

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO MÓVIL de
1000W**

DIONISIO JOSÉ CAMACHO MOLINA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMAS DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2012

**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO MÓVIL DE
1000W**

DIONISIO JOSÉ CAMACHO MOLINA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero
Electricistas

Director:

Ing. Enrique Vanegas Casadiego

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMAS DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2012

AUTORIZACIÓN

Yo, **DIONISIO JOSÉ CAMACHO MOLINA** identificado con cédulas de ciudadanía 73.212.551 de Cartagena autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer buen uso del trabajo de grado titulado “**IMPLEMENTACION DE UN SISTEMAS FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO MÓVIL DE 1000W**”, y a publicarlo en el catalogo ONLINE de la Biblioteca.

DIONISIO JOSÉ CAMACHO MOLINA

C.C.: 73.212.551 de Cartagena

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D. T. y C., ___ de _____ de 2012

AGRADECIMIENTOS

Infinitos agradecimientos a Dios quien me dio fortaleza y perseverancia para culminar este ciclo, a mis padres, abuelos y demás familiares que sirvieron de apoyo incondicional para cumplir este sueño, sin ellos no habría sido posible. Gracias a ti JUAN DE DIOS CAMACHO Y DARLYS ESTHER MOLINA por haber depositado sus ilusiones y confianzas en mi.

Quisiera agradecer también a profesores y amigos incondicionales que siempre estuvieron apoyándome para cumplir esta meta.

Especial agradecimiento a mi director de tesis ingeniero Enrique Vanegas Casadiego por su gran apoyo incondicional y ardua labor de trabajo.

A todos un abrazo y eternas bendiciones

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	9
2.	ANTECEDENTES.....	10
2.1.	Fabricación.....	11
2.2.	Tecnologías.....	12
2.3.	Aplicaciones.....	14
2.4.	Mercado.....	16
3.	ESTADO DEL ARTE.....	18
3.1.	Generador Fotovoltaico.....	18
3.2.	Regulador.....	18
3.3.	Baterías.....	20
3.4.	Inversores.....	22
3.4.1.	Inversores Autónomos.....	22
3.4.2.	Inversor de conexión a red.....	23
3.5.	Protecciones.....	24
4.	MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL.....	25
4.1.	Declinación (d).....	26
4.2.	Latitud Geográfica (L).....	26
4.3.	Inclinación (s).....	27
4.4.	Orientación (g).....	28
4.5.	Angulo Horario (w).....	28
4.6.	Angulo de incidencia de la radiación solar (A).....	29
5.	DISEÑO DE UN MODULO SOLAR FOTOVOLTAICO AUTONOMO MOVIL.....	30
5.1.	Análisis estructural del módulo fotovoltaico.....	31
5.1.	Patrón de irradiación solar.....	35
5.2.	Brillo solar.....	38
5.3.	Dimensionamiento de los dispositivos.....	40
5.3.1.	Generador Fotovoltaico.....	42
5.3.2.	Sistemas de acumulación.....	44
5.3.3.	Regulador.....	46

5.3.4. Inversor	48
5.3.5. Calculo del calibre del conductor.....	48
5.3.6. Protecciones.....	50
6. CONCLUSIONES.....	52
7. BIBLIOGRAFÍA.....	54
8. ANEXOS	55
8.1. Mapas de radiación solar.....	55
8.1.1. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de enero. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	55
8.1.2. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de febrero. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	56
8.1.3. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de marzo. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	57
8.1.4. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de abril. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	58
8.1.5. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de mayo. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	59
8.1.6. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de junio. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	60
8.1.7. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de julio. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	61
8.1.8. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de agosto. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	62
8.1.9. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de septiembre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	63
8.1.10. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de octubre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	64
8.1.11. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de noviembre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.	65
8.1.12. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de diciembre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia	66
8.2. Datasheet.....	67
8.2.1. Datasheet del panel solar SUN SV-T-190	67

8.2.2. Datasheet del Regulador SunSaver 12/24V 15A.....	68
8.2.3. Datasheet de Inversor Xpower 1000W.....	69
8.3. Funcionamiento y mantenimiento.	70
8.3.1. Funcionamiento	70
El módulo solar fotovoltaico implementado cuenta con mecanismos para la variación del ángulo de incidencia solar (9), variación del ángulo de orientación (10), Indicadores de tensión (2) y corriente (3) en dc del panel, borneras eléctricas para medición de voltaje y corriente utilizado un multímetro y un toma corriente en AC para alimentar una carga hasta de 1000W.	70
8.3.2. Mantenimiento	71
8.4. Prácticas versión estudiante	73
8.4.1. Variación de la tensión de vacío y corriente respecto a la orientación del módulo.....	73
8.4.2. Corriente y tensión del panel solar con distintos ángulos de inclinación.....	76
8.4.3. Variación de la tensión de vacío y corriente respecto al sombreado de la superficie captadora.	78
8.4.4. Variación de tensión y corriente respecto a la carga instalada.	81
8.5. Prácticas versión docente	83
8.5.1. Variación de la tensión de vacío y corriente respecto a la orientación del módulo.....	83
8.5.2. Corriente y tensión del panel solar con distintos ángulos de inclinación.....	86
8.5.3. Variación de la tensión de vacío respecto al sombreado de la superficie captadora. ...	88
8.5.4. Variación de tensión y corriente respecto a la carga instalada.	91
8.6. Presupuesto del sistema fotovoltaico autónomo móvil.....	93

1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables podrían ayudar a solucionar mucho los problemas ambientales presente hoy en día, problemas como los cambios climático, los residuos radiactivos, las lluvias acidas y la contaminación atmosférica. La energía solar absorbida por la tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual.

El aprovechamiento de la energía solar puede ser directo e indirecto, directo es el caso de la luz y el calor producidos por la radiación solar ejemplo de esta es la captación fotoquímica realizada por las plantas y el efecto fotoeléctrico origen de las actuales células fotovoltaicas, e indirecto es el caso de las energías eólicas, hidráulica, mareas, olas, biomasa entre otras.

Colombia es un país que se caracteriza por su riqueza natural y diversidad en las condiciones climáticas de sus regiones, es privilegiada también con gran radiación solar durante gran parte del año principalmente en la región caribe, que en promedio recibe 5.5Kwh/m^2 durante 5 horas al diarias, esta ventaja natural sobre otros países permiten la generación de energía limpias por medio de métodos de recolección solar (Paneles Solares Fotovoltaicos).

En la elaboración de este trabajo se realizará el diseño e implementación de un modulo solar fotovoltaico móvil para la realización de prácticas, con el fin de proporcionar las herramientas necesarias para la confrontación teórico-practicas de las variables que intervienen en la generación de energía por medio de captación solar.

2. ANTECEDENTES

La energía solar es la energía producida en el Sol como resultado de reacciones nucleares de fusión, la cual llega a la tierra a través del espacio en quantums de energía llamados fotones que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre.

La energía almacenada en la tierra en su totalidad, contando las reservas de carbón, petróleo y gas natural, corresponden con la energía de tan sólo 20 días de sol. Fuera de la atmósfera la energía del sol produce alrededor de 1300 W/m^2 , en desiertos, se reciben cerca de 6 KW/día, en latitudes hacia el norte se acercan a los 3.6 KWh, sin embargo la energía solar en la tierra varía según la zona y la temporada del año.

La obtención directa de electricidad a partir de la luz se conoce con el nombre de efecto fotovoltaico, el cual consiste en la transformación parcial de la energía luminosa en energía eléctrica, esencialmente es la eyección de electrones por un material fotosensible causada por la incidencia de una radiación electromagnética. La existencia de este fenómeno fue puesta en manifiesto por el físico Antoine Becquerel en el año 1839, Sin embargo no fue sino hasta 1883 cuando se construyó la primera celda solar por Charles Fritts, quien produjo una celda solar de solo 1% eficiencia (es decir, solo podía aprovechar el 1% de la energía lumínica, el otro 99% era desperdiciado)

En 1954 los Laboratorios Bell, descubrieron que ciertos semiconductores cuando eran contaminados a propósito se volvían extremadamente sensibles a la luz. Este último descubrimiento llevó a la creación de celdas solares que eran eficientes a un 6%, lo cual ya las hacía viables para ciertas aplicaciones. Este avance hizo posible que se lanzara al espacio en 1958 el primer satélite con celdas solares, el Sputnik 3. En la actualidad y debido a constantes avances en el área, se ha logrado obtener hasta un 42% de eficiencia en conversión de energía.

Hacia 1870 el profesor W. Grylls Adams y un alumno suyo, R. Evans Day, experimentaron el efecto de la luz sobre el selenio, comprobando que se creaba un flujo de electricidad que denominaron "fotoeléctrica". Era el año 1885 cuando Charles Fritts construyó el primer módulo fotoeléctrico, extendiendo una capa de selenio sobre un soporte metálico y recubriéndola con una fina película transparente de oro. Fritts envió sus paneles solares a Werner von Siemens, que

ante la Real Academia de Prusia presentó los módulos americanos declarando: “Por primera vez tenemos la evidencia de la conversión directa de la energía de la luz en energía eléctrica”.

2.1. Fabricación.

Un panel solar fotovoltaico consta principalmente de la unión entre materiales semiconductores de propiedades físicas tales que lo ubican en una posición intermedia en la escala de conductividad entre los conductores y los aislantes. Los primeros estudios de semiconductores fueron realizados por Tomas Seebeck en 1821, y las primeras aplicaciones se les atribuyen a Werner Von Siemens en 1885 y a Graham Bell en 1888 en la industria de las comunicaciones.

El material semiconductor más usado para la fabricación de paneles solares fotovoltaicos es el silicio (Si). Técnicamente, el silicio se obtiene a escala industrial mediante la reducción de arenas y cuarzo con carbono. El silicio obtenido por técnicas siderúrgicas contiene impurezas y no es adecuado para su utilización en semiconductores y para la producción de baterías solares. El silicio para semiconductores se obtiene mediante la cloración de polvo de silicio y finalmente molido con cloruro de hidrógeno, finalizando con la purificación de los clo-rosilanos hasta obtener el grado de pureza necesario.

El proceso más común para la fabricación de silicio es el método Siemens, éste proceso se basa en la mezcla a altas temperaturas de una barra de silicio y un gas denominado triclorosilano (HSiCl_3), poco a poco el triclorosilano se va descomponiendo y depositando silicio, átomo a átomo, sobre la barra que se va haciendo más gruesa. Al depositarse poco a poco, los átomos lo hacen de forma relativamente ordenada, formando pequeños cristales, este proceso produce silicio de una enorme pureza (una parte entre mil millones no es silicio). El silicio de este tipo, producido por el proceso siemens se denomina silicio policristalino, pues está formado por multitud de pequeños cristales de silicio.

Debido a que la pureza del silicio obtenido a partir de éste proceso es de 99.99999%, el nivel de pureza requerido por la industria microelectrónica, se han desarrollado otros métodos de inferior costo y con una calidad de 99.99% suficiente para la operación de paneles solares fotovoltaicos.

El proceso de fabricación de los modelos o celdas solares inicia con la inserción de elementos químicos llamados dopantes dentro de la lámina del silicio puro. Los dopantes contribuyen a que esta placa tenga un exceso de electrones y aunque no exista en realidad un desequilibrio eléctrico, por convección se entiende que esta placa es de carga negativa y se le denomina "N".

Paralelamente se somete otra placa al mismo proceso, pero en esta ocasión con una sustancia dopante que provoca una falta de electrones. A esta nueva placa se le considera de carga positiva y se denomina placa "P".

Luego de fabricadas, se ponen a prueba las celdas observando su principio de funcionamiento, obtenidas ambas placas N y P se realiza la integración de las mismas, por lo que el exceso de electrones de la placa N pasa al otro cristal y ocupa los espacios libres en P, generando un campo eléctrico en la zona inmediata a la unión cuyo potencial impide que continúe el proceso de traspaso de electrones de una placa a otra. Cuando el conjunto queda expuesto a radiación solar, los fotones incidentes transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores que pueden entonces romper la barrera de potencial en la unión de las placas N-P y salir hacia un circuito exterior produciendo así una corriente eléctrica.

El proceso de obtención de paneles solares fotovoltaicos junto al constante surgimiento de nuevas tecnologías de producción ha permitido evolucionar en los procesos de fabricación y en la misma tecnología solar fotovoltaica.

2.2. Tecnologías.

La primera célula fotovoltaica de silicio fue descrita por R.S. Ohl en el año 1941, pero los primeros dispositivos fotovoltaicos no se empezaron a fabricar hasta la década posterior, se iniciaron investigaciones que hicieron posible abandonar el selenio y se empezara a utilizar el silicio como material básico. En la industria de producción fotovoltaica el silicio era obtenido principalmente de desechos electrónicos.

Existe una primera generación de células fotovoltaicas que se basa en una gran superficie de cristal simple, estas células están fabricadas usando un proceso de difusión con obleas de silicio. Entre las obleas de silicio se encuentran las

monocristalino y policristalino, su eficiencia varia entre 12% y el 17% es la tecnología mas común y representa el 90% total del mercado.

La principal diferencia entre las celulas monocristalinas y policristalina, radica en los procesos de fabricación. El silicio monocristalino se obtiene a partir de la fundición de silicio puro en un crisol con una pequeña cantidad de boro, cuando se encuentra en estado líquido se le introduce un "cristal germen" de silicio, este se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido quedando ordenados siguiendo la estructura del cristal y de esta forma se obtiene un monocristal. 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. La conducción de los electrones es más rápida en los monocristalinos que en los policristalinos, pues en éstos los electrones encuentran más dificultad en atravesar las barreras que suponen las uniones. En principio esta primera generación era muy costosa ya que requería de grandes aportes de energía y manufactura, superficies muy densas para captar la luz.

La segunda generación llego con la primera célula solar delgada comercializada, basada en capas delgadas de silicio la cual podía ser tan buena como las obleas de la primera generación, esta tecnología fue cambiando por dos problemas:

1. Las células semiconductoras eran depositadas en un lento y caro proceso al vacío, no se conocía una manera simple de realizar el proceso de impresión.
2. Las capas delgadas eran depositadas directamente en un cristal, eliminando la oportunidad de usar un conductor directamente como electrodo.

Los materiales con mejores rendimientos en esta generación fueron telurio de cadmio (CdTe), diselenuro de indio cobre (CuInSe_2), silicio amorfo y silicio microamorfo.

La tercera generación combina las ventajas de los materiales utilizados en la segunda generación (capas delgadas) y materiales fotovoltaicos orgánicos (OPV) con una tecnología de proceso más rápida. Las capas inorgánicas son 100 veces más solventes que las capas de silicio, lo cual se manifiesta en bajos costos de

material, estas son impresas con una tinta de células foto electroquímicas, células solares de nanocristales y células solares de tintas sensibilizadas. El material fotosensible es depositado en un fino plástico muy flexible que permite nuevas aplicaciones en autos, barcos y edificios modernos. La durabilidad de este tipo de células orgánicas e inorgánicas oscila en el rango de 13 hasta 22 años dependiendo del ambiente donde son utilizadas.

2.3 Aplicaciones.

Existen básicamente dos formas de implementar un sistema solar fotovoltaico:

- Conectado a la red eléctrica convencional(On-Grid)
- Aislado de la red eléctrica (Off-Grid)

El sistema conectado a la red (*On-Grid*) son los más simples y menos costosos de instalar, este tipo de sistema puede tener o no tener una batería de respaldo. En los sistemas (*On-Grid*) sin batería de respaldo, la energía generada es consumida por la carga o depositada en la red, pero en los momentos donde no se cuenta con intensidad lumínica (noche) y la red es interrumpida, la carga quedara sin energía (ver figura 1).

Los sistemas (*On-Grid*) con batería de respaldo, el sistema solar genera energía que sirve para alimentar los consumos, y en momentos en que la potencia generada sea mayor que la consumida se inyectara energía a la red de distribución eléctrica. Si se diera el caso de fallo en la red de suministro eléctrico en la noche, cuando se carece de intensidad lumínica el sistema seguirá funcionando con la energía acumulada en las baterías. Este tipo de sistema es el futuro de la energía solar, siendo ya presente en Europa y Estados Unidos.



Figura 1. Sistema conectado a la red eléctrica, tomada de la pagina web www.fortunesolar.es

La energía generada con sistemas fotovoltaicos también puede utilizarse para asegurar el suministro de energía eléctrica con independencia de la red eléctrica (*Off-Grid*), esta energía es almacenada en un banco de batería la cual abastecerá en periodos de no incidencia solar, a diferencia de una instalación *On-Grid*, este tipo de instalación además de los módulos solares se necesita, inversor, regulador de carga y baterías recargables (Ver figura 2).

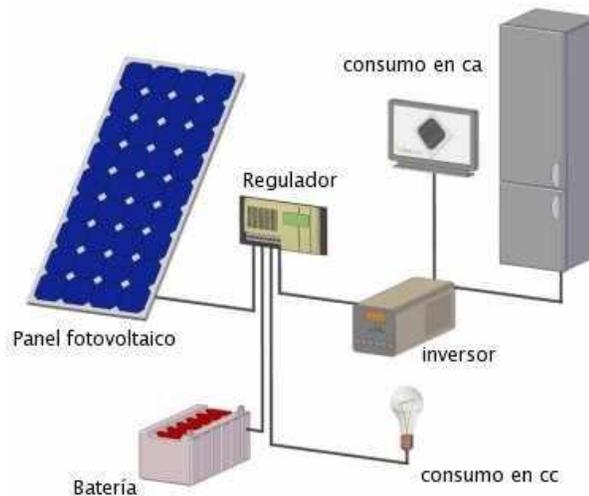


Figura 2. Sistema aislado de la red (*Off-Grid*), tomada de la pagina web www.fortunesolar.es

La consideración más importante en este tipo de sistemas es el costo del banco de baterías, ya deben ser lo suficiente mente grandes para almacenar la energía suministrada por el arreglo fotovoltaico y para guardar una reserva que satisfaga las necesidades en periodos de baja insolación.

2.4 Mercado.

El mercado de producción fotovoltaica es de muy rápido crecimiento a nivel mundial, a pesar de la crisis financiera en el 2011 la tasa de crecimiento alcanzó casi un 70%, un nivel excepcional entre todas las tecnologías renovables. La capacidad fotovoltaica en sistemas conectados a la red en todo el mundo aumento de 16,6GW en 2010 a 27,7GW en el 2011.

En el 2010 los tres primeros mercados fueron Alemania, Italia y la republica Checa, en 2011 Italia lidera las listas y Alemania, China, EE.UU, Francia y Japón siguen cada uno con mas de 1Gw de nueva capacidad, la participación europea en el ámbito mundial fotovoltaico sigue siendo predominante con mas del 75% de toda la nueva capacidad en 2011. Los dos principales mercados, Italia y Alemania, representan casi el 60% del crecimiento del mercado mundial durante el año pasado. Los principales mercados en términos de capacidad de nuevas conexión durante el año 2011 y la capacidad instalada acumulada a finales de año pasado son mostradas a continuación: (Ver tabla 1).

PAISES	NUEVA CAPACIDAD INSTALADA EN 2011(MW)	CAPACIDAD INSTALADA ACUMULADA EN 2011(MW)
ITALIA	9000	12500
ALEMANIA	7500	24700
CHINA	2000	2900
USA	1600	4200
FRANCIA	1500	2500
JAPON	1100	4700
AUSTRALIA	700	1200
REINO UNIDO	700	750
BELGICA	550	1500
ESPAÑA	400	4200
CRECIA	350	550
ESLOVAQUIA	350	500
CANADA	300	500
INDIA	300	450
UCRANIA	140	140
RESTO DEL MUNDO	1160	6060
TOTAL	27650	67350

Tabla 1. Capacidad de nuevas conexión y la capacidad instalada acumulada, tomada del reporte de mercado EPIA (Asociación Industrial Fotovoltaica de Europa) 2011.

Europa ha aumentado su base de capacidad acumulada en más del 50%. Esta impresionante cifra se debe principalmente a tres mercados: Italia, Alemania y Francia. Italia se colocó por primera vez en la cima del mercado fotovoltaico con 9 GW de sistemas nuevos que se conectan en 2011 (frente al 2,3 GW en 2010). Una parte de estas nuevas conexiones es debido a una oleada de instalaciones que tuvo lugar a finales de 2010. El motivo de esta concentración inusual fue la aprobación de un decreto que permite a los sistemas instalados a finales de 2010, pero conectada a mediados de 2011, beneficiarse de una tarifa de alimentación eléctrica mas baja.

En Colombia se cuenta con 4,50MW en sistemas fotovoltaicos aislados y 4,50MW en sistemas para aplicaciones profesionales, las metas de implementación de sistemas solares para Colombia según UPME (Unidad de Planeación Minero Energica) en el 2015 son al alza, aumentando en un 3.5% en zonas interconectadas y un 20% en zonas no interconectadas.

3. ESTADO DEL ARTE

Aunque los módulos fotovoltaicos son generadores de energía eléctrica, se necesitan de otros elementos para alimentar cualquier tipo de carga. Un sistema de generación fotovoltaico básico consta de: Módulos fotovoltaicos (paneles solares), regulador, baterías e inversor (si se decide alimentar cargas de corriente alterna o ac) y las protecciones eléctricas.

3.1. Generador Fotovoltaico.

Es el corazón de la instalación donde se produce la conversión de energía solar en energía eléctrica. Los módulos fotovoltaicos son agrupaciones de células, interconectadas de tal forma que generan la suficiente tensión y corriente para alimentar la carga prevista, teniendo en cuenta las características de las células que se van a utilizar (características de tensión e intensidad), se colocan uniéndolas en serie, si queremos aumentar la tensión, o en paralelo si lo que se quiere es aumentar la corriente; las tensiones normalizadas pueden ser: 6V, 12V y 24V. Los módulos de 12V son los más utilizados en las instalaciones fotovoltaicas autónomas, ya que es la tensión normalizada para los acumuladores (baterías), en diseño, las características que definen completamente al generador fotovoltaico son las siguientes:

1. Tensión nominal " V_{mp} "
2. Corriente nominal " I_{mp} "
3. Corriente de corto circuito " I_{sc} "
4. Tensión de circuito abierto " V_{oc} "
5. Potencia nominal " P_{mp} "
6. Eficiencia mínima " η_{min} "

3.2. Regulador

La principal función del regulador de carga es proteger a la batería en situaciones de descarga profunda como en situaciones de sobrecarga excesiva. También se utiliza para proteger las aplicaciones de consumo ante condiciones de operación

extremas. Típicamente, los reguladores de carga suponen alrededor de un 5% del coste de inversión inicial de un Sistema Fotovoltaico Doméstico (SFD). Sin embargo, su impacto en el coste total Durante todo el tiempo de vida del sistema es mucho mayor, no sólo por sus propios fallos y posteriores reposiciones, si no sobre todo, porque las baterías son el elemento más costoso a largo plazo de la instalación, y su tiempo de vida está directamente relacionado con la calidad del regulador de carga.

Para proteger la batería frente a descarga excesiva, la carga es desconectada automáticamente cuando la tensión de batería disminuye de cierto valor, LVD en inglés (Load Disconnection Voltage), y son reconectados cuando la tensión de batería alcanza un umbral de re conexión de consumo. Para proteger a la batería de una sobrecarga excesiva, la corriente de carga debe limitarse cuando la tensión de batería supera el llamado umbral de tensión de “fin de carga”, y no debe reponerse hasta que la tensión de batería cae por debajo del umbral de reposición.

En función de la posición del dispositivo de interrupción pueden distinguirse dos tipos de reguladores, “serie” y “shunt” o paralelo. Los reguladores serie se caracterizan por realizar el control de carga interrumpiendo la línea campo fotovoltaico-baterías y el control de sobrecarga interrumpiendo la línea batería-consumo, el interruptor de control no disipa potencia cuando esta interrumpiendo la corriente de carga, por lo que este tipo de regulador es adecuado para instalaciones de cualquier potencia. Los reguladores en paralelo el control de carga lo realizan cortocircuitando el campo fotovoltaico y el control de sobrecarga lo realiza interrumpiendo la línea batería-consumo, independientemente del tipo de interruptor de control (electromagnético o electrónico) es necesario un diodo interno que impida que el cortocircuito afecte a las baterías, evitando también así la descarga de la batería hacia el campo fotovoltaico; el interruptor de control disipa potencia cuando esta cortocircuitando la corriente de carga, por lo que este tipo de reguladores se limita a instalaciones de baja potencia.

Por otra parte, existen dos tipos principales de estrategias de control: en el primero un equipo con control de “dos etapas” la corriente de carga se interrumpe totalmente cuando se alcanza la tensión de fin de carga. En segundo es el control por modulación de ancho de pulso (PWM), la corriente de carga se reduce de forma gradual al alcanzar el umbral de fin de carga, esto es, manteniendo constante la tensión de batería y permitiendo que continúe la carga a corrientes inferiores.

Otros reguladores están diseñados para permitir sobrecargas controladas como método para evitar el fenómeno de la estratificación del electrolito, ciertamente perjudicial para las baterías.

Al momento de seleccionar un regulador, se debe tener en cuenta las condiciones de operación y características del regulador como son:

1. Tensión del sistema solar
2. Máximo consumo del dispositivo
3. Máxima tensión de circuito abierto
4. Eficiencia
5. Rango de tensión de operación de la batería
6. Protección contra transitorios

3.3. Baterías.

Las baterías pueden ser consideradas el componente económicamente más costoso al contabilizar la vida total de un sistema fotovoltaico. Constituyen alrededor de un 13% al 30% de la inversión inicial.

Existen diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo ácido, las baterías de plomo ácido están constituidas por una placa de dióxido de plomo (ánodo +), otra de plomo (cátodo -) y un electrolito (ácido sulfúrico diluido en agua). Las baterías pueden estar formadas por vasos de 2V independientes (ver figura 4a) o conjuntos monobloque (Ver figura 4b), que constan de varios vasos.



Figura 4a. Batería de vaso.



Figura 4b. Batería Monobloque.

Tomadas de SoloStocks (The marketplace 2B)

Uno de los factores más importantes durante el correcto funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico es el proceso de carga y descarga de la batería, el cual puede ser verificado chequeado variables como el voltaje y la densidad. El voltaje es el parámetro mas utilizado para verificar el estado de esta, quedando establecida para carga y descarga de la siguiente esta manera (Ver Tabla 2):

DESCRIPCION	VOLTAJE (Voltio)		DENSIDAD (g/cm ³)	
	Carga	Descarga	Carga	Descarga
Vaso 2V	2,6	1,7	1,1	1,3
Monobloque 12V	15,6	10,2		

Tabla 2. Nivel de carga y descarga para baterías de Vaso y Monobloque, tomada del libro "Censo y Evaluación de Sistemas Solares Fotovoltaicos Instalados en Colombia, pagina 23"

El parámetro de densidad varía desde 1,10 g/cm³ cuando esta totalmente descargada hasta 1,30 g/cm³ al estar totalmente cargada, la medición de la densidad del electrolito, es la mejor indicación del estado carga-descarga de la batería.

Durante el proceso de descarga se produce un fenómeno llamado gasificación, el cual tiene consecuencias positivas y negativas. Entre las consecuencias positivas (con una gasificación controlada) se destaca la homogenización del electrolito lo cual evita la estratificación del mismo, dentro de las negativas se produce pérdida de agua del electrolito, la corrosión por oxidación de la rejilla positiva, pérdida de materia activa por el arrastre que produce las burbujas de gas la cual llega a depositarse en el fondo pudiendo producir un cortocircuito y la destrucción del acumulador. La pérdida de agua del electrolito obliga a su periódica reposición, puesto que si alguna parte de las placas llega a quedarse fuera del líquido se producirá una disminución de su capacidad e incluso daños irreversibles en la batería, también acelera el proceso de sulfatación de los terminales y placas de la batería.

En diseño, se deben tener en cuenta las siguientes características a la hora de dimensionar el banco de baterías.

1. Capacidad
2. Capacidad energética
3. Régimen de carga/descarga
4. Tensión nominal
5. Profundidad de descarga
6. Vida útil
7. Eficiencia

3.4. Inversores.

Son dispositivos electrónicos, que basándose en tecnología de potencia transforman la corriente continua procedente de los módulos fotovoltaicos en corriente alterna o corriente continua, el objetivo principal de los convertidores de potencia es producir una forma de onda de salida de CA o CC.

Actualmente los inversores se fabrican en base a una tecnología denominada “modulación de anchura de pulso”, los convertidores utilizados en sistemas solares fotovoltaicos por lo general son de CC/CA, pueden ser monofásicos o trifásicos (los de mayor potencia), la tensión y frecuencia de CA es la propia de la red eléctrica del país donde se utilicen.

En función de su utilización existen dos familias de inversores:

- Inversores autónomos
- Inversores de conexión a la red

3.4.1. Inversores Autónomos

Los inversores utilizados en las instalaciones autónomas se alimentan normalmente de los sistemas acumuladores (baterías), solo en casos muy definidos cuando la potencia sea menor que la del regulador se puede alimentar desde la salida del regulador como una carga más. Este tipo de inversor se utiliza para alimentar todas las cargas de CA de una instalación FV autónoma, no pueden ser conectados a ninguna otra red de CA, “nunca se debe conectar a la red eléctrica principal”. Existen tres tipos de inversores, según la forma de onda alterna de salida: inversor de onda cuadrada, inversor de onda modificada, inversor de onda senoidal pura. Hoy en día los avances tecnológicos han permitido que los costos de fabricación de los inversores de onda senoidal pura

sean asequibles para cualquier aplicación, siendo estos los más costosos y de mayor eficiencia.

Las características que se debe tener en cuenta al momento de seleccionar un inversor son:

- Tensión de entrada
- Forma de onda de salida
- Potencia nominal
- Tensión de salida
- Frecuencia nominal de la tensión de salida
- Eficiencia
- Distorsión armónica
- Autoconsumo
- Forma de arranque.

3.4.2. Inversor de conexión a red

Los inversores utilizados en instalaciones conectados a red se alimentan directamente del grupo fotovoltaico y su salida en CA se conecta directamente a una red externa de suministro de CA, esto con el fin de que toda la energía que produce los módulos solares se inyecte a dicha red. La onda de salida solamente puede ser senoidal ya que tiene que estar sincronizada en tensión, frecuencia y fase con la de la red a la que se conecte.

Estos inversores a pesar de realizar la misma función básica que los autónomos, convertir CC en CA, difieren en gran medida en sus características y funciones. Entre las características eléctricas tenemos:

- **Punto Max. Potencia (PMP):** Permite que el generador fotovoltaico inyecte a la red su máxima potencia (PMP), para cada valor de radiación.
- **Prevención de funcionamiento en modo isla:** Si el suministro eléctrico se detiene (desconecta) donde esta operando el inversor, este se debe desconectar automáticamente.

- **Desconexión por debajo nivel de radiación:** Permite desconectar el equipo cuando la radiación es insuficiente, ejemplo al momento de anochecer.
- **Desconexión por alta o baja tensión de red:** Provoca la desconexión del equipo cuando la red sufre alteraciones que se salen del rango de $\pm 10\%$.
- **Desconexión por alta o baja frecuencia de red:** Provoca la desconexión del equipo cuando la red sufre alteraciones de frecuencia que salen del rango $\pm 5\%$.
- **Sincronismo de fase:** Para una perfecta conexión en fase con la red eléctrica el inversor verifica parametros en la red durante unos minutos y luego, si se mantiene inicia el proceso de inyección de la energía en rampa ascendente.

Los inversores deben tener factor de potencia en el orden del 95% y una distorsión armónica menor al 4%, para evitar caídas de tensión considerables se debe colocar lo más cercano al campo fotovoltaico.

3.5. Protecciones

Todas las protecciones de un sistema solar fotovoltaico se realizaran acorde a lo establecido en la NTC 2050 SECCION 690, la cual determina que La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125% de la corriente nominal.

Además de las protecciones contra sobrecorrientes, se deben aterrizar todas las partes metálicas, equipos y encerramientos de conductores independiente mente de su tensión como se establece en sección 690-43 de la NTC2050.

4. MOVIMIENTO APARENTE DEL SOL

Movimiento aparente del sol es motivado por la rotación de la tierra la cual gira sobre su eje en dirección Oeste-Este, este movimiento provoca que parezca que el sol se mueve en dirección contraria de Este-Oeste.

La tierra gira alrededor del sol en un periodo de 365 días aproximadamente, y sobre su eje de rotación en 24 horas, aunque realmente esto no ocurre así, la tierra gira sobre su eje en un periodo de 23h 56m, durante ese tiempo un punto cualquiera de la tierra vuelve a estar en la misma posición del espacio que 23h 56m antes. Este periodo de tiempo se llama día sidéreo, la razón por la cual el día tiene 24h es debido a que durante 23h 56m que la tierra rota sobre si también experimenta un movimiento de traslación respecto al sol, este movimiento ocasiona que un punto cualquiera en la tierra tenga que esperar 24h para estar en la misma posición que antes.

Al estudiar el movimiento solar es necesario definir conceptos como la **meridiana**, la cual es una línea imaginaria dirigida en dirección Norte-Sur. Si situamos una estaca en el suelo, en una superficie plana y horizontal veremos que la sombra proyectada varía a lo largo del día, en el momento en que la sombra tenga una longitud mínima, indicará que el sol está en su punto más alto sobre el horizonte y señalará la dirección de la meridiana (Norte-Sur geográfico). A este momento del día lo llamamos medio día solar. (Ver figura 5)

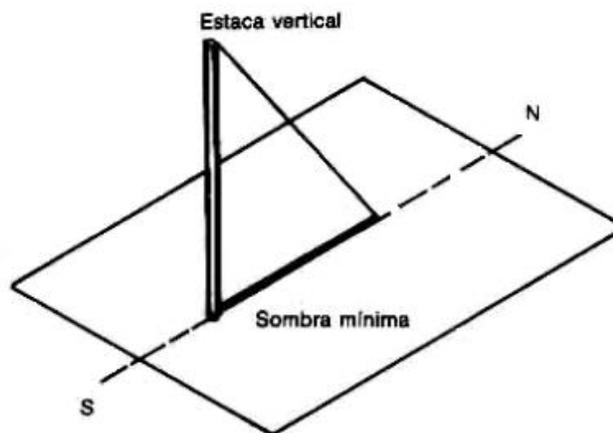


Figura 5. Meridiana, tomada del curso de energía solar C.T.E. Centro de Tecnología Avanzada

Al momento de ubicar módulos solares fotovoltaicos, es necesario ubicarlos de tal forma que el ángulo incidente respecto a la perpendicular de dicha superficie sea lo menos posible, para que esto suceda se requiere conocer ciertas variables descritas a continuación.

4.1. Declinación (d)

Es el ángulo formado por el sol y el cenit, vistos por un observador situado en el ecuador al medio día solar. Este ángulo depende del día del año en que se considere. (Ver figura 6)

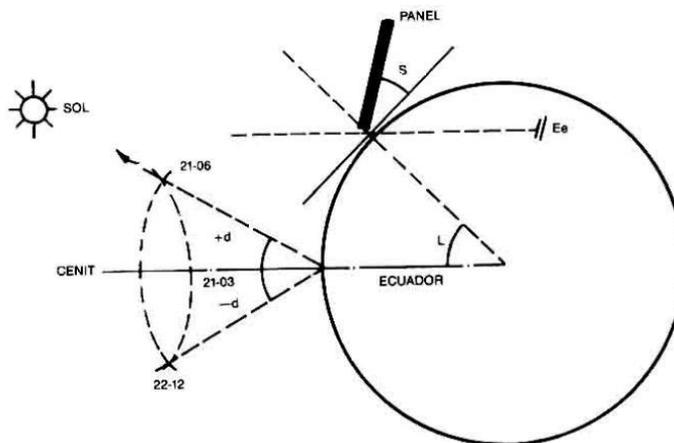


Figura 6. Ángulo Declinación, tomada del curso de energía solar C.T.E. Centro de Tecnología Avanzada

4.2. Latitud Geográfica (L)

Es un ángulo con vértice en el centro de la tierra y extremos sobre el ecuador y sobre el lugar donde nos encontramos, a los puntos situados sobre el ecuador les corresponde una latitud 0° y a los polos una de 90° .

La latitud se establece positiva para el hemisferio Norte y negativa para el hemisferio Sur, viene marcada por las líneas horizontales que tiene los mapas, lo cual expresa directamente su valor en grados. (Ver figura 7)

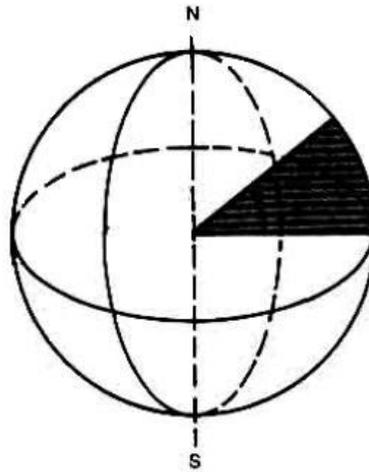


Figura 7. Latitud Geográfica, tomada del curso de energía solar C.T.E. Centro de Tecnología Avanzada

4.3. Inclinación (s)

La inclinación de los módulos solares es el ángulo formado por este y la horizontal del terreno, por lo general la inclinación de los módulos siempre será en relación con la latitud del lugar donde se vayan a instalar. (Ver figura 8)

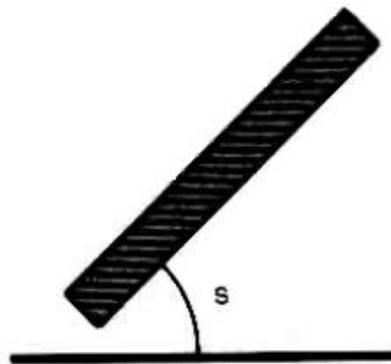


Figura 7. Latitud Geográfica, tomada del curso de energía solar C.T.E. Centro de Tecnología Avanzada

4.4. Orientación (g)

La orientación es el ángulo formado por la perpendicular de la superficie del módulo y la dirección de la meridiana. Usualmente el origen de este ángulo se toma de la siguiente manera, si nos encontramos en el (hemisferio Norte) hacia el sur y si nos encontramos en el (hemisferio Sur) hacia el Norte, por convenio se considera el ángulo positivo hacia el Este y negativo hacia el Oeste. (Ver figura 9)

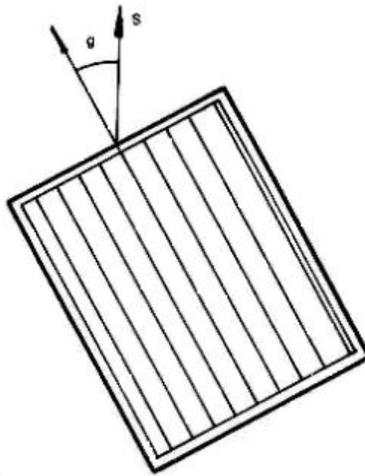


Figura 8. Angulo de Orientación, vista superior de un modulo solar, tomada del curso de energía solar C.T.E. Centro de Tecnología Avanzada

4.5. Angulo Horario (w)

El ángulo horario es el formado por la dirección de la meridiana y la sombra proyectada por una vertical (reloj solar), el origen se toma al medio día solar en el que el ángulo horario es 0° . (Ver figura 9)

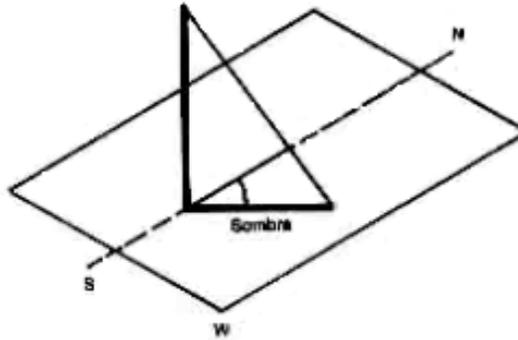


Figura 9. Angulo de Horario, tomada del curso de energía solar C.T.E. Centro de Tecnología Avanzada

4.6. Angulo de incidencia de la radiación solar (A)

El ángulo de incidencia de la radiación solar es el ángulo formado por la normal de los módulos solares (\vec{n}) y los haces lumínicos provenientes del sol, este ángulo esta en función de variables como la Declinación (d), Latitud Geográfica (L), Inclinación (s), Orientación (g), Angulo Horario (w) y se determina por medio de la siguiente expresión matemática:

$$A = \arccos[\sin(d) \cdot \sin(L) \cdot \cos(s)] - [\sin(d) \cdot \cos(L) \cdot \sin(s) \cdot \cos(g)] + [\cos(d) \cdot \cos(L) \cdot \cos(s) \cdot \cos(w)] + [\cos(d) \cdot \sin(L) \cdot \sin(s) \cdot \cos(w) \cdot \cos(g)] + [\cos(d) \cdot \sin(s) \cdot \sin(g) \cdot \sin(w)]$$

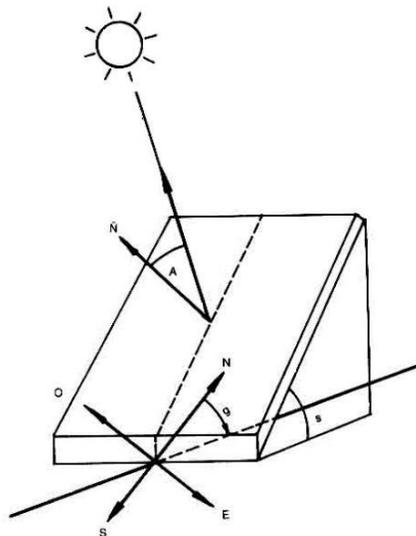


Figura 10. Angulo de Incidencia, tomada del curso de energía solar C.T.E. Centro de Tecnología Avanzada

5. DISEÑO DE UN MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO MÓVIL

El sistema solar fotovoltaico propuesto se basa en una estructura móvil, la cual dispone de mecanismos para la variación del ángulo de incidencia solar, el ángulo de orientación solar, entre otros. Con esto se busca confrontar las variables que intervienen en la generación de energía por medio de captación solar, acceder a lugares donde se encuentre una mayor incidencia solar y solucionar requerimientos energéticos en lugares donde no se cuenta con el suministro eléctrico. (Ver figura 11)

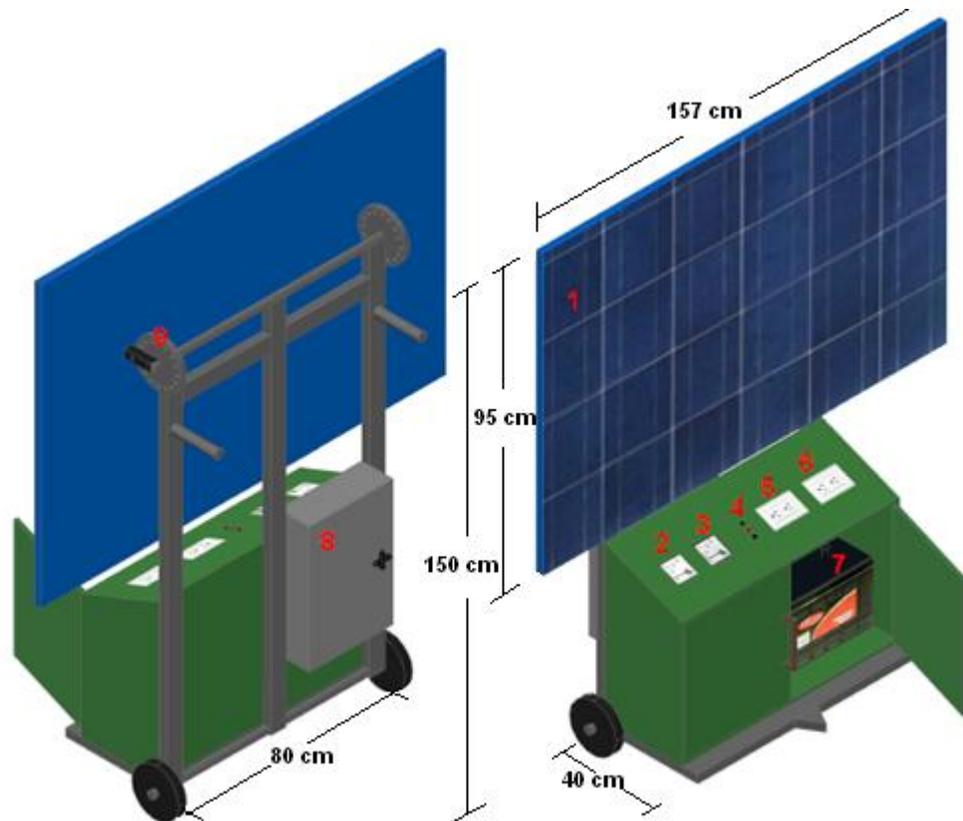


Figura 11. Módulo Solar Fotovoltaico Móvil

El módulo solar fotovoltaico implementado es de tipo autónomo, el cual cuenta con los elementos enumerados en la figura 11. (1) Panel solar, este produce la conversión de energía lumínica en energía eléctrica, esta compuesto por una

interconexión en serie y paralelo de una cantidad de células dispuestas de manera que generen la suficiente tensión y corriente para alimentar la carga prevista.

Amperímetro (2) y voltímetro (3), los cuales indican la variación de voltaje y amperaje producidos al modificar el ángulo de incidencia solar, orientación o la posición del modulo. Borneras eléctricas (4), nos permite tomar mediciones de tensión y corriente al modificar las variables de ubicación del módulo de una forma mas precisa. Toma corriente en AC (5) y (6), para alimentar cargas específicas en AC. Baterías (7), estas nos permiten almacenar la energía producida por el panel. En la parte posterior se cuenta con un mecanismo para variar el ángulo de inclinación solar (9) y un compartimiento en policarbonato donde encontramos las protecciones eléctricas, el inversor y el regulador.

El primer aspecto que debemos considerar a la hora de realizar el diseño es la necesidad energética, cuanta potencia es requerida y durante que periodo de tiempo (vatios/horas). Esta información nos proporciona las pautas necesarias para elección de los dispositivos electrónicos tales como: paneles solares, regulador, inversor y baterías.

Como segundo aspecto a tener en cuenta es la disponibilidad en el sitio de estudio del recurso solar, el cual se define como: la cantidad de radiación solar global o total que incide al día sobre los paneles solares, esto se expresa en $\text{kw/m}^2 \cdot \text{dia}$ (horas de sol máximo u Horas de Sol Pico "HSP"). Para obtener este dato se puede medir al menos durante un año la radiación solar en el sitio de la futura instalación, pero lo más práctico y generalizado es el uso de las tablas de radiación y los mapas de radiación, los cuales para este diseño se obtuvieron de la Unidad de Planeación Minero Energética "UPME". En la práctica, se toma como valor de radiación, el promedio de los tres meses de peor radiación solar.

5.1. Análisis estructural del módulo fotovoltaico

El módulo solar fue realizado en tubo estructural de 38,1mm x 25,4mm en acero 20/10 calibre 1.5mm, el cual ofrece una resistencia a la deflexión de 240Mpa según la tabla B-1 (resistencia de materiales) del libro Pytel-Singer.

El peso total de la carga es de 100kg los cuales están distribuidos uniformemente sobre los tubos estructurales ubicados debajo del gabinete de las baterías. Con el fin de asegurar la resistencia de la estructura se analiza los esfuerzos mecánicos que la carga total realiza sobre el material, Suponiendo que uno de los tubos

estructurales ubicados debajo del gabinete de baterías esta soportando un momento de 50kg en su punto más débil como se muestra a continuación:

- Determinación de la fuerza o peso. (Ver figura 12)

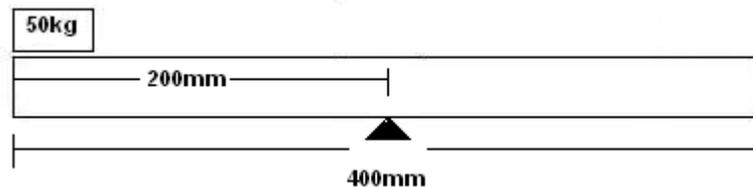


Figura 12. Vista lateral de un tubo estructural sometido a una carga de 50kg

$$W=mg \text{ Ecuación 1 } ^1$$

Donde:

W: peso o fuerza

m: masa

g: gravedad

Reemplazando en la ecuación 1 obtenemos:

$$W = (50\text{Kg}) (10\text{m/s}^2)$$

$$W= 500\text{N}$$

- Determinación del momento de inercia, considerando la sección transversal del tubo como la diferencia de dos rectángulos como se muestra a continuación.

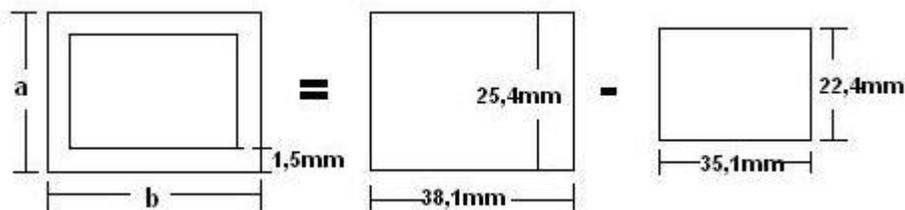


Figura 13. Vista frontal del tubo estructural a estudiar.

¹ Física Universitaria. Sear Zemansky, Young Freedman. Edición 11. Masa y peso. Pagina 135.

$$I = 1/12(b)(h)^3 - 1/12(b)(h)^3 \text{ Ecuación 2 }^2$$

Reemplazando en la ecuación 2 obtenemos:

$$I = 1/12(38,1\text{mm})(25,4\text{mm})^3 - 1/12(35,1\text{mm})(22,4\text{mm})^3$$

$$I = 36343,7928 \text{ mm}^4$$

- Determinación del momento de torsión en el punto indicado.(Ver figura 12)

$$M = w * l \text{ Ecuación 3 }^3$$

Donde:

M: momento de torsión

W: Peso o fuerza

L: Distancia al punto de torsión

Reemplazando en la ecuación 3 obtenemos:

$$M = 500N * 200\text{mm}$$

$$M = 100000N*\text{mm}$$

- Finalmente determinamos el momento flector , siendo $c = 1/2a$

$$\alpha_{\text{perm}} = \frac{Mc}{I} \text{ Ecuación 4 }^4$$

Donde:

α_{perm} : momento flector.

M: momento de torsión

² Mecánica de materiales. Ferdinand P. Beer, E Russell Johnston,Jr. John T. Dewolf. Edición 3. Esfuerzos principales bajo una carga dada. Pagina 222

³ Física Universitaria. Sear Zemansky, Young Freedman. Edición 11. Dinámica del movimiento rotacional. Pagina 362.

⁴ Mecanica de materiales. Ferdinand P. Beer, E Russell Johnston,Jr. John T. Dewolf. Edición 3. Flexión pura. Pagina 217.

C: Constante, $c = \frac{1}{2}(a)$ entonces $c = 12,7\text{mm}$

Reemplazando en la ecuación 4 obtenemos:

$$\alpha_{\text{perm}} = \frac{100000N*mm (12,7mm)}{36343,7928mm^4}$$

$$\alpha_{\text{perm}} = 34,94\text{Mpa}$$

De lo anterior podemos concluir que la estructura utilizada en la elaboración del módulo soporta cerca de 7 veces la carga total utilizada.

5.1. Patrón de irradiación solar.

Debido a que nuestra aplicación es con fines académicos en la Universidad Tecnológica de Bolívar campus ternera, se observan los mapas de radiación solar para Cartagena en el “Atlas de Radiación Solar de Colombia” proporcionados por UPME. Se verifica la radiación de cada mes del año para obtener los tres meses de menor radiación solar en el sitio de estudio. (Ver figura 14)

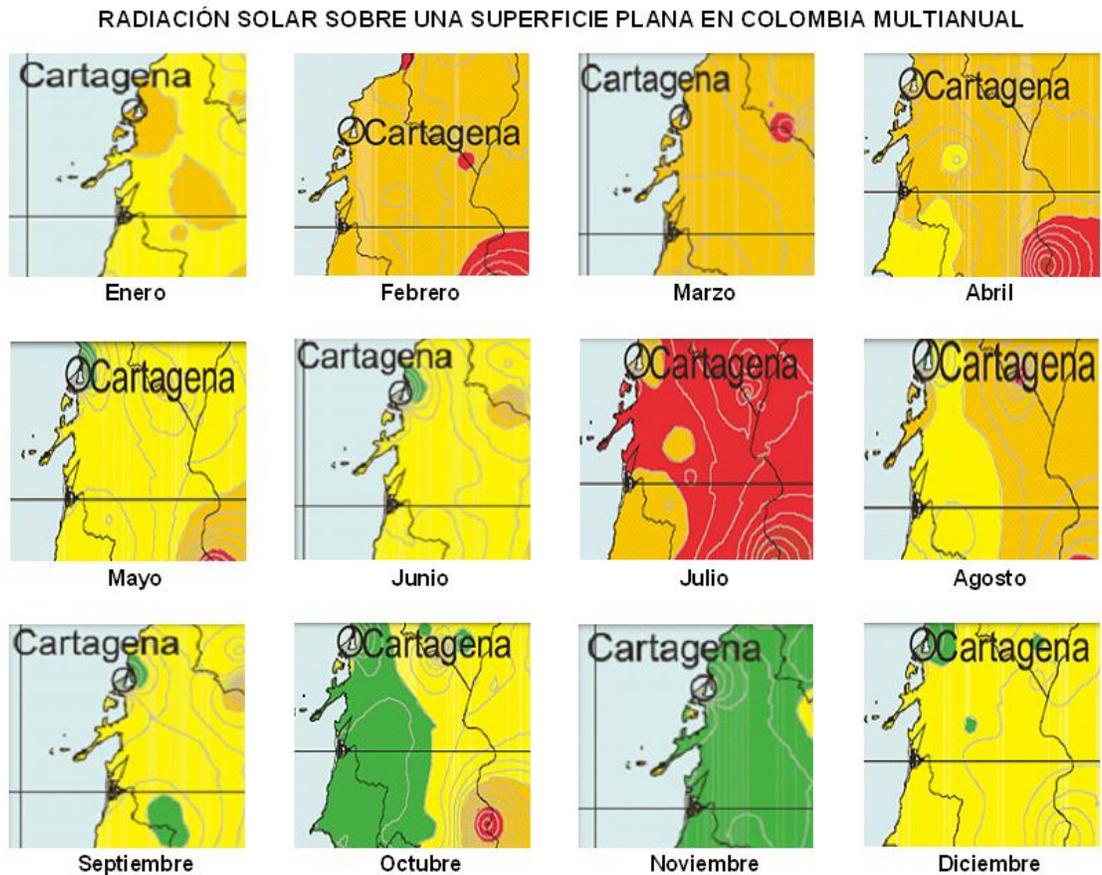


Figura 14. Mapa de radiación solar de Cartagena, tomado del atlas de radiación solar UPME.

Tabulando los valores máximos y mínimos correspondiente a las radiaciones solares presentes en Cartagena durante el año, se obtiene la siguiente tabla. (Ver tabla 3)

Meses	Radiación Solar Mínima (KWh/m ²)	Radiación Solar Máxima (KWh/m ²)
Enero	5,5	6
Febrero	5,5	6
Marzo	5,5	6
Abril	5,5	6
Mayo	4	4,5
Junio	4	4,5
Julio	4	4,5
Agosto	4	5
Septiembre	4	5
octubre	4	4,5
Diciembre	4	4,5
Promedio Anual	4,166666667	4,708333333

Tabla 3. Máximo y mínimo valores de radiación al año, tomado del atlas de radiación solar UPME.

Se observa que la máxima radiación solar que se presenta en Cartagena oscila entre 6KWh/m² y 4.5KWh/m², caracterizándose los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril con radiación solar de 6KWh/m², como se puede apreciar en la siguiente figura.

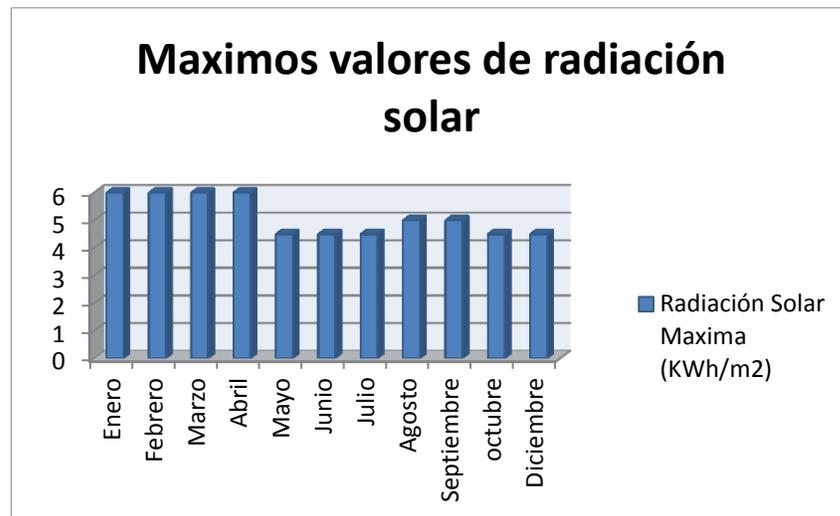


Figura 15. Máximos valores de radiación solar, tomados del atlas de radiación solar UPME.

También se aprecia que los mínimos valores de radiación solar en Cartagena se presentan en los meses de Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre. Esto debido al movimiento de translación de la tierra. (Ver figura 16)

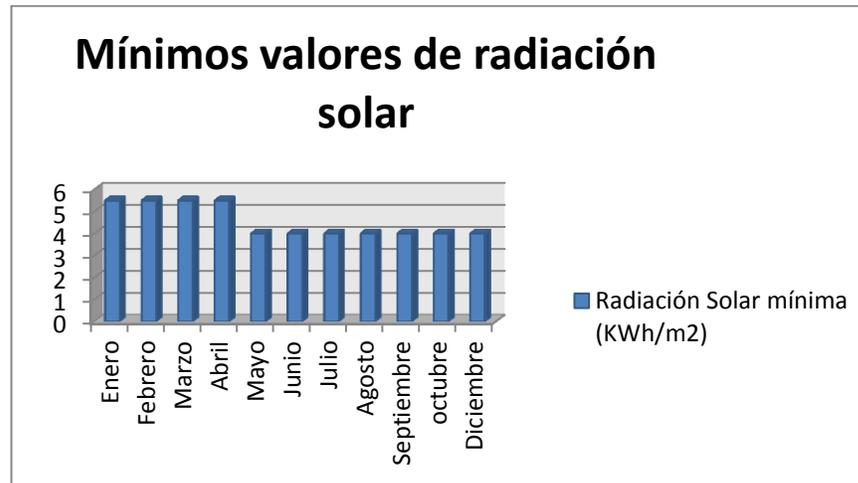


Figura 16. Mínimos valores de radiación solar, tomados del atlas de radiación solar UPME.

Con el fin de asegura la funcionalidad operacional de nuestro módulo solar, se diseñar teniendo encuentra las condiciones mas critica de radiación solar, la cual es de 4KWh/m² y se presenta en siete meses durante el año (ver figura 16).

$$C_{radiacion} = 4KWh/m^2$$

De esta manera se tomo como premisa de diseño que la radiación solar en el sitio de estudio será de 4KWh/m².

5.2. Brillo solar.

La presencia de radiación depende directamente del brillo solar, cuyos valores corresponden al número de horas que en promedio durante un día de cada mes o año se puede observar el sol en el cielo. Estos valores son obtenidos del mapa de brillo solar en Colombia desarrollado por el UPME. (Ver figura 17)

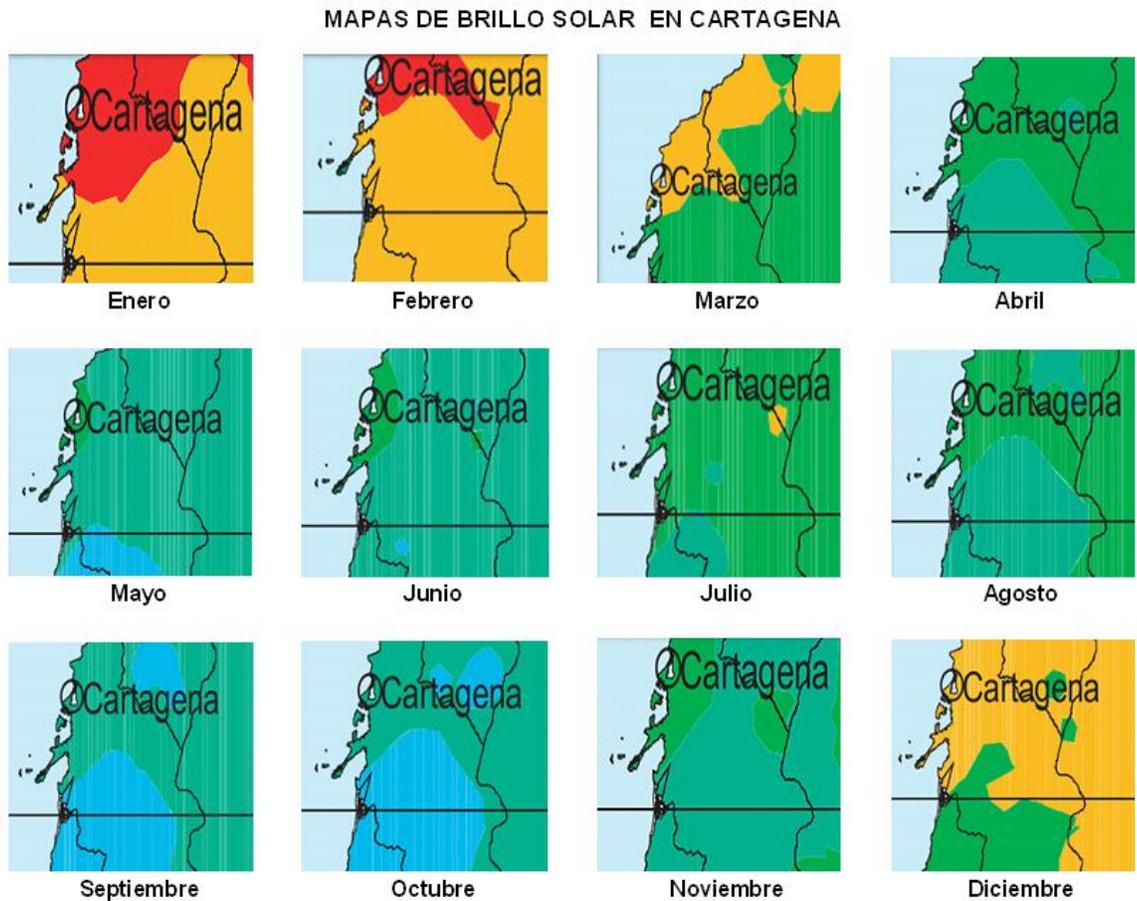


Figura 17. Mapa de brillo solar en Cartagena, tomado del atlas de brillo solar UPME.

Se tabulan los valores máximo y mínimos obtenidos de los mapas mensuales en la siguiente tabla. (Ver tabla 4)

BRILLO SOLAR EN CARTAGENA DURANTE EL AÑO Y HORAS DE SOL AL DIA		
MES	MINIMOS(h)	MÁXIMOS(h)
Enero	8	9
Febrero	8	9
Marzo	7	8
Abril	6	7
Mayo	6	7
Junio	6	7
Julio	6	7
Agosto	6	7
Septiembre	5	6
Octubre	5	6
Noviembre	6	7
Diciembre	7	8

Tabla 4. Máximos y mínimos valores de brillo solar, tomado del atlas de radiación solar UPME.

El valor de brillo solar establecido como premisa de diseño al igual que con la radiación sola, será la peor condición presentada en Cartagena, esto con el fin de brindar confiabilidad a la operación del módulo. Los valores mínimos tabulados se pueden observar gráficamente en la figura 18.

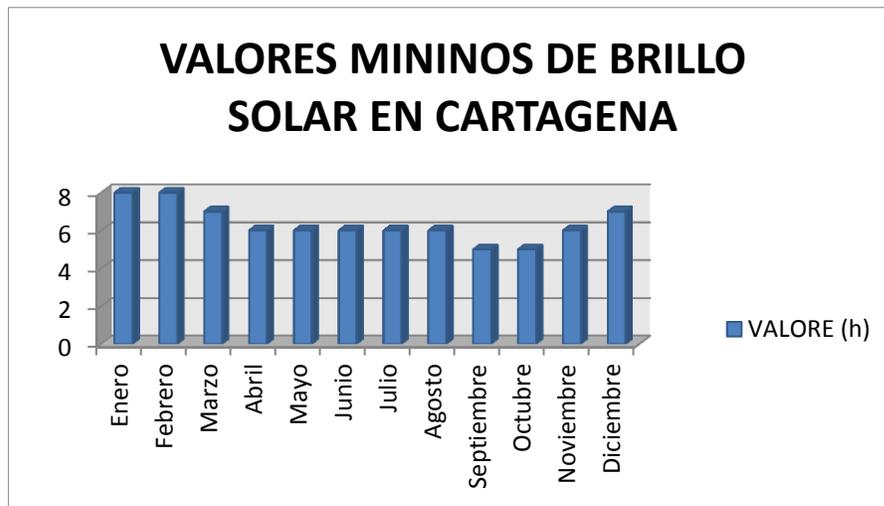


Figura 18. Valores mínimos de brillo solar en Cartagena, tomado del atlas de brillo solar UPME.

Se observa que Cartagena en promedio tiene entre 5 y 9 horas de exposición al sol durante el año, siendo septiembre y octubre los meses con menos horas de exposición al sol, en base a esto se toma como premisa de diseño la peor condición, en este caso 5 horas.

5.3. Dimensionamiento de los dispositivos

Para la selección y dimensionamiento de los elementos que intervienen en un sistema solar fotovoltaico, es necesario conocer la carga alimentada y el tiempo que esta carga es utilizada al día, para la realización del módulo solar fotovoltaicos propuesto se estimara una potencia de 600Wh/día.

Los elementos que intervienen en la implementación del módulo solar no son 100% eficientes por lo tanto se calcula el consumo real teniendo en cuenta las pérdidas en los distintos elementos presenten en el sistema.

La energía real necesaria E_r , se calcula de este modo:

$$E_r = \frac{E_{dr}}{R_t} \text{ Ecuación 5 }^5$$

Donde:

⁵ Tomada del curso de energía solar fotovoltaica CINEMAT-Universidad de Jaen. Aguilera Jorge, Hontoria Leocadio. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos.

E_r : Energía real necesaria

E_{dr} : Energía diaria requerida

R_t : Total de pérdidas en los elementos

Las pérdidas R_t corresponden a las pérdidas presente en elementos como el cableado, regulador, inversor y baterías. Para el cálculo de las pérdidas totales se utiliza la siguiente expresión.

$$R_t = 1 - k_b - k_c - k_r - k_v * 1 - \frac{k_a * N}{P_d} \quad \text{Ecuación 6}^6$$

Donde:

- k_b : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador, este índice depende de la frecuencia de las descargas. Se determina $k_b = 0.05$ ya que el sistema no estara sometido a excesivos procesos cargas y descargas.
- k_c : Coeficiente de pérdidas en el convertidor, estas perdidas dependen del tipo de señal inyectada al sistema. Se determino de $k_c = 0,1$ debido a que en el sistema utilizara un convertidor de onda senoidal modificada con eficiencia del 90%.
- k_r : Coeficiente de pérdidas del regulador, estas perdidas hacen relación a la energía perdida en el regulado; debido a que el regulador a utilizar tiene una eficiencia del 97% se establece que estas perdidas seran de $k_r = 0,03$
- k_v : Coeficiente de pérdidas varias, Se determino de " $k_v = 0.1$ " ya que estas agrupa perdidas presente en los cables, elementos de consumo y conexiones.
- k_a : Coeficiente de pérdidas de autodescaga, estas perdidas hacen a la energía perdida durante el proceso de autodescarga, se determino $k_a:0,005$.

⁶ Tomada del curso de energía solar fotovoltaica CINEMAT-Universidad de Jaen. Aguilera Jorge, Hontoria Leocadio. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos.

- N : Número de días de autonomía de la instalación, estos serán los días en que el sistema permanezca con una baja radiación solar, por lo tanto se consumirá más energía de la que el sistema será capaz de generar $N = 2 \text{ días}$
- P_d : Profundidad de descarga diaria de la batería, Se determinó de " $P_d = 75\%$ " debido a que la máxima profundidad de descarga para baterías de plomo ácido es 80% .

Reemplazando los valores en la ecuación 6 se tiene que:

$$R_t = 1 - 0.05 - 0.1 - 0.03 - 0.1 * 1 - \frac{0.005 * (2)}{(0.75)}$$

$$R_t = 0.64$$

$$E_r = \frac{E_{cc}}{R}$$

$$E_r = \frac{600 \text{ Wh/día}}{0.64}$$

$$E_r = 937,5 \text{ Wh/día}$$

5.3.1. Generador Fotovoltaico

El dimensionamiento del generador fotovoltaico, se realiza una vez se conoce el total de la demanda energética requerida por el sistema, los módulos fotovoltaicos se dimensionan a partir de la siguiente expresión, la cual nos brinda la cantidad de módulos fotovoltaicos que se requieren.

$$N_T = \frac{E_r}{P_p * G_m \beta * P_G} \quad \text{Ecuación 7}^7$$

⁷ Tomada del curso de energía solar fotovoltaica CINEMAT-Universidad de Jaen. Aguilera Jorge, Hontoria Leocadio. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos.

Donde :

N_T : número total de módulos fotovoltaicos.

E_r : energía requerida por el sistema.

P_P : potencia pico del modulo ($W/KW/m^2$).

$G_{m\beta}$: radiación global sobre una superficie inclinada a un ángulo β (KWh/m^2).

P_G : factor de perdidas.

$$N_T = \frac{937.5 W}{194.9 W / \left(\frac{kW}{m^2}\right) * 4 kW m^2 * 0,9}$$

$$N_T = 1,31$$

El valor de potencia pico del módulo se obtuvo de la hoja característica del módulo SUN^{tm} , se determina que para la implementación propuesta se necesita 1 módulo fotovoltaico de 190W. (Ver figura 19)



Figura 19. Panel solar a implementar SUN^{tm}

En la siguiente tabla se muestra las características del módulo seleccionado, tomado del datasheet. (Ver tabla 5)

ESPECIFICACIONES DEL MÓDULO SUN SV-T-190	
Marca	Sun Solar
Origen	Alemania
Referencia	SUN SV-T-190
Tipo de celdas	Policristalina
Celdas	108
Potencia Nominal	190
Tolerancia de Salida	0/+2,5
Potencia Pico Máxima	194,9W
Potencia Pico Mínima	190W
Tensión Nominal	17,4V
Corriente Nominal	10,92A
Tensión en vacío	21,5V
Corriente de corto-circuito	11,95A

Tabla 5. Ficha técnica de módulo a utilizar SUN-SV-TV-190

5.3.2. Sistemas de acumulación

El sistema de acumulación es encargado de almacenar la energía necesaria para que el sistema funcione el número de días requeridos (días de autonomía).

Al diseñar un banco de baterías es necesario tener en cuenta aspectos como la máxima profundidad de descarga y los días de autonomía, por esta razón se establecen los conceptos a continuación:

- **Maxima profundidad de descarga:** Es el máximo nivel de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión por medio del regulador, el valor seleccionado para nuestro caso con una batería de plomo ácido será del 75%, por razones establecidas previamente.

- **Días de autonomía:** Es el número de días consecutivo en ausencia del sol, que el sistema de acumulación proveerá energía a la carga sin sobrepasar la profundidad de descarga. El valor seleccionado para nuestro caso es de 2 días.

La capacidad de almacenamiento de las baterías, esta determinada por las siguientes ecuaciones:

- $C_n Wh = \frac{E_r * N}{P_d}$ Ecuación 8⁸

- $C_n Ah = \frac{C_n Wh}{V_{Bat}}$ Ecuación 9⁹

Donde :

$C_n(Wh)$: capacidad nominal del sistema en (Wh o Ah)

$C_n(Ah)$: capacidad nominal del banco de baterías en Ah

N : días de autonomía.

P_d : profundidad de descarga

V_{Bat} : tensión nominal de las baterías

$$C_n Wh = \frac{E_r * N}{P_d} = C_n Wh = \frac{937,5 Wh/dia * 2}{0,75} = 2400 Wh/dia$$

$$C_n Ah = \frac{C_n Wh}{V_{Bat}} = C_n Ah = \frac{2400 Wh/dia}{12 v} = 200, Ah$$

^{8,9}, Tomada del curso de energía solar fotovoltaica CINEMAT-Universidad de Jaen. Aguilera Jorge, Hontoria Leocadio. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos.

Dependiendo de los amperios-horas de la batería que se seleccione se establece el número de las mismas. Para la aplicación del módulo solar fotovoltaico utilizaremos baterías de 12 voltios a 100Ah por tanto la cantidad de baterías esta determinado por la siguiente ecuación:

$$T_{BAT-PARALELO} = \frac{C_n(Ah)}{Ah(Bat)} \text{ Ecuación } 10^{10}$$

Reemplazando en la ecuación 10 obtenemos:

$$T_{BAT-PARALELO} = \frac{200Ah}{100 Ah} = 2$$

Para satisfacer las condiciones diseño previamente establecidas se requiere de dos baterías de 100Ah a 12V en paralelo.

5.3.3. Regulador

El regulador es el elemento que controla el proceso de cargas y descargas que las baterías requieren. El proceso de carga lo realiza permitiendo fluir la energía proveniente del generador fotovoltaico y el proceso de descarga se realiza a travez de la carga o elementos de consumo eléctrico.

Para el dimensionamiento del regulador se debe tener en cuenta la máxima corriente que va circular por el sistema a diseñar, esto es:

- La suma de las corriente de cortocircuito de los módulos en paralelo.
- La corriente que consume la carga en la peor condición.

La corriente de corte a la que deba actuar el regulador sera fijada en el propio dispositivo, pero este debe soportar la máxima corriente posible presente en la instalación. Se tiene la siguiente expresión para el dimensionamiento del controlador:

$$I_{SCT} = I_{SC} * N_R * FS \text{ Ecuación } 11^{11}$$

^{10,11} Tomada del curso de energía solar fotovoltaica CINEMAT-Universidad de Jaen. Aguilera Jorge, Hontoria Leocadio. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos.

$$I_{SCT} < I_{nom_con}. \text{ Ecuación 12}^{12}$$

Donde:

I_{SCT} : corriente de corto-circuito generada por el modulo fotovoltaico (A)

I_{SC} : corriente de corto-circuito producida por cada rama en paralelo del generador (A)

N_R : número de ramas en paralelo del generador.

$I_{nom_con.}$: corriente nominal del controlador de carga (A)

FS : factor de seguridad establecido por la norma.

La variable " I_{SC} " se obtiene de la hoja de datos del fabricante del panel solar seleccionado anteriormente, se verifica en la Tabla 5 y reemplazando en la ecuación 11 se tiene:

$$I_{SCT} = 11,94 A * 1 * (125\%)$$

$$I_{SCT} = 14,95 A$$

Se calcula la corriente hacia la carga en el caso más crítico, en nuestro caso esto sera cuando se conecte una carga 600W entonces la corriente queda establecida de la siguiente manera:

$$I_{carga} = \frac{937,5W * 1,25}{110V} = 10,65 A$$

Como se mencionó anteriormente para el dimensionamiento del controlador se debe tomar la corriente mayor ya sea la producida por el generador fotovoltaico o la maxima que demande la carga, por lo tanto ya que la corriente de corto circuito del generador es mayor a la corriente pico demandada por el sistema, se opta por tomar la I_{SCT} para dimensionar el controlador de carga.

¹² Tomada del curso de energía solar fotovoltaica CINEMAT-Universidad de Jaen. Aguilera Jorge, Hontoria Leocadio. Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos.

Teniendo en cuenta el diseño se selecciona el regulador con referencia *SunSaver MPPT 15A*. (Ver tabla 6)

ESPECIFICACIONES DEL REGULADOR SUNSAVE MPPT 15A	
Voltaje de Operación	12V-14V
Corriente de Operación	15A
Rendimiento Pico	97%

Tabla 6. Especificaciones técnicas del regulador SunSave MPPT 15A, Tomada de Teknosolar.com

5.3.4. Inversor

La tensión de entrada en el inversor de una instalación fotovoltaica no será siempre constante, por lo que el inversor debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas de un determinado rango. Este rango suele ser de un 10%.

A la hora de dimensionar el inversor se tendrá en cuenta la potencia que demanda la carga AC, de forma que se elija un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima demandada por la carga, en nuestro caso el inversor a utilizar será de 1000W Xpower by Xantrex. Ver hoja característica del inversor en anexos

5.3.5. Cálculo del calibre del conductor

Para determinar el dimensionamiento de los conductores, se deben tener en cuenta la norma técnica colombiana NTC2050, la cual estipula: que “La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125 % de la corriente calculada.”

Teniendo en cuenta el factor de seguridad establecido por la norma se procede a calcular la capacidad de corriente de los tramos del sistema. Otro factor a tener en cuenta en la selección del calibre del conductor es la regulación de tensión, la cual podemos determinar por la siguiente ecuación:

$$S = 0,036 * \frac{I * L}{SV} \text{ Ecuación 13}$$

La selección de los conductores requeridos por tramos serán calculados por la ecuación 14 y posteriormente tabulado en la tabla 7, se realizara como ejemplo el tramo correspondiente al circuito 1 panel-regulador.

$$P=VI \text{ Ecuación 14}$$

Circuito 1. Panel-Regulador

Despejando de la ecuacion 14 obtenemos:

$$I=(P/V)$$

Reemplazando valores

$$I=190W/17,4V$$

$$I=10,91A$$

Entonces la corriente del conductor (I_c) sera la corriente calculada por el 125% que estipula la norma quedando de la siguiente manera:

$$I_c=10,91A*1,25$$

$$I_c=13,65A$$

se selecciona un conductor calibre numero 14, ya que este soporta una corriente de 20A.

CIRCUITOS	TENSIÓN (V)	CORRIENTE MAX (A) $I_n*125\%$	LONGITUD (m)	REGULACIÓN DE TENSIÓN	CONDUCTOR
Panel- Regulador	17,4	13,65	3	0,025596416	14
Regulador- Batería	17,4	13,65	2	0,017064278	14
Batería- Inversor	12	63	2	0,028421053	6
Inversor- Carga	110	7	3	0,002076353	14

Tabla 7. Selección de conductores eléctricos para cada circuito.

Acontinuacion de observa el calibre de los conductores correspondientes en cada circuito.(Ver figura 20)

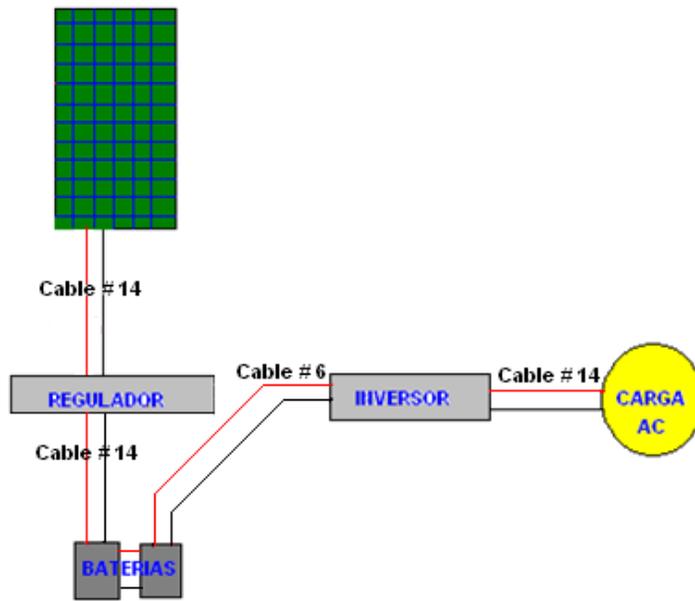


Figura 20. Calibre de los conductores requeridos en el sistema autónomo móvil.

5.3.6. Protecciones

Al momento de seleccionar las protecciones necesarias en un sistemas solar fotovoltaico, se tiene encuentra lo establecido por la NTC2050 en la seccion 690,la cual enuncia que “La capacidad de corriente de los conductores y la corriente nominal o ajuste de disparo de los dispositivos de protección contra sobrecorriente en un circuito de un sistema solar fotovoltaico no debe ser menor al 125 % de la corriente calculada.”

La protecciones necesarias para los circuitos existentes en el módulo solar fotovoltaico móvil se establecen en la siguiente tabla. (Ver tabla 8)

CIRCUITO	CORRIENTE MAX (A) $I_n \cdot 125\%$	PROTECCIONES
Panel- Regulador	13,65	15A
Regulador- Batería	13,65	15A
Batería- Inversor	63	70A
Inversor- Carga	7	15A

Tabla 8. Protecciones de circuitos en módulo solar fotovoltaico.

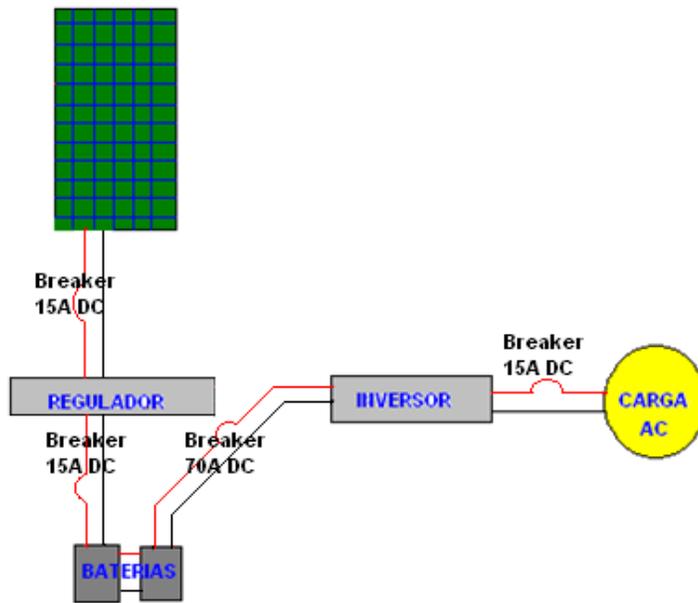


Figura 21. Diagrama de protecciones eléctricas

6. CONCLUSIONES

- La energía solar fotovoltaica es un excelente medio de suministro de electricidad, si bien el sistema actualmente requiere una inversión inicial alta con respecto al proporcionado por la comercializadora eléctrica, este brinda mas continuidad y confiabilidad al sistemas eléctrico ya que cuenta con baterías de almacenamiento para cuando el suministro proveniente de la red falle.
- La factibilidad de conexión a la red en Colombia puede ser una solución energética favorable, ya que no se cuenta con una normativa vigente que prohíba o regule el suministro de energía propio como sucede en otros países de Europa.
- Empezar a considerar instalar sistemas fotovoltaicos en las ciudades ayudaría a tener una mayor conciencia ambientalista.
- Hay que fomentar leyes y normas a nivel gubernamental, que incentiven la generación fotovoltaica ya que la energía solar es un recurso ilimitado.
- El dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico que asegure la demanda energética requerida durante el tiempo estimado, debe considerar las horas solar pico mínimas en el lugar donde se va a instalar, esto con el fin de proporcionar confiabilidad al sistema en la peor condición de operación.
- La ubicación de un sistema solar fotovoltaico debe ser tal que el $\cos\alpha$ entre la perpendicular de los módulos y los rayos incidente sea el mínimo, ya que de esta manera se aprovecha mas eficientemente la energía solar incidente.
- Se debe evitar colocar los módulos solares en lugares cercanos a arboles o edificios altos ya que estos proporcionan sombra a los módulos y afecta la generación de energía.
- La variación del ángulo de incidencia solar podría hacerse automático por medio un servomotor guiado por un sistema de orientación solar.

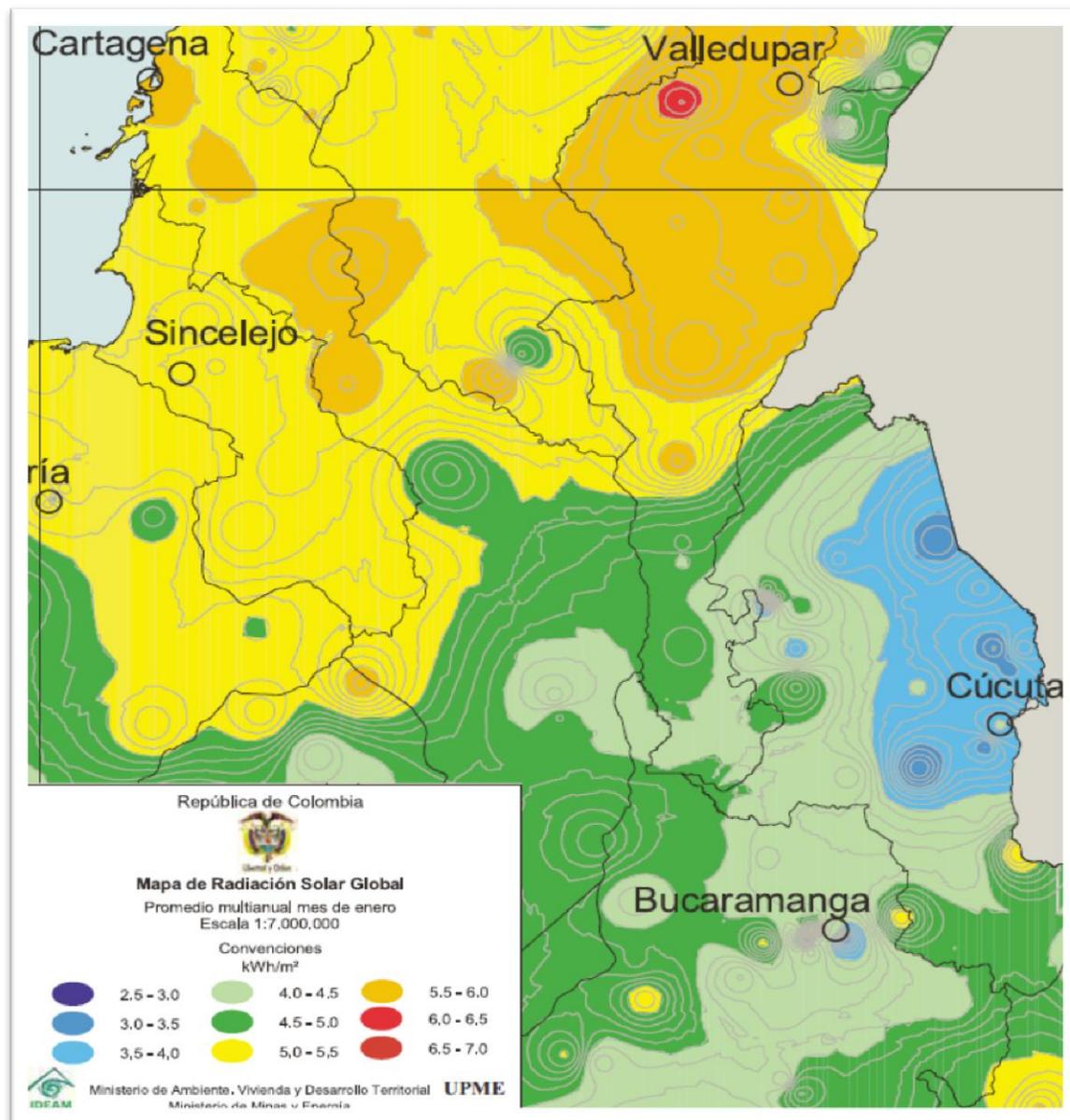
- El modulo solar fotovoltaico constituye una herramienta sumamente importante para realizar mapas de radiación solar en la universidad tecnológica de bolívar ya que se puede transportar diferentes sitios de incidencia solar.

7. BIBLIOGRAFÍA

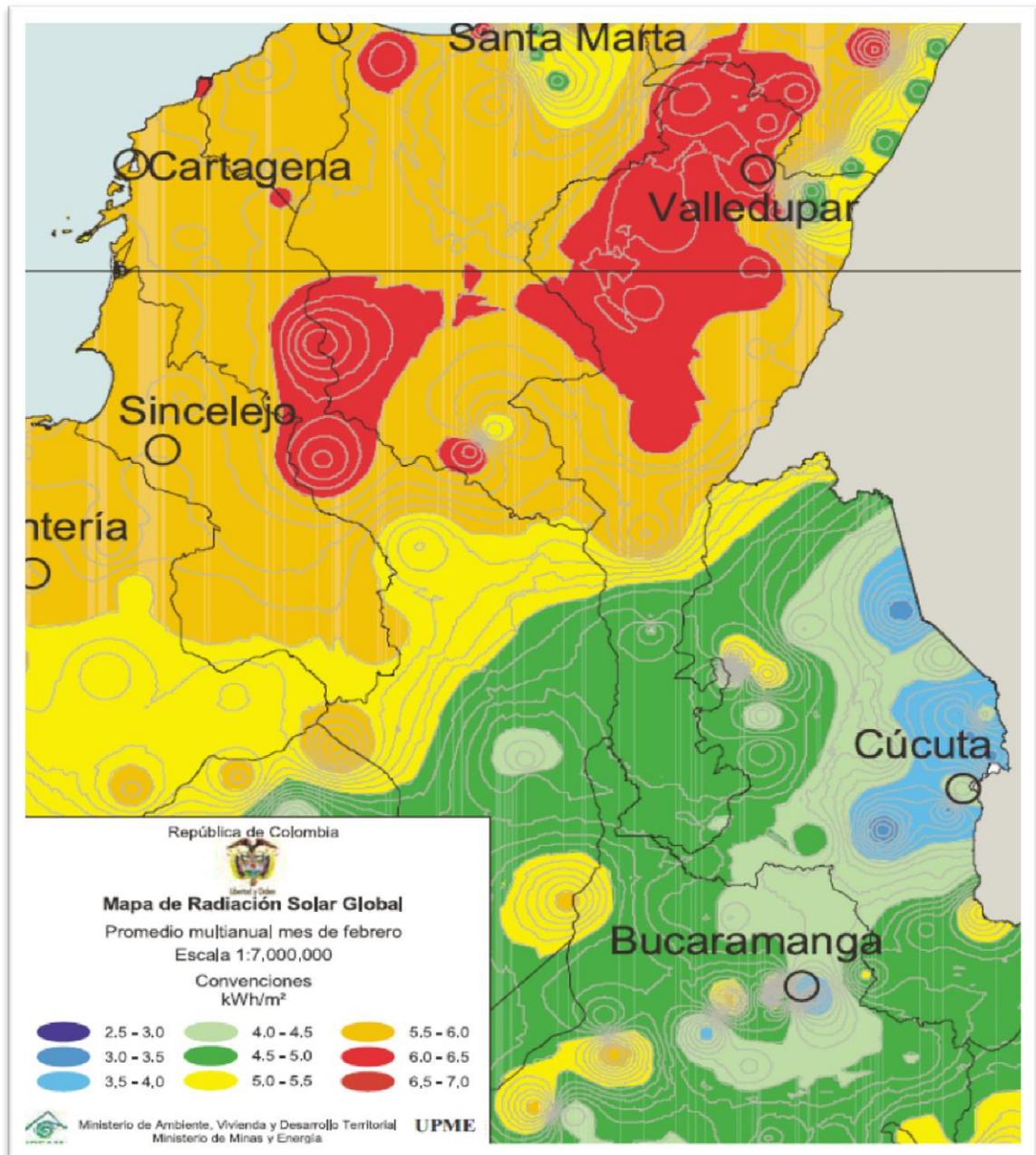
1. Mauricio Pagliaro, Giovanni Palmisano, Rosarina Ciriminna. Flexible Solar Cells. WILEY-VCH
2. G.N. Tiwari and Swanpnil Dubey. Fundamentals of Photovoltaic Modules and their Applications.
3. Normas Técnicas Colombianas. NTC2050
4. José David Martínez M. Tesis de Grado. Prototipo de un sistema de generación de energía eléctrica basada en energía solar para la iluminación y funcionamiento de dispositivos de hasta 200W.
5. Jorge Aguilera, Leocadio Hontoria. Dimensionamiento de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos. Grupo IDEA. Escuela Politécnica Superior Universidad de Jaén.
6. Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia. INEA. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas.
7. Hector L Gasquet. Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos. Solartronic.
8. José Santa Marta. Las energías Renovables son el futuro. World-Watch 2004
9. Mapa solar de Colombia. Unidad de planeación minero energético.
10. Centro de Tecnológica Educativa. Curso de Energía Solar. Tomo 1.

8. ANEXOS

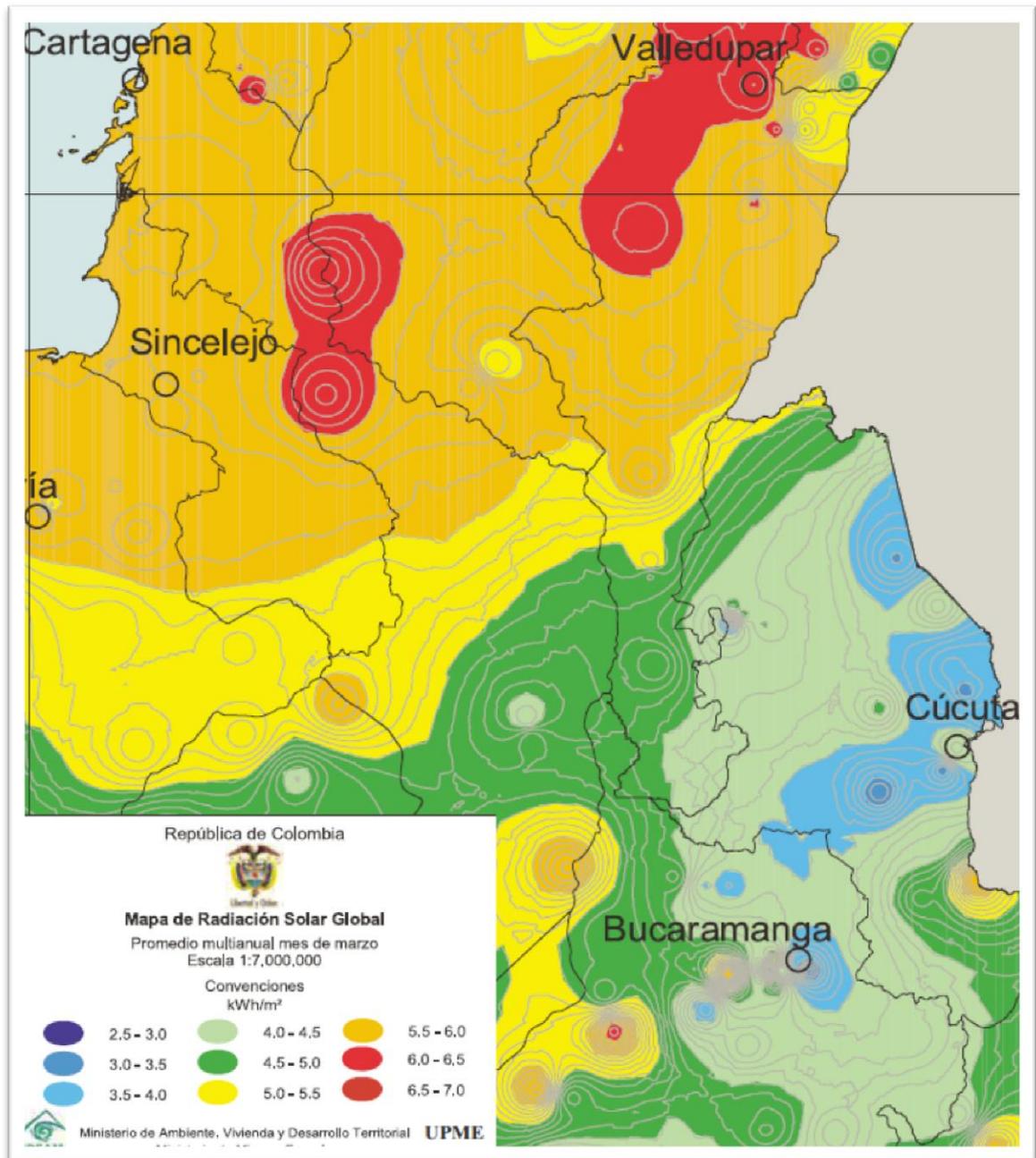
8.1. Mapas de radiación solar.



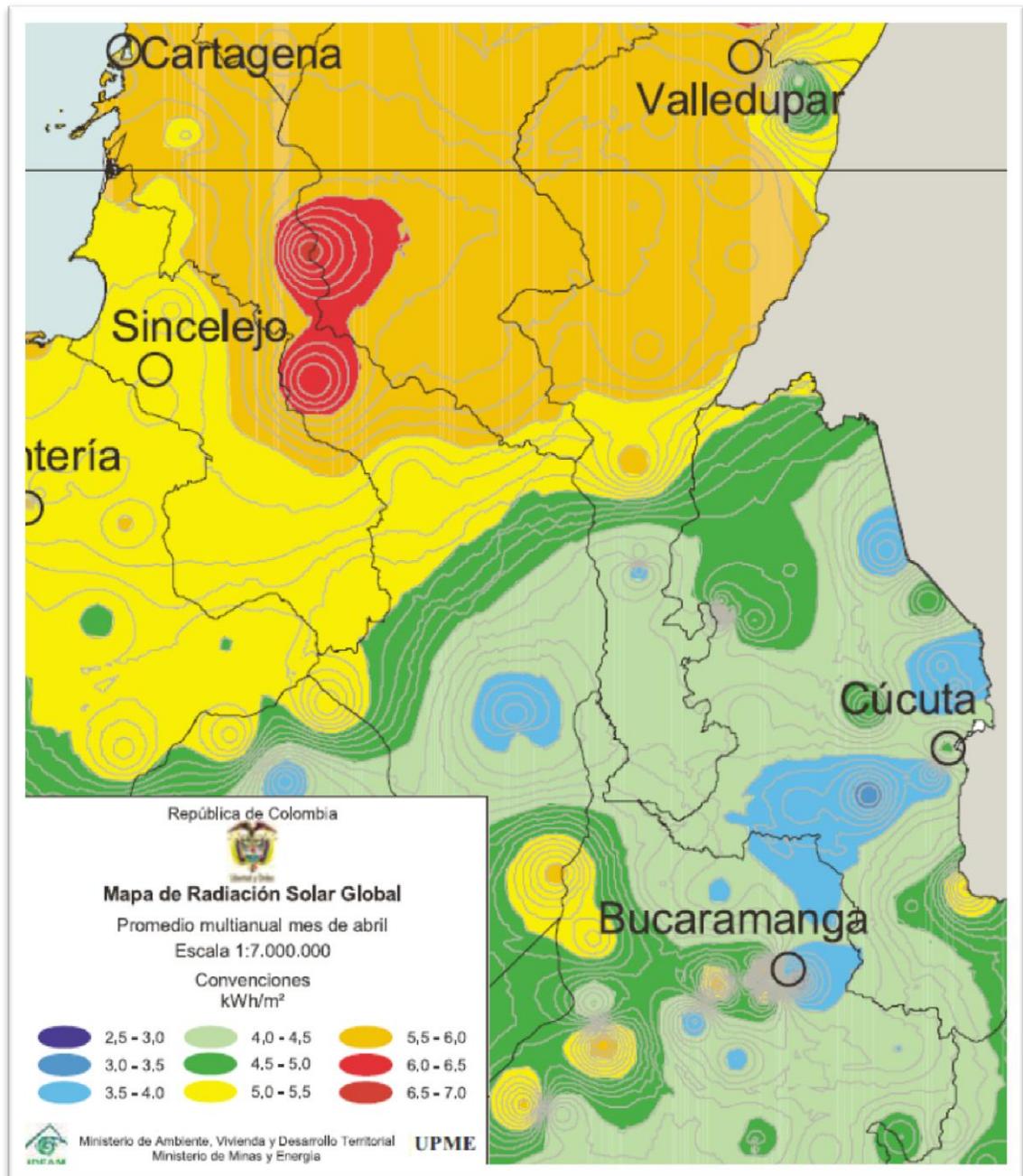
8.1.1. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de enero. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



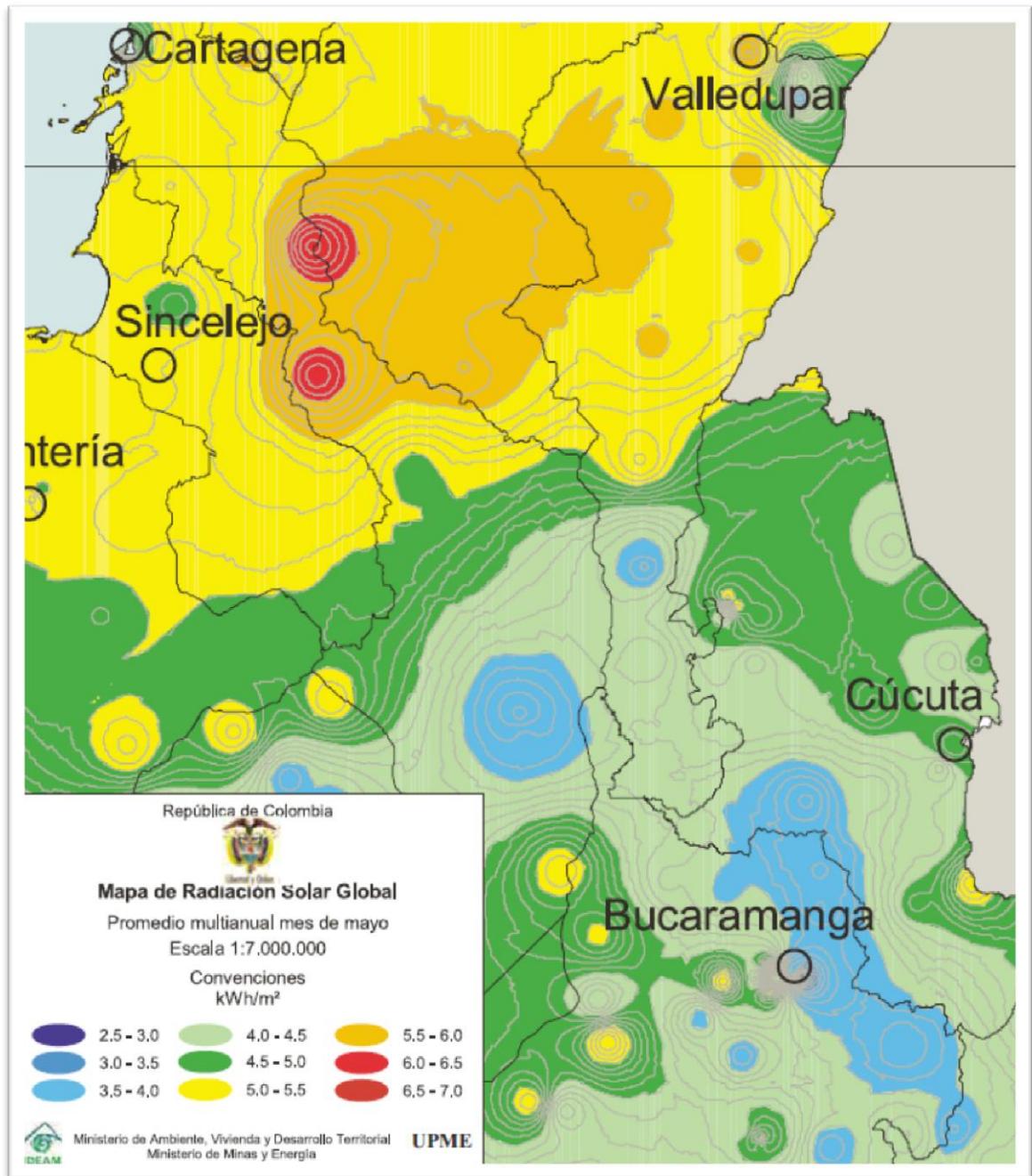
8.1.2. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de febrero. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



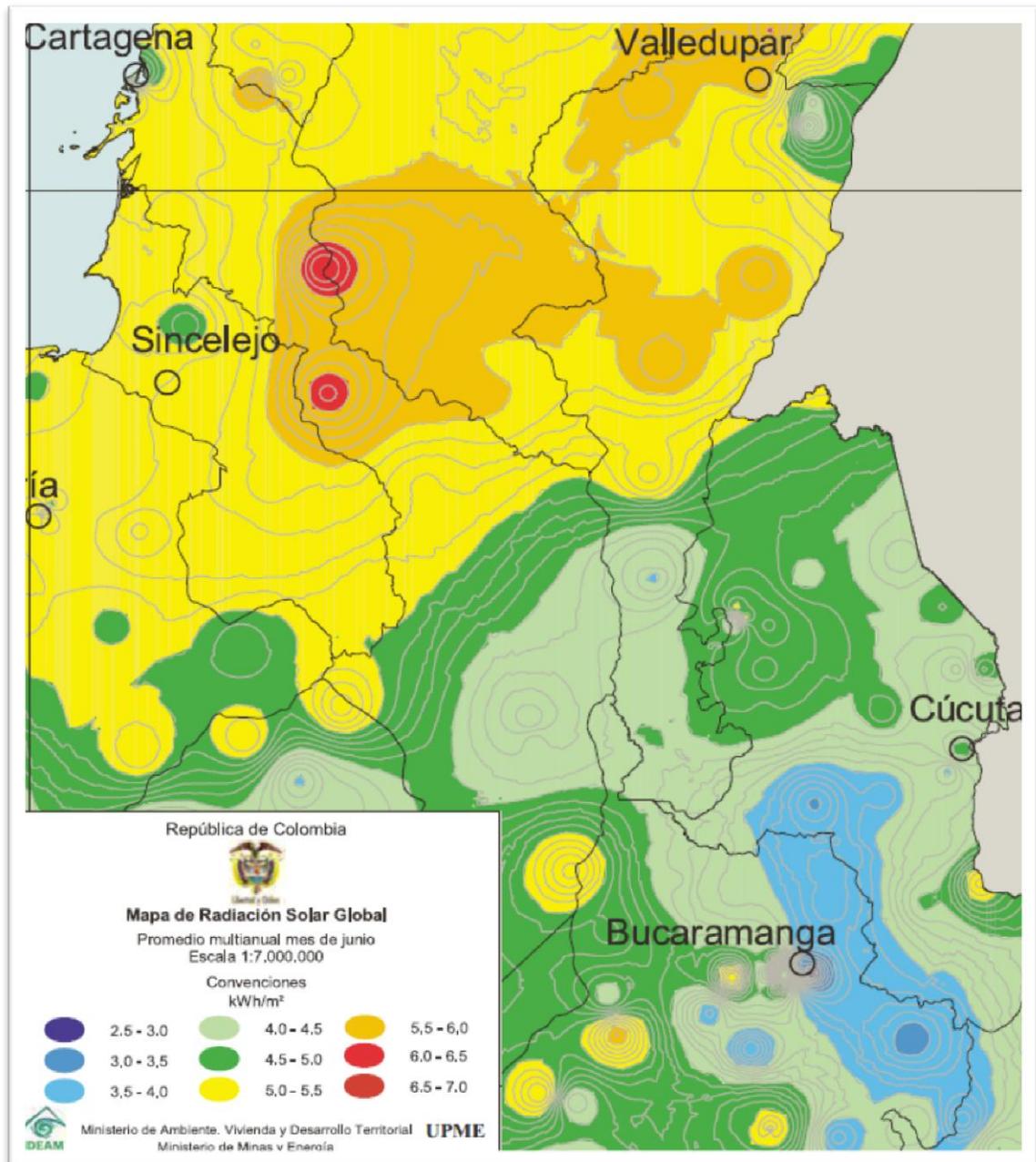
8.1.3. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de marzo. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



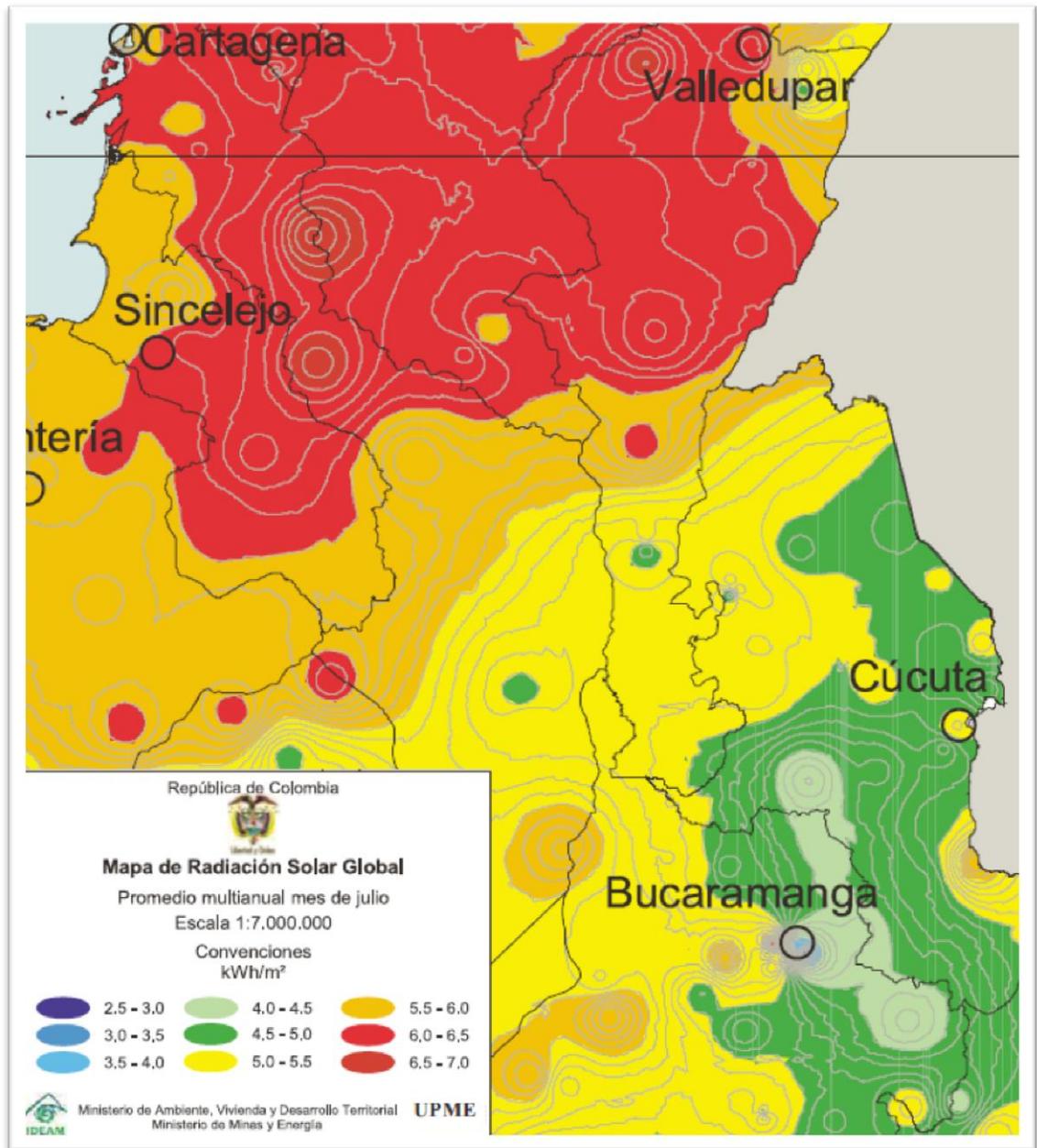
8.1.4. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de abril. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



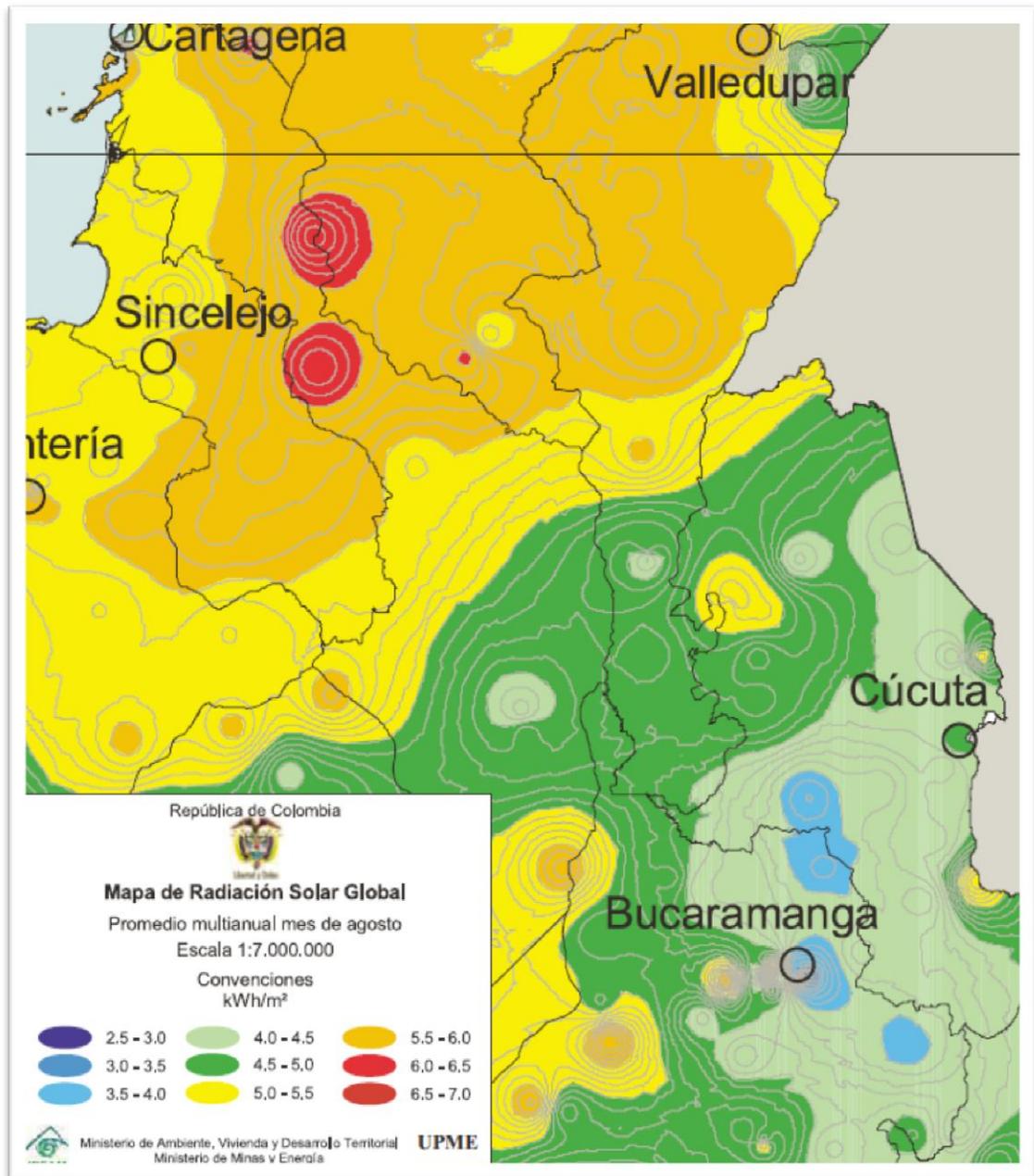
8.1.5. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de mayo. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



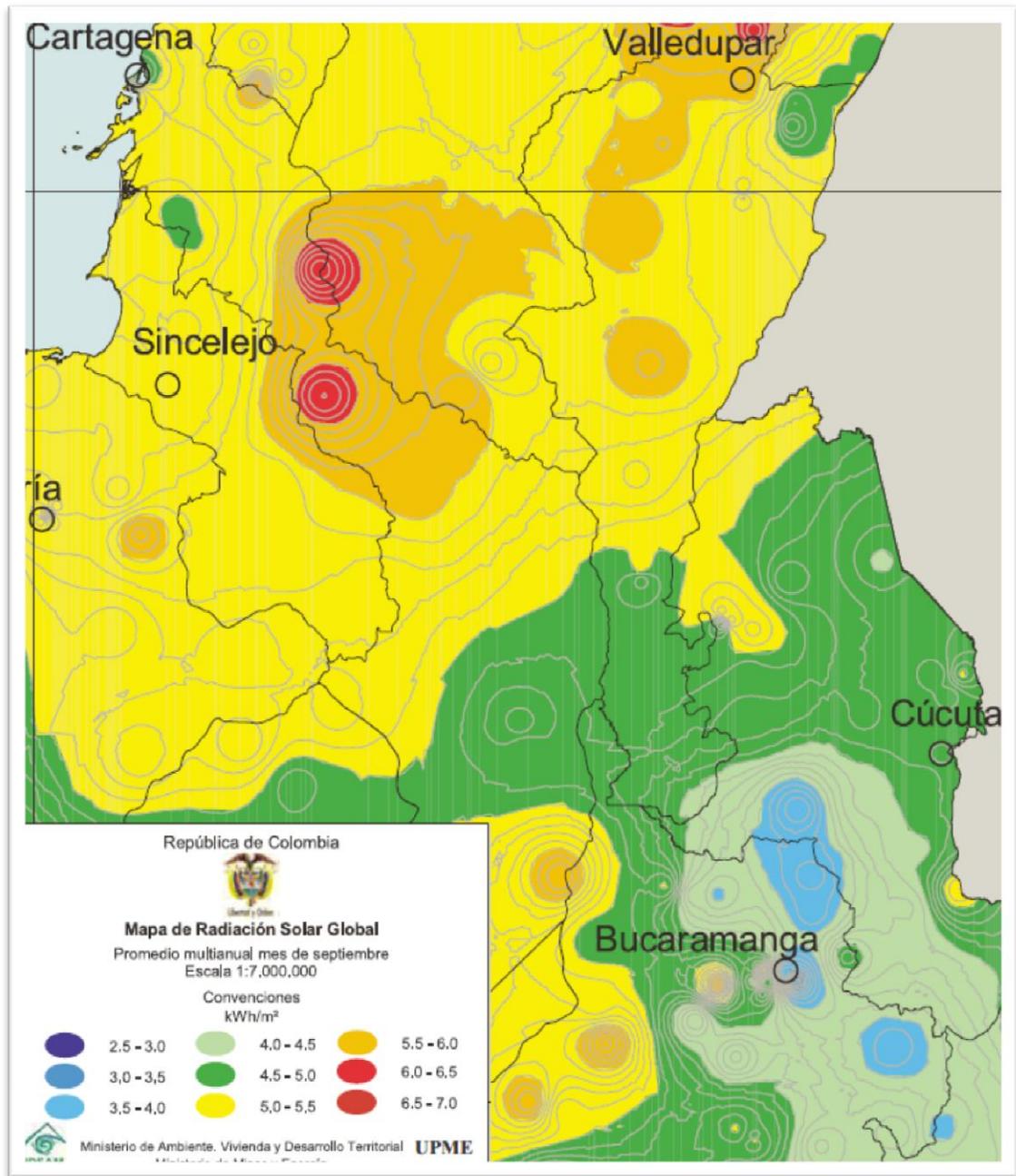
8.1.6. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de junio. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



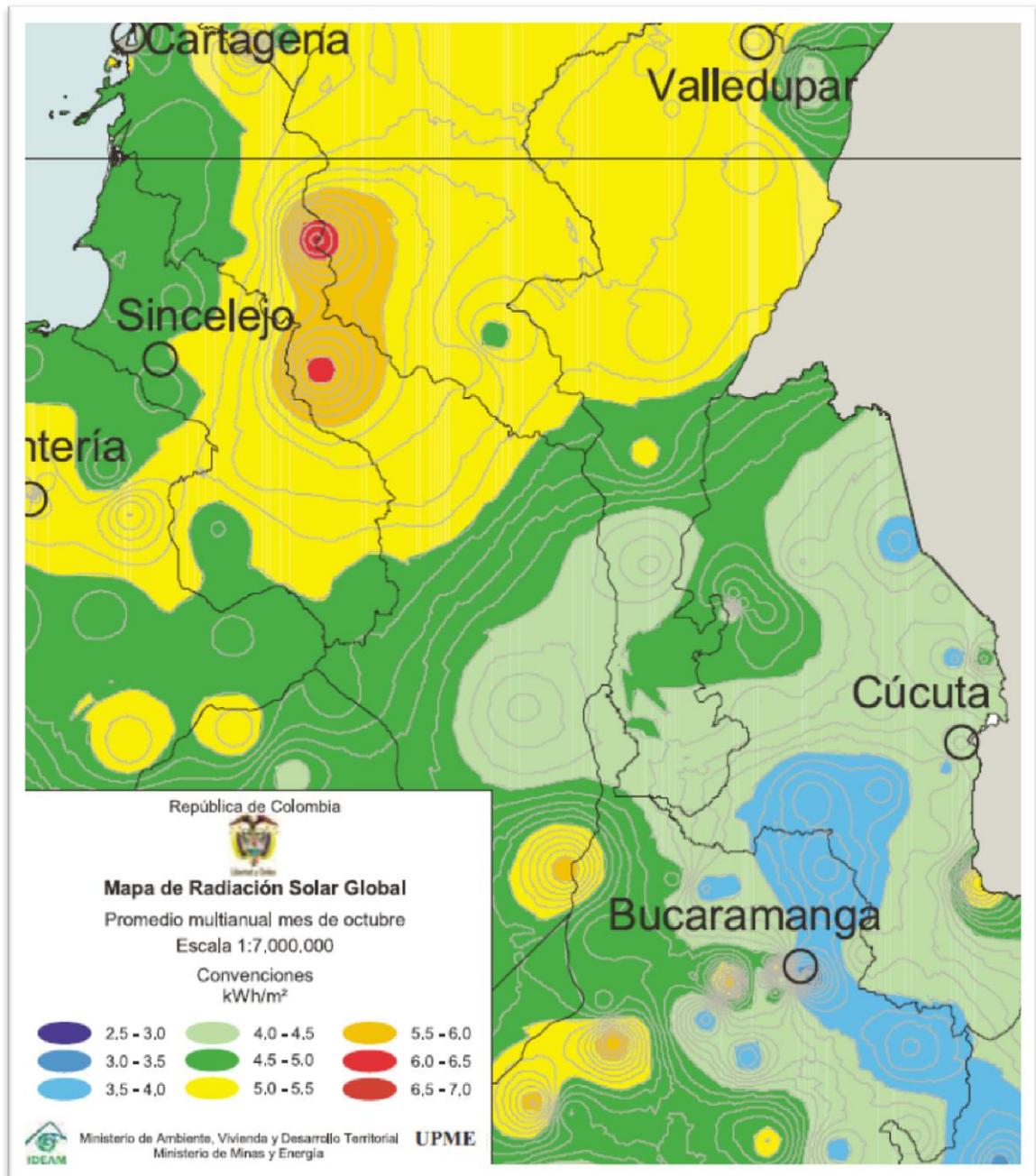
8.1.7. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de julio. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



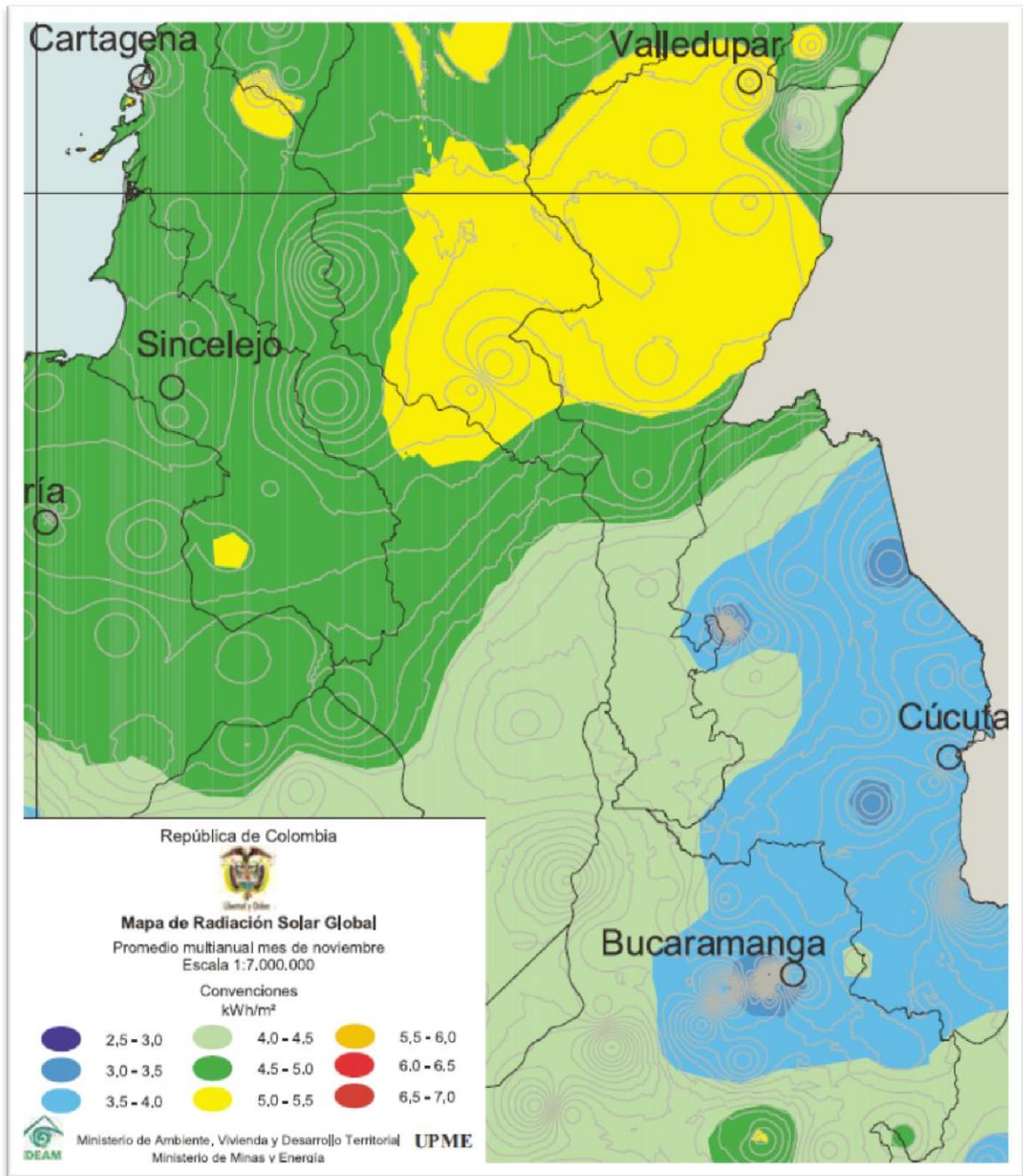
8.1.8. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de agosto. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



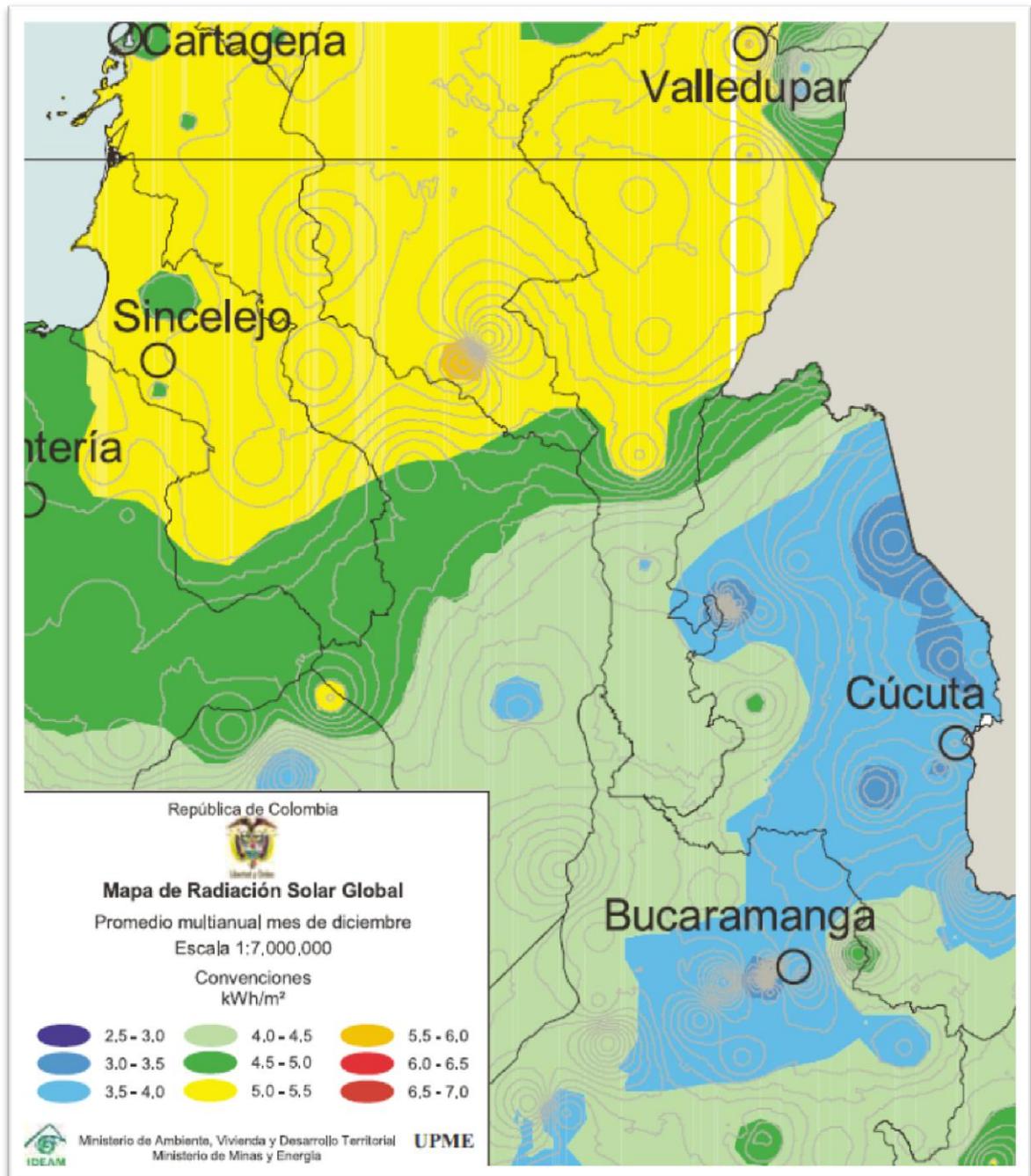
8.1.9. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de septiembre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



.8.1.10. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de octubre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



8.1.11. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de noviembre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia.



8.1.12. Muestra de radiación solar en Cartagena, mes de diciembre. Tomado del atlas de radiación solar de Colombia

SunSaver MPPT 12/24v 15A

El SunSaver MPPT es apto para uso a nivel profesional e individual. El proceso de control de carga está concebido para obtener máxima vida útil de la batería y alto rendimiento del sistema completo. La unidad está encapsulada en epoxi para protegerla contra las condiciones ambientales de servicio, el usuario puede regular su funcionamiento con cuatro selectores o conectándola a una computadora personal, y opcionalmente puede suministrarse con un instrumento de medición a distancia y sensor de temperatura de baterías.



Características

■ Máxima extracción de energía de los paneles

Nuestra tecnología TrakStar MPPT Technology brinda:

- rendimiento pico superior al 97%
- infima pérdida de energía
- reconocimiento de varios picos de potencia durante períodos de sombra o en instalaciones combinadas de grupos de paneles fotovoltaicos
- excelente respuesta con bajo nivel de irradiación solar

■ Compatibilidad con módulos de alto voltaje

Permite utilizar módulos de alto voltaje y de película fina para la carga de baterías.

■ Convertir des panneaux photovoltaïques de 36 V ou 24 V

Es posible utilizar paneles fotovoltaicos de hasta 36 Voltios para cargar baterías de 24 o 12 Voltios.

■ Menor costo total del sistema

Cuesta menos que otros controladores con detección de punto de máxima potencia (MPPT) y es de costo razonable para utilizarlo en paneles fotovoltaicos de menor capacidad [hasta 400 Watts de pico (Wp)]. Reduce el costo total de un sistema porque pueden utilizarse paneles de menor capacidad acoplados a la red eléctrica o módulos de película fina, y los cables de la instalación son de menor...

Código	TK-SSMPPT
Fabricante	MorningStar
URL Fabricante	http://www.morningstarcorp.com
Rango de Potencia (W)	No
Rango de Acumulación (Ah)	No
Voltaje	12/24v

8.2.2. Datasheet del Regulador SunSaver 12/24V 15A.

XPower™ Inverter 1000, 1500 & 3000

Electrical Specifications	Inverter 1000	Inverter 1500	Inverter 3000	Inverter 5000
Surge capacity (peak)	2000 watts	3000 watts	5000 watts	10000 watts
Max. continuous power	1000 watts	1500 watts	2500 watts	4000 watts
AC output voltage	115 VAC +/- 5%			
AC output frequency	60 Hz +/- 1 Hz			
AC output waveform	Modified sine wave	Modified sine wave	Modified sine wave	Modified sine wave
Optimum efficiency	90%	90%	90%	90%
No load current draw	< 0.3 A DC	< 0.3 A DC	< 0.6 A DC	< 0.6 A DC
Input voltage range	10.5 - 15.5 VDC			

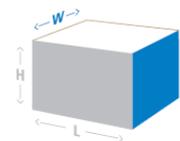
General Specifications				
Operating temperature range	32°F – 104°F / 0°C – 40 °C			
AC receptacle	Two	Two	Two	Four
Dimensions (HxWxL)	2.8 x 5.9 x 12.3" (70 x 151 x 312 mm)	3 x 5.9 x 15" (75 x 151 x 382 mm)	4.3 x 9.5 x 18.5" (109 x 240 x 468 mm)	6.25 x 8 x 19.5" (160 x 205 x 520 mm)
Weight	4.4 lbs (2 kg)	5.9 lbs (2.7 kg)	12.9 lbs (5.9 kg)	24.1 lbs (10.9 kg)
Warranty	1 year	1 year	1 year	1 year
Part number	813-1000-UL	813-1500-UL	813-3000-UL	813-5000

Packaging Specifications				
Retail package size (HxWxL)	5.1 x 8.3 x 14.4" (130 x 210 x 365 mm)	5.1 x 8.3 x 16.9" (130 x 210 x 430 mm)	8.1 x 12 x 23.4" (205 x 306 x 595 mm)	12 x 10.25 x 23.5" (304 x 260 x 596 mm)
Weight	6.3 lbs (2.9 kg)	7.9 lbs (3.6 kg)	17.4 lbs (7.9 kg)	27 lbs (12.2 kg)
Master carton size (HxWxL)	12 x 14.6 x 17.4" (304 X 370 X 442 mm)	11.8 x 17 x 17.4" (300 x 432 x 443 mm)	17.2 x 12.6 x 23.9" (436 x 320 x 607 mm)	13 x 11 x 24" (330 x 279 x 609 mm)
Count	4	4	2	1
Weight	25.3 lbs (11.5 kg)	31.5 lbs (14.3 kg)	34.8 lbs (15.8 kg)	30 lbs (13.6 kg)
UPC number	715535896430	715535896478	715535896553	715535890452

Regulatory Compliance

Certified to CSA standard C22.2 No. 107.1-01 and UL 458 (except Inverter 5000)

Note: Specifications subject to change without notice.



8.2.3. Datasheet de Inversor Xpower 1000W.

8.3. Funcionamiento y mantenimiento.

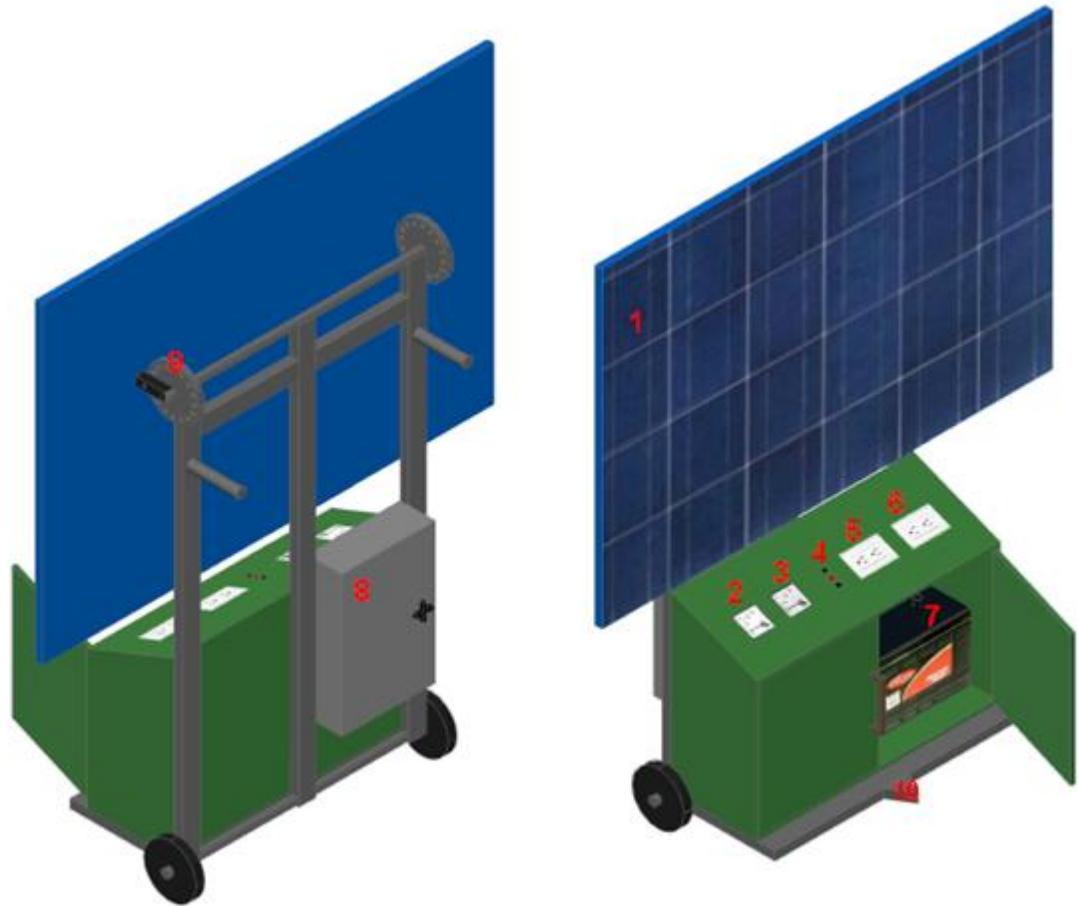


Figura 22. Modulo solar fotovoltaico móvil.

8.3.1. Funcionamiento

El módulo solar fotovoltaico implementado cuenta con mecanismos para la variación del ángulo de incidencia solar (9), variación del ángulo de orientación (10), Indicadores de tensión (2) y corriente (3) en dc del panel, borneras eléctricas para medición de voltaje y corriente utilizado un multímetro y un toma corriente en AC para alimentar una carga hasta de 1000W.

Al momento de utilizar el módulo solar fotovoltaico se debe seguir los siguientes pasos:

- ✓ Transportar el módulo al sitio de trabajo. Asegúrese que el panel se encuentre en posición 0 (posición de transporte vertical) como muestra la

figura 22 y las puertas del gabinete se encuentren cerradas. Recuerde transportar el modulo solar con mucha prudencia y acompañado.

- ✓ Activar los circuitos ramales del módulo solar fotovoltaico, energizando los breakers ubicados en la caja de policarbonato (8).
- ✓ Asegurar con los pinen en ambos lados del selector (9) al momento de girar el panel buscando variar el ángulo de incidencia solar. El selector dispone de orificios los cuales marcan pasos de 15°.

Terminada la practica, recuerde bajar los breakers y colocar el panel en posición 0 para su posterior transporte.

8.3.2. Mantenimiento

Las instalaciones solares fotovoltaicas son fáciles de mantener, a continuación se especifica de manera práctica que hacer con los elementos que conforman el sistema.

Panel solar:

- Limpie sistemáticamente la cubierta frontal de vidrio del panel solar fotovoltaico, limpieza debe efectuarse con agua y un paño suave.
- Verifique que no haya terminales flojos ni rotos, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se hallen en buenas condiciones.
- Verifique que la estructura de soporte esté en buenas condiciones.

¡Advertencia!

Nunca trate de limpiar suciedades en la cubierta frontal del panel solar fotovoltaico con objetos cortantes o punzantes que puedan dañarlo.

Batería:

Las baterías puede representar un riesgo eléctrico y químico para el personal expuesto a ellas, por esta razón es recomendable que el personal que realice el mantenimiento tenga en cuenta los siguientes aspectos:

- Quítese elementos metálicos como relojes, anillos y cadenas ya estos pueden entrar en contacto accidentalmente con los bornes de la batería, siempre utilice herramientas con mangos aislados eléctricamente.
- Proporcione una buena ventilación al lugar de ubicación de la batería para evitar acumulación de gases explosivos debido al gaseo.
- Mantenga el área de la batería fuera del alcance de llamas, chispas y cualquier otra fuente que pueda provocar incendio.
- Verifique que las conexiones en los bornes de la baterías estén bien ajustadas.

Regulador:

- Verifique que el lugar donde se instalo el regulador se encuentre limpio, seco y protegido de los rayos solares.
- Verifique el funcionamiento del regulador de carga. Si detecta ruidos anormales, contacte al personal especializado.
- Verifique que las conexiones estén correctas y bien ajustadas.

Inversor:

- Verifique que el área de ubicación del inversor se mantenga limpia, seca y bien ventilada.
- Verifique que el inversor esté protegido de los rayos solares.
- Compruebe que el inversor funciona adecuadamente y que no se producen ruidos extraños dentro de él. En caso de que la operación sea defectuosa o no funcione, contacte al personal especializado.

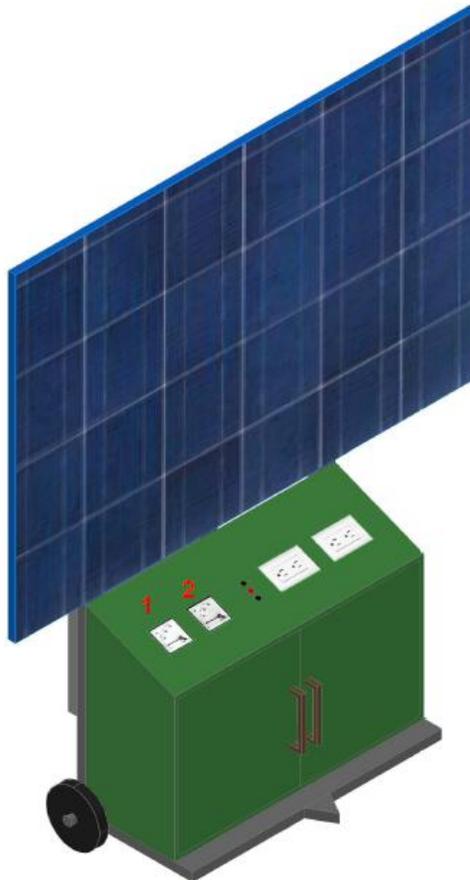
8.4. Prácticas versión estudiante

En la elaboración de estas prácticas se hará especial énfasis en parámetros eléctricos como la corriente generada por el panel (A) y la tensión de vacío (V) en función de variables como la orientación, inclinación y ubicación del modulo

Al visualizar la variación de los parámetros eléctricos se busca saber cual es la mejor forma de generar energía por medio de la captación solar.

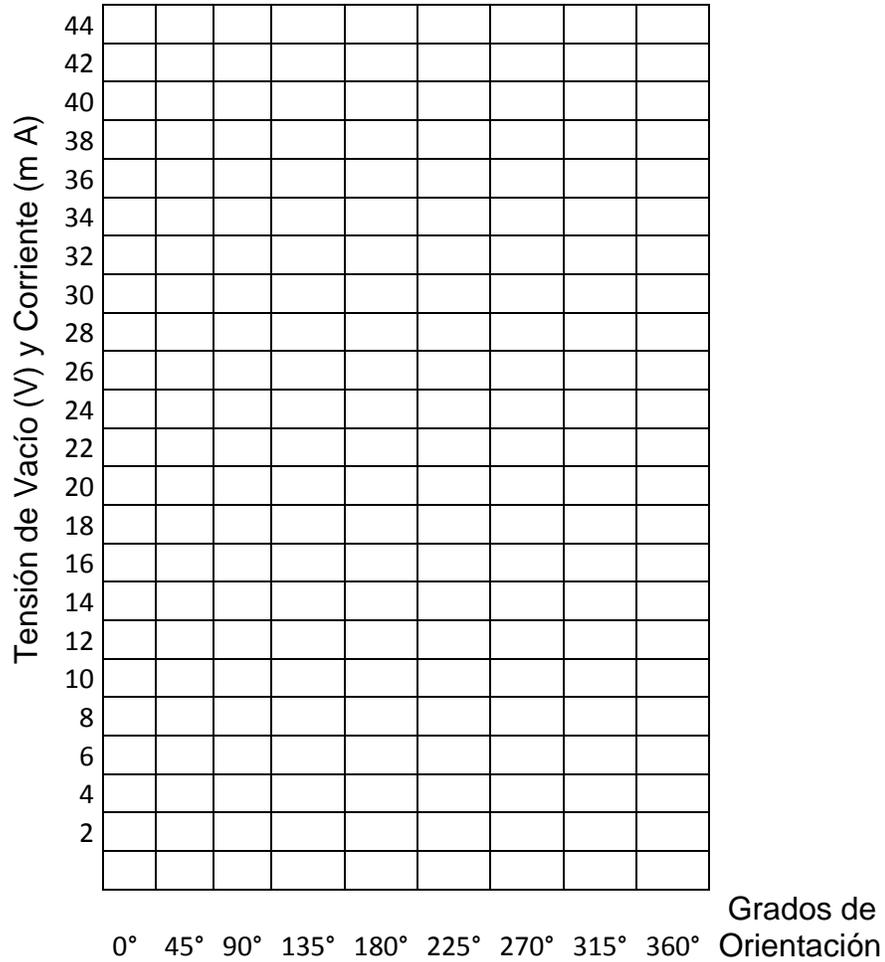
8.4.1. Variación de la tensión de vacío y corriente respecto a la orientación del módulo.

Ilustración



Observa los valores de tensión de vacío (V) y corriente (mA) obtenidos para cada situación. La tensión y corriente pueden ser mostrado en el voltímetro (1) y

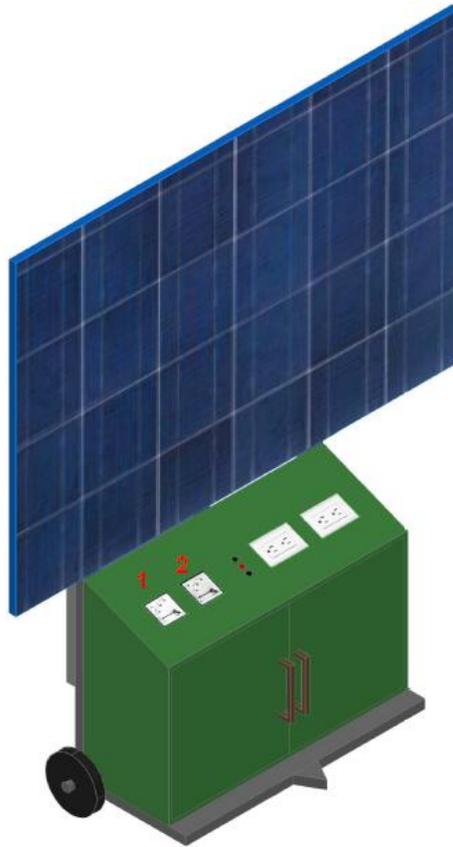
2. Grafica los valores obtenidos de cortocircuito y tensión de vacío con respecto al ángulo de orientación.



3. Según la ubicación del módulo, cual es el mejor ángulo de orientación solar?

8.4.2. Corriente y tensión del panel solar con distintos ángulos de inclinación.

Ilustración



Observa los valores de tensión de vacío (V) y corriente (mA) obtenido para cada situación, La tensión y corriente pueden ser mostrado en el voltímetro (1) y amperímetro (2) respectivamente o tomados de las bornas eléctricas utilizando un multímetro.

Información

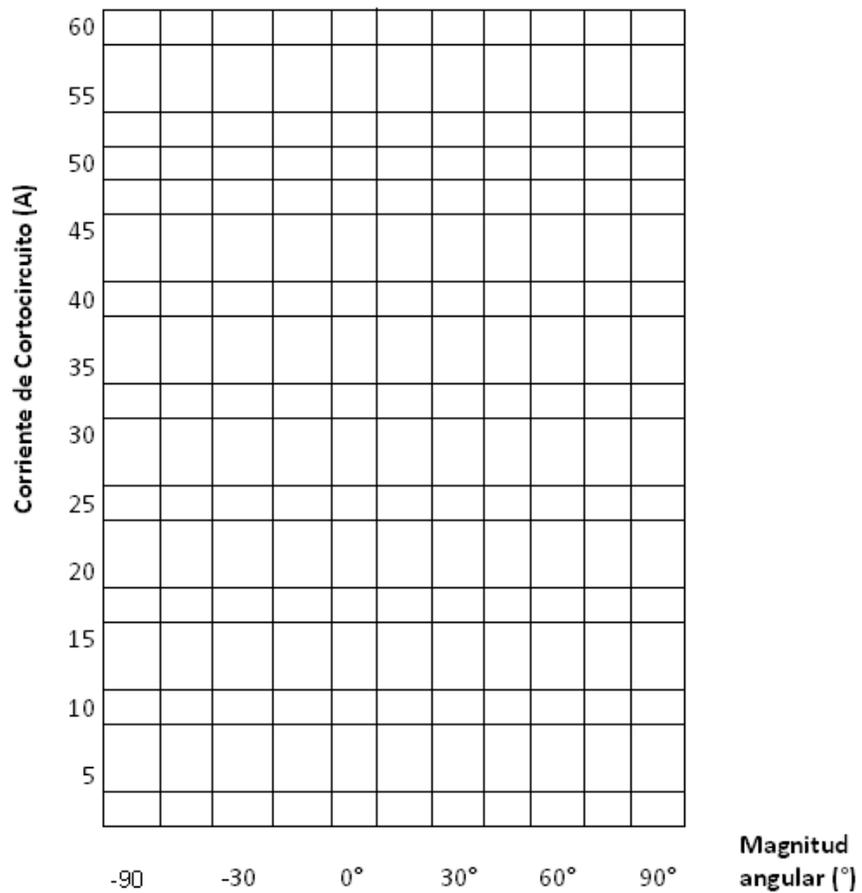
El ángulo de inclinación es una de las variables que determina la generación de energía eléctrica por medio de captación solar. La inclinación determina el ángulo con que los haces lumínicos inciden sobre el panel solar, este ángulo de incidencia cambia con la hora y la estación del año, así por ejemplo el ángulo con que los rayos solares incidentes por la mañana en un panel solar fijo es distinto que el incidente al medio día.

Ejercicios

1. Coloca el panel solar en posición de 90° y varia su ángulo hasta 0° con pasos de 30° , registra los valores de corriente y tensión obtenidos para cada uno de los ángulos.

Ángulos	90°	60°	30°	0°	-30°	-60°
Corriente (mA)						
Tensión (V)						

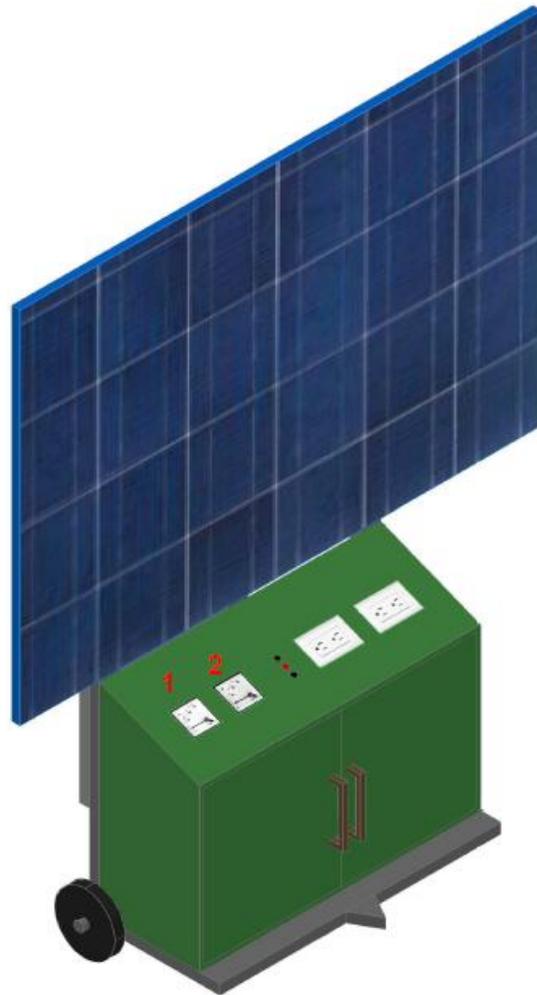
2. Realiza una grafica donde confrontes los valores de corriente y voltaje obtenidos para cada ángulo.



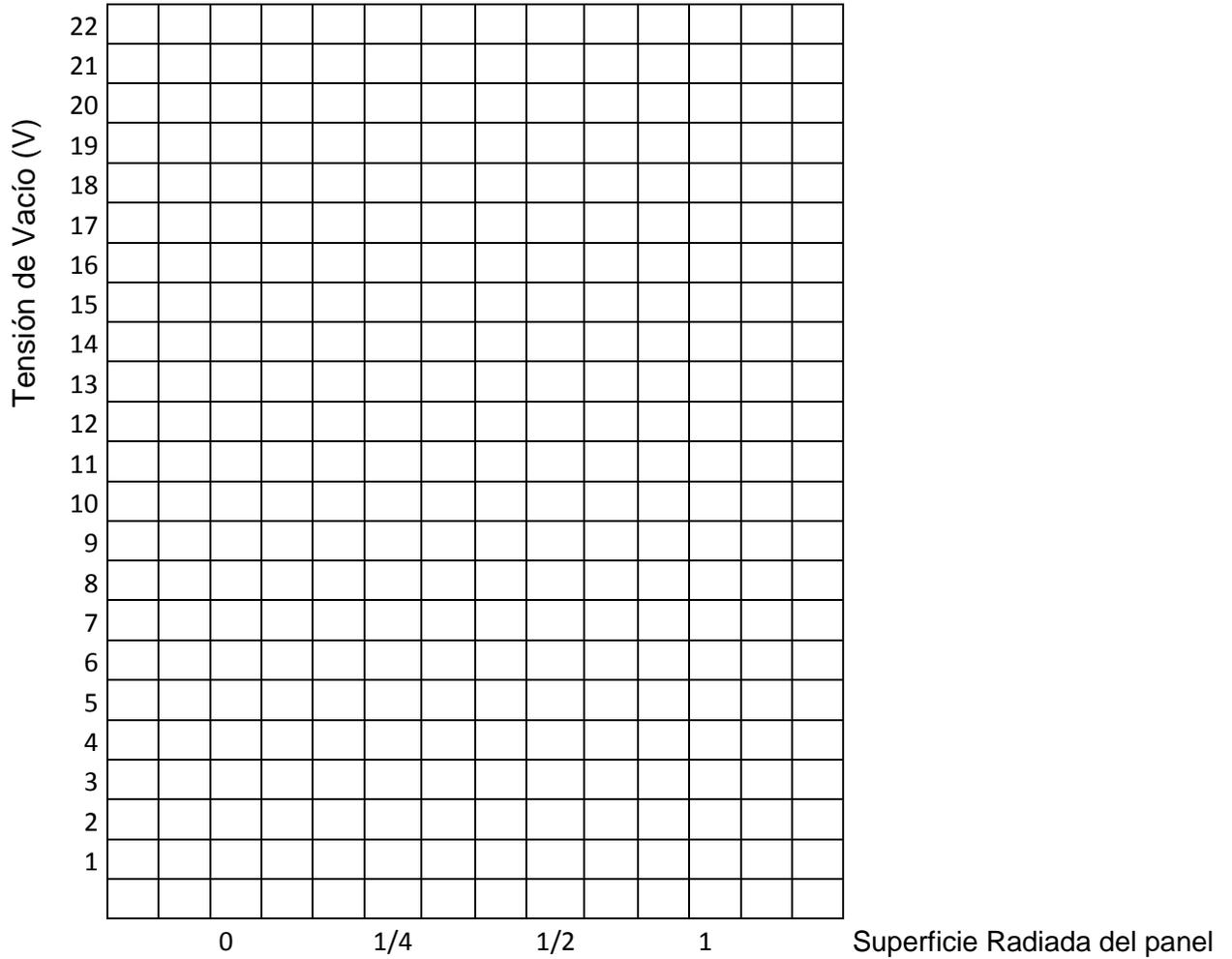
3. Según el punto 1 y 2 cual es el mejor ángulo de inclinación solar, que relación hay entre el ángulo de incidencia solar y la corriente del panel?

8.4.3. Variación de la tensión de vacío y corriente respecto al sombreado de la superficie captadora.

Ilustración



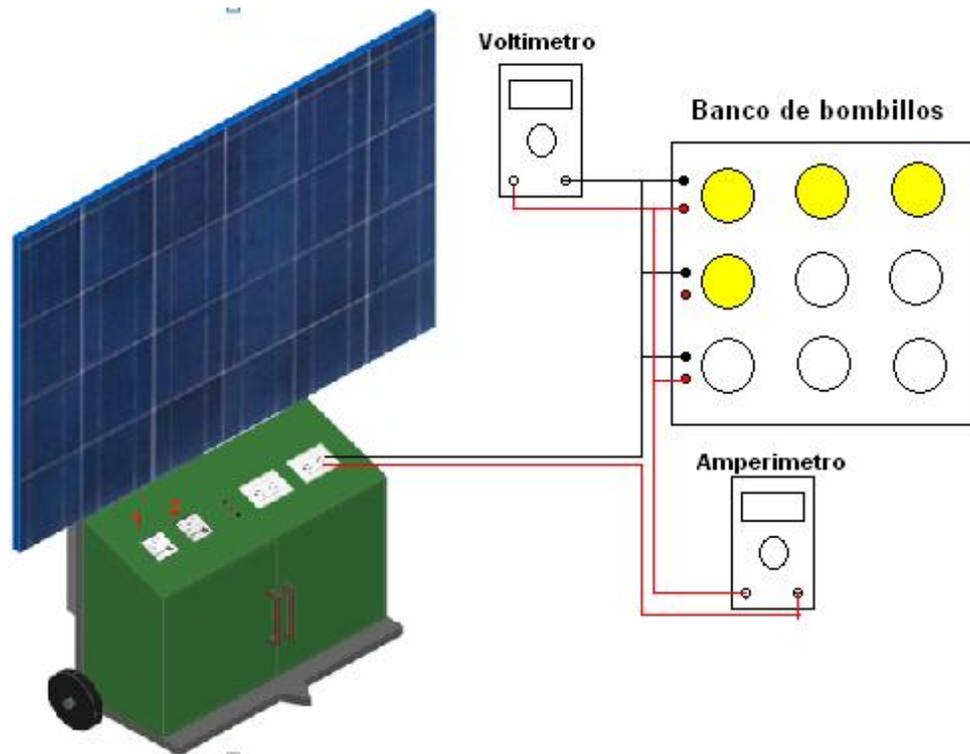
Observa los valores de tensión (V) y corriente obtenidos para cada situación, La tensión y corriente pueden ser mostrado en el voltímetro (1) y amperímetro (2) respectivamente o tomados de las bornas eléctricas utilizando un multímetro.



2. Realiza una grafica donde confrontes los valores de tensión de vacío y superficie del panel tapada.
3. Hasta que punto depende la tensión de vacío de la superficie solar radiada, que conclusión podemos hacer de este proceso?

8.4.4. Variación de tensión y corriente respecto a la carga instalada.

Ilustración



Información

Los sistemas solares fotovoltaicos se diseñan en base a unas necesidades previamente establecidas. Tienen restricciones respecto a la carga a instalar, en ocasiones, el mal funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos se debe al uso desconsiderado por parte de los usuarios los cuales alimentan cargas adicionales a las pactadas, esto se manifiesta en una mala regulación de tensión y acortamiento de la vida útil del sistema.

Ejercicio

1. El Banco de bombillos costa de 9 bombillos de 200w, registra los valores de tensión y corriente obtenidos al encender las bombillas en la siguiente tabla.

Potencia (W)						
Corriente (A)						
Tensión (V)						

2. Que sucede con la regulación de tensión al aumentar la carga de los bombillos.
3. Investiga hasta que distancia podrías alimentar una carga de 1000W con el modulo solar fotovoltaico sin que la regulación de tensión pase del 2%.

8.5. Prácticas versión docente

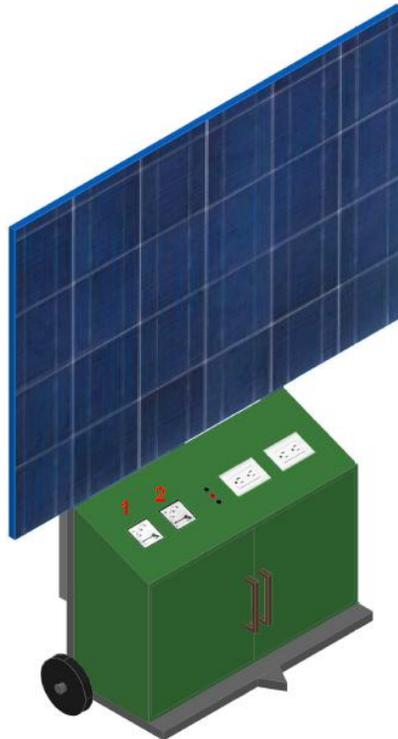
En la elaboración de estas prácticas se hará especial énfasis en parámetros eléctricos como la corriente (mA) y la tensión de vacío (V) en función de variables como la orientación, inclinación y ubicación del módulo

Al visualizar la variación de los parámetros eléctricos se busca saber cual es la mejor forma de generar energía por medio de la captación solar.

Los datos requeridos en las prácticas a continuación varían según la hora y la ubicación del módulo.

8.5.1. Variación de la tensión de vacío y corriente respecto a la orientación del módulo.

Ilustración



Observa los valores de tensión de vacío (V) y corriente (mA) obtenidos para cada situación, La tensión y corriente pueden ser mostrado en el voltímetro (1) y

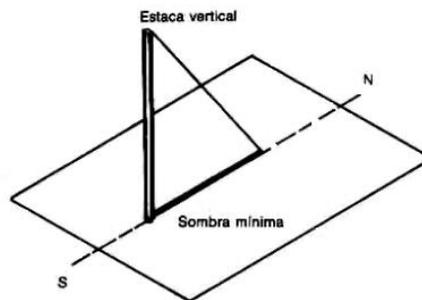
amperímetro (2) respectivamente o tomados de las borneras eléctricas utilizando un multímetro.

Información:

La generación de energía eléctrica por medio de captación solar depende fundamentalmente de la ubicación y la orientación (ángulo entre la meridiana y la perpendicular al plano de los paneles) de los paneles, por esta razón se estudia el movimiento del sol en las diferentes fechas del año.

Al momento de orientar los paneles solares es necesario determinar el Norte y el Sur geográficos, lo cual se puede realizar de dos formas: ubicando la meridiana o utilizando una brújula.

La meridiana es una línea imaginaria dirigida en dirección Norte-Sur, la cual se puede determinar enterrando una estaca en suelo y viendo la sombra proyectada por la estaca, en el momento que la sombra proyectada por la estaca tenga una longitud mínima indicara que el sol esta en su punto mas alto sobre el horizonte y señalara la dirección de la meridiana (Norte-Sur geográfico) ver figura.

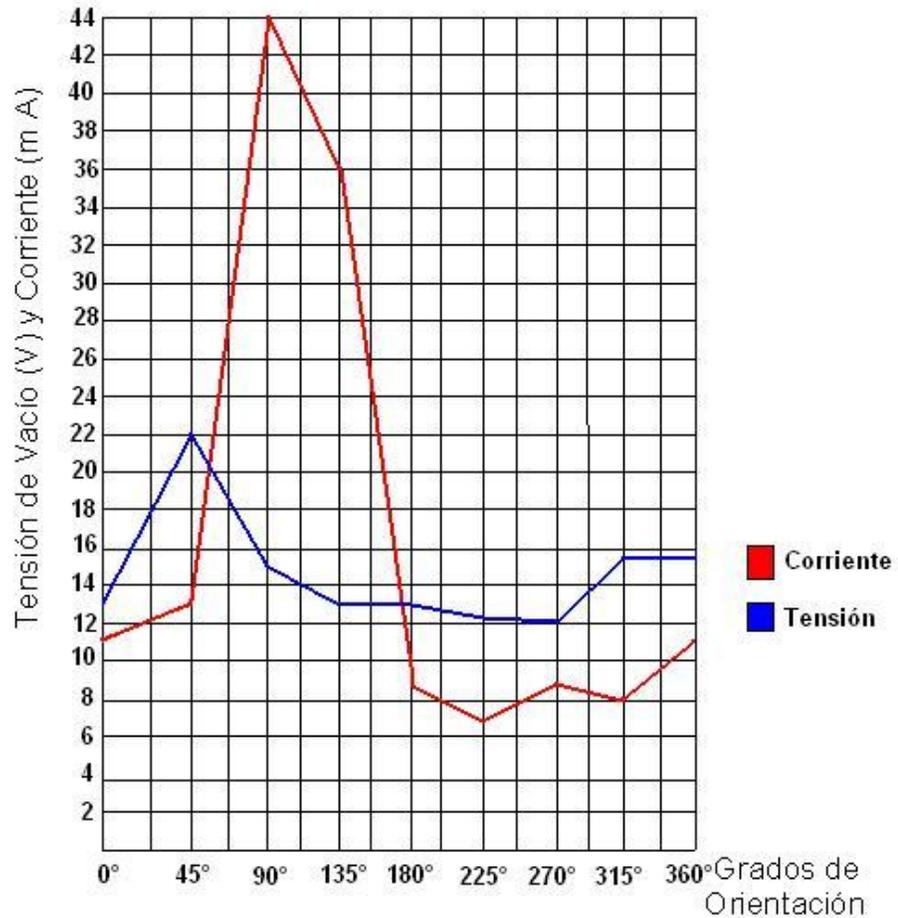


Ejercicios.

4. Partiendo de la ubicación Norte-Sur o meridiana y colocando la inclinación del panel a 90° , varía el ángulo de orientación a favor de las manecillas del reloj registrando los valores de tensión de vacío y cortocircuito obtenidos para cada ángulo.

Angulo de Orientación	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	360°
Corriente (mA)	11	13,3	46	36	9	7	9	8,7	11
Tensión en vacío (V)	13,36	22	15	13	13	12,9	12,5	13,4	13,4

5. Gráfica los valores obtenidos de cortocircuito y tensión de vacío con respecto al ángulo de orientación.

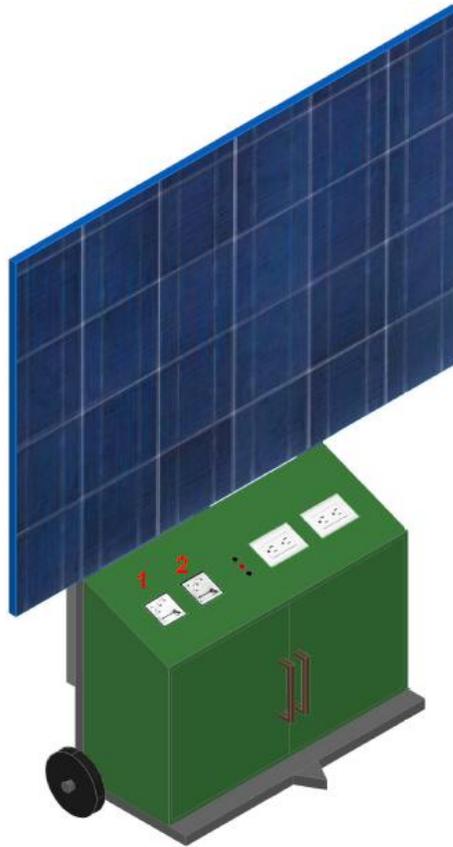


6. Según la ubicación del modulo, cual es el mejor ángulo de orientación solar?

R/ Debido a que esta práctica se realizó en horas de la mañana 9:00 am y según la localización de la meridiana el mejor ángulo de orientación es de 45°, ya que este ángulo corresponde al **Este** geográfico y en la mañana el sol se ubica hacia esa dirección.

8.5.2. Corriente y tensión del panel solar con distintos ángulos de inclinación.

Ilustración



Observa los valores de tensión de vacío (V) y corriente (mA) obtenido para cada situación, La tensión y corriente pueden ser mostrado en el voltímetro (1) y amperímetro (2) respectivamente o tomados de las borneras eléctricas utilizando un multímetro.

Información

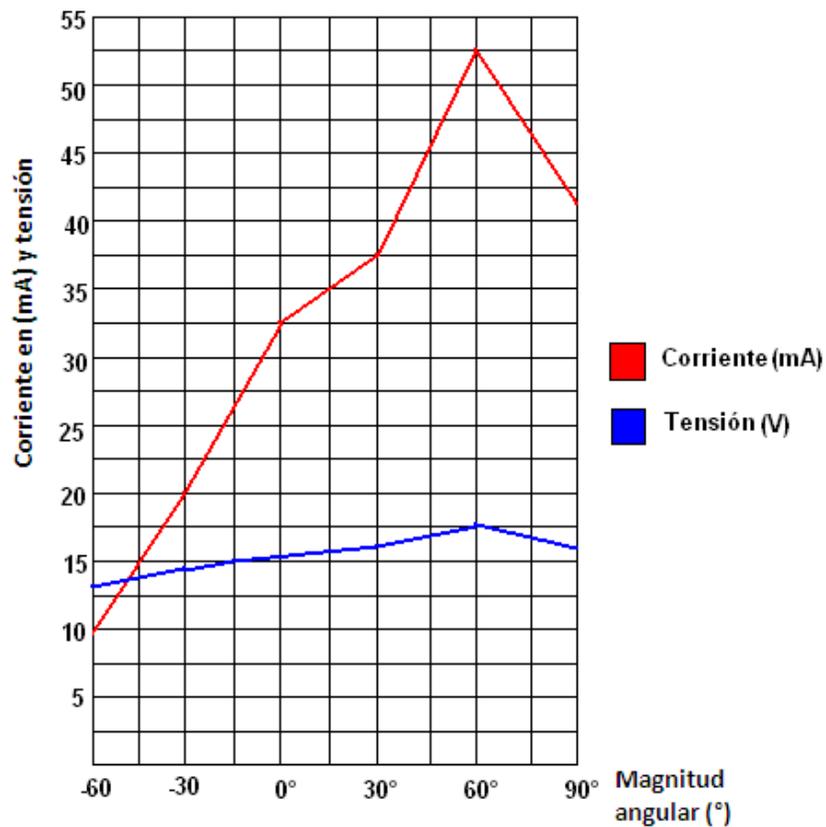
El ángulo de inclinación es una de las variables que determina la generación de energía eléctrica por medio de captación solar. La inclinación determina el ángulo con que los haces lumínicos inciden sobre el panel solar, este ángulo de incidencia cambia con la hora y la estación del año, así por ejemplo el ángulo con que los rayos solares incidentes por la mañana en un panel solar fijo es distinto que el incidente al medio día.

Ejercicios

- Coloca el panel solar en posición de 90° y varia su ángulo hasta 0° con pasos de 30° , registra los valores de corriente y tensión obtenidos para cada uno de los ángulos.

Ángulos	90°	60°	30°	0°	-30°	-60°
Corriente (mA)	41	53	35	31	20	9
Tensión (V)	13,3	16	15,5	15,2	13	12

- Realiza una gráfica donde confrontes los valores de cortocircuito obtenidos con sus respectivos ángulos.

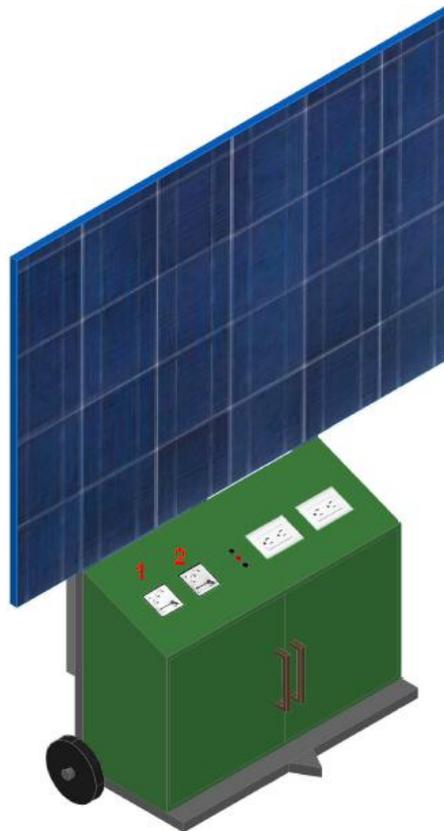


6. Según el punto 1 y 2 cual es el mejor ángulo de inclinación solar, que relación hay entre el ángulo de incidencia solar y los parámetros eléctricos (tensión y corriente) del módulo?

R/ El mejor ángulo de incidencia solar, teniendo en cuenta que la practica se realizo a las 9:30 am corresponde a 60° , con esto logramos que el ángulo que existe entre los rayos lumínicos provenientes del sol y la perpendicular al panel sea el menor y se manifiesta en una mayor captación de energía.

8.5.3. Variación de la tensión de vacío respecto al sombreado de la superficie captadora.

Ilustración



Observa los valores de tensión (V) y corriente (mA) obtenido para cada situación, La tensión y corriente pueden ser mostrado en el voltímetro (1) y amperímetro (2) respectivamente o tomados de las bornas eléctricas utilizando un multímetro.

Información

Las células solares de silicio están compuestas de un material semiconductor, el cual consta de una capa de material dopado negativamente (n) y una capa de material dopado positivamente (p), este material al ser incidido por los fotones provenientes de la luz producen energía eléctrica. La corriente eléctrica se genera a causa de los choques entre los fotones y los electrones existentes en la capa (n) haciendo que estos se desplacen así la capa (p) y posteriormente hacia un circuito exterior, este desplazamiento lo llamamos flujo eléctrico o corriente eléctrica.

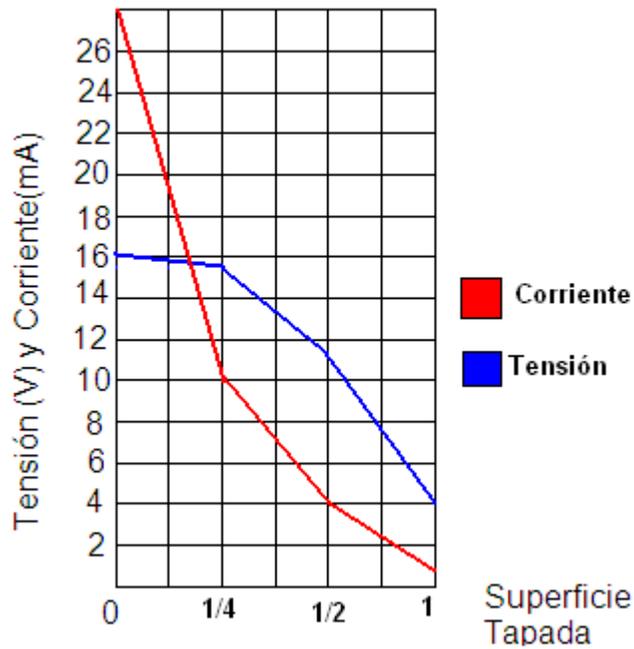
Existen parámetros eléctricos característicos de una célula solar, entre estos tenemos la corriente y la tensión de vacío, La tensión de vacío es aquella que tomamos del panel cuando este no tiene carga conectada.

Ejercicio

1. Registra los valores de tensión y corriente obtenidos cuando se tapa la superficie del panel con una manta de la siguiente manera: completamente (1), la mitad (1/2), un cuarto (1/4) y sin tapar la superficie del panel.

Superficie radiada del panel solar	1	1/2	1/4	0	
Tensión en vacío (V)	4	11,45	15,2	16	
Corriente (mA)	0	5	9	35	

2. Realiza una gráfica donde confrontes los valores de tensión de vacío, la corriente y superficie del panel tapada.

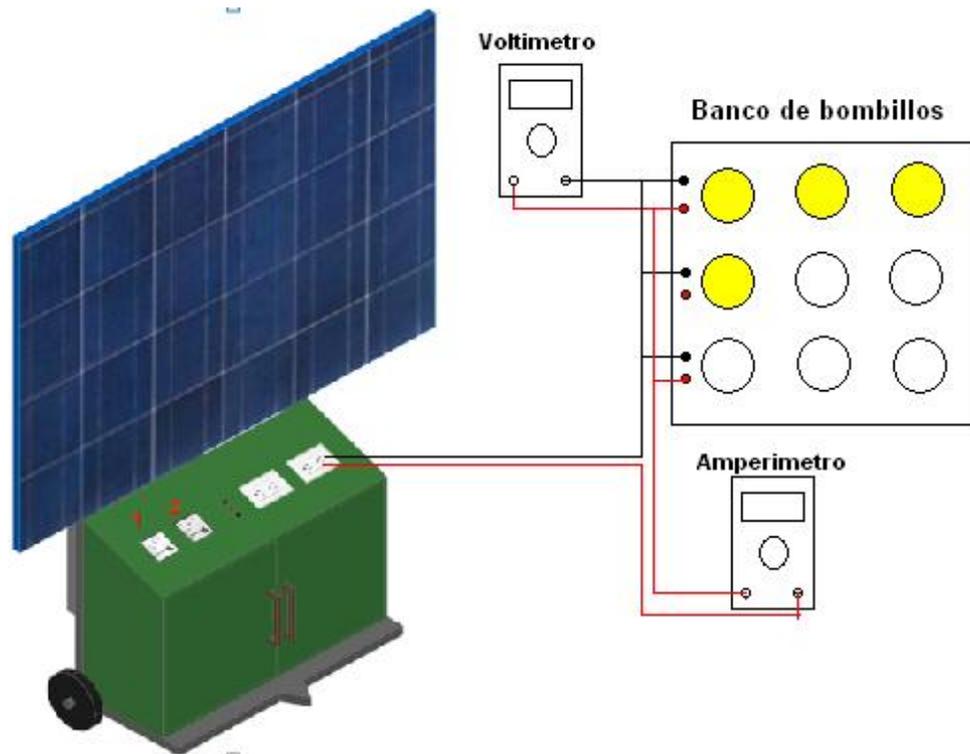


3. Hasta que punto depende la tensión de vacío de la superficie solar radiada, que conclusión podemos hacer de este proceso?

R/ Observamos en la figura anterior que los niveles de tensión y corriente están directamente relacionados con la superficie captadora, a mayor superficie tapada menos es la corriente y voltaje, eso pone en manifiesto que los paneles solares no deben de instalarse cerca de arboles o edificios que le proporcionen sombra, ya que esto afecta directamente la generación de energía.

8.5.4. Variación de tensión y corriente respecto a la carga instalada.

Ilustración



Información

Los sistemas solares fotovoltaicos se diseñan en base a unas necesidades previamente establecidas. Tienen restricciones respecto a la carga a instalar, en ocasiones, el mal funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos se debe al uso desconsiderado por parte de los usuarios, los cuales alimentan cargas adicionales a las pactadas, esto se manifiesta en una mala regulación de tensión y acortamiento de la vida útil del sistema.

Ejercicio

1. El Banco de bombillos costa de 9 bombillos de 200w, registra los valores de tensión y corriente obtenidos al encender las bombillas en la siguiente tabla.

Potencia (W)	200	400	600	800	1000	1200
Corriente (A)	0,66	1,3	1,94	2,57	3,18	3,8
Tensión (V)	95	93,5	92,6	92,1	91,7	91,7

2. Que sucede con la regulación de tensión al aumentar la carga de los bombillos.

Los niveles de tensión al aumentar la carga va disminuyendo hasta obtener una regulación de tensión del 3,47%.

3. Investiga hasta que distancia podrías alimentar una carga de 1000W con alambre #12 utilizando el modulo solar fotovoltaico sin que la regulación de tensión exceda el 2%.

R/ Como primera instancia determinamos la corriente que requiere una carga de 1000W, suponiendo que la carga tiene un factor de potencia 1

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1000W}{110V}$$

$$I = 9,09A$$

Despejando de la formula para regulación de tensión para un sistema monofásico obtenemos:

$$l = \frac{\% * S * V}{0,036 * I}$$

$$l = 22,25m$$

8.6. Presupuesto del sistema fotovoltaico autónomo móvil.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	CANT.	V.UNIT.	V.PARCIAL.
1	Panel Solar 220W marca Sun Tm	U	1	2.033.480	2.033.480
2	Controlador 15A 12/24V marca SunSave MPPT	U	1	1.455.684	1.455.684
3	Bateria 100Ah 12Vdc marca AlphaCell GXL 220	U	2	650.000	1.300.000
4	Inversor 1000W marca Xpower	U	1	490.000	490.000
5	Angulo de 1,5"X 1,5"	U	2	35.000	70.000
6	Tubo estructural 3"X1,5"	U	1	100.000	100.000
7	Realización de gabinete	U	1	200.000	200.000
8	Terminal para ponchar # 6	U	10	1.600	16.000
9	Terminal para ponchar # 14	U	30	300	9.000
10	MiniBreaker Monopolar 70A DC	U	1	36.000	36.000
11	MiniBreaker Monopolar 16A AC	U	1	16.000	16.000
12	MiniBreaker Monopolar 20A DC	U	2	30.000	60.000
13	Cable THHN THWN 90 600V # 14	m	30	800	24.000
14	Cable THHN THWN 90 600V # 6	m	10	5.000	50.000
15	Tubo estructural 3"X1,5"	U	1	100.000	100.000
16	Realización de gabinete	U	1	200.000	200.000
17	Realización de estructura	U	1	300.000	300.000
18	Llantas sellomaticas traseras15 Cm	U	2	50.000	100.000
19	Llantas locas delanteras	U	2	20.000	40.000
20	Amperímetro Analogo 0 a 20 A DC	U	1	20.000	20.000
21	Voltímetro Analogo de 0 a 30 V DC	U	1	20.000	20.000
22	Borneras Eléctricas	U	4	600	2.400
23	Toma Corriente con PT	U	1	2.500	2.500
24	Caja de policarbonato para conexiones eléctricas	U	1	200000	200.000
25	Manubrios	U	2	2.000	4.000
VALOR TOTAL DE LA COTIZACIÓN					6.849.064