 12 V de corriente directa y 120 V de corriente alterna se encuentran en el otro lado.



## **5. PROCESO METODOLÓGICO**

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizarán distintos métodos y técnicas de investigación los mismos que ayudaran a cumplir con el desarrollo investigativo, los cuales nos proporcionaran un mejor conocimiento acerca de la aplicación de los paneles solares fotovoltaicos.

Este proyecto está basado en el diseño e instalación de un Tablero Didáctico para la producción de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos y almacenamiento de la misma en forma de energía química en baterías para su posterior transformación, por lo cual este tema es considerado de suma importancia para el desarrollo práctico de los estudiantes incentivando a que la enseñanza sea de forma didáctica.

Los principales métodos que se utilizarán para conocer más acerca del tema redactado, serán principalmente el Inductivo y el Deductivo, iniciando desde el análisis, revisión e investigación, llegando hasta las conclusiones y determinando de esta manera su verdadera situación, así mismo sugiriendo las recomendaciones necesarias como todas las posibles soluciones dadas.

También utilizaremos la técnica de la Observación Directa para comprobar con mejor exactitud el funcionamiento del banco de energía solar fotovoltaico, ya que nos servirá como guía para el desarrollo del proyecto y nos facilitará la

elaboración de las prácticas didácticas, para que los estudiantes se formen con conocimientos de acuerdo a los avances del desarrollo tecnológico.

Para el cumplimiento de este trabajo práctico seguiremos los siguientes pasos:

- Diseño y elaboración del tablero didáctico.
- Adquisición de cada uno de los instrumentos y eléctricos.
- Montaje e instalación de los instrumentos eléctricos.
- Rotulación de cada uno de los elementos que conforman el tablero didáctico.
- Comprobación del tablero didáctico.
- Guía para la elaboración de prácticas.
- Prácticas.

Los elementos utilizados están ubicados en el tablero de manera que el estudiante pueda ejecutar las prácticas sin peligro alguno ya que el equipo está protegido contra descargas eléctricas, evitando así todo tipo de tragedia.

## **6. RESULTADOS**

El banco didáctico de energía solar fotovoltaica, permite al estudiante realizar algunas experiencias o prácticas, como por ejemplo:

- Identificación de todos los componentes del entrenador y la forma en que están relacionados con su funcionamiento.
- Medición de la radiación solar
- Medición de los parámetros de voltaje y potencia del panel fotovoltaico.
- Programación del regulador de carga.
- Análisis de la instalación del entrenador.
- Alimentación de corriente directa.
- Alimentación de corriente alterna.

En este acápite se presentan dos prácticas con el objetivo de que el estudiante desarrolle habilidades y destrezas en el manejo del banco didáctico de energía solar fotovoltaica. Las prácticas son las siguientes:

**PRACTICA No.1** ALIMENTACIÓN DE UNA CARGA EN DC, CON SISTEMA FOTOVOLTAICO.

**PRACTICA No.2** ALIMENTACIÓN DE UNA CARGA EN AC, CON SISTEMA FOTOVOLTAICO.

# PRÁCTICA # 1

## 1. NOMBRE DE LA PRÁCTICA

ALIMENTACIÓN DE UNA CARGA EN DC, CON SISTEMA FOTOVOLTAICO.

## 2. OBJETIVOS.

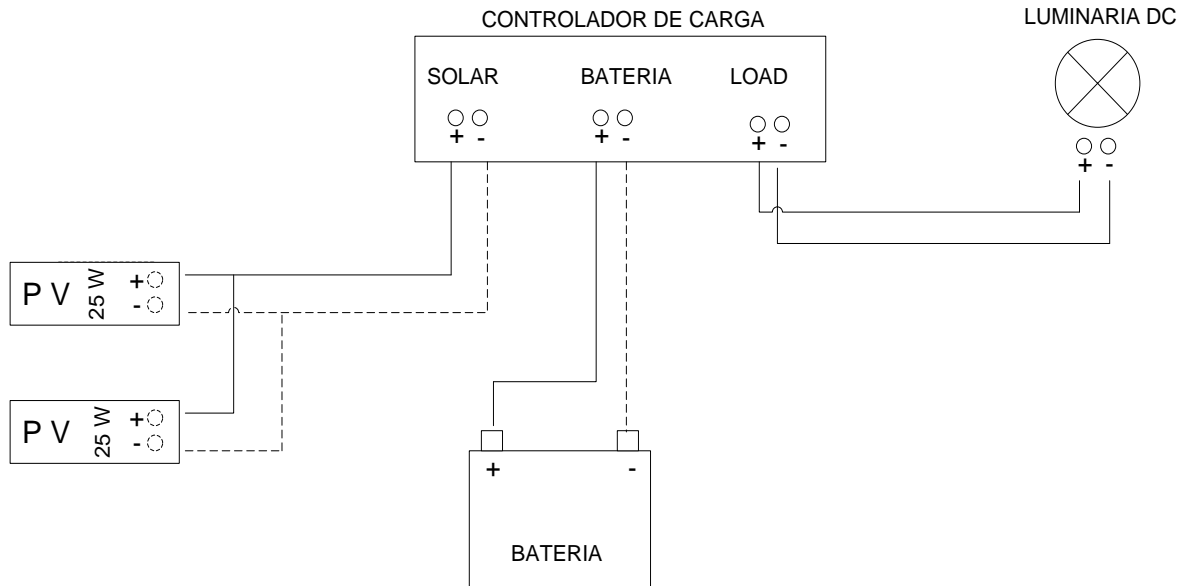
- Realizar la conexión de los diferentes componentes del banco fotovoltaico para generar corriente directa DC.
- Realizar mediciones de corriente y voltaje.
- Identificar y manipular los elementos que constituyen el banco didáctico de generación fotovoltaica.

## 3. MATERIALES Y EQUIPOS.

Tabla1. Descripción de materiales y equipos utilizados en la práctica.

Cantidad	Descripción	Característica o serie
2	Paneles fotovoltaicos.	50Wp/12V
1	Batería de ciclo profundo	12V
1	Controlador de carga	
1	Luminaria LED.	12V – 5W DC
1	Voltímetro.	V
1	Piranómetro.	W/m <sup>2</sup>
1	Interruptor	
1	Amperímetro	A
1	Cables de conexión	

#### 4. ESQUEMAS.



**Fig. 12 Esquema de conexión de los componentes para la práctica**

#### 5. SISTEMA CATEGORIAL.

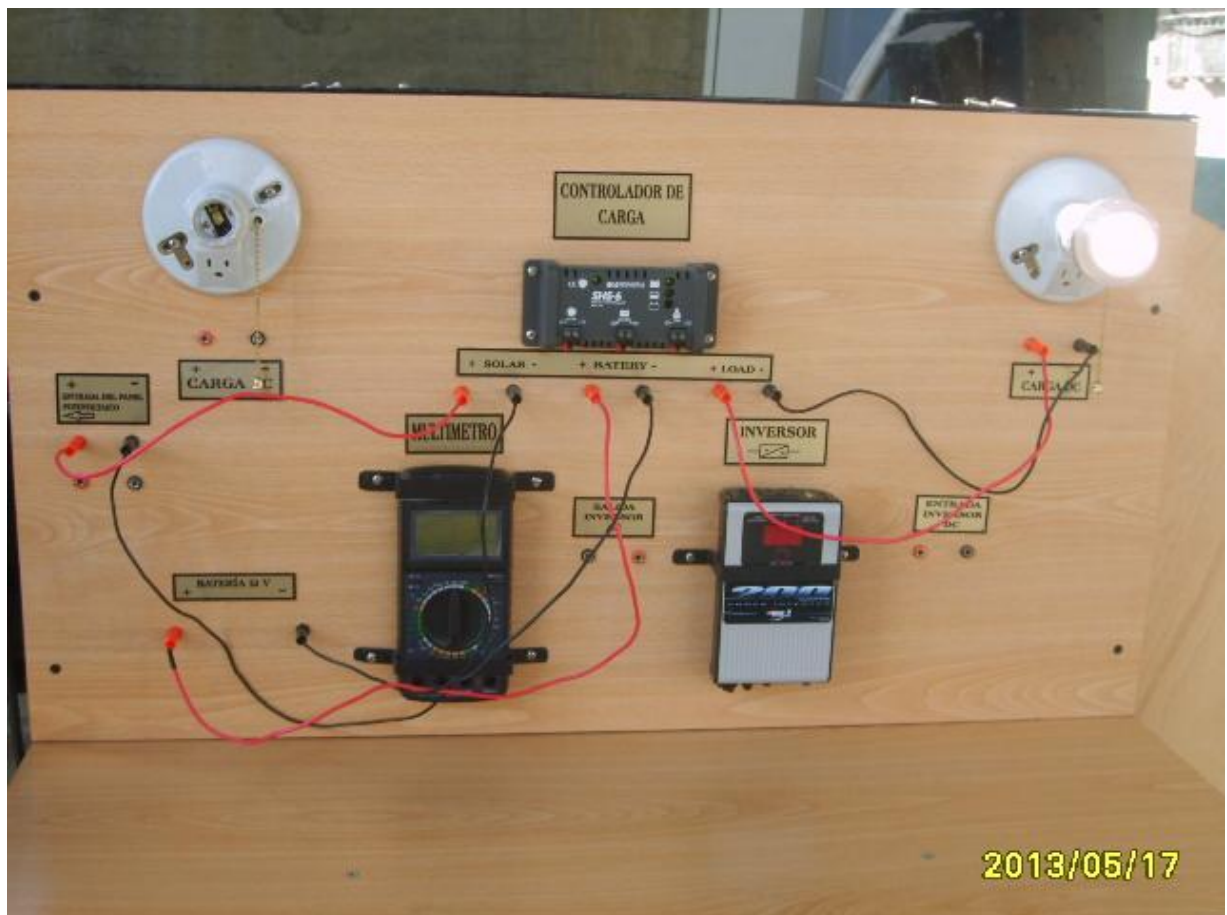
A través de esta experiencia introductoria se deberán aclarar los conceptos fundamentales de la electrotécnica, que son necesarios para el entendimiento de la técnica fotovoltaica. Los términos corriente eléctrica, voltaje, potencia y resistencia se explicarán con experiencias respectivas y se demostrarán sus relaciones.

#### 6. PROCEDIMIENTO.

Para comenzar es necesario conectar los paneles fotovoltaicos a la entrada del controlador de carga, en los terminales del módulo SOLAR ( + - ) , como se muestra en el esquema de la presente práctica.

Luego se realiza el conexionado desde el controlador de carga a la batería, y conectar la carga (lámpara LED DC) al módulo LOAD (+ -) del controlador de carga.

Se muestran las conexiones de las experiencias y el plano de circulación eléctrica correspondiente.



**Fig. 13 Conexión de componentes en DC en el banco didáctico.**

No.	ACCIÓN
1	Conectar los equipos conforme se muestra en el esquema
2	Conectar los multímetros.
3	Encender los multímetros, ajustar la escala de lectura (V, A).
4	Encender el banco desde el interruptor principal
5	Comprobar que el sistema está energizado (se enciende led en el controlador de carga)
6	Tomar lecturas de corriente y voltaje en los paneles fotovoltaicos de forma independiente, y con estas lecturas trazar la curva característica en la gráfica 14.
7	Realizar medidas de radiación solar utilizando el piranómetro y plotear este dato en la gráfica 14.
8	Realizar los cálculos necesario para determinar la Potencia ( $P= V.I$ ) en Watts, y la resistencia ( $I=V/R$ ) en $\Omega$ , en la carga y registrarlos en la tabla 2
9	Realizar la medición de radiación solar directa utilizando el piranómetro y registrar el valor en la tabla 2.
10	Cerrar el interruptor principal. Conectar un solo panel solar (25W), y repetir las mediciones.
11	Leer la corriente y voltaje. ¿Qué ha cambiado? Registrar en el acta de la experiencia.
12	Término de la experiencia. Apagar los equipos.

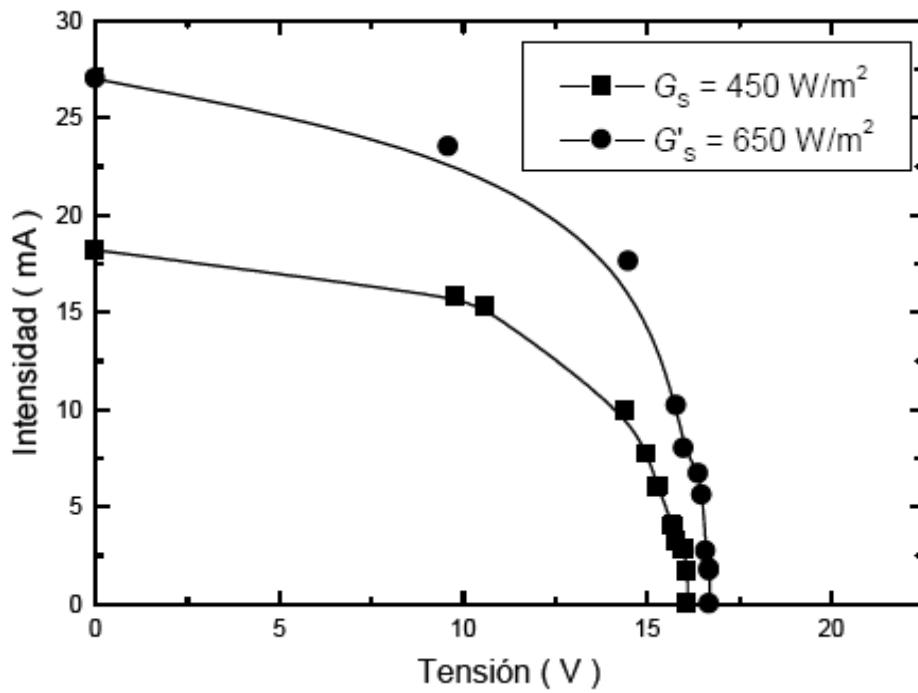


Fig. 14 Curva característica del panel fotovoltaico

Tabla 2. Registro de mediciones en la carga DC para la práctica

No.	Hora h/mi n	Corriente I mA	Volt aje U V	Potencia $P=U \times I$ mW	Resistencia $R=U/I$ $\Omega$	Radiación $\text{W/m}^2$	Observaciones
1	08:00	0,20	12,90	2,58	64,5	960	
2	09:00	0,35	12,98	4,543	37,0857	920	
3	12:00	0,45	3,05	1,3725	6,7777	986	
4	15:50	0,08	12,32	0,9856	154	764	
5	16:30	0,13	12,29	1,5977	94,538	700	
6	17:00	0,08	12,27	0,9816	153,375	103	



## **PREGUNTAS DE CONTROL.**

- 1. ¿En la ciudad de Loja, cual es la inclinación adecuada que deben tener los paneles para lograr la máxima eficiencia?**

Para instalaciones con consumos constantes o similares a lo largo del año, es preferible optimizar la instalación para captar máxima radiación solar. Se utilizan inclinaciones iguales al valor absoluto de la latitud del lugar (ángulo F, latitud Loja= - 4°) incrementado en 10 °

$$(\beta = | F | + 10 \text{ } ^\circ).$$

$$F = - 4^\circ$$

$$\beta = | 4 | + 10 \text{ } ^\circ$$

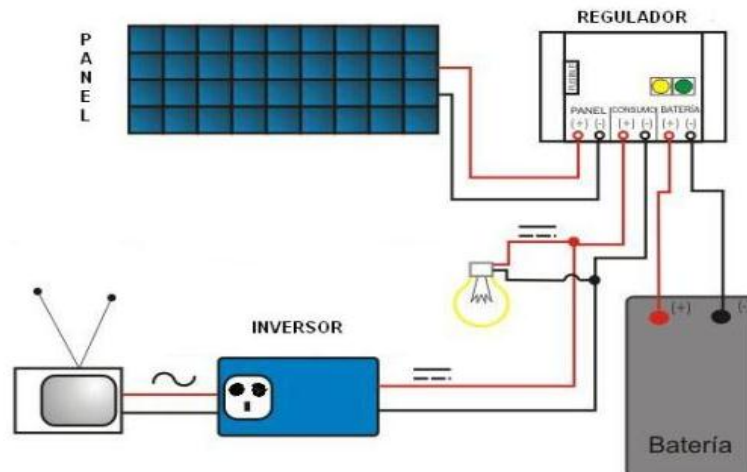
$$\beta = 14^\circ$$

- 2. ¿Qué característica tiene la mayoría de células fotovoltaicas que se encuentran en el mercado local?**

La mayoría de las células de silicio actualmente en el mercado son Monocristalinas, aunque también se encuentran en menos grado Policristalinas y Amorfas.

- 3. ¿Cuáles son los componentes principales de un sistema solar fotovoltaico autónomo?**

Está compuesto básicamente por uno o varios paneles fotovoltaicos, conectados en serio y/o paralelo en dependencia de la demanda energética a satisfacer, un controlador de carga, un batería o banco de baterías, inversor DC/AC, cables y protecciones eléctricas



**Fig. 15 Esquema de conexión sistema fotovoltaico en vivienda**

#### 4. ¿Qué mantenimiento necesita un sistema fotovoltaico?

Las instalaciones Fotovoltaicas requieren un mantenimiento mínimo y sencillo, que se reduce a las siguientes operaciones:

1. **Paneles:** Requieren un mantenimiento nulo o muy escaso, debido a su propia configuración. Es conveniente hacer una inspección general 1 o 2 veces al año para asegurarse de que las conexiones entre paneles y al regulador están bien ajustadas y libres de corrosión. En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, simplemente utilizar agua y algún detergente no abrasivo.
2. **Regulador:** La simplicidad del equipo de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las fallas sean escasas. Las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del estado y funcionamiento del regulador, comprobación de la conexión y cableado del

equipo, observación de los valores instantáneos del voltímetro y amperímetro, los cuales dan un índice del comportamiento de la instalación.

**3. Acumulador:** Es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida de su duración

## PRÁCTICA # 2

### 1. NOMBRE DE LA PRÁCTICA

ALIMENTACIÓN DE UNA CARGA EN AC, CON SISTEMA FOTOVOLTAICO.

### 2. OBJETIVOS.

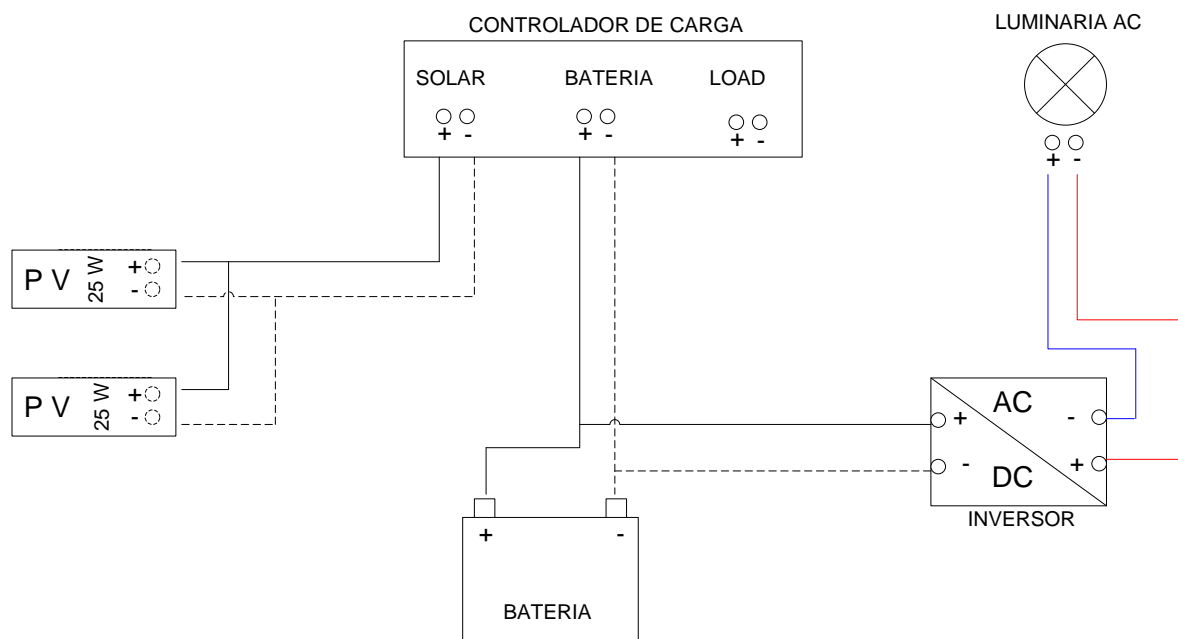
- Realizar la conexión de los diferentes componentes del banco fotovoltaico para alimentar una carga en AC.
- Realizar mediciones de corriente y voltaje.
- Identificar y manipular los elementos que constituyen el banco didáctico de generación fotovoltaica.

### 3. MATERIALES Y EQUIPOS.

Tabla3. Descripción de materiales y equipos utilizados en la práctica.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Característica o serie</b>
2	Paneles fotovoltaicos.	50Wp/12V
1	Batería de ciclo profundo	12V – 33 Ah
1	Controlador de carga	
1	Inversor de corriente	200W DC/AC
1	Foco ahorrador.	8 W – 110V AC
1	Voltímetro.	V
1	Piranómetro.	W/m <sup>2</sup>
1	Interruptor	
1	Amperímetro	A
1	Cables de conexión	

### 4. ESQUEMAS.



**Fig. 16 Esquema de conexión de los componentes para la práctica**

## 5. SISTEMA CATEGORIAL.

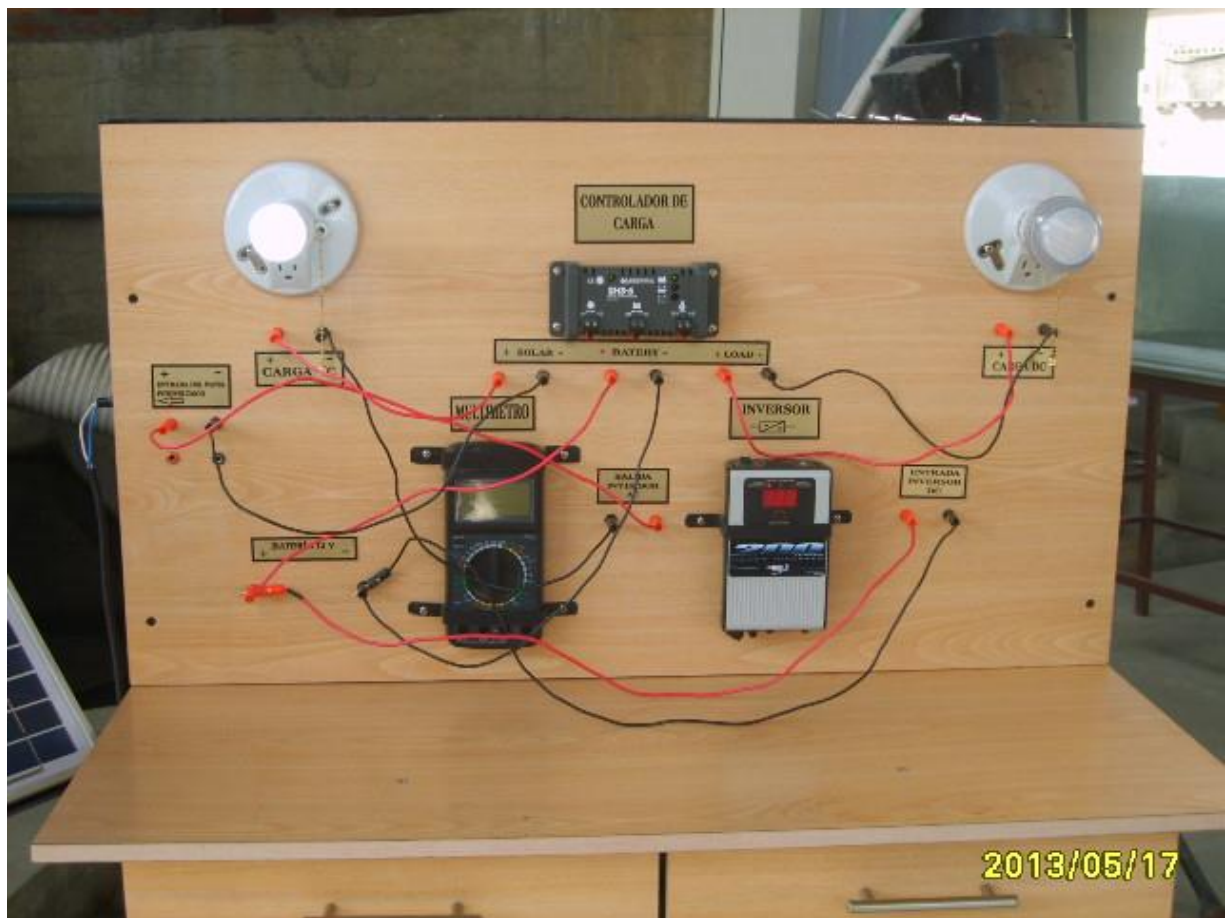
A través de esta experiencia introductoria se deberán aclarar los conceptos fundamentales de electrotécnica, que son necesarios para el entendimiento de la técnica fotovoltaica. Los términos corriente eléctrica, voltaje, potencia y resistencia se explicarán con experiencias respectivas y se demostrarán sus relaciones.

## 6. PROCEDIMIENTO.

Para comenzar es necesario conectar los paneles fotovoltaicos a la entrada del controlador de carga, en los terminales del módulo SOLAR (+ -), como se muestra en el esquema de la presente práctica.

Luego se realiza el conexionado desde el controlador de carga a la batería y desde esta última al módulo inversor, y se conecta la carga (foco ahorrador DC) a la salida del inversor

Se muestran las conexiones de las experiencias y el plano de circulación eléctrica correspondiente.



**Fig. 17 Conexión de componentes AC en el banco didáctico.**

No.	ACCIÓN
1	Conectar los equipos conforme se muestra en el esquema de la figura 14.
2	Conectar los multímetros.
3	Encender los multímetros, ajustar la escala de lectura (V, A).
4	Encender el banco desde el interruptor principal
5	Comprobar que el sistema está energizado (se enciende led en el controlador de carga)
6	Realizar la conexión desde la batería al controlador de carga, a la entrada denominada BATTERY.
7	Realizar la conexión desde la batería al inversor (input DC) y desde la salida de este (output AC) a la carga.
8	Leer la corriente y voltaje en los paneles fotovoltaicos ( de forma independiente) y con estos valores calcular la potencia del mismo.
9	Con los valores de potencia, trazar la curva característica del panel fotovoltaico para diferentes valores de radiación solar en la gráfica 18.
10	Realizar los cálculos necesario para determinar la Potencia ( $P= V.I$ ) en Watts, y la resistencia ( $I=V/R$ ) en $\Omega$ , en la carga y registrarlos en la tabla 4.
11	Realizar la medición de radiación solar directa utilizando el piranómetro y registrar el valor en la tabla 4.
12	Cerrar el interruptor principal. Conectar un solo panel solar (25W), y repetir las mediciones.
13	Término de la experiencia. Apagar los equipos.

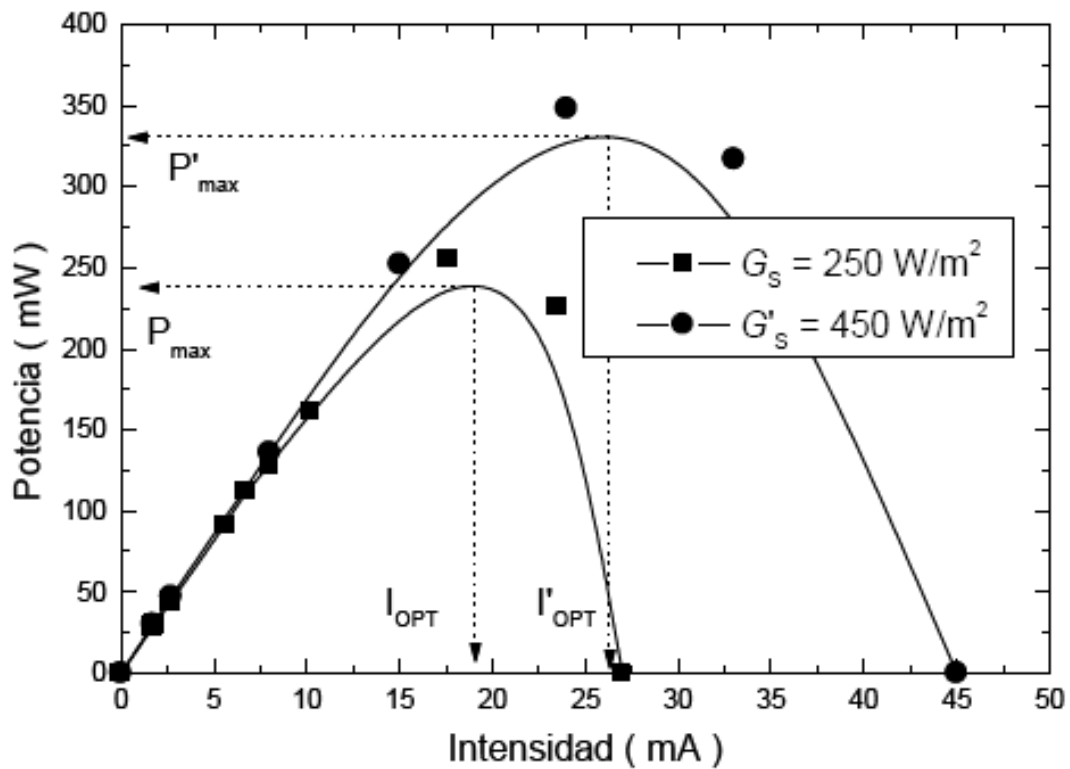


Fig. 18 Potencia máxima del panel fotovoltaico para diferentes valores radiación solar

Tabla 4. Registro de mediciones en la carga para la práctica

No.	Hora h/mi n	Corriente I mA	Voltaje U V	Potencia $P=U \times I$ mW	Resistencia $R=U/I$ $\Omega$	Radiación $W/m^2$	Observaciones
1	08:00	59,3	120,0	7116	2,023	820	
2	09:00	60,1	121,7	7314,17	2,024	870	
3	12:00	68,2	121,9	8313,58	1,787	975	
4	16:00	49,5	114,6	5672,7	2,315	758	
5	16:30	48,33	114,6	5538	2,371	702	
6	17:05	47,72	114,6	5468,71	2,401	101	



## 7. PREGUNTAS DE CONTROL.

### 1. ¿Qué aplicaciones tiene la energía solar?

Algunas pueden ser las siguientes aunque cada día este campo se va incrementando:

- Sistemas de aprovechamiento térmico: El calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a nuestros hogares, hoteles, colegios, fábricas, climatizar las piscinas, etc.
- Sistemas con Paneles Solares: Una aplicación solar es la refrigeración durante las épocas cálidas. En efecto, para obtener frío hace falta disponer de una «fuente cálida», la cual puede perfectamente tener su origen en unos paneles solares instalados en el tejado o azotea.
- Las Aplicaciones Agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas.
- Los paneles solares, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen

ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento.

## **2. ¿Qué ventajas tienen los sistemas de energía solar fotovoltaica?**

- Las fuentes renovables de energía, dada su dispersión y baja capacidad son ideales para ser aprovechadas en forma descentralizada.
- No son contaminantes, no contribuyen al efecto invernadero y son consistentes con las políticas de protección al medio ambiente.
- Son adecuadas para localidades y/o establecimientos que por su ubicación requieran ser autosuficientes en su abastecimiento energético.
- Retorno rápido de inversión.
- Se puede instalar en casi cualquier tipo de construcción.
- Con los años ha teniendo un crecimiento sostenido.

## **3. ¿Cuál es el tiempo de vida útil de un panel solar?**

Teniendo en cuenta que el panel carece de partes móviles y que tanto las celdas como los contactos van encapsulados en una robusta resina sintética, se consigue confianza de tener una larga vida útil, aproximadamente entre 25 a 30 años o más. Además si una de las celdas falla no afecta al funcionamiento de las demás, la intensidad y el voltaje producidos pueden ser fácilmente ajustados añadiendo o suprimiendo celdas.

#### 4. ¿Qué es una instalación fotovoltaica conectada a red?

Se trata de un sistema que genera electricidad en corriente continua y esta es transformada por un inversor en corriente alterna. Una vez transformada se inyecta a la red eléctrica a través de un contador que registra los kilovatios que se vierte a la red eléctrica. Las empresas eléctricas compran esa energía vertida a un precio establecido por ley con un beneficio importante para el propietario de la Instalación Solar Fotovoltaica. Este tipo de instalaciones han adquirido en los últimos años un importante auge debido a la legislación actual y al tipo de ayudas, muy beneficiosas, que pueden solicitar los propietarios de las instalaciones.

#### 5. Indique que es un piranómetro y detalle las características del instrumento utilizado en esta práctica.

Un piranómetro (también llamado solarímetro y actinómetro) es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (kilovatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados.



**Fig. 19 Piranómetro utilizado en las prácticas**

## 7. CONCLUSIONES

- Se realizó el dimensionamiento de componentes, la construcción del banco didáctico de energía solar fotovoltaica, y se procedió a ejecutar las prácticas que constan en el presente trabajo, obteniéndose resultados satisfactorios en lo relacionado a la obtención de energía eléctrica, generada tanto en su componente AC como en DC.
- La generación fotovoltaica en el Ecuador, debido a su posición geográfica simplifica la planificación e instalación de sistemas solares fotovoltaicos, permite además que los paneles fotovoltaicos se puedan instalar fijos a una cierta inclinación entre  $10^{\circ}$  y  $15^{\circ}$ , evitando de esta manera los sistemas de seguimiento u orientación de los paneles con respecto al sol.
- En el presente trabajo se determinó la curva característica I-V de los paneles fotovoltaicos, que es la característica más importante de los paneles fotovoltaicos, y está directamente relacionada con la radiación solar que recibe.
- El banco didáctico de entrenamiento de energía solar fotovoltaica, constituye un aporte importante en la formación de profesionales en el AEIRNNR, puesto que complementa la formación teórica recibida en las aulas con la formación práctica, de manera que puedan desarrollar habilidades y destrezas en el manejo de estos equipos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Para trabajar en este equipo se debe tener conocimientos básicos necesarios de funcionamiento de los elementos para evitar su deterioro.
- Para obtener mejores resultados es recomendable realizar las prácticas en días soleados para aprovechar al máximo la radiación directa del sol.
- Se debe tomar en cuenta todos los elementos que se van a utilizar en la creación de un circuito de una manera adecuada, verificar siempre que trabajen correctamente, así como su adecuada conexión.
- Tener las precauciones necesarias con la finalidad de precautelar la integridad física de los estudiantes.
- En la mayoría de instalaciones de sistemas solares fotovoltaicos, es necesario la instalación de un inversor, que es el elemento que permite la operación de artefactos eléctricos que están diseñados para funcionar con corriente alterna. En la actualidad se puede encontrar una amplia gama de luminarias eficientes LED que funcionan con corriente continua simplificando de esta manera el dimensionamiento del módulo inversor.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

### **LIBROS:**

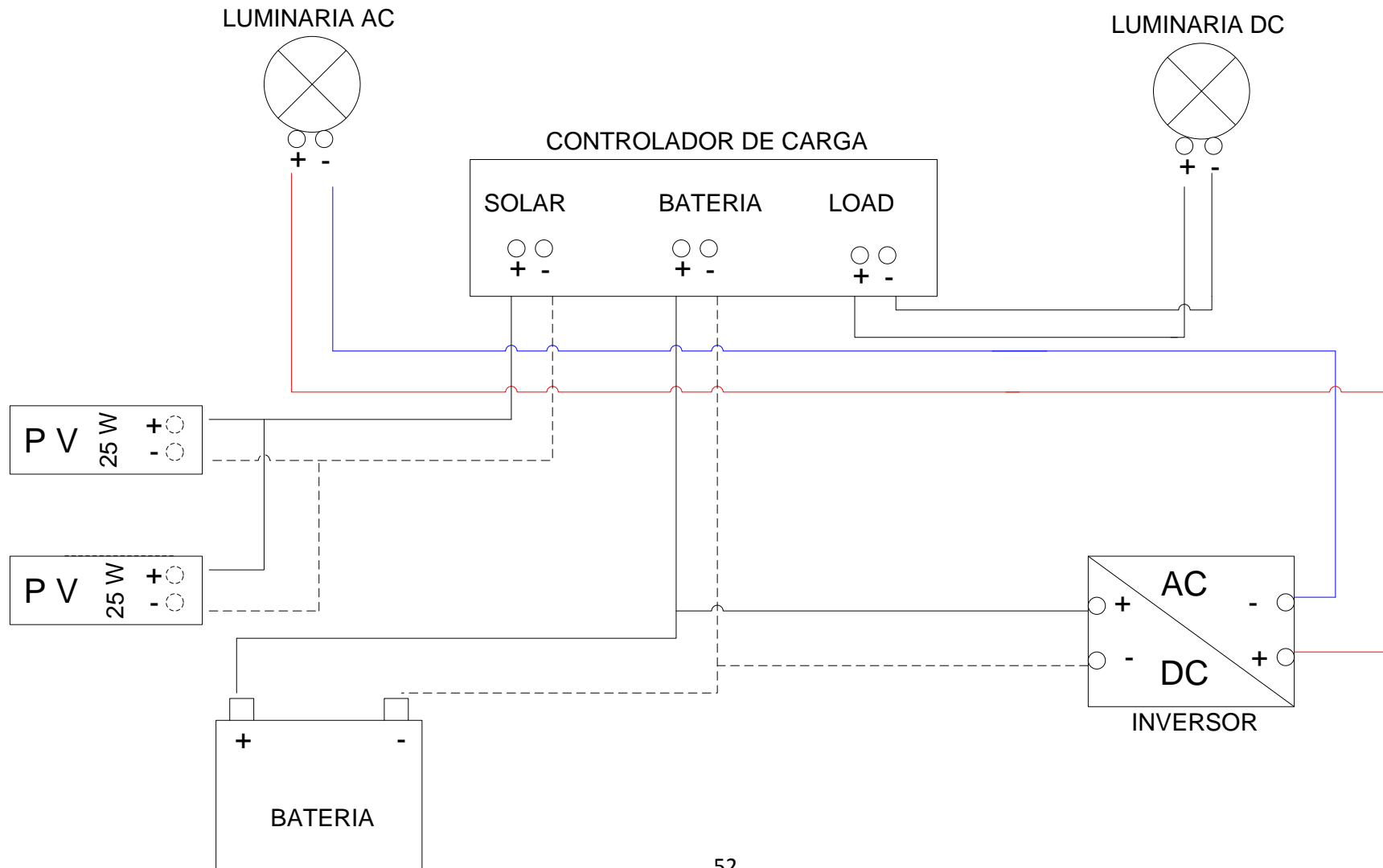
1. ALCOR, E. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Ed. Progensa, 2008.
2. ÁNGULO, J. Ma. Desde la válvula hasta el circuito integrado. Ed. Paraninfo. 1991.
3. CAAMAÑO, E. Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, ISBN 84-7834-464-0, pág. 20.vol. 2, México 2004.
4. CASTRO, M.; Carpio, J.; Guirado, R.; Colmenar, A. y Dávila, L. Energía solar fotovoltaica. Ed. CENSOLAR, 2000.
5. CASTRO, M. Simulación de Centrales de Energía Solar. Aplicación a la Gestión Energética. Viesgo, 1990.
6. CENSOLAR. Curso Programado de Instalaciones de Energía Solar. PROGNSA. Sevilla, 1993.
7. CENSOLAR. Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltaicas. 2002.
8. CIEMAT. Fotovoltaica, Ed. CIEMAT, 2000.
9. COLMENAR, A.; Castro, M. Biblioteca Multimedia de las Energías Renovables. PROGNSA 1998.
10. DÍAZ, P.; Lorenzo, E. «Solar home system battery and charge regulator testing, Progress in Photovoltaics. Research and Applications, vol. 9, 5, págs. 363-377, 2001

11. FOUILLÉ, Amador, Electrónica para ingenieros, Automatismo Eléctrico y Electrónico, Agilar S.A. Ediciones 2. 1981 Manual de programación de PLC en español Editorial Diana México 15, 16, 17, 18, 19, 20 Pág.
12. IDAE. Condiciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. 2002.
13. LORENZO, E.; Castro, M.; Perpiñán, O. «Planta fotovoltaica de conexión a red: estimación de sombras mutuas entre seguidores y optimización de separaciones». Era solar: Energías renovables, ISSN 0212-4157, págs. 28-37. 2006.

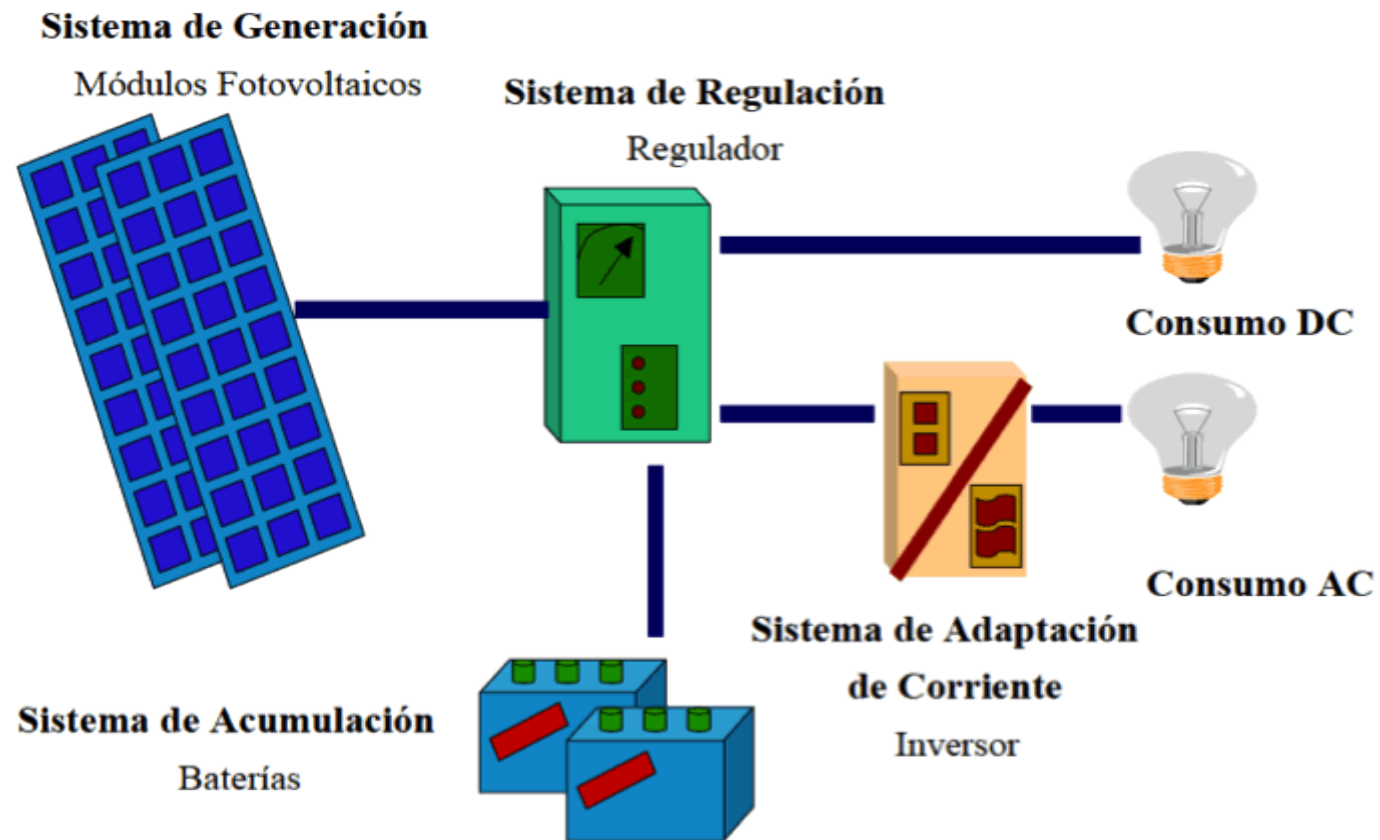
## **10. ANEXOS**



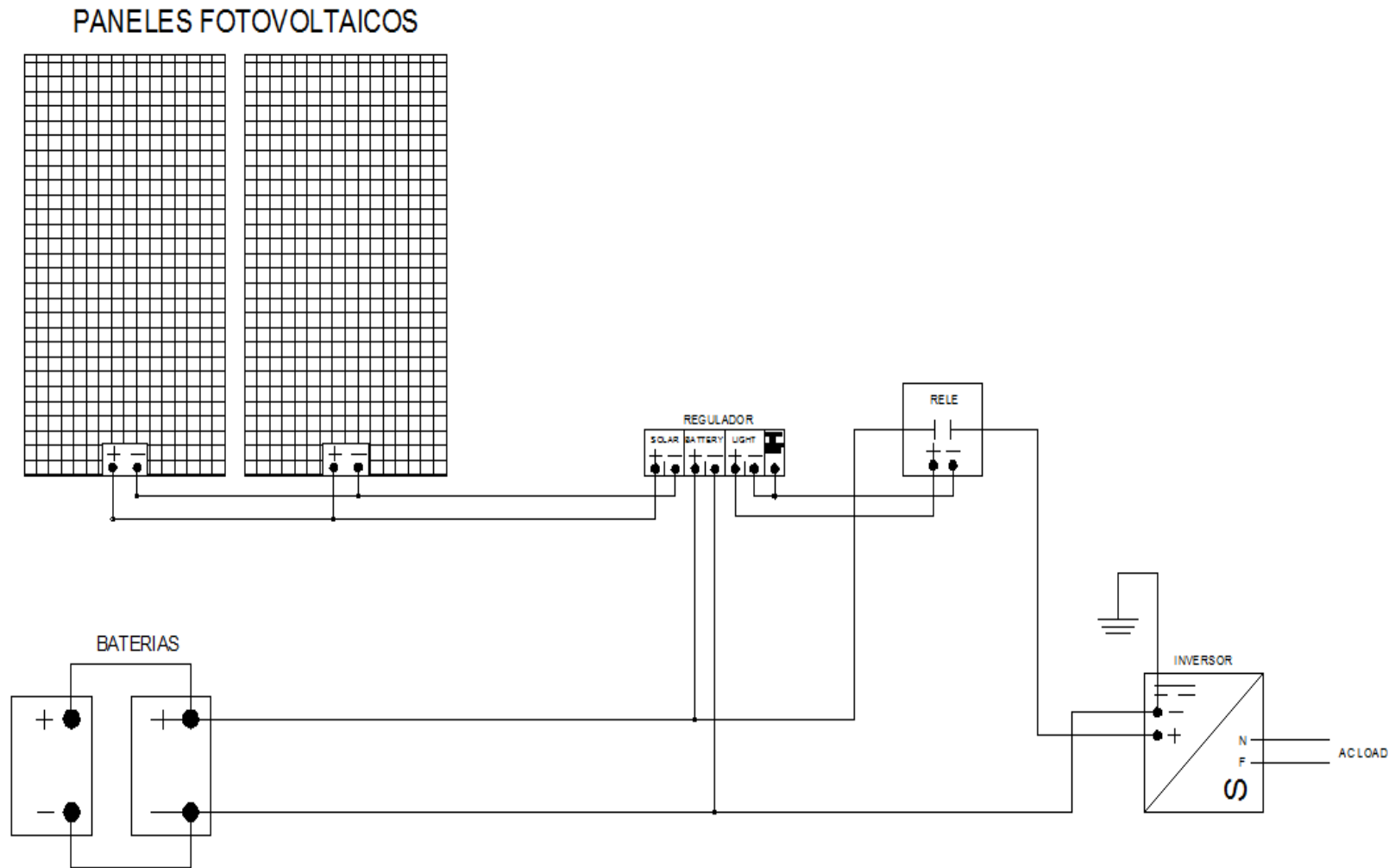
# 1. ESQUEMA DE CONEXIÓN GENERAL DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DIDÁCTICO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO



## 2. ESQUEMA DE CONEXIÓN ILUSTRATIVO DE LOS COMPONENTES DEL BANCO DIDÁCTICO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO



### 3. ESQUEMA DE CONEXIÓN SIN CARGAS



## 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANEL FOTOVOLTAICO

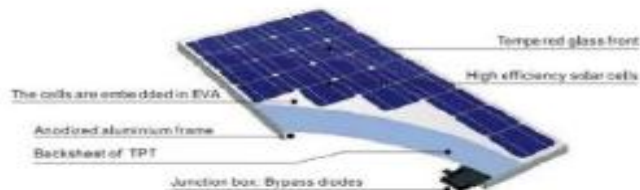
**EXMORK**

艾莫克新能源

### PANELES SOLARES 50P



- ✓ Por mas de 10 años Exmork esta especializado en productos de energía renovable. Nos sentimos responsables de los productos que vendemos ofreciendo un excelente servicio post venta.
- ✓ Para nuestros paneles fotovoltaicos estamos utilizando células de alto rendimiento de Sun Tech: Excelente calidad a un precio muy económico: Energía Renovable no tiene que costar el mundo!
- ✓ Los células se encuentran encapsuladas en una base de acetato de vinilo etilénico con fluoruro de polivinilo con una cubierta de vidrio templado, para brindarles la máxima protección en las condiciones ambientales severas.
- ✓ En conjunto con el excelente terminado de los módulos esta avanzada tecnología permite que los módulos solares poli cristalinos llegaran a un rendimiento energético mayor a 14%.
- ✓ El panel se complementa con una caja de conexión con certificación TÜV para minimizar problemas eléctricos.



**ESPECIFICACIONES TECNICAS:**

Parámetros	Tipo	50P
		Silicio Poli cristalino
Potencia máxima (watt)	W	50
Tolerancia de potencia		+3% /-3%
Voltaje óptima (Vmp)	V	17.5V
Corriente óptima (Imp)	A	2.86A
Voltaje máxima (Voc)	V	22.0V
Corriente máxima (Isc)	A	3.07A
Dimensiones		670*620*35mm
Marco (tipo, material y grosor)		Aluminium anodizado. Alloy 35mm
Voltaje máxima externa permitida		600V
Coefficiente de temperatura de Isc		±0.05%
Coefficiente de temperatura de Voc		-0.33%
Coefficiente de temperatura de P		-0.23%
Coefficiente de temperatura de Imp		+0.08%
Coefficiente de temperatura de Vmp		-0.33%
Resistencia a cargas mecánicas		200kg/m2
Eficiencia de conversión		> 15.75%

Nota: las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de prueba: 1 kW/m<sup>2</sup>, masa de aire: 1.5 y células 25°C.

**GARANTIAS:**

**Garantía Técnica por defectos de fabricación: 2 años**  
**Garantía de Rendimiento por degradación de potencia: 10 años a 90%,  
25 años a 85%**



For over 10 years we have been specializing in wind and water power products. We service everything we sell. Scores of companies come and go, but we have consistently been in the market to take care of our customers.

## 5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CONTROLADOR DE CARGA



# SHS™

PARA SISTEMAS HOGAREÑOS DE ENERGÍA SOLAR DE HASTA 170 VATIOS

La reconocida alta calidad y confiabilidad de los equipos Morningstar ahora están disponibles en un controlador solar de bajo costo. El Controlador SHS es ideal para sistemas de electrificación rural con uno a tres paneles solares. Este controlador cumple con las especificaciones del Banco Mundial y proporciona muchas prestaciones y beneficios.



### Beneficios de un Controlador Solar

Es importante incluir un controlador en un sistema de energía solar.

#### ■ Reduce el costo de reemplazo de baterías

La desconexión por bajo voltaje prolongará la vida útil de la batería. Las cargas son desconectadas automáticamente cuando la batería está baja y son reconectadas después de recargada la batería. La carga completa incrementará la vida útil de la batería y la capacidad de almacenamiento. El controlador maximizará la cantidad de energía solar hacia la batería y evitará que la misma se seque.

#### ■ Proporciona información de utilidad

Los LED muestran en pantalla información sobre el estado y el nivel de la batería, lo cual ayuda al usuario a operar mejor el sistema de energía solar.

### Ventajas del controlador SHS

El controlador SHS de Morningstar tiene múltiples ventajas en comparación con otros controladores:

#### ■ Bajo Costo

El SHS fue específicamente diseñado para satisfacer las necesidades del mercado de electrificación rural. El bajo costo es resultado del uso de la última tecnología y de un alto volumen de fabricación.

#### ■ Alta confiabilidad

Morningstar es un líder mundial en la provisión de controladores de carga solar. Todos nuestros controladores son diseñados para una alta calidad y una alta confiabilidad. El controlador SHS tiene un bajo régimen de fallas y prestará servicio por mucho tiempo.

#### ■ Protecciones electrónicas

El SHS tiene fusibles electrónicos incluidos que no necesitan reemplazo. Ninguna conexión errónea durante la instalación dañará el controlador.

#### ■ Tropicalización

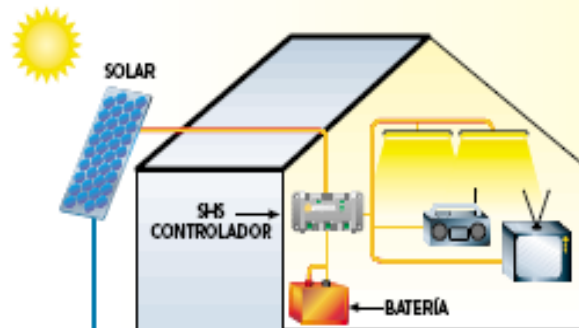
La electrónica del SHS está protegida con una cubierta a prueba de humedad que minimiza el daño que podrían causar la humedad y los insectos que eventualmente pudieran entrar en el sistema.

#### ■ Facilidad de uso

El controlador SHS es completamente automático y no necesita ajustes ni selecciones por parte del usuario.



# SHS™ CONTROLADOR SOLAR



## INFORMACIÓN TÉCNICA

CAPACIDADES NOMINALES: (TODOS A 12 VOLTIOS)

SHS-6	100 W ó 6 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA
SHS-10	170 W ó 10 A PARA EL SISTEMA DE CARGA SOLAR Y LA CARGA

• Punto de regulación	14.3 V	• Indicaciones de los LED	Verde: en carga Niveles de batería: verde, amarillo y rojo Rojo: advertencia de bajo voltaje y desconexión Los 3 LED destellando — Indicación de errores
• Desconexión por bajo voltaje	11.5 V	• Terminales	Para tamaños de cable de hasta 4 mm <sup>2</sup>
• Reconexión por bajo voltaje	12.6 V	• Dimensiones	15.1 x 6.6 x 3.6 cm
• Tipo de carga	PWM Serie (modulación de ancho de pulso) 4 etapas: En bruto, PWM, por incremento o "Boost" y flotante Carga compensada en temperatura	• Peso	113 g
• Protecciones electrónicas	Cortocircuito y exceso de corriente — sistema de carga solar y carga Polaridad inversa — en sistema de carga solar en la carga y en la batería Corriente inversa por la noche Alto voltaje — en la carga Rayos — en sistema solar en la carga y en la batería	• Consumo propio	8 mA máximo
• Tropicalización	Placa de circuito — recubrimiento según norma Terminales — protegidos contra corrosión	• Temperatura	-25°C a +50°C
		• Humedad	100% sin condensación
		• Encapsulado	IP 22
		• Cumple con normas de	CE, Banco Mundial

**GARANTÍA:** Período de dos años de garantía. Póngase en contacto con Morningstar o su distribuidor autorizado para conocer los términos completos.

DISTRIBUIDOR MORNINGSTAR AUTORIZADO:

**MORNINGSTAR**  
corporation

1008 Washington Crossing Road  
Washington Crossing, PA 19077 E.U.A.  
Tel: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458  
E-mail: [Info@morningstarcorp.com](mailto:Info@morningstarcorp.com)  
Website: [www.morningstarcorp.com](http://www.morningstarcorp.com)

MPB0107ENL0K 02/2000/UNIVERS 21 38712.02



## 6. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS INVERSOR SEMI SENOIDAL

**Top Brands**

---

**Stores**

- US
  - CircuitCity
    - Power Protection
      - Power Inverters


**Women**

Women

- Clothes
- Accessories
- Bags
- Jewelry
- Jewelry Care
- Maternity
- Petites
- Plus Size
- Shoes

US > CircuitCity > Power Protection > Power Inverters > Unknown brand Add to favorites

---



**NAME:**

---

Whistler - PI-200W - DC to AC Power Inverter with Surge Control

**DESCRIPTION:**

---

Whistler - PI-200W - DC to AC Power Inverter with Surge Control

**MODEL:**

---

PI-200W

**PRICE:** \$ 19.99

---

**SHIP COST:**

---

**BRAND:**

---



## 7. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PIRANÓMETRO



**MEASURES SHORTWAVE RADIATION REACHING THE EARTH'S SURFACE.**

### DESCRIPTION

Pyranometer meters measure the shortwave radiation reaching the Earth's surface, measured in Watts per meter squared.

The meters include data recording capability and can store up to 99 manually recorded measurements. In automatic mode, measurements are made every 30 seconds and averages are stored every 30 minutes. Daily totals are also calculated for the past 99 days.

An ideal pyranometer measures the entire solar spectrum, 280 to 2800 nanometers (nm). However, about 90% of sunlight energy is between 300 and 1100 nm. Models MP-100 and MP-200 are calibrated to estimate all of the shortwave energy from sunlight. Apogee pyranometer meters are calibrated under sunlight over a multiple day period to a heated and ventilated Kipp and Zonen model CM21 precision reference radiometer.

These meters still feature the cosine-corrected head, self-cleaning characteristics, and long-term stability.

### ORDERING INFORMATION

All products can be ordered at [www.apogeeinstruments.com](http://www.apogeeinstruments.com)

For technical information contact [techsupport@apogee-inst.com](mailto:techsupport@apogee-inst.com)



(SMPL) 99 Sample Measurements	(LOG) 99 Log Measurements	(LOG) 99 Daily Total Measurements
Viewable on meter LCD & downloadable		Downloadable Only

### RECOMMENDED ACCESSORIES



**AL-100 A** leveling plate used to keep meters with separate sensor level. (MP-200)

**AL-210** Leveling plate and mounting base for meters with integral sensor.



**AC-100** Communication cable is required for data download to a computer.

### SPECIFICATIONS

#### MEMORY

- 99 manually stored data points
- Automatically store 99 consecutive 30 minute averages
- 99 daily averages

#### COSINE RESPONSE

- 45° zenith angle: ± 1%
- 75° zenith angle: ± 4%

#### OPERATING ENVIRONMENT

- 0 to 50° C
- Less than 90% non-condensing, relative humidity up to 30° C
- Less than 70% relative humidity from 30 to 50° C

#### UNIFORMITY

- ± 3%

#### REPEATABILITY

- ± 1%

#### MATERIALS

- Anodized aluminum with cast acrylic lens

#### MASS

- MP-100: 150 g
- MP-200: 180 g

#### SENSITIVITY

- Custom calibrated to exactly 5.0 W m<sup>2</sup> per mV

#### ABSOLUTE ACCURACY

- ± 5%

#### INPUT POWER

- Standard 3 V coin cell battery

#### DIMENSIONS

- 2.4 cm diameter by 2.75 cm height

#### MEMORY

- 99 manually stored data points
- Automatically store 99 consecutive 30 minute averages

#### DISPLAY

- 4.2 by 2.8 cm

#### RANGE

- 0 to 1999 W m<sup>2</sup>

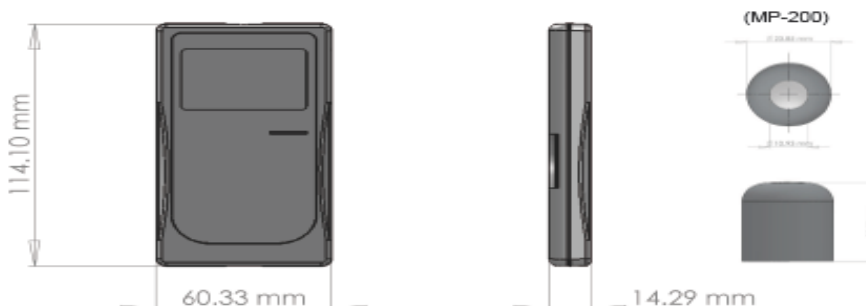
#### CABLE (MP-200 SERIES)

- 2 meters of twisted-pair wire
- Foil shield
- Santoprene Jacket
- Longer cable lengths are available in multiples of 5 meters

#### WARRANTY

- 1 year against defects in materials and workmanship

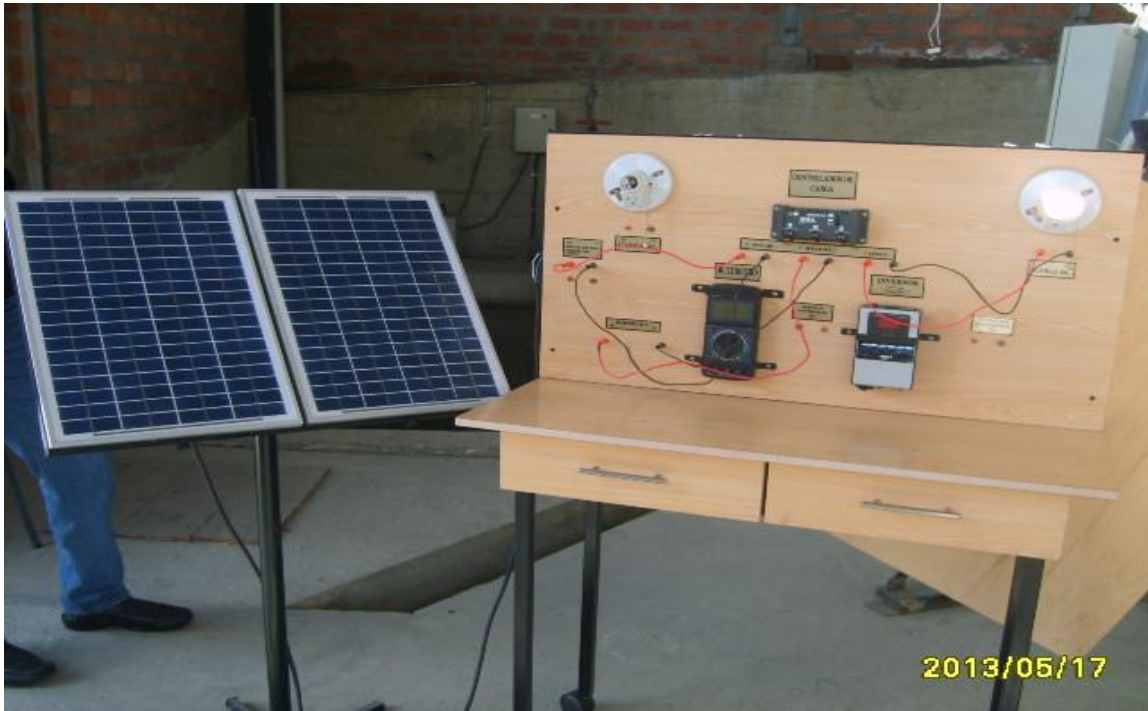
### MEASUREMENTS



**apogee**  
instruments inc.  
[www.apogeeinstruments.com](http://www.apogeeinstruments.com)

## 8. BANCO DIDÁCTICO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA









# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS  
NATURALES NO RENOVABLES**

**CARRERA TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL  
INDUSTRIAL**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO  
DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE ENERGÍA  
SOLAR FOTOVOLTAICA”**

**AUTORES: Lauro Zenón Loaiza Cuenca  
Luis Eduardo Riofrío Martínez**

**LOJA-ECUADOR  
2012**

## **1. TEMA:**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO  
PARA PRÁCTICAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”**

## 2. INTRODUCCIÓN.

La energía eléctrica no está presente en la naturaleza como fuente primaria de energía y en consecuencia, solo se puede disponer de ella obteniéndola por conversión de alguna otra forma de energía.

En la actualidad la principal forma de obtener la electricidad es mediante el uso de grandes centrales termoeléctricas en las que la energía térmica liberada por una fuente de energía primaria se transforma en electricidad a través de un proceso que exige el uso de turbinas y alternadores. Esta es la etapa final de conversión de energía mecánica en energía eléctrica. Otras energías, como la atómica, también pueden traer consecuencias catastróficas para los países. Desde la gran contaminación que provocan sus desechos hasta los hechos de gran repercusión social como lo ocurrido en Chernovil, accidente que aun plasma sus huellas en la población de esa ciudad.

El uso de energía hidráulica a su vez puede provocar grandes afectaciones en los bosques, ya que para la instalación de las centrales hidroeléctricas se talan una gran cantidad de árboles así como en ocasiones es necesario desviar el curso de ríos, situaciones que alteran el ecosistema del lugar.

Durante los últimos años debido al incremento del costo de los combustibles fósiles y los problemas ambientales derivados de su explotación, así como de lo referente a las otras energías se está asistiendo a un renacer de lo referido a la valoración de las energías renovables. La contaminación de los combustibles fósiles produce gases que deterioran la capa de ozono, provocando un mayor calentamiento de la tierra que se conoce como efecto invernadero. Este hecho ha generado un interés reciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de fuentes de energía renovable alternativa, que aunque aún presentan problemas de rentabilidad tienen la ventaja de renovarse y reducir en gran medida la contaminación ambiental actual provocada por el uso de energía fósil.

Las energías renovables son inagotables, limpias y se pueden utilizar en forma descentralizada ya que se pueden aprovechar en el mismo lugar en que se producen. El uso de los recursos renovables está directamente relacionado con el desarrollo sostenible. Desarrollo sostenible no significa el crecimiento sostenido del producto interno bruto de una economía determinada; por el contrario, está íntimamente ligado con el medio ambiente y significa que cada día existan mejores condiciones en la naturaleza para seguir dando vida, y ser ésta, a su vez, más feliz.

El aprovechamiento por el hombre de las fuentes de energía renovable, entre ellas la energía solar, eólica e hidráulica, es muy antiguo; desde muchos siglos antes de nuestra era ya se utilizaban y su empleo continuó durante toda la historia hasta la llegada de la “revolución industrial”, en la que, debido al bajo precio de petróleo, fueron abandonadas.

El presente trabajo práctico tiene como finalidad presentar una metodología de diseño, cálculo e implementación de un banco didáctico de generación eléctrica con un sistema solar fotovoltaico. Para lo cual nos hemos basado en los principios fundamentales de la conversión de la energía solar en energía eléctrica, radiación solar incidente, circuito de conversión y almacenamiento de energía, equipos transformadores de energía luminosa en energía eléctrica, resistencia de conductores eléctricos, diseños eléctricos, entre otros.

El sistema consiste en que de acuerdo a los cálculos obtenidos se pueda seleccionar y acoplar cada uno de los componentes del sistema solar fotovoltaico para poder obtener un rendimiento óptimo y poder suministrar de energía eléctrica sostenible.

### **3. DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y UTILIDAD.**

El banco didáctico de prácticas de energía solar fotovoltaica, se constituye en un equipo del laboratorio de energías renovables y eficiencia energética, para el estudio teórico-práctico de sistemas autónomos de energía solar fotovoltaica.

El banco consta de una estructura móvil que permite ser desplazada a conveniencia para las sesiones prácticas, para así permitir al panel fotovoltaico recibir radiación solar.

El panel fotovoltaico, puede ser inclinado a través de un rango de 0° a 90°; la célula (sensor de radiación) calibrada utilizada para medir la radiación solar, están por un lado, y todos los componentes de una instalación fotovoltaica básica usados para proporcionar 12 V de corriente directa y 120 V de corriente alterna se encuentran en el otro lado.

#### PRÁCTICAS QUE SE PUEDEN REALIZAR:

- Identificación de todos los componentes del banco y la forma en que están relacionados con su funcionamiento.
- Medición de la radiación solar.
- Medición de los parámetros de voltaje y potencia del panel fotovoltaico.
- Programación del regulador de carga.
- Análisis de la instalación del banco.
- Alimentación de corriente directa.
- Alimentación de corriente alterna.

#### LISTA DE COMPONENTES:

- Panel fotovoltaico de 100 Wp, 12 V.
- Regulador de carga electrónico programable, con una pantalla LCD grande.
- Inversor semi senoidal de 150 Wp para obtener 120 V de corriente alterna.
- Batería de 120 A / h.
- Lámparas utilizadas con cargas de 12 V y 120 V, 50 W
- Instrumento utilizado para medir la radiación solar en W/m<sup>2</sup>.
- Instrumento utilizado para medir la corriente de carga.
- Dos interruptores de protección termo- magnéticos.



La estructura de los componentes del banco didáctico será la que se presenta en la figura 3.1

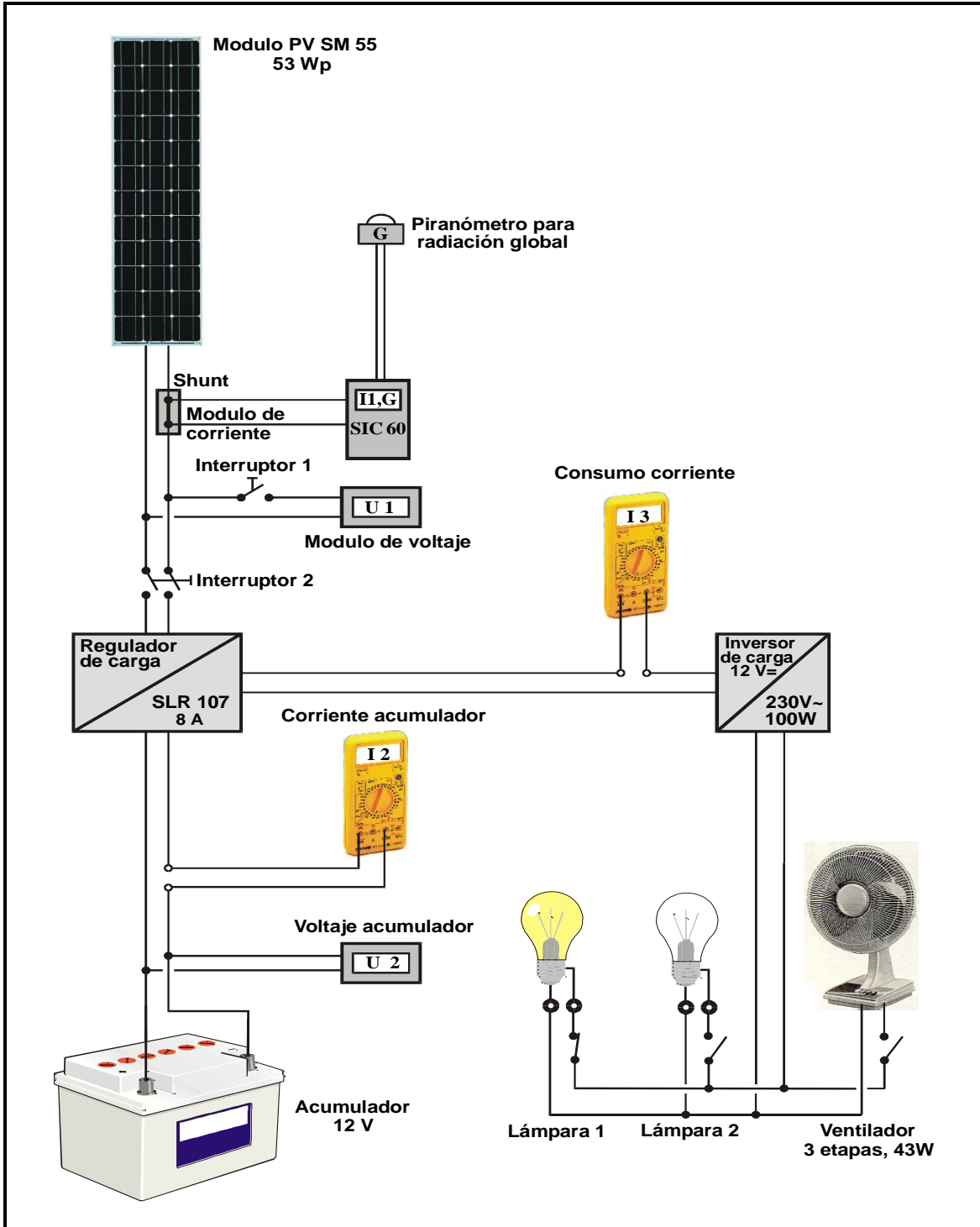


Fig.3.1 Esquema de conexión de dispositivos del banco

## **4. PROCESO METODOLÓGICO**

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizarán distintos métodos y técnicas de investigación los mismos que ayudaran a cumplir con el desarrollo investigativo, los cuales nos proporcionaran un mejor conocimiento acerca de la aplicación de los paneles solares fotovoltaicos.

Este proyecto está basado en el diseño e instalación de un Tablero Didáctico para la producción de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos y almacenamiento de la misma en forma de energía química en baterías para su posterior transformación, por lo cual este tema es considerado de suma importancia para el desarrollo práctico de los estudiantes incentivando a que la enseñanza sea de forma didáctica.

Los principales métodos que se utilizarán para conocer más acerca del tema redactado, serán principalmente el Inductivo y el Deductivo, iniciando desde el análisis, revisión e investigación, llegando hasta las conclusiones y determinando de esta manera su verdadera situación, así mismo sugiriendo las recomendaciones necesarias como todas las posibles soluciones dadas.

También utilizaremos la técnica de la Observación Directa para comprobar con mejor exactitud el funcionamiento del banco de energía solar fotovoltaico, ya que nos servirá como guía para el desarrollo del proyecto y nos facilitará la elaboración de las prácticas didácticas, para que los estudiantes se formen con conocimientos de acuerdo a los avances del desarrollo tecnológico.

Para el cumplimiento de este trabajo práctico seguiremos los siguientes pasos:

1. Diseño y elaboración del tablero didáctico.
2. Adquisición de cada uno de los instrumentos y eléctricos.
3. Montaje e instalación de los instrumentos eléctricos.
4. Rotulación de cada uno de los elementos que conforman el tablero didáctico.

5. Comprobación del tablero didáctico.
6. Guía para la elaboración de prácticas.
7. Prácticas.

Los elementos utilizados están ubicados en el tablero de manera que el estudiante pueda ejecutar las prácticas sin peligro alguno ya que el equipo está protegido contra descargas eléctricas, evitando así todo tipo de tragedia.

## **5. REVISIÓN BIBLIOGRAFÍA**

### **5.1 Energía solar.**

#### **5.1.1 Generalidades.**

El Sol se encuentra como promedio, a 150 millones de kilómetros de la Tierra, distancia establecida como 1 Unidad Astronómica (1 UA). La luz del Sol viaja a la velocidad aproximada de 300 000 km/s, demorando unos 8 minutos en llegar a la Tierra. Algunas de las magnitudes que caracterizan al flujo de energía que llega a la Tierra, proveniente del Sol son:

Irradiancia (I): Representa la energía solar por unidad de tiempo (potencia) y unidad de área. Unidad:  $[\text{J/s m}^2]$  ó  $[\text{W/m}^2]$  , etc.

Irradiación (G): Representa la energía solar por unidad de superficie durante un tiempo determinado. Unidad:  $[\text{kWh/m}^2 \text{ día}]$  ó  $[\text{kWh/m}^2 \text{ mes}]$  , etc.

La constante Solar (S) es la irradiancia en un plano normal, que recibe el exterior de la atmósfera terrestre, a la distancia de 1 UA del Sol.

$$S = 1\,367 \text{ W/m}^2$$

Al atravesar la atmósfera terrestre, la energía solar recibe los efectos de la difusión, absorción y la reflexión. La irradiación total o global que se recibe en la superficie terrestre, es inferior al valor de  $S$  y para su estudio, se consideran tres componentes:

$$G(\beta) = G_{dir}(\beta) + G_{dif}(\beta) + G_{dir+dif}(\rho, \beta) \quad (1)$$

Donde:

$\beta$ : Ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal de la superficie que recibe la irradiación. (Ver Fig. 5.2)

$G(\beta)$ : Irradiación global para el ángulo  $\beta$

$G_{dir}(\beta)$ : Componente directa de la irradiación global, es la que llega directamente de los rayos del Sol, depende del ángulo  $\beta$ .

$G_{dir+dif}(\rho, \beta)$ : Componente reflejada en objetos superficiales, llamada albedo.

$\rho$ : Coeficiente de reflectividad

### 5.1.2. Movimiento aparente del Sol

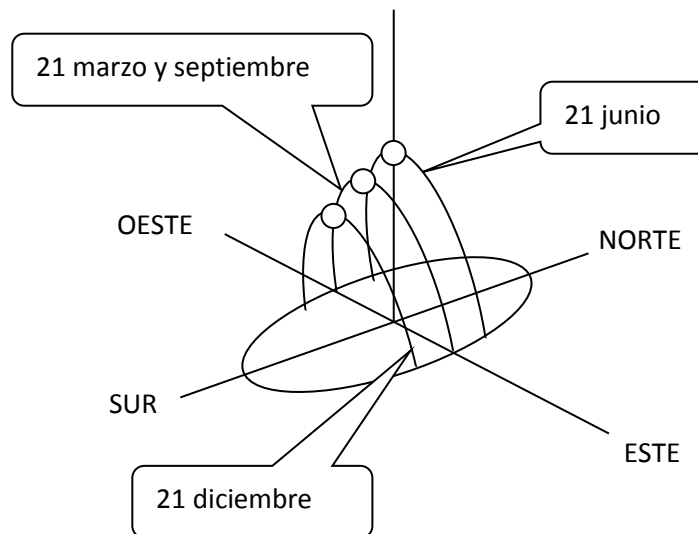


Fig. 5.1 Esquema del movimiento aparente del Sol

El ángulo de inclinación del plano de rotación sobre si misma de la Tierra, con el plano de rotación alrededor del Sol, provoca que para un observador en Tierra, el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste, se presente con variaciones cíclicas anuales, las que deciden las estaciones y sus cambios climáticos. El movimiento aparente del Sol, depende de la latitud del lugar considerado y para el hemisferio Norte se caracteriza por una inclinación hacia el Sur, como se refleja en la Fig. 5.1. Debe destacarse que la salida del Sol se desplaza alrededor de Este, cuya observación dio lugar a los primeros calendarios de la humanidad. En la Fig. 5.1 se observa la inclinación de la trayectoria solar hacia el Sur, en el hemisferio Norte, lo cual es importante considerar en la captación de la radiación solar

### Coordenadas.

Algunas de las coordenadas usadas, son:

- Declinación ( $\delta$ ): distancia angular del Sol y el ecuador, medida sobre el meridiano.
- Angulo horario ( $\omega$ ): distancia angular del meridiano del observador al meridiano del astro, medida sobre el ecuador.
- Altura solar sobre el plano horizontal (h):
- Azimut (a):
- Cenit (z): Complemento de (h)
- Latitud (u): Distancia angular del paralelo del punto de observación hasta el ecuador, medida sobre el meridiano.

En las Figuras 5.3 y 5.4 se muestran esquemas de estos parámetros

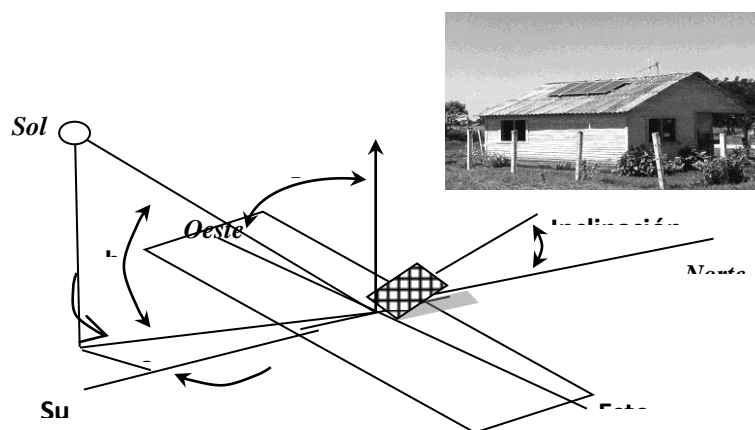


Fig. 5.2 Coordenadas

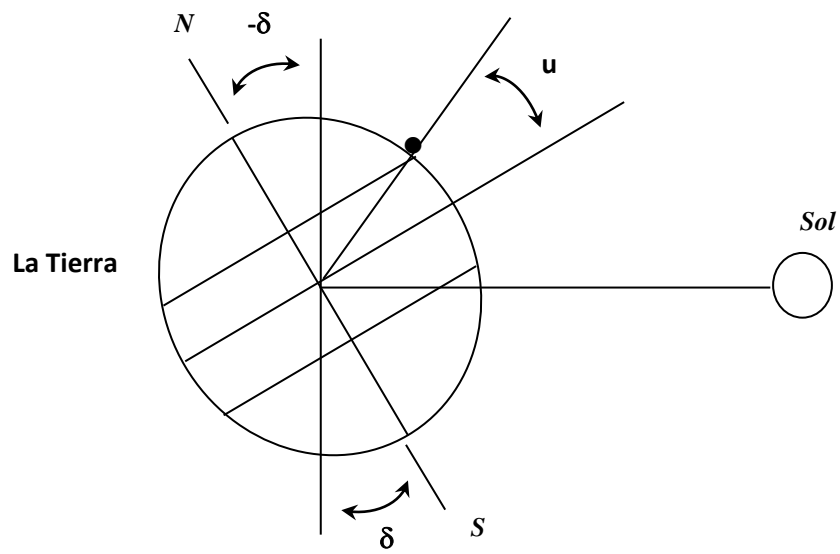


Fig.5.3. Representación gráfica de la declinación y la latitud

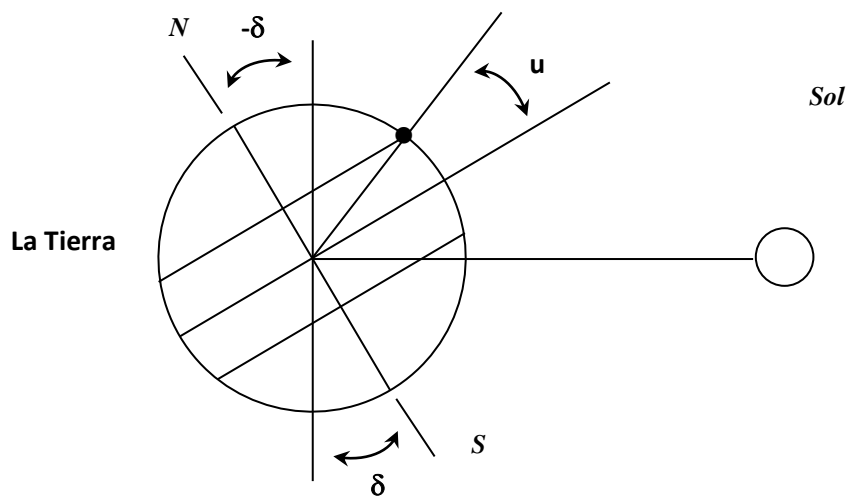


Fig. 5.4. Representación gráfica de la declinación y la latitud.

Como promedio, la radiación solar que llega a las capas exteriores de la atmósfera es de  $1\,370\text{ W/m}^2$ , mientras que el máximo valor que se recibe sobre la superficie de La Tierra es aproximadamente de  $1\,000\text{ W/m}^2$ , siendo menor en la medida en que los rayos de luz atraviesan un mayor espesor de aire.

Como un modelo para el estudio de la absorción producida por la atmósfera, se introduce el concepto de “masa de aire”, definido por:

$$m = \frac{1}{\cos(z)} \quad (2.2)$$

En el caso de  $z = 0$ , se obtiene  $m = 1$  y se simboliza (AM 1).

Si  $z = 48^\circ$ ,  $m = 1,5$ ; se simboliza (AM 1,5) y puede interpretarse como Air Mas = 1,5

La condición AM 1,5 se utiliza en la normalización de los paneles fotovoltaico

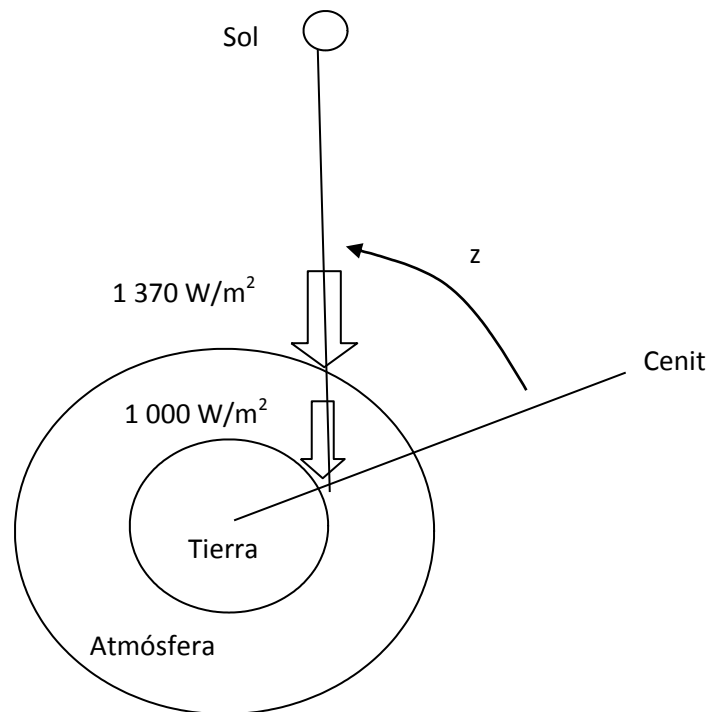


Fig. 5.5 Representación esquemática vinculada con la masa de aire

Una importante característica de la radiación solar es su distribución espectral. En la Fig. 5.6 se muestra el espectro de la radiación solar extraterrestre y la del Cuerpo Negro a 5 780 K, el cual se utiliza como modelo para la radiación solar. La radiación solar que se recibe en la superficie terrestre está afectada por efectos de absorción selectiva del H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y otros elementos de la atmósfera. En la Fig. 5.6 se señala el rango ( $\Delta$ ) correspondiente a la región visible del espectro, estando hacia la derecha la región infrarroja, con mayores longitudes de onda y hacia la izquierda, la ultravioleta. Dado que numerosas sustancias que reciben la radiación solar, reaccionan de forma diferente para cada componente, según la longitud de onda, resulta importante tener en cuenta el espectro solar

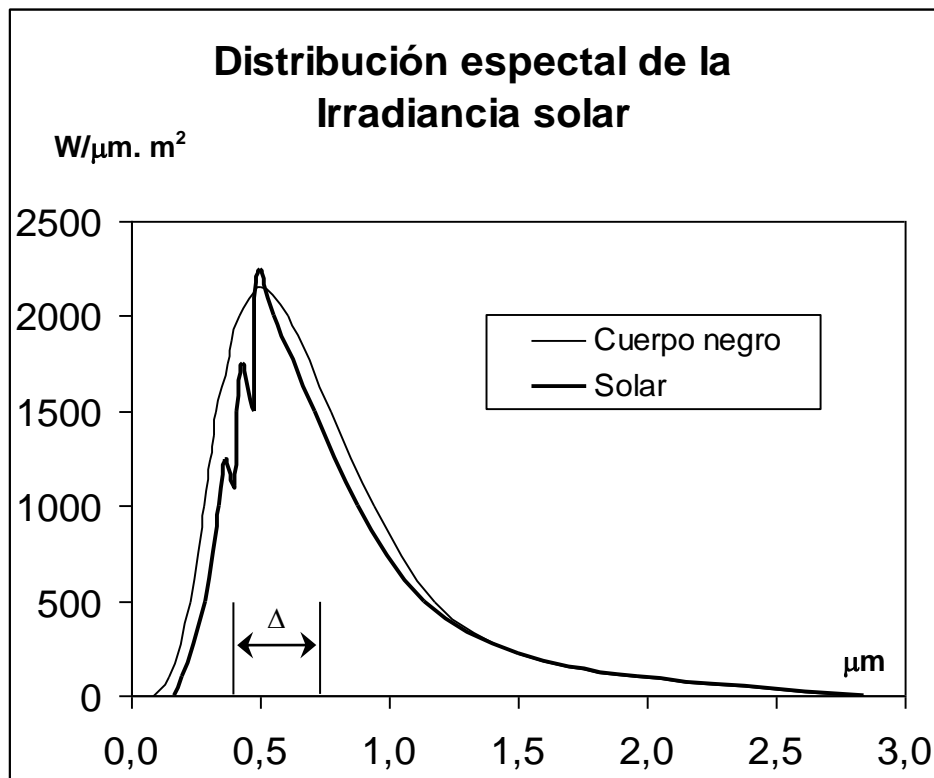


Fig. 5.6 Representación del espectro de la radiación solar y del Cuerpo Negro (T = 5 780 K).

## 5.2 Evaluación Del Recurso

Una de las magnitudes que más caracteriza el recurso energético en las aplicaciones de la energía solar, es la Irradiación. En la Fig. 5.7 se muestra un ejemplo de sus valores, para una estación de Ciego de Ávila, a través de una representación gráfica. Resulta



común exponer los datos primarios considerando una superficie receptora horizontal y posteriormente analizar las variaciones según la orientación o inclinación que se le coloque a los captadores. En la Fig. 5.7 , se destaca la variación de los valores según los meses del año, lo cual resulta importante en el aprovechamiento del recurso solar.

Considerando inicialmente la situación más clásica o simple, se supone que la Irradiación durante cada mañana y su correspondiente tarde son simétricas alrededor del mediodía y así a lo largo de todo el año. Para los captadores con orientación fija (sin sistema de seguimiento solar), pero considerando la orientación como variable independiente que ha de permitir que la captación (o generación) de energía total en todo el año, sea la máxima, se puede obtener a través de un proceso de optimización, que la orientación que logra la máxima captación total del año corresponde con la orientación de los receptores hacia el Sur (Azimut = 0) y con Inclinación igual a la latitud del lugar. Este resultado es para el hemisferio Norte y es consecuencia de la simetría del problema planteado, pues la orientación al Sur se corresponde con la inclinación preferente del Sol, (para regiones del hemisferio Norte) y con una orientación de Azimut = 0, se le ofrece igual oportunidad a la captación durante las mañanas y las tardes. En muchas aplicaciones, este criterio es el utilizado, aunque no siempre debe considerarse válido.

Resulta interesante destacar la influencia de la inclinación de los receptores (con Azimut = 0). En la Fig. 5.7 se presenta la captación de energía, para tres diferentes inclinaciones de los receptores, para la estación de Ciego de Ávila. La estación tiene como latitud a  $21,8^{\circ}$ , y se ha tomado aproximadamente como  $20^{\circ}$ , se han superpuesto resultados con inclinaciones de

$0^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ . y  $40^{\circ}$

Puede observarse que para inclinaciones menores, se logra mayor captación en los meses de verano, (dada la mayor altura del Sol); así como mayores captaciones en invierno, para inclinaciones mayores del captador.

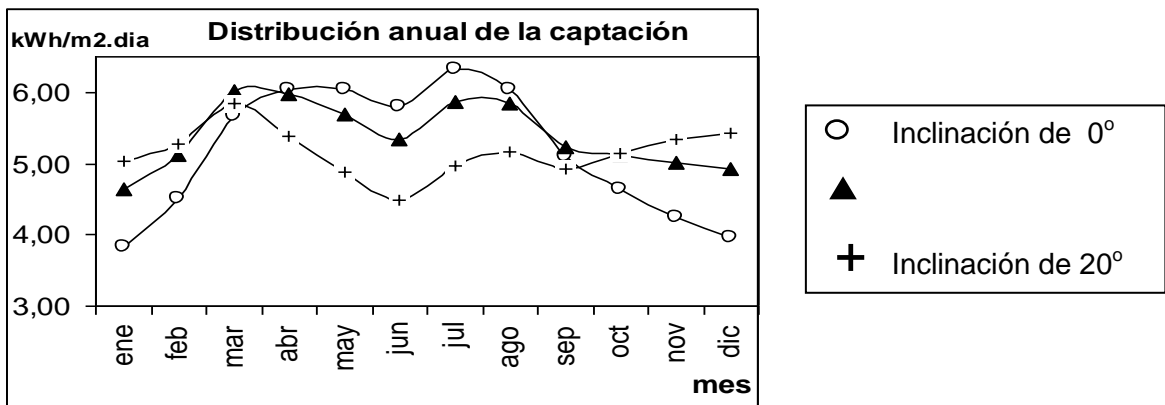


Fig. 5.7 Distribución anual de la captación de Irradiación solar en Ciego  
 Los valores representados en la Fig. 5.7 , así como valores para otras dos estaciones, se presentan en la Tabla 5.1, los que servirán para posteriores cálculos

TABLA 5.1 a) Irradiación [kWh/m<sup>2</sup> día] para la Estación de Ciego de Ávila (Latitud: 21.8°)

$\beta$	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Prom
0°	3,83	4,52	5,67	6,04	6,04	5,80	6,33	6,04	5,10	4,65	4,24	3,97	5,20
20°	4,64	5,12	6,03	5,97	5,69	5,34	5,87	5,84	5,24	5,12	5,02	4,93	5,40
40°	5,03	5,27	5,84	5,39	4,88	4,48	4,97	5,16	4,93	5,14	5,34	5,43	5,15

TABLA 5.2 b) Irradiación [kWh/m<sup>2</sup> día] para la Estación de Casa Blanca (Latitud: 23,2°)

$\beta$	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Prom
0°	3,93	4,63	5,34	6,20	5,88	4,36	6,01	5,55	4,77	4,24	3,25	3,34	4,79
20°	4,71	5,20	5,63	6,14	5,57	4,11	5,64	5,39	4,88	4,60	3,66	3,97	4,96
40°	5,15	5,39	5,47	5,57	4,82	3,56	4,82	4,81	4,62	4,62	3,83	4,33	4,75

En ocasiones se utiliza el criterio de aumentar o disminuir 10° ó 15° la inclinación de los receptores, para favorecer la captación (o generación) de energía, en un determinado periodo del año. El análisis realizado alrededor de la Fig. 5.7, permite ratificar este criterio. Variadas situaciones se presentan en aplicaciones agrícolas, de turismo y otras, donde las demandas de energía poseen características diferenciadas en las dos épocas del año.

En la Fig 5.8 se muestra la simulación de la influencia de la inclinación del receptor, en la captación de la energía solar, con orientación del receptor al Sur (Azimut = 0). En

este caso, para Ciudad de La Habana, donde se ha aproximado su latitud a  $25^{\circ}$ . Puede observarse que la inclinación que mayor captación de energía solar logra, es la que coincide con la latitud del lugar. También se observa que para desviaciones de  $\pm 15^{\circ}$  (Inclinaciones de  $10^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ ), las disminuciones relativas de la captación anual corresponden aproximadamente con un 2,5 %.

## 6. CRONOGRAMA

MESES	May. 2012				Jun. 2012				Jul 2012				Ago. 2012				Sep. 2012				Oct 2012				Nov. 2012			
	SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS				SEMANAS							
ACTIVIDADES	1	2	3	4	1	2	4	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aprobación del proyecto		x																										
Recopilación bibliográfica y análisis de la información					x	x	x	x																				
Construcción del banco									x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										
Elaboración de guía didáctica																		x	x	x								
Prácticas y evaluación de funcionamiento																					x	x	x					
Presentar los resultados obtenidos durante el funcionamiento del prototipo																									x	x	x	
Socializar los resultados ( defensa pública de tesis)																												x

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS:

14. ALCOR, E. Instalaciones Solares Fotovoltaicas. Ed. Progensa, 2008.
15. ÁNGULO, J. Ma. Desde la válvula hasta el circuito integrado. Ed. Paraninfo. 1991.
16. CAAMAÑO, E. Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la energía solar fotovoltaica, ISBN 84-7834-464-0, pág. 20.vol. 2, México 2004.
17. CASTRO, M.; Carpio, J.; Guirado, R.; Colmenar, A. y Dávila, L. Energía solar fotovoltaica. Ed. CENSOLAR, 2000.
18. CASTRO, M. Simulación de Centrales de Energía Solar. Aplicación a la Gestión Energética. Viesgo, 1990.
19. CENSOLAR. Curso Programado de Instalaciones de Energía Solar. PROGNSA. Sevilla, 1993.
20. CENSOLAR. Manual del Usuario de Instalaciones Fotovoltaicas. 2002.
21. CIEMAT. Fotovoltaica, Ed. CIEMAT, 2000.
22. COLMENAR, A.; Castro, M. Biblioteca Multimedia de las Energías Renovables. PROGNSA 1998.
23. DÍAZ, P.; Lorenzo, E. «Solar home system battery and charge regulator testing, Progress in Photovoltaics. Research and Applications, vol. 9, 5, págs. 363-377, 2001
24. FOUILLÉ, Amador, Electrónica para ingenieros, Automatismo Eléctrico y Electrónico, Agilar S.A. Ediciones 2. 1981 Manual de programación de PLC en español Editorial Diana México 15, 16, 17, 18, 19, 20 Pág.

- 25.** IDAE. Condiciones Técnicas para Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. 2002.
- 26.** LORENZO, E.; Castro, M.; Perpiñán, O. «Planta fotovoltaica de conexión a red: estimación de sombras mutuas entre seguidores y optimización de separaciones». Era solar: Energías renovables, ISSN 0212-4157, págs. 28-37. 2006.