



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
UNIVERSIDAD DE GRANMA**

Facultad de Ciencias Técnicas, Departamento de Ciencias Técnicas.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Sede Latacunga**

**TRABAJO DE DIPLOMA
EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**TÍTULO:
ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
INSTALADOS EN EL CENTRO DE ESTUDIO SOLAR DE LA CIUDAD
ESCOLAR CAMILO CIENFUEGOS.**

AUTORES:

Calvache Alarcón David Arturo.

Sopalo Moposita Juan Carlos.

TUTOR: Eduardo Velasco, Dr.C.

BAYAMO, M. N.

2011

“Año 53 de la Revolución”

LATACUNGA–ECUADOR

2011

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo

DEDICATORIA.

Hoy la vida me ha dado la oportunidad de graduarme y cumplir una meta más en mi vida.

Este trabajo lo dedico a la luz de mi corazón, mi hija Yadira Solange por todo este tiempo que no estuve a su lado compartiendo con ella parte de su linda niñez.

A mis padres Cecilia y Antonio por su gran apoyo, por sus consejos llenos de sabiduría y por su gran cariño eterno para convertirme en un hombre de bien para la sociedad.

A mis hermanas Damaris y Nataly por su gran cariño y afecto constante.

Este trabajo lo dedico a la mujer que me cambio la vida al darme una hija maravillosa y por brindarme todo su apoyo, comprensión y amor incondicional durante todo este tiempo que ha estado a mi lado , Sandra T.A.M.

En general agradezco a toda la familia Sopalo Moposita y amigos por darme el empuje y aliento para salir adelante y culminar mi carrera con éxito.

JUAN CARLOS.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a Dios por mantenerme con vida lleno de luz y vitalidad para que yo haya culminado con éxito mi trabajo de tesis.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxí y Universidad de Granma por la oportunidad que me brindaron para llegar a obtener mi título de ING. ELÉCTRICO y por las grandes experiencias que obtuve al pasearme por las aulas y laboratorios de ambas universidades.

Este trabajo no se hubiese culminado con éxito sin el apoyo, la experiencia y la guía de nuestro tutor Eduardo Velasco Dr.C.

También un gran agradecimiento al Centro de Estudio Solar de la ciudad escolar Camilo Cienfuegos, a su coordinador Juan Antonio González Matos y a todos los que intervinieron en nuestras visitas al Centro de Estudio Solar por abrirnos las puertas y brindarnos toda la información para la elaboración de nuestro trabajo.

Gracias mil gracias.

JUAN CARLOS.

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a Dios quien me dio la vida y luego a mi padre Efraín y madre Adalguiza quienes me dieron su confianza y su amor incondicional cuando necesite de ellos.

A mis hermanas Nataly y Valeria que me han alegrado la vida, a mi hermano Pedro y su familia por darme su apoyo, el ser ahora Ingeniero se los debo a ellos.

Y es así que gracias a ellos hoy puedo ver cumplido mi sueño y sin dejar de mencionar mi dedicatoria a ti mujer porque me supiste ayudar y escucharme cuando lo necesite, se que hoy no estás conmigo pero esperare verte llegar pronto.

Por ti y para ti mi superación y amor.

A ellos dedico este trabajo fruto de constancia y perseverancia.

David

AGRADECIMIENTO

Son incontables las personas a las que debo agradecer este logro alcanzado, y decir eternamente gracias por ayudarme a culminar mi carrera universitaria

En el transcurso de esta carrera he vivido tristezas y alegrías y me place pensar en todos los que me han apoyado y agradecerles.

A mi tutor Dr. Eduardo Velazco por ser una guía fundamental en nuestro trabajo de tesis.

A las personas especiales de mi vida que nunca olvidare.

Definitivamente, agradezco a la Universidad de Cotopaxi, por ser mi casa máxima de estudio y a la Universidad de Granma, por abrir sus puertas y permitirme culminar la carrera universitaria.

Querer es poder

David

RESUMEN

En este trabajo se analizaron detalladamente dos tipos de sistemas fotovoltaicos (FV) que justamente ambos estuvieron instalados en el Centro de Estudio Solar ubicado en la ciudad escolar Camilo Cienfuegos, que fueron un sistema fotovoltaico autónomo y un sistema fotovoltaico conectado a red.

Este trabajo a su vez está conformado por tres capítulos distribuidos de la siguiente manera.

En el primer capítulo encontramos los fundamentos teóricos, todo referente a lo que se trata de la energía solar las aplicaciones desde sus inicios hasta la actualidad.

El segundo capítulo trata sobre las características de la zona que el CES y de los sistemas fotovoltaicos instalados en el centro antes mencionado sus puntos buenos y sus puntos malos.

En el tercer capítulo se realizó un análisis económico, técnico sobre la generación de energía eléctrica que ofrecen los dos tipos de sistemas instalados en el CES como también una comparación de productividad de generación entre ambos sistemas.

ABSTRACT

In this research two photovoltaic solar systems were analyzed for their performance supplying electric energy to the Centro de Estudio Solar, located at Ciudad Escolar Camilo Cienfuegos, Municipio Bartolomé Masó, Provincia de Granma, Cuba.

The document includes three chapters, as follow: the first chapter comprises a theoretical background on solar energy, mainly photovoltaic instalations; in the second chapter it is intended to describe the zone where the Centro is located, and to feature the two systems that were the focus of the research: the autonomous system, and the connected one; the third chapter tries to analize more closely the performance of both systems, looking at the electric energy generated by each of them, and the fullfilment of the expectations.

Performance of both systems may be considered appropriated, since they provide the energy required by loads. It was proved that the energy utilized by the connected system (daily) was lower than the 16 kWh the study of the loads foresees. The autonomous system was very efficient bombing water for all the instalations.

CONTENIDO GENERAL.

INTRODUCCION.....	1
TITULO.....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACION.....	4
METODOLOGIA UTILIZADA EN LA INVESTIGACION (ESTUDIO DE CASO).....	4

CAPITULO I. FUNDAMENTOS TEORICOS.

1.1 ANTECEDENTES.....	5
1.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS EN EL USO DE LA ENERGÍA SOLAR.....	5
1.2 ENERGÍAS ALTERNATIVAS.....	6
1.3 LA ENERGÍA SOLAR.....	6
1.3.1 LA ENERGIA SOLAR EN EL MUNDO.....	7
1.3.2 LA ENERGIA SOLAR EN CUBA.....	8
1.3.3 RADIACIÓN SOLAR.....	9
1.3.4 ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	11
1.3.4.1 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA.....	12
1.3.4.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS AMORFOS.....	14
1.3.4.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	14
1.3.4.3.1 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE UN MÓDULO FV.....	14
1.3.4.3.2 ESTRUCTURA DE UN MÓDULO.....	15
1.4 GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	15
1.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	18
1.5.1 SISTEMAS AISLADOS O AUTÓNOMOS.....	19
1.5.1.1 PRINCIPALES COMPONENTES.....	19

1.5.1.2 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS AUTÓNOMOS.....	20
1.5.2 SISTEMAS CONECTADOS A LA RED.....	21
1.5.2.1 PRINCIPALES COMPONENTES.....	21
1.5.2.2 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS INTERCONECTADOS A RED.....	22

CAPITULO II CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA EN QUE SE ENCUENTRA EL CENTRO DE ESTUDIO SOLAR Y DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS.

2.1 DESCRIPCION DE LA ZONA.....	23
2.1.1 POTENCIALIDADES DEL MUNICIPIO.....	24
2.1.2 DEBILIDADES.....	25
2.1.3 RECURSOS CON QUE SE DISPONE.....	25
2.1.4 LINEAS ESTRATEGICAS.....	25
2.1.5 RESULTADOS A OBTENER.....	26
2.2 DESCRIPCION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED (SFVR).....	26
2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODULOS DE 100 Wp INSTALADOS.....	27
2.2.1.2 CARACTERISTICAS DEL INVERSOR DE 2500W (ONDA SINUSOIDAL, SUNNY BOY).....	29
2.2.1.3 SISTEMA DE MONITOREO (SUNNY WEB BOX).....	30
2.2.1.3.1 NORMATIVAS EXISTENTES PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR.....	30
2.2.1.4 CONTADORES DE ENERGÍA.....	32
2.2.1.5 LA BATERIA.....	32
2.2.1.6 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE CONEXIÓN A RED TIPICO.....	33
2.2.1.7 ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONEXIÓN INSTALADO (PRIMERA ETAPA).....	33
2.2.1.8 ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONEXIÓN INSTALADO (SEGUNDA ETAPA).....	34
2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO (SFVA) PARA EL BOMBEO DE AGUA.....	34
2.3.2.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO COMPLEMENTARIA.....	39
2.3.2.2 SELECCIÓN DEL POZO.....	41

2.3.2.3 VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	42
2.4 ESTRUCTURAS Y SOPORTES DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS.....	43
2.4.1 NORMATIVAS EXISTENTES. PARA LAS ESTRUCTURAS Y SOPORTES.....	44
2.5 CABLES Y ACCESORIOS ELECTRICOS.....	45
2.6 SISTEMA DE PROTECCIONES.....	45
2.7 VENTAJAS COMPARATIVAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	46
2.8 DESVENTAJAS COMPARATIVAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	46

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EMPLEADOS EN EL CENTRO DE ESTUDIO SOLAR.

3.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CES.....	47
3.2 ANÁLISIS DE LA ENERGÍA SUMINISTRADA POR EL SISTEMA CONECTADO A RED.....	50
3.2.1 ANALISIS EN EL MES DE NOVIEMBRE VALOR DE GENERACIÓN MÁS BAJO.....	51
3.2.2 ANALISIS EN EL MES DE MARZO VALOR DE GENERACIÓN MÁS ALTO.....	52
3.2.3 CHEQUEO DEL SISTEMA INSTALADO CONECTADO A RED.....	53
3.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA AUTÓNOMO PARA EL BOMBEO DE AGUA.....	54
3.4 ASPECTOS ECONÓMICOS.....	54
3.5 COSTOS DE LOS SISTEMAS.....	55
3.6 PRECIOS DE LOS COMPONENTES.....	55
3.6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE SISTEMA AUTÓNOMO PARA BOMBEO DE AGUA.....	55
3.6.2 ANÁLISIS DE COSTO DEL SISTEMA DE CONEXIÓN A RED 2.4 KWP, CASA SOLAR, B. MASO.....	57
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	59
ANEXOS.....	67

INTRODUCCION

Por la ubicación geográfica de Cuba tiene una gran cantidad de tiempo de exposición a la luz solar lo cual es una fuente casi inagotable de energía.

Cuba se encuentra geográficamente ubicada en una región de alta insolación, aspecto que nos permitiría una amplia utilización del recurso solar, en cada metro cuadrado del territorio cubano se recibe diariamente una cantidad de energía solar equivalente a 0,5 kg de petróleo combustible, valor promedio prácticamente invariable durante todo el año.

Otra de las características de la radiación solar en Cuba es que su valor resulta casi igual en todo el país, ya que la diferencia en latitud desde el lugar más al Norte hasta el más al Sur es de sólo tres grados; por lo tanto, es utilizable en todo el territorio y durante todo el año con un valor medio de más de kWh/m² al día, tanto en su forma de bioenergía o biomasa, energía hidráulica, energía eólica, o directamente convertida en calor o electricidad.

Entre estas nuevas fuentes de energía se encuentra la generación de energía eléctrica a través de la conversión de la energía solar, la cual requiere de una tecnología que la mayor parte de la población desconoce pero que con una adecuada campaña de educación sobre el tema puede motivar a la población a emplearla.

Es por ello que el enfoque territorial permite estudiar el desarrollo de manera focalizada, lo que profundiza el conocimiento de las potencialidades locales, con conocimiento de las fuerzas que impulsan dicho desarrollo. (Pinell, 2004).

Los servicios básicos tienen un rol importante en el desarrollo rural, y principalmente la generación de economías locales que permitan a los pobladores rurales tener un mejor futuro para sus familias, su entorno social y ambiental (Canedo, 2005).

Para garantizar estos servicios es necesaria la energía eléctrica y en la actualidad se impulsan proyectos basados en la energización de comunidades rurales no electrificadas, para propiciar el desarrollo a comunidades aisladas de los principales medios que hacen que la calidad de vida de sus habitantes sea mejor.

Una de las causas de las equivocaciones en la satisfacción de las necesidades básicas (iluminación, comunicaciones, suministro de agua potable y de agua caliente para uso sanitario, salud, educación) y de la falta de actividad económica de las pequeñas poblaciones rurales, es la falta de suministro energético con fuentes renovables.

Por razones de índole fundamentalmente económica hacen impensable una electrificación masiva del medio rural en un plazo razonable. Es por eso posible afirmar hoy que “la energía solar es una opción adecuada para garantizar una gran parte de los requerimientos energéticos de nuestra sociedad y como tal, deben apoyarse las iniciativas que impulsan y conducen a su aprovechamiento racional en gran escala” (Lesino et al., 2004).

Suele reconocerse que la electricidad es un importante elemento del desarrollo socioeconómico rural, no como fin en sí misma sino a través de la demanda de los servicios que permite ofrecer, como el bombeo de agua potable, la prolongación del día gracias a la iluminación, y la preparación de alimentos (Campen, et al. 2000).

En la mayor parte de los países en vías de desarrollo los problemas de energía que se están tratando es la alta dependencia de las fuentes tradicionales de energía que suministran más del 90% del total de energía usada, causando una rápida deforestación, la pérdida de fertilidad de suelo, etc. Así una gran cantidad de la información que se requiere para describir sus relaciones, y varias herramientas son necesarias al analizar diversas investigaciones y alcanzar una variedad de resultados que sean necesarios para el proceso de planeación (Campen, et al., 2000).

TITULO.

“ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS EN EL CENTRO DE ESTUDIO SOLAR DE LA CIUDAD ESCOLAR CAMILO CIENFUEGOS”

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Analizar el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos conectado a red y autónomo, instalados en el CES (Centro de Estudio Solar) del Caney de las Mercedes del Municipio de Bartolomé Masó, en el sentido de satisfacer las necesidades energéticas que día a día requiere las instalaciones de este centro y el abastecimiento de agua tanto al CES como a la Villa del Educador.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Analizar la demanda energética del Centro de Estudio Solar, de acuerdo con los equipos eléctricos de que dispone y el uso sistemático que se hace de los mismos.
- Cuantificar la generación de energía eléctrica del sistema fotovoltaico conectado a red durante un ciclo anual en relación con la demanda energética del Centro, destacando los meses y días del año de comportamiento extremo
- Valorar el comportamiento del sistema fotovoltaico autónomo usado para el bombeo de agua en el Centro.

- Concienciar a la sociedad sobre la importancia que tiene la utilización de paneles fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica.

PROBLEMA.

¿Resulta factible el uso de la energía solar fotovoltaica para satisfacer las necesidades domésticas y un alto abastecimiento de agua en las condiciones de la Provincia de Granma?

Hasta hoy en la actualidad las tradicionales fuentes de generación como las centrales térmicas, hidroeléctricas nucleares entre otras han provocado severos daños en el medio ambiente desde hace mucho tiempo atrás hasta la actualidad y esto nos lleva a buscar otras alternativas de generación de energía eléctrica menos contaminantes sin el uso de fuentes no renovables. Es así que al realizar estudios se ha demostrado que existen diversas fuentes renovables para la generación de energía eléctrica tal es el caso de la energía producida por el sol y esta a su vez transformada a energía eléctrica por medio de los sistemas fotovoltaicos dándonos como resultado una energía limpia y confiable.

Es por esta razón que nuestro análisis se ha centrado en el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos instalados en el CES ya que el sector en donde se encuentra ubicado dicho centro cuenta con las condiciones climáticas adecuadas para aprovechar los beneficios que se obtienen al usar sistemas fotovoltaicos.

JUSTIFICACION.

En estos momentos no se discute la importancia que tiene la radiación solar, como fuente de energía renovable y se pronostica que para a nivel mundial esta fuente suministre una gran parte de las necesidades energéticas del planeta. El estado cubano le ha concedido gran importancia a esta fuente de energía: la cantidad de paneles solares que actualmente suministran energía a instalaciones escolares y asistenciales o para el bombeo de agua en lugares apartados, y la expansión del uso de calentadores solares da cuenta de este esfuerzo.

Sin embargo, cuando se analizan las tendencias mundiales de crecimiento en el aprovechamiento de la energía solar se aprecia que no es precisamente el tipo de sistema como en el instalado en los lugares apartados, a los que no llega la red de distribución de energía eléctrica en Cuba, los que más rápido crecen, sino aquellos acoplados a la red. El estado cubano no ha descuidado el desarrollo de este tipo de sistemas, de hecho el sistema de aprovechamiento de energía solar fotovoltaica de mayor potencia instalado en Cuba es de este tipo, y se encuentra en el Centro de Estudio Solar, que se localiza en la Villa de Descanso de Educadores, en la Ciudad Escolar Camilo Cienfuegos, del Municipio Bartolomé Masó, en la Provincia de Granma. Se aclara que en este centro, además del sistema fotovoltaico acoplado a red, posee las otras alternativas del uso de esta variante, que son el sistema autónomo, utilizado en este caso para el bombeo de agua, y un sistema híbrido, que dispone de un aerogenerador acoplado a un sistema fotovoltaico que funciona como sistema híbrido. Teniendo en cuenta que ya el Centro de Estudio Solar tiene más de dos años de funcionamiento, y la necesidad de evaluar el desempeño en la práctica de estos sistemas, lo que ofrecería información útil para proyectos futuros, es que se ha planteado esta investigación, que como estudio de caso, pretende evaluar el desempeño durante un año del funcionamiento de estos sistemas.

METODOLOGÍA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN

Este estudio investigativo se realizó siguiendo el método general de **Estudio de Caso**, teniendo en cuenta que el Centro de Estudio Solar posee el sistema fotovoltaico de mayor potencia instalada en Cuba (2,4 kW) y que se ha instalado en dicho lugar precisamente para contribuir a la diseminación de este tipo de experiencia.

CAPITULO I. FUNDAMENTOS TEORICOS.

1.1 ANTECEDENTES.

La energía solar es una energía garantizada, desde el punto de vista científico, para los próximos 6.000 millones de años.

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la Historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.

1.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS EN EL USO DE LA ENERGÍA SOLAR.

Las primeras investigaciones para captar y explotar la energía solar se remontan a la antigüedad.

Los egipcios descubrieron el efecto del vidrio, el hecho de que un cuerpo expuesto al Sol en un recipiente de vidrio se calienta más que al aire libre.

Hacia el año 100 D. C., Herón de Alejandría construyó un dispositivo para bombear agua con ayuda de la radiación solar. Arquímedes incendió una flota enemiga que atacaba su ciudad en el siglo III con ayuda de pequeños espejos planos agrupados de manera de formar grandes espejos cóncavos.

En el siglo XIII Lavoisier realizó el primer horno solar concentrando la energía con ayuda de una lente con líquido, obtuvo la temperatura de fusión del platino. En 1615, Salomón de Gauss construyó una bomba solar. En el siglo XVIII, el Suizo Saussure construye varias máquinas solares que consistían de dos vidrios planos sobre la faz orientada hacia el sol a fin de aumentar el efecto de vitro.

Mouchot construyó una máquina, produciendo vapor a 3.5 atmósferas y un gran espejo cóncavo que sirvió para hacer funcionar la imprenta de la Exposición Universal de 1878. Por la misma época Pifre construyó una imprenta solar.

En el siglo XIX la conversión de la energía solar en otras formas de energía giró alrededor de la generación de vapor para alimentar máquinas de vapor, aunque también adquirió cierto interés la destilación de agua para su potabilización.

En los inicios del siglo XX aumenta el interés por esta fuente de energía, registrándose numerosas patentes para calentadores solares de agua domésticos durante los años 30 y 40. Después de la Segunda Guerra Mundial la energía solar adquiere gran relieve, alcanzando su máximo apogeo en EE.UU. durante la década de los 50. (Murray, 1974)

Por entonces se desarrollaron desde cocinas solares a máquinas de vapor, y algunos dispositivos eléctricos y naves espaciales que utilizaban las entonces nuevas células solares. Este interés decrece bruscamente en la siguiente década, justo hasta 1973, donde se produjeron eventos importantes en el mercado del petróleo en el mundo, que se manifestaron en los años posteriores en un encarecimiento notable de esta

fuentes de energía no renovable, resurgieron las preocupaciones sobre el suministro y precio futuro de la energía. Resultado de esto, los países consumidores, enfrentados a los altos costos del petróleo y a una dependencia casi total de este energético, tuvieron que modificar costumbres y buscar opciones para reducir su dependencia de fuentes no renovables.

Entre las opciones para reducir la dependencia del petróleo como principal energético, se reconsideró el mejor aprovechamiento de la energía solar y sus diversas manifestaciones secundarias tales como la energía eólica, hidráulica y las diversas formas de biomasa; es decir, las llamadas energías renovables.

1.2 ENERGÍAS ALTERNATIVAS.

Las energías alternativas a diferencia de las energías convencionales usan como fuente de generación recursos renovables y poseen una fuente prácticamente inagotable en relación al tiempo de vida del hombre en el planeta. Se producen de manera continua, no se agotan, y tienen su origen en los procesos ambientales y atmosféricos naturales: el viento, el sol, los cursos de agua, la descomposición de la materiales orgánicos, el movimiento de las olas en la superficie del mar y océanos, el calor interior de la tierra entre otras son fuentes de energías alternativas.

Para el caso del presente proyecto, se va a dar más importancia a la energía solar por ser nuestro tema de estudio y de gran accesibilidad para el mismo.

1.3 LA ENERGÍA SOLAR.

Es aquella que aprovecha la energía del sol que llega a la tierra, en forma de rayos. Se la puede considerar como energía primaria y todas las demás; es decir, la energía hidráulica, viento, carbón, combustibles, etc. son producto de ella.

La energía solar se manifiesta de diversas formas y su aplicación ha sido fundamental para el desarrollo de toda la humanidad. A estas formas se les conoce como energías renovables, ya que son formas de energía que se van renovando o rehaciendo con el tiempo o que son tan abundantes en la tierra, que perdurarán por cientos o miles de años, las usemos o no.

1.3.1 LA ENERGIA SOLAR EN EL MUNDO.

Mucho se ha hablado acerca de cómo la energía solar ha evolucionado rápidamente hasta una etapa de comercialización. Los sistemas de aprovechamiento de la energía solar se están convirtiendo con rapidez en una cosa común.

Ya que muchas personas han decidido que el sol es en nuestros días la mejor fuente opcional de energía.

- El sol se puede utilizar como fuente opcional de energía, sin las dificultades que presentan otras fuentes.
- El equipo necesario, lo mismo que las técnicas de diseño de sistemas y su instalación, se encuentran disponibles.
- En casi todos los países del mundo, se puede esperar un rendimiento excelente de los sistemas de aprovechamiento de la energía solar.

En 1995 en el mundo sólo había 400 MW de sistemas fotovoltaicos instalados. Según el Photovoltaic Insider's Report (Agosto, 1998), en 1996 se produjeron nuevos sistemas fotovoltaicos con una potencia de 90 MW; en 1997, con una potencia de 122 MW. Según White Paper, de ISES, en 2002 se llegó a sobrepasar la potencia de 560 MW. En el 2003 se produjeron en el mundo 750 MW; en el 2004, 1256 MW, con una subida de 67 % en un año, como fue subrayado por la revista ISES, de Italia (marzo, 2005). Y para el 2010 se prevé una producción de más de 3 000 MW a nivel mundial.

A continuación se presentan algunas perspectivas interesantes que se tienen en el uso de la energía solar:

- Las embarcaciones, por sus amplias superficies, pueden ser equipadas directamente con paneles fotovoltaicos que accionen un motor eléctrico y, en definitiva, la hélice. Un conjunto de baterías almacena la energía eléctrica durante el tiempo de reposo de las embarcaciones.
- Los automóviles solares también pueden usar paneles fotovoltaicos. Para esto es más conveniente utilizar un principio diferente dado la reducida superficie de que disponen. El vehículo se equipa únicamente con un electromotor accionado por baterías.

Los paneles fotovoltaicos son, por el contrario, instalados en distribuidores solares, a donde se llevan los automóviles para ser recargados. Este sistema es especialmente útil para desplazamientos dentro de las ciudades o en recorridos breves.

Las construcciones más significativas de Europa, Suiza, Alemania, Holanda y Dinamarca. En los techos de la feria de Munich se instaló un sistema fotovoltaico de silicio monocristalino con una potencia de 1 MW (aproximadamente 1000000 kWh/año) y está en funcionamiento desde noviembre de 1997.

En Alemania el programa de cien mil techos fotovoltaicos da muy buenos resultados. En Italia hay un programa con diez mil techos fotovoltaicos. Programas semejantes se encuentran en los Estados Unidos y en Japón. En este último país, a finales de 2004 se llegó a un total de instalaciones fotovoltaicas con potencia de alrededor de 1000 MW; ya se realizan más de cincuenta mil instalaciones por año y se piensa llegar en un futuro próximo a cien mil por año.

La India es uno de los países del Sur, junto a Zimbabwe en África, donde se encuentra más difundido el uso de sistemas fotovoltaicos. (Godfrin, 2004)

1.3.2 LA ENERGIA SOLAR EN CUBA.

En países de América Latina también se está empleando progresivamente el uso de paneles solares.

Cuba ha realizado numerosas instalaciones de sistemas de este tipo, aplicadas a los sectores de la salud y la educación, en zonas montañosas donde no llega la red eléctrica. Los principales beneficiados son las casas alejadas de una red eléctrica, pequeños hospitales y escuetas aisladas.

En Cuba existe alrededor de 5 % de los hogares sin electrificación, ubicados en zonas alejadas del Sistema Electroenergético Nacional, cuya solución energética pudiera ser con energía solar fotovoltaica.

En virtud de la experiencia adquirida con numerosas instalaciones demostrativas desarrolladas por el CÍES, el Ministerio de Comunicaciones (MINCOM), Flora y Fauna, el Instituto Cubano de Hidrología (ICH) y la empresa EcoSol, el país ha podido resolver numerosas necesidades de electrificación en zonas aisladas de la red.

Aplicaciones tales como el Programa de Electrificación Fotovoltaica en las montañas y zonas rurales remotas, a escuelas con 2364 instalaciones funcionando, a casas consultorio del médico de la familia y pequeños hospitales con más de cuatrocientas instalaciones, a círculos sociales y salas de vídeo con más de mil ochocientas instalaciones, confirman lo positivo de esta solución. Además, está ahora tomando vida el proyecto de electrificación fotovoltaica de alrededor de cien mil viviendas aisladas. Por otra parte, a medida que se desarrolle la industria fotovoltaica cubana y disminuyan los costos de fabricación de los paneles, podrá ampliarse el campo de utilización de estos sistemas, dirección en la que trabajan la industria electrónica de Pinar del Río y Copextel Habana. (Turrini, 1999)

1.3.3 RADIACIÓN SOLAR.

En el sol existe una fusión nuclear, donde el hidrógeno se convierte en helio a una temperatura de 5000 a 5800 grados centígrados, en la superficie solar.

La constante solar de calor al llegar a la tierra lo hace con una energía de aproximadamente 1350 W/m² para ser aprovechada.

La energía solar al pasar las diferentes capas de la atmósfera, se ve expuesta a diferentes fenómenos (absorción, reflexión y refracción); llegando a la superficie terrestre en forma efectiva entre 100 y 400 W/m².

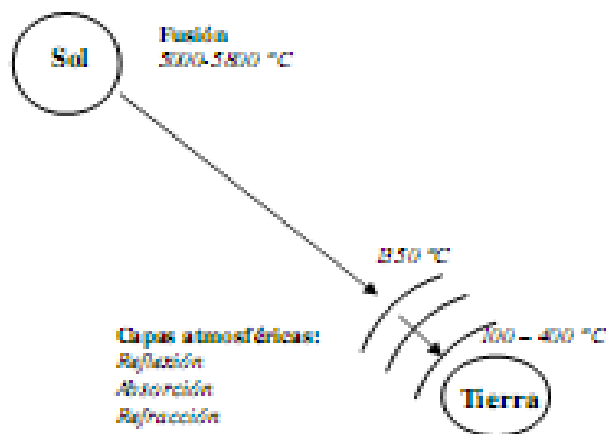


Fig.1 Radiación solar

Fuente y elaboración: José Mira

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser directa o difusa. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia, la dispersa cae en esa superficie con varios ángulos.

Una superficie inclinada puede recibir, además, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como albedo. Las proporciones de radiación directa, difusa y albedo recibida por una superficie dependen:

- De las condiciones meteorológicas
- De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal
- De la presencia de superficies reflectantes.

En función del lugar, varía también, la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

Si llamamos I_D la radiación directa, I_E la dispersa y R al albedo, entonces resulta que la radiación solar total que cae sobre una superficie es:

$$I_T = I_D + I_E + R$$

Conceptos básicos de la radiación solar:

- Radiación Directa: Es la radiación solar recibida del sol que haya sido difractada por la atmósfera.
- Radiación Difusa: Es la Radiación solar recibida del sol después que su dirección ha sido cambiada debido a los procesos de reflexión y refracción que ocurren en la atmósfera.
- Radiación Total: Es la suma de las radiaciones directa y la difusa que inciden sobre una superficie.
- Radiación Total = Radiación Directa + Radiación Difusa.

De toda la energía que produce el proceso de fusión nuclear, nuestro planeta recibe menos de una milmillonésima parte.

Esa energía, que en poco más de ocho minutos recorre los más de 145 millones de kilómetros que separan al Sol de la Tierra resulta, sin embargo, una cantidad enorme en proporción al tamaño de nuestro planeta.

La energía solar se manifiesta en un espectro que se compone de radiación ultravioleta, visible e infrarroja. Al llegar a la Tierra, pierde primero su parte ultravioleta, que es absorbida por una capa de ozono que se presenta en el límite superior de la atmósfera.

Ya en la atmósfera, la parte infrarroja se pierde ya sea por dispersión al reflejarse en las partículas que en ella se presentan o al llegar a las nubes, que son capaces de reflejar hasta un 80% de la radiación solar que a ellas llega. El resto llega a la superficie, ya sea de manera directa o indirectamente como reflejo de las nubes y partículas en la atmósfera.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre se puede transformar directamente en electricidad o calor. El calor, a su vez, puede ser utilizado directamente como calor o para producir vapor y generar electricidad.

1.3.4 ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

La conversión de la energía solar en energía eléctrica está basada casi por completo en el denominado "efecto fotovoltaico", o producción de una corriente eléctrica en un material semiconductor como consecuencia de la absorción de radiación luminosa.

Los semiconductores son sustancias, como el silicio, de conductividad eléctrica intermedia entre un aislante y un conductor y, según sus características, se clasifican en dos tipos: "tipo p" y "tipo n".

Estas características se consiguen añadiendo impurezas que afectan a las propiedades eléctricas del semiconductor, proceso que se llama "dopado". Añadiendo al silicio impurezas de fósforo se consigue un semiconductor tipo n, mientras que añadiendo boro, se consigue un semiconductor tipo p. El alto grado de pureza necesario para la obtención de semiconductores será el motivo principal de su elevado costo.

Un disco monocristalino de silicio dopado en su superficie expuesta al Sol hasta hacerla de tipo n y en su parte inferior de tipo p, constituye una "célula solar fotovoltaica", completada por unos contactos eléctricos adecuados para hacer circular la corriente eléctrica por el circuito exterior. Generalmente, conectando 36 de ellas y montándolas entre dos láminas de vidrio que las protegen de la intemperie, se obtiene un "módulo fotovoltaico", capaz de proporcionar una corriente continua de 1,8 v con una iluminación de 1 kW/m².

Una serie de módulos montados sobre un soporte mecánico constituyen un "panel fotovoltaico"; según se conecten dichos módulos en serie o en paralelo, puede conseguirse casi cualquier valor de tensión y de intensidad de corriente.

En la mayoría de las aplicaciones, el panel se conecta a una batería, para disponer de energía eléctrica almacenada, aunque también puede estar conectado en paralelo con la red, para emplear la energía de la misma cuando falte el Sol.

Entre los sectores de aplicación de la energía solar fotovoltaica cabe destacar cuatro, claramente diferenciados:

- Aplicaciones remotas: lugares donde sólo se prevé un pequeño consumo de electricidad (repetidores de radio y televisión, radiofaros, balizas, etc.), y en los que es necesario una acumulación a base de baterías
- Usos rurales: instalaciones aisladas de la red general que no suelen requerir acumulación (riego, molienda, descascarillado, etc.)
- Autogeneración: centros de consumo conectados a la red, utilizando la energía solar como base y la de la red como complemento
- Grandes centrales: generación masiva de electricidad, sólo posible en condiciones favorables de evolución de la tecnología fotovoltaica, el costo de las fuentes energéticas convencionales y las condiciones climáticas

Es necesario destacar finalmente que los costos de las células fotovoltaicas siguen siendo altos en la actualidad, debido principalmente a la complejidad de la fabricación de las mismas.

Es por ello que se siguen realizando importantes investigaciones respecto a la reducción de costos de las células, centrados en dos facetas fundamentales:

- Utilización de nuevos materiales: existen semiconductores con propiedades fotovoltaicas, cuyo costo de producción es mucho más bajo que el del silicio
- Aumento de la radiación incidente: existen dos opciones al respecto; o utilizar células bifaciales, capaces de recibir la radiación solar por ambas caras, o utilizar concentración óptica por medio de lentes.

1.3.4.1 LA CÉLULA FOTOVOLTAICA.

La célula fotovoltaica es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, frecuentemente de silicio.

Silicio Mono-cristalino: de rendimiento energético entre 15 - 17 %

Silicio Poli-cristalino: de rendimiento energético entre 12 - 14 %;

Silicio Amorfo: con rendimiento energético menor del 10 %

Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm².

Otros materiales para la realización de las células solares son:

Arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio;

Actualmente, el material más utilizado es el silicio mono-cristalino que presenta prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin.

Cuando al silicio se le añaden cantidades relativamente pequeñas de ciertos materiales con características muy particulares, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de luz solar: los electrones son excitados por los fotones asociados a la luz y se mueven a través del silicio produciendo una corriente eléctrica; este efecto es conocido como fotovoltaico. (Flores, 2008)

La eficiencia de conversión de estos sistemas es de alrededor de 15%, por lo que un metro cuadrado puede proveer aproximadamente entre unos 0.15 kW.

La palabra fotovoltaico(a) está formada por la combinación de dos palabras de origen griego: Foto, que significa luz, y voltaico que significa eléctrico. El nombre resume la acción de estas celdas: transformar, directamente, la energía luminosa en energía eléctrica.

El voltaje de una celda fotovoltaica (Celda FV) es de corriente continua (CC). Por lo tanto, hay un lado que es positivo y otro negativo.

Las celdas Fotovoltaicas que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores. Uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro una estructura policristalina.

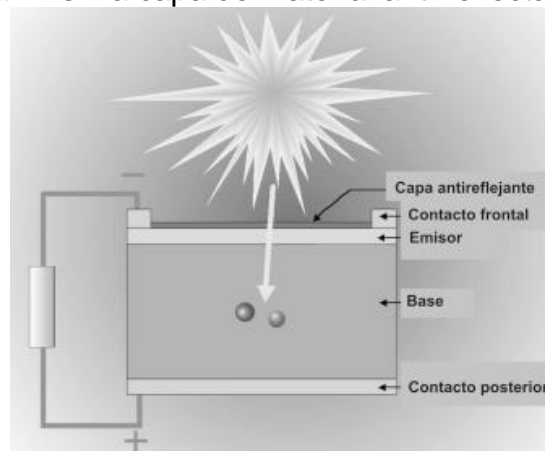
El tipo cristalino requiere un elaborado proceso de manufactura, que insume enormes cantidades de energía eléctrica, incrementando substancialmente el costo

del material semiconductor (generalmente Silicio). Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad oscila entre un 9% y un 12%.

La versión policristalina se obtiene fundiendo el material semiconductor, el que es vertido en moldes rectangulares. Su estructura cristalina no es uniforme, de ahí el nombre de poli (muchos) y cristalino (cristales). Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio Monocristalino.

Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la policristalina muestra zonas de brillo diferente.

De no ser tratada, la superficie del material semiconductor que está expuesta a la luz incidente tiende a reflejar una porción de la misma, disminuyendo la cantidad de energía luminosa que puede llegar al par semiconductor. Para evitar esta pérdida, el fabricante deposita una finísima capa de material antirreflectante.



Estructura de una célula fotovoltaica.

1.3.4.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS AMORFOS.

Algunos módulos fotovoltaicos no tienen celdas independientes conectadas entre sí, sino una estructura semiconductor que ha sido depositada, en forma continua, sobre una base metálica laminar. Este proceso permite la fabricación de un módulo fotovoltaico flexible, el que puede adaptarse a superficies que no son completamente planas. La superficie activa de estos paneles no tiene una estructura cristalina, y por ello se la denomina amorfa (a = sin; morfos = forma). Estos módulos adquieren rigidez mecánica mediante el uso de una placa de acero en la parte posterior, un laminado plástico de protección en el frente y un marco metálico de aluminio. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad varía entre un 5 y un 7%.

Una característica sumamente útil de estos módulos es su comportamiento a altas temperaturas de trabajo, ya que no existe una degradación en la potencia de salida en este tipo de paneles.

1.3.4.3 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

El módulo fotovoltaico es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas. Los módulos pueden tener diferentes tamaños (los más utilizados tienen superficies que van de los 0,5 m² a los 1,3 m²), generalmente se producen módulos formados por 30, 32, 33 y 36 celdas en serie, según la aplicación requerida. Este tipo de conexión permite adicionar tensiones (voltajes). La tensión

nominal del módulo será igual al producto del número de celdas que lo componen por la tensión de cada celda (aprox. 0,5 Volts). Los módulos formados tienen una potencia que varía entre los 50Wp y los 150Wp.

(Wp): potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar STC según el tipo y la eficiencia de las células que lo componen.

1.3.4.3.1 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE UN MÓDULO FOTOVOLTAICO.

Las características eléctricas principales de un módulo fotovoltaico se pueden resumir en las siguientes:

- Potencia de Pico (Wp): potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar STC (Radiación solar = 1000 W/m²;
- Temperatura = 25 °C; A.M. = 1,5).
- Corriente nominal (A): corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

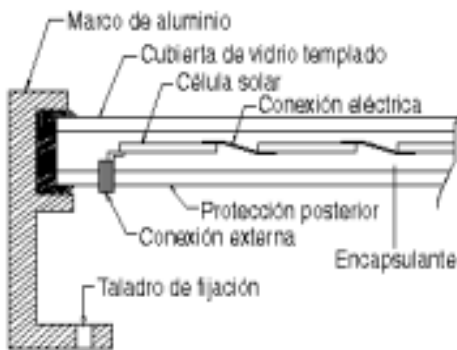
1.3.4.3.2 ESTRUCTURA DE UN MÓDULO.

Se busca otorgarle al módulo, rigidez en su estructura, aislación eléctrica y resistencia a los agentes climáticos. Por esto, las celdas conectadas en serie son encapsuladas en un plástico elástico (Etilvinilacelato) que hace las veces de aislante eléctrico, un vidrio templado de bajo contenido de hierro, en la cara que mira al sol, y una lámina plástica multicapa (Poliéster) en la cara posterior.

En algunos casos el vidrio es reemplazado por una lámina de material plástico transparente.

El módulo tiene un marco que se compone de aluminio o de poliuretano, y cajas de conexiones a las cuales llegan las terminales positivo y negativo de la serie de celdas. En las borneras de las cajas se conectan los cables que vinculan el módulo al sistema.

Los módulos fotovoltaicos tienen estructuras y formas muy variadas, según los diferentes fabricantes. En forma general un módulo solar puede estar formado por: cubierta exterior, capa encapsulante anterior, células fotovoltaicas, capa encapsulante posterior, protección posterior, marco soporte, contactos eléctricos de salida.



*Fig. 4 Corte transversal de un panel fotovoltaico.
Fuente y elaboración: www.atera.com*

1.4 GENERADOR FOTOVOLTAICO.

Está formado por el conjunto de los módulos fotovoltaicos, adecuadamente conectados en serie y en paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación a fin de que éste pueda suplir la demanda de energía eléctrica impuesta por el tipo de carga, usando la energía solar. El elemento base es el módulo fotovoltaico.

Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, mientras que módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, para obtener la tensión nominal de generación, forman la rama. Finalmente, la conexión eléctrica en paralelo de muchas ramas constituye el campo.

Los módulos fotovoltaicos que forman el generador, están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y que está orientada para optimizar la radiación solar.

La cantidad de energía producida por un generador fotovoltaico varía durante el año en función de la insolación de la localidad y de la latitud de la misma.

La carga eléctrica determina el tipo de componentes que deberán utilizarse en el sistema. La completa definición de la carga debe tener en cuenta tres características que la definen el tipo, el valor energético y el régimen de uso.

- Existen tres tipos de cargas: Corriente Continua, Corriente Alterna, y mixta (CC y CA). Cuando la carga tiene aparatos de Corriente Alterna, se necesitará incorporar al sistema un inversor. Este componente transforma el voltaje de Corriente Continua proporcionado por los paneles en un voltaje de Corriente Alterna. Las pérdidas de energía en estos sistemas son mayores que la de los de Corriente Continua.
- El valor energético representa el total de energía que consumirá la carga dentro de un período determinado, generalmente un día. Para sistemas pequeños este valor estará dado en Wh/día. Para sistemas de mayor consumo en KWh/día.

→ El régimen de uso responde a dos características: cuándo se usa la energía generada y la rapidez de su uso. Dependiendo de cuándo se usa la energía, se tendrá un régimen diurno, nocturno o mixto. La rapidez del consumo (energía por unidad de tiempo), determina el valor de la potencia máxima requerida por la carga.

Ahora bien, dentro de los sistemas de generación podemos definir los siguientes tipos:

- Directamente conectados a una carga.
- Sistema módulo batería.
- Sistema fotovoltaico, batería y regulador.
- Sistema Fotovoltaico Mixto.
- Sistema Híbrido.

a) Directamente conectados a una carga.

Es el sistema más simple en el cual el generador fotovoltaico se conecta directamente a la carga, normalmente un motor de corriente continua.

Se utiliza fundamentalmente en bombeo de agua. Al no existir baterías ni componentes electrónicos aumenta la confiabilidad pero resulta difícil mantener un rendimiento eficiente a lo largo del día.

b) Sistema módulo batería.

Se puede utilizar un módulo fotovoltaico para reponer simplemente la autodescarga de una batería que se utilice para el arranque de un motor, por ejemplo. Para ello pueden utilizarse los módulos de silicio amorfo o Monocristalino.

Otra importante aplicación en la que el sistema fotovoltaico se conecta en forma directa a la batería es en sistemas de electrificación rural de pequeña potencia.

En estos casos se utilizan generalmente uno o dos módulos de silicio monocristalino de 30 celdas cada uno conectados en paralelo para lograr la potencia deseada.

c) Sistema fotovoltaico, batería y regulador.

Es la configuración utilizada con módulos de 33 o 36 celdas en la cual se conecta el generador fotovoltaico a una batería a través de un regulador para que esta no se sobrecargue. Las baterías alimentan cargas en corriente continua.

d) Sistema Fotovoltaico con carga Mixta.

Un sistema Fotovoltaico con carga mixta es aquel que tiene cargas de Corriente Continua y Corriente Alterna. La introducción de cargas de Corriente Alterna en un sistema Fotovoltaico para uso doméstico ocurre, en general, por la inexistencia de un modelo adecuado para Corriente Continua del aparato requerido por el usuario.

Como los modelos ofrecidos son usados, en su mayoría, en vehículos de recreación, el voltaje de trabajo típico es de 12V. Si el voltaje nominal del sistema es mayor que 12V, muchos de ellos no podrán ser usados o se necesitará una línea separada de 12V.

Otro factor que determina el uso de aparatos domésticos para Corriente Alterna es la inexistencia de versiones de Corriente Continua de bajo voltaje de aparatos domésticos que han alcanzado un alto grado de aceptación por parte del consumidor.

Cuando se necesite energía en corriente alterna se deberá incluir un inversor. La potencia generada en el sistema fotovoltaico podrá ser transformada íntegramente en corriente alterna o podrán alimentarse simultáneamente cargas de corriente continua (C.C.) y de corriente alterna (C.A.)

La conversión de Corriente Continua a Corriente Alterna se realiza con una eficiencia que oscila entre el 75% y el 91%. Esto significa que las pérdidas varían entre el 25% y el 9% de la potencia suministrada a la entrada.

Los valores porcentuales más elevados corresponden a los modelos que manejan un bajo valor de potencia. Esto se debe a que el consumo del circuito del inversor no crece proporcionalmente con el aumento de la potencia que éste puede manejar.

Porcentualmente, estas pérdidas representan un menor valor cuando la potencia que maneja el inversor se eleva. Modelos de 100 W a 200 W pierden entre 20% y 25%. Modelos de más de 400 W pierden entre el 9% y el 15 %. Dentro del rango de trabajo especificado para la unidad, el porcentaje de pérdida varía con la carga. Por esto se debe observar este detalle al estudiar las especificaciones de la unidad elegida.

e) Los sistemas híbridos.

Nacen de la unión de dos o más sistemas de generación, uno convencional y uno que utilice fuentes renovables, para garantizar una base de continuidad del servicio eléctrico. La configuración típica de un sistema híbrido es la siguiente:

- Una o más unidades de generación de fuentes renovables: eólica, fotovoltaica, hidroeléctrica
- Una o más unidades de generación convencional: diesel
- Sistema de almacenaje de tipo mecánico, electroquímico o hidráulico
- Sistemas de condicionamiento de la potencia: inversor, rectificadores, reguladores de carga
- Sistema de regulación y control

1.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Se define como sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que captan y transforman la energía solar disponible, en energía eléctrica utilizable.

Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

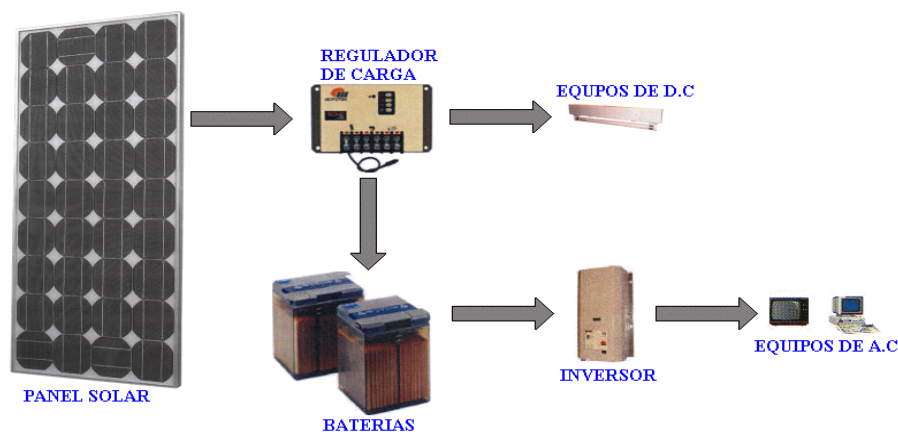
- Sistemas aislados.
- Sistemas conectados a la red

1.5.1 SISTEMAS AISLADOS O AUTÓNOMOS.

Las instalaciones no conectadas a la red eléctrica, normalmente están equipadas con sistemas de acumulación de la energía producida (baterías). La acumulación es necesaria porque el campo fotovoltaico puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas, mientras que a menudo la mayor demanda por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y de la noche.

Una configuración de este tipo implica que el campo fotovoltaico debe estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y de la recarga de las baterías de acumulación.

Obsérvese en el siguiente grafico, el esquema de instalación de un sistema aislado o autónomo de generación fotovoltaica.



1.5.1.1 PRINCIPALES COMPONENTES.

Los principales componentes que forman un sistema fotovoltaico aislado son:

- Módulos fotovoltaicos
- Regulador de carga
- Inversor
- Sistema de acumulación (baterías de acumulación)

El regulador de carga sirve fundamentalmente para preservar los acumuladores de un exceso de carga y de la descarga por el exceso de uso. Ambas condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y la duración de los acumuladores.

Normalmente la potencia requerida por el usuario no es proporcional a la radiación solar (y, por consiguiente, a la producción eléctrica de un sistema fotovoltaico) una parte de la energía producida por el campo fotovoltaico tiene que ser almacenada para poder ser reutilizada cuando el usuario la necesite. Esta es la finalidad del sistema de acumulación.

Un sistema de acumulación está formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionado de forma que garantice la suficiente autonomía de alimentación de la carga eléctrica. Las baterías que se utilizan con esta finalidad son

acumuladores de tipo estacionario y sólo en casos muy especiales es posible utilizar baterías tipo automoción.

Las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir los siguientes requisitos:

- Bajo valor de autodescarga
- Larga vida útil
- Manutención casi nula
- Elevado número de ciclos de carga-descarga

En cuanto al inversor, su finalidad en los sistemas aislados es la de transformar corriente continua (DC) producida por el campo fotovoltaico, en corriente alterna (AC), necesaria para la alimentación directa de los usuarios.

Es evidente que, de todos modos, el inversor en este tipo de instalaciones (sistemas aislados) no es un componente indispensable. De hecho, es posible incluso alimentar directamente con corriente continua de baja tensión la carga.

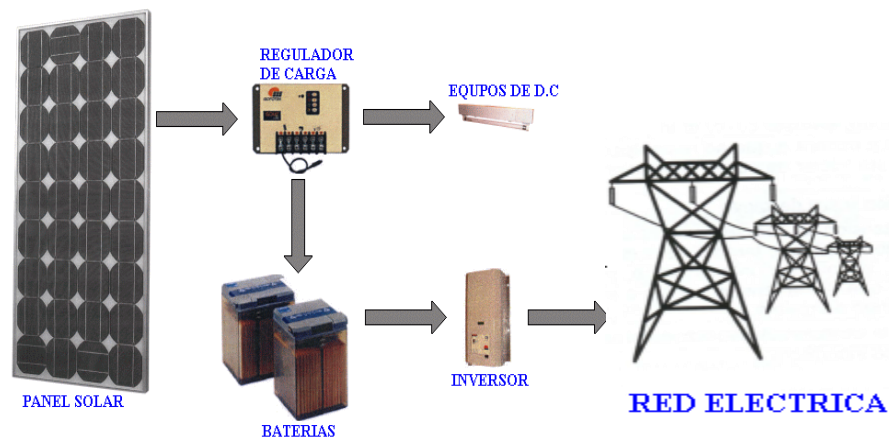
1.5.1.2 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS AUTONOMOS.

- Espaciales.
- Electrificación Rural.
- Bombeo de agua.
- Comunicaciones (repetidoras, radiotelefonía, etc.)
- Monitoreo Remoto (climático, sísmico, etc.)
- Boyas para navegación.
- Protección catódica.
- Productos de consumo (relojes, calculadoras, etc.)
- Cargadores de batería.
- Autos solares.

1.5.2 SISTEMAS CONECTADOS A LA RED.

Es una central que produce energía eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos, que debidamente convertida y transformada la energía eléctrica se conecta parcial o totalmente a la red eléctrica.

Obsérvese en el siguiente grafico, el esquema de instalación de un sistema conectado a red de generación fotovoltaica.



1.5.2.1 PRINCIPALES COMPONENTES.

Tiene cuatro componentes principales:

- El panel fotovoltaico que convierte la radiación solar en electricidad.
- El inversor que convierte la electricidad generada por el panel fotovoltaico a corriente alterna, apta para el transporte y el consumo.
- La conexión a la distribución. Los elementos que miden la producción y conectan tu instalación a las líneas de la compañía eléctrica. Puede ser en baja o alta tensión.
- El sistema de monitorización. Son equipos que controlan permanentemente el funcionamiento de la planta. Con los datos que aportan se podrá detectar fallos de equipos o un funcionamiento inadecuado de los componentes.

Es aconsejable que tengan conexión permanente a internet, para la tele monitorización

1.5.2.2 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS CONECTADOS A RED.

- Integrados a edificios (Pv in buil-dings).
- Centrales de potencia.

CAPITULO II CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA EN QUE SE ENCUENTRA EL CENTRO DE ESTUDIO SOLAR Y DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS

2.1 DESCRIPCION DE LA ZONA.

Para tener una idea de las características de la zona en que está situado el CES, que es el Municipio Bartolomé Masó Márquez, se expondrá un breve análisis social, económico, y tecnológico, útil para el desarrollo de la investigación. El Municipio se encuentra ubicado en la porción centro sur de la Provincia de Granma, tiene una extensión territorial de 634,37 km², de ellos 431,00 km² corresponden a la zona montañosa del Plan Turquino, representando el 68 % del territorio, donde viven 16000 habitantes. La población total asciende a 54891 habitantes. En su ubicación limita por el Norte con el Municipio Yara, por el Noroeste con Yara y Manzanillo, por el Sur, Guamá y Santiago de Cuba, por el Este con Buey Arriba, por el Oeste Campechuela y Pilon.

Existe una superficie forestal de 26895,44 ha, de ellos los bosques naturales ascienden a 22868,71 ha, el índice de boscosidad es del 33.0%.

Pose un alto desarrollo en los servicios sociales de Salud, Comunales, Cultura, Deportes y Educación, con una matrícula de 13669 estudiantes, en 151 escuelas, de ellas 62 disponen de paneles solares. Cuenta con dos Hospitales Municipales y dos Policlínicos, uno en la cabecera municipal y el otro en la montaña.

En los primeros años de la Revolución se construyó la Ciudad Escolar Camilo Cienfuegos (CECC), para los niños analfabetos de la Sierra Maestra (un sueño de Fidel antes del Triunfo de la Revolución), con una arquitectura bioclimática, una obra revolucionaria en la educación solar: el CES se encuentra localizado dentro de los límites de este importante Centro Escolar.

Existe un Central Azucarero, interconectado al SEN (Sistema Energético Nacional), que genera y cogenera electricidad a través del bagazo de la caña de azúcar.

El Municipio cuenta con un potencial Hidroenergético instalado de 2715.9 kW, en una PCHE y 8 Mini hidroeléctricas brindando servicio a 1296 viviendas con 2835 habitantes, 12 escuelas primarias, 6 consultorios, 3 panaderías, 2 tiendas, 4 despulpadoras de café, y a otras 18 entidades estatales, que contribuyen a elevar el nivel de vida de la población montañesa.

Es importante destacar que la PCHE Río Yara, que está ubicada en la Presa Paso Malo, acorde al pensamiento del Che, tiene una potencia instalada de 2.5 MW, con los cuales puede generar para la cabecera municipal y otros circuitos aledaños, trabajando en ocasiones aislada del SEN, generando más de 12600 MWh/año.

En los últimos años, se electrificaron con paneles fotovoltaicos 62 escuelas en la montaña, 6 consultorios del médico de la familia y 36 salas de televisión, 4 círculos sociales, 45 viviendas en comunidades de la montaña en total funcionan más de 154 sistemas en todo el municipio.

A finales de la década pasada, la CECC fue totalmente reconstruida, poniendo el enfoque sobre el empleo de la arquitectura bioclimática, en todas las escuelas se aplicó el uso eficiente de la biomasa para la cocción de alimentos, se introdujo el uso de la tracción animal en la sustitución del transporte de carga y de pasajeros y se sembraron bosques energéticos para el auto abastecimiento de leña a los fogones de las escuelas.

Los ríos más grandes del territorio son: Jicotea, Yara, Jibacoa, el Jígue, Macío.

Principales alturas: Pico Caracas con 1294 M., Punta de Berraco con 1217 M, Loma de Mompié con 1183 M. y Loma La Vela con 1162 M.

En cuanto a educación y cultura actualmente en el municipio se dispone de la infraestructura siguiente: 3 cines, 1 casa de cultura, 5 salas de videos, 4 joven club de computación, 36 salas de TV, 1 canal de televisión, 5 bibliotecas, 3 museos. Existe 1 librería, una casa dedicada al apóstol José Martí para que los niños la visiten y lo conozca más de cerca.

Se dispone de la Ciudad Escolar Camilo Cienfuegos en honor al héroe de Yaguajay. También 1 seminternado, 1 círculo infantil que beneficia a niños y niñas y un complejo panadería - dulcería para abastecer a todos los estudiantes. El municipio posee 136 escuelas primarias, 8 secundarias básica, 4 preuniversitarios, 1 escuela técnica y profesional, 1 especial, 1 de oficio, 5 de adultos. En cuanto a las vías asfaltadas o concreto, camino y terraplén, las vías en buen estado representan el 17,7 % y en mal estado el 82.3 %. (Bérriz, 2010)

2.1.1 POTENCIALIDADES DEL MUNICIPIO.

- La producción azucarera.
- Producción cafetalera.
- Producción de viandas y hortalizas.
- Producción de arroz.
- Producción agropecuaria.
- Generación de Energía Eléctrica.
- Producción de frutas.
- Producción de miel de abeja.
- Producción de alevines.
- Producción agroforestal.
- Producción de materiales alternativos de la construcción.

- Producción de guaniquiquis y yarey.

2.1.2 DEBILIDADES

- Éxodo de fuerza de trabajo en el sector agropecuario.
- Pobre mercado interno de captación de divisas.
- Muy limitada la Industria de producción de Dulces y Conservas a falta de capacidad de producción y envases.
- Afectación por la sequía en la producción de Cultivos Varios, el arroz y la producción de ganado fundamentalmente vacuno.
- Hay 20 cab. de tierra con posibilidades de riego para la siembra de arroz, falta su electrificación.
- No está el Municipio vinculado al aprovechamiento de la cantera de Tierra Roja de San Juan.
- Abundan las roturas en las despulpadoras.

2.1.3 RECURSOS CON QUE SE DISPONE.

- Una Industria azucarera que puede diversificar su producción en la producción de alimento animal, generación de energía y la producción de materiales para construcción.
- Tierra con posibilidades de Riego durante todo el año para la producción de arroz, los cultivos varios y la producción cañera.
- Una presa con capacidad de 98 millones de m³ de agua.

2.1.4 LINEAS ESTRATEGICAS:

- Desarrollar la producción de azúcar.
- Desarrollar la producción de café.
- Desarrollar la producción de Cultivos Varios, haciendo énfasis en el arroz.
- Desarrollar la producción de Materiales Alternativos de la Construcción.
- El desarrollo de la producción Agropecuaria.
- El desarrollo de la producción de alimento animal.
- La generación eléctrica.
- El desarrollo de la Industria Alimenticia en capacidad y envases.

- El desarrollo de las producciones agroforestales.
- La producción de miel de abeja.
- El desarrollo de la Industria del guaniquiqui y el yarey.

2.1.5 RESULTADOS A OBTENER.

Al desarrollar proyectos que apoyen las iniciativas locales para el incremento de la producción se pueden lograr los siguientes resultados:

- Lograr el autoabastecimiento de arroz, 2885 TM., del Municipio.
- Se pueden producir elementos de techo, paredes, pigmentos, conexiones sanitarias.
- Incrementar gradualmente la producción agropecuaria y lechera, esta última llega hasta su total satisfacción en un plazo de 8 años.
- Aprovechar el mayor por ciento de las frutas del territorio. Ejemplo: El mago, la piña, la guayaba, ya que se pierden actualmente alrededor de 14000 qq, principalmente de mango.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED (SFVR).

Este sistema actualmente cumple dos funciones que son: alimentar a los circuitos eléctricos instalados en el CES que son el circuito de iluminación y el circuito de fuerza (tomas de corriente), su otra función es la de entregar la energía no utilizada por el CES a la red pública. El sistema fue instalado por **EcoSol Energía**, perteneciente a la **Empresa COPEXTEL**, en dos etapas que finalizaron el 14 de abril de 2008, y está compuesto por:

- 24 módulos de 100 Wp cada uno (I-100).
- 1 inversor de 2500W (onda sinusoidal, Sunny Boy).
- 1 sistema de monitoreo (Sunny WebBox)
- Adicionalmente se instalaron dos metros contadores de energía eléctrica uno fuera del CES y otro dentro del mismo.
- Sistema de acumulación (baterías).

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MODULOS DE 100 Wp INSTALADOS.

A continuación se presentan las características físicas, eléctricas y constructivas de los módulos que componen el sistema fotovoltaico:



Paneles del sistema fotovoltaico.

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	I-100/12
Células	Si monocristalino, texturadas y con capa antirreflexiva
Contactos	Contactos redundantes, múltiples, en cada célula
Laminado	EVA (etilen-vinil acetato)
Cara frontal	Vidrio templado de alta transmisividad
Cara posterior	Protegida con Tedlar de varias capas
Marco	Aluminio anodizado
Cajas de conexión	IP 65 con diodos de bypass
Toma de tierra	Si
Especificaciones	IEC 61215 y Clase II mediante certificado TÜV
Sección de cable	4-10 mm ²
Terminal de conexión	Bornera atornillable con posibilidad de soldadura/ Multicontacto opcional

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	I-100/12
Dimensiones	1310 x 654 x 39,5 mm

Peso	11,5 kg
Número de células en serie	72
Número de células en paralelo	1
TONC (800 W/m ² , 20 °C, AM 1.5, 1m/s)	47 °C

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (1000 W/m², 25 °C célula, AM 1.5)	I-100/12
Tensión nominal (Vn)	12V
Potencia máxima (Pmax)	100 W ^P ± 10 %
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	6,54 A
Tensión de circuito abierto (V _{oc})	21,6 V
Corriente de máxima potencia (I _{max})	5,74 A
Tensión de máxima potencia (V _{max})	17,4 V

Los paneles instalados en el CES están conectados en serie, se ha considerado realizar así su conexión para aprovechar al máximo la potencia que puedan generar los paneles en ambos sistemas.

Cabe recalcar que en ambos sistemas fotovoltaicos funcionan con paneles fotovoltaicos de similares características antes descritas.

2.2.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR DE 2500W (ONDA SINUSOIDAL, SUNNY BOY).

La función de los inversores en los sistemas fotovoltaicos es convertir el bajo voltaje de las baterías en el voltaje que es convencionalmente suministrado por la red eléctrica y que es el requerido por muchos tipos de cargas. Los inversores utilizan dispositivos de conmutación para convertir la corriente directa (DC) en corriente alterna (AC), al mismo tiempo suben el voltaje desde 12, 24 ó 48 V DC hasta 110 ó 220 V AC, 50 ó 60 Hz.



Fotografía del inversor instalado en el CES:

Datos técnicos del inversor SB					
DC voltaje máximo de operación.	de	600V	AC voltaje nominal de operación.	de	230V
DC rango del voltaje de operación.	de	224-600V	AC frecuencia nominal de operación.	de	50 Hz
DC voltaje nominal de operación.	de	300V	AC potencia nominal de rendimiento.	de	2300W
DC máxima corriente de entrada	de	12A	AC máxima potencia de rendimiento.	de	2500W
Rango de temperatura de operación.	de	-25...+60 C	AC máxima corriente de rendimiento.	de	12.5A RMS
Poder de línea de comunicación.	de	Klasse116 (EN 50065)			
Geräte-Schutzart Enclosure		IP 65			

2.2.1.3 SISTEMA DE MONITOREO (SUNNY WEB BOX).

La función principal del regulador de carga es proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las sobre descargas. Además, se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación, y para proporcionar información al usuario.



Fotografía del regulador instalado en el CES.

2.2.1.3.1 NORMATIVAS EXISTENTES PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR.

- Debe haber protección contra descargas profundas.
- El “voltaje de desconexión de carga” debe corresponder al valor máximo de la profundidad de descarga definido para cada tipo de batería.
- Los voltajes de “desconexión”, “reconexión”, y alarma deben tener una precisión de $\pm 1\%$ (± 20 mV/vaso, o ± 120 mV/batería de 12 V) y permanecer constantes en todo el rango de posible variación de la temperatura ambiente.
- El “voltaje de fin de carga” debe estar en el rango de 2,3 a 2,4 V/vaso, a 25°C.
- El “voltaje de fin de carga” y el “voltaje de reposición” mencionados más arriba deben corregirse por temperatura a razón de -4 a -5 mV/°C/vaso. (Esta

especificación debe ser obligatoria solamente si se espera que las temperaturas ambientes [interiores] en las cercanías del controlador varíen significativamente a lo largo del año, más que $\pm 10^{\circ}\text{C}$. En caso contrario el circuito de compensación de temperatura no es realmente necesario).

- Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del generador, deben ser inferiores al 4 % de la tensión nominal ($\approx 0,5 \text{ V}$ para 12 V), en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas apagadas y con la máxima corriente procedente del generador fotovoltaico.
- Las caídas internas de tensión del regulador, entre los terminales de la batería y los del consumo, deben ser inferiores al 4 % del voltaje nominal. ($\approx 0,5 \text{ V}$ para 12 V) en las peores condiciones de operación, es decir, con todas las cargas encendidas y sin corriente alguna procedente del generador fotovoltaico.
- Se debe evitar la sobrecarga de las baterías SLI de “bajo mantenimiento”.
- Deben proveerse protecciones contra corrientes inversas.
- El regulador de carga debe ser capaz de resistir cualquier situación posible de operación “sin batería”, cuando el generador fotovoltaico opera en condiciones estándar de medida, y con cualquier condición de carga permitida.
- El regulador de carga debe también proteger a las cargas en cualquier situación posible de operación “sin batería”, como fue definida anteriormente, limitando el voltaje de salida a un máximo de 1,3 veces el valor nominal. (También se permite la total interrupción de la alimentación a las cargas).
- El regulador de carga debe resistir sin daño la siguiente condición de operación: temperatura ambiente 45°C , corriente de carga 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en las condiciones estándar de medida, y corriente de descarga 25% superior a la correspondiente a todas las cargas encendidas y al voltaje nominal de operación.
- Las cajas de los reguladores de carga deben como mínimo proveer protección IP 32.
- El regulador de carga no debe producir interferencias en las radiofrecuencias en ninguna condición de operación.

- El consumo eléctrico parásito del regulador de carga en condiciones normales de operación (es decir, generador fotovoltaico y cargas conectadas, no debe exceder de 15 mA.
- Cuando las cargas puedan ser utilizadas sin restricciones, porque el estado de carga de la batería es suficientemente elevado, se indicará con una señal de color verde.
- Cuando las cargas hayan sido desconectadas de la batería, porque el estado de carga es excesivamente bajo, se indicará con una señal de color rojo.

2.2.1.4 CONTADORES DE ENERGÍA.



Contadores de energía instalados en el CES.

Estos elementos eléctricos fueron instalados para medir la energía generada y la energía consumida en el CES por esa razón se instaló un contador afuera conjuntamente con el sistema FV y el otro contador dentro del CES.

2.2.1.5 LA BATERIA.



Fotografía de una de las baterías del sistema de acumulación.

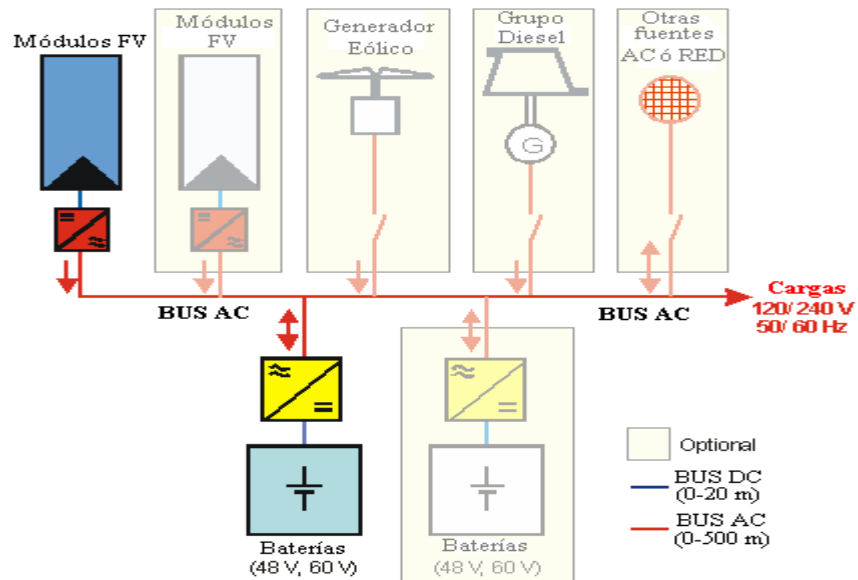
Debido a la variabilidad del recurso solar, la mayoría de los Sistemas Fotovoltaicos requiere algún tipo de almacenamiento para la energía producida durante el período donde no se dispone de este recurso. En los Sistemas Fotovoltaicos se requiere del almacenamiento de energía por las siguientes razones:

Almacenamiento durante la noche: Debido a que en los períodos nocturnos no se dispone de radiación solar, es necesario disponer de energía almacenada si existen cargas que van a ser usadas durante la noche.

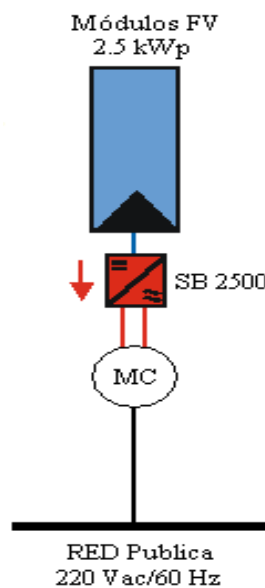
Almacenamiento por períodos nublados: El almacenamiento de energía en baterías es usada para suministrar potencia en periodos de baja insolación donde la potencia del sistema es insuficiente para satisfacer la carga.

Almacenamiento estacional: Las baterías deben de ser capaces de suplir el déficit de energía producida por el cambio de las estaciones en el transcurso del año, teniendo mayor impacto cuando el perfil de carga es constante durante todo el año.

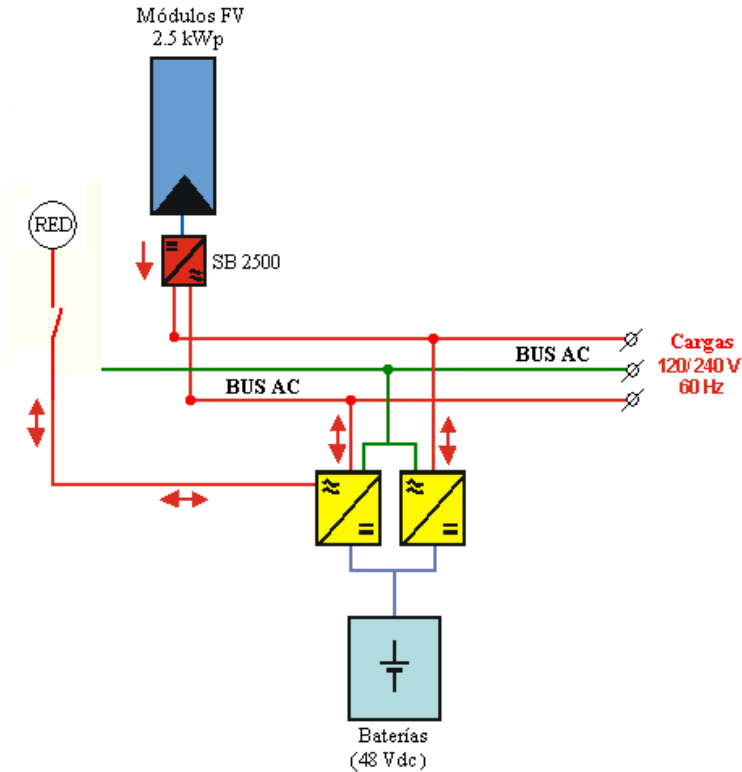
2.2.1.6 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE CONEXIÓN A RED TÍPICO.



2.2.1.7 ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONEXIÓN INSTALADO (PRIMERA ETAPA).



2.2.1.8 ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONEXIÓN INSTALADO (SEGUNDA ETAPA).



El sistema está diseñado para trabajar de forma automática, por lo que no requiere de la intervención del hombre para su funcionamiento.

El mantenimiento del mismo se efectúa sin parar el sistema, pues solo hay que quitar el polvo u otras impurezas de la superficie de los paneles para que no causen ninguna clase de sombra y funcione correctamente el sistema.

2.3.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO (SFVA) PARA EL BOMBEO DE AGUA.

Uno de los usos frecuentes de la energía fotovoltaica, en lugares alejados constituye el bombeo de agua como es el caso nuestro.

Existen varios sistemas para el bombeo de agua y a continuación se mencionan cada uno de los existentes, incluyendo el acoplado a un SFVA, y señalando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Esto se hace para poder discernir la pertinencia de instalar el SFVA con esta finalidad.

Bombas de mano.

Ventajas:

- 1 Disponible.
2. Bajo costo de inversión.
3. Tecnología simple, fácil de instalar.

Desventajas:

1. Bajo nivel de entrega de agua, limitado a la resistencia del cuerpo humano. Un hombre puede elevar, como promedio, 10 m³/día a una altura de 10 metros sobre el nivel del agua del pozo.
2. Se desvía el recurso humano de otras actividades productivas y resulta un esfuerzo mayor.
3. Alto costo de alimentación y de salarios.
Malacates y bombas de tracción animal.

Ventajas:

1. Disponible aunque no utilizado en Cuba.
2. Costos de inversión moderados.
3. Fácil de introducir.
4. Potencia apropiada para pequeñas escalas.

Desventajas:

1. Alto costo de alimentación, que involucra una producción extra de alimentos para los animales.
2. Se requiere alimentación, incluso cuando no se están utilizando para el bombeo.
Bombas con motores Diesel.

Ventajas:

1. Tecnología disponible.
2. Alta entrega, adecuada a la demanda.
3. Bajo capital inicial de inversión.
4. Fácil de usar.

Desventajas:

1. La economía depende del costo del combustible.
2. La escasez de combustible es común en muchos países.
3. Las piezas de repuesto son difíciles de obtener en lugares remotos.
4. Mantenimiento dificultoso (requiere laboratorio) en lugares remotos.
La vida útil es relativamente corta.
5. Roturas comunes.
6. Alto costo de operación y mantenimiento.

Molinos de viento.

Ventajas:

1. Tecnología de energía renovable madura cuando se usa para el almacenamiento de agua.
2. Bajo costo en áreas que tienen un adecuado régimen de vientos.
3. Cero costo de combustible.
4. Cómodo para productores locales.
5. Bajo impacto ambiental.

Desventajas:

1. Entregas moderadas, fluctuantes con la velocidad del viento.
2. Críticamente dependiente del sitio.
3. Requerimientos de mantenimiento.
Bombeo solar fotovoltaico.

Ventajas:

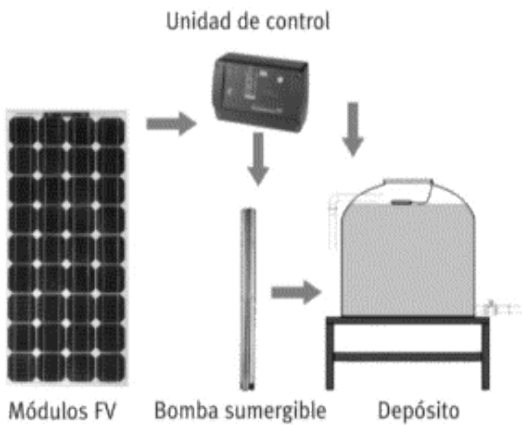
1. Fuente de energía casi universalmente disponible.
2. Alta correlación entre energía disponible y necesitada de agua.
3. Bajo impacto ambiental.
4. Cero costos de combustible.
5. Larga vida útil.
6. Mantenimiento y costos de operación prácticamente nulos.
7. Puede ser operado por personal no calificado.
8. Cómodo para sistemas de cualquier tamaño.

Desventajas:

1. Alto costo relativo de la inversión inicial.
2. Entrega sujeta a la variación de la radiación solar.

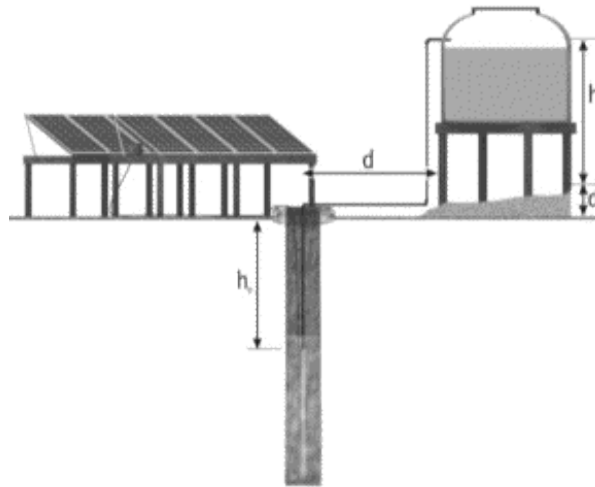
Asimismo se puede bombear agua con bombas eléctricas y bombas de ariete, así como con biogás como combustible. Cada una de estas posibilidades también presenta ventajas y desventajas.

En abril de 2007 se instaló el sistema fotovoltaico para el bombeo de agua, en la Villa del Educador, de la Ciudad Escolar Camilo Cienfuegos cuya configuración se muestra en la siguiente figura. (Cabrera, 2004)



También se hace necesario conocer parámetros del pozo y de la instalación para poder estimar las pérdidas en el sistema y con ella la altura dinámica total de bombeo, TDH.

Diagrama de los parámetros del sistema fotovoltaico de bombeo de agua.



Donde:

h_p : Nivel estático del pozo, en m.

d : Distancia entre el pozo y el tanque, en m.

d_o : Desnivel, superficie del pozo-tanque, en m.

h_T : Altura del tanque, en m.

Nombre del lugar	Volumen de agua bombeada, m ³	Capacidad de almacenamiento, m ³	Problema presentado
Villa del Educador ¹	7 453,6	30,0	Ninguno
Comunidad El Palo ²	722,2	2,5	Poca capacidad de almacenamiento
Comunidad La Gloria ³	1 046,2	5,5	Poca agua disponible en el pozo

Tabla 1. Comportamiento de los sistemas de bombeo fotovoltaico instalados.

El sistema instalado en la Villa del Educador (que incluye el Centro de Estudio Solar y la piscina) garantizó completamente el abasto de agua, ya que el gasto máximo (1,0 L/s) del sistema fotovoltaico de bombeo de agua (con 10 paneles de 100W cada uno), se corresponde con el gasto certificado del pozo (1,17 L/s) y con la capacidad de almacenamiento de agua en los tanques y la piscina.

Para dimensionar un sistema solar fotovoltaico hay que conocer tres parámetros:

1. Radiación solar en kWh/m²día (relacionado con el lugar de la instalación), Para nuestro país se puede considerar como valor de radiación 5 kWh/m²día y suponer un ángulo de inclinación de 30°.
2. Altura o carga total (no sólo la del pozo y el depósito, también hay que considerar la carga equivalente por la pérdida en tubería).
3. Cantidad de agua necesaria al día Q(m³/día). De esta forma es posible determinar cuál es el modelo de bomba que mejor se adapta a sus necesidades.

Para ello nos apoyaremos de la tabla A.

Como esta tabla es para el mes de julio y estamos eligiendo 30 grados de inclinación para los módulos, es de esperar que el resto de los meses se obtengan caudales superiores al esperado, incluso en los meses de invierno.

A manera de ejemplo analizaremos un caso hipotético. Supongamos que necesitamos dimensionar un sistema en Cuba con los parámetros siguientes: Radiación: 5 kWh/m²día.

Altura total: 40 m.

Caudal diario: 10 m³/día.

Si consultamos la tabla A, veremos que con 40 m de altura total podemos bombear diariamente 12,5 m³/día con la bomba SQF2,5-2; para ello necesitamos un arreglo de módulos solares de 688 Wp. Esto significa aproximadamente 14 módulos de 50 Wp.

5 m	87,7	72,1	53,7	34,0	11,7
10 m	46,6	36,3	26,0	16,0	7,7
20 m	23,2	20,8	17,8	12,1	5,0
30 m	19,1	16,7	12,3	7,2	2,1
40 m	15,9	12,5	8,6	4,7	1,8
50 m	12,8	9,6	6,5	3,9	1,6
60 m	10,1	7,7	5,6	3,4	1,4
70 m	8,2	6,8	4,7	3,1	1,1
80 m	7,4	6,9	4,1	2,8	0,9
90 m	6,6	5,0	3,9	2,5	0,7
100 m	5,9	4,3	3,6	2,2	0,5
110 m	5,1	4,1	3,2	1,9	0,3
120 m	4,3	3,8	2,8	1,6	0,1
Wp	860	688	516	344	172
	SQF5A-6	SQF14A-3			
	SQF8A-3	SQF5A-3			
	SQF2,5-2	SQF1,2-2			
	SQF0,6-2				

TABLA A.

2.3.2.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO COMPLEMENTARIA.

Resulta evidente la necesidad de completar el dimensionamiento de estos sistemas con el cálculo de parámetros adicionales, en particular, se deben tener en consideración el lugar de ubicación, la hidrogeología, la topografía, la radiación solar, las características del pozo que se va a utilizar y la determinación del volumen del tanque de almacenamiento de agua.

Este procedimiento es aplicable a redes de distribución de agua que tengan un solo ramal, porque cuando sea necesario un sistema de distribución complejo, es necesario un proyecto técnico para su diseño.

El método de cálculo define la bomba y la cantidad de paneles, la carga dinámica total y la cantidad necesaria de agua al día. (Cámbara, 2009)

Estos datos se definen por el usuario del sistema y la forma de cálculo se muestra a continuación.

$$H_T = H_t + H_p$$

Donde:

H_T : Altura desde el nivel estático del agua en el pozo hasta el nivel de agua en el tanque (H_t).

H_t : Nivel del agua en el tanque.

H_p : Pérdidas por conducción en tuberías y accesorios.

Cuando se trata de satisfacer la demanda de agua a personas, la cantidad de agua necesaria al día (dotación), se calcula a partir de los datos que aporta la Norma Cubana NC xx-2007, «Determinación de la demanda de agua potable en poblaciones». Para el caso de comunidades pequeñas, menores de 2000 habitantes, se aplica lo indicado en la tabla 2. Todos los valores de la tabla 2 incluyen pérdidas en los sistemas de conducción y distribución entre 5 y 8%; además, no se considera el consumo de empresas productoras u otras grandes instalaciones. En caso de que se trate de un abasto de agua a animales o para el riego, se tomarán en consideración las normas establecidas para esos casos.

De ello resulta:

$$Q_d = [\text{Cantidad de habitantes} \cdot \text{dotación (L/hab.día)}] / 1000 = (\text{m}^3/\text{día})$$

A continuación se exponen las ecuaciones necesarias para el cálculo de la potencia solar, a partir de las informaciones facilitadas por el Dr. Luis Bérriez.

Se procede a definir el gasto máximo diario requerido:

$$Q_{\max} = 1,25Q_d$$

Donde:

Q_d : Gasto promedio diario requerido.

Por seguridad, se recomienda que Q_{\max} sea 25% mayor que Q_d .

Con estos datos, se puede calcular la potencia hidráulica necesaria:

$$P_H = 1000Q_{\max} \cdot H_T / 86\,400 = 0,116Q_{\max} \cdot H_T \text{ [W]}$$

Donde: 1 día = 86 400 segundos; Q_{\max} se expresa en m³/día; y H_T , en m.

Entonces, para determinar la potencia solar P_S , se usa el factor $(24/5) = 4,8$ (porque se reducen las 24 horas del día a 5 horas sol).

$$P_S = (4,8) \cdot (0,116)Q_{\max} \cdot H_T / h_b = 0,557Q_{\max} \cdot H_T / h_b \text{ [W]}$$

Donde:

h_b : Eficiencia de la bomba.

Si la eficiencia de la bomba $h_b = 0,4$, la potencia solar necesaria será igual a:

$$P_S = 1,4 Q_{\max} \cdot H_T \text{ [W]}$$

Para el ejemplo que se expone en Energía y tú: $Q_d = 10 \text{ m}^3/\text{día}$ y $H_T = 40 \text{ m}$, entonces:

$$Q_{\max} = 12,5 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$P_S = 1,4 Q_{\max} \cdot H_T = 700 \text{ W}$$

Tabla 2. Dotación en litros por habitante al día (L/hab.día).

Población (en miles de habitantes)	Según el uso				
	Doméstico	Comercial y público	Industria local	Propio del sistema	Total
<2,0	100	20	3	2	125



Paneles fotovoltaicos del sistema de abastecimiento de agua instalado en el Centro de Estudio Solar, de la Villa del Educador, en el municipio de Bartolomé Masó, Granma.

2.3.2.2 SELECCIÓN DEL POZO.

Para seleccionar el pozo donde se instalará el bombeo fotovoltaico, es necesario conocer el tipo de acuífero.

Resulta útil recordar que un acuífero es una formación geológica saturada de agua, cuyas propiedades más importantes son la permeabilidad y la impermeabilidad de las rocas adyacentes.

En el acuífero freático la superficie del agua en el pozo se encuentra a la presión atmosférica; el acuífero artesianiano se encuentra confinado por material impermeable, y el agua está sometida a una presión hidrostática, ya que la zona de recarga se encuentra a una distancia y a una cota mayores con respecto al pozo (por lo general estos pozos son surgentes); y, por su parte, los acuíferos colgantes se encuentran relativamente a poca profundidad, y se agotan rápidamente por ser muy pequeños.

También es importante precisar que el aforo o prueba de bombeo del pozo permite conocer la capacidad de extracción de un pozo o un acuífero, es decir, la relación de Q (gasto del pozo) y S (su abatimiento en el tiempo). Cuando se bombea, la capacidad específica del pozo (Q/S) decrece con el aumento del tiempo de bombeo, y aumenta el abatimiento. Cuando el abatimiento de un acuífero es grande, se considera de baja calidad, y el pozo, al aumentar las horas de bombeo, tiende a disminuir su gasto o caudal de entrega. También debe tenerse en cuenta la transmisibilidad, la permeabilidad y el espesor del acuífero. Es por ello que la garantía de la fuente de abasto, o sea, el gasto de explotación del pozo, debe ser avalado por la Empresa de Perforación correspondiente, del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), mediante la prueba de aforo. En el certificado de la fuente de abasto se especifica el gasto que puede ser extraído del pozo sin que se alteren los parámetros del acuífero, lo que a su vez es la garantía de que no falte agua en el sistema de bombeo fotovoltaico instalado.

Con esos datos se debe comprobar la compatibilización entre el gasto de la bomba solar y el aforo del pozo, es decir, que el gasto certificado del pozo (aforo) debe ser igual o mayor que el máximo gasto de la bomba solar instalada.

2.3.2.3 VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento de agua se debe consultar la Norma Cubana NC-xx 2007.

Datos de partida:

- El gasto promedio diario (Q_d) es el punto de partida para la determinación del volumen del tanque de almacenamiento del agua.
- Se consideran 5 horas diarias (18000 segundos) como el tiempo de bombeo efectivo para la bomba fotovoltaica, a su máxima capacidad.
- El tiempo de abasto de agua a la población (T) se expresa en las horas de abasto de agua a la población (para las comunidades rurales se recomiendan 12 horas, es decir, 43 200 segundos).

Existen varios métodos de cálculo para los sistemas de acueductos, pero en este caso se recomienda aplicar el análisis siguiente, porque se considera que la determinación del almacenamiento puede ser un problema muy complejo, con dos posibles situaciones extremas:

1. Un sistema de riego donde no haga falta acumulación, pues se acepta el riego en dependencia de la radiación solar.
2. Un suministro de agua (a la población) donde todo el consumo sea fuera de las horas de radiación solar. En este caso, toda el agua necesaria tiene que ser acumulada, y si se quiere garantizar el abasto durante días sin sol, la capacidad de almacenamiento tiene que sobrepasar el consumo.

Entre estos dos casos extremos pueden encontrarse varias situaciones específicas. Para el cálculo del almacenamiento, es muy importante conocer el gasto en cada hora del día. Pero en todo caso, aunque el consumo fuera solamente por el día, si se quiere garantizar el suministro de agua en dos días sin sol, por lo menos es necesaria una capacidad de almacenamiento que sea el doble del consumo diario.

Por lo que se puede concluir que si todo el consumo fuera por la noche, haría falta una capacidad de acumulación de tres veces el consumo diario, y si todo fuera por el día mientras hay radiación solar, haría falta una capacidad de acumulación de dos veces dicho consumo diario. Si tomamos esto como aceptable, el problema se reduce a determinar el consumo diario y multiplicarlo por dos o por tres. Ante esa disyuntiva, corresponde al proyectista del sistema tomar la decisión más apropiada. El bombeo solar fotovoltaico ha evolucionado vertiginosamente en los últimos cinco años.

En la actualidad se puede trabajar con sistemas de bombeo solares usando bombas convencionales de cualquier potencia alimentada a 220, 380 o 440 VAC trifásico sin necesidad de usar bancos de baterías ni inversores convencionales. (Cámara, 2009)

2.4 ESTRUCTURAS Y SOPORTES DE LOS MODULOS FOTOVOLTAICOS.

Son las encargadas de soportar los módulos que formaran parte del sistema, las mismas deben de garantizar una adecuada rigidez, seguridad y estabilidad ante cualquier eventualidad climática y la intemperie.

El tipo de estructura usada en el arreglo fotovoltaico tendrá impacto directo sobre la potencia de salida del sistema, los costos y los requerimientos de mantenimiento.

Los materiales más usados para las estructuras de los paneles son:

1. Aluminio:

- Ligeras, fuertes y resistentes a la corrosión.
- Material fácil de trabajar.
- Compatible con la mayoría de los marcos de los módulos.
- No resulta fácil de soldar.

2. Hierro:

- Material relativamente fácil de trabajar.
- Corrosión rápida si no esta galvanizado y lenta si presenta galvanizado.
- Fácil de Soldar.

3. Acero Inoxidable:

- Duraderas por décadas.
- Caras y difíciles de trabajar.
- Difícil de Soldar.
- Excelentes para ambientes salinos.

3. Madera:

- Barata, rápidamente disponible y fácil de trabajar.
- Necesita tratamiento para preservarla.
- No recomendada en ambientes húmedos.

Por su calidad y compatibilidad para el montaje de los módulos que conforman los sistemas fotovoltaicos las estructuras en donde se encuentran ubicados los módulos son del material de aluminio. Cuyas estructuras están fijadas con un ángulo de inclinación de 30 grados. (Cabrera, 2007)

2.4.1 NORMATIVAS EXISTENTES. PARA LAS ESTRUCTURAS Y SOPORTES.

- Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 10 años de exposición a la intemperie sin corrosión o fatiga apreciables.
- En el caso de módulos fotovoltaicos con marco, su fijación a los soportes sólo puede realizarse mediante elementos (tornillos, tuercas, arandelas, etc.) de acero inoxidable.
- Las estructuras de soporte deben soportar vientos de 120 km/h, como mínimo.

2.5 CABLES Y ACCESORIOS ELECTRICOS.

La selección adecuada del tipo y calibre de conductores garantizarán el rendimiento y confiabilidad de cualquiera de los sistemas a instalar.

Para determinar el calibre del conductor es necesario conocer los planos físicos de la instalación tanto interna como externamente; ya que además de la capacidad de corriente, se toma en cuenta la caída de voltaje y pérdidas de potencia, que dependen de la resistencia del conductor, la distancia del conductor y de la corriente misma.

Es necesario conocer que para garantizar el funcionamiento de la instalación la caída de voltaje en los ramales no debe exceder el 3% y en todo el sistema ser menor al 5%.

Voltajes relativamente bajos y corrientes relativamente altas son característicos en los sistemas FV. Por lo tanto, incluso pequeñas caídas de tensión tienden a ser importantes y pueden producir efectos negativos sobre:

1. La corriente entregada por el generador fotovoltaico.
2. La regulación de la carga de la batería.
3. La vida útil de algunas cargas (ejemplo: lámparas fluorescentes)

Los cables utilizados en los sistemas fotovoltaicos y demás instalaciones del CES. Son los siguientes:

TWF Instalaciones donde requieren gran flexibilidad. Para aparatos, toma de motores, tableros, baterías, bancos de baterías de UPS, vehículos. Cable sometido a continuo movimiento.

TW Para circuitos de fuerza y alumbrado de edificaciones industriales, comerciales y domésticas.

ST (Concéntricos) Conexiones de lámparas, interconexión de equipos tales que faciliten su frecuente intercambio.

2.6 SISTEMA PROTECCIONES.

Un sistema de protecciones es importante y definitivo en cualquier tipo de instalación, para garantizar un funcionamiento y mantenimiento de la misma con seguridad.

El sistema de protección sirve para garantizar la vida de las personas que van a manipular la instalación así como alargar la vida útil de los equipos, para lo cual se usa: interruptores, que cortan el flujo de corriente en forma manual en caso de emergencia, y los fusibles que protegen contra sobre corrientes cuando exista fallas en el sistema. (Echeverría, 1999).

2.7 VENTAJAS COMPARATIVAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

- La energía solar fotovoltaica, por sus características, es la fuente renovable más respetuosa con el medio ambiente.
- Los sistemas fotovoltaicos no producen emisiones ni ruidos o vibraciones y su impacto visual es reducido gracias a que por su disposición en módulos, pueden adaptarse a la naturaleza de los lugares en los que se instalan.
- El impacto ambiental de este tipo de sistemas es siempre menor que el de otras tecnologías; y puede reducirse aún más si en las etapas de elección del lugar, estudio del proyecto y los mecanismos de autorización, se realiza una atenta

evaluación preventiva de los posibles impactos medioambientales provocados por los sistemas fotovoltaicos,

- La producción de energía es cerca de los lugares de consumo, evitando las pérdidas que se producen en el transporte.
- En emplazamientos aislados, donde el abastecimiento tradicional es imposible, una instalación fotovoltaica es mucho más barata que la extensión de una línea eléctrica u otra fuente alternativa.

2.8 DESVENTAJAS COMPARATIVAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

- Algunos tipos de células evidencian posibles riesgos en caso de incendio, debido a la formación de gases tóxicos. Por este motivo, los paneles fotovoltaicos al final de su vida útil tienen que ser debidamente reciclados.
- Siendo el impacto ambiental de la energía fotovoltaica muy reducido, no puede considerarse nulo. Existe algunos tipos de impactos ambientales que no se debe pasar por alto estos son los siguientes:
 - La contaminación que produce el proceso productivo de los componentes
 - La utilización del territorio,
 - El impacto visual,
 - El impacto sobre la flora y la fauna.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EMPLEADOS EN EL CENTRO DE ESTUDIO SOLAR.

3.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CES.

Para realizar el cálculo total de la demanda de energía en el CES se hicieron correcciones a la demanda diaria ya establecida en los inicios de su instalación (Tabla 3).

Entonces de una demanda diaria de 21,97Kw la reducimos a una demanda promedio de 16,40Kw, esto se logro aplicando las recomendaciones de la columna de observación de la tabla 3, tabla 4.

Además se redujeron las horas de consumo, apegándonos al consumo más real posible sin dejar de tener en cuenta el uso de cada aparato o punto de luz para satisfacer las necesidades totales de los que laboran y viven en el CES.

Elementos instalados:

- 8 puntos de luz de alumbrado para bombillos de 15w que van a permanecer encendidas en un promedio diario de 10h.
- 14 puntos de luz de alumbrado para lámparas fluorescentes de 40w que van permanecerán encendidas en un promedio diario de 5h.
- 1 Televisor de LG de 60w funcionando 6h al día.
- 1 Batidora de 350w funcionando 30min al día.
- 1 Olla arrocera de 500w funcionando 1h al día.
- 1 Olla reina de 800w funcionando 1.30h al día.

- 1 Juguera de 30w funcionando 30 min al día.
- 1 Refrigeradora LG de 180w funcionando 16h al día.
- 2 Ventiladores de pie de 60w funcionando 8h al día.
- 1 Ventilador de techo de 120w funcionando 12h al día.
- 2 Computadoras de 300w funcionando.
- 1 Computadora portátil de 140w funcionando.
- 1 Fotocopiadora de 1258w funcionando 1h al día.
- 1 Escáner de 20w funcionando 30min al día.
- 1 Impresora de 150w funcionando 2h al día.
- 1 Turbina de 350w funcionando 1h al día.

En la siguiente tabla se detalla la utilización de cada elemento así como la potencia instalada, el tiempo, la energía y se hace un cálculo total de la demanda de energía en el Centro de Estudió Solar.

El color amarillo en las dos tablas muestra los cambios realizados para obtener una demanda potencial de 16.40kWh.

Tabla 3						
DEMANDA DE ENERGÍA DEL CES						
Local	Equipo	P. Instalada	Tiempo (horas)	Tiempo	Observación	Wh/día
Jardín	5 Bombillos de 15W	75 W	10	10h d	Encender 3	750
Portales	12 Bombillos de 15 W	180 W	10	10h d	Encender 4	1800
Vestíbulo	4 Lámparas de 40 W	160 W	4	6h d	Bomb. Efic.	960
	1 Televisor LG 85 W	85 W	6	6h d	Es de 60 w	510
	1 Ventilador 82 W	82 W		6h d	Solo en	492
Patio Interior	4 Lámparas de 20 W	80 W	4	6h d	Solo en	480
Biblioteca	6 Lámparas de 40 W	240 W	4	4h d	Solo en	960
	1 Ventilador 82 W	82 W	6	8h d	Debe ser de	656
Cocina	1 Lámpara 40 W	40 W	4	4h d	Bomb. Efic.	160
Almacén	1 Lámpara 20 W	20 W	1	2h d	Bomb. Efic.	40
	1 Batidora 350 W	350 W		30 min		175
	1 Olla arrocera 500 W	500 W		1h d	Tratar de usar la red	500
	1 Olla reina 800 W	800 W		1.30h d	Tratar de usar la red	1200
	1 Juguera 30 W	30 W		30 min		15

	1 Refrigeradora LG 350 W	350 W	12	16h d	es de 180w	2880
Baño	1 Lámpara 20 W	20 W	1	2h d		40
Cuarto	1 Lámpara 40 W	40 W		1h d	Bomb. Efic.	40
	1 Refrigeradora 50 W	50 W	12	16h d		800
	1 Ventilador de techo 150 W	150 W	8	12h d	es de 120 w	1440
	1 Bombillo	15 W	4	4h d		60
	1 Ventilador de pie 82 W	82 W	2	2h d	es de 60 w	164
	2 Lámparas de 20 W	40 W	1	1h d		40
	1 Computadora	140 W	4	4h d		560
	1 Plancha	1100 W		30 min	Tratar de usar la red	500
Lab. Computación	2 Computadora 240 W	480 W	5	8h d	es de 300 w	2400
	1 Impresora 240 W	240 W	1	2h d	es de 150 w	480
	2 Lámparas 40 W	80 W	4	4h d	Bomb. Efic.	320
	1 Scanner	20 W		30 min		10
	Fotocopiadora 1258 W	1258 W		1h d	Tratar de usar la red	1250
	1 Ventilador 82 W	82 W		8h d	Solo en	656
Lavadero	1 Lavadora 420 W	420 W		3h sem	Tratar de usar la red	1260
	1 Lámpara 20 W	20 W		1h d		20
Cisterna	Turbina 350 W	350 W		1h d	Tratar de usar la red	350
						21968

Tabla 4	DEMANDA POTENCIAL DE ENERGIA DEL CES MODIFICADA					
Local	Equipo	P. Instalada	Tiempo (horas)	Tiempo	Observación	Wh/día
Jardín	3 Bombillos de 15 W	75 W	10	10h d	Encender 3	450
Portales	4 Bombillos de 15 W	180 W	10	10h d	Encender 4	600
Vestíbulo	2 Lámparas de 40 W	80 W	4	6h d	Bomb. Efic.	480
	1 Televisor LG 85 W	85 W	6	6h d	Es de 60 w	360
	1 Ventilador 82 W	82 W		6h d	Solo en	492
Patio Interior	4 Lámparas de 20 W	80 W	4	6h d	Solo en	480
Biblioteca	4 Lámparas de 40 W	160 W	4	4h d	Solo en	640
	1 Ventilador 82 W	82 W	6	8h d	Debe ser de	656
Cocina	1 Lámpara 40 W	40 W	4	4h d	Bomb. Efic.	160
Almacén	1 Lámpara 20 W	20 W	1	2h d	Bomb. Efic.	40
	1 Batidora 350 W	350 W		30 min		175

	1 Olla arrocera 500 W	500 W		1h d	Tratar de usar la red	500
	1 Olla reina 800 W	800 W		1.30h d	Tratar de usar la red	1200
	1 Juguera 30 W	30 W		30 min		15
	1 Refrigeradora LG 350 W	350 W	12	16h d	es de 180w	2880
Baño	1 Lámpara 20 W	20 W	1	2h d		40
Cuarto	1 Lámpara 40 W	40 W		1h d	Bomb. Efic.	40
	1 Refrigeradora 50 W	50 W	12	16h d		
	1 Ventilador de techo 150W	150 W	8	12h d	es de 120 w	1440
	1 Bombillo	15 W	4	4h d		60
	1 Ventilador de pie 82 W	82 W	2	2h d	es de 60 w	120
	2 Lámparas de 20 W	40 W	1	1h d		40
	1 Computadora	140 W	4	4h d		560
	1 Plancha	1100 W		3o min	Tratar de usar la red	500
Lab. Computación	2 Computadora 240 W	480 W	5	4h d	es de 300 w	1200
	1 Impresora 240 W	240 W	1	2h d	es de 150 w	480
	2 Lámparas 40 W	80 W	4	4h d	Bomb. Efic.	320
	1 Scanner	20 W		30 min		10
	Fotocopiadora 1258 W	1258 W		1h d	Tratar de usar la red	1250
	1 Ventilador 82 W	82 W		8h d	Solo en	656
Lavadero	1 Lavadora 420 W	420 W		0.47h d	Tratar de usar la red	180
	1 Lámpara 20 W	20 W		1h d		20
Cisterna	Turbina 350 W	350 W		1h d	Tratar de usar la red	350
TOTAL						16394

3.2 ANÁLISIS DE LA ENERGÍA SUMINISTRADA POR EL SISTEMA CONECTADO A RED.

El sistema esta abasteciendo el consumo de energía del CES, pues en el tiempo de funcionamiento, generó 3202.0 kWh y el Centro consumió, en ese mismo período, 3178.5 kWh. Se manejará un suministro promedio mensual de 291kWh resultado de dividir la energía total suministrada por el sistema entre el numero de meses que perduro el registro. Partiendo de la potencia instalada de 2,4 kW y considerando un promedio de 5 Horas de Sol Pico (HSP) el sistema debía generar una energía media mensual de 360 kWh de acuerdo con la información registrada en la tarjeta el valor máximo mensual correspondiente al mes de marzo fue de 340 kWh, el valor medio de 291kWh y el mínimo de 232kWh correspondiente al mes de noviembre.

Satisfacción de la demanda energética de la casa

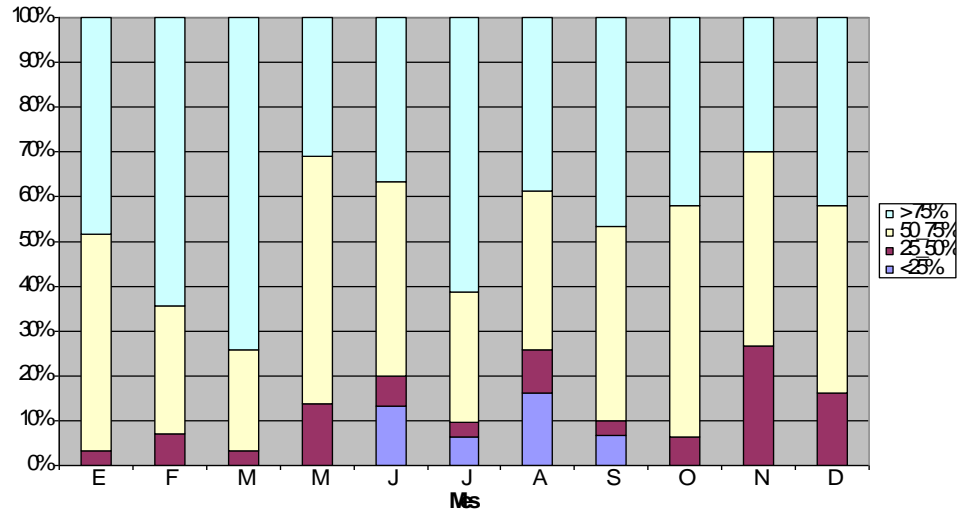


Grafico de barras de la demanda de energía del CES.

En la figura 1 se muestra la generación de energía de todos los meses del año, para efecto de nuestro estudio se interpretara dos meses del año (Marzo y Noviembre) donde se tiene los valores más altos y bajos de la generación de energía del año respectivamente.

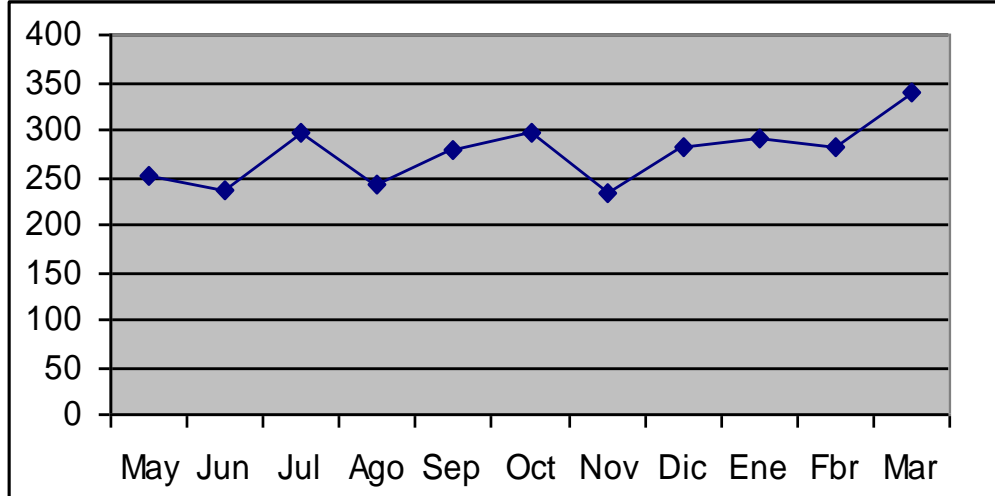


Fig. 1 Generación de energía por meses durante un año en (kWh).

3.2.1 ANÁLISIS EN EL MES DE NOVIEMBRE VALOR DE GENERACIÓN MÁS BAJO.

El punto más bajo de generación de energía se muestran en el mes de Noviembre, en aquel mes hubo mayor cantidad de días que se genero entre los rango de 0 a 4kWh que significa una energía menor o igual al 25%

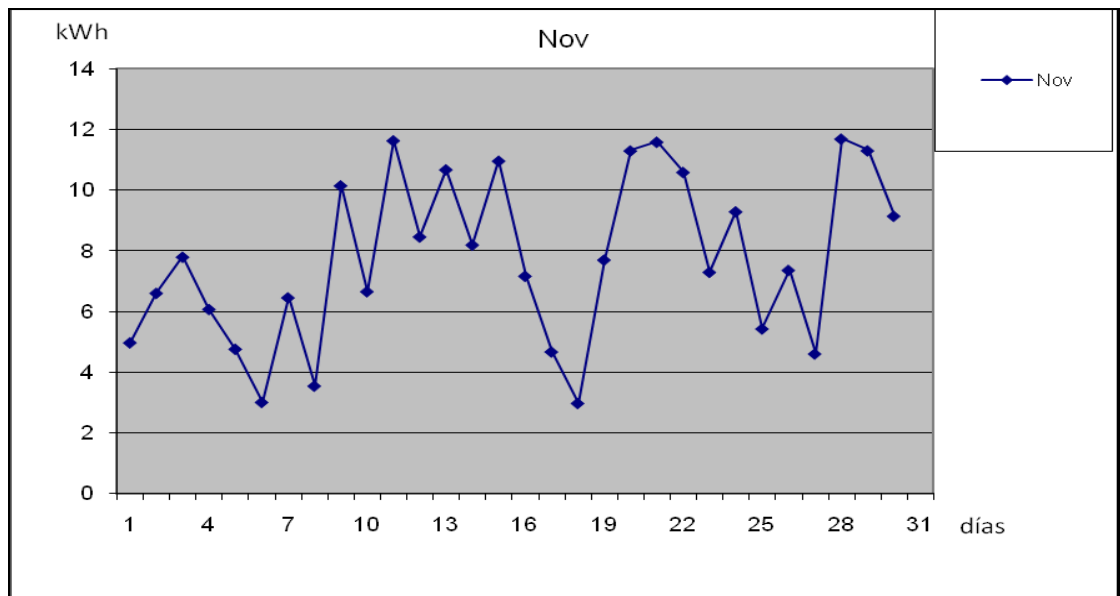


Fig 2. Generación eléctrica mes de noviembre.

Como se muestra en la fig. 3 la tabla de valores de generación de potencia, en un día son muy inestables o variados los valores ascienden y descienden en el transcurso del día esto se debe a la nubosidad del clima.

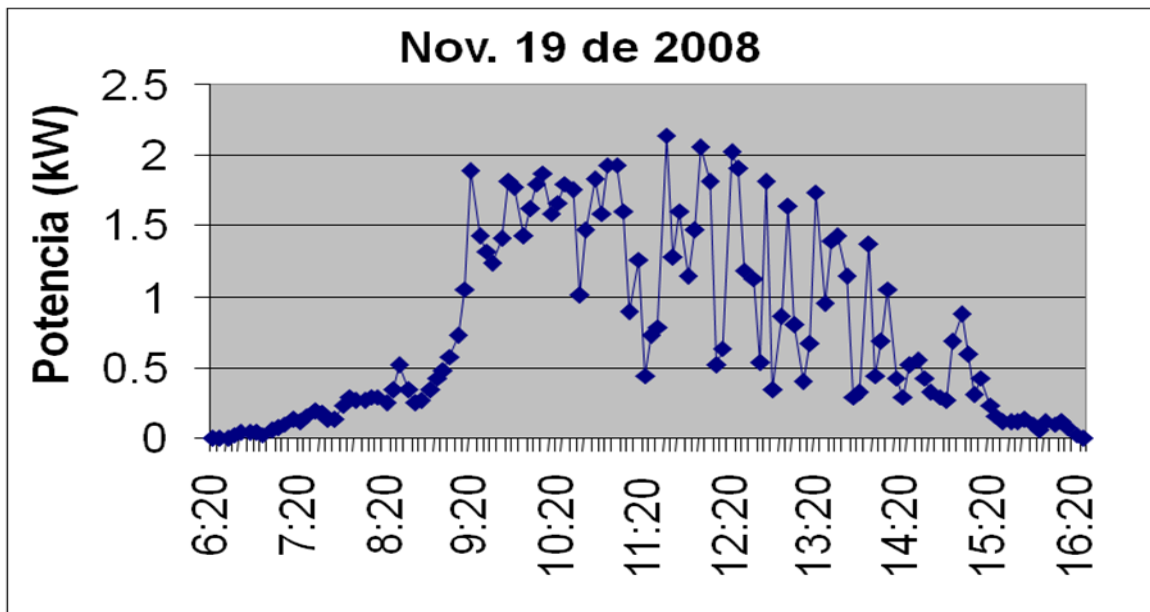


Fig 3. Generación potencia mes de noviembre.

3.2.2 ANÁLISIS EN EL MES DE MARZO VALOR DE GENERACIÓN MÁS ALTO.

En el grafico de la Fig. 1 y 4 se muestra la Generación de Energía del mes de marzo en este mes se encuentra los valores más altos de generación de energía que se mantuvieron en un rango de 12kWh a 16kWh dando un porcentaje de mayor o igual al 75% de generación de energía en la mayoría de días del mes.

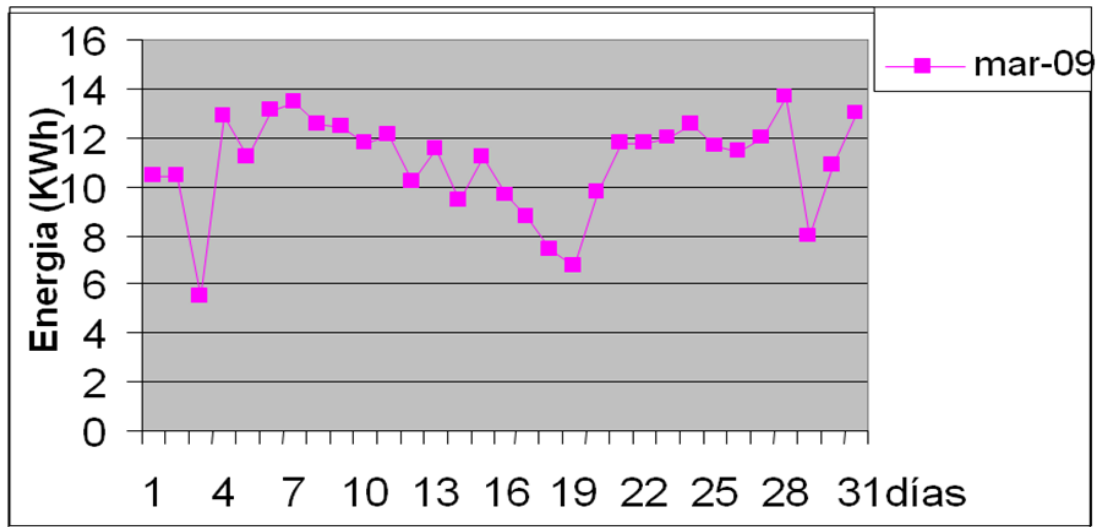


Fig. 4 Energía generada en el mes de marzo.

En la grafica de la fig. 5 se observa que la generación de los paneles solares en las horas de 10am a 1pm tienen valores altos de 1,8 kW a 2.2 kW y podemos decir que casi se genero al máximo de la capacidad de instalación del sistema que es de 2,4 kW

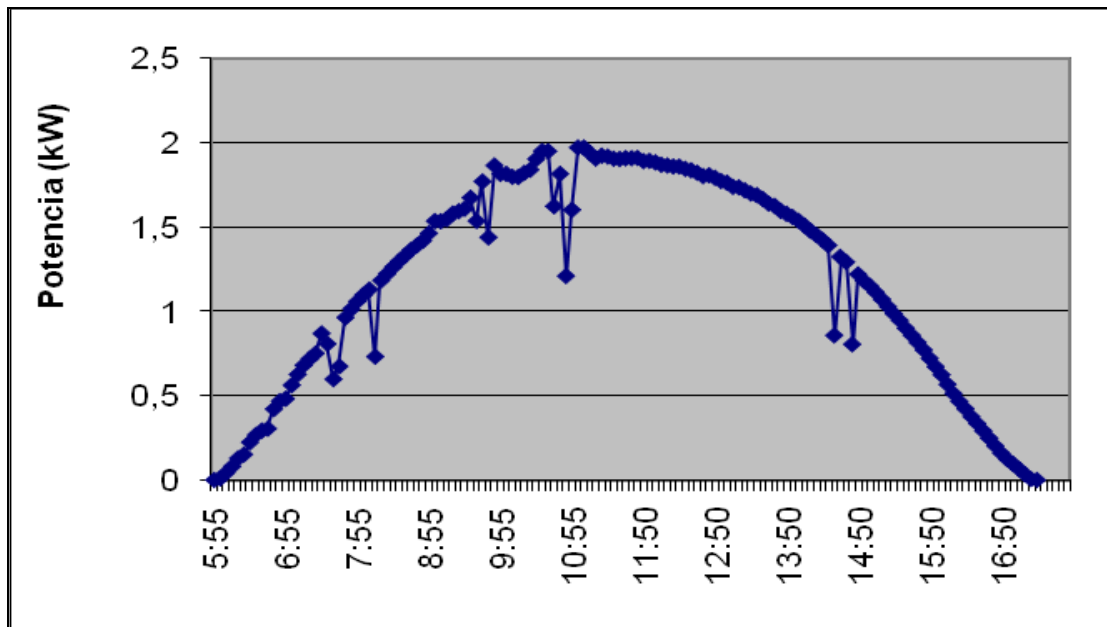


Fig.5 Generación de potencia en el mes de marzo.

3.2.3 CHEQUEO DEL SISTEMA INSTALADO CONECTADO A RED.

Con la información recopilada en la memoria, de abril de 2008 a marzo de 2009, y su elaboración, se concluyó que:

- La generación de electricidad promedio es de 9,2 kWh. /día, con días máximos de hasta 13,61 kWh. /día.

- En los meses de agosto y septiembre hubo varios días sin generación a causa de los huracanes que amenazaron la zona, y obligo a desmontar los paneles y otros días que suponemos ocurrieron por fallas en la red.
- La generación en general está muy afectada por la nubosidad durante las tardes, es decir, a partir de las 12:00 horas la generación es muy intermitente.
- El promedio de horas de sol pico (HSP) en ese lugar es aproximadamente cinco.
- Los meses de más baja producción de energía fueron: junio, agosto y noviembre, este último con 232,17kWh.
- Los meses de más alta producción de energía fueron: julio, octubre, enero y marzo, este último con 340,00 kWh.
- El día de mayor producción de energía fue el 28 de marzo de 2009 con 13,61 kWh.
- La información almacenada en la memoria y su procesamiento nos permite analizar el comportamiento del sistema.
- El sistema se está comportando según lo previsto en los cálculos preliminares con que fue diseñado, además de proporcionarnos una valiosa información.
- El sistema esta abasteciendo el consumo de energía del Centro Solar, pues en el tiempo de funcionamiento, generó 3202.0 kWh. y el Centro consumió, en ese mismo período, 3178.5 kWh., con lo que se cumple uno de los objetivos de la instalación.

3.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA AUTÓNOMO PARA EL BOMBEO DE AGUA.

La instalación del sistema fotovoltaico para bombeo de agua fue en abril de 2007 en el municipio de Bartolomé Masó específicamente en el lugar Villa Ecuador.

Las características y el comportamiento del sistema, durante un período de funcionamiento de 400 días se detallan a continuación.

- Volumen de agua bombeada, m³ 7453,6
- Capacidad de almacenamiento, m³ 30
- Problemas presentados ninguno.

El sistema instalado en la Villa del Educador (que incluye el Centro de Estudio Solar y la piscina) garantizó completamente el abasto de agua, ya que el gasto máximo (1,0 L/s) del sistema fotovoltaico de bombeo de agua (con 10 paneles de 100 W cada

uno), se corresponde con el gasto certificado del pozo (1,17 L/s) y con la capacidad de almacenamiento de agua en los tanques y la piscina (30,0 m³)

3.4 ASPECTOS ECONÓMICOS

El costo de una instalación de este tipo de sistemas, depende de la potencia máxima del controlador elegido, la capacidad y tipo del banco de baterías, la ubicación del emplazamiento, y algunas otras variables, como el tipo de operación.

El costo de un sistema con operación automática y de bajo mantenimiento, se duplica en relación a un sistema con operación manual.

3.5 COSTOS DE LOS SISTEMAS.

Los sistemas autónomos y conectados a red estudiados en el CES requieren de una importante inversión inicial, pero el mantenimiento de dichos sistemas sus costos son sumamente bajos.

El análisis de todos los aspectos económicos relativos a estos sistemas es complejo. De hecho, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Cada aplicación tiene que ser contemplada en su contexto particular, evaluando condiciones locales como, por ejemplo, la normativa, la radiación solar, el espacio disponible, etc.

Para realizar una comparación correcta es necesario hablar de valor de la energía producida y no del costo de la energía. Esto es así porque la calidad de la energía producida por una fuente renovable no es la misma que la de las fuentes tradicionales (por el impacto ambiental, la intermitencia de la fuente primaria de energía, etc.).

La vida útil de un generador fotovoltaico es de aproximadamente de 20 a 25 años.

3.6 PRECIOS DE LOS COMPONENTES

En las siguientes tablas se puede observar la descripción detallada de los elementos de cada uno de los sistemas estudiados con sus respectivos precios, con lo cual se puede observar y tener una idea de la inversión que se realizó.

3.6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE INSTALACION DEL SISTEMA AUTÓNOMO PARA BOMBEO DE AGUA.

Tabla 5. Equipos instalados.	
Módulos 100 Wp	10
Estructura, 10 módulos	1
Bomba sumergible	1
Control (opcional)	1
Kit eléctrico	1
Kit hidráulico	1

Un análisis de interés es el del costo de bombeo, en un ciclo de vida de veinte años. Se analiza este período por ser el tiempo de garantía de los módulos solares fotovoltaicos y el componente de mayor costo en el sistema.

Para realizar el cálculo en el ciclo de vida se ha considerado que se efectúa un cambio de la bomba sumergible y de la unidad de control, al menos una vez en este período.

Se han considerado, también en este período, los gastos mínimos para el mantenimiento especializado y los kit de instalación. Los detalles de los costos se muestran en la tabla 6.

Descripción	CI	CCV
Módulos FV	1920	1920
Estructuras	77,88	77,88
Bomba sumergible	1702,86	3404,12
Unidad de Control (opcional)	312,84	625,69
Kit eléctrico	260,28	360,28
Kit hidráulico	210,03	410,03
Inst./mant	150	287
TOTAL (USD)	4633,09	7085

A partir de conocer los costos en el ciclo de vida, es posible comparar este sistema con otras fuentes de energía.

Para tener una idea, el costo aproximado de extender la red eléctrica un kilómetro oscila entre \$10 000,00 a \$12 000,00 USD. Esto quiere decir que un sistema fotovoltaico de bombeo de este tipo es competitivo contra la extensión de la red eléctrica para distancias mayores de 0,6 km.

A partir de estos costos es posible determinar el costo del m³ de agua en el ciclo de vida:

$$\frac{\text{USD}}{\text{m}^3} = \frac{7085,00 \text{ USD}}{15 \text{ m}^3 \cdot 365 \text{ días} \cdot 20 \text{ años}} = 0,064$$

Esto significa que en el transcurso de veinte años, por cada m³ (1 000 L) consumido se pagó aproximadamente 6,3 centavos dólar.

3.6.2 ANÁLISIS DE COSTO DEL SISTEMA DE CONEXIÓN A RED 2.4 KWP CASA SOLAR, B. MASO

COSTO DE LA OFERTA (PRIMERA ETAPA)

No.	Descripción	U/M	Cant..	P _U (CUC)	P _T (CUC)
1	Módulo FV 100Wp/12Vdc	U	24	463.73	11,129.52
2	Inversor CR SB2500	U	1	2,538.61	2,538.61
3	Estructura P/5 módulos 100Wp	U	5	70.00	350.00
4	Sunny WebBox	U	1	1,122.38	1,122.38
5	Metro Contador 220Vac/60Hz	U	1	44.66	44.66
6	Kit de cables y accesorios de montaje	U	1	523.00	523.00
7	Instalación y montaje	U	1	450.00	450.00
TOTAL (CUC)					16,158.17
TOTAL (MN)					4,791.24
Costo del Wp Instalado (CUC)					6.65
Energía Generada (kWh/año)					3832.00

CONCLUSIONES.

1.- La explotación de los sistemas fotovoltaicos conectado a red y autónomo para el bombeo de agua en el CES pueden considerarse satisfactorias, ya que satisfacen la demanda de energía eléctrica de acuerdo con el objetivo con que proyectaron, especificándose que, en el caso del sistema conectado a red, se puede apreciar que la administración del CES ajustó el consumo para mantenerse ligeramente por debajo de la generación de sistema, pero aun distante de la demanda de 16 kWh diaria que se reconoce en este estudio. Por su parte, el bombeo de agua sí satisficó las necesidades reales, en este caso importantes, ya que se incluye la piscina de la Villa del Educador, que es un destino de volumen considerable.

2.- Desde el punto de vista económico, los datos a que se tuvo acceso sólo permitieron valorar el costo de los sistemas instalados, que en este caso fueron financiados por proyecto. Se concluye entonces que no hay información suficiente para evaluar la relación beneficio/costo, u otro indicador económico que permita analizar la rentabilidad de estos sistemas.

RECOMENDACIONES

1.- Se recomienda repetir este estudio en un período posterior para confirmar o no las tendencias reflejadas en este trabajo, y prever desde inicio la adquisición de datos que permitan analizar mejor desde el punto de vista económico la viabilidad de estos sistemas.

2.- Con respecto al sistema a las protecciones (fusibles e interruptores), que protegen a los dos sistemas fotovoltaicos, como también a la bomba de agua se recomienda realizar su respectivo mantenimiento ya que se encuentran en mal estado y como norma fundamental en cualquier instalación eléctrica sea esta pequeña o grande las protecciones deben estar ante todo en perfectas condiciones para proteger todos los elementos que intervienen en la instalación y para salvaguardar la integridad física del o de las personas que manipulen estas instalaciones.

3.- Se recomienda poner un sistema de señalización en todas las aéreas que involucran los sistemas fotovoltaicos y demás sistemas que generen energía eléctrica para prevenir cualquier clase de accidente dentro de las instalaciones del Centro de Estudio Solar.

4.- Un recomendación importante es la de implantar una cultura energética por medio de estrategias, programas y proyectos que promocionen, prioricen, fortalezcan y afiancen el uso de las fuentes renovables de energía para su aprovechamiento racional y útil para el ahorro energético y respeto al medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA.

1. Energía y tú. Revista de divulgación científica-popular de Cuba Solar, fundada en 1997, trimestral. ISSN 1028-99-25.
2. Ahorro de energía. La esperanza del futuro. La Habana: Editora política, 2001. 132 pp. ISBN 959-01-0445-x.
3. Hacia la cultura solar. La Habana: Ed. Cuba Solar, 2006. 176 pp. ISBN 959-7113-30-9.

4. Echeverría Yáñez, Mario Enrique Tesis: Utilización de los sistemas fotovoltaicos para campamentos alejados de la red pública 1999
5. Tesis Politécnica Nacional del Ecuador Estudio de sistemas híbridos (eólico-solar) de energía para iluminación y bombeo en la escuela y viviendas de la comunidad Pitiur del oriente ecuatoriano.
6. Revista científico-popular trimestral de Cuba Solar #27.
7. Revista científico-popular trimestral de Cuba Solar #46.
8. ASIF: Tomás Díaz. Tel.: 915 900 300. comunicacion@asif.org / www.asif.org
9. APPA: Marcelino Muñoz. Tel.: 638 026 863. marcelino@appa.es / www.appa.es.
10. Potencial energético renovable en Honduras contemplado en el proyecto SWERA. Octubre 2008, Marco Antonio Flores Barahona. Coordinador Nacional Proyecto SWERA. Sección de Energía. Escuela de Física. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma De Honduras. "Semblanza de Energías Renovables". <http://www.conae.gob.mx>, 2002.
11. "Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica". <http://www.epsea.org/esp>, 2002.
12. "Energía fotovoltaica en la educación a distancia, guía técnica agosto 2001". [Http://www.re.sandia.gov](http://www.re.sandia.gov), 2001
13. La Energía Solar. Ing. Antonio Murray. Secretaria de Salubridad y Asistencia. México 1974. Uso directo de la Energía Solar. Farrington D.Ed. H. Blume. España 1978
14. Energía Solar: Selección del Equipo, Instalación y Aprovechamiento. Montgomery R.H. bEd. Limusa México 1992 Perspectiva del Sector Eléctrico en México 98-06. Secretaria de Energía. www.conae.gob.mx.
15. Consumo mundial de energía www.olade.org.ec (2001).
16. Asociación argentina de energías renovables y ambientes (ASADES), www.asades.org.ar.
17. System solaires #155 Barometre du solaire thermique. EurObserver, www.europa.eu.int (2003).

18. Systema solaires #154 Barometre du solaire thermique. EurObserver, www.europa.eu.int (2003).
19. S. Galli y M. Stefanoni, International journal of Hydrogen Energy 22, 453 (1997).
20. P.C. Gosh et al., Solar Energy 75, 426 (2003).
21. P.D. Maycock Renewable Energy world, Vol. 4 #s 4, 144 (2001).
22. Proyecto en Energías Renovables en mercados Rurales (PERMER)
23. C. G. Bolzi et al. Avances en energías Renovables y Medio Ambiente, 04. 07 (2003).
24. Grupo de Energía Solar Departamento de Física Centro Atómico. Comisión Nacional de Energía Atómica, Julio Duran, Elena Godfrin boletín energético #16.
25. Dr. Inti Zumeta Dubé. Laboratorio de Semiconductores y Celdas Solares. Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales. Universidad de La Habana Diseño de paneles fotovoltaicos. Diplomado en Energía Solar Fotovoltaica.
26. Práctica #1: Medición de la radiación solar. MC Javier Martínez
27. MC Bernardo González. Laboratorio de Celdas Solares y Semiconductores, IMRE-UH
28. LA TRAYECTORIA SOLAR Bruno Henríquez CUBAENERGÍA. bruno@cubaenergia.cu. National Renewable Energy Laboratory.
29. Paley Commission, Resources for Freedom, vol. IV, The Promise of Technology: The Possibilities of Solar Energy, Washington, D.C.: 1952;
30. Tyner, Craig E., Gregory J. Kolb, Michael Geyer and Manuel Romero: "Concentrating Solar Power in 2001," in An IEA/SolarPaces Summary of Present Status and Future Prospects, January 2001;
31. Perlin, John, From Space to Earth: The Story of Solar Electricity, Ann Arbor: AATEC Publications, 1999;
32. Van Campen, Bart, Daniele Guidi and Gustavo Best, Solar Photovoltaics for Sustainable Agriculture and Rural Development, Rome: FAO, 2000;
33. Photovoltaic-Reliability R&D Toward a Solar-Powered World

34. Preprint .S. Kurtz. National Renewable Energy Laboratory
35. To be presented at the Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE) Solar Energy + Technology Conference.
36. Smokler, M. I., et al., "The Block program approach to photovoltaic module development," Proc. 18th IEEE PVSC, 1150-1158 (1985). <http://webstore.iec.ch/>.
37. Osterwald, C. R. and McMahon, T. J., "History of accelerated and qualification testing of terrestrial photovoltaic modules: a literature review," Prog. Photovolt: Res. Appl. 17, 11-33 (2009).
38. Lathrop, J. W., et al., "An accelerated stress testing program for determining the reliability sensitivity of silicon solar cells to encapsulation and metallization systems," 16th IEEE PVSC, 1262-1267 (1982).
39. Manuel V-zquez and Ignacio Rey-Stolle, "Photovoltaic module reliability model based on field degradation studies," Progress in Photovoltaics: Research and Applications 16(5), 419-433 (2008).
40. Moore, L. M. and Post, H. N., "Five years of operating experience at a large, utility-scale photovoltaic generating plant," Progress in Photovoltaics: Research and Applications 16(3), 249-259 (2008).
41. Collins, E., et al., "Reliability and availability analysis of a fielded photovoltaic system," 34th IEEE PVSC, (2009).
42. Mundt, M., et al, "Reliability and availability analysis of a fielded photovoltaic system," 2009 Applied Reliability Symp., San Diego, CA, June 2009.
43. King, D. L., et al., "Photovoltaic module performance and durability following long-term field exposure," Progress in Photovoltaics: Research Applications 8, pp. 241-256 (2000).
44. Otth, D. H. and Ross, R. G., "Assessing photovoltaic module degradation and lifetime from long-term environmental tests," Proceedings of the 30th Institute of Environmental Sciences Technical Meeting, 121-126 (1984).
45. Heske, C., et al., "Influence of humidity on polycrystalline Cu(In,Ga)Se₂ thin films for solar cells: a study of Na and H₂O coadsorption," Proc. 25th IEEE PVSC, 861-864 (1996).

46. Otth, D. H. and Ross, R. G., "Assessing photovoltaic module degradation and lifetime from long-term environmental tests," Proc. of the 29th Institute of Environmental Sciences Technical Meeting, 121-126 (1983).
47. Solar energy: A new day dawning? retrieved 7 August 2008.
48. John Perlin, "From Space to Earth: The Story of Solar Electricity", Harvard University Press, 2002, pg. 50, 53, 54.
49. N. Gupta, G. F. Alapatt, R. Podila, R. Singh, K.F. Poole, (2009). "Prospects of Nanostructure-Based Solar Cells for Manufacturing Future Generations of Photovoltaic Modules". International Journal of Photoenergy 2009: 1. doi:[10.1155/2009/154059](https://doi.org/10.1155/2009/154059).
50. Swanson, R. M. (2000). "The Promise of Concentrators". Progress in Photovoltaics: Res. Appl. 8 (1): 93–111. doi:[10.1002/\(SICI\)1099-159X\(200001/02\)8:1<93::AID-PIP303>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-159X(200001/02)8:1<93::AID-PIP303>3.0.CO;2-S).
51. Mayer, A et al. (2007). "Polymer-based solar cells". Materials Today 10 (11): 28. doi:[10.1016/S1369-7021\(07\)70276-6](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(07)70276-6).
52. Collins, R (2003). "Evolution of microstructure and phase in amorphous, protocrystalline, and microcrystalline silicon studied by real time spectroscopic ellipsometry". Solar Energy Materials and Solar Cells 78 (1-4): 143. doi:[10.1016/S0927-0248\(02\)00436-1](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(02)00436-1).
53. J. M. Pearce, N. Podraza, R. W. Collins, M.M. Al-Jassim, K.M. Jones, J. Deng, and C. R. Wronski (2007). "Optimization of Open-Circuit Voltage in Amorphous Silicon Solar Cells with Mixed Phase (Amorphous + Nanocrystalline) p-Type Contacts of Low Nanocrystalline Content". Journal of Applied Physics 101: 114301.
54. Cheyney, Tom (2010). "Report: Intel spinoff SpectraWatt to lay off workers, shut down solar cell operations". PV-Tech. http://www.pv-tech.org/news/report_intel_spinoff_spectrawatt_to_lay_off_workers_shut_down_operations. Retrieved February 15, 2011.
55. U.S. DOE, Energy Information Administration (EIA) (2009) Annual Energy Review 2008
56. Goswami, Y. (2007) "Energy: The Burning Issue." Refocus, Vol 8 (3) 22-25.
57. EIA (2010) International Energy Statistics Tables.

58. National Renewable Energy Lab (NREL) (2004) "Solar Maps."
59. NREL (2004) PV FAQs - How much land will PV need to supply our electricity?
<http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/35097.pdf>
60. EERE (2009) Solar Energy Technology Program "So you want to put PV on your roof..."
61. Scientific American (2007) "A Solar Grand Plan."
62. Deb, S. K. (2000) Recent developments in high-efficiency PV cells. NREL/CP-590-28060.
63. NREL (2007) Manufacturers' spec-sheet ratings compilation.
64. NREL (2007) "Building Integrated Photovoltaics."
http://www.nrel.gov/pv/building_integrated_pv.html
65. Photo is of SunPower's SunTile product,
<http://www.sunpowercorp.com/homebuilders/suntile.html>
66. Mousazadeh et al. (2009) A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. Renewable and Sustainable Energy Reviews. DOI.
67. International Energy Agency (2009) National Survey Report of PV Power Applications in the US 2008
68. International Energy Agency (2009) "Trends in Photovoltaic Applications, A Survey Report of Selected IEA Countries from 1992-2008
69. International Energy Agency (2009) Photovoltaic Power Systems Programme "Annual Report 2008"
70. Nemet, G.F. (2006) "Beyond the Learning Curve: factors influencing cost reductions in photovoltaics," Energy Policy 34 (2006) 3218–3232.
71. <http://www.solarbuzz.com/SolarPrices.htm>. Prices are calculated by dividing life cycle expenditures on the system by total energy produced and do not include possible savings from government incentives.
72. EIA (2009) Short-Term Energy Outlook June 2009.
73. Renewable Energy Focus (2008) "Silicon prices to drop 43% in 2009." 9 (6). 17.

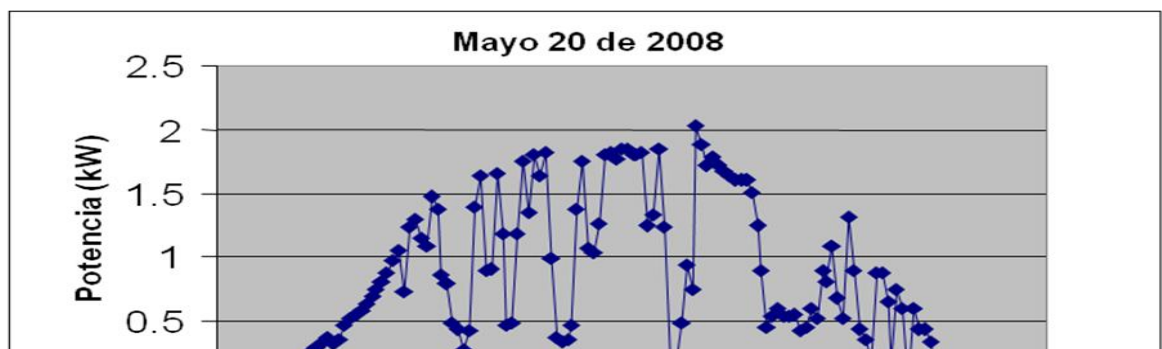
74. Pacca, S.A., D. Sivaraman and G.A. Keoleian (2007) "Parameters affecting life cycle performance of PV technologies and systems." *Energy Policy* (35) 3316 – 3326.
75. Muller, A., K. Wambach and E. Alsema (2006) "Life cycle analysis of solar module recycling process." *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* Volume 895.
76. Fthenakis, V. and H.C. Kim (2006) "Cd-Te Photovoltaics: Life cycle environmental profile and comparisons." *Thin Solid Films*, Volume 515, Issue 15, 5961-5963.
77. Torcellini, P., N. Long and R. Judkoff (2003) *Consumptive water use for U.S. power production.* NREL/TP-550-33905.
78. *Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) (2007) "Green Pricing: Utility Programs by State."*
79. EERE (2009) *Renewable Energy Certificates (RECs) - Retail Products Considerations for How to Rate CPV*
80. Sarah Kurtz, Matthew Muller, Bill Marion, and Keith Emery. National Renewable Energy Laboratory. Robert McConnell. Amonix, Inc.
81. Sandheep Surendran. Surya Design. Adrienne Kimber. First Solar, Inc. Presented at the 6th International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems (CPV 6) Freiburg, Germany April 7-9, 2010
82. NREL is a national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC. Conference Paper
83. NREL/CP-5200-47127 February 2011. Contract No. DE-AC36-08GO28308.
84. Peharz G and Dimroth F, "Energy Payback Time of the High-concentration PV System FLATCON," *Prog. Photovolt.* 13, 627-734 (2005).
85. King RR, Boca A, Hong W, Liu X-Q, Bhusari D, Larrabee D, Edmondson KM, Law DC, Fetzer CM, Mesropian S, and Karam NH, "Band-gap-engineered architectures for high-efficiency multijunction concentrator solar cells," 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 2009.
86. Geisz JF, Kurtz SR, Wanlass MW, Ward JS, Duda A, Friedman DJ, Olson JM, McMahon WE, Moriarty TE, Kiehl JT, Romero MJ, Norman AG, and Jones KM,

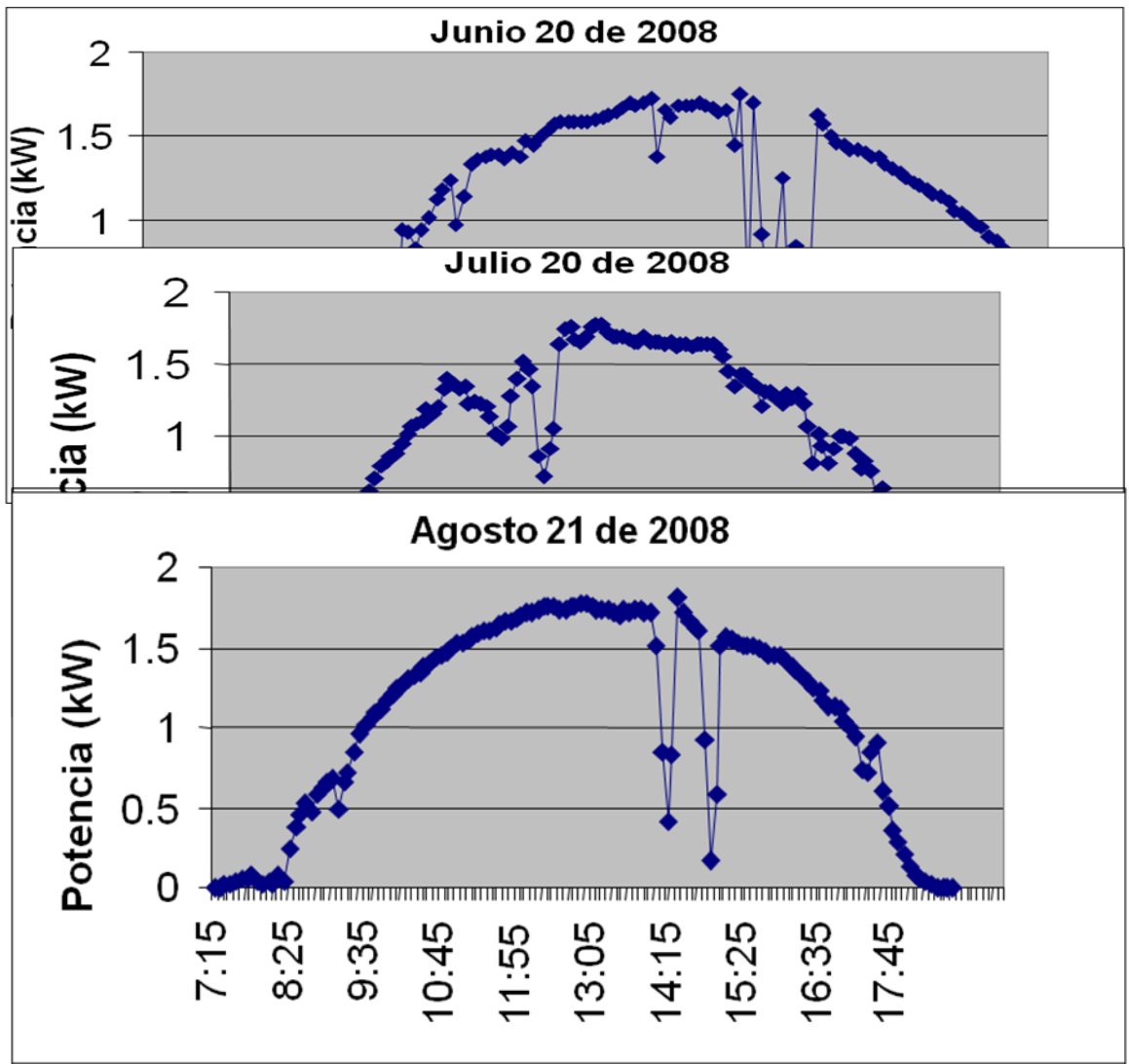
- "Inverted GaInP/(In)GaAs/InGaAs triple-junction solar cells with low-stress metamorphic bottom junctions," Proceedings of the 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, San Diego, CA, 2008 (IEEE).
87. King RR, Law DC, Edmondson KM, Fetzer CM, Kinsey GS, Yoon H, Sherif RA, and Karam NH, "40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells," Appl. Phys. Lett. 90, 183516 (2007).
88. Olson JM, Friedman DJ, and Kurtz S, in Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, edited by A. Luque and S. Hegedus (John Wiley and Sons, West Sussex, England, 2003), p. 359-412.
89. Bosi M and Pelosi C, "The Potential of III-V Semiconductors as Terrestrial Photovoltaic Devices," Progress in Photovoltaics 15, 51-68 (2007).
90. Luque A, Sala G, and Luque-Heredia I, "Photovoltaic Concentration at the Onset of its Commercial Deployment," Progress in Photovoltaics 14, 413-428 (2006).
91. Swanson RM, "The Promise of Concentrators," Prog. Photovolt. Res. Appl. 8, 93-111 (2000).
92. Hering G, "X marks the spot," PHOTON International April, 123 (2007).
93. Baur C, AW B, and F D, "Triple-junction III-V based concentrator solar cells: Perspectives and challenges," Journal of Solar Energy Engineering 129, 258-265 (2007).
94. Hering G, "Vertically integrated at 520 suns," PHOTON International March, 86-87 (2008).
95. Concentrator Photovoltaics, edited by A. Luque and V. Andreev (Springer Series, 2007).
96. INVENTORY OF SOLAR RADIATION/SOLAR ENERGY SYSTEMS ESTIMATORS, MODELS, SITE-SPECIFIC DATA, AND PUBLICATIONS
Assembled by Daryl Myers (daryl.myers@nrel.gov; 303-384-6768)
Electricity, Resources, and Buildings Systems Integration Center
National Renewable Energy Laboratory 8 July 2009
97. El camino de Sol, Enrico Turrini, Editorial Cuba Solar 2006.
98. European Renewable Energy Council (EREC) Renewable Energy Scenario 2040.2004

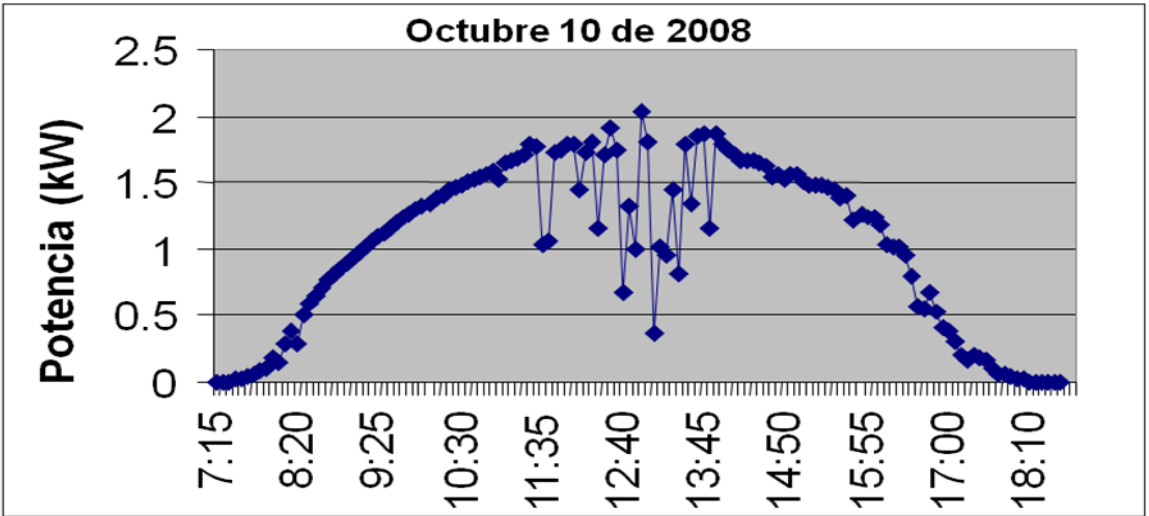
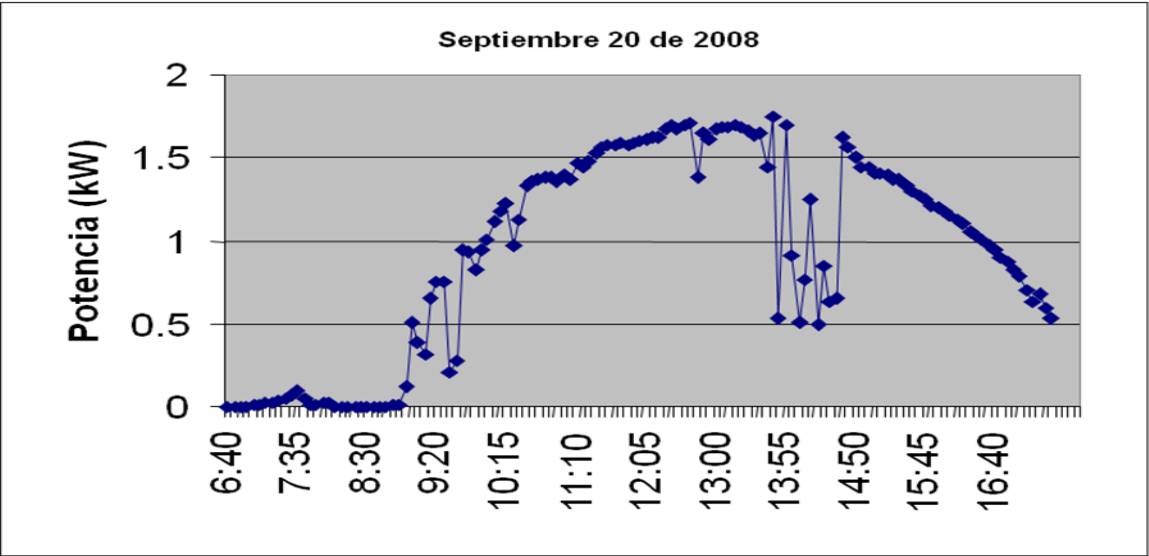
99. Fotovoltaic Solar Energy Conference Boston-London: Proceedings of the International conference, Firenze 9/13, mayo 1988, Ed. Kluwer Academic Publisher, 1988.
100. Solar Photovoltaic report 2005. segunda edición. Londres: ABS Energy Research, 2005. www.absenergyresearch.com.
101. Solar Electricity. Inglaterra: publicado por John Wiley & Sons Ltd. (Copyright UNESCO), s/a.
102. Comisión Nacional de Energía. Programa de desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía. La Habana: junio, 1993. 8 o pp.
103. Camino hacia la era solar. Material didáctico sobre las razones y posibilidades para el aprovechamiento de Energía Renovable. La Habana: Ed. Científico-Técnica, 1998. 88 pp. ISBN 959-01-0509-2.

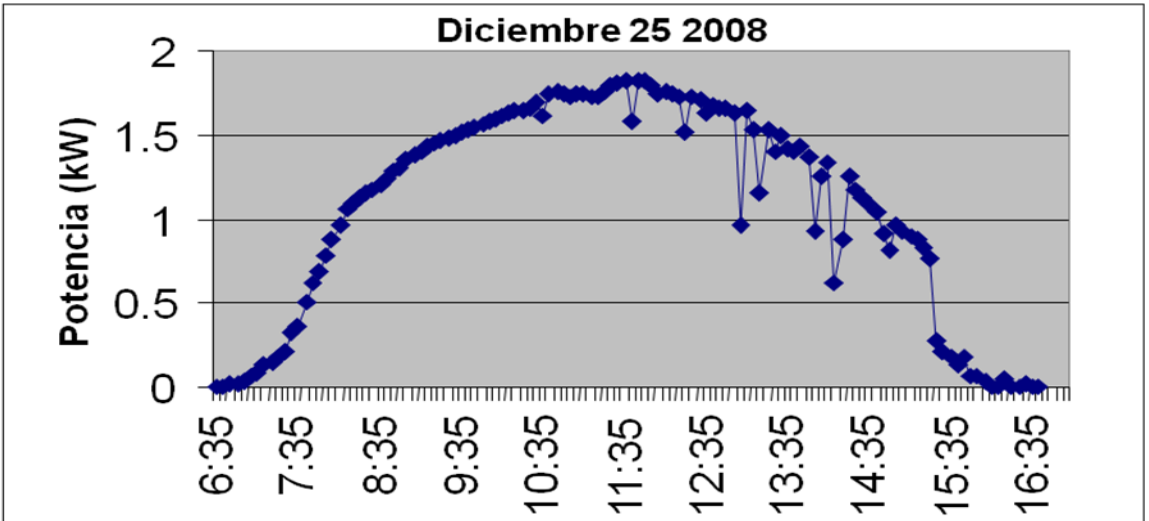
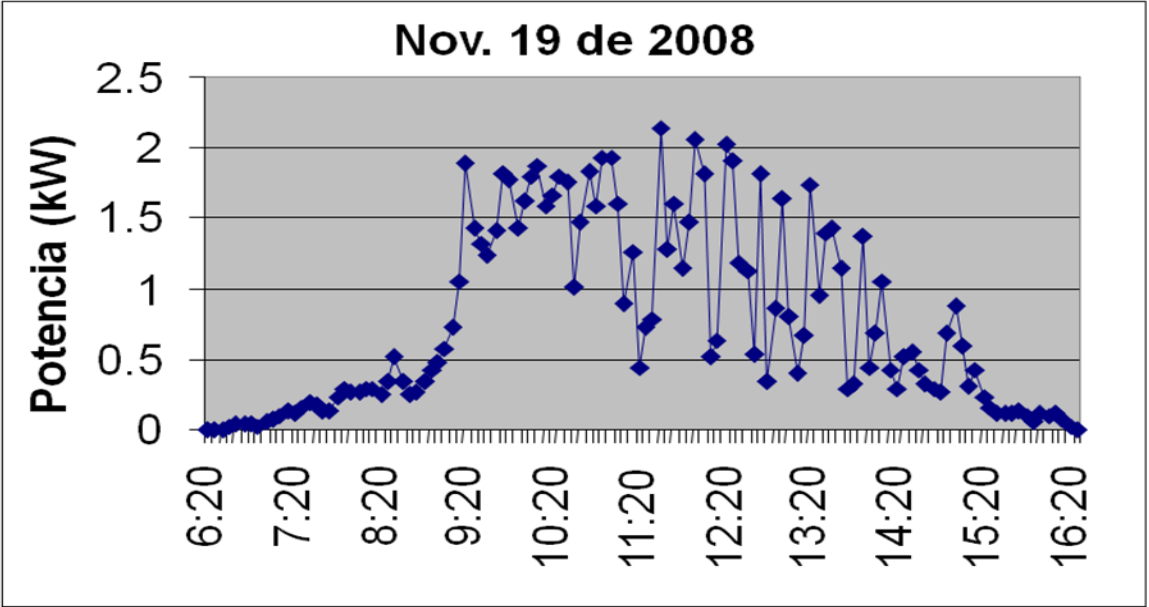
ANEXOS

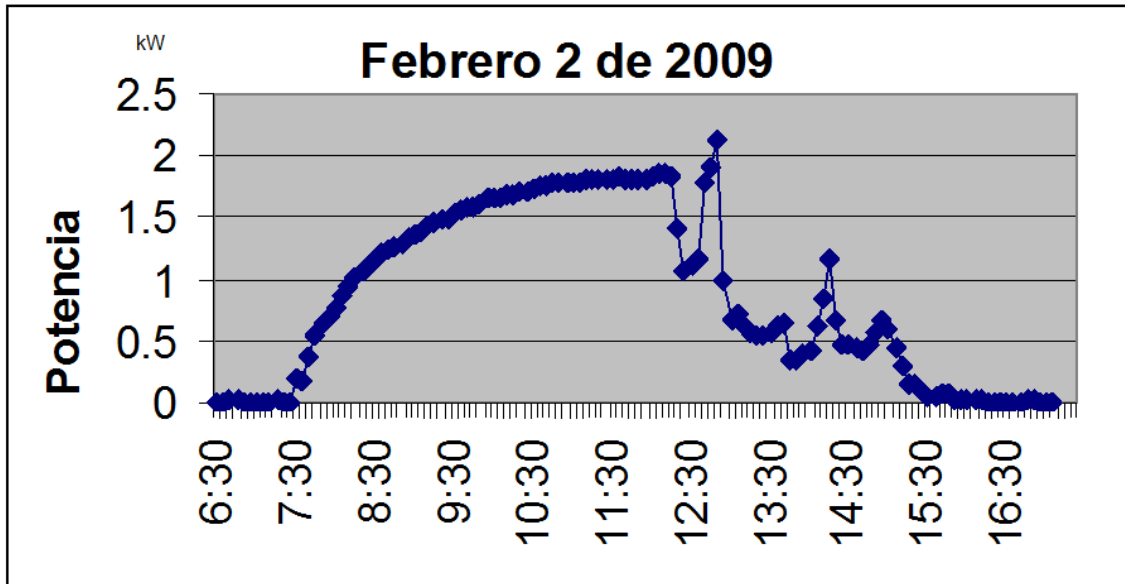
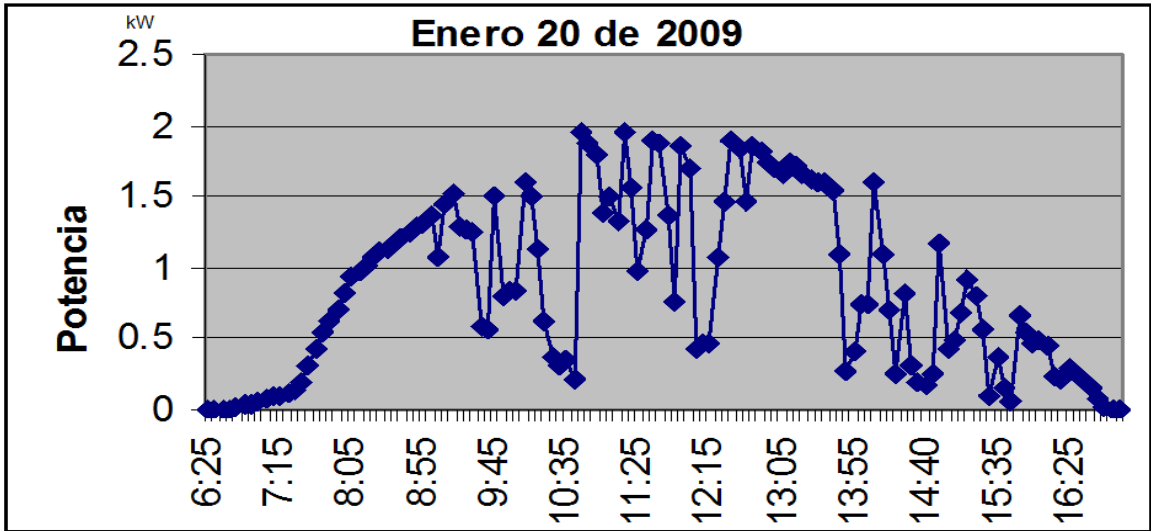
1. CARACTERISTICAS DE LA GENERACION DE ENERGIA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED ENERGÍA GENERADA AL DIA

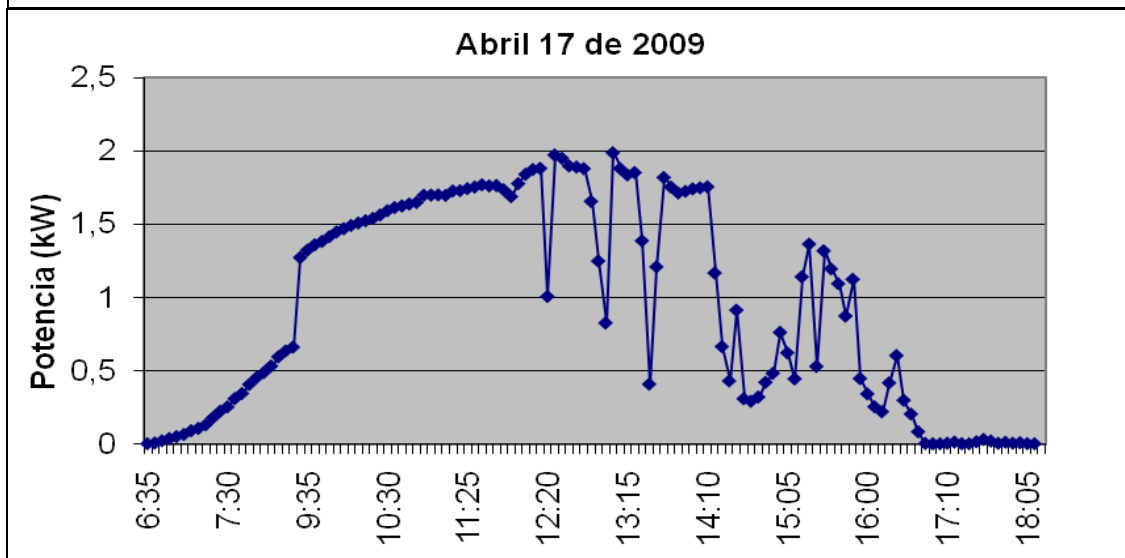
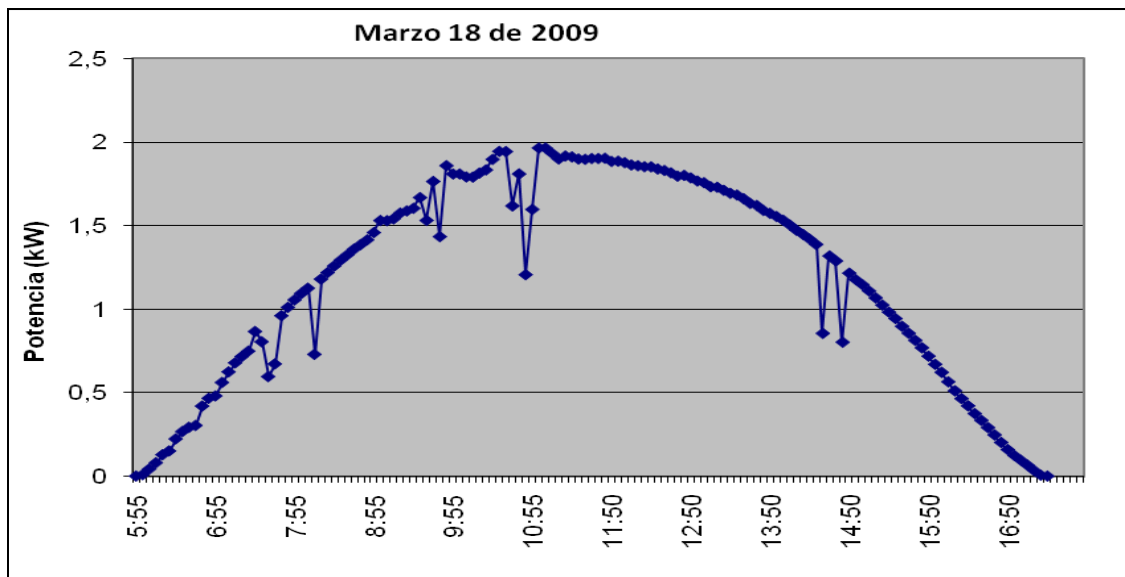




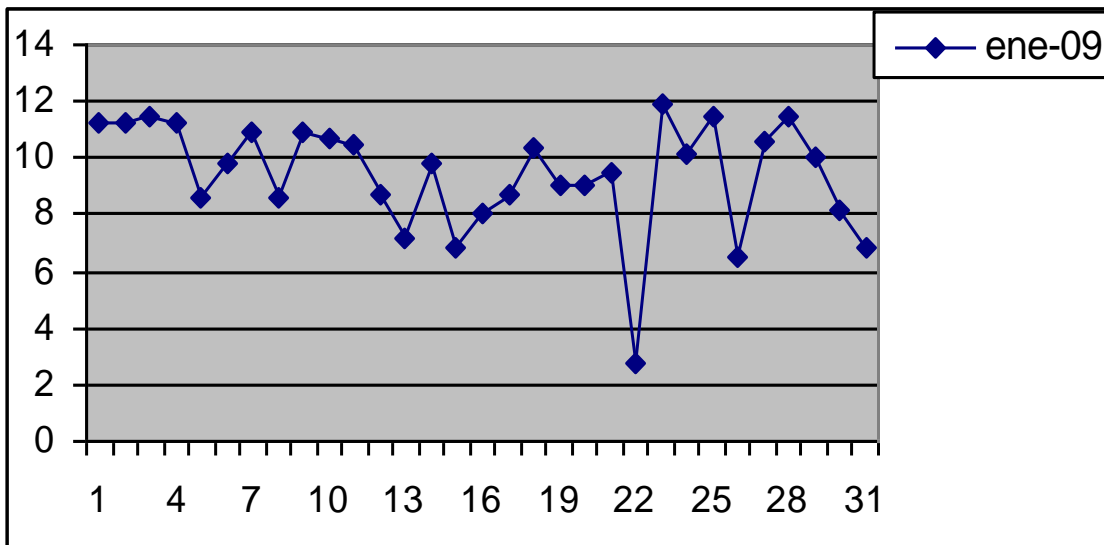


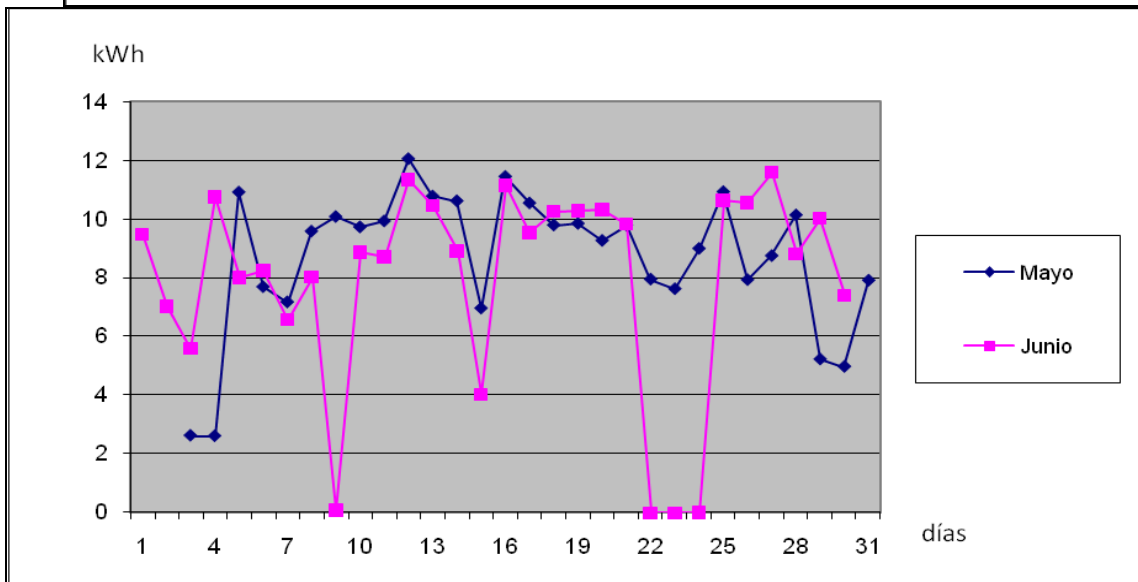
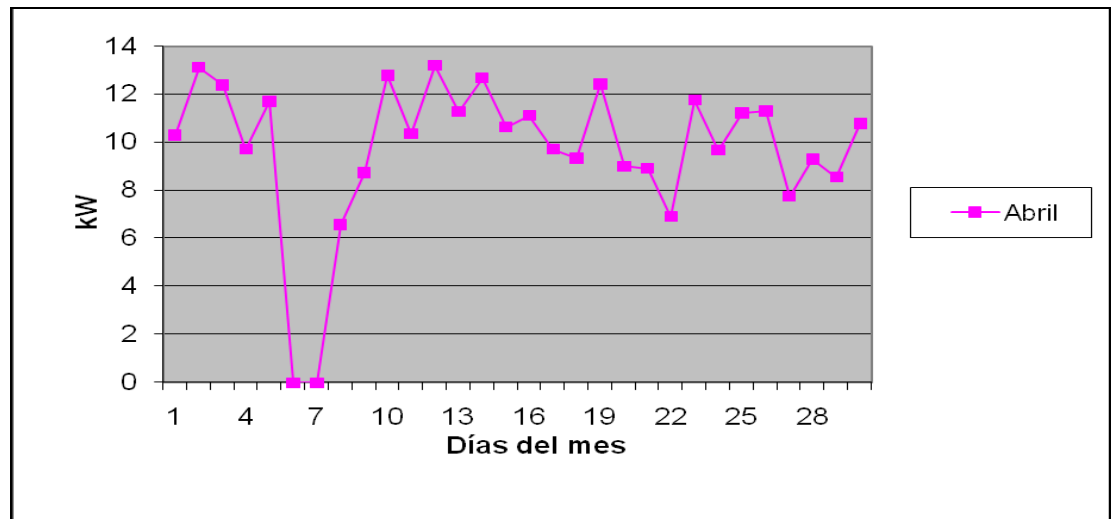
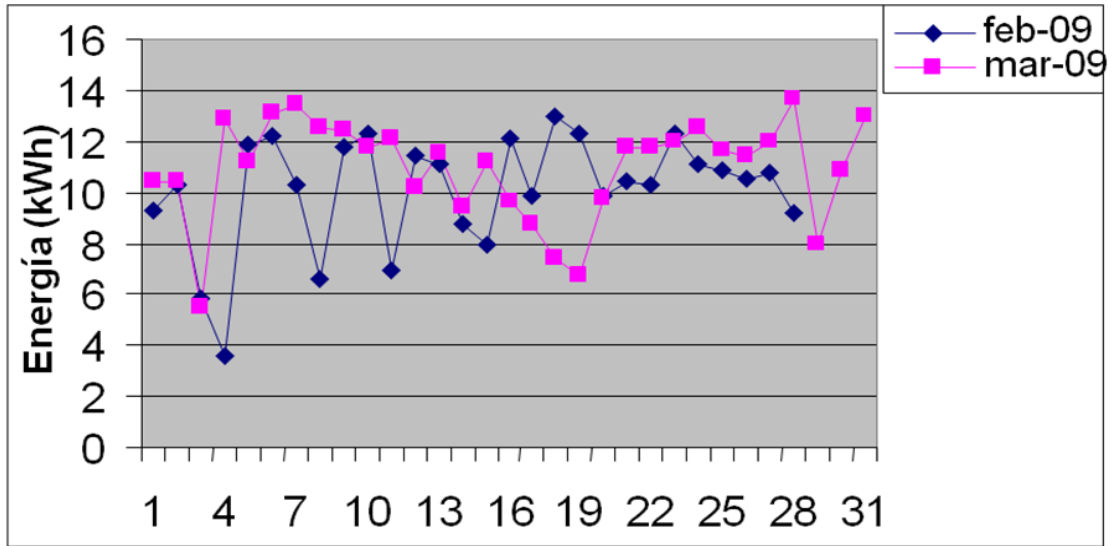


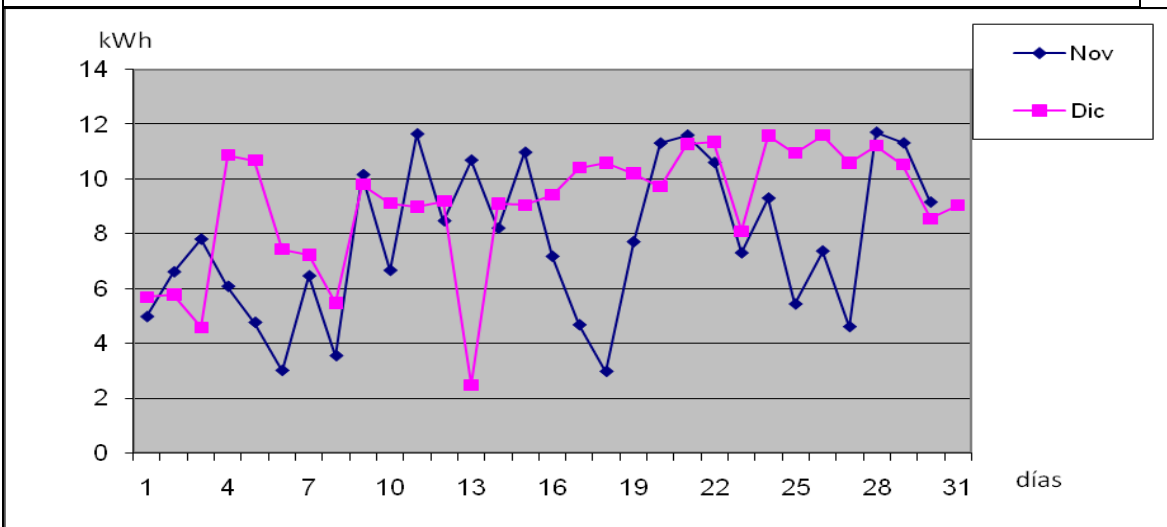
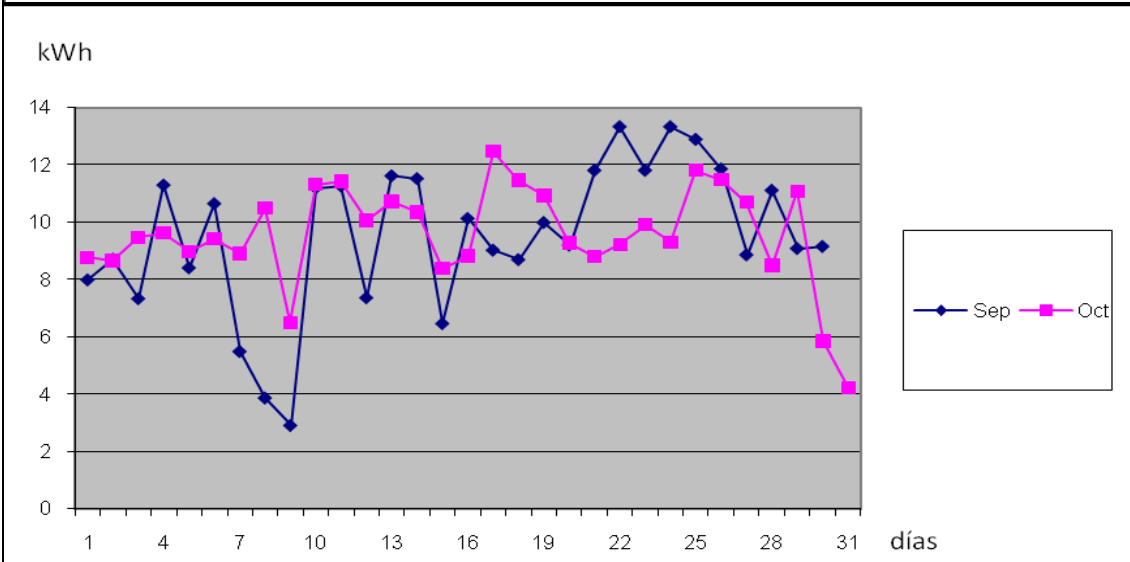
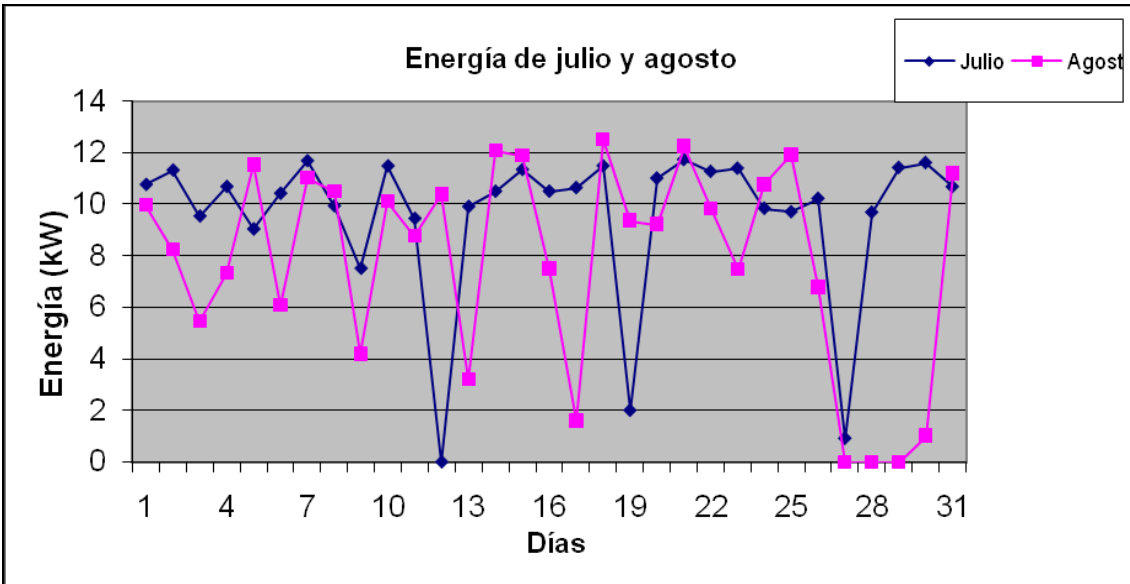




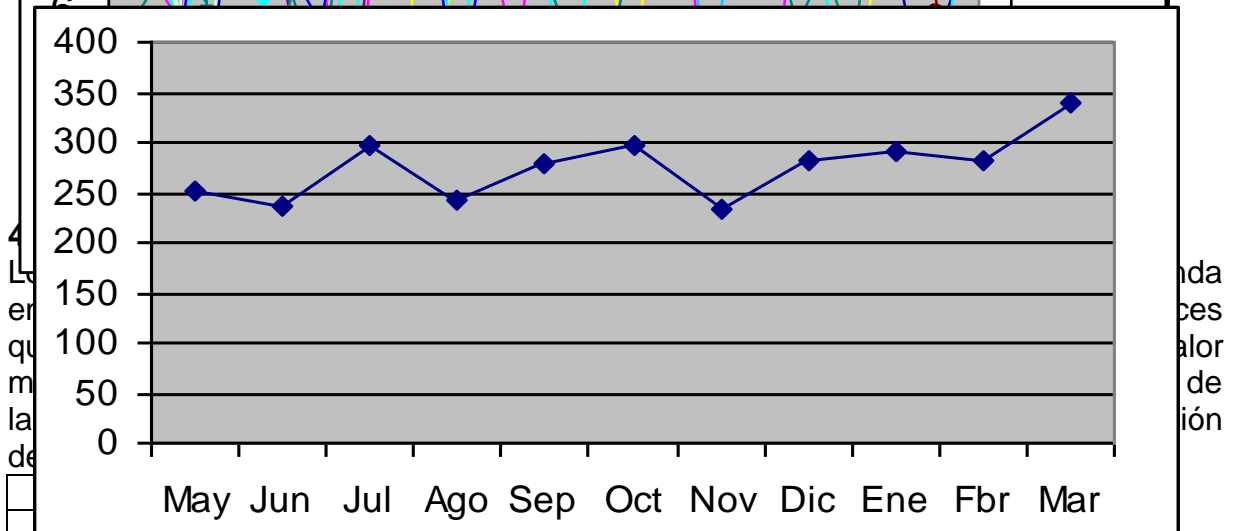
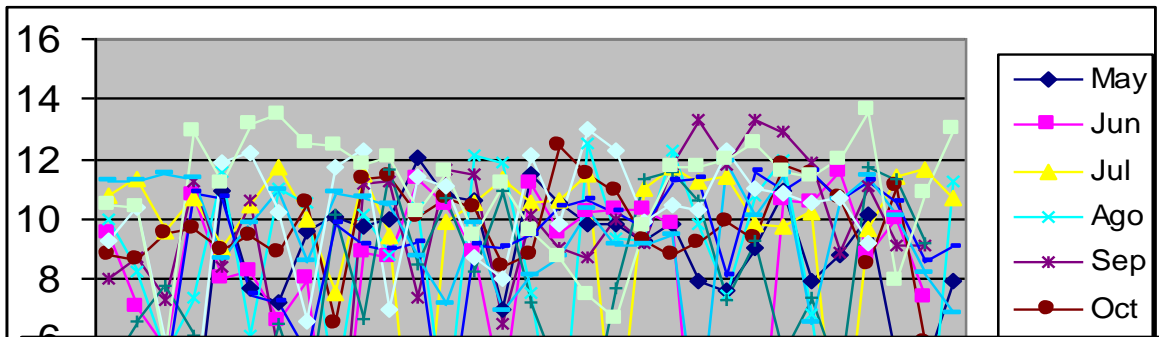
2. ENERGIA (kWh.) GENERADA CADA DIA DEL MES



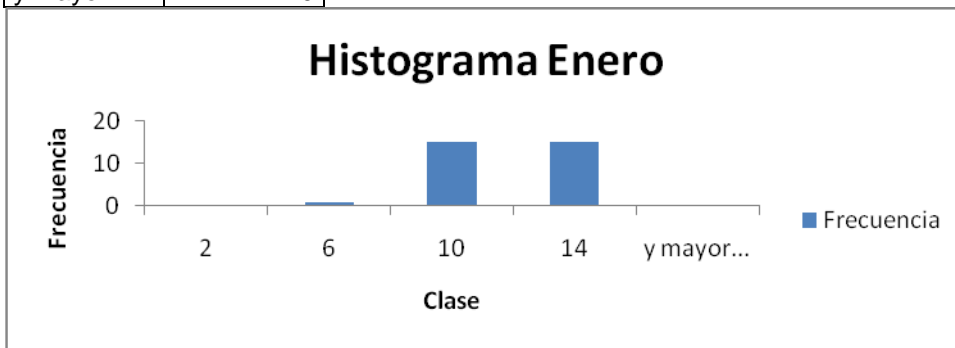




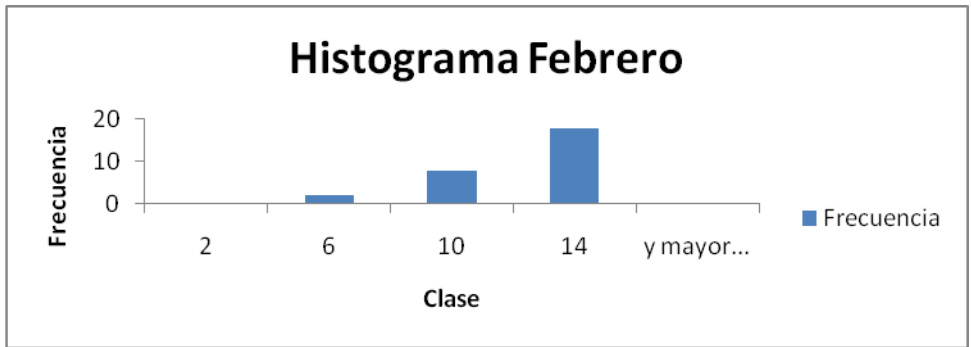
3. GRAFICAS DE LA ENERGIA (kWh.) GENERADA CADA MES DEL AÑO



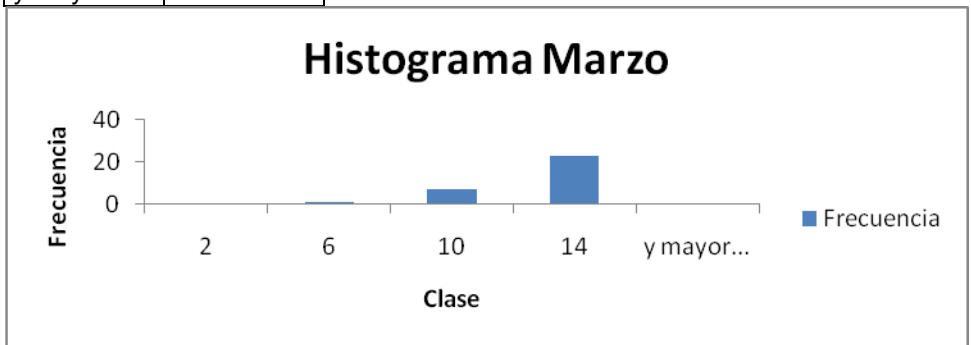
2	0
6	1
10	15
14	15
y mayor...	0



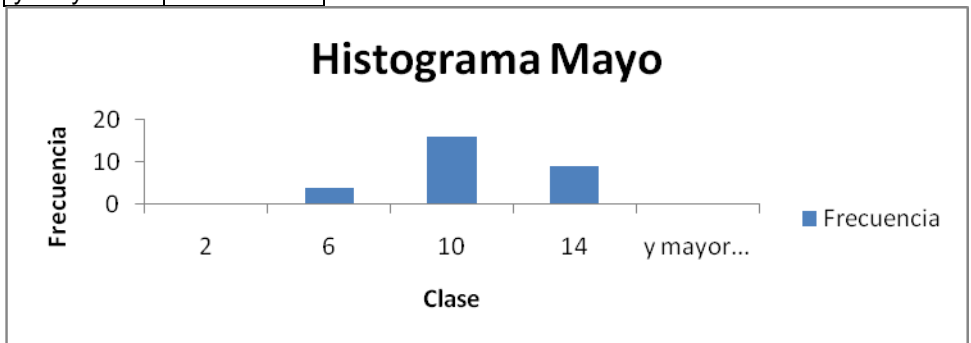
Clase	Frecuencia
2	0
6	2
10	8
14	18
y mayor...	0



<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>
2	0
6	1
10	7
14	23
y mayor...	0

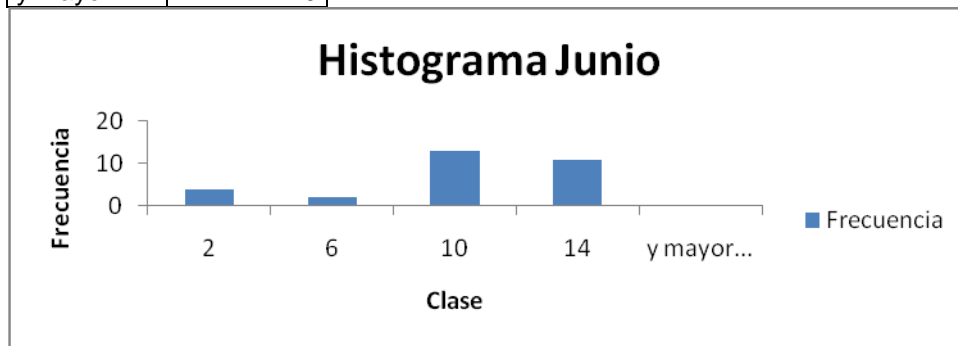


<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>
2	0
6	4
10	16
14	9
y mayor...	0

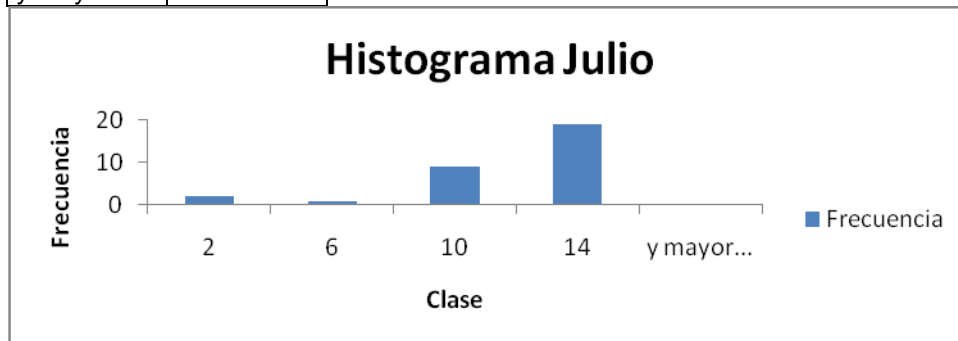


<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>
2	0
6	4
10	16
14	9
y mayor...	0

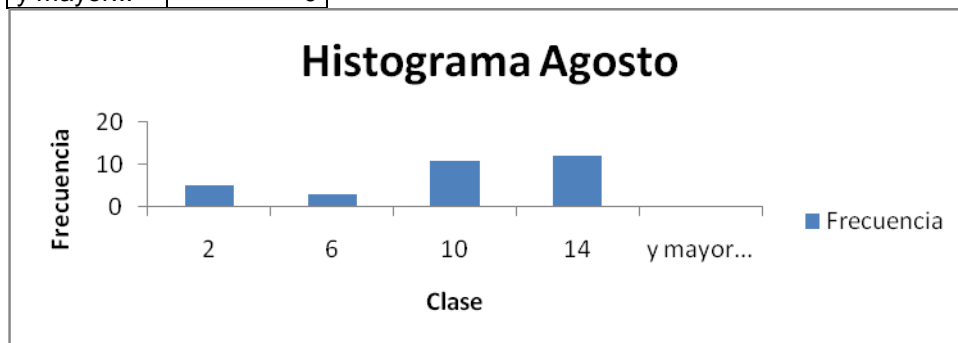
2	4
6	2
10	13
14	11
y mayor...	0



Clase	Frecuencia
2	2
6	1
10	9
14	19
y mayor...	0

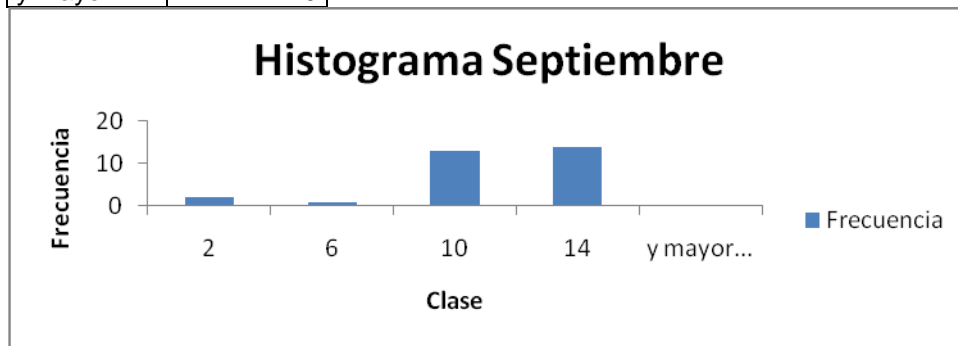


Clase	Frecuencia
2	5
6	3
10	11
14	12
y mayor...	0

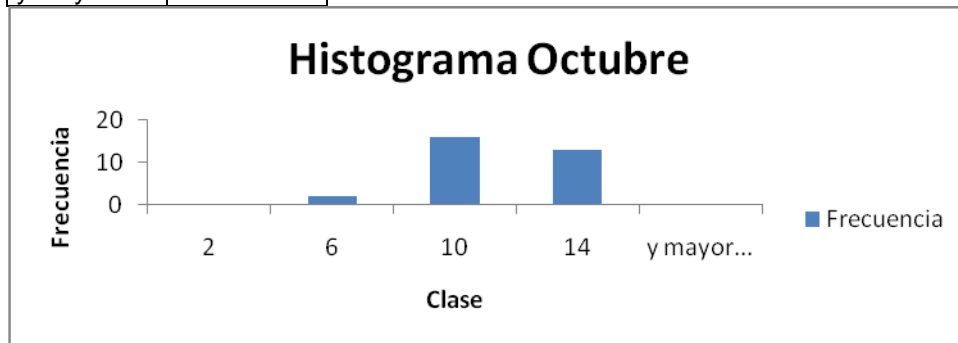


Clase	Frecuencia
-------	------------

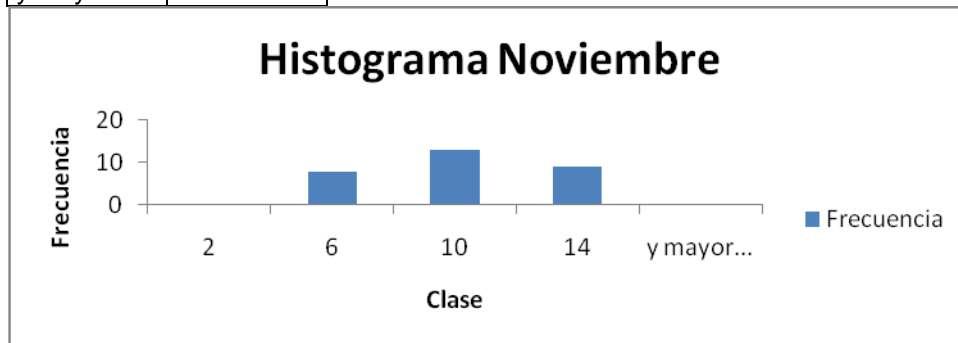
2	2
6	1
10	13
14	14
y mayor...	0



Clase	Frecuencia
2	0
6	2
10	16
14	13
y mayor...	0

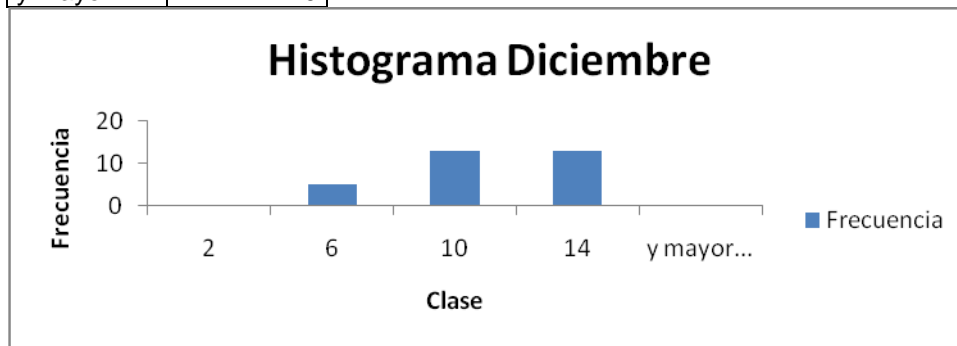


Clase	Frecuencia
2	0
6	8
10	13
14	9
y mayor...	0



Clase	Frecuencia
2	0
6	8
10	13
14	9
y mayor...	0

2	0
6	5
10	13
14	13
y mayor...	0



5. DATOS OBTENIDOS DEL SISTEMA DE MONITOREO (SUNNY WEB BOX).

TimeStamp	E-Total	Fac	h-On	h-Total	Iac-Ist	Ipv	Pac	Uac
hh:mm	kWh	Hz	h	h	mA	mA	W	V
6:35	432.732	50.01	958.7	558.29	0	10935	0	199.833
6:40	432.732	60.07	958.7	558.29	0	12.67	0	240.466
6:45	432.732	60.16	958.8	558.34	0	11.82	0	242.36
6:50	432.732	60.24	958.9	558.42	13.965	82.698	3.07	243.628
6:55	432.733	60.05	959	558.5	52.068	142.17	12.409	244.182
7:00	432.735	60.01	959.1	558.59	87.545	177.83	21.136	245.068
7:05	432.737	60.04	959.2	558.67	103.1	193.908	25.161	247.034
7:10	432.739	60.1	959.2	558.75	123.22	216.352	30.227	248.125
7:15	432.742	60.24	959.3	558.84	141.39	203.136	34.364	244.966
7:20	432.746	59.91	959.4	558.92	169.91	202.193	41.284	244.761
7:25	432.75	60.01	959.5	559	187.52	221.795	46.216	247.83
7:30	432.754	60.06	959.6	559.09	218.27	250.705	53.33	245.977
7:35	432.76	60	959.7	559.17	291.35	308.759	71.138	245.425
7:40	432.768	59.99	959.7	559.25	397.14	402.534	97.705	246.807
7:45	432.779	60.02	959.8	559.34	541.31	532.67	134.08	248.307
7:50	432.791	59.98	959.9	559.42	566.2	515.632	140.391	248.437