



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

**División de Ciencias e Ingeniería**

**ANALISIS DEL PROYECTO DE ELECTRIFICACION  
RURAL CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN,  
NUEVO BECAR, QUINTANA ROO**

**TRABAJO MONOGRÁFICO**

Para obtener el Grado de

*Ingeniero en Sistemas de Energía*

**PRESENTA**

**ARMANDO GUADALUPE AVILA REYES**

**SUPERVISORES**

M.E.S. ROBERTO ACOSTA OLEA  
DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA  
M.C. EMMANUEL TORRES MONTALVO

Chetumal, Quintana Roo, Julio 2008

Ø59523



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**  
**División de Ciencias e Ingeniería**

**Trabajo monográfico elaborado bajo la supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como requisito parcial, para obtener el grado de:**

**INGENIERO EN SISTEMAS DE ENERGÍA**

**COMITÉ**

**Supervisor: M.E.S. Roberto Acosta Olea**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Roberto Acosta Olea', written over a horizontal line.

**Supervisor: Dr. Joel Omar Yam Gamboa**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dr. Joel Omar Yam Gamboa', written over a horizontal line.

**Supervisor: M.C. Emmanuel Torres Montalvo**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Emmanuel Torres Montalvo', written over a horizontal line.



**Chetumal, Quintana Roo, Julio de 2008**

## **Dedicatoria:**

A mi familia por todo su apoyo, lo cual me ha servido como una fuente de energía y motivación.

A DIOS.

## **Agradecimientos**

Al M.E.S. Roberto Acosta Olea. Por su amistad y apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

Al comité revisor de este trabajo, Dr. Joel Omar Yam Gamboa y al M.C. Emanuel Torres Montalvo por haber aportado sus conocimientos.

A todos los profesores de la División de Ciencias e Ingeniería.

A mis compañeros por su amistad y apoyo.

A la División de Ciencias e Ingeniería por haberme apoyado en la impresión de este trabajo.

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
Lista de Figuras	2
Lista de Tablas	3
Nomenclatura	4
<b>CAPITULO I INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1 Antecedentes	6
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos	8
<b>CAPITULO II SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</b>	<b>9</b>
2.1 Modulo fotovoltaico	9
2.2 Arreglo fotovoltaico	14
2.3 Sistema de almacenamiento de energía	15
2.4 Controlador de energía	19
2.5 Inversores	21
2.6 Cargas	23
<b>CAPITULO III SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN FOTOVOLTAICA DE NUEVO BECAR</b>	<b>26</b>
3.1 Comunidad Nuevo Becar	26
3.2 Metodología	27
3.3 Características de los sistemas fotovoltaicos	28
3.4 Dimensionamiento del sistema	37
3.5 Resumen del análisis del proyecto de electrificación rural	40
<b>CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>41</b>
4.1 Conclusiones	41
4.2 Recomendaciones	42
<b>ANEXOS</b>	
Anexo I "Artículo publicado en la XXX Semana Nacional de Energía Solar, celebrado en la ciudad de Veracruz, Veracruz en octubre de 2007"	44
Anexo II " Encuesta realizada a pobladores de la comunidad de Nuevo Becar"	51
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>54</b>



## LISTA DE FIGURAS

Pág.

<b>Figura 2.1</b> Fotografía de: a) Módulo fotovoltaico b) celda solar	9
<b>Figura 2.2</b> Esquema de los componentes de un módulo fotovoltaico	10
<b>Figura 2.3</b> Fotografía de: a) Modulo de silicio monocristalino b) Modulo de silicio policristalino y c) Modulo de silicio amorfo	11
<b>Figura 2.4</b> Gráfica de la curva corriente/voltaje/potencia de un módulo fotovoltaico a CEP.	12
<b>Figura 2.5</b> Fotografía de los datos técnicos de un módulo fotovoltaico	12
<b>Figura 2.6</b> Gráficas en donde se observa el efecto de la irradiancia solar y la temperatura	13
<b>Figura 2.7a</b> Esquema de un arreglo fotovoltaico conectado en paralelo	14
<b>Figura 2.7b</b> Esquema en donde se muestra un arreglo de tres módulos fotovoltaicos conectados en serie.	15
<b>Figura 2.8</b> Fotografía de: a) Terminal tipo Z y b) Terminal tipo V	16
<b>Figura 2.9</b> Fotografía de una batería plomo ácido libre de mantenimiento	17
<b>Figura 2.10</b> Esquema de: a) de baterías conectadas en serie b) baterías conectadas en paralelo	18
<b>Figura 2.11</b> Esquema de diferentes tipos de ondas producidas por un inversor	22
<b>Figura 3.1</b> Mapa de localización de la población de Nuevo Becar. Señalado en el círculo rojo.	26
<b>Figura 3.2</b> Fotografía de la comunidad de Nuevo Becar	27
<b>Figura 3.3</b> Fotografía de un módulo fotovoltaico con sombras a causa de un árbol	30
<b>Figura 3.4</b> Fotografía de un modulo fotovoltaico en la que se observan puntos calientes los cuales son las partes mas oscuras del modulo fotovoltaico.	30
<b>Figura 3.5</b> Fotografía del arreglo fotovoltaico de la telesecundaria	31
<b>Figura 3.6</b> Fotografía de una batería automotriz	32
<b>Figura 3.7</b> Fotografía del banco de baterías de la telesecundaria	33
<b>Figura 3.8</b> Fotografía controlador de carga de la tele secundaria indica una lectura 20.7 V	33
<b>Figura 3.9</b> Fotografía de la oficina de computo	33
<b>Figura 3.10</b> Fotografía de un controlador de carga de la marca condumex	34
<b>Figura 3.11</b> Fotografía del inversor de la tele secundaria	35
<b>Figura 3.12</b> Fotografía de localización del sistema de la telesecundaria	35
<b>Figura 3.13</b> Fotografía de una lámpara típica de 13 W. Instalada en todas las casas de la comunidad	36
<b>Figura 3.14</b> Fotografía del equipo de computo	36

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Tipos comunes de lámparas fluorescentes	<b>25</b>
<b>Tabla 3.2</b> Datos de las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos de la viviendas	<b>29</b>
<b>Tabla 3.3</b> Datos de las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos de la telesecundaria.	<b>31</b>
<b>Tabla 3.4</b> Cuadro de cargas y consumo del SFV de las viviendas rurales	<b>37</b>
<b>Tabla 3.5</b> Cuadro de cargas y consumo del SFV de la telesecundaria	<b>38</b>

**NOMENCLATURA**

A	Ampere
A-h	Ampere-hora
Au	Días de autonomía del banco de baterías
Ca	Corriente alterna
$C_B$	Capacidad del almacenamiento del banco de baterías
c.c	Corriente continúa
Ec	Energía consumida en watts-hora
Fi	Factor de incremento del banco de baterías debido a descarga más lenta
Fs	Factor de sobredimensionamiento
FV	Fotovoltaico
SFV	Sistema fotovoltaico
fu	Factor de uso de baterías
Hp	Horas pico
Hz	Hertz
$I_{pmax}$	Corriente de modulo a potencia máxima
$I_{sc}$	Corriente de modulo a corto circuito
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
M	Número de módulos fotovoltaicos
$\eta$	Eficiencia
$\eta_B$	Eficiencia del banco de baterías
$\eta_C$	Eficiencia del controlador de carga
$\eta_i$	Eficiencia del inversor
$\eta_T$	Eficiencia debido al efecto de la temperatura
$\eta_W$	Eficiencia del cable conductor
$P_M$	Potencia pico del modulo fotovoltaico
$P_{max}$	potencia máxima
V	Volt
$V_{nB}$	Voltaje nominal del banco de baterías
$V_{oc}$	Voltaje a circuito abierto de modulo fotovoltaico
$V_{pmax}$	Voltaje a potencia máxima
W	watt
W-h	watt-hora

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los sistemas fotovoltaicos (SFV) han mostrado su potencial técnico en el suministro de energía eléctrica para numerosas aplicaciones, tanto en zonas urbanas como rurales; debido principalmente a la facilidad de su instalación y mantenimiento. Se han documentado muchas experiencias sobre las barreras para la difusión de la tecnología fotovoltaica y como superarlas, tanto en el área técnica, como en las áreas de organización, políticas energéticas y financiamiento. La tecnología fotovoltaica, en general, está alcanzando su madurez comercial y puede preverse que con las recientes inversiones en capacidad de fabricación se logrará una fuerte competencia por el mercado, derivando en una reducción de los costos.

La energía solar fotovoltaica a menudo ha resultado ser la solución más eficaz y económica para mejorar los servicios de iluminación en las zonas remotas y no electrificadas de los países en desarrollo. A través de estos servicios, los SFV pueden repercutir de manera positiva en la vida de todos los pobladores de las zonas rurales, siempre que se tenga cuidado de hacerlos llegar hasta los grupos más marginados. En ocasiones, el suministro de servicios sociales y comunales puede poner en marcha la provisión de actividades que generen ingresos

Desde su inicio, los programas de electrificación rural en México han tenido un carácter eminentemente social; esto es, las inversiones no se hacen con fines lucrativos. En consecuencia, la red de distribución eléctrica se sigue extendiendo año con año, aun a las regiones más apartadas donde se podría pensar que las inversiones no son rentables. Con todo y eso, el ritmo es demasiado lento debido a los costos siempre crecientes.

Los SFV son una alternativa técnicamente viable para la generación de energía eléctrica. Sin embargo, dados sus costos de inversiones iniciales todavía relativamente altos (4 a 6 veces los de las tecnologías convencionales), su viabilidad económica está en la actualidad restringida a ciertas aplicaciones, sobre todo en localidades alejadas de la red.

Actualmente los SFV están siendo integrados en grandes programas de electrificación rural en distintos países del mundo (Argentina, Sudáfrica, Estados Unidos, India, México, Zimbabwe, entre otros). Estos programas incluyen cuestiones relativas al desarrollo en gran escala del mercado en las zonas rurales: como son el acceso a un crédito, la infraestructura local para instalación y el mantenimiento y políticas favorables. Si bien hay numerosos estudios sobre estos aspectos poco se han investigado sobre el impacto mismo de la difusión e implantación de la tecnología fotovoltaica en el desarrollo rural.



## 1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad, más del 95% de la población del país recibe los beneficios de la electricidad<sup>1</sup>. El resto es población rural que habita unas 79,000 pequeñas localidades de menos de 500 habitantes, que se encuentran muy retiradas de las redes eléctricas. Estas comunidades, normalmente muy dispersas, están en terrenos de difícil acceso, sin caminos ni otro tipo de infraestructura, lo que dificulta la extensión de la red eléctrica. Durante el sexenio del presidente Carlos Salinas de Gortari, en el año de 1992 se dio inicio a un programa de electrificación rural con fuentes alternas de energía para este tipo de localidades. Dentro de este programa se instalaron cerca de 40,000 SFV pequeños para iluminación doméstica rural, de 50 a 75 watts cada uno. Veinticinco mil de estos sistemas se instalaron dentro del Programa Nacional de Solidaridad, (PRONASOL), que apoya con un presupuesto de unos US\$10 millones anuales la electrificación con fuentes alternas de energía de poblados rurales no incluidos en los planes de electrificación convencional por extensión de la red eléctrica. Otros 15,000 sistemas han sido adquiridos en forma particular. Los sistemas se han instalado en comunidades rurales aisladas y dispersas, y para aplicaciones aisladas. Se han instalado también siete sistemas "híbridos" solar-eólico, de 10 a 200 kW, en comunidades rurales menos dispersas donde se puede establecer una pequeña red local de distribución. Para la telefonía rural, por lo menos 10,000 teléfonos se han energizado con módulos fotovoltaicos, y 800 clínicas rurales también cuentan con servicio eléctrico fotovoltaico. Los sistemas, que son adquiridos por los gobiernos estatales mediante licitación pública, son financiados por el gobierno federal en un 50%, el gobierno estatal en 30%, y el usuario aporta el 20% restante, ya sea en efectivo o en especie o mano de obra. Los sistemas son totalmente comerciales y distribuidos por una docena de contratistas, siendo el módulo fotovoltaico de importación y nacional el resto de los componentes del sistema.<sup>2</sup>

En México, el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional ha sido pionero del desarrollo fotovoltaico desde hace más de 25 años. Período en el que incluso se han fabricado tanto celdas de silicio cristalino como módulos fotovoltaicos a nivel de planta piloto. No obstante, no se ha llegado a la fabricación en serie, más bien el objetivo ha sido demostrar la disponibilidad tecnológica para la producción de celdas con vistas a su industrialización; sin embargo, la tecnología utilizada es prácticamente artesanal y los elementos de producción limitados, aún cuando varios módulos han sido instalados, principalmente por dependencias gubernamentales. Otras Instituciones como el Laboratorio de Energía Solar hoy Centro de Investigación de Energía (C.I.E) y el Instituto de Física, ambas de la UNAM, han desarrollado algunas actividades, principalmente en la tecnología de películas delgadas, probando diferentes técnicas de deposición y analizando varios compuestos. Respecto a los equipos periféricos y de control utilizados en los SFV que se han instalado en México, se puede decir que la tecnología actual está completamente asimilada. Existen empresas nacionales (Condumex, ahora IEM, Grupo PIM y ACUMEX

<sup>1</sup> Pág. Web de la Comisión Federal de Electricidad(2005)

<sup>2</sup> Pág. Web del IIE "Electrificación rural con sistemas fotovoltaicos" (2005)

entre otras) que fabrican comercialmente controladores, centros de carga y demás componentes electrónicos para diferentes capacidades y condiciones de operación. Análogamente a los controladores de carga, la tecnología de los inversores de corriente está ampliamente asimilada. En México la mayoría de las unidades de auto transporte de primera clase utilizan inversores de fabricación nacional para los diversos servicios que brindan a bordo. La actividad en los centros de investigación mexicanos es prácticamente nula en este aspecto, dado que esta fracción de la tecnología fotovoltaica no es vanguardista.<sup>3</sup>

Así mismo, algunos sistemas de iluminación se han instalado en, estacionamientos, parques y teléfonos de emergencia en carreteras por ejemplo: el sistema de iluminación del zoológico de Chapultepec en México DF, los teléfonos de emergencia de la autopista México-Acapulco y el sistema de iluminación del estacionamiento de la plaza comercial de Chalco, estado de México, etc.

Particularmente en el estado de Quintana Roo, el Centro de Investigación de Quintana Roo (CIQROO), en conjunto con una Empresa norteamericana, implementan en 1985 el primer proyecto de bombeo de agua con energía fotovoltaica. Un sistema de 200 Watts en el municipio de Othon P. Blanco. En 1990 tres comunidades del municipio de Cozumel son electrificadas con mas de 200 SFV de 48 Watts cada uno. En agosto de 1992 se instala el sistema híbrido solar-eólico-diesel, de X-calak de 71.2 KW, uno de los más importantes en su tipo en América latina y seguramente entre los diez mas grandes del mundo para aplicaciones rurales sin financiamiento externo que además ha sido objeto de un gran numero de publicaciones en revistas especializadas en el ámbito internacional, adicionalmente este sistema sirvió de base para la creación del software para diseño de sistemas híbridos conducido por la Universidad Estatal de Nuevo México(NMSU) y los laboratorios nacionales de energía renovable de los Estados Unidos (NREL). En marzo de 1994 se lleva a cabo en Tulum, Quintana Roo, la primera expo-solar que tuvo como principal objetivo dar a conocer una muestra de las tecnologías renovables y que posteriormente genero, en forma automática la implementación de programas de gobierno para la electrificación de decenas de casas en el medio rural, sistemas de telefonía satelital operadas con 100 watts y apoyo a ganaderos con cercos eléctricos. En 1995 los Laboratorios Nacionales Sandia (LNS) y el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) establecen un programa de cooperación para la implementación de energías renovables único en el mundo en su tipo, patrocinado por la Agencia Internacional para el Desarrollo (USAID) y el Departamento de energía de los Estados Unidos (DOE), el cual en Quintana Roo se instalan 44 proyectos para bombeo de agua con energía solar en un periodo de 4 años. Durante este periodo y bajo la administración de los mismos LNS, se implementan más de 30 proyectos en las reservas ecológicas de Sian Ka'an, Yum Balam, Isla Contoy y el Edén, con una fuerte y decidida participación de las Organizaciones No gubernamentales (ONG'S) y la secretaria de medio ambiente recursos naturales y pesca (SEMARNAT).

<sup>3</sup> Pág. Web de la CONAE "Energías renovables"

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Cuando se efectúan los programas de implementación de SFV la mayoría de las veces no se hace participe al beneficiado con estas energías. Debido a esto se derivan una serie de problemas los cuales terminan, dejando el sistema abandonado y justificando que los sistemas no son rentables. En este trabajo se pretende identificar el impacto que causan los sistemas fotovoltaicos, desde que son instalados hasta las recomendaciones que ellos reciben para operar dichos sistemas.

El objetivo es analizar las condiciones en que se encuentra el proyecto de electrificación rural con SFV, instalado en la comunidad de Nuevo Becar, Quintana Roo. Asimismo, de una manera cualitativa conocer el impacto de los SFV en el aspecto económico, social, y tecnológico en el desarrollo rural. Específicamente en este trabajo nos enfocaremos a la zona sur del estado de Quintana Roo y contribuir de esta manera con los responsables de lo proyectos a mejorar dichas alternativas, y dar un diagnostico del estado en que se encuentran.

Tomando en cuenta que los SFV tienen su mejor aplicación en la iluminación y radio/televisión de casas el estudio también pretende que el personal que realiza dichas instalaciones pueda identificar estrategias para ir más allá de esos usos domésticos y promover el desarrollo social y económico de las comunidades. También se pretende que se identifiquen los puntos para mejorar los SFV y darle una mejor aplicación.

En efecto, es fundamental reconocer esos factores de contribución al desarrollo rural para apoyar el diseño de programas de SFV con más posibilidades de repercutir en el desarrollo rural sostenible; y para obtener más participación financiera y política en proyectos SFV, a la vez que se reconozcan los límites de la electrificación fotovoltaica y se evite crear falsas expectativas.

## 1.3 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo monográfico es:

Realizar un análisis del proyecto de electrificación rural con SFV de la comunidad de Nuevo Becar.

Los Objetivos Particulares son:

1. Realizar una inspección visual de las condiciones en que se encuentran los SFV instalados.
2. Realizar un censo de todos los sistemas instalados.
3. Generar un documento que contenga la descripción de un SFV
4. Emitir recomendaciones que sirvan para mejorar el aprovechamiento de los SFV.



## CAPITULO II. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los procesos fotovoltaicos se caracterizan por transformar la energía solar en energía eléctrica, en forma directa, puesto que no necesitan realizar transformaciones intermedias, como lo hacen la totalidad de los sistemas convencionales y los procesos fototérmicos.

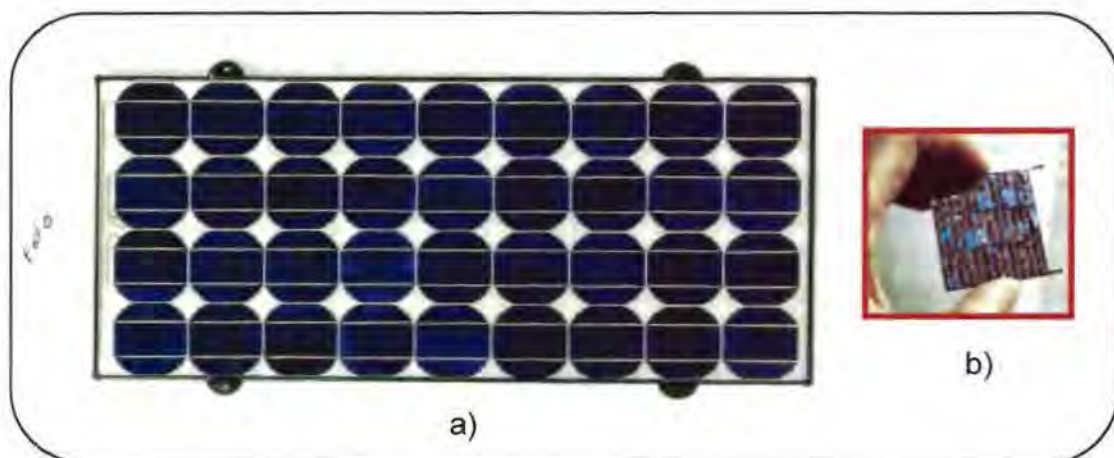
Los componentes principales de un SFV para la generación de electricidad son:

- Módulo fotovoltaico
- Controlador de carga
- Banco de baterías
- Inversor
- Carga

El módulo fotovoltaico produce la energía eléctrica a partir de la luz solar. El controlador mantiene las baterías en buen estado ya que regulan el voltaje del sistema y también almacenan energía para permitir su uso durante días nublados. Los aparatos que extraen energía del sistema constituyen la carga del sistema, si las cargas funcionan con corriente alterna, se requiere de un inversor para alimentarlas. El cableado y los demás dispositivos de manejo de energía como interruptores, fusibles y contactos son elementos necesarios para la integración protección y el manejo del sistema. En este capítulo se describirán brevemente las características de cada uno de los principales componentes del sistema.

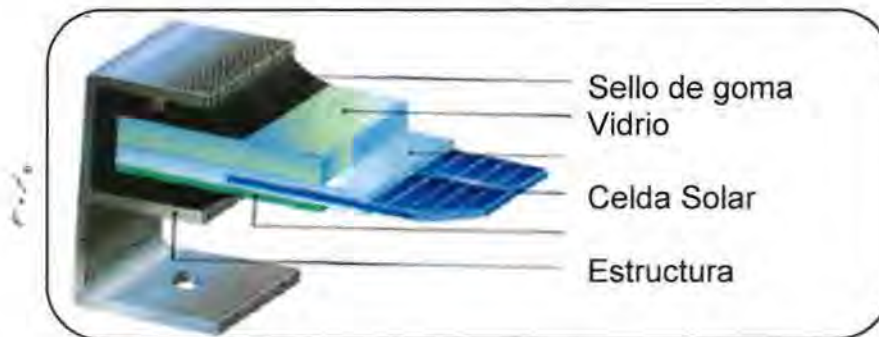
### 2.1 MODULO FOTOVOLTAICO

Un módulo Fotovoltaico, también llamado panel solar, es un conjunto de celdas solares interconectadas eléctricamente y protegidas contra la intemperie. Una celda solar es la unidad mínima de conversión de potencia en un módulo fotovoltaico, las celdas solares estas conectadas tanto en un arreglo en serie como en un arreglo en paralelo según sean las características eléctricas del módulo fotovoltaico. En la figura 2.1 se muestra un módulo fotovoltaico y una celda solar.



**Figura 2.1** Fotografía de: a) módulo fotovoltaico b) celda solar

La función de los módulos fotovoltaicos es convertir la luz solar en electricidad (en corriente continua). Generalmente, los módulos tienen una cubierta frontal de vidrio templado y un marco de aluminio que facilita su transporte e instalación, ver figura 2.2. Debido a que no tiene partes móviles, los módulos son muy confiables y duraderos. Algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años contra defectos de fábrica y reducción de rendimiento. Otra característica importante es el mínimo mantenimiento que requieren. Las celdas solares pueden ser fabricadas de distintos materiales pero el material que más se utiliza es el silicio.



**Figura 2.2** Esquema de los componentes de un módulo fotovoltaico

### 2.1.1 TIPOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos a base de silicio (que representan el mayor porcentaje de fabricación) pueden ser monocristalinos, policristalinos y amorfos, este nombre lo reciben dependiendo el tipo de celda solar que contengan.

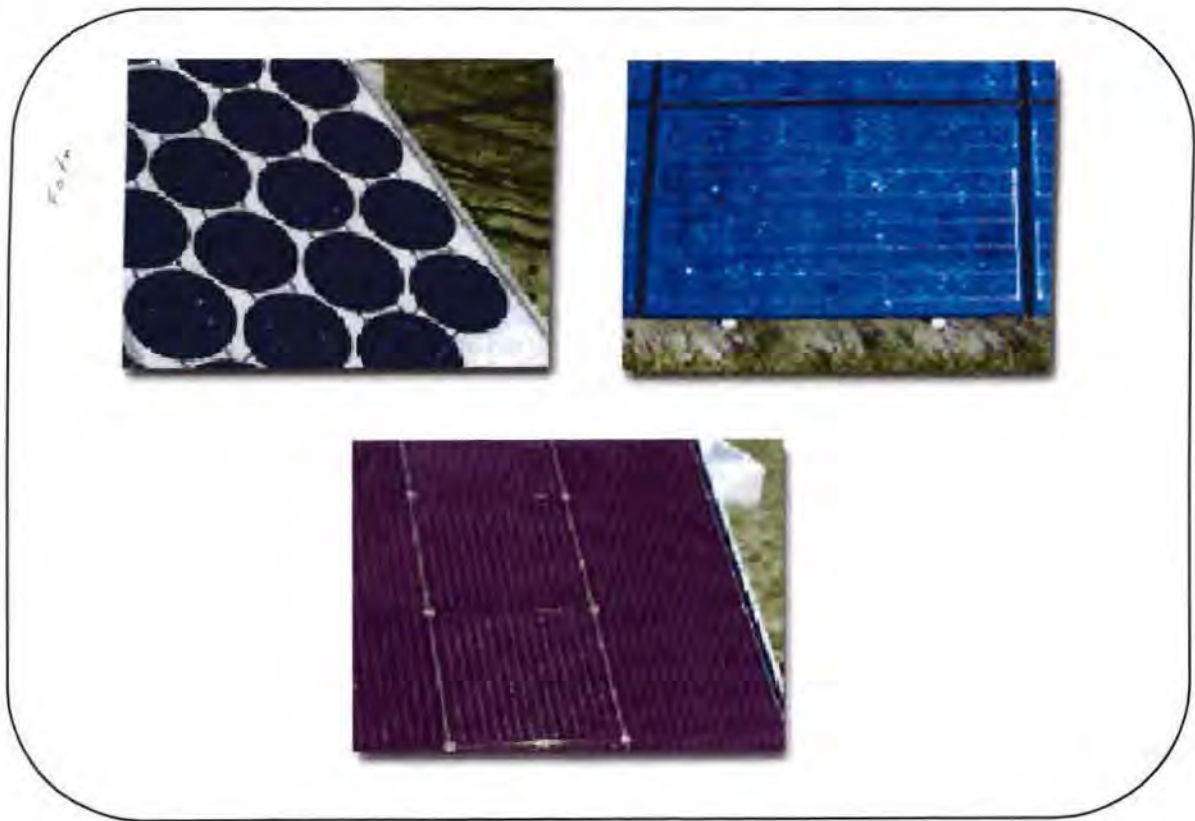
- **Silicio Monocristalino:** Las celdas están hechas de un solo cristal de silicio de muy alta pureza. La eficiencia de estos módulos ha llegado hasta el 17%. Los módulos con estas celdas son los más maduros del mercado, proporcionando con esto confiabilidad en el dispositivo de tal manera que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.

- **Silicio Policristalino:** Su nombre indica que estas celdas están formadas por varios cristales de silicio. Esta tecnología fue desarrollada buscando disminuir los costos de fabricación. Dichas celdas presentan eficiencias de conversión un poco inferiores a las monocristalinas pero se ha encontrado que pueden obtenerse hasta un orden de 15%. La garantía del producto puede ser hasta por 20 años dependiendo del fabricante.

- **Silicio Amorfo:** La palabra amorfo significa carencia de estructura. La estructura cristalina de estas celdas no tiene un patrón ordenado característico del silicio cristalino. La tecnología de estos módulos ha estado cambiando aceleradamente en los últimos años. En la actualidad su eficiencia ha subido hasta establecerse en el rango de 5 a 10% y promete incrementarse. La garantía del producto puede ser hasta por 10 años dependiendo del fabricante.



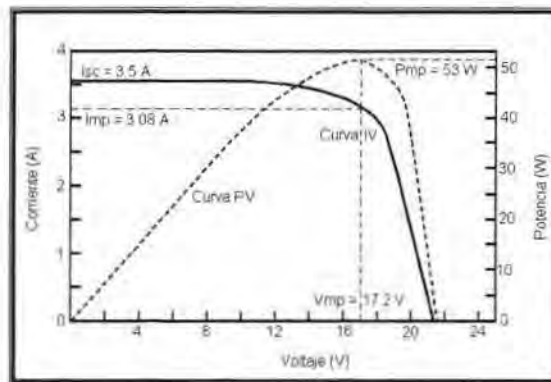
En la Figura 2.3 se observan 3 fotografías de los diferentes tipos de módulos a base de silicio.



**Figura 2.3** Fotografía de: a) modulo de silicio monocristalino, b) modulo de silicio policristalino y c) modulo de silicio amorfo.

### 2.1.2 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

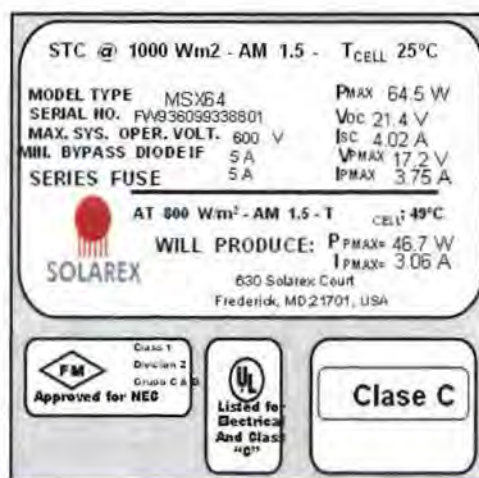
El comportamiento eléctrico de los módulos fotovoltaicos está dado por las curvas de corriente contra voltaje. Esta curva especifica la corriente que produce el módulo en un rango de voltaje, (La Figura 2.4 muestra la curva I-V para un módulo FV típico a condiciones estándares de prueba (CEP), que corresponde a una irradiancia solar de  $1\text{kW/m}^2$  y una temperatura de celda de  $25^{\circ}\text{C}$ ). Es bueno notar que la potencia que entrega el módulo se reduce cuando el módulo no opera a un voltaje óptimo. Esto es evidente en la curva de potencia contra voltaje (curva P-V) que aparece en la figura 2.4. Una manera más sencilla de especificar las características de los módulos es definiendo la potencia, el voltaje y la corriente nominal a CEP.



**Figura 2.4** Curva corriente-voltaje-potencia de un módulo fotovoltaico a CEP.

La potencia nominal corresponde a la potencia máxima ( $P_{mp}$ ). La corriente y el voltaje que corresponde con  $P_{mp}$  se denominan la corriente y el voltaje nominal del módulo,  $I_{mp}$  y  $V_{mp}$  respectivamente. En la mayoría de los módulos,  $V_{mp}$  es aproximadamente 17 Volts. Cabe notar que en un SFV independiente, los módulos operan al voltaje del banco de baterías, típicamente entre 12 y 14 V. Otros parámetros de importancia son la corriente de corto circuito ( $I_{sc}$  o  $I_{cc}$ ) y el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$  o  $V_{ca}$ ).

Todo módulo Fotovoltaico debe tener una etiqueta del fabricante que especifique el modelo y las características eléctricas del mismo es de gran importancia que todos los módulos que se utilicen tengan anexado esta etiqueta por que con los datos que contiene se realiza el dimensionamiento del SFV. Los valores de  $V_{mp}$  y  $V_{oc}$  son valores representativos de la mayoría de los módulos comerciales, independientemente de la capacidad del módulo. En la Figura 2.5 se muestra un ejemplo de una etiqueta con los datos técnicos de un módulo fotovoltaico en este caso de la marca solarex.



**Figura 2.5** Fotografía de los datos técnicos de un módulo fotovoltaico.

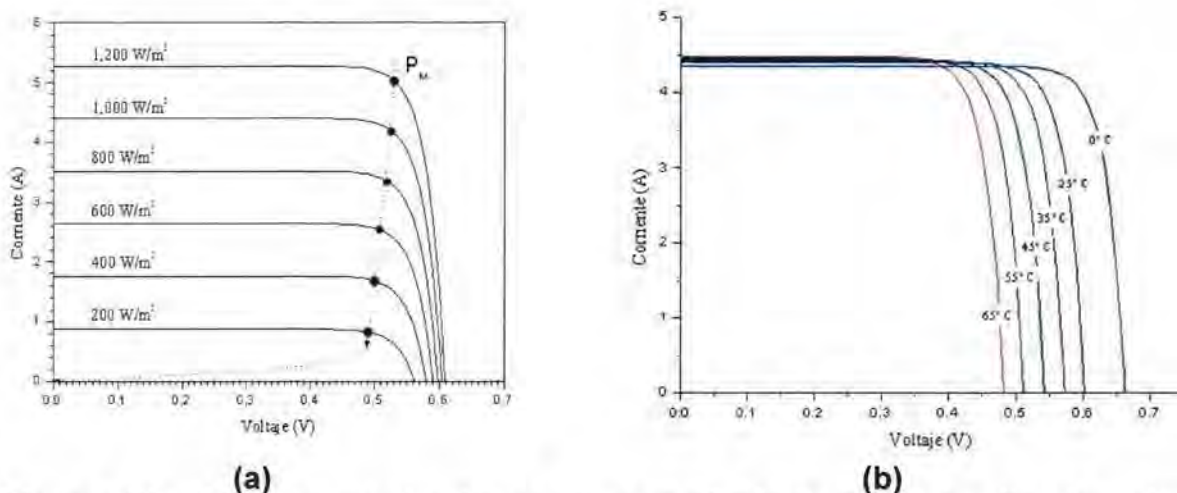


### 2.1.3 FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DE UN MODULO FOTOVOLTAICO

Los módulos necesitan muy poco mantenimiento y raramente fallan. Tan solo es necesario mantenerlos libres de sombra durante el año. El polvo no afecta significativamente la producción de energía de los módulos. Pero si se acumula demasiado polvo, se puede lavar el panel vertiendo una cubeta de agua. Esta limpieza debe realizarse temprano en la mañana, antes de que los módulos se calienten.

#### 2.1.3.1 EFECTO DE LA IRRADIANCIA SOLAR Y LA TEMPERATURA

Los datos de placa de un modulo fotovoltaico sólo son verificables a condiciones estándares de prueba (CEP). Durante su operación, la irradiancia solar y la temperatura raramente corresponden a las CEP y por consiguiente no se obtienen los datos de placa. La irradiancia solar afecta la corriente y la potencia del módulo en forma proporcional, pero, no afecta el voltaje apreciablemente. Por ejemplo, un módulo fotovoltaico puede producir solamente 50% de su potencia nominal cuando la irradiancia es  $0.5 \text{ kW/m}^2$ . La temperatura de la celda afecta el voltaje y la potencia del módulo, pero el efecto es menor. Se puede esperar una reducción en voltaje y potencia de aproximadamente de 0.5% por cada grado centígrado, en las celdas, por encima de  $25^\circ\text{C}$ . Los módulos fotovoltaicos operan típicamente a una temperatura de celda cercana a  $55^\circ\text{C}$ . Esto significa que sólo pueden producir 85% de la potencia nominal a plena irradiancia solar. Cuando operan cerca de su punto de potencia máxima, los módulos cristalinos comerciales tienen una eficiencia de aproximadamente 13%. En otras palabras, 13% de la irradiancia solar efectiva que incide en su superficie puede ser transformada en potencia eléctrica. Los módulos amorfos actuales tienen una eficiencia de hasta 10%. En la Figura 2.6 se observan los efectos de la temperatura y la irradiancia solar sobre el voltaje y la corriente.



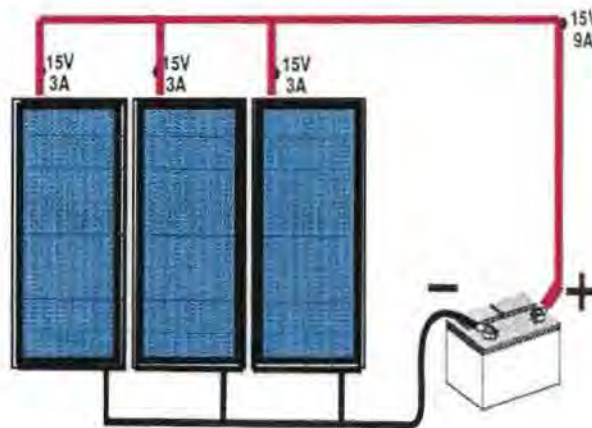
**Figura 2.6** Gráficas en donde se observa el efecto de la irradiancia solar y la temperatura.

## 2.2 ARREGLO FOTOVOLTAICO

Un arreglo fotovoltaico es un conjunto de módulos fotovoltaicos interconectados en serie y/o paralelo. Dos o más módulos conectados en serie forman una hilera o cadena. Puede haber una o más hileras o módulos fotovoltaicos individuales conectados en paralelo. En la Figura 2.7a se muestra un arreglo fotovoltaico, conectado en paralelo, en la Figura 2.7b se observan tres módulos fotovoltaicos pero conectados en serie. La curva I-V del arreglo tiene la misma forma que la curva I-V de los módulos individuales, pero con los parámetros de potencia, corriente y voltaje a escala de acuerdo al número de módulos conectados en serie y en paralelo. El número de módulos en cada hilera determina el voltaje nominal del arreglo.

**Conexión en paralelo:** La terminal (+) de un módulo se conecta a la terminal (+) del otro, y lo mismo con las terminales (-) de cada módulo.

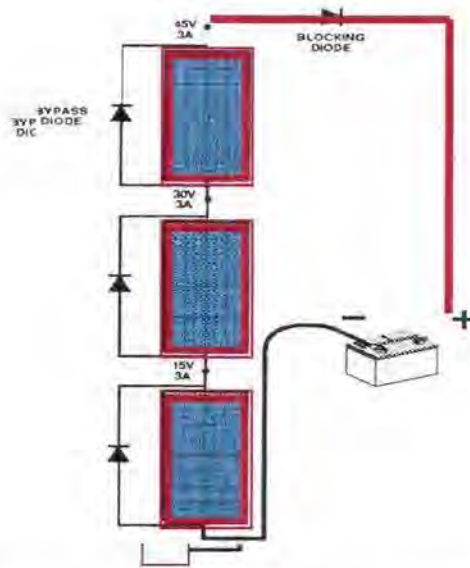
Cuando los módulos se conectan en paralelo se incrementa la corriente. La corriente de salida es la suma de la corriente de cada módulo conectado en paralelo.



**Figura 2.7a** Esquema de un arreglo fotovoltaico conectado en paralelo

**Conexión en serie:** La terminal (-) de un módulo se conecta a la terminal (+) del otro. Cuando los módulos se conectan en serie, se incrementa el voltaje. El voltaje de salida es la suma del voltaje de cada módulo.





**Figura 2.7b** Esquema en donde se muestra un arreglo de tres módulos fotovoltaicos conectados en serie.

## 2.2.1 INSTALACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los arreglos fotovoltaicos se pueden instalar sobre el terreno, techos o en postes. Si la inclinación y orientación del techo lo permiten, se pueden instalar los módulos sobre rieles fijados con tornillos a partes principales del techo. Siempre se debe dejar suficiente espacio para que el aire circule libremente por la parte posterior de los módulos.

Un punto muy importante es que los módulos fotovoltaicos deben estar orientados al sur e inclinados formando un ángulo con la horizontal que sea igual a la latitud del lugar para el caso del hemisferio norte y para el hemisferio sur orientados hacia el norte. La estructura y los accesorios de montaje deben ser de metal resistente a la corrosión como aluminio y acero galvanizado o acero inoxidable. La estructura debe ser permanente y debe resistir la carga de vientos.

En la siguiente sección se describen brevemente las baterías usadas para el almacenamiento de energía en los SFV, sus características, ventajas y desventajas y la razón que las hace diferente de los demás tipos de baterías.

## 2.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

Las baterías o los acumuladores son dispositivos que almacenan energía eléctrica. Las baterías cumplen varias funciones independientes en los SFV: almacenan la energía eléctrica para su uso por la noche, permiten la operación de las cargar durante periodos de poco Sol, estabilizan el voltaje del sistema y absorben transitorios.

El uso de baterías tiene desventajas significativas. Es preferible no utilizar baterías cuando es posible acoplar la carga directamente al arreglo fotovoltaico y por supuesto



cuando no se necesita almacenamiento. Las baterías aumentan el costo del sistema, aumentan los requisitos de mantenimiento, disminuyen el rendimiento del sistema debido a la pérdida de capacidad y, representan un riesgo potencial de causa de accidentes y de contaminación.

### 2.3.1 TIPOS DE BATERÍAS

Las baterías de ciclo profundo tienen placas gruesas y están diseñadas para descargarse repetidamente por horas sin sufrir daño significativo. En cambio las baterías de arranque tienen placas más frágiles y están diseñadas para entregar corrientes altas durante solo por pocos segundos (baterías automotrices). Algunas baterías de arranque denominadas marinas tienen placas de grosor intermedio. Los baterías de ciclo profundo son las más apropiadas para SFV independientes. Las marinas pueden dar resultados aceptables si se tiene mucho cuidado de no descargarse demasiado. Solo las baterías de ciclo profundo resisten las descargas profundas que normalmente ocurren en los SFV independientes.

Las de plomo-ácido pueden ser de electrolito líquido o electrolito cautivo. Las baterías de electrolito líquido por lo general son "abiertas", lo que quiere decir que se les puede agregar agua. Son más robustas y más duraderas si se tiene cuidado de agregar agua periódicamente. Las de electrolito cautivo incluyen las gelatinosas y las de electrolito absorbido (AGM). Los fabricantes las denominan "libres de mantenimiento" o "selladas" porque no tienen orificios para agregarles agua. Este tipo de batería requiere mayor cuidado al recargarlas porque una sobre-recarga las puede arruinar.

Hay varios tamaños estándares (dimensiones de largo, ancho y alto) de baterías de plomo-ácido. Las más comunes baterías de 12 V de aproximadamente 85 Y 100 A-h de capacidad nominal, respectivamente. Las versiones de 6 V de las mismas dimensiones son de aproximadamente 200 A-h.

En cuanto a los postes o terminales, también hay varias configuraciones estándares. Dos tipos de terminales se muestran en la figura 1.10. Las terminales que aceptan tornillos (como las "a" y "b") son más recomendables porque permiten conexiones eléctricas más eficaces y duraderas. Se debe evitar el uso de terminales automotrices o tipo "T".



Figura 2.8 Fotografía de: a) Terminal tipo Z y b) Terminal tipo V

### 2.3.2 CAPACIDAD NOMINAL Y RÉGIMEN DE CARGA Y DESCARGA

La capacidad nominal de una batería se refiere a la capacidad de almacenamiento de energía y se expresa en Amperes- hora (A-h).

Las baterías de arranque vienen caracterizadas por su amperaje de arranque, CA (cranking amps) o CCA (cold cranking amps), por su capacidad de reserva. Estas caracterizaciones solo son relevantes para aplicaciones de arranque y no para ciclo profundo. Las verdaderas baterías de ciclo profundo deben especificar su capacidad en A-h.



**Figura 2.9** Fotografía de una batería plomo ácido libre de mantenimiento.

### 2.3.3 ESTADO DE CARGA Y PROFUNDIDAD DE DESCARGA

El estado de carga de una batería es la capacidad o los amperes-hora remanentes, y se expresa como porcentaje de la capacidad nominal. Por ejemplo, si una batería de 200 A-h tiene 150 A-h remanentes (es decir se le han extraído 50 A-h), su estado de carga es 75%. El porcentaje de la capacidad nominal extraído se conoce como profundidad de descarga. En el caso anterior, la profundidad de descarga es 25%.

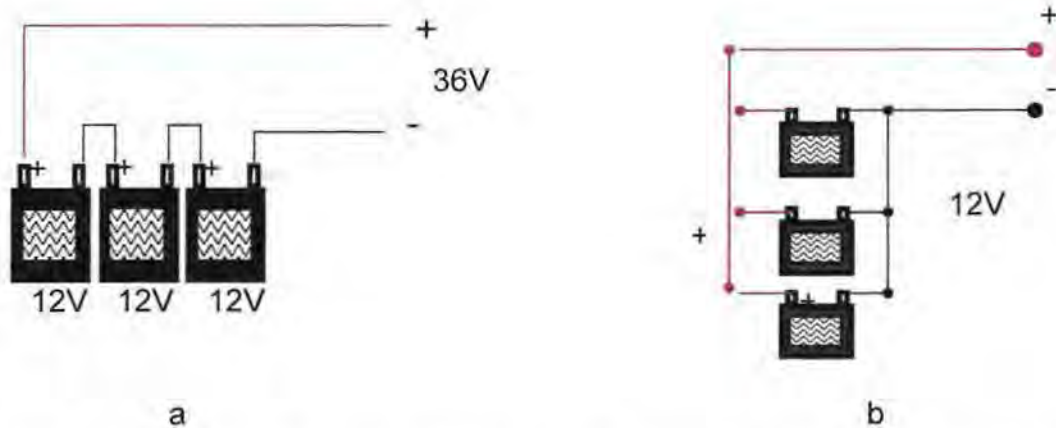
### 2.3.4 BANCO DE BATERIAS

Un banco de baterías es la conexión de dos a más baterías conectadas en serie o en paralelo según los requerimientos del sistema.

La capacidad de un banco de baterías se dimensiona en función de la energía consumida diariamente por las cargas eléctricas y la autonomía requerida en el sistema. En un SFV la autonomía del banco de baterías es el número de días que funcionarían las cargas eléctricas con cero insolación.

La conexión en serie incrementa el voltaje, la conexión en paralelo aumenta la corriente.





**Figura 2.10** Esquema de: a) baterías conectadas Serie. b) baterías conectadas paralelo

### 2.3.5 MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES PARA EL USO DE BATERÍAS

El mantenimiento es sencillo y tiene efectividad si se sigue con cuidado, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante para el tipo de batería empleado.

En general el mantenimiento consiste en:

Limpieza de las terminales de la celda para eliminar depósitos (usualmente sulfatos) y aplicación de grasa anticorrosivo. Existen compuestos en el mercado específicamente para ello que permiten extender los periodos entre cada limpieza.

Adición de agua en el caso de celdas "inundadas". Nunca se debe añadir ácido porque éste no se pierde en los procesos de carga y descarga de la batería. El agua debe estar libre de minerales (destilados o desmineralizados). Si se añade agua común, las pérdidas por electrólisis y la auto-descarga se incrementa. Nunca debe permitirse que el nivel de electrolito baje tanto que deje al descubierto las placas.

Las baterías requieren atención especial para lograr una vida útil aceptable. También pueden causar contaminación y lesiones al personal. Para comenzar, se debe escoger una batería buena de ciclo profundo y un regulador de carga compatible de alta calidad. Se debe seguir un régimen estricto de mantenimiento (agregar agua, controlar la corrosión, apretar las terminales etc.) se debe restringir el acceso a niños y se deben tomar medidas para evitar corto circuitos accidentales.

Las baterías se deben instalar en un lugar bien ventilado, deben descansar firmemente sobre el suelo, pero no en contacto directo con el piso. Se pueden montar sobre piezas de madera u otro material no metálico. El calor excesivo reduce drásticamente la vida de las baterías. Se deben instalar a la sombra y lejos de fuentes de calor. Es recomendable llevar una bitácora de mantenimiento.

## 2.4 CONTROLADOR DE ENERGÍA

Las baterías requieren protección contra sobre-carga y sobre-descargas para que tengan una vida útil aceptable.

El controlador de carga es un dispositivo electrónico que regula el estado de carga entre límites preestablecidos. El voltaje de las baterías se mide y se toma como factor principal para estimar el estado de carga. Algunos acondicionadores miden la temperatura de la batería, además del voltaje, para estimar el estado de carga. Es muy importante el uso de un controlador de carga para incrementar la vida útil de su banco de baterías.

Es importante conocer el funcionamiento de un regulador o controlador de carga, porque este es necesario para el banco de baterías de un SFV.

Por las particularidades de cada tipo de batería, es importante seleccionar controladores compatibles. La mayoría de los acondicionadores frecuentemente tienen luces o pantalla que ayudan al operador a monitorear el funcionamiento del sistema.

### 2.4.1 TIPOS DE CONTROLADORES

Hay dos tipos de controladores: regulador de recarga y controlador de descarga que protegen las baterías contra sobre-carga y sobre-descarga, respectivamente. Algunos fabricantes integran las dos funciones de protección de las baterías en un solo dispositivo que se denomina "regulador con control de carga" o regulador con LVD (desconexión por bajo voltaje). Estos reguladores con control de carga son particularmente útiles en sistemas pequeños con cargas de corriente continua solamente, como es el caso de los sistemas básicos de iluminación rural.

### 2.4.2 VOLTAJE Y CORRIENTE

Los controladores deben estar especificados para trabajar al voltaje nominal del sistema. Casi todos los SFV pequeños trabajan a 12 o 24 V. Los controladores deben tener suficiente capacidad o amperaje para manejar la corriente de la fuente fotovoltaica y las cargas. Como regla general, la corriente de entrada del controlador deben ser por lo menos 50% mayor que la corriente de corto circuito del arreglo fotovoltaico. Si se prevé un aumento de la potencia del arreglo fotovoltaico en el futuro cercano, esto se debe tomar en cuenta al momento de seleccionar el controlador. De la misma manera, se recomienda que la capacidad de salida del controlador de descarga sea por lo menos 50% mayor a la corriente máxima de la carga.

Los controladores consumen energía mientras estén conectados a las baterías, aun cuando no estén recargando las baterías o alimentando cargas. El auto-consumo se especifica como corriente de "standby". Esta corriente es del orden de 0.2 A hasta 30 A, si este consumo es significativo, hay que tomarlo en cuenta en el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico.



### 2.4.3 OPERACIÓN

El método de recarga más común en SFV pequeños es el de "encendido- apagado", que consiste en desconectar las baterías cuando el voltaje alcanza un voltaje máximo de recarga (aproximadamente 14.3 V para baterías de plomo-ácido) y reconectarlas cuando el voltaje baja a alrededor de 13.5 V. una manera más eficiente de recargar la baterías es utilizando "modulación de ancho de impulso" o PWM. Algunos fabricantes ofrecen reguladores de estado sólido con este método de recarga a precios razonables. En cuanto al control de carga, el objetivo es asegurar que las baterías nunca se descarguen demasiado. La protección se logra desconectando las cargas cuando el voltaje baja a un nivel preestablecido (LVD). En los sistemas fotovoltaicos pequeños, el voltaje de desconexión debe ser de 11.3 y 11.5 V para una profundidad de descarga máxima de 80%. En algunos modelos de controladores, el punto de desconexión es ajustable. Es importante entender el punto de la máxima profundidad de descarga que la batería puede resistir unas cuantas veces por año, cuando se tienen varios días consecutivos de baja irradiancia solar. No se debe permitir que las baterías lleguen a este voltaje diariamente porque su vida útil se acortaría.

Un problema común en los proyectos de desarrollo rural es que los usuarios conectan las cargas directamente a las baterías para poder extraer hasta el último ampere-hora disponible. Esta práctica, combinada con la utilización de baterías automotrices o de baja calidad, resultan en pocos ciclos de vida útil, y en consecuencias altos costos y acumulación de desechos tóxicos en las comunidades. En un programa de desarrollo, los usuarios deben entender claramente las consecuencias de hacer "conexiones hechizas".

### 2.4.4 OPCIONES

Además de protección, es bueno considerar otras opciones disponibles para reguladores y controladores. La mayoría de los controladores viene con indicadores del estado de carga de la batería ("cargada"). Los indicadores pueden ser luces de colores o medidores de voltaje análogos o digitales. Algunos controles también tienen medidores de corriente. La mayoría tienen algún tipo de alarma audible para indicar que las baterías están cerca del punto de desconexión por bajo voltaje.

Los reguladores y controladores deben tener algún tipo de protección contra sobrecorriente (fusibles) para evitar daños en caso de ocurrir un corto circuito. Algunos reguladores de estado sólido limitan la corriente en forma electrónica en vez de fusibles. También se recomienda que los controles estén protegidos contra polaridad invertida porque no es muy difícil equivocarse al momento de instalarlos. Algunos modelos tienen un interruptor que permite desconectar fácilmente las cargas para mantenimiento y reparación. Compensación por temperatura es otra opción recomendable, especialmente si las baterías van a operar a temperaturas por encima de 35°C o por debajo de 15°C. Algunos modelos de reguladores se pueden programar para aplicar una carga de igualación a las baterías periódicamente. Esta función solo se recomienda para baterías de plomo-ácido abiertas con electrolito líquido. Otra opción interesante para reguladores, es el rastreo de máxima potencia del arreglo. Lo cual les permite



operar el arreglo fotovoltaico en su punto de mayor potencia independientemente del voltaje de las baterías. Esta opción generalmente no está disponible en reguladores para sistema de menos de 1.0 kW.

### **2.4.5 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Los controladores y reguladores deben instalarse firmemente en un sitio con buena ventilación, sin que quede expuesto a los rayos solares. Debe quedar en una posición accesible para la inspección y el mantenimiento por parte del operador del sistema. Nunca se deben instalar muy cerca o en el mismo compartimiento de las baterías por que el gas que despiden las baterías es corrosivo. Es necesario que las terminales se mantengan apretadas, limpias y libres de corrosión. Si el regulador no entrega corriente a las baterías o el controlador no alimenta las cargas, se debe investigar y corregir la causa del problema antes de utilizar el sistema nuevamente. Debe asegurarse que las baterías estén bien conectadas, que el voltaje sea el adecuado que no halla cortocircuitos en el sistema. Posiblemente se tenga que cambiar un fusible o reemplazar el equipo.

## **2.5 INVERSORES**

Los inversores transforman la electricidad de corriente continua (c.c), a corriente alterna (c.a). El arreglo fotovoltaico y las baterías operan en corriente continua (c.c). Con frecuencia se requiere alimentar lámparas, radios y televisores pequeños que son compatibles con c.c estas cargas se pueden alimentar de las baterías, a través de un LVD. En este tipo de sistema no se necesita un inversor.

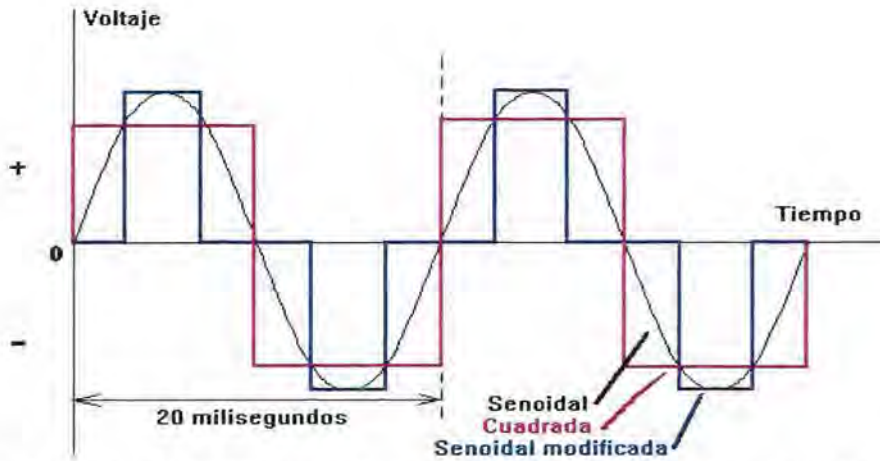
Los inversores son una opción interesante debido a la gran variedad de aparatos de bajo costo que funciona con c.a. Sin embargo, es recomendable operar la mayor parte de las cargas (o la totalidad si es posible) con corriente continua. Este evita la pérdida de energía que ocurre en el inversor. Sin embargo, aparatos como televisores a color, video –grabadora, impresora y receptores satelitales trabajan solamente con corriente alterna. Si se van a utilizar este tipo de aparato, es necesario instalar un inversor.

### **2.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS INVERSORES**

Técnicamente, la capacidad de salida del inversor se expresa en voltios-ampères (V-A) y no en watts. La corriente alterna que produce los inversores puede ser de onda cuadrada, senoidal modificada o cuasi-senoidal, ver Figura 2.11 Los inversores de onda cuasi-senoidal tiende a ser de mejor calidad y eficiencia, pero cuestan el doble o más que los de onda senoidal modificada o cuadrada. La señal de onda cuadrada puede ser perjudicial para la operación de algunos aparatos electrónicos por la alta distorsión armónica del voltaje. La mayoría de los inversores disponibles en el rango de menos de 50 VA a 1,000 VA son de onda senoidal modificada y son apropiadas para casi todas las cargas de c.a. se pueden conseguir inversores de este tipo con baja distorsión armónica, alta eficiencia y buena calidad.

Todos los inversores producen ruido electromagnético. Este ruido puede causar interferencia con aparato de sonido y video. Para reducir este efecto, simplemente

instale el inversor lejos de estos aparatos sensibles. Otra manera de atenuar el ruido electromagnético es hacer una buena conexión del chasis del inversor a tierra.



**Figura 2.11** Esquema de diferentes tipos de ondas producidas por un inversor.

### 2.5.2 VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA

El voltaje de alimentación en c.c. debe corresponder al voltaje de las baterías (12 V, 24 V, etc.). Los inversores de menos de 1,000, V-A son de 12 V o 24 V c.c. El voltaje de salida es de 120 V c.a. a 60 Hz, que es compatible con la electricidad de la red convencional. En gran parte de Sudamérica y muchas otras partes del mundo lo usual es 220 V c.a. y 50 Hz.

Sin embargo, si se están alimentando cargas como aparatos electrónicos, la capacidad en Watts es prácticamente equivalente a la capacidad en V-A. Generalmente hay dos especificaciones para la capacidad de salida: la capacidad continua y la capacidad de arranque. La capacidad continua debe ser suficiente para operar todas las cargas de c.a. a la vez. Durante el arranque, aparatos como televisores e impresores demandan una potencia en V-A varias veces mayor que la potencia continua. Esta demanda solo dura un periodo corto de tiempo. Los inversores tienen una capacidad de arranque de 2 o 3 veces mayor que la capacidad continua para estas situaciones. Si en algún momento se exceden la capacidad de salida, el inversor se auto-protege desconectando las cargas. Por lo general se requiere un restablecimiento manual o reemplazo de un fusible para que el inversor vuelva a trabajar.

Debido a que los inversores se conectan directamente a las baterías, es necesario instalar un dispositivo contra sobre-corriente (fusible o interruptor automático) entre las baterías y el inversor. Los fabricantes por lo general especifican el amperaje y tipo de este dispositivo.



### 2.5.3 EFICIENCIA

En la conversión de c.c. a c.a. se pierde energía en forma de calor. A mayor carga, mayor es la energía que se pierde. Los inversores de menos de 1,000 V-A tienen una eficiencia de tan solo 80 a 85% trabajando a plena capacidad.

Un hecho importante, que con frecuencia se ignora es el consumo energético de los inversores cuando no están alimentadas las cargas de c.a. pero están conectados a las baterías. Este consumo en "standby" se debe a los indicadores (luces y pantallas) y otros procesos internos. Los inversores de menos de 1,000 V-A pueden consumir de 4 a 7 W en "standby". Esta cantidad es significativa en los sistemas fotovoltaicos pequeños. Para ahorrar energía, es recomendable desconectar el inversor de las baterías cuando las cargas de c.a. no estén en uso.

**Ejemplo:** En una tele-secundaria, las cargas de c.a. operan 4 horas diarias por 5 días a la semana. Asumiendo una potencia de 150 W, la demanda energética semanal es de 3,000 W-h. Si el inversor consume 6 W en standby y se deja conectado a las baterías todo el tiempo, se desperdiciaría cerca de 900 W-h adicionales por semana. Esto significa que el arreglo fotovoltaico tendría que producir 30% más de energía.

### 2.5.4 INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los inversores deben instalarse firmemente en un sitio bien ventilado, sin que queden expuestos a los rayos solares. La mayoría de los modelos tienen ventiladores y radiadores para disipar el calor. Es importante que no se bloquee el flujo de aire. Se debe procurar que el inversor no quede expuesto al ácido y gases corrosivos que despiden las baterías.

Todas las conexiones deben ser accesibles para inspección y mantenimiento. El operador raramente necesita intervenir en la operación del inversor. Si los aparatos de consumo de c.a. no funcionan, se deben buscar fallas en el cableado o en los aparatos de consumo antes de buscar fallas en el inversor. El mantenimiento consiste en mantener las terminales apretadas, limpias y libres de corrosión.

## 2.6 CARGAS

El propósito de un SFV es alimentar las cargas eléctricas o aparatos de consumo. Estos aparatos son los que brindan el servicio que se requiere. Los usos típicos de los SFV incluyen iluminación, audio, bombeo, refrigeración, video, recepción de señal de satélites, telefonía y computación.

### 2.6.1 LIMITACIONES Y CONSERVACIÓN DE ENERGÍA

Los SFV se pueden utilizar para cualquier aparato electro-doméstico o de oficina siempre y cuando sean de bajo consumo. Se deben excluir inmediatamente aparatos como planchas, tostadores, lavadores, secadoras de cabello, aire acondicionado y estufa eléctrica.

Debido a las limitaciones del sistema, es muy importante que las cargas eléctricas sean las más eficientes posibles para lograr el beneficio esperado al menor costo posible. Además, el operador del sistema debe manejar las cargas con la mayor eficiencia posible para asegurar el buen uso de la cantidad de energía disponible. Como mínimo, se deben acatar las horas de uso diario asignadas en el diseño para cada aparato de consumo. Si no es posible controlar el uso de las cargas, es muy probable que el sistema no cumpla con los objetivos del proyecto.

## 2.6.2 ILUMINACIÓN

La iluminación es una de las aplicaciones más comunes de los SFV independientes. Además del uso doméstico, ya es común encontrar lámparas en escuelas, centros de salud y centros comunales funcionando con energía solar.

Para ahorrar energía, sólo se deben encender las lámparas cuando no hay suficiente luz natural para trabajar. Las edificaciones rurales: escuela, clínica y centros comunales entre otros deben diseñarse con ventanas amplias y así evitar la necesidad de iluminación artificial durante el día. A veces es factible realizar actividades en un horario que permita el aprovechamiento de la luz natural.

## 2.6.3 TIPOS DE LÁMPARAS RECOMENDADAS

Las lámparas más comunes son las incandescentes y las fluorescentes. Las fluorescentes son mucho mejores para SFV por su mayor eficiencia y durabilidad. Para producir la misma cantidad de luz, una lámpara incandescente consume cuatro veces más energía que una fluorescente. Las lámparas fluorescentes duran hasta 10 veces más que las incandescentes si se operan apropiadamente. Las lámparas fluorescentes disponibles en el mercado ya no interfieren con la estética, como los modelos de décadas pasadas. Los diodos foto-emisores (LEDs) son otra alternativa atractiva por su larga durabilidad y alta eficiencia. En la actualidad, las lámparas de este tipo con suficiente luminosidad son difíciles de encontrar.

Hay diferentes tipos de lámparas fluorescentes en cuanto a potencia, como se indica en la Tabla 1. Las lámparas de 9 W, 13 W y 20 W son las más comunes en los SFV. La luminosidad en lúmenes está relacionada con la potencia en Watts. Como punto de referencia, una lámpara fluorescente de 15 W produce aproximadamente la misma cantidad de luz que una lámpara incandescente de 60 Watts. Vale mencionar que las lámparas de c.c. son idénticas a las de c.a.; sólo cambia el balastro.

**TABLA 2.1** Tipos comunes de lámparas fluorescentes.

Modelos comunes	Lúmenes	Potencia W	Tipo
PL - 7	400	7	COMPACTA
PL-9	500	9	COMPACTA
PL-13	700	13	COMPACTA
F15T8	800	15	TUBULAR
F20T12	1250	20	TUBULAR
F400T12	2000	40	TUBULAR



## CAPITULO III SISTEMA DE ELECTRIFICACIÓN FOTOVOLTAICA DE NUEVO BECAR

En este capítulo se presenta el análisis del proyecto de electrificación rural con SFV (en la población de Nuevo Becar, Quintana Roo). El capítulo está estructurado de la siguiente forma: se inicia con la descripción del sitio de estudio (Nuevo Becar). Se plantea la metodología utilizada y con base en esto se desarrolla el análisis del proyecto.



**Figura 3.1** Mapa de localización de la población de Nuevo Becar. Señalado en el círculo rojo

### 3.1 COMUNIDAD DE NUEVO BECAR

La comunidad de Nuevo Becar se localiza en la parte suroeste del estado de Quintana Roo, a 122 km de la ciudad de Chetumal. Pertenece al municipio de Othon P. Blanco. Su principal actividad económica es la agricultura y la explotación de maderas preciosas. Se llega por la carretera federal Chetumal – Escárcega para después tomar un camino rural de 36 km hasta llegar a la población (ver Figura 3.1).

La comunidad cuenta con servicio de agua potable, no cuenta con pavimento, ni drenaje. No se cuenta con servicio de la red eléctrica de la comisión federal de electricidad (C.F.E) debido a que la comunidad se encuentra a 36 Km. de distancia de la red. Es por esto que se decidió electrificar con SFV. El proyecto de electrificación inicialmente contó con 120 SFV autónomos, los cuales básicamente están constituido por un generador de energía eléctrica (modulo fotovoltaico), un controlador de carga, un



almacenador de energía eléctrica (batería), cables, interruptores y cargas. Fueron instalados en la comunidad en el año de 1992 a través de una donación por medio de gestiones del municipio de Othon P. Blanco y el Gobierno del Estado de Quintana Roo, a través del programa de Solidaridad en el sexenio del presidente Carlos Salinas de Gortari (1988-1994).



**Figura 3.2** Fotografía de la comunidad de Nuevo Becar.

Como ya se mencionó en el primer capítulo el objetivo de este trabajo es analizar de manera cualitativa y cuantitativa el proyecto de electrificación rural de esta comunidad por lo que se desarrollo; una metodología de trabajo, la cual se explica en la siguiente sección.

### **3.2 METODOLOGIA**

Se realizó una revisión bibliográfica acerca de la evaluación y/o seguimiento de proyectos fotovoltaicos en comunidades rurales, particularmente proyectos de electrificación rural implementados en Quintana Roo. Específicamente para el municipio de Othon P. Blanco se obtuvieron los datos acerca de cuantas y cuales comunidades cuentan con proyectos de electrificación rural con SFV. De un total de 44 comunidades que en 2004 contaban con SFV en el municipio, se seleccionó la comunidad de Nuevo Becar debido a dos factores: tiene el mayor número de SFV instalados y el acceso a la comunidad es fácil: aproximadamente 2 horas en automóvil saliendo de la ciudad de Chetumal.

Una vez seleccionada la comunidad de Nuevo Becar se realizaron tres visitas al lugar en el periodo comprendido de mayo 2004 a enero de 2006 en donde se desarrollaron las siguientes actividades:

- Se realizo un censo de cuantos SFV fueron inicialmente instalados, y cuantos están actualmente funcionando.
- Se obtuvieron datos de cada uno de los SFV instalados, como son: localización, aplicación, distancia, responsable o usuario.

- Se aplico un cuestionario a los usuarios. (Anexo 2)
- Se verifico el estado de funcionamiento de los principales componentes del SFV, como son las baterías, los módulos fotovoltaicos y los controladores de carga.
- Para el caso específico de los módulos fotovoltaicos se observo la posición del mismo: orientación, inclinación, estructura de montaje y el sitio de colocación de sombras.
- Se verifico el estado físico y operativo de las baterías, principalmente el estado de carga de las mismas.
- Fue revisada la instalación eléctrica como son los interruptores y los registros, etc.
- Por ultimo se verifico el funcionamiento de las luminarias o cargas y se llevo un registro fotográfico de la comunidad.

Con toda la información recabada se verifico (dependiendo el tipo de SFV) si el dimensionamiento del SFV es el adecuado (esto es la capacidad de generación de energía eléctrica con el modulo fotovoltaico y la capacidad de almacenamiento de energía en una batería para satisfacer ciertas cargas eléctricas), se hace un análisis crítico del proyecto de electrificación en donde se destacan las cualidades y defectos del proyecto en general,

Por último se señalan una serie de recomendaciones por cada componente del proyecto de electrificación: modulo fotovoltaico, batería, controlador de carga, inversor, instalación eléctrica y cargas eléctricas.

### **3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

En la comunidad de Nuevo Becar se utiliza la energía solar fotovoltaica básicamente para dos principales aplicaciones: una de tipo casa habitación y la otra para educación. La población actualmente cuenta con dos escuelas: una de nivel primario y otra secundaria (tele-secundaria), un centro de salud, dependiente de SESA<sup>4</sup>, una tienda rural y un cine. Todos estos servicios pueden funcionar usando a la energía solar.

Por cuestiones prácticas en las siguientes secciones, se presentaran cada uno de los componentes del SFV para cada aplicación: vivienda y educación, en donde se describirán las características y el estado en que se encuentran. Se presentaran las recomendaciones necesarias.

De los 120 sistemas instalados en 1992, actualmente existen instalados solo un 60 % (72 sistemas), de éstos, 69 son de tipo residencial, 2 para fines educativos y uno del hospital. Del 40% restante (48 sistemas) una parte fue vendida por los propietarios, principalmente a los mismos vecinos. Otra parte fue llevada a otros pueblos. Debido a que los propietarios se fueron a vivir a otras comunidades, no se obtuvieron datos donde se constate que uno o algunos de los sistemas fueron destruidos o abandonados.

\* Servicios estatales de salud de Quintana Roo.



### 3.3.1 MODULOS FOTOVOLTAICOS

#### - Casa habitación

Básicamente el componente de generación de energía eléctrica del sistema residencial, es un módulo fotovoltaico de 48 Wp, de silicio monocristalino de la marca Siemens. En la Tabla 3.2 se muestran las características eléctricas, extraídas de los datos de placa del módulo. Los 69 módulos, uno por cada vivienda, están orientados correctamente hacia el sur e inclinados  $18^\circ$ . En un 45 % (32 módulos) el entorno de los módulos no es el adecuado, ya que sobre éstos hay sombras producidas por de ramas de árboles, ver Figura 3.3, Esto repercute directamente en el rendimiento del módulo fotovoltaico, además de que también causa, con el tiempo, la aparición de puntos calientes que ocasionan una disminución del tiempo de vida del modulo fotovoltaico, ver Figura 3.4

Se midió el estado de carga de cada modulo fotovoltaico y se observó que el 100% de los módulos fotovoltaicos están metiendo carga a las baterías. Es decir, que en cuanto a los módulos, éstos están funcionando correctamente. En cuanto a los cables, se observó que se encuentran en buen estado físico a pesar de que no cuentan con canalización eléctrica. Con respecto a las bases que soportan los módulos fotovoltaicos se observó que estas están hechas de tubería galvanizada cedula 40, están fijadas a una base de cemento y se encuentran a una altura adecuada (en promedio dos metros). Esto es importante ya que es difícil que puedan ser alcanzadas por algún curioso y provocar un accidente.

**Tabla 3.2** Datos de las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos de la viviendas.

Potencia máxima	48 Wp
Voltaje a circuito abierto	19.8 V
Corriente a corto circuito	3.35 A
Voltaje a potencia máxima	15.9 V
Corriente a potencia máxima	3.02 A

Por lo que respecta a los módulos fotovoltaicos se formulan las siguientes recomendaciones:

- 1.- Recortar periódicamente las ramas de los árboles, si estas están afectando al modulo fotovoltaico.
- 2.- Limpiar los módulos con una franela, mínimo cada mes, para evitar que se acumule polvo u otras sustancias que puedan afectar la generación de energía eléctrica.
- 3.- Revisar el estado físico de los cables para detectar a tiempo si están en mal estado y evitar un accidente.



**Figura 3.3** Fotografía de un módulo fotovoltaico donde se observan sombras a causa de un árbol.



**Figura 3.4** Fotografía de un modulo fotovoltaico en la que se observan puntos calientes los cuales son las partes mas claras del modulo fotovoltaico.

### -Educativo (escuela)

Para el caso de la aplicación educativa se tienen dos sistemas: uno para la escuela Primaria y otro para la escuela Secundaria.

En la escuela Primaria el sistema esta totalmente abandonado, según información proporcionada por autoridades de la escuela, este sistema solo opero en los primeros dos años. El arreglo fotovoltaico está compuesto por 4 módulos de 80 Wp. Esta instalado y conectado, pero el sistema de control y almacenamiento están totalmente descompuesto.

En el caso de la secundaria el sistema esta compuesto por un arreglo de 8 módulos de 80 Wp de silicio monocristalino de la marca kyocera (Tabla 3.3). Se realizaron mediciones de voltaje a cada uno de los módulos del arreglo, obteniendo 14.0 V en



promedio, lo que nos indica que se encuentran en óptimas condiciones de operación. El arreglo se encuentra orientado hacia el sur, con un ángulo de inclinación de  $18^\circ$ , lo cual indica una buena inclinación (Anexo 3). En cuanto a la ubicación ésta se puede considerar aceptable, ya que no se observan, a su alrededor, árboles u otros objetos que puedan causar sombras. Los módulos fotovoltaicos se encuentran instalados sobre una estructura de aluminio, empotrados en la azotea de uno de los edificios (ver figura 3.5), el estado físico de los cables es buena. Tomando en cuenta todo lo observado, se recomienda sólo limpiar periódicamente los módulos fotovoltaicos.

**Tabla 3.3** Datos de las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos de la tele secundaria.

Potencia máxima	80 Wp
Voltaje a circuito abierto	21.5V
Corriente a corto circuito	4.97 A
Voltaje a potencia máxima	16.9V
Corriente a potencia máxima	4.73A



**Figura 3.5** Fotografía del arreglo fotovoltaico de la tele secundaria.

### 3.3.2 BATERÍAS

#### - Casa habitación

El componente de almacenamiento de energía es a base de baterías de 12 volts. Se contabilizó un total de 82 baterías, todas de tipo automotriz en las viviendas (una para cada sistema), pero también se encontraron algunas viviendas que contaban con 2 baterías. Se realizaron mediciones de voltaje de las baterías, se obtuvo un promedio de 12.5 V lo que indica que se encuentra en buen estado, están reteniendo la carga mandada por el módulo fotovoltaico. En este punto se obtuvo un dato importante; solo al inicio de proyecto se utilizaron baterías apropiadas para sistemas fotovoltaicos,



posteriormente por la facilidad de adquirirlas y el costo, se cambiaron a baterías automotrices.



**Figura 3.6** Fotografía de una batería automotriz.

En la encuesta realizada (anexo 2) se cuestiono el por que de no utilizar baterías apropiadas para sistemas fotovoltaicos (de ciclo profundo), la respuesta fue por el precio el cual esta entre un 50 y 60% más caras, lo que repercute en su economía, ya que en la actualidad la batería de ciclo profundo cuesta alrededor de \$1500 la más económica y la automotriz en \$600 o menos. Cabe mencionar que en una de las tiendas de la comunidad se venden baterías automotrices, por lo que no es necesario trasladarse hasta Chetumal para conseguirlas. Además, de que el vendedor da cierta "asesoría técnica". Estas baterías en promedio les duran dos años por lo cual están satisfechos, ya que llevan mas de 10 años utilizándolas y son de fácil acceso para adquirirlas.

Los cables se encuentran un poco deteriorados y no son los adecuados (anexo 2), como se puede observar en la Figura 3.6 no hay un lugar destinado para la batería, lo cual puede ocasionar un accidente.

#### **- Educativo**

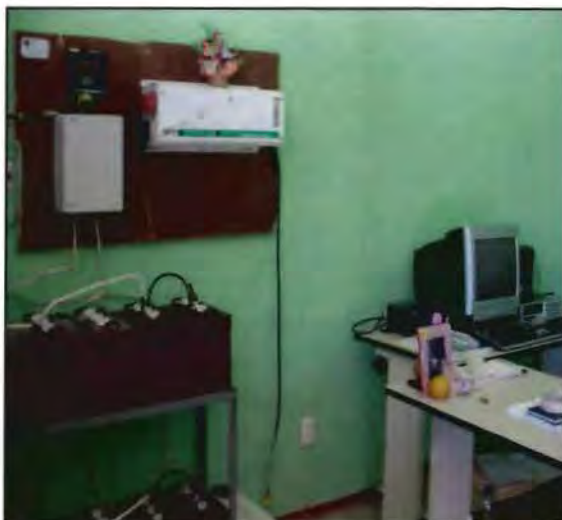
El banco de baterías del arreglo fotovoltaico esta compuesto por 12 baterías de 6 volts nominal de plomo-ácido de ciclo profundo de capacidad 225 A-h (figura 3.7), conectadas en serie-paralelo el voltaje de operación del sistema es de 24 V, la lectura de voltaje del arreglo fotovoltaico marco 20.7 V, ver figura 3.8, lo cual indica que no se encuentra en optimas condiciones. También se observó el lugar donde se encuentran el banco de baterías, no es recomendable ya que comparten espacio con la oficina de computo lo cual es un riesgo para la seguridad de los usuarios como se muestra en la Figura 3.9, el estado de las baterías no es bueno ya que se encuentran sulfatadas lo cual se ve reflejado en la lectura del voltaje, los cables se encuentran en buen estado a excepción de las terminales las cuales están sulfatadas.



**Figura 3.7** Fotografía del banco de baterías de la tele secundaria.



**Figura 3.8** Fotografía del controlador de carga de la tele secundaria indica una lectura de 20.7 V.



**Figura 3.9** Fotografía de la oficina de computo.



Para las baterías se emiten las siguientes recomendaciones.

- 1.- Destinar un lugar ventilado para instalar el banco de baterías.
- 2.- Utilizar baterías de ciclo profundo.
- 3.- Revisar mensualmente el estado de agua de las baterías en el caso que no sean libres de mantenimiento.
- 4.- Revisar las terminales de las baterías
- 5.- Revisar los cables.
- 6.- Limpiar periódicamente las baterías para evitar que el polvo las sulfate.

### 3.3.3. CONTROLADOR DE CARGA

#### - Casa habitación

El sistema cuenta con un controlador de carga de la marca Condumex que trabaja con voltajes de 12 ó 24 V y una corriente máxima de 30 A. El controlador se encuentra instalado dentro de la vivienda. En la Figura 3.10 se observa un ejemplo de las condiciones en que se encuentran instalados la mayoría de estos equipos. La mayoría de los equipos se encuentran sucios.

#### *Recomendaciones*

En el caso de los SFV se recomienda que el equipo de distribución de energía, en este caso el controlador de carga, se encuentre instalado en un área exclusiva, libre del paso de personas, de insectos y protéjalo de las inclemencias meteorológicas. Así como se debe hacer una inspección periódica para realizar limpieza y observar el estado de las conexiones y así corregirlas.



**Figura 3.10** Fotografía de un controlador de carga de la marca condumex.



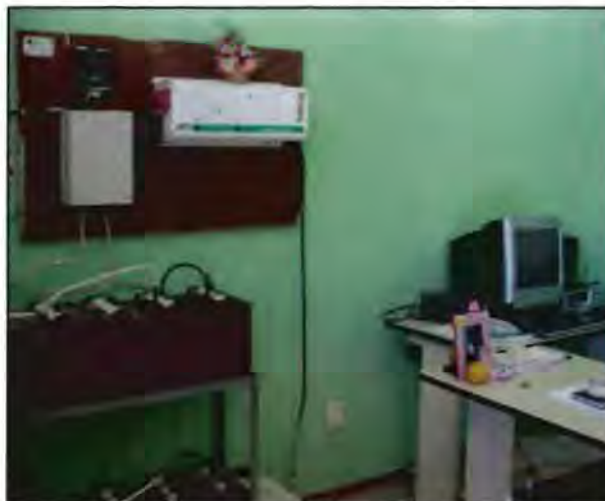
**- Escuela**

El sistema cuenta con un controlador de carga de la marca lyncom digital, que trabaja con voltajes de 12 ó 24 y una corriente máxima de 30 A. Se encuentra en buenas condiciones. El sistema de cableado es el adecuado. En la figura 3.8 se observa la fotografía de este equipo.

Para el caso de la escuela, se utiliza un inversor de la marca TRACE de 1500 W como se muestra en la Figura 3.11 el cual convierte corriente directa a corriente alterna, la salida de voltaje es de 115 V. Su ubicación es la oficina de cómputo la cual no es la adecuada. Por lo observado se recomienda reubicar el sistema a un área exclusiva con el fin de que el sistema opere óptimamente.



**Figura 3.11** Fotografía del inversor de la tele secundaria.



**Figura 3.12** Fotografía de localización del sistema de la tele secundaria.

### 3.3.4 INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y CARGAS

#### - Casa habitación

En general las instalaciones eléctricas de las viviendas no se encuentran en buenas condiciones, debido principalmente a que los cables no están protegidos por canalizaciones, estos se encuentran a la intemperie y no cuentan con un centro de carga. Las cargas que alimentan el sistema básicamente consiste de 3 lámparas fluorescentes de 13 W, todas las cargas funcionan. ver Figura 3.13



**Figura 3.13** Fotografía de una lámpara típica de 13 W Instalada en todas las casas de la comunidad.



**Figura 3.14** Fotografía del equipo de computo.

**- Escuela**

La instalación eléctrica esta formada por un centro de carga, el cual tiene 3 circuitos: uno para iluminación, una para el equipo de cómputo y otro para el equipo de sonido. Los cables se encuentran en buenas condiciones.

**3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA**

En este apartado se realiza el ejercicio de dimensionamiento de los sistemas, con el fin de conocer si estos están bien diseñados y pueden satisfacer las necesidades especificadas en el proyecto inicial.

**- Casa Habitación**

**Tabla 3.4** Cuadro de cargas y consumo diario del SFV de las viviendas rurales

CARGA	Vn (V)	Pn (W)	Ic (A)	CANTIDAD	REGIMEN DE USO (Hr/día)	CONSUMO (A-h)
LAMPARA AHORRADORA	12	13	1.08	3	4	12.96
RADIO	12		1.0	1	6	8
						20.96

Para el cálculo de los módulos fotovoltaicos se utilizará el método de los A-h, y la siguiente formula:

$$N_p = \frac{E_c \cdot F_s}{H_p \cdot I_m \cdot \eta_w \cdot \eta_c \cdot \eta_{cb}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde

- N<sub>p</sub> = Número de módulos
- E<sub>c</sub> = Es la energía total a consumir por las cargas (A-h)
- F<sub>s</sub> = Factor de sobredimensionamiento (5% al 10%)
- H<sub>p</sub> = Recurso solar disponible en horas pico
- I<sub>m</sub> = Corriente del modulo en el punto de máxima potencia en condiciones CEP
- η = Es la eficiencia en el manejo de energía
- η<sub>w</sub> = Eficiencia de los cables (97%)
- η<sub>c</sub> = Eficiencia del controlador (97%)
- η<sub>cb</sub> = Eficiencia coulombica en batería (95%)



Para este caso se considera un recurso solar de 4.5 horas pico y un Factor de sobredimensionamiento de 5%. Por lo que sustituyendo los datos en la ecuación (1) se tiene que Np o número de módulos es igual a 1.8.

Lo que significa que el sistema debe estar compuesto por 2 módulos fotovoltaicos.

Para calcular el banco de baterías se utiliza la siguiente formula

$$C_B = \frac{Ec \cdot AU}{fu \cdot Fi} \dots\dots\dots(2)$$

Donde

$C_B$  = capacidad del banco de baterías

$Ec$  = energía consumida expresada en A-h

$Au$  = autonomía del sistema expresada en días

$Fu$  = factor de uso de batería

$Fu = 0.5$  para placas delgadas y  $0.8$  para placas gruesas.

$Fi$  = factor de incremento en la capacidad debido a una razón de descarga mas lenta

$Fi = 1.05$  para placa delgada  $Fi = 1.35$  para placa gruesa.

Para este sistema se consideran 4 días de autonomía y sustituyendo los valores en la formula anterior se tiene que  $C_B$  o capacidad del banco de baterías es igual a 78 A-h  
Lo que significa que para este sistema se necesita una batería de ciclo profundo de alrededor 100 A-h.

En conclusión, el sistema necesita dos módulos fotovoltaicos de las mismas características con las que cuenta.

**- Escuela**

Se dimensiona el sistema con las cargas existentes para conocer si el sistema fue bien calculado.

**Tabla 3.5** cuadro de cargas y consumo diario del SFV de la tele secundaria

CARGA	Vn V	Pn W	Ic A	CANTIDAD	REGIMEN DE USO (hr/dia)	CONSUM O W-h
LAMPARA AHORRADORA	127	13	0.10	24	5	1560
IMPRESORA	127	100		1	3	300
COMPUTADORA	127	100		1	3	300
VENTILADOR	127	100		3	5	1500
					TOTAL	3660

Para los módulos fotovoltaicos se emplea el criterio de los watts-hora el cual se recomienda para sistemas con voltaje nominal mayor de 12 V.

$$M = \frac{E_c \cdot F_s}{P_M \cdot H_p \cdot \eta_w \cdot \eta_c \cdot \eta_I \cdot \eta_B \cdot \eta_T} \dots\dots\dots(3)$$

Donde

- M = Número total de módulos fotovoltaicos
- Ec = Energía total a consumir por las cargas en W-h
- Fs = Factor de sobredimensionamiento (5% al 10%)
- Hp = Recurso solar disponible en horas-pico.
- PM = Potencia pico del modulo bajo CEP
- η = Es la eficiencia en el manejo de energía
- ηw = Cables (97%)
- ηc = Controlador (97%)
- ηI = Inversor (95%)
- ηB = Eficiencia global en batería (85%)
- ηT = Efecto de la temperatura (90%)

Para calcular la capacidad del banco de baterías se utiliza el criterio de watts – hora en donde se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_B = \frac{E_c \cdot A_U}{V_{n_B} \cdot f_u \cdot F_i} \dots\dots\dots(4)$$

Donde

- CB = capacidad del banco de baterías
- Ec = energía consumida expresada en W-h
- Au = autonomía del sistema expresada en días
- VnB = voltaje nominal del banco de baterías
- Fu = factor de uso de batería
- Fu = 0.5 para placas delgadas y 0.8 para placas gruesas.
- Fi = factor de incremento en la capacidad debido a una razón de descarga mas lenta
- Fi = 1.05 para placa delgada Fi = 1.35 para placa gruesa

Considerando un recurso solar con un valor de 4.5 horas pico, un factor de sobredimensionamiento del 5%, sustituyendo los valores en la ecuación 3 se obtiene M=14, lo que indica que el sistema no esta bien dimensionado debido a que solo cuenta con 8 módulos.

Considerando 2 días de autonomía para el banco de baterías y sustituyendo los valores de la tabla 3.5 en la ecuación 4 se tiene que la capacidad del banco de baterías debe ser de **580.95 A-h**

De lo anterior se estima que el banco de baterías debe estar compuesto por 12 baterías de las ya existentes de 225 A-h lo cual es el número con que cuenta el sistema.

Conclusión; Al igual que en el sistema residencial se pudo constatar que los sistemas necesitan mas módulos fotovoltaicos.

### **3.5 Resumen del análisis del proyecto de electrificación rural**

Con base al desarrollo del trabajo a continuación se presentan los problemas encontrados con mayor frecuencia en las visitas realizadas a la comunidad de Nuevo Becar.

- El mayor problema encontrado fueron las baterías, ya que las utilizadas son de tipo automotriz la cuales tienen un bajo tiempo de vida útil, debido a las descargas a las que son sometidas, lo que ocasiona un gasto mayor para el usuario.
- Algunos módulos ya presentan puntos calientes, los cuales son provocados por las sombras que caen sobre los módulos fotovoltaicos.
- Los módulos no son limpiados; a pesar de no ser considerado un problema grave, los usuarios no tienen la costumbre de limpiar los módulos.
- Se encontraron errores de instalación, en cuanto la localización de los módulos, ya que habrán árboles produciendo sombras a los módulos.
- Se observaron problemas en cuanto a que no existe un espacio destinado para el SFV.
- Es nula la existencia de manuales de operación y mantenimiento.
- En cuanto a los problemas sociales encontrados se cita la falta de conocimiento de operación del sistema lo cual influye en la eficiencia del SFV, la falta de técnicos para mantenimiento preventivo y correctivo y el total abandono de los sistemas por parte de las instituciones que donaron los equipos.
- Es escasa la venta de refacciones por la cual los usuarios tienen que viajar hasta la capital del estado, lo cual resulta muy costoso.



## CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones de este trabajo: En general, se observa una muy buena aceptación de esta nueva tecnología y aplicación por parte de los habitantes de Nuevo Becar. Sobre todo que la electrificación con SFV es una solución real a sus necesidades energéticas, ya que no se vislumbra, a corto plazo, la entrada de la red eléctrica convencional a la comunidad.

Unas de las debilidades graves encontradas en casi todos los proyectos ejecutados por las municipalidades rurales, es la falta de programas de capacitación y mantenimiento. Los usuarios no tienen suficiente información y conocimiento sobre sus sistemas. En este sentido vale la pena mencionar que dos personas de la comunidad se han preocupado en este asunto y poco a poco se han ido "capacitando" y son ellos los que realizan las actividades de cambio de baterías, lámparas, controladores de carga y hasta la fecha no sido necesario "meter mano" en los módulos fotovoltaicos. No existe un plan preventivo de mantenimiento, por lo tanto, las instituciones ejecutoras deberían incorporar medidas de capacitación y la implementación de un plan de mantenimiento para asegurar una mayor vida útil de estos sistemas. Se debe complementar estos proyectos con cursos de capacitación, tanto a nivel de usuario como a nivel de técnico, sobre el funcionamiento y la potencialidad del sistema.

En cuanto a los SFV se puede decir que estos han respondido satisfactoriamente, específicamente los módulos fotovoltaicos, a pesar de que llevan más de 14 años que fueron instalados. De los 120 sistemas instalados en 1992, actualmente existen instalados solo un 60% (72) sistemas.

La parte más débil del proyecto son las baterías ya que el periodo de vida útil de las mismas es corto (comparado con los demás componentes). Actualmente todas las baterías utilizadas en la comunidad son de tipo automotriz (excepto el banco de baterías de la tele secundaria). Se pudo notar que cuando una batería termina con su vida útil, es remplazada inmediatamente por el usuario, esto es importante mencionar ya que al haber recursos económicos por parte del usuario, su sistema sigue operando, a diferencia de otros lugares en donde el usuario espera que las autoridades le hagan llegar su batería nueva. Esto último ha incidido a que el proyecto en términos generales este operando de manera satisfactoria. Se puede decir que la población está contenta con el servicio. Con todo lo anterior se puede inferir que el proyecto de electrificación rural de la comunidad de Nuevo Becar Quintana Roo es exitoso.

## RECOMENDACIONES

De lo analizado de la comunidad de Nuevo Becar en los capítulos anteriores se observó que los sistemas no funcionan al 100% no cumplen con las reglas de seguridad, con los controles de calidad para SFV y manuales de mantenimiento. Pero si cumplen satisfactoriamente para las necesidades de los usuarios de la comunidad de Nuevo Becar. Lo anterior se puede interpretar que los SFV si funcionan aun en condiciones no apropiadas, lo que significa que si los SFV se utilizan en condiciones óptimas, pueden satisfacer aún más las necesidades de las personas e implementarse más programas de energías renovables a comunidades donde no llega las líneas de CFE y de esta manera contribuir al desarrollo. De lo siguiente se mencionan las siguientes recomendaciones:

- Realizar por lo menos 3 chequeos periódicos de los SFV por año, Así se pueden detectar y corregir pequeños problemas, antes que lleven a una falla total en la operación del sistema. Por esto se dice que el mantenimiento preventivo es el mejor mantenimiento.
- Es indispensable revisar el sistema cuando está funcionando correctamente y no esperar a que la falla ocurra. Es importante aprender del equipo y saber que se espera de él cuando está funcionando correctamente. De hecho, se puede hacer la mayor parte de la revisión, con un multimetro y algo de sentido común.
- Muchas fallas son evitables si se hacen inspecciones y se toman acciones correctivas antes que el problema cause fallas en la operación del sistema. Esto es más fácil aún siguiendo la rutina básica.
- Revisar todas las conexiones del sistema, las conexiones de las baterías pueden limpiarse y tratarse periódicamente, con anticorrosivos de uso común en la industria de auto partes.
- Examinar el nivel de gravedad específica del electrolito (ácido) en la batería que esté de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Este chequeo debe hacerse después de una recarga completa al banco de baterías y con el nivel de electrolito de acuerdo a las especificadas por el proveedor.
- Tomar mediciones del voltaje de cada batería cuando éstas estén bajo carga. Si el voltaje de alguna difiere más de un 10% del promedio de los voltajes de las demás, indica que existe un problema con esa batería.
- Hacer un reconocimiento en el sistema de cableado. Si el cableado ha estado expuesto al Sol o a la corrosión durante algún tiempo, es posible que se puedan formar grietas en la cubierta de este, esto provocará pérdidas de energía. Aislé lo mejor posible todos los conectores de energía para evitar este tipo de fallas.
- Registrar todas las cajas de conexiones que estén correctamente selladas, incluyendo las del modulo fotovoltaico, controladores, etc., puntos de interconexiones. Así mismo cerciórese si existe corrosión o daños causados por el agua. Si se tienen componentes electrónicos montados dentro de un gabinete, asegúrese que tengan buena ventilación.

- Inspeccionar las piezas de la estructura soportante de los módulos. Al mover suavemente algún módulo de arreglo, vea si existe alguna pieza floja o suelta que pueda causar problemas.
- Revisar la operación de los interruptores y fusibles, asegúrese que el movimiento del interruptor sea sólido, vea si existe corrosión tanto en los contactos como en los fusibles.



# **Anexo 1**

**“Artículo publicado en la XXX Semana Nacional de Energía Solar, celebrado en la ciudad de Veracruz, Veracruz en octubre de 2007”**

# 30 Semana Nacional de Energía Solar

Del 2 al 6 de octubre del 2006

Veracruz, Ver.

Sede: Universidad Cristóbal Colón

# Memoria



**ANES**

ASME



**ISES**

UNIVERSIDAD



VERACRUZANA

Derechos reservados © 2006

ASOCIACIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR, A. C.

ISBN 968-5219-08-7

Impreso y hecho en México  
*Printed and made in Mexico*



## "NUEVO BECAR, QUINTANA ROO: PROYECTO FOTOVOLTAICO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL ¿EXITOSO?"

**Roberto Acosta O<sup>\*</sup>, Armando Ávila R., Víctor Sánchez, Omar Yam y Christian Pérez**

División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo  
Boulevard Bahía s.n. esq. Ignacio Comonfort, Col. Del Bosque, Chetumal, Quintana Roo, C.P. 77019  
Tel/Fax 01 (983) 83 5 03 89  
<sup>\*</sup>racosta@correo.uqroo.mx

### RESUMEN

En este trabajo se presenta un breve análisis del proyecto de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos autónomos de la comunidad de Nuevo Becar (municipio de Othón P. Blanco), Quintana Roo. El proyecto inicialmente consistió de 120 sistemas fotovoltaicos autónomos con fines de iluminación, de educación (una primaria y una tele-secundaria) y un hospital. Estos sistemas se instalaron en la comunidad bajo el Programa Nacional de Solidaridad (PRONASOL), entre los años de 1992 y 1993. A más de 13 años de haber sido instalados estos sistemas fotovoltaicos, se comprobó que el 60 % siguen funcionando de manera "óptima" aunque con ciertas particularidades, las cuales se describen y detallan en este trabajo y nos llevan a cuestionarnos si este proyecto es exitoso. Para llevar a cabo el análisis del proyecto de electrificación rural de Nuevo Becar, Quintana Roo se propone una metodología de trabajo.

**Palabras claves:** Sistemas fotovoltaicos autónomos, electrificación rural

### I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los sistemas fotovoltaicos (SFV) han mostrado su potencial técnico en el suministro de energía para numerosas aplicaciones, tanto en áreas urbanas como en rurales; debido principalmente, a la facilidad de instalación y mantenimiento. Se han documentado muchas experiencias sobre las barreras a la difusión de la tecnología fotovoltaica y como superarlas, tanto en el área técnica, como en las áreas de organización, políticas energéticas y financiamiento. La tecnología fotovoltaica, en general, está alcanzando su madurez comercial y puede preverse que con las recientes inversiones en capacidad de fabricación se logrará una fuerte competencia por el mercado, derivando en una reducción de los precios.

La energía producida por un sistema fotovoltaico a menudo ha resultado ser la solución más eficaz y económica para mejorar esos servicios en las zonas remotas y no electrificadas de los países en desarrollo. A través de estos servicios, los sistemas fotovoltaicos pueden repercutir en forma considerable en la vida de todos los pobladores de las zonas rurales, siempre que se tenga cuidado de hacerlos llegar hasta los grupos más marginados. En ocasiones, el suministro de servicios sociales y comunales puede poner en marcha la provisión de actividades que generen ingresos.

Desde su inicio, los programas de electrificación rural en México tienen un carácter eminentemente social; esto es, las inversiones no se hacen con fines utilitaristas. En consecuencia, la red de distribución se sigue extendiendo año con año, aún a las regiones más apartadas donde se podría pensar que las inversiones no son rentables. Con todo y eso, el ritmo es lento debido a los costos siempre crecientes.

Los sistemas fotovoltaicos son una alternativa técnicamente viable para la generación eléctrica. Sin embargo, dados sus costos de inversión inicial todavía relativamente altos (4 a 6 veces los de las tecnologías convencionales), su viabilidad económica está en la actualidad restringida a ciertas aplicaciones, sobre todo en localidades alejadas.

Actualmente los sistemas fotovoltaicos están siendo integrados en grandes programas de electrificación rural en distintos países del mundo (Argentina, Sudáfrica, los Estados Unidos, la India, México, Zimbabue entre otros). Estos programas incluyen cuestiones relativas al desarrollo en gran escala del mercado en las zonas rurales, como son el acceso a un crédito, la infraestructura local para instalación y el mantenimiento, y políticas favorables. Si bien hay numerosos estudios sobre estos aspectos poco se han investigado sobre el impacto mismo de la difusión e implantación de la tecnología fotovoltaica en el desarrollo rural.

En el aspecto de uso de energías renovables en lugares remotos, México es uno de los países líderes, ya que se han instalado a la fecha más de 36,000 pequeños sistemas fotovoltaicos aislados formados por 50 a 100 W de módulos fotovoltaicos, una batería, controlador electrónico de carga y lámparas eficientes, estos sistemas se instalan en comunidades remotas, y proporcionan iluminación y en algunos casos entretenimiento (televisor, radio, etc.), a igual número de casas (IEE, 2002).

En el caso del Estado de Quintana Roo se han implementado una cantidad importante de proyectos que utilizan energías renovables, particularmente la solar y la eólica. No se tiene un censo de cuantos metros cuadrados de módulos fotovoltaicos o cuantos aerogeneradores hay instalados. Particularmente en el caso de la electrificación rural se tienen sistemas fotovoltaicos en los ocho municipios del Estado. En el caso del municipio de Othón P. Blanco, con cabecera en la Ciudad de Chetumal (Capital del estado) se tienen 44 comunidades que cuentan con sistemas fotovoltaicos, naturalmente estas comunidades son de difícil acceso, dispersas y se encuentran bastante alejadas de la red eléctrica.

Debido a lo que se ha comentado anteriormente en el sentido de lo poco que se ha investigado sobre el impacto de la tecnología fotovoltaica en el medio rural, este trabajo pretende hacer una pequeña aportación en ese sentido y para esto se seleccionó la comunidad de Nuevo Becar, Quintana Roo.

### II. NUEVO BECAR, QUINTANA ROO

La comunidad de Nuevo Becar se localiza en la parte suroeste del estado de Quintana Roo pertenece al municipio de Othón P. Blanco y está a 122 kilómetros de la ciudad de Chetumal, su principal actividad económica es la agricultura y la explotación de maderas preciosas, se llega por la carretera federal Chetumal - Escárcega para después tomar un camino rural de 36 kilómetros hasta llegar a la población (ver figura 1).



Figura 1. Mapa de localización de la población de Nuevo Becar, Quintana Roo

La comunidad cuenta con servicio de agua potable, no cuenta con pavimento ni drenaje. Debido a que la red eléctrica de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E) se encuentra a 36 Km de distancia, se decidió electrificar la comunidad con sistemas fotovoltaicos (SFV). Este proyecto de electrificación inicialmente contó con 120 SFV autónomos, los cuales básicamente cada sistema cuenta con generador de energía eléctrica (módulo fotovoltaico), un controlador de carga, un almacenador de energía eléctrica (batería), cables, interruptores y cargas. Los 120 SFV fueron instalados en los años de 1992 y 1993, a través de una donación (por medio de gestiones del municipio de Othón P. Blanco y el Gobierno del Estado de Quintana Roo), durante el programa de Solidaridad en el sexenio del presidente Carlos Salinas de Gortari.



Figura 2. Fotografía de la comunidad de Nuevo Becar.

### III. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el análisis del proyecto de electrificación rural de Nuevo Becar, Quintana Roo se propuso la siguiente metodología de trabajo:

1. Se realizó una revisión bibliográfica acerca de la evaluación y/o seguimiento de proyectos fotovoltaicos en comunidades rurales, principalmente proyectos de electrificación rural.
2. Del municipio de Othón P. Blanco (uno de los ocho del Estado de Quintana Roo) se obtuvieron los datos acerca de cuantas y

cuales comunidades cuentan con proyectos de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos. Esta información fue cotejada con datos de la Comisión Federal de Electricidad.

3. De un total de 44 comunidades (2004) que cuentan con sistemas fotovoltaicos en el municipio, se seleccionó la comunidad de Nuevo Becar debido principalmente a dos factores: tiene el mayor número de SFV instalados y el fácil acceso a la comunidad (aproximadamente 2 horas en automóvil de la ciudad de Chetumal).
4. Una vez seleccionada la comunidad de Nuevo Becar se realizaron cuatro visitas al lugar en el periodo comprendido de mayo 2004 a octubre de 2005 en donde se desarrollaron las siguientes actividades:
  - Se realizó un censo de cuantos SFV fueron inicialmente instalados, y cuantos están actualmente funcionando.
  - Se obtuvieron datos de cada uno de los SFV instalados, como son: localización, aplicación, distancia, responsable o usuario.
  - Se aplicó un cuestionario a los usuarios, en donde se les solicitaba información básica del sistema fotovoltaico (mantenimiento, operación, forma en que se adquirió, etc.). Adicionalmente se les cuestionó acerca de la satisfacción del servicio proporcionado por el sistema.
  - Se verificó el estado de funcionamiento de los principales componentes del SFV, como son las baterías, los módulos FV y los controladores de carga.
  - Para el caso específico de los módulos fotovoltaicos se observó la posición del mismo (orientación, inclinación, estructura de montaje y el sitio de colocación [sombras]).
  - Se verificó el estado físico y operativo de las baterías, principalmente el estado de carga de las mismas.
  - Se revisó la instalación eléctrica (interruptores, registros, cableado, etc.).
  - Por último se verificó el funcionamiento de las luminarias o cargas.
  - Paralelamente se llevó un registro fotográfico de estas actividades.
5. Con toda la información recabada se verificó (dependiendo el tipo de SFV) si el dimensionamiento del SFV es el adecuado (esto es la capacidad de generación de energía eléctrica con el módulo fotovoltaico y la capacidad de almacenamiento de energía en una batería para satisfacer ciertas cargas eléctricas), se hace un análisis crítico del proyecto de electrificación en donde se destacan las cualidades y defectos del proyecto en general.
6. Por último se realizan una serie de recomendaciones.

### IV. PROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL CON SFV DE NUEVO BECAR

En la comunidad de Nuevo Becar se utiliza la energía solar fotovoltaica básicamente para tres principales aplicaciones: una de tipo residencial (vivienda típica rural), otra para educación (una primaria y una secundaria) y un hospital. La población actualmente cuenta con dos escuelas: una de nivel primario y otra secundaria (tele-secundaria), un centro de salud (dependiente de la secretaria de salud estatal), una tienda rural y un cine, todos estos servicios funcionan gracias a los sistemas fotovoltaicos instalados.

De los 120 sistemas instalados en 1992, actualmente existen instalados solo un 60 % (72 sistemas), de estos 69 son de tipo residencial, 2 para fines educativos y uno del hospital. El 40% (48 sistemas) restante de sistemas tuvieron diversos fines: una parte fue vendida por los propietarios (a los mismos vecinos), otra parte fue llevada a otras comunidades (debido a que los propietarios se fueron a vivir a otra comunidad), y no se obtuvieron datos de que uno o algunos de los sistemas fueron destruidos o abandonados.

Por cuestiones prácticas en las siguientes secciones se presentarán cada uno de los componentes de los sistemas fotovoltaicos para cada aplicación (vivienda, escuelas y el hospital), con su respectivo análisis.

#### **IV.1 Módulos Fotovoltaicos**

Básicamente el componente de generación de energía eléctrica del sistema residencial, está compuesto por un módulo fotovoltaico de 48 Wp, de silicio monocristalino de la marca Siemens. Los 69 módulos (uno por cada sistema) están orientados hacia el sur (lo que es correcto), inclinados  $18^\circ$  y colocados sobre una base tubular. En 32 módulos se tienen sombras a causa de ramas de árboles (ver figura 3), lo cual repercute directamente en el rendimiento del módulo fotovoltaico y consecuentemente en la producción de energía eléctrica. Se midió el estado de carga de cada módulo fotovoltaico y se verificó que el 100% de los módulos fotovoltaicos están metiendo carga a las baterías, los cables se encuentran en buen estado a pesar de que no cuentan con canalización eléctrica.

Para el caso de la aplicación educativa se tienen dos sistemas: uno para la escuela Primaria y otro para la escuela tele-secundaria.

Para el caso de la escuela Primaria el sistema está totalmente abandonado, mencionan las autoridades de la escuela, que éste solo operó en los primeros dos años. El arreglo fotovoltaico (4 módulos de 80 Wp cada uno) está instalado y conectado, pero el sistema de control y almacenamiento, está totalmente descompuesto.



**Figura 3.** Fotografía de un módulo fotovoltaico con sombras

En el caso de la tele-secundaria el sistema está compuesto por un arreglo de 8 módulos de 80 Wp de la marca Kyocera de silicio monocristalino. El arreglo se encuentra orientado hacia el sur con un ángulo de inclinación de  $18^\circ$ . La ubicación es buena ya que no hay a su alrededor árboles u otros objetos que puedan causar sombras. Los módulos fotovoltaicos se encuentran instalados sobre una estructura de aluminio empotrada en la azotea de uno de los edificios (ver figura 4). El estado de los cables es bueno. El arreglo está operando correctamente.



**Figura 4.** Fotografía del arreglo fotovoltaico de la tele-secundaria

#### **IV.2 Baterías**

El componente de almacenamiento de energía es a base de baterías a 12 volts. Para el caso de los sistemas residenciales, se contabilizaron 82 baterías, todas de tipo automotriz, generalmente una para cada sistema, aunque hubo algunas casas en donde contaban con dos baterías. Se realizaron mediciones de voltaje de las baterías (solo de una muestra de 28), indicándonos que las baterías medidas están en buenas condiciones de carga.

Es en esta parte en donde se encontraron cosas interesantes, ya que solo al inicio del proyecto se utilizaron baterías apropiadas para un sistema fotovoltaico, pero posteriormente se empezaron a utilizar baterías automotrices, principalmente debido a dos factores: el costo y la disponibilidad (cabe mencionar que en una de las tiendas de la comunidad se venden baterías automotrices, por lo que no es necesario trasladarse hasta Chetumal para conseguirlas, además de que el vendedor da cierta "asesoría técnica"). Estas baterías en promedio les duran dos años. También es muy importante recalcar que estos sistemas han estado funcionando ininterrumpidamente desde que se instalaron y esto es debido principalmente a que la comunidad cuenta con ingresos derivados de la explotación maderera.

Para el caso de la tele-secundaria, el banco de baterías está compuesto por 12 baterías de 6 volts nominal de plomo-ácido de ciclo profundo de capacidad 225 a-h, conectadas en serie-paralelo el voltaje de operación del sistema es de 24 volts, el promedio de las mediciones realizadas al banco de baterías fue de 20.7 volts, lo que nos indica que las baterías están empezando a tener problemas con la carga. Se observó el lugar donde se encuentran el banco de baterías, no es recomendable ya que comparten espacio con la oficina de cómputo, lo cual es un riesgo para la seguridad de los usuarios y del equipo (ver figura 5), los cables se encuentran en buen estado a excepción de las terminales las cuales están sulfatadas. No hay un encargado de realizar el mantenimiento.





Figura 5. Fotografía en donde se aprecia una parte del banco de baterías y el sistema de control del sistema de la tele-secundaria.

#### IV.3 Acondicionador de energía

Básicamente el componente de acondicionamiento de la energía eléctrica del sistema residencial, está compuesto por un controlador de carga de la marca Condumex que puede trabajar con voltajes de 12 o 24 volts y una corriente máxima de 30 Amper. El controlador se encuentra instalado dentro de la vivienda, en la figura 6 se observa un ejemplo de las condiciones en que se encuentra instalado. Este elemento, a pesar de ser el enlace entre el usuario y el sistema, está muy descuidado en general, se observó que hay controladores que están funcionando pero están muy sucios.

Para el caso de la tele-secundaria, el sistema tiene un controlador de carga de la marca lyncom digital, que trabaja con voltajes de 12 o 24 volts y una corriente máxima de 30 amper. Se encuentra en buenas condiciones. Adicionalmente se utiliza un inversor de la marca TRACE de 1500 watts (ver figura 5), éste convierte la corriente directa a corriente alterna, la salida de voltaje es de 115 volts, esta ubicación en la oficina de cómputo, lo cual no es lo adecuado. El sistema de cableado está en perfectas condiciones.

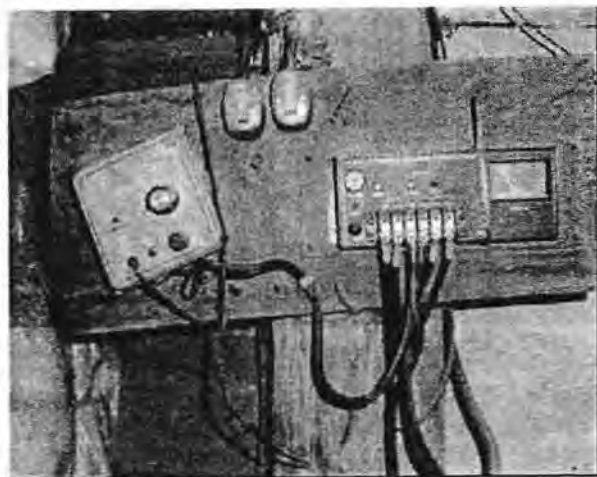


Figura 6. Fotografía de un ejemplo de controlador de carga de una de las viviendas.

#### IV.4 Cargas eléctricas

Las cargas que alimenta el sistema residencial consiste de 3 lámparas ahorradoras de 13 watts, todas las cargas funcionan. Aquí también cabe aclarar que es muy fácil conseguir lámparas ya que las venden en las cuatro tiendas de la comunidad. En términos generales la instalación eléctrica de las viviendas no está en buenas condiciones, principalmente debido a que los cables no están protegidos por canalizaciones, se encuentran a la intemperie y no cuentan con un centro de cargas.

Para el caso de la tele-secundaria, la instalación eléctrica está formada por un centro de carga el cual tiene 3 circuitos: los cuales son para iluminación, equipo de cómputo y equipo de sonido. Los cables se encuentran en buenas condiciones, las cargas del sistema están formadas por 15 lámparas ahorradoras de 13 watts, un equipo de sonido y un equipo de cómputo, los cuales se encuentran funcionando correctamente, cabe mencionar que solo se tiene el turno de la mañana.

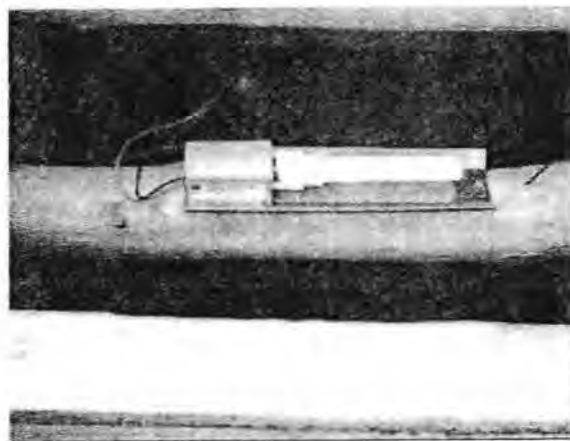


Figura 7. Fotografía de una lámpara típica de 13 watts, instalada en una vivienda de la comunidad.

#### V. CONCLUSIONES

En general, se pudo comprobar una muy buena aceptación de esta tecnología por parte de los habitantes de Nuevo Becar. Sobre todo de que la electrificación con sistemas fotovoltaicos es una solución real a sus necesidades energéticas. Adicionalmente que no se vislumbra a corto plazo la entrada de la red eléctrica convencional a la comunidad. Una de las debilidades encontradas en casi todos los proyectos de electrificación rural, ejecutados por los municipios es la falta de programas de capacitación y mantenimiento. Los usuarios no tienen suficiente información y conocimiento sobre sus sistemas. En este sentido vale la pena mencionar que dos personas de la comunidad se han preocupado en este asunto y poco a poco se han ido "capacitando" y son ellos los que realizan actividades de cambio de baterías, de lámparas, de controladores de carga y hasta la fecha no ha sido necesario "meter mano" en los módulos fotovoltaicos.

En cuanto a los sistemas fotovoltaicos se puede decir que estos han respondido satisfactoriamente, específicamente los módulos fotovoltaicos, a pesar de que llevan más de 14 años que fueron instalados. De los 120 sistemas instalados en 1992, actualmente existen instalados solo un 60% (72 sistemas).

La parte más débil del proyecto son las baterías ya que el periodo de vida útil de las mismas es corto (comparado con los demás componentes), actualmente todas las baterías utilizadas en la comunidad son de tipo automotriz (excepto las del banco de baterías de la tele-secundaria). Hay una tienda en donde se pueden adquirir estas. Se pudo notar que cuando una batería termina con su vida útil, es reemplazada inmediatamente por el usuario, esto es importante de mencionar ya que al haber recursos económicos por

parte del usuario, su sistema sigue operando, a diferencia de otros lugares en donde el usuario espera que las autoridades le hagan llegar su batería nueva. Esto último ha incidido a que el proyecto en términos generales este operando de manera satisfactoria, la población esta contenta con el servicio. Por lo que con todo lo anterior se puede afirmar que el proyecto de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos de la comunidad de Nuevo Becar, Quintana Roo es exitoso.

Cabe recordar que Nuevo Becar es una de las 44 comunidades del Municipio de Othón P. Blanco, que cuentan con sistemas fotovoltaicos, por lo que sería interesante conocer el estado de los sistemas del resto de las comunidades, con el fin de tener elementos para caracterizar el nivel de éxito en programas de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo brindado por la Dirección de la División de Ciencias e Ingeniería para la realización de este trabajo. Asimismo se agradece las facilidades brindadas por la comunidad y autoridades de Nuevo Becar, para realizar este trabajo.

## VII. REFERENCIAS

Notas del **II curso taller internacional en sistemas híbridos solar-eólico para la generación de electricidad**, (noviembre de 2001) Red Iberoamericana de electrificación Rural e Instituto de Investigaciones Eléctricas, San Miguel Regla, Hidalgo, Mexico.

Markvart, Tomas (1994). "**Solar electricity**", John Wiley & Sons Ltd, segunda edición, West Sussex, England.

<http://www.re.sandia.gov/splin-fs.htm>

<http://genc.ine.org.mx/genc/>

Entrevistas con personal de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), Delegación Chetumal, Quintana Roo (2004).

Entrevistas con personal y autoridades del Municipio de Othón P. Blanco (2004).

Entrevistas con pobladores y autoridades de la comunidad de Nuevo Becar, Quintana Roo (2004 y 2005).

## **Anexo 2**

**“Encuesta realizada a pobladores de la comunidad de Nuevo Becar”**





**Universidad de Quintana Roo**

**Departamento de Ingenierías**



## **Cuestionario**

### -Económicos/sociales

- 1.- Cuanto tiempo tiene el sistema instalado
- 2.- Quien se lo instaló
- 3.- Cuanto tiempo se llevo la instalación
- 4.- Cuanto costó y quien lo pago
- 5.- Le hicieron una entrega formal del equipo (incluyendo prueba del mismo)
  - Técnicos
  - Autoridades Municipales
- 6.- Le dieron garantía del equipo (si la respuesta es si, por cuanto tiempo)
- 7.- Le dieron una capacitación/entrenamiento de cómo usar el sistema
- 8.- Han venido a ver el estado del equipo (cuantas veces)
- 9.- ¿En caso de alguna falla en el sistema que hace usted?
- 10.- ¿Hay alguna persona en la comunidad que haya recibido una mayor capacitación en el mantenimiento y operación de los sistemas? (nombre, escolaridad)

- 11.- Le dejaron manuales de operación de los diferentes componentes del sistema.
- 12.-Cual es el uso de su sistema (¿para que sirve?)
- 13.- Antes de contar con su sistema solar, como satisfacía sus necesidades
- 14.- Esta actualmente funcionando su sistema (en caso negativo, desde cuando no esta funcionando).
- 15.- Esta satisfecho con su sistema (porcentaje).
- 16.- Considera que ha sido benéfico su sistema o ha sido una carga extra
- 17.-Es fácil adquirir las refacciones del equipo (baterías y lámparas) (por que)
- 18.-Recomendaría el uso de este tipo de sistemas solares para otras comunidades?
- 19.-Que recomendaciones haría usted para mejorar la implantación de este tipo de sistemas solares.
- 20.- ¿Quien es el dueño del sistema solar?

A que se dedica

## BIBLIOGRAFÍA

Manrique José A. "**Energía solar fundamentos y aplicaciones fotovoltaicas**", HARLA, México 1984, ISBN.968-603454-4

Richard H. Motgomery. 1986. "**Energía Solar, selección de equipo, instalación y aprovechamiento**" Primera Edición. Editorial: Limusa, Grupo Noriega Editores. México, D.F.

Aden B. Meinel y Marjorie P. Meinel. 1982. "**Aplicaciones de la Energía Solar**". Primera Edición. Reverte, S. A. España.

Claudio A., Camilo A., Rubén Dorantes, Jorge Islas y Agustín Muhlia, Mayo 2005, "**Visión a Largo Plazo Sobre la Utilización de las Energías Renovables en México**"; *Energía Solar*. Primera Parte: Evaluación del Recurso Solar en México. Archivo PDF. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación de Energía (CIE).

Sánchez Juárez, Aarón. Notas del curso "**Sistemas fotovoltaicos y sus aplicaciones en el medio rural**", CIE-UQROO, Chetumal, Quintana Roo, México, 2004.

Lorenzo, Eduardo. "**Solar electricity engineering of photovoltaic systems**" PROGRESA (Promotora General de Estudios S.A.), Sevilla, España, 1994, ISBN:84-86505-55-0

W. Shepperd, Lisa. "**Energía fotovoltaica para proyectos de desarrollo**", Sandia Nacional Laboratorios, Albuquerque, new México, EU, 1994.

## REFERENCIAS WEB

<http://www.conae.gob.mx>

<http://www.bpsolar.com>

<http://www.resandia.gob>.

<http://www.iie.org.mx>

<http://genc.iie.org.mx/genc/fotovoltaico/frames.asp>