



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

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

TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL

TÍTULO

“Repotenciación del panel solar ubicado en el Laboratorio de Electrónica para utilizarlo como fuente emergente de iluminación”

Informe técnico previo a la obtención
del título de Tecnólogo en
Electricidad y Control Industrial.

AUTOR

Miguel Gabriel Gualán Andrade

DIRECTOR

Ing. Jorge Enrique Carrión Gonzales, Ms Sc.

LOJA – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA

Haber revisado el informe técnico titulado **"REPOTENCIACIÓN DEL PANEL SOLAR UBICADO EN EL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA PARA UTILIZARLO COMO FUENTE EMERGENTE DE ILUMINACIÓN"**, presentado por el señor egresado **Miguel Gabriel Gualán Andrade**, al respecto me permito indicar que el mismo cumple con todos los requisitos tanto de forma como de fondo requeridos por el Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, de la Universidad Nacional de Loja; por lo que autorizo su presentación y sustentación correspondiente.

Loja julio 2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jorge Enrique Carrión González', is centered on the page. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.

Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo **MIGUEL GABRIEL GUALÁN ANDRADE** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y declaro expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes 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.

Firma:



Cédula: 1105107674

Fecha: 13 de julio de 2015

Celular: 0980398909

Correo: gabrielga90@hotmail.com

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

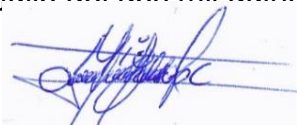
Yo. **MIGUEL GABRIEL GUALÁN ANDRADE** declaro ser autor de la tesis titulada **“REPOTENCIACIÓN DEL PANEL SOLAR UBICADO EN EL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA PARA UTILIZARLO COMO FUENTE EMERGENTE DE ILUMINACIÓN”** como requisito para optar el grado de: **TECNÓLOGO EN ELECTRICIDAD Y CONTROL INDUSTRIAL**, autorizo 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 RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional 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 trece días del mes de julio del dos mil quince, firma el autor.

Firma:



Autor: Miguel Gabriel Gualán Andrade

Dirección: Loja (IV Centenario: Miguel Riofrío y Nicolas Garcia)

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Jorge Enrique Carrión González, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Julio Cuenca Tinitana, Mg. Sc.

Ing. Juan Ochoa Aldeán, Mg. Sc.

Ing. Byron Solórzano Castillo, Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de Tesis primeramente me gustaría agradecerle a ti Dios; por darme tu bendición y poder llegar hasta donde he llegado, por qué hiciste realidad este sueño anhelado. Agradezco también la Universidad Nacional de Loja por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

También agradezco a todos mis profesores durante toda mi carrera profesional; quienes me brindaron su apoyo y sus conocimientos. Y en especial un más profundo agradecimiento a mi director de Tesis al Ing. Jorge Enrique Carrión González.

También quiero agradecer de una manera muy especial a mi familia que nunca dejaron de apoyarme en estos años de estudio, de una manera especial a mis padres y hermanos.

Gracias por la paciencia, comprensión y cariño.

DEDICATORIA

Este trabajo dedico a Dios quien me ha sabido guiarme por el camino del bien, en especial quiero dedicar a mis padres Luis Gualán y María Natividad Andrade; quienes me brindaron su amor y comprensión incondicional durante todos los días de mi existencia.

A toda mi familia, a mis hermanos, a mis tíos, que de una u otra manera siempre estuvieron ahí conmigo apoyándome y ayudándome en lo que necesitaba.

Miguel Gabriel Gualán

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
1 TÍTULO.....	1
2 RESUMEN.....	2
3 INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	5
Objetivos Generales:	5
Objetivos específicos:.....	5
4 MARCO TEÓRICO	6
4.1 Energía Solar	6
4.2 Sistemas de Captación y de Almacenamiento	7
4.2.1 Utilización directa:.....	7
4.2.2 Transformación en calor:	7
4.2.3 Transformación en electricidad:.....	8
4.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR.....	8
4.3.1 Ventajas.....	8
4.3.2 Inconvenientes:.....	9
4.4 RADIACIÓN SOLAR	10
4.4.1 Tipos de radiación Solar	11
4.4.2 Proporciones de radiación:	12
4.4.3 Movimiento del sol:	13
4.5 IRRADIACIÓN.....	17
4.6 INSOLACIÓN:	18
4.7 La radiación solar. Unidades.....	19
4.7.1 Unidades	20

4.8	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	20
4.8.1	Efecto fotovoltaico	21
4.8.2	Tecnología fotovoltaica.....	23
4.8.3	LA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	25
4.9	APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	28
4.9.1	Sistemas individuales CD para aplicaciones domésticas.	29
4.9.2	Sistemas individuales CA para aplicaciones domésticas	30
4.9.3	Sistemas aislados para usos productivos.....	31
4.9.4	Sistemas centralizados aislados de la red.....	32
4.10	EFFECTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	33
4.11	COMPONENTES DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	34
4.11.1	Módulos fotovoltaicos.....	34
4.11.2	Batería.....	37
4.11.3	El Regulador o Controlador de Carga	41
4.11.4	El inversor:	42
4.11.5	Otros elementos en las aplicaciones.....	43
4.12	CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN TÉCNICA ACTUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	46
4.12.1	MODELO Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EXISTENTE.....	47
5	TÉCNICAS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO	50
6	DESARROLLO	51
6.1	ESTUDIO DE LA CARGA	55
6.2	CÁLCULO EMPLEADO PARA LA REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EXISTENTE.....	56
6.2.1	Carga total diaria	56
6.2.2	Corriente pico del módulo.....	56
6.2.3	Dimensionamiento del módulo fotovoltaico.	57
6.2.4	Dimensionamiento de la Batería.....	58
6.2.5	Dimensionamiento del Inversor	59
6.2.6	Capacidad de la unidad de control	60
6.2.7	Cálculos del cableado de la instalación.....	60
6.2.8	ESQUEMAS:	64

7	MATERIALES Y PRESUPUESTO:.....	66
8	RESULTADOS:	67
9	CONCLUSIONES:	68
10	RECOMENDACIONES	69
11	BIBLIOGRAFÍA.....	70
12	ANEXOS:	71
	ANEXO 1	71
	ANEXO 2	72
	ANEXO 3	73
	ANEXO 4	74
	ANEXO 5.....	74

1 TÍTULO.

“REPOTENCIACIÓN DEL PANEL SOLAR UBICADO EN EL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA PARA UTILIZARLO COMO FUENTE EMERGENTE DE ILUMINACIÓN”

2 RESUMEN

Con la ejecución del proyecto se determinó los elementos que conforman el sistema solar fotovoltaico ubicado en el laboratorio de electrónica de la Universidad Nacional de Loja, identificando que el sistema actual se encuentra fuera de funcionamiento.

Haciendo uso del atlas de generación solar propuesto por el CONELEC, se determinó el potencial de radiación solar existente en la zona, donde se encuentra instalado este sistema solar fotovoltaico, y luego de evaluar el estado de cada elemento que conforma el sistema, se identificó y seleccionó los equipos necesarios para repotenciar y efectuar la puesta en marcha del sistema actual.

SUMMARY

Project implementation with the elements of the photovoltaic system installed in the electronics laboratory of the National University of Loja was determined by identifying the current system is not functioning.

Using Atlas solar generation proposed by CONELEC, the potential for existing solar radiation in the area, which is installed the solar photovoltaic system, and then to evaluate the status of each element that makes up the system, was identified was determined and selected the equipment needed to refurbish and make the implementation of the current system.

3 INTRODUCCIÓN

Un sistema de generación solar fotovoltaico es el encargado de convertir la radiación solar en energía eléctrica, este tipo de sistemas están compuestos por paneles fotovoltaicos, inversores, regulador de carga y baterías.

Es de vital importancia realizar un correcto dimensionamiento del regulador, este se encarga de regular los procesos de carga y descarga de las baterías, garantizando el adecuado voltaje y / o corriente de los paneles solares a las baterías para que estas se mantengan en condiciones óptimas.

Para que este sistema de generación de energía eléctrica funcione correctamente, se debe efectuar un mantenimiento preventivo y correctivo, identificar el tiempo de vida útil de cada equipo, determinar cuándo se debe efectuar el cambio de los equipos, esto permitirá que el sistema siempre este en operación.

OBJETIVOS

Objetivos Generales:

Repotenciar el panel solar ubicado en el laboratorio de electrónica para utilizarlo como fuente emergente de iluminación.

Objetivos específicos:

- Determinar la carga total diaria del sistema fotovoltaico; para posteriormente según el caso repotenciarlo.
- Realizar un diagnóstico de los equipos que comprenden el sistema fotovoltaico actual ubicado en el laboratorio de electrónica.
- Realizar cálculos de los diferentes equipos que conforman el sistema fotovoltaico.
- Obtener los datos climatológicos del lugar donde se va a llevar cabo la repotenciación del sistema fotovoltaico.

CAPITULO 1

4 MARCO TEÓRICO

4.1 Energía Solar

Casi toda la energía disponible en el planeta tiene tres fuentes fundamentales: el sol en forma directa o indirecta (combustibles fósiles, biomasa, vientos y rayos solares); el proceso de formación cósmica que precedió a la formación del sistema solar actual (energía nuclear y geotermia) y, finalmente, una pequeña parte de la energía disponible proviene de los movimientos lunares (Figura 1)

El sol es la fuente de casi toda la energía terrestre. Él permite la fotosíntesis que transforma la energía de los rayos solares en energía química, indispensable para la vida vegetal y animal. La fotosíntesis también ha permitido la formación de los combustibles fósiles. El sol está en la génesis de los vientos y es el motor que mueve los ciclos hidrológicos. En forma directa, la energía solar aparece bajo la forma de energía solar propiamente dicha, hidráulica o de energía eólica.

La energía solar que se recibe en la superficie de la tierra se ha calculado equivalente a 178 000 TW-año. En 1990 se calculaba que esta cantidad era 15 000 veces mayor que el consumo global. No obstante, cerca del 30% de esta energía es reflejada en el espacio, 50% es absorbida, convertida en calor y reenviada a la superficie terrestre; de este 50%, 49 000 TW-año son reenviados como energía calorífica bajo la forma de radiación electromagnética y 40 000 TW-año como energía calórica propiamente dicha.

Los 20% restantes permiten la formación de los vientos (~350 TW), alimentan de energía los ciclos hidrológicos (~35 000 TW) y tan solo una muy pequeña parte de la energía solar es utilizada por la fotosíntesis, gracias a la cual la biodiversidad planetaria existe (100 TW).

La energía geotérmica, considerada también renovable, y proveniente del proceso de formación cósmica, puede ser sustraída de la corteza terrestre hasta un valor de 30 TW-año. La energía de las mareas, creada por la

atracción de la luna, puede también entregar una pequeña parte de la energía utilizable del orden de 3 TW-año. Las estimaciones del potencial de las energías renovables (biomasa primaria, energía solar, energía hidráulica, energía eólica y energía geotérmica) muestran que su contribución se multiplicará por diez, pudiendo llegar hasta 10 o 15 TW-año. Este crecimiento de las energías renovables dependerá sobretodo de sus costos, de los impuestos a las energías no renovables y de las políticas energéticas. (CONELEC, 2008)

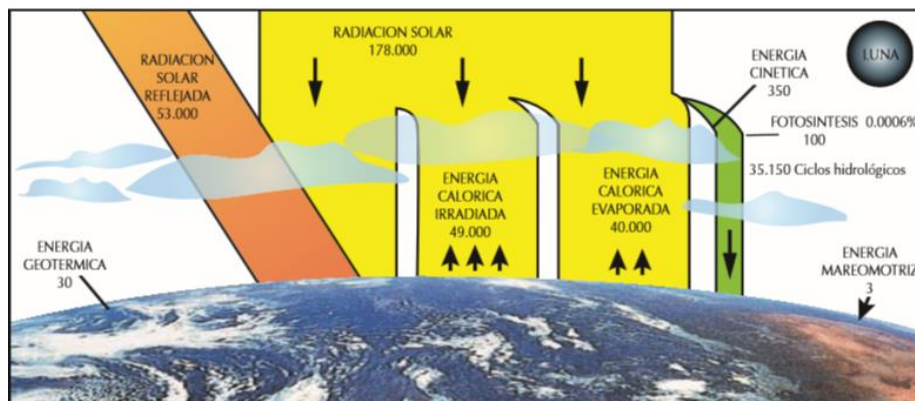


Fig. 1. (Energía que ingresa a la tierra en promedio cada año, expresada en teravatios-año (TW-año). Fuente: (CONELEC, 2008)

4.2 Sistemas de Captación y de Almacenamiento

La energía solar se la puede aprovechar de varias maneras diferentes:

4.2.1 Utilización directa:

Mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la energía solar pasiva.

4.2.2 Transformación en calor:

Es la llamada energía solar térmica que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a la calefacción para atemperar piscinas, etc. (J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

4.2.3 Transformación en electricidad:

Es la llamada energía solar fotovoltaica que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

4.3 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR

4.3.1 Ventajas

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras: es no contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere mucho mantenimiento. No requiere de una extensa instalación para operar. Los generadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya construidos, pueden generar su propia energía de forma segura y silenciosa.

No consume combustibles fósiles. No genera residuos. No produce ruidos es totalmente silenciosa. Es una fuente inagotable. Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente. Además de las ventajas ambientales también debemos tener en cuenta las socio-económicas, una instalación tiene una vida larga (los paneles solares duran aproximadamente 30 años).

Además resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad. No existe una dependencia de los países productores de combustibles. Puede instalarse en zonas rurales desarrollo de tecnologías propias. Se puede utilizar en lugares de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general. Puede venderse el excedente de electricidad a una compañía eléctrica. Puede aumentarse la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

No es económicamente competitiva con otras energías actuales. Producción variable según climatología del lugar y época del año. Otro inconveniente es el

rendimiento obtenido y el espacio de terreno ocupado por los elementos captadores: el rendimiento final se estima en solo un 13%.

4.3.2 Inconvenientes:

Es una fuente energética intermitente, ya que depende del clima y del número de horas de Sol al año. Además, su rendimiento energético es bastante bajo.

Tabla 1. Ventajas e inconvenientes de la energía solar

ENERGIA SOLAR	
VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escaso impacto ambiental. ▪ No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente. ▪ Distribuida por todo el mundo. ▪ No tiene más costos una vez instalados. ▪ No hay dependencia de las compañías suministradoras.
INCONVENIENTES	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos. ▪ Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones. ▪ Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno.

Tabla 1: (ventajas e inconvenientes Energía Solar)
Fuente: (J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

4.4 RADIACIÓN SOLAR

El sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 5.500 °C, en cuyo interior tiene lugar a una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar. Figura 2



Fig. 2. (Radiación Solar)
Fuente: <http://bioenciclopedia.com/radiacion-solar/>

La radiación en el sol es $63.450.720\text{W/m}^2$. Si suponemos que el sol emite en todas las direcciones y construimos una esfera que llegue hasta la atmósfera terrestre, Figura 3 es decir que tenga un radio de distancia de 149,6 millones de km podremos determinar cuál es la radiación en este punto. Este valor de la radiación recibida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como **constante solar** (1353 W/m^2), variable durante un año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre. (J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

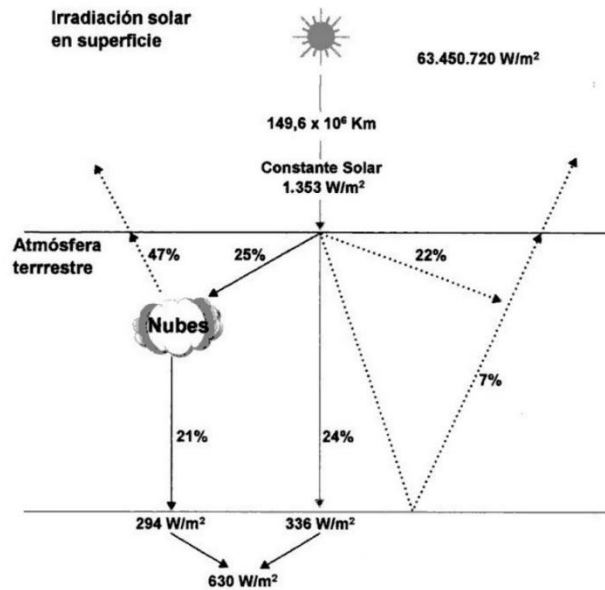


Fig. 3. (Intensidad media de la radiación solar sobre la superficie terrestre)
Fuente: (J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmosfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial. (J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

4.4.1 Tipos de radiación Solar

En función de cómo inciden los rayos en la tierra se distinguen tres componentes de la radiación solar. Figura 4.

- **Directa:** Es la recibida desde el sol sin que se desvíe en un paso por la atmosfera.
- **Difusa:** Es la que sufre cambios en su dirección principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmósfera.
- **Albedo:** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

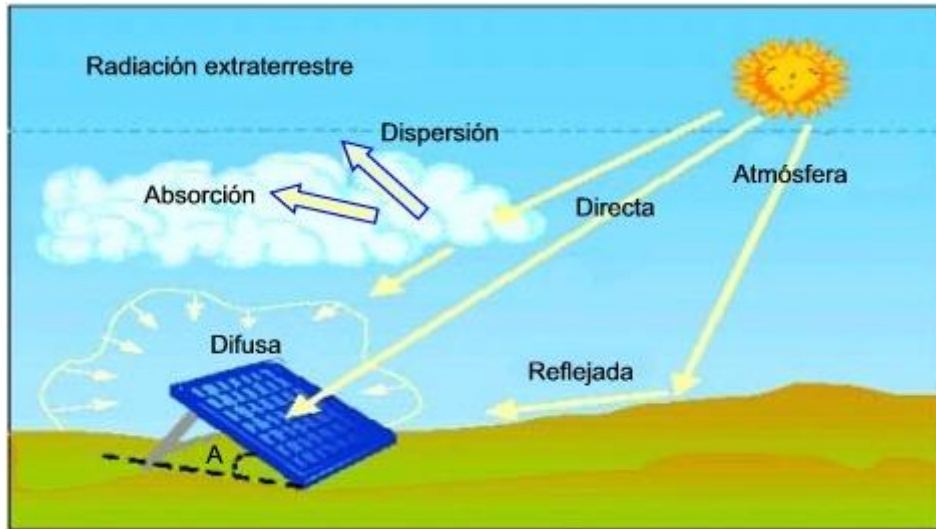


Fig. 4. (radiación directa, difusa y albedo)
Fuente: <http://www.ecopotencia.com/incidencia.html>

Aunque las tres componentes están presentes en la radiación total que recibe la tierra, la radiación directa es la mayor y más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Cuando la radiación directa no puede incidir sobre una superficie debido a un obstáculo, el área en la sombra también recibe radiación gracias a la radiación difusa. (J.Méndez, R.Cuervo., 2007).

4.4.2 Proporciones de radiación:

Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo que recibe una superficie depende de:

- **Condiciones Meteorológicas:** En un día nublado la radiación es prácticamente difusa, mientras que en un soleado es directa.
- **Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal:** una superficie horizontal recibe la máxima radiación difusa y la mínima reflejada.
- **Presencia de superficies reflectantes:** Las superficies claras son las más reflectantes por lo que la radiación reflejada aumenta en invierno por el efecto de la nieve.

4.4.3 Movimiento del sol:

El sol dibuja trayectorias diferentes según la estación del año. En invierno sube poco y en verano mucho, lo que hace que las sombras diferentes en unas estaciones y en otras.

Para conocer el movimiento del sol se utilizara un sistema de coordenadas, con dos ángulos, que permite saber en cada momento donde se encuentra. Figura 5. (J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

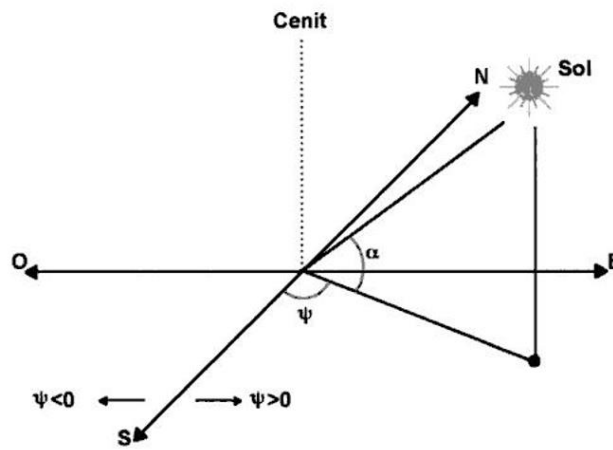


Fig. 5. (ubicación del sol según el sistema de coordenadas)
(J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

4.4.3.1 Altura solar (α):

Es el ángulo formado por la posición aparente del Sol en el cielo con la horizontal del lugar. Figura 6-7.

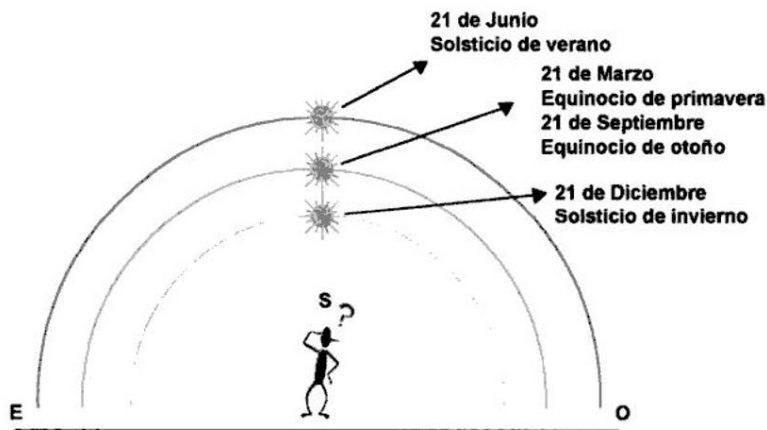


Fig. 6. (altura del sol según; mes)
(J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

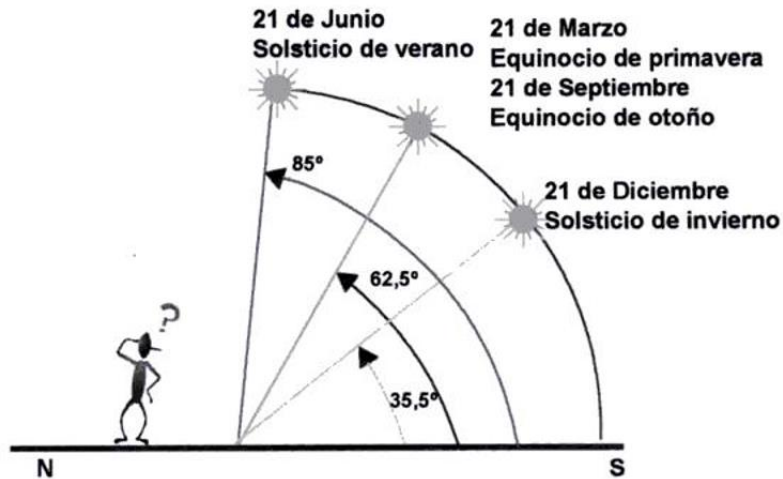


Fig. 7. (altura del sol según; mes y ángulo α)
(J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

4.4.3.2 Azimut Solar (ψ):

Ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano del horizonte con la dirección Sur.; figura 8.

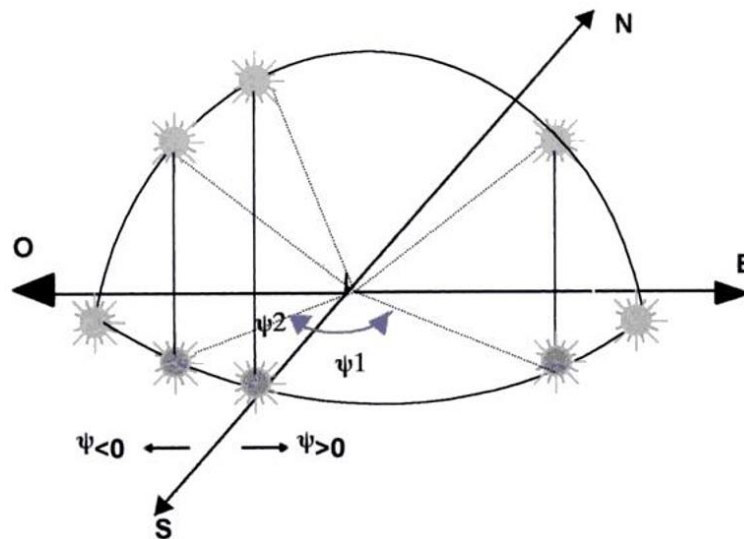


Fig. 8. (azimut solar)
(J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

Para obtener el azimut y la altura solar, se utiliza unas tablas que definen dichas coordenadas en función en función del día del año, de la hora solar y la altitud, con las que se puede saber la posición del solen cada momento lo que permite calcular las sombras que producen los objetos en determinados momentos, o puede ayudar a programar un sistema de seguimiento solar.

Para conseguir la mayor producción de la instalación; interesa que los paneles solares estén en todo momento perpendiculares a los rayos solares. Figura 9. (J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

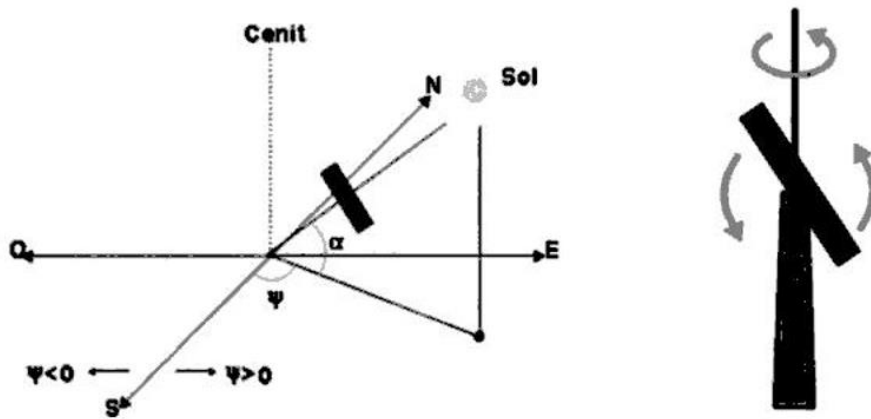


Fig. 9. (panel solar en función de los rayos del sol)
(J.Méndez, R.Cuervo., 2007)

La tierra se divide en paralelos de latitud como se observa en la Figura 10. En el hemisferio Norte se considerará la latitud positiva y varía entre 0^\pm y 90^\pm , en el hemisferio sur se considera Negativa y varía entre 0^\pm y -90^\pm . El paralelo de 0^\pm se le llama ecuador terrestre. El símbolo que se utilizaría para la latitud sería \hat{A} . La tierra también se divide en meridianos de longitud como se observa en la figura. Se usa como meridiano 0^\pm el que pasa por Greenwich, Inglaterra. Hacia el este y el oeste los meridianos aumentan de 0^\pm a 180^\pm (Dominguez González, Hector, 2012).

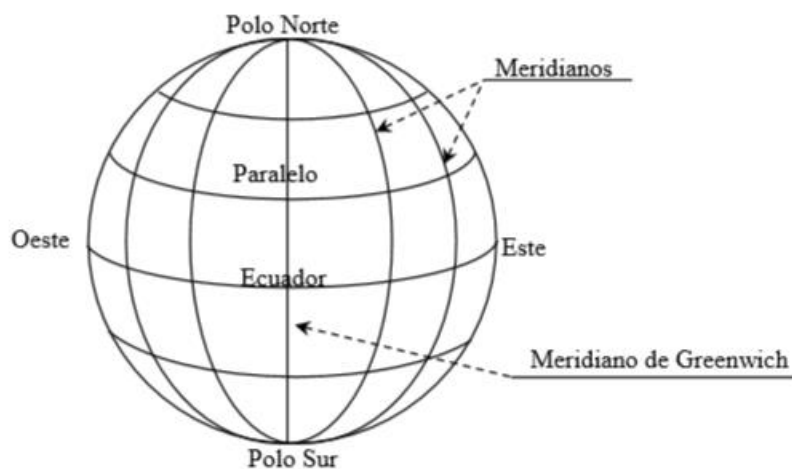


Fig. 10. (paralelos y meridianos de la corteza terrestre)
Fuente: (Dominguez González, Hector, 2012)

El plano fundamental es el horizontal, tangente a la superficie terrestre. La perpendicular a este plano en dirección a la semiesfera celeste superior define la posición del ZENIT del lugar o zenit local. En la dirección opuesta, a través de la Tierra, se sitúa el NADIR. Las direcciones principales sobre el plano horizontal son la Norte-Sur, intersección con el plano meridiano del lugar, y la perpendicular a ella Este-Oeste, intersección con el plano denominado primer vertical

Zenit: Es la línea perpendicular al plano horizontal en el punto del observador.

Inclinación: Ángulo entre plano fotovoltaico y la horizontal.

Latitud del lugar: Es la complementaria del ángulo formado por la recta que une el zenit y el nadir con el eje polar. Es positivo hacia el Norte y negativo hacia el Sur, es decir la posición angular con respecto al Ecuador.

Meridiano del lugar: Circulo máximo de la esfera terrestre que pasa por el lugar, por el zenit y por el nadir.

Angulo zenital: Es el ángulo formado por el radio vector punto-Tierra y la vertical del lugar. Es positivo a partir del zenit.

Declinación: La posición angular del sol a mediodía con respecto al plano del Ecuador. (Dominguez González, Hector, 2012)

En la siguiente figura 11 observamos la trayectoria de nuestro astro como es el Sol durante el día.

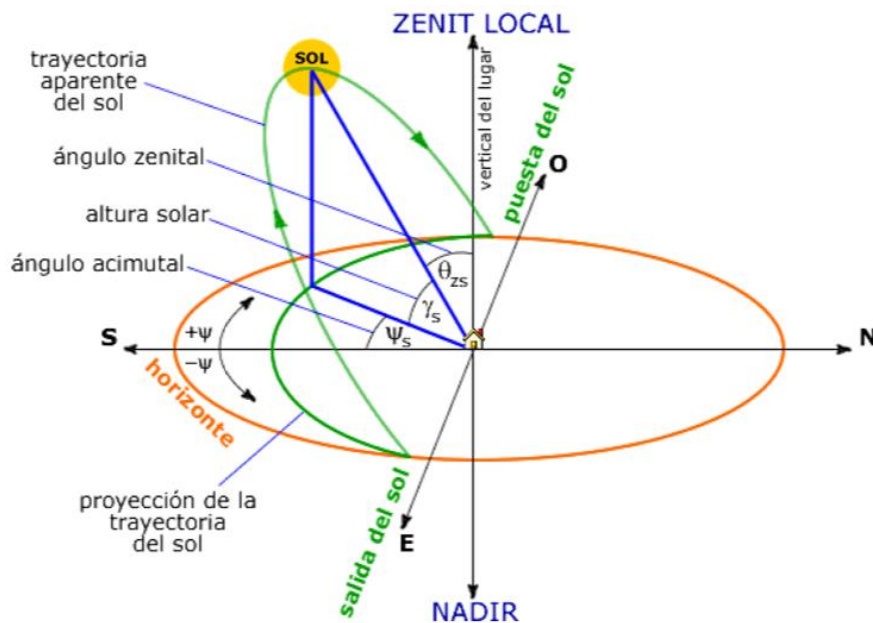


Fig. 11. (trayectoria solar durante el día)
Fuente: (Dominguez González, Hector, 2012)

4.5 IRRADIACIÓN

Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es W/m^2 .

En la Figura 12 se puede apreciar el espectro de radiación solar para niveles sobre la atmósfera terrestre y a nivel del mar.

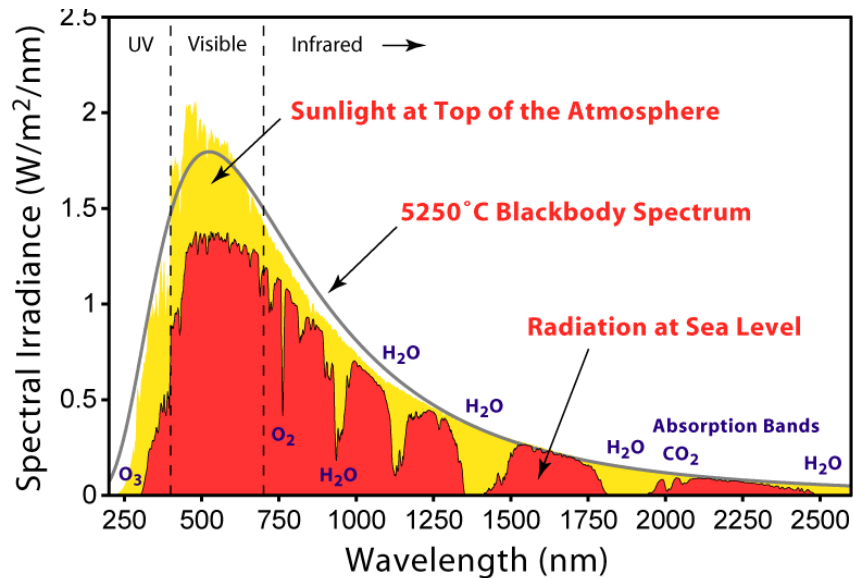


Fig. 12. (Espectro de la Radiación solar)
 Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar

4.6 INSOLACIÓN:

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual). En otras palabras es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado (Wh/m²). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1.000 W/m². La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente.

Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. Figura 13. (Martínez E, Jean, 2011)

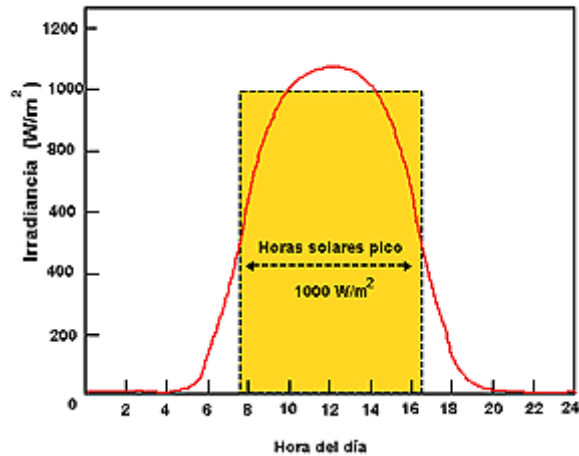


Fig. 13. (Curva de Irradiación Diaria y horas solares pico)
 Fuente: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html

4.7 La radiación solar. Unidades.

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento. Para poder efectuar el diseño de una instalación solar fotovoltaica se necesita saber la radiación del lugar. Para ello se ha de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas de nuestra provincia

(Gracias a los datos meteorológicos de la NASA podremos ver los datos de radiación solar de nuestra provincia.). Autor

La cantidad de energía recibida del Sol (radiación solar) y la demanda diaria de energía serán los factores que nos marcarán el diseño de los sistemas fotovoltaicos. Como norma general esta energía nos será dada en KJ/m².

La elección de los datos de radiación solar dependerá directamente de la situación de la instalación, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada lugar. Para cada provincia utilizaremos una tabla de radiación solar mensual interceptada por una superficie inclinada.

4.7.1 Unidades

Existen dos unidades que permiten dimensionar la superficie del módulo solar.

- HORA SOLAR PICO (H.S.P.) Se define como la cantidad de horas de sol con una intensidad de radiación de 1000 W/m^2 , que incide sobre la superficie del módulo solar. En España este valor está comprendido entre las 2 horas en invierno y las 4 horas en verano.
- WATIO PICO (WP) Se define como la máxima potencia que puede recibir un panel o módulo fotovoltaico y coincide con una intensidad de radiación constante de 1000 W/m^2 o 100 mW/cm^2 a una temperatura de 25°C . (Martínez E, Jean, 2011)

4.8 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica. Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, pueden realizarse instalaciones de electrificación autónoma o interconectados a la red, además de otras aplicaciones más específicas.

Para el caso de las instalaciones de electrificación autónoma, estas instalaciones tienen una total autonomía energética y se construyen especialmente en lugares en que, por motivos económicos, técnicos y medioambientales, no es posible hacer llegar la red de distribución eléctrica (casas rurales aisladas, sistema de señalización), asimismo para las instalaciones interconectadas a la red eléctrica, distinguimos dos tipos de instalaciones, aquellas que aprovechan la energía producida por el propio edificio e inyectan la sobrante a la red de distribución eléctrica y los que inyectan directamente toda la producción de energía eléctrica a la red de distribución general y se aprovechan de ella para su propio consumo.

Existen otras aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos por ejemplo en las aplicaciones agrícolas y son numerosas para la utilización de los sistemas de bombeo de agua de pozos el riego automático, también son utilizados en las

carreteras y autopistas, donde sirven para alimentar equipos aislados, tales como las señales de tráfico puntos de socorro, equipos de comunicación, cámaras, iluminación, y finalmente esta tecnología se emplean en el espacio donde se necesita una fuente de energía autónoma y fiable. (Dominguez González, Hector, 2012)

4.8.1 Efecto fotovoltaico

Las celdas solares convierten directamente la luz solar en electricidad, debido al efecto fotovoltaico. La luz está compuesta de fotones con diferentes energías. Cuando un fotón con energía suficiente choca con un átomo de algún material, por ejemplo el silicio, el átomo absorbe la energía del fotón y un electrón del material queda en un estado excitado por la energía absorbida, lo que permite, en algunos casos, que se mueva libremente. Si en lugar de uno son varios los electrones que circulan libremente, puede producirse una corriente eléctrica bajo ciertas condiciones y, por lo tanto, generarse electricidad a partir de energía solar.

Para imaginarnos cómo es un átomo supongamos que el núcleo de éste es el Sol y los planetas son los electrones que giran a su alrededor. Para comprender lo que ocurre cuando llega un fotón, pensemos que éste es un cometa. Si el cometa choca con Plutón, a nivel atómico este último adquiriría una energía que le permitiría salir del Sistema Solar. La regla del mundo atómico establecería que todos los planetas únicamente pueden estar en la órbita de algunos otros pero no permanecer en estados intermedios. Si un planeta pasa a una órbita inferior producirá un cometa y si éste choca con un planeta, este último pasará a la órbita inmediata superior.

Para producir el efecto fotovoltaico se utilizan materiales semiconductores, es decir, aquellos que no son buenos conductores de la electricidad, como el cobre y la plata, y que tampoco sean buenos aislantes, como el corcho o la cerámica. Un ejemplo de semiconductor son los materiales que se emplean en los transistores que posee cualquier radio. El silicio, por ejemplo, es un material semiconductor.

En los materiales semiconductores existe una región que separa a la banda de valencia, en la cual los electrones están ligados al núcleo atómico, de la banda de conducción, en la que los electrones pueden circular libremente. Dicha región se denomina banda prohibida.

En los materiales aislantes ésta es mayor de 5 eV (electrón-volt) y en los semiconductores, como el silicio es de 1.1 eV. Para lograr la conducción se requiere que los electrones de la banda de valencia pasen a la de conducción, y una forma de lograrlo es que los fotones de los rayos solares proporcionen la energía que se requiere para que los electrones salten la banda prohibida

Si a un material semiconductor se le introduce una pequeña proporción de otro material, lo cual se denomina una impureza, se puede conseguir que se tenga un electrón de más o de menos en la banda prohibida. Si esto ocurre cerca de la banda de conducción, el material se denomina tipo n (por negativo). Y si el electrón de más o de menos está cerca de la banda de valencia, el material se llama tipo p (por positivo).

Al juntar un semiconductor tipo n con uno tipo p, se presenta el efecto fotovoltaico, es decir, habrá un flujo de huecos (falta de electrones) hacia el lado del semiconductor n y uno de electrones hacia el lado del semiconductor p.

Los fotones provenientes del Sol llegan a la celda solar y la radiación absorbida generará electrones en la banda de conducción y huecos en la de valencia. Con ello, se generará una corriente eléctrica del lado positivo al negativo y habrá un voltaje. De esta forma, si se conecta una resistencia entre los dos electrodos (positivo y negativo) se presentará un flujo de corriente.

En resumen, cada celda solar tiene tres capas y dos electrodos (véase la Figura 14). La capa que está expuesta al Sol debe aprovechar al máximo la radiación solar por unidad de área y por esta razón el electrodo negativo está formado por pequeñas tiritas de un material conductor.

Las celdas de unión PN se descubrieron en 1954, en los Laboratorios Telefónicos Bell de Estados Unidos y se utilizaron como una fuente de energía en los teléfonos rurales, y posteriormente se emplearon para cubrir las necesidades de energía eléctrica de los satélites artificiales, aunque el principio de operación lo descubrieron Adams y Day en 1878, utilizando selenio, y las primeras celdas las construyó Charles Fritts, en 1879.

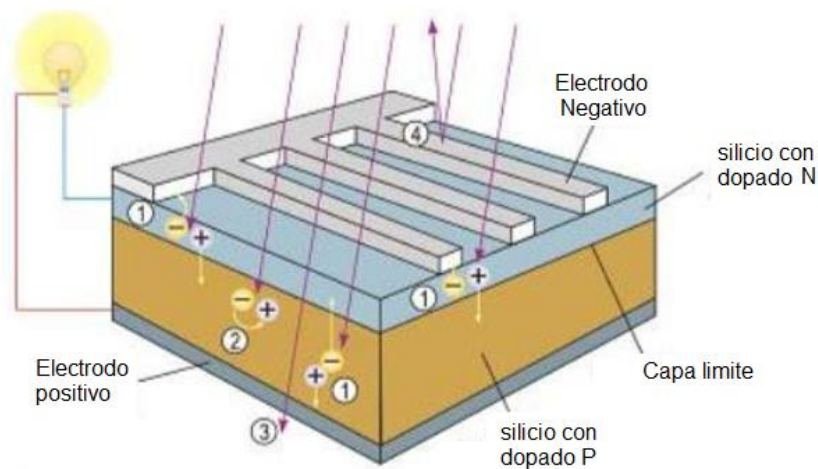


Fig. 14. (Diseño y funcionamiento de una célula solar fotovoltaica)
Fuente: http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html

En la figura 14, observamos en (1) la separación de cargas; en (2), la recombinación de parte de ellas, en (3) cómo una parte de la energía luminosa no se utiliza sino que atraviesa la célula sin producir separación de cargas, en (4) la reflexión y el efecto de sombra causada por los contactos eléctricos de la cara visible de la célula. (Dominguez González, Hector, 2012)

4.8.2 Tecnología fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica se aplica utilizando materiales sólidos, especialmente en los materiales semiconductores, en donde se han encontrado eficiencias aceptables de conversión de energía luminosa o eléctrica. Existen diferentes materiales semiconductores con los cuales se puede elaborar celdas solares pero el que utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación.

4.8.2.1 Silicio Monocristalino:

Se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los cuatro lados cortos, si se observa se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada). Las celdas están hechas de un solo cristal de silicio de muy alta pureza. La eficiencia de estos módulos ha llegado hasta el 18%. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado. Proporcionando con esto confiabilidad en el dispositivo de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.

En la Tabla 2 aparecen algunos materiales con los que están hechas las celdas solares que se fabrican sus eficiencias máximas y el área de captación de cada una de ellas.

Tabla 2: Eficiencia y área de los materiales utilizados en las celdas solares.

	Eficiencia máxima (%)	Área (cm ²)
Silicio Amorfo	8	0.04
Sulfuro de Cadmio	10	1.00
Silicio Monocristalino	18	2.00
Silicio Policristalino	7-14	2-3
Arseniuro de galio	22	0.10
Teluro de cadmio	8-9	0.02

Fuente: (Dominguez González, Hector, 2012)

4.8.2.2 Silicio Policristalino:

Su nombre indica que estas celdas están formadas por varios cristales de silicio. Esta tecnología fue desarrollada buscando disminuir los costos de fabricación. Dichas celdas presentan eficiencias de conversión un poco

inferiores a las monocristalinas hasta el orden del 14%. La garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante.

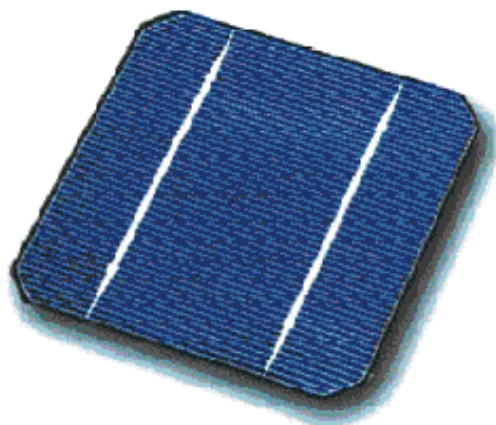
4.8.2.3 Silicio Amorfo:

La palabra amorfo significa carencia de estructura geométrica es decir el silicio no se ha cristalizado. Los átomos de silicio que forman el sólido no tiene el patrón ordenado característico de los cristales como es el caso del silicio cristalino. La tecnología de los módulos de silicio amorfo ha estado cambiando aceleradamente en los últimos años. En la actualidad su eficiencia ha subido hasta establecerse en el rango promedio de 8% y promete incrementarse. (Dominguez González, Hector, 2012)

4.8.3 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA

La célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, muy a menudo de silicio. Se trata del mismo silicio utilizado en la industria electrónica, cuyo coste es todavía más alto.

La célula fotovoltaica está hecha por una placa de silicio, normalmente de forma cuadrada, con aproximadamente 10 cm de lado y con un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm, con una superficie de más o menos 100 cm². Figura 15



*Fig. 15. (Célula fotovoltaica)
Fuente: www.energianow.com*

4.8.3.1 Componentes de la célula solar fotovoltaica

Los paneles van protegidos en su cara exterior con vidrio templado, que permite aguantar en condiciones meteorológicas muy duras tales como el hielo, la abrasión, cambios bruscos de temperatura, o los impactos producidos por el granizo. Una prueba estándar para su homologación consiste en lanzar (con un cañón neumático) una bola de hielo de dimensiones y consistencia preestablecidas al centro del cristal. Figura 16.

Un panel fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares conectadas eléctricamente entre sí en serie y paralelo hasta conseguir el voltaje adecuado para su utilización.

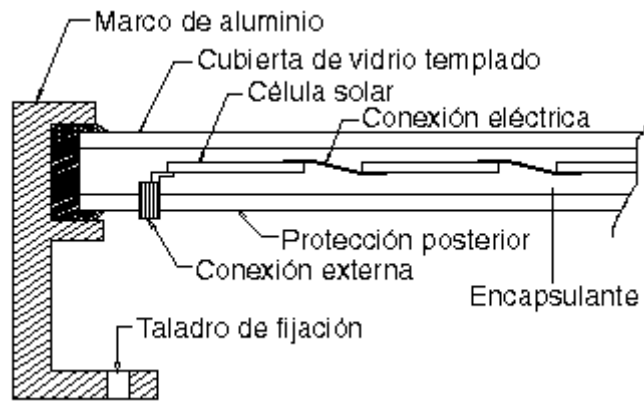


Fig. 16. (Corte transversal de un panel fotovoltaico)
Fuente: (Palomar, Adriana , 2009)

Este conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan. Los elementos son los siguientes:

Encapsulante, constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.

Cubierta exterior de vidrio templado: que, aparte de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.

Cubierta posterior: constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.

Marco de metal: normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto, y que lleva los elementos necesarios (generalmente taladros) para el montaje del panel sobre la estructura soporte.

Caja de terminales: incorpora los bornes para la conexión del módulo.

Diodo de protección: impiden daños por sombras parciales en la superficie del panel.

Estas células fotovoltaicas son de silicio monocristalino o policristalino. La diferencia entre una y otra radica en el procedimiento de fabricación.

Las células de silicio monocristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un "cristal germen" de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se obtiene una monocristal dopado, (figura 17) que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor.

Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente, y antes de realizar la serigrafía para las interconexiones superficiales, se recubren con un tratamiento anti reflexivo de bióxido de titanio o zirconio. Figura 17.



*Fig. 17. (Célula de silicio monocristalino)
Fuente: (Palomar, Adriana , 2009)*

En las células policristalinas, en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, (figura 18) que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas. (Palomar, Adriana , 2009).

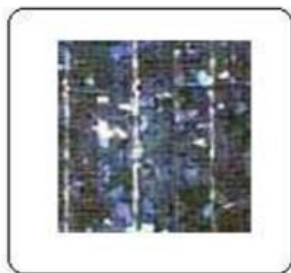


Fig. 18. (Célula de silicio policristalino)
Fuente: (Palomar, Adriana , 2009)

4.9 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En general, los sistemas fotovoltaicos pueden tener las mismas aplicaciones que cualquier sistema generador de electricidad. Sin embargo, las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento de los equipos instalados, especialmente de los módulos y la batería respectivamente, y por la disponibilidad del recurso solar. Técnicamente, un sistema fotovoltaico puede producir tanta energía como se desee; sin embargo desde el punto de vista económico, siempre existen limitaciones presupuestarias en cuanto a la capacidad que se puede instalar.

En América Central los sistemas fotovoltaicos se utilizan principalmente para proveer energía a lámparas, radios, reproductoras de cintas, pequeños televisores, teléfonos celulares, bombas de agua, purificadora de agua, refrigeradora de vacunas y equipos profesionales de radiocomunicación.

Dependiendo de su aplicación y de la cantidad y tipo de energía producida, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Lámparas portátiles.
- Sistemas individuales de Corriente Directa (CD) para aplicaciones domésticas.

- Sistemas individuales de Corriente Alterna (CA) para aplicaciones domésticas.
- Sistemas centralizados aislados de la red.
- Sistemas centralizados conectados a la red.

A continuación se describirá brevemente las características más importantes de estos sistemas. (BUN-CA, 2002).

4.9.1 Sistemas individuales CD para aplicaciones domésticas.

La aplicación más frecuente y generalizada de la energía solar fotovoltaica es la electrificación rural de viviendas a través de sistemas individuales CD. Estos sistemas están compuestos, normalmente, por un panel fotovoltaico con una capacidad menor que 100 Wp, un regulador de carga electrónico a 12 V, una o dos baterías con una capacidad total menor que 150 A-h, 2 ó 3 lámparas a 12 V y un tomacorriente para la utilización de aparatos eléctricos de bajo consumo energético diseñados especialmente para trabajar a 12 V CD.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

a) El voltaje nominal es 12 V de corriente directa: Esto implica que solamente se puede usar lámparas y aparatos que trabajen a 12 V. Es importante mencionar que, aunque existe una gran variedad de lámparas y electrodomésticos que trabajan a 12 V, en América Central puede ser difícil adquirir este tipo de aparatos en el comercio local, particularmente las lámparas. Normalmente, es necesario contactar a distribuidores de equipos fotovoltaicos para comprarlas y esto representa inconvenientes en tiempos de entrega (pues se deben importar) y de costos más altos (pues son de fabricación especial).

b) El costo comparativo de este tipo de sistema es más accesible para los presupuestos familiares: Esto debido a que se utiliza exclusivamente para satisfacer necesidades básicas de electrificación (luz, radio y TV), los equipos son de baja capacidad; debido a que el sistema trabaja a 12 V, no se necesita usar un inversor. Por estas razones, el costo inicial del sistema es

comparativamente menor y muy atractivo para soluciones básicas de electrificación rural fotovoltaica. (BUN-CA, 2002).

4.9.2 Sistemas individuales CA para aplicaciones domésticas

Los sistemas individuales CA se pueden considerar como una ampliación de los equipos y capacidades de un sistema individual CD. La diferencia fundamental que existe entre ambos sistemas es que el primero dispone de un inversor electrónico para transformar la tensión de 12 V de corriente directa a 120 V de corriente alterna. En cuanto al resto de componentes, ambos sistemas son idénticos.

Los aparatos o cargas que con mayor frecuencia se utilizan con sistemas CA son lámparas fluorescentes de alta eficiencia y bajo consumo, equipos de audio (radios, radiograbadoras y equipos de alta fidelidad), teléfonos celulares, equipos de vídeo (televisores y videograbadoras), computadoras y bombas de agua.

Los sistemas fotovoltaicos CA tienen mayor capacidad de producción de energía (paneles fotovoltaicos de mayor capacidad) y mayor capacidad de almacenamiento (batería de mayor capacidad) que los sistemas fotovoltaicos CD. La experiencia dice que para necesidades de electrificación mínimas - por ejemplo 2 lámparas, 1 radio y 1 TV (blanco y negro -B/N-) un sistema fotovoltaico CD es la solución económica y técnicamente más adecuada y accesible; sin embargo, si las necesidades de electrificación comprenden el uso de más de 2 lámparas, radio-caseteras de mediana potencia, televisores a color, bombas de agua u otro tipo de electrodoméstico, entonces, sería mejor instalar un sistema fotovoltaico CA.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- El sistema puede proveer energía tanto a 120 V de corriente alterna como a 12 V de corriente directa:

La consecuencia más importante de esto es que se pueden utilizar lámparas y electrodomésticos a 120 V, los cuales son más comunes,

más baratos y más fáciles de adquirir que los aparatos a 12 V; o, se puede utilizar directa y simultáneamente aparatos que naturalmente ya funcionan a 12 V, por ejemplo radios para automóviles, televisores B/N portátiles, etc.

Esta flexibilidad en el uso de aparatos CA y CD es una de las cualidades más importantes de los sistemas individuales CA.

- El costo del sistema es relativamente más alto: Es lógico que al agregar un componente más (el inversor) al sistema básico CD, los costos iniciales se incrementan. Sin embargo, es importante considerar que el costo de las lámparas y de todos los equipos que funcionan a 120 V es considerablemente menor que el de las lámparas y los equipos que funcionan a 12 V. Por otra parte, actualmente es más fácil adquirir o reemplazar equipos de 120 V en el comercio local que reemplazar equipo de 12 V. Por lo tanto, si bien existe un incremento de costos por el uso del inversor, también existe un ahorro de tiempo y dinero. (BUN-CA, 2002).

4.9.3 Sistemas aislados para usos productivos

Además de la aplicación de electrificación de las viviendas rurales, se puede aplicar la energía solar fotovoltaica para usos productivos y comerciales, sobre todo en la agricultura. Ejemplos de este uso son:

Bombeo de agua para irrigación y cercas eléctricas para ganadería: Este permite aumentar la productividad del área cultivable y diversificar el cultivo.

Refrigeración de alimentos: Incrementa la calidad del producto y permite mayores márgenes de tiempo entre cosecha y entrega en el mercado.

Comunicación: Facilita la venta en mercados alejados y el acceso a información de precios en el mercado.

Iluminación: Permite el procesamiento de cultivos y productos en horas de la noche y en áreas cubiertas.

4.9.4 Sistemas centralizados aislados de la red

Los sistemas fotovoltaicos son una opción válida para la electrificación rural cuando:

- No existe la posibilidad técnica o económica de llevar la red eléctrica convencional hasta cada una de las viviendas.
- Las familias demandan cantidades moderadas de energía.

Si las viviendas por electrificar se encuentran ubicadas en forma dispersa, los sistemas fotovoltaicos individuales son la mejor alternativa, sino la única, debido a su autonomía y modularidad. Sin embargo, si las casas por electrificar se encuentran ubicadas relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema fotovoltaico centralizado debido a que la concentración de equipos y energía ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico. Los suplidores de equipos que se encuentran en el Anexo 2 pueden dar orientación en decidir cuál tipo de sistema es el más apropiado.

Un sistema centralizado es un sistema fotovoltaico capaz de satisfacer la demanda energética de una comunidad con electricidad que se produce,

Almacena y transforma en un sistema fotovoltaico central y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas.

Los sistemas centralizados tienen la misma estructura que un sistema fotovoltaico individual con suministro CA. La diferencia fundamental radica en que los sistemas centralizados son capaces de proveer energía en cantidades y en calidades muy superiores que la energía producida por un sistema fotovoltaico individual. Sin embargo, las características fundamentales de los sistemas centralizados son la concentración de equipos y la distribución de electricidad; no siendo así la cantidad de energía que estos sistemas producen.

Las cargas que se utilizan son lámparas fluorescentes de alta eficiencia, equipos de audio (radios, equipos de sonido de alta fidelidad), equipos de video (televisores de color, salas comunales de cine), equipos de computación,

equipos de bombeo de agua potable, congeladores para fábricas de hielo, lámparas para iluminación pública y otros. (BUN-CA, 2002)

4.10 EFECTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los principales efectos de este tipo de energía sobre los factores medioambientales son:

Clima: la generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce polución térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero.

Geología: Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la Naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas.

Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.

Suelo: al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.

Aguas superficiales y subterráneas: No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.

Flora y fauna: la repercusión sobre la vegetación es nula, y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

Paisaje: los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.

Ruidos: el sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.

Medio social: El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además, en gran parte de los casos, se pueden integrar en los tejados de las viviendas. (Palomar, Adriana , 2009)

4.11 COMPONENTES DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

- ✚ Módulos fotovoltaicos
- ✚ Baterías
- ✚ Regulador o controlador de carga
- ✚ Inversor
- ✚ Cables

4.11.1 Módulos fotovoltaicos

La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado módulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado. Figura 19 (BUN-CA, 2002).

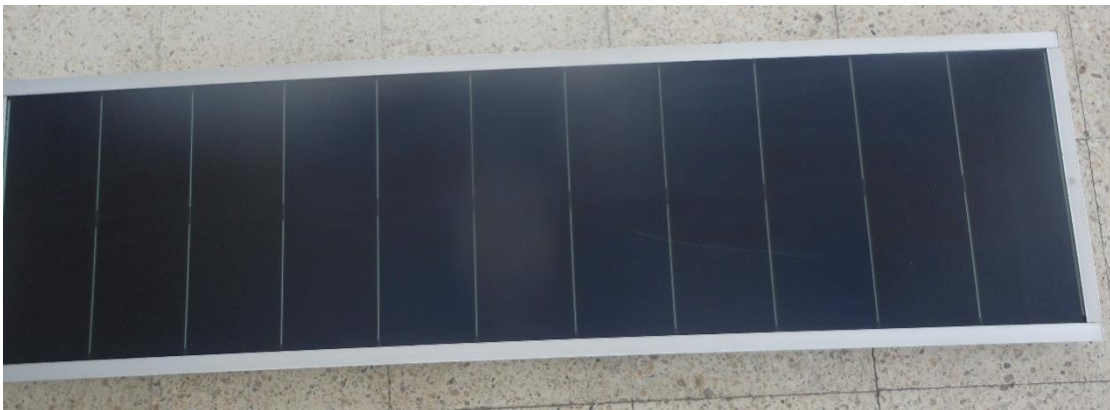


Fig. 19. (Modulo fotovoltaico)

Fuente: autor

4.11.1.1 Celdas fotovoltaicas:

Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

Una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 por 10 centímetros y produce alrededor de un vatio a plena luz del día. Normalmente las celdas fotovoltaicas son color azul oscuro. La mayoría de los paneles fotovoltaicos consta de 36 celdas fotovoltaicas.

4.11.1.2 Marco de vidrio y aluminio:

Este tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (acetato de vinil etileno).

El vidrio frontal es antirreflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados. Figura 20 (BUN-CA, 2002)



*Fig. 20 (panel fotovoltaico y su estructura metálica de soporte.)
Fuente: Autor*

4.11.1.3 Tipos de módulos fotovoltaicos:

Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

Módulos de silicio monocristalino: son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.

Módulos de silicio policristalino: son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino, aunque su eficiencia es menor.

Módulos de silicio amorfo: tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.

Potencia.

La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación.

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (W/m²) y sus celdas poseen una temperatura de 25 °C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.

En el mercado, se pueden encontrar módulos fotovoltaicos de baja potencia, desde 5 Wp; de potencia media, por ejemplo 55 Wp; y de alta potencia, hasta 160 Wp. En aplicaciones de electrificación rural suelen utilizarse paneles fotovoltaicos con capacidades comprendidas entre los 50 y 100 Wp.

La vida útil de un panel fotovoltaico puede llegar hasta 30 años, y los fabricantes generalmente otorgan garantías de 20 o más años. El mantenimiento del panel solamente consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las celdas fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar.

La elección apropiada del tipo y capacidad del módulo fotovoltaico depende de las características propias de la instalación fotovoltaica, tales como radiación solar existente y consumo energético requerido. (BUN-CA, 2002)

4.11.2 Batería

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica

producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.
- Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar tanto lámparas o bombillas así como un televisor o radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.
- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que pueden producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.

4.11.2.1 Características de las baterías

La Figura 21 muestra una batería típica para aplicaciones fotovoltaicas. En su apariencia externa este tipo de baterías no difiere mucho de las utilizadas en automóviles. Sin embargo, internamente las baterías para aplicaciones fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas.



*Fig. 21. (Batería para sistemas fotovoltaicos.)
Fuente: Autor*

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son:

- La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente,
- Los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

Así, el ahorro en costos que puede tener comprar baterías de automóviles (en lugar de baterías fotovoltaicas) se pierde ante la necesidad de reemplazarlas frecuentemente.

La capacidad de la batería se mide en “amperio-hora (Ah)”, una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga. Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías. También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo. Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

Después que las baterías hayan alcanzado su vida útil, deberán ser retiradas y llevadas a centros de reciclaje autorizados (en el caso de algunos proveedores con la venta de la batería se responsabilizan también del retiro y reciclaje). Por ningún motivo deben desecharse en campos abiertos o basureros, pues el derrame de la solución de ácido sulfúrico que contienen ocasiona graves daños al suelo, personas y animales. Finalmente, es importante mantener alejados a los niños de las baterías para evitar cortocircuitos o quemaduras de ácido accidentales.

Al igual de lo que sucede con los módulos fotovoltaicos, se recomienda la ayuda de un conocedor del tema para que sugiera el tipo de batería que más conviene a una instalación fotovoltaica particular. En términos generales, se debe adquirir baterías fotovoltaicas de calidad, que cumplan al menos las especificaciones mínimas.

4.11.2.2 Mantenimiento y vida útil:

Diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas 'baterías libre de mantenimiento', no lo necesitan.

Generalmente, la vida útil de una batería de ciclo profundo es entre 3 y 5 años, pero esto depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida. La vida útil de una batería llega a su fin cuando esta "muere súbitamente" debido a un cortocircuito entre placas o bien cuando ésta pierde su capacidad de almacenar energía debido a la pérdida de material activo de las placas.

Las baterías para aplicaciones fotovoltaicas son elementos bastante sensibles a la forma como se realizan los procesos de carga y descarga. Si se carga una batería más de lo necesario, o si se descarga más de lo debido, ésta se daña. Normalmente, procesos excesivos de carga o descarga tienen como consecuencia que la vida útil de la batería se acorte considerablemente.

Debido a que el buen estado de la batería es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema y a que el costo de la batería puede representar hasta un 15-30 % del costo total, es necesario disponer de un elemento adicional que proteja la batería de procesos inadecuados de carga y descarga, conocido como regulador o controlador de carga. (BUN-CA, 2002)

4.11.3 El Regulador o Controlador de Carga

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.



Fig. 22. (Regulador de carga fotovoltaico con sus respectivos bornes.)
Fuente: Autor

Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de ésta ha descendido a valores peligrosos.

Generalmente, el regulador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente. Figura 22. (BUN-CA, 2002)

4.11.4 El inversor:

Proveer adecuadamente energía eléctrica no sólo significa hacerlo en forma eficiente y segura para la instalación y las personas; sino que, también significa proveer energía en la cantidad, calidad y tipo que se necesita. Figura 23.



Fig. 23. (Inversor de corriente DC-AC.)
Fuente: autor

El tipo de la energía se refiere principalmente al comportamiento temporal de los valores de voltaje y corriente con los que se suministra esa energía. Algunos aparatos eléctricos, como lámparas, radios y televisores funcionan a 12 voltios (V) de corriente directa, y por lo tanto pueden ser energizados a través de una batería cuyo voltaje se mantiene relativamente constante alrededor de 12 V.

Por otra parte, hay lámparas, radios y televisores que necesitan 120 V ó 110 V de corriente alterna para funcionar. Estos aparatos eléctricos se pueden adquirir en cualquier comercio pues 120 ó 110 son los voltajes con el que operan el 95% de los electrodomésticos en América Central, en los sistemas conectados a la red pública convencional. El voltaje en el tomacorriente, el cual tiene corriente alterna, fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo, pero su valor efectivo es equivalente a 120 V.

Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 24 Voltios por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 V de la batería en corriente alterna a 120 V.

Existe una amplia variedad de inversores para aplicaciones domésticas y usos productivos en sitios aislados, tanto en calidad como en capacidad. Con ellos, se pueden utilizar lámparas, radios, televisores pequeños, teléfonos celulares, computadoras portátiles, y otros. (BUN-CA, 2002)

4.11.5 Otros elementos en las aplicaciones

Finalmente, un sistema fotovoltaico incluye las cargas o aparatos eléctricos que se van a utilizar y que consumen la corriente generada o almacenada. Los ejemplos más comunes son lámparas, radios, televisores y teléfonos celulares para uso doméstico; y bombas y motores, para usos productivos.

La selección de estas cargas es tan importante como la del resto de equipos fotovoltaicos; por ello, hay dos aspectos por considerar cuando se utilizan aparatos que se energizarán a través de un sistema fotovoltaico:

- a) El consumo diario de energía del conjunto de aparatos eléctricos no debe sobrepasar la cantidad de energía diaria producida por el sistema fotovoltaico. Es importante recordar que la disponibilidad diaria de energía eléctrica de los sistemas fotovoltaicos es variable pues depende de la radiación solar disponible, del estado de carga de la batería y de la capacidad de los equipos fotovoltaicos instalados, especialmente de la capacidad total de los módulos fotovoltaicos. Por lo tanto, la energía disponible es limitada y hay que utilizar racionalmente los aparatos según ésta. Es recomendable hacer uso, en la medida de lo posible, de aparatos modernos de bajo consumo energético y alta eficiencia. Por ejemplo, se descarta el uso de bombillos incandescentes, planchas eléctricas y hornos eléctricos.
- b) La necesidad de utilizar aparatos a 120 V determina la instalación o no de un inversor: Es importante tener en cuenta el tipo de energía que necesitan los aparatos eléctricos que se van a utilizar con el fin de determinar si se necesita o no un inversor. En la decisión hay que tomar en cuenta que el inversor implica un costo adicional del sistema, y que en el mercado se ofrecen varios aparatos electrodomésticos que funcionan a 12 Voltios, por ejemplo: radios de vehículos, lámparas fluorescentes, etc.

La suma instantánea de las potencias individuales de cada uno de los aparatos por emplear no debe ser mayor que la capacidad máxima en vatios (W) del inversor. Se recomienda utilizar inversores contruidos especialmente para aplicaciones fotovoltaicas y sobredimensionar la capacidad de éstos en un 20-30% para prevenir expansiones futuras en la instalación. Por ejemplo, si se tiene un inversor de 300 W de potencia nominal es posible utilizar simultáneamente un máximo de 20 lámparas de 15 W cada una, o emplear simultáneamente un televisor de 75 W más 15 lámparas de 15 W, o cualquier combinación de aparatos cuya suma de potencias instantáneas sea igual o menor que 300 W.

La utilización de un inversor no imposibilita el uso de aparatos a 12 V de corriente directa. Por lo tanto, una instalación fotovoltaica que disponga de un inversor puede proveer energía tanto a cargas de 12 V como a cargas de 120 V. (BUN-CA, 2002)

4.12 CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN TÉCNICA ACTUAL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Actualmente el Laboratorio de Electrónica del Área de la Energía, las Industrias y los Recursos naturales no Renovables dispone de un sistema de generación fotovoltaico, que requiere de mantenimiento correctivo para poder utilizarlo en determinadas aplicaciones en el Laboratorio. Este sistema fotovoltaico se ha deteriorado por el trabajo que ha tenido en el transcurso del tiempo. A continuación se detalla el modelo y características de cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico actual.

4.12.1 MODELO Y CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EXISTENTE.

4.12.1.1 Panel solar:

Tabla 3 características físicas, eléctricas, y constructivas del panel solar.

CARACTERÍSTICAS	PANEL SOLAR Serial: US-32-030248
Físicas	
Longitud	1366.1mm
Ancho	343.5mm
Espesor	33.8mm
Numero de celdas en Serie	11
Eléctricas	
Tensión nominal	12 V
Potencia máxima	32W
Corriente de cortocircuito	2.4 A
Tensión de circuito abierto	23.8 V
Corriente de operación	1.94 A
Constructivas	
Células	Si Monocristalino, texturas y con capa antirefexiva
Contactos	Contactos redundantes, múltiples
Laminado	EVA (etilen-vinil acetato)
Cara frontal	
Carga Posterior	Protegido con teldar de varias capas
Marco	Aluminio Anodizado

Fuente: Autor

4.12.1.2 Regulador fotovoltaico:

Tabla 4 características físicas, eléctricas, y constructivas del regulador

CARACTERÍSTICAS	REGULADOR FOTOVOLTAICO
Eléctricas	
Tensión nominal	12V/24V
Intensidad Máxima de Consumo	20 A
Intensidad Máxima de Generación	20 A
Sobrecarga Admisible	25%
Autoconsumo	< 20 mA
Pérdida máxima generación consumo	2 W
Constructivas	
Tipo de Regulación	Serie, controlador por microprocesadores con relé de estado sólido.
Sistema de regulación	Carga profunda / flotación / igualación
Visualización del modo de carga	Profunda, Flotación e igualación, mediante led.
Alarmas locales	Alta y Baja tensión de batería, sobrecarga, cortocircuito, mediante LED's
Indicadores de estado de carga	Batería llena, media y vacía
Protección contra polaridad inversa	Si, temporizador (líneas generación y consumo)
Protección contra corto circuito	Si, instantáneo (línea consumo)
Protección contra sobre tensiones	Si, mediante Varistorés (línea, generación, batería y consumo)
Rango de Temperatura de funcionamiento	0-50°C

Fuente: Autor

4.12.1.3 Batería:

Tabla 5 características eléctricas y constructivas de la Batería

CARACTERÍSTICAS	
Modelo	NS40Z
Marca	ETNA
Capacidad	35 A/h
Numero de celdas	6
Tipo de Electrolito	Ácido sulfúrico

Fuente: Autor

4.12.1.4 Inversor:

Tabla 6 características eléctricas, y constructivas del Inversor

CARACTERÍSTICAS	
Potencia	150 W
Tensión de entrada	12 – 22V CC
Tensión de salida	120 V CA
Rendimiento Máximo	100%
Consumo en Vacío	0.05 A
Frecuencia nominal	60 Hz

Fuente: Autor

A continuación se procederá a realizar un estudio técnico del sistema fotovoltaico actual; en donde se verificará de forma descriptiva cada uno de los equipos que lo compone al sistema fotovoltaico, posteriormente; según el caso se sustituirán los equipos. Una vez realizado el estudio y verificado cada uno de los equipos; se procederá a cotizar y comprar los equipos, posteriormente se realizará el montaje y pruebas del sistema fotovoltaico en el laboratorio de Electrónica. Autor.

5 TÉCNICAS Y METODOLOGÍA DE TRABAJO

- Se recopilará la de información relacionado al tema, de catálogos, revistas, libros, internet, distribuidores comerciales de los equipos.
- Se realizará un diagnóstico de los equipos que comprenden el SFV actual.
- Se comparará las luminarias LED para implementar en el sistema fotovoltaico; para saber cual nos conviene por sus diferentes características como son: el flujo luminoso, potencia, tensión, rendimiento, etc.
- Se realizará los cálculos correspondientes para determinar el número de paneles y baterías que se requiere para brindar la potencia necesaria para la carga del SFV.
- Se realizará los cálculos correspondientes para determinar la potencia del inversor y la capacidad de la unidad de control; que se requiere para el SFV.
- Se obtendrá los datos climatológicos de la irradiación directa, irradiación difusa del lugar donde se va a llevar a cabo la repotenciación del SFV.
- Selección de equipos.

6 DESARROLLO

La metodología de cálculo que se aplicó para la repotenciación del sistema fotovoltaico; es el método propuesto por la CONELEC. Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica. (CONELEC, 2008).

A continuación detalla las ecuaciones que se empleó para el dimensionamiento de los mismos.

Total de energía durante un día de las cargas en AC.

$$E = E_{AC} \times 1.2 \quad (\text{Ecuación. 1})$$

Donde:

E = Energía de la carga tomando en cuenta el factor inversor. (1.2)

E_{AC} = Total de energía de las cargas en AC

Carga total diaria.

$$E_T = E_{AC} + E_{DC} \quad (\text{Ecuación. 2})$$

Donde:

E_T = Carga total diaria (Wh/día)

E_{AC} = Total de energía de las cargas en AC

E_{DC} = Total de energía de las cargas en DC

Corriente pico del módulo y corriente del sistema respectivamente.

$$I_{pm} = \frac{E_T}{V_{CC}} \times 1.2 \quad (\text{Ecuación. 3})$$

$$I_{ps} = \frac{I_{pm}}{HPS} \quad (\text{Ecuación. 4})$$

Donde:

I_{pm} = Corriente pico del módulo (Ah)

I_{ps} = Corriente pico del sistema (Ah)

E_T = Carga total diaria (Wh/día)

V_{CC} = Tensión nominal de nuestro sistema

HPS = Horas sol pico promedio anual.

Dimensionamiento del módulo FV.

$$N_p = \frac{I_{ps}}{I_p} \quad (\text{Ecuación. 5})$$

$$N_T = \frac{V_{CC}}{V_{BAT}} \times N_p \quad (\text{Ecuación. 6})$$

Donde:

N_p = Número de paneles

I_{ps} = Corriente pico del sistema (Ah)

I_p = Corriente del panel según el catálogo

V_{CC} = Tensión nominal del sistema

V_{BAT} = Tensión de la batería

N_T = Número total de módulos

Dimensionamiento de la batería.

$$C_e = I_{pm} \times N \quad (\text{Ecuación. 7})$$

$$C_d = \frac{C_e}{0.6} \quad (\text{Ecuación. 8})$$

$$N_{Bp} = \frac{C_e}{C_{bat(Ah)}} \quad (\text{Ecuación. 9})$$

$$N_T = \frac{V_{CC}}{V_{bat}} * N_{Bp} \quad (\text{Ecuación. 10})$$

Donde:

C_e = Capacidad de la Batería tomando en cuenta los días de autonomía.

N = Número de días de autonomía.

C_d = Capacidad de la Batería en función de descarga.

N_{Bp} = Número de baterías en paralelo

N_T = Número total de baterías

Dimensionamiento del inversor.

$$P_{inv} = P_{AC}$$

(Ecuación. 11)

Donde:

P_{inv} =Potencia del inversor

P_{AC} = Potencia de la suma de las cargas en AC

Capacidad del controlador.

I_{ps}

Donde:

I_{ps} = Corriente Pico del sistema.

En el lugar a donde llevará a cabo el proyecto contamos con una insolación difusa promedio anual de 2,11 kWh/m².día; cuyo valor se pudo obtener a través de “NASA Surface Meteorology and Solar Energy”. Tabla 8.

Tabla 8. Irradiación Solar difusa y directa

Mes	IRRADIACIÓN DIFUSA (kWh/m ² .día)	IRRADIACIÓN DIRECTA (kWh/m ² .día)
Enero	2.23	4.83
Febrero	2.33	3.53
Marzo	2.31	4.07
Abril	2.13	3.98
Mayo	1.92	4.17
Junio	1.78	4.45
Julio	1.83	4.38
Agosto	2.00	4.33
Septiembre	2.19	4.24
Octubre	2.31	4.74
Noviembre	2.19	4.48
Diciembre	2.16	4.35
PROMEDIO ANUAL	<u>2.11</u>	<u>4.13</u>

Fuente: (Kusterer, John M, 2015)

Como se puede observar en la tabla 8; el mes más crítico en irradiación difusa corresponde al mes de junio con una irradiación de 1.78 kWh/m².día; Mientras que en irradiación directa el mes crítico corresponde al mes de febrero con una irradiación de 3.53 kWh/m².día.

Para la iluminación se implementó focos dicróicos led's con el propósito de ahorrar energía que nos proporcionará el sistema fotovoltaico; cuyas características se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Características de las luminarias Led's

LED GU10 60X SMD 4.5W BLANCO CALIDO
24x SMD5050 LED de color blanco cálido
Consumo de energía: 4,5 W/120AC
La demanda actual: 24mA
Temperatura de color: 3000K
Dimensiones: Ø 50 mm, altura 55 mm
No regulable

Autor.

6.1 ESTUDIO DE LA CARGA

De acuerdo a las horas de funcionamiento de las cargas; en la siguiente (tabla 9) se expresa el total de energía necesaria que nos debe de proporcionar el sistema fotovoltaico para utilizarlo como una fuente emergente de iluminación.

Tabla 9: de consumos de energía durante un día

Unidades	Carga	Potencia unitaria (W)	Horas de funcionamiento/día (h)	Total de energía necesaria (Wh/día)
3	Lum. led's 120 AC	4.5	3h	40.5
			TOTAL	40.5Wh/día

Fuente: Autor

Como se puede observar en la tabla anterior; el total de energía de las cargas es de 40.5 Wh/día. Aquí un dato muy importante a tomar en cuenta es el rendimiento del inversor (1.2).

El factor (1.2) representa las pérdidas del inversor de voltaje.

Entonces la energía necesaria tomando en cuenta el factor inversor lo determinó a partir de la [Ec.1]:

$$E = E_{AC} \times 1.2$$

$$E = 40.5\text{Wh/dia} \times 1.2$$

$$E = 48.6 \text{ Wh/dia}$$

Donde:

E = energía total de la carga tomando en cuenta el factor inversor

E_{AC}= total de energía de las cargas en AC.

6.2 CÁLCULO EMPLEADO PARA LA REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EXISTENTE.

6.2.1 Carga total diaria

Para determinar la carga total diaria (E_T) se considera la [Ec.2].

$$E_T = E_{AC} + E_{DC}$$

$$E_T = 48.6 + 0$$

$$E_T = 48.6 \text{ Wh/día}$$

Donde:

E_T = carga total diaria (Wh/día)

E_{AC}= total de energía de las cargas en AC

E_{DC}= total de energía de las cargas en DC

6.2.2 Corriente pico del módulo.

A partir de la [Ec.3] se determinará la corriente pico del módulo (I_{pm}); y los datos a tomar en cuenta serán los siguientes:

Datos:

- Tensión CC del sistema: 12V
- E_T = carga total diaria (Wh/día)
- Factor de seguridad (perdida del sistema) 1.2
- La radiación solar (HPS)

$$I_{pm} = \frac{E_T}{V_{CC}} \times 1.2$$

$$I_{pm} = \frac{48.6}{12} \times 1.2$$

$$I_{pm} = 4.86 \text{ Ah}$$

La corriente pico del sistema (I_{ps}) se determinará a partir de la siguiente ecuación (Ec.4)

$$I_{ps} = \frac{I_{pm}}{HPS}$$

$$I_{ps} = \frac{4.86}{2.11}$$

$$I_{ps} = 2.3 \text{ Ah}$$

Donde:

I_{pm} = corriente pico del módulo (Ah)

I_{ps} = corriente pico del sistema (Ah)

E_T = carga total diaria (Wh/día)

V_{CC} = tensión nominal del sistema

HPS = horas sol pico promedio anual de irradiación difusa 2.11(kWh/m².dia)

6.2.3 Dimensionamiento del módulo fotovoltaico.

A partir de la [Ec.5] y [Ec.6] se determinará el número total de paneles (N_p); y los datos a tomar en cuenta serán los siguientes:

Los datos a tomar en cuenta para dimensionar el número total de paneles son:

- $I_{ps} = 2.3 \text{ Ah}$
- $I_p = 1.94$ (ver la información del catálogo)
- $V_{BATT} = 12 \text{ V}$
- $V_{CC} = 12 \text{ V}$

$$N_p = \frac{I_{ps}}{I_p}$$

$$N_p = \frac{2.3}{1.94} = 1.1$$

$$N_T = \frac{V_{CC}}{V_{BAT}} \times N_p$$

$$N_T = \frac{12 \text{ V}}{12 \text{ V}} \times 1.1 = 1 \text{ paneles}$$

Donde:

N_p = número de paneles

I_{ps} = corriente pico del sistema (Ah)

I_p = corriente del panel según el catálogo

V_{CC} = tensión nominal del sistema

V_{BAT} = tensión de la batería

N_T = Número total de módulos

6.2.4 Dimensionamiento de la Batería

A partir de la [Ec.7] y [Ec.8] se determinará el número de baterías del sistema fotovoltaico; y los datos a tomar en cuenta serán los siguientes:

- $I_{pm} = 4.86 \text{ Ah}$
- Los días de autonomía = 3 días
- Profundidad de descarga menor a 1
- $V_{CC} = 12 \text{ V}$
- $V_{bat} = 12 \text{ V}$

$$C_e = I_{pm} \times N$$

$$C_e = 4.86 \times 3$$

$$C_e = 14.58 \text{ Ah}$$

$$C_d = \frac{C_e}{0.6}$$

$$C_d = \frac{14.58}{0.6}$$

$$C_d = 25 \text{ Ah}$$

La capacidad nominal de la batería según el catálogo es de 100 Ah; entonces para determinar el número de baterías en paralelo (N_{Bp}) y en número total de baterías (N_T) se tomará en cuenta las ecuaciones (Ec.9) y (Ec.10).

$$N_{Bp} = \frac{C_e}{C_{bat(Ah)}}$$

$$N_{Bp} = \frac{25 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}} = 0.25 = 0.3 \text{ baterías.}$$

$$N_T = \frac{V_{cc}}{V_{bat}} * N_{Bp}$$

$$N_T = \frac{12 V}{12 V} * 0.3$$

$N_T = 0.3 \neq 1$ baterías.

Donde:

C_e = Capacidad de la Batería tomando en cuenta los días de autonomía.

N = Número de días de autonomía.

C_d = Capacidad de la Batería en función de descarga.

N_{Bp} = Arreglo de baterías en paralelo

N_T = Capacidad total de la batería.

Capacidades Actuales del sistema FV luego de la repotenciación; tomando en cuenta los días de autonomía.

Para determinar los días de autonomía actuales (N_{ac}); se determinará a partir de la siguiente ecuación.

$$N_{ac} = \frac{C_{Bat}}{I_{mp}} \quad (\text{Ecuación. 12})$$

$$N_{ac} = \frac{100 \text{ Ah}}{4.86 \text{ Ah}} = 20 \text{ días}$$

6.2.5 Dimensionamiento del Inversor

Para el cálculo del inversor, únicamente hemos de calcular la suma de las potencias de las cargas corriente alterna. En este caso, sería (13,5 W). Así pues; se considerara la ecuación (Ec.11).

$$P_{inv} = 4,5 \text{ W} + 4,5 \text{ W} + 4,5 \text{ W}$$

$$P_{inv} = 13.5 \text{ W}$$

La capacidad del inversor AC es de 150 W; según el catálogo

Aquí un dato muy importante a tomar en cuenta es que; la capacidad del inversor debe ser mayor a la sumatoria de las potencias de las cargas en AC.

6.2.6 Capacidad de la unidad de control

Para determinar la capacidad del controlador o regulador se tomará en cuenta únicamente la Corriente Pico del sistema (I_{ps})

$$I_{ps} = 2.3 \text{ Ah}$$

Una vez obtenido estos resultados se puede determinar que los equipos existentes sirven; para generar la potencia de energía que se requiere para el sistema de iluminación.

Tomando en cuenta que la batería con la que cuenta el sistema fotovoltaico actual está dañada; adoptándose la capacidad de la batería la que se obtuvo mediante el proceso de cálculo empleado para repotenciar el sistema FV existente.

6.2.7 Cálculos del cableado de la instalación.

Elegir la sección adecuada del conductor es importante, ya que una mala elección puede suponer una caída de tensión elevada en el conductor, lo que se traduce en un aumento de corriente y su correspondiente aumento de temperatura.

Primero hay que calcular el valor de la sección matemáticamente, donde se debe conocer el material que lo compone (cobre o aluminio y su conductividad $-k-$), la longitud del cable (L) en metros, la corriente que atravesará (I) en amperios y la caída de tensión entre sus extremos (U) en voltios. La sección del cable se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$S = 2 * \frac{L * I}{K * U} \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{(Ecuación. 13)}$$

$$I = I_{sc} * N_{panel} \text{ [A]} \quad \text{(Ecuación. 14)}$$

Donde:

S = Sección del conductor

I_{sc} = corriente de cortocircuito

El valor de la conductividad (K) dependerá del material utilizado:

- Cobre: 56m/Ωmm²

La caída de tensión (U) se calcula para un porcentaje de la tensión nominal utilizando la siguiente ecuación:

$$U = V_n * \frac{\%}{100} \text{ (V)} \quad \text{(Ecuación. 15)}$$

Donde:

% = Porcentaje de caída de tensión permitida (3% máx.)

V_n = Voltaje nominal

El siguiente paso es elegir una sección normalizada. Para ello de consulta las tablas de los fabricantes de conductores.

La longitud de cableado de entre el panel, el regulador, el banco de baterías y el inversor deberá ser la mínima posible, con el propósito de usar cables de menor sección para evitar pérdidas por efecto Joule y caídas de voltaje.

A continuación se procede a calcular la caída tensión y la sección del conductor entre el inversor y las cargas empleadas en el sistema FV. Tomando en cuenta en punto más desfavorable de la carga.

Circuito de iluminación.

Datos:

- Potencia: $P = 13.5 \text{ W}$
- Longitud: $L = 10\text{m}$ (punto más lejano)
- Conductividad del cobre: $\gamma = 56\text{m}/\Omega\text{mm}^2$
- Tensión $V = 120 \text{ V}$
- Caída de tensión $e = 1.5\%$ que equivale a $1,8 \text{ V}$
- Sección $S = \text{sección del conductor}$

Cálculo de la sección por la caída de tensión.

$$S = \frac{(2 * P * L)}{(\gamma * \Delta V * V)} [\text{mm}^2]$$

$$S = \frac{(2 * 13.5 \text{ W} * 10\text{m})}{(56\text{m}/\Omega\text{mm}^2 * 1.8 \text{ V} * 120 \text{ V})}$$

$$S = 0.022\text{mm}^2$$

Respetando las normas REBT (THWN/THHN 600 V – 75 °C) la sección mínima a instalar en el circuito de iluminación será de 2.08 mm^2 lo que equivale a un conductor de calibre # 14 de cobre tipo AWG.

Cálculo de la caída de tensión con la Sección adoptada:

Comprobaremos que la máxima caída de tensión para la sección adoptada sea menor a la permitida; esto es 1.5% del voltaje en el punto más desfavorable.

$$\Delta V = \frac{1.5 \% * V}{100}$$

$$\Delta V = \frac{1.5 \% * 120 \text{ V}}{100}$$

$$\Delta V = 1.8 \text{ V}$$

$$e = \frac{(2 * P * L)}{(\gamma * S * V)}$$

$$e = \frac{(2 * 13.5 \text{ W} * 10\text{m})}{(56\text{m}/\Omega\text{mm}^2 * 2.08\text{mm}^2 * 120 \text{ V})}$$

$$e = 0.02 \text{ V}$$

Donde 0.02 V equivale a una caída de tensión de 0.024%; siendo por lo tanto valida la sección comercial adoptada de 2.08 mm².

Tabla: 10. Calibre de Conductores THWN/THHN 600 V – 75 °C

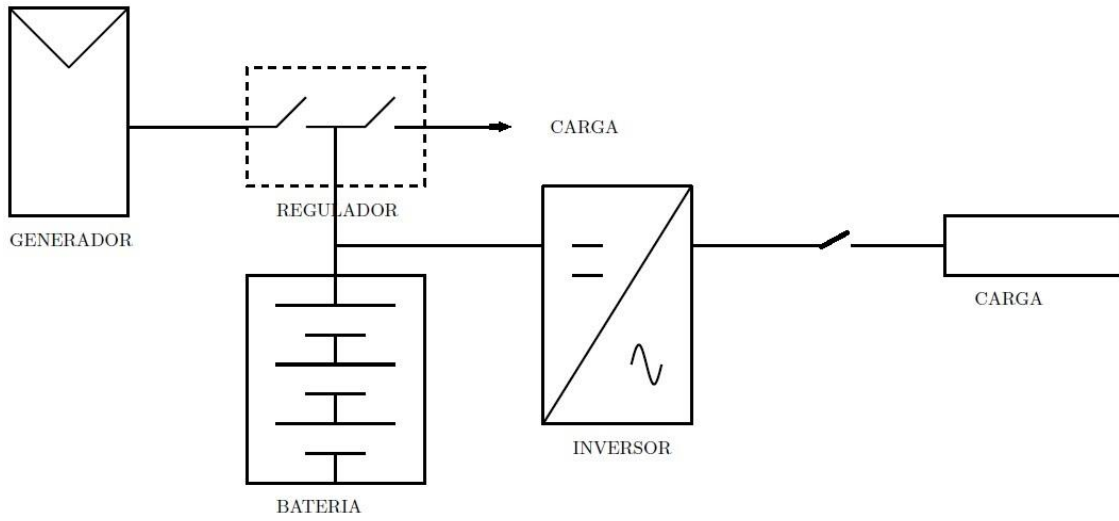
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
							60°C	75°C	90°C
AWG/kcmil	mm ²		mm	mm	mm	kg/100 m			
14	2,082	19	0,38	0,10	2,9	3	20	20	25
12	3,307	19	0,38	0,10	3,4	4	25	25	30
10	5,260	19	0,51	0,10	4,3	6	30	35	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,7	10	40	50	55
6	13,30	19	0,76	0,13	6,7	15	55	65	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,5	24	70	85	95
2	33,62	19	1,02	0,15	10,1	36	95	115	130
1	42,41	19	1,27	0,18	11,6	46	110	130	150
1/0	53,48	19	1,27	0,18	12,7	56	125	150	170
2/0	67,43	19	1,27	0,18	13,9	70	145	175	195
3/0	85,01	19	1,27	0,18	15,2	87	165	200	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	16,7	108	195	230	260
250	126,7	37	1,52	0,20	18,5	128	215	255	290
300	152,0	37	1,52	0,20	19,9	152	240	285	320
350	177,3	37	1,52	0,20	21,3	177	260	310	350
400	202,7	37	1,52	0,20	22,5	201	280	335	380
500	253,4	37	1,52	0,20	24,7	249	320	380	430
600	304,0	61	1,78	0,23	27,3	298	355	420	475
750	380,0	61	1,78	0,23	30,0	369	400	475	535
1 000	506,7	61	1,78	0,23	34,0	488	455	545	615

* Basada en la tabla 310.16 del NEC (NFPA 70) para una temperatura ambiente de 30°C.

Fuente: www.viakon.com

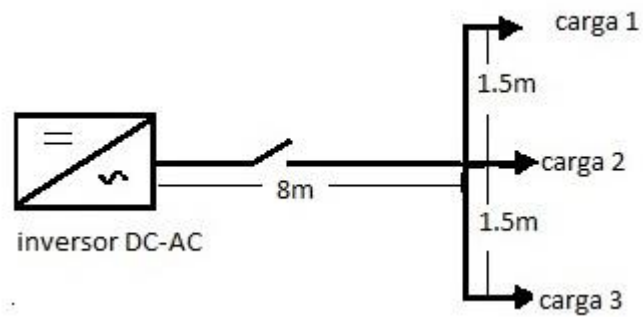
6.2.8 ESQUEMAS:

Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto:



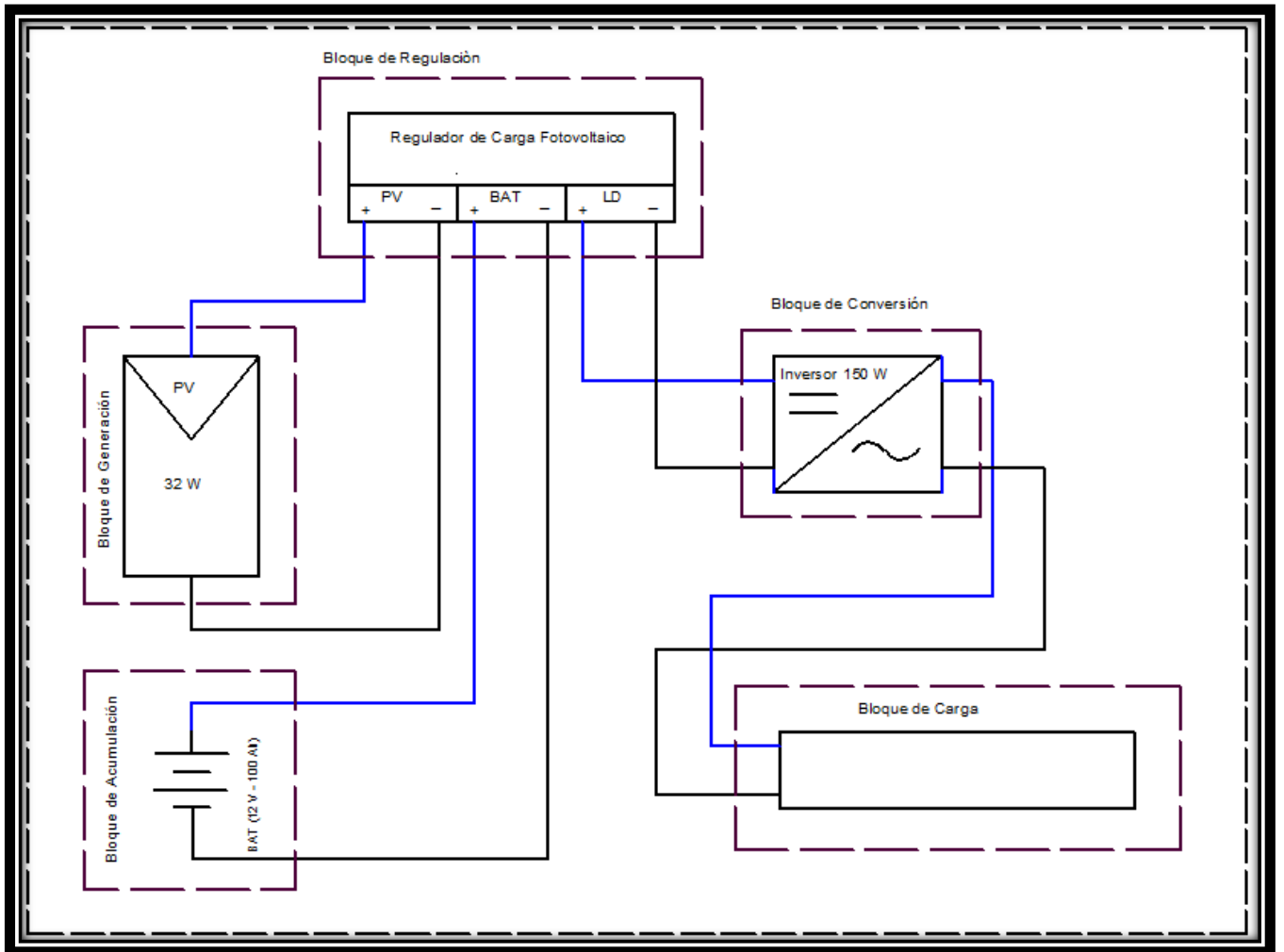
Fuente: Autor

Distancia entre en inversor hacia las cargas en AC



Fuente: Autor

Esquema de Bloques de la instalación con los resultados obtenidos.



Fuente: Autor

7 MATERIALES Y PRESUPUESTO:

Sistema fotovoltaico.

La descripción del costo que representa la instalación del sistema fotovoltaico; para esta potencia instalada. En la tabla 11 se muestra como una referencia de los costos de cada uno de estos equipos y materiales.

De todos estos equipos se implementó: la batería, base metálica para la batería luminarias led, cables, bases para boquillas. Cuyos valores se describen a continuación.

Tabla 11: materiales y equipos utilizados para la repotenciación

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total
1	Panel Solar	\$180,00	\$180,00
	32 W		
1	Regulador de carga	\$50,00	\$50,00
	12 V/24 V		
1	Batería Coopower CPG	\$200,00	\$200,00
	(12V-100Ah)		
1	Inversor DC - AC	\$60,00	\$60,00
	150w/(12v-22)DC/120V.AC		
3	Luminarias led	\$8,50	\$25,50
	4.5 W/120 V		
10m	Cable	\$1,20	\$12,00
	TTUx2-14AWG		
3	Boquillas	\$1,10	\$3,30
	Base para diodos leds		
1	Estructura para el panel	\$10,00	\$10,00
	40cmx 30cm		
2	canaletas	\$4,00	\$4,00
	2m de largo x 4cm ancho		
		TOTAL	\$ 544.30

Fuente: Autor

8 RESULTADOS:

Una vez realizado el cálculo para la repotenciación del sistema fotovoltaico se obtuvo los siguientes resultados.

- La energía que se consumirá durante un día es de 40.5Wh/día
- La energía necesaria que se requiere tomando en cuenta el factor inversor de las cargas en AC; es $E = 48.6 \text{ Wh/día}$
- La carga total diaria de las cargas en $E_{AC} + E_{DC} = 48.6 \text{ Wh/día}$.
- la corriente pico del módulo $I_{pm} = 4.86 \text{ Ah}$.
- La corriente pico del sistema $I_{ps} = 2.3 \text{ Ah}$
- Las horas sol pico HSP promedio anual en irradiación difusa es de 2.11 (kWh/m².dia)
- El número total de paneles a una potencia de 32 W = 1 paneles.
- La capacidad de la Batería tomando en cuenta los días de autonomía. $C_e = 14.58 \text{ Ah}$
- La capacidad de la Batería en función de descarga. $C_d = 25 \text{ Ah}$
- La potencia del inversor para las cargas en AC es 13.5 W
- Y por último la capacidad de la unidad de control; se tomó en cuenta la intensidad pico del sistema. $I_{ps} = 2.3 \text{ A}$

9 CONCLUSIONES:

- El trabajo consistió en repotenciar el sistema FV que sirve para el encendido de la iluminación de emergencia del Laboratorio de Electrónica del AEIRNNR.
- Se logró determinar la carga total diaria (Wh/día) que se requiere para el sistema fotovoltaico la cual fue 40.5Wh/día. Para utilizarlo como una fuente emergente de iluminación.
- Una vez analizado cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico se pudo constatar que la batería con la que contaba el sistema fotovoltaico actual estaba en malas condiciones en donde se pudo constatar su deterioro por no darle su correctivo mantenimiento; en donde se procedió a sustituirla por una batería sustentable y de mayor capacidad.
- Se logró determinar mediante cálculos matemáticos, los diferentes equipos que comprenden el sistema fotovoltaico, (panel solar, regulador, batería, inversor) gracias a la CONELEC (Atlas Solar del Ecuador).
- En cuanto a condiciones climatológicas de la NASA; se obtuvo que en la zona existe un promedio anual de (2.11 kWh/m².dia) en irradiación difusa, y (4.13 kWh/m².dia) en irradiación directa.

10 RECOMENDACIONES

- Al realizar la instalación del sistema solar fotovoltaico, de acuerdo al diseño que se plantee, se recomienda tomar en cuenta las características técnicas de los equipos, tener precauciones necesarias en el momento de la instalación y verificar las polaridades de los mismos.

- Una buena recomendación será el uso de luminarias led alimentados por corriente DC para así evitar el uso de inversores mejorando la eficiencia y reduciendo los costos.

- Es aconsejable un mantenimiento preventivo periódico para así prolongar la vida útil de los componentes y sistemas fotovoltaicos.

11 BIBLIOGRAFÍA

- BUN-CA. (s.f. de s.f. de 2002). Manuales sobre energía Renovable SOLAR FOTOVOLTAICA. Obtenido de www.bun-ca.org: www.bun-ca.org/publicaciones/FOTOVOLT.pdf
- CONELEC. (12 de 08 de 2008). CONELEC. Obtenido de Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica: http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf
- Dominguez González, Hector. (22 de 11 de 2012). Diseño de un Sistema Fotovoltaico para la Generación de Energía Eléctrica En el COBAEV 35 Xalapa. Recuperado el 15 de 02 de 2015, de <http://cdigital.uv.mx>: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31561/1/dominguezgonzalezhector.pdf>
- J.Méndez, R.Cuervo. (2007). Energía Solar Fotovoltaica (2da ed.). Madrid: Fundación Confemetal FC.
- Kusterer, John M. (11 de 03 de 2015). Atmospheric Science Data Center. Recuperado el 15 de 03 de 2015, de <https://eosweb.larc.nasa.gov>: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov>
- Martínez E, Jean. (s.f de s.f de 2011). Evaluacion Economica de un Sistema fotovoltaico en punta Arenas con Diseño de estimulación de Potencia suministrada por Paneles Solares. Obtenido de Energía Solar y Eficiencia energética: http://www.umag.cl/bibliotecatesismartinez_espinoza_2011.pdf
- Palomar, Adriana . (05 de 10 de 2009). Analisis y Estudio del Rendimiento de Inversores Integrados en los Sistemas Fotovoltaicos de Conexion a Red. Obtenido de Componentes de la Célula Fotovoltaica: <http://hdl.handle.net/10016/6837>

12 ANEXOS:

ANEXO 1

Lugar donde se encuentra ubicado el sistema fotovoltaico



Fig. 1.
Fuente: Autor

ANEXO 2

Lugar donde se encuentra ubicado el panel solar fotovoltaico.



Fig. 2.
Fuente: Autor

ANEXO 3

Montaje de la batería CPG (12 V – 100Ah)



Fig. 3.
Fuente: Autor

ANEXO 4

Tabla de los datos climatológicos de la provincia de Loja. Tabla 1

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m²/day)

Lat -3.991 Lon -79.205	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	4.83	4.80	5.19	4.88	4.65	4.59	4.65	4.93	5.18	4.95	5.26	5.07	4.91
K	0.46	0.45	0.49	0.48	0.49	0.51	0.51	0.51	0.50	0.47	0.50	0.49	0.49
Diffuse	2.23	2.33	2.31	2.13	1.92	1.78	1.83	2.00	2.19	2.31	2.19	2.16	2.11
Direct	3.84	3.53	4.07	3.98	4.17	4.45	4.38	4.33	4.24	3.74	4.48	4.35	4.13
Tilt 0	4.76	4.73	5.12	4.82	4.60	4.55	4.60	4.87	5.11	4.88	5.18	4.99	4.85
Tilt 3	4.80	4.75	5.12	4.86	4.67	4.64	4.68	4.93	5.13	4.89	5.22	5.04	4.89
Tilt 18	4.86	4.72	4.96	4.91	4.89	4.96	4.96	5.06	5.05	4.82	5.28	5.16	4.97
Tilt 90	2.43	2.07	1.71	2.34	2.87	3.20	3.07	2.63	1.96	1.95	2.50	2.65	2.45
OPT	4.87	4.76	5.12	4.92	4.91	5.05	5.02	5.06	5.13	4.90	5.29	5.16	5.02
OPT ANG	15.0	8.00	1.00	14.0	25.0	30.0	28.0	19.0	6.00	6.00	14.0	18.0	15.3

NOTE: Diffuse radiation, direct normal radiation and tilted surface radiation are not calculated when the clearness index (K) is below 0.3 or above 0.8.

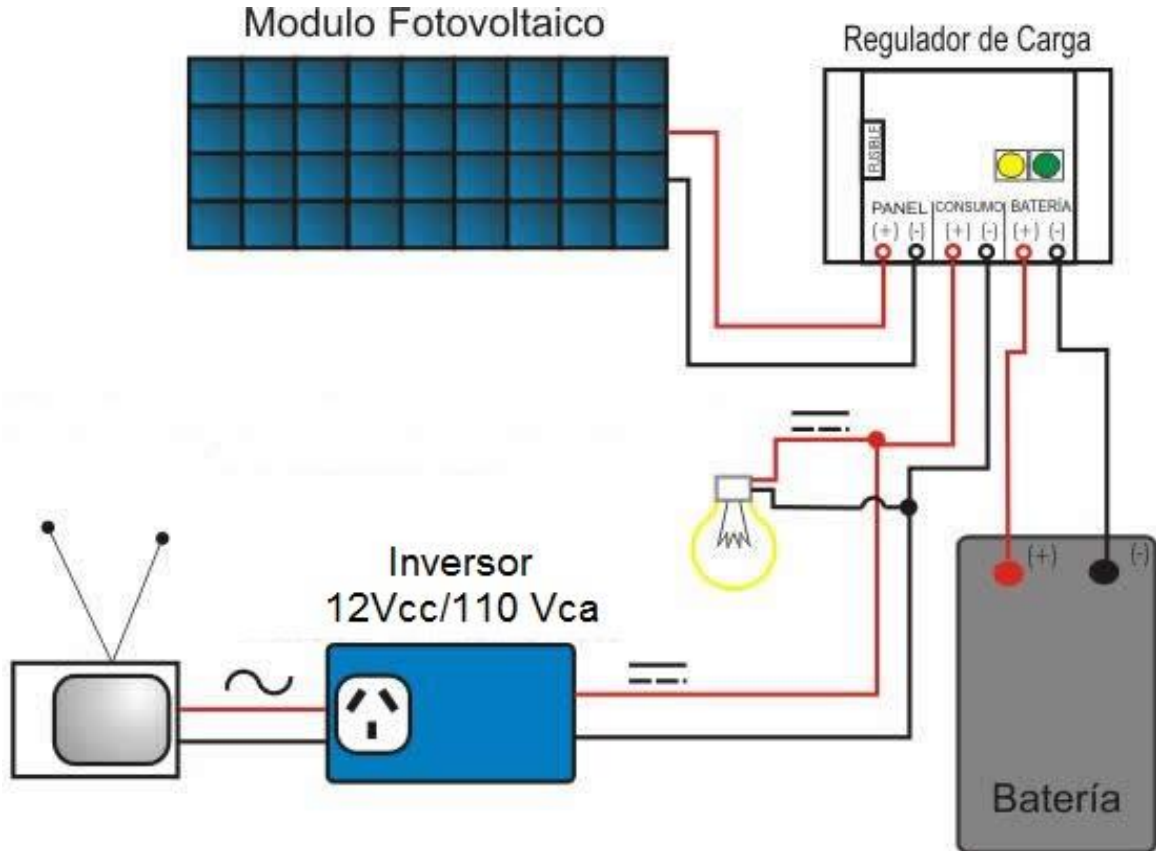
Parameter Definition

Tabla. 1.

Fuente: (Kusterer, John M, 2015)

ANEXO 5

Dispositivos que comprenden un sistema Fotovoltaico.



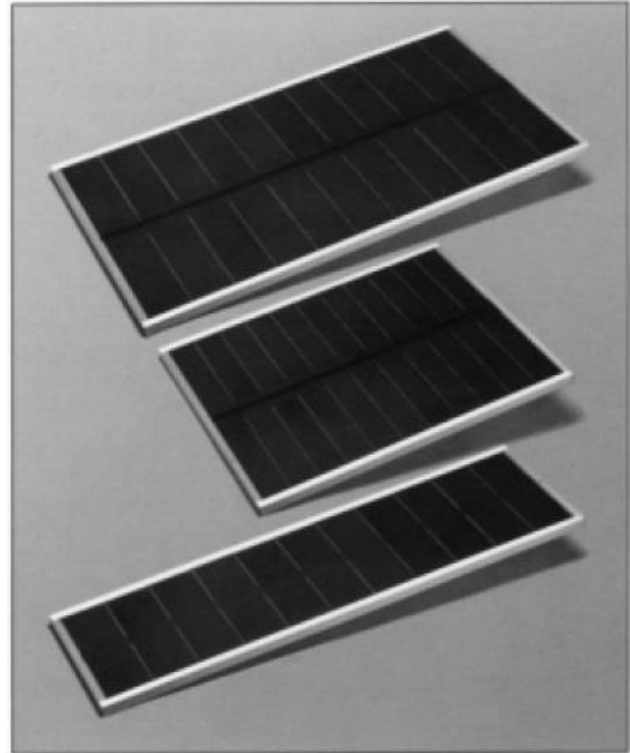
<http://componentesfv45335.pdf>

UNI-POWER™ Solar Electric Modules

Specification Sheet

**Models: US-64
US-42
US-32**

- **Modules Rating: 64, 42, 32 Watts**
- **Triple Junction Silicon Solar Cells**
- **Unbreakable Construction**
- **Polymer Encapsulation - No Glass**
- **Anodized Aluminum Frame**
- **Bypass Diodes For Shadow Tolerance**
- **Weather Resistant Junction Box**
- **Ten Year Limited Warranty**



Each *UNI-POWER* solar electric module utilizes United Solar's proprietary Triple Junction silicon solar cells. These cells are made in a roll-to-roll deposition process on a continuous roll of stainless steel sheet metal. The result is a unique, flexible, light-weight cell.

The modules are exceptionally durable. They are encapsulated in UV stabilized polymers and framed with anodized aluminum. A coated Galvalume steel backing plate provides stiffness. The polymer encapsulation includes EVA and fluoropolymer Tefzel®, a DuPont film.

Bypass diodes are connected across each cell, allowing the modules to produce power even when partially shaded. Each module has a weather resistant junction box designed to accept 1/2" conduit. These modules are appropriate for all applications from simple single module requirements to high voltage grid-connected installations.

Triple Junction Technology

The heart of the new *UNI-POWER* modules is the Triple Junction silicon solar cell unique to United Solar. Each cell is composed of three semiconductor junctions stacked on top of each other. The bottom cell absorbs the red light; the middle cell absorbs the green light and the top cell absorbs the blue light. This spectrum splitting capability is the key to higher efficiency.

United Solar Systems Corp.

United Solar Systems Corp., a world leader in photovoltaics, is a joint venture of two of the world's most respected high technology companies, Energy Conversion Devices, Inc. (ECD) and Canon Inc. United Solar is devoted to the research, development, manufacturing and marketing of photovoltaic products.

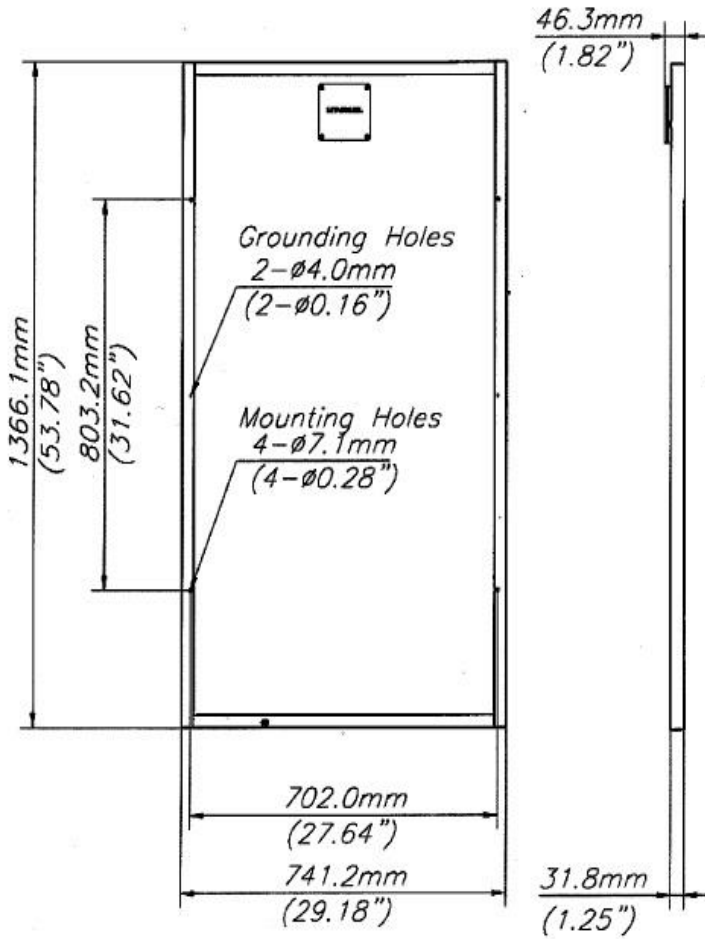
**Village power
Water pumping
Telecommunications**

**Recreational vehicles
Traffic control signals
Remote homes**

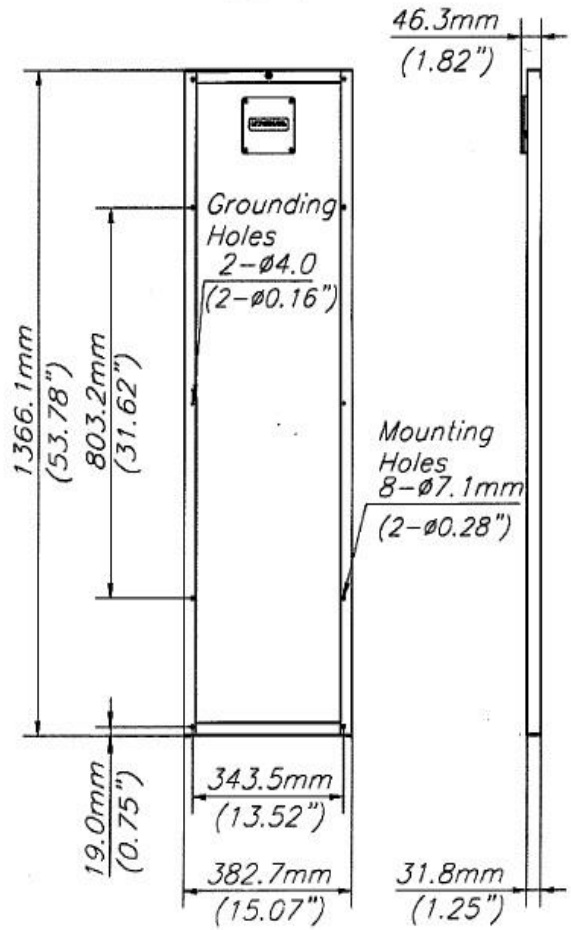
**Security lighting
Parks & recreation
Grid-connected systems**

Dimensions

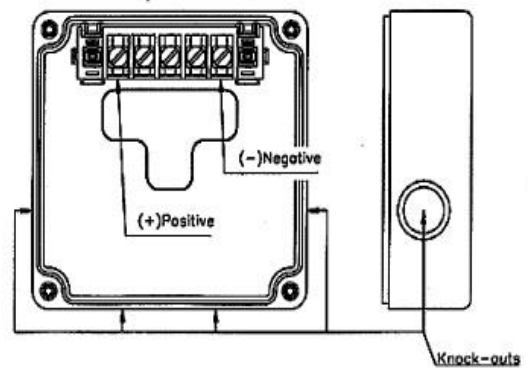
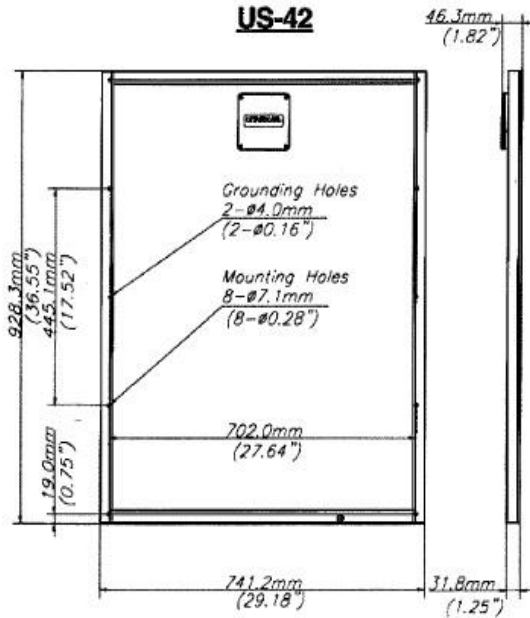
US-64



US-32



US-42



Specifications

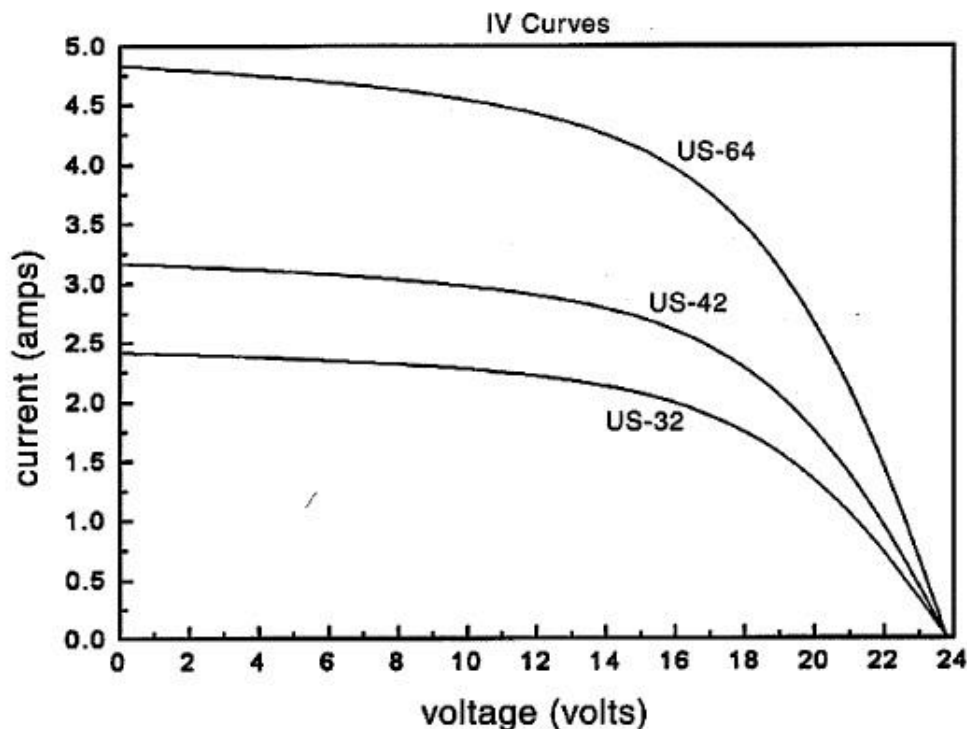
	US-64	US-42	US-32
Rated Power (Watts)	64	42	32
Operating Voltage (Volts)	16.5	16.5	16.5
Operating Current (Amps)	3.88	2.54	1.94
Open Circuit Voltage (Volts)	23.8	23.8	23.8
Open Circuit Voltage (Volts) at -10°C and 1250 W/m ²	27.1	27.1	27.1
Short Circuit Current (Amps)	4.80	3.17	2.40
Short Circuit Current (Amps)* at 75°C and 1250 W/m ²	6.30	4.20	3.10
Series fuse rating (Amps)	8.0	6.0	4.0
Minimum blocking diode (Amps)	8.0	6.0	4.0
Weight (lbs./kgs.)	20.2/9.17	13.8/6.27	10.6/4.8

During initial 8-10 weeks of operation, the module has higher electrical output than rated output. The output power may be higher by 15%, the operating voltage may be higher by 11% and operating current may be higher by 4%.

Electrical specifications ($\pm 10\%$) are based on measurements performed at standard test conditions of 1000 W/m² irradiance, Air Mass 1.5, and Cell Temperature of 25° C after long-term stabilization. Performance may vary up to 10% from rated power due to low temperature operation, spectral and related effects.

Maximum system open circuit voltage 600 VDC.

* Refer to section 690-8 of the National Electric Code for an additional factor of 125% which may be applicable.



GEL BATTERY

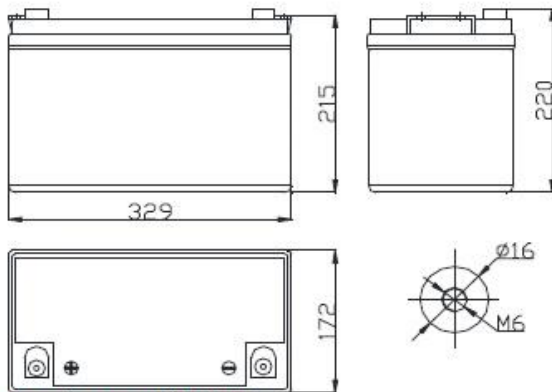
CPG12-100 12V100Ah

The battery is manufactured with special sheet separator and colloidal or foamed silica. The batteries use silica gel to immobilize the electrolyte inside the battery. The proven silica gel technology improves battery cycle life and performance at cold ambient temperatures. The deep discharge cycles is increased by 50% as compared with the AGM battery.

General Features

- (1) High Reliability and Quality
- (2) Excellent Recovery from Deep Discharge
- (3) Good deep discharge cycle capability
- (4) Longer Service Life

Outer Dimensions



Dimensions and Weight

Length (mm / inch)	407 / 16.02
Width (mm / inch)	174 / 6.85
Height (mm / inch)	209 / 8.23
Total Height (mm / inch)	233 / 9.17
Approx.Weight(Kg / lbs)	30.5 / 67.1

Performance Characteristics

Nominal Voltage	12V
Number of cell	6
Design Life	15years
Nominal Capacity 77°F(25°C)	
20 hour rate(10.0A, 10.8V)	100 Ah
10 hour rate(10.0A, 10.8V)	95 Ah
3 hour rate (27.3A, 10.2V)	81.9Ah
1 hour rate(66.1A, 9.6V)	66.1Ah
Self-Discharge	
3% of capacity declined per month at 20°C(average)	
Operation Temperature Range	
Discharge	-40~60°C
Charge	-20~60°C
Storage	-40~60°C
Max.Discharge Current 77°F(25°C)	1000A(5s)
Short Circuit Current	1200A

Battery Construction

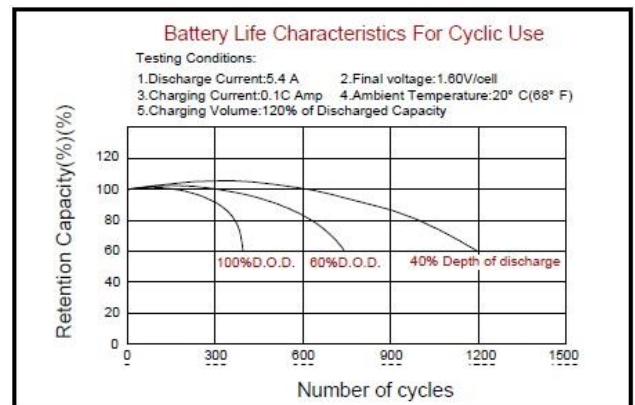
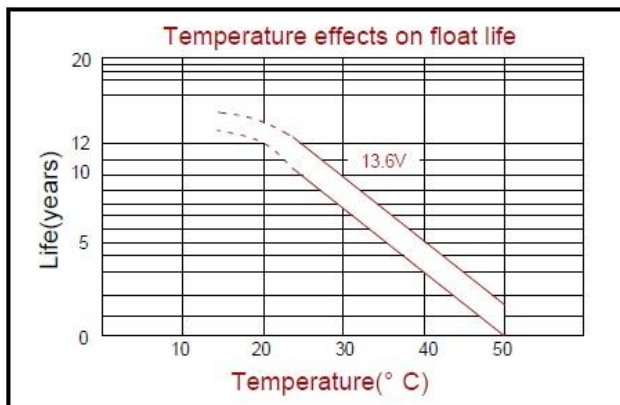
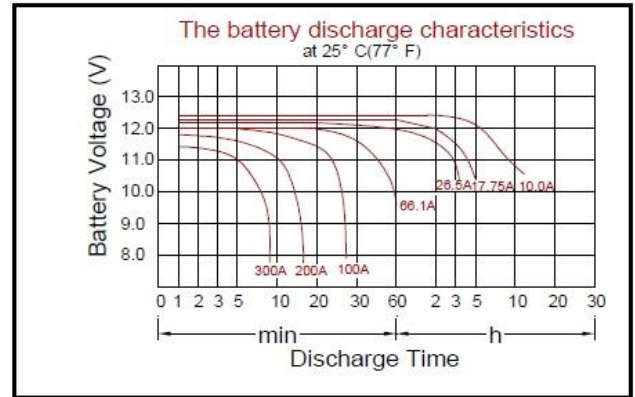
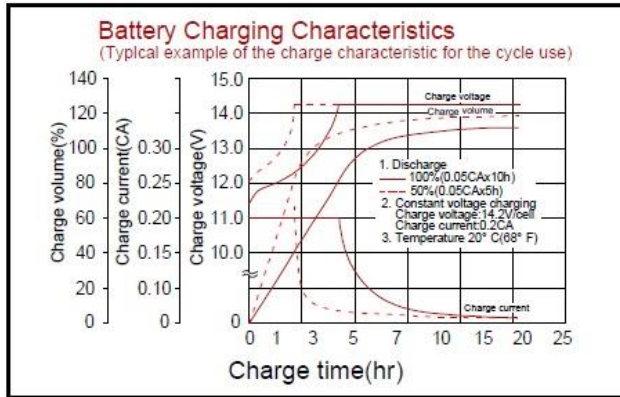
Component	Positive plate	Negative plate	Container	Cover	Safety valve	Terminal	Separator	Electrolyte
Raw material	Lead dioxide	Lead	ABS	ABS	Rubber	Copper	Fiberglass	Sulfuric acid

Charging Methods

Application	Charging method	Charging Voltage at 20°C	Temperature compensation coefficient of charging voltage	Max.charging current	Charging time 20°C(h)		Temp (°C)
					100% discharge	50% discharge	
For standby power source	Constant voltage & Constant Current Charging (with current restriction)	13.4~13.8V	-18 mV/°C	20A	24	20	0~40 (32~104°F)
For cycle service		14.1~14.3V	-24 mV/°C	20A	16	10	

*Temperature compensation of charging voltage is not needed when using the batteries within 5°C to 35°C range.

CPG12-100 12V100Ah



Discharge Constant Current (Amperes at 77°F/25°C)

F.V/Time	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	350	280	200	115	82.0	65.0	35.0	25.3	17.2	11.3	9.40	5.10
1.65V	340	270	190	113	81.0	64.5	34.7	25.2	17.1	11.3	9.40	5.10
1.70V	320	250	180	110	80.0	64.0	34.5	25.0	17.0	11.2	9.30	5.00
1.75V	280	210	170	104	79.0	63.0	34.0	24.7	17.0	11.1	9.30	5.00
1.80V	250	180	160	90.0	78.0	62.0	33.0	24.0	16.8	11.1	9.10	4.90

Discharge Constant Power (Watts/cell at 77°F/25°C)

F.V/Time	5min	10min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60V	637	511	368	223	156	125	67.2	48.8	33.2	21.9	18.3	10.0
1.65V	611	490	348	215	154	123	66.8	48.5	33.0	21.8	18.2	10.0
1.70V	582	461	332	205	152	123	66.2	48.3	32.8	21.8	18.2	9.9
1.75V	510	389	313	193	150	121	65.3	47.7	32.8	21.5	18.0	9.7
1.80V	455	350	295	167	148	119	63.3	46.3	32.5	21.5	17.7	9.5

150W PowerVerter Ultra-Compact Car Inverter, with 1 Outlet

MODEL NUMBER: PV150



Description

Utilize your vehicle's battery to efficiently power office equipment on the road. Continuously supplies up to 150 watts of 120V AC power to a single AC outlet from any 12V battery or automotive DC source. Convenient cigarette lighter DC input jack with 3-ft. cable provides 1-step installation. Portable and compact, the inverter's design is among the most rugged available thanks to its lightweight metal casing.

Features

- Allows users to run smaller AC devices from any 12V cigarette lighter socket
- Converts 12V DC battery power to 120V AC power
- 150 watts continuous output; 300 watts peak output power (instantaneous)
- 1 outlet
- 3-ft. cord with cigarette-lighter plug
- Ultra compact, lightweight design with all-metal housing
- Low battery alarm with auto-shutoff prevents deep battery discharge
- 20-amp fuse protects inverter from overload
- Lighted power switch

Specifications

OVERVIEW	
Style	Compact
Model Type	Inverters
OUTPUT	

Highlights

- 12V DC input; 120V AC output; 1 outlet
- 150 watts continuous output
- 300 watts peak output (instantaneous)
- Convenient cigarette lighter plug

Applications

- Ideal for portable electronics, mobile office equipment and battery rechargers for small battery operated power tools, portable TV/audio systems, camcorders, low power lights, camping accessories and other low-power applications under 150 watts.

Package Includes

- PV150 Inverter
- Warranty information
- Instruction manual



Frequency Compatibility	60 Hz
Output Receptacles	(1) 5-15R
Output (Watts)	150
Continuous Output Capacity (Watts)	150
Peak Output Capacity (Watts)	300
Output Nominal Voltage	120V
Output Voltage Regulation	Maintains PWM sine wave output voltage of 115 VAC (+/- 8 VAC)
Output Frequency Regulation	60 Hz (+/- 3 Hz)
Overload Protection	20A automotive input fuse
INPUT	
Maximum Input Amps / Watts	Full continuous load - 14A at 12VDC, No load - 0.4A at 12VDC
Input Connection Type	12VDC cigarette lighter input plug connection
Input Cord Length (ft.)	3
Input Cord Length (m)	0.91
Voltage Compatibility (VDC)	12
BATTERY	
DC System Voltage (VDC)	12
LEDS ALARMS & SWITCHES	
Audible Alarm	Dual function alarm indicates overload conditions or low DC input voltage of 10.5V or less.
Switches	Lighted on/off power switch
PHYSICAL	
Shipping Dimensions (hwd / in.)	2.25 x 10.5 x 6.5
Shipping Dimensions (hwd / cm)	5.72 x 26.67 x 16.51
Shipping Weight (lbs.)	1.5
Shipping Weight (kg)	.68
Unit Dimensions (hwd / in.)	1.75 x 3.75 x 5.75
Unit Dimensions (hwd / cm)	4.45 x 9.53 x 14.61
Unit Weight (lbs.)	1.3
Unit Weight (kg)	.59
Cooling Method	Convection
Material of Construction	Aluminum / sheet metal



Tripp Lite
1111 W. 35th Street
Chicago, IL 60609 USA
Telephone: 773.869.1234
www.tripplite.com

ENVIRONMENTAL	
Relative Humidity	0-95% non-condensing
SPECIAL FEATURES	
Remote Control Capability	No
WARRANTY	
Product Warranty Period (Worldwide)	1-year limited warranty

© 2015 Tripp Lite. All rights reserved. All trademarks are the sole property of their respective owners. Tripp Lite has a policy of continuous improvement. Specifications are subject to change without notice. Photos may differ slightly from final products.

Saraguro, 10 de julio del 2015

Lic.

Magdalena Lucia Armijos Pineda

DOCENTE DE LA ASIGNATURA DE IDIOMA INGLES

A petición verbal de la parte interesada.

CERTIFICA:

Haber revisado el resumen en Ingles de la Tesis del egresado Miguel Gabriel Gualán Andrade cuyo tema es **"Repotenciación del panel solar ubicado en el Laboratorio de Electrónica para utilizarlo como fuente emergente de iluminación"**

Es todo en cuanto puedo certificar facultando así a los interesados hacer uso del presente certificado en lo que estimen conveniente.

Atentamente.



Magdalena Lucia Armijos Pineda

DOCENTE EN INGLES