



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

**División de Ciencias e Ingeniería**

**DISEÑO E INSTALACION DE DOS SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS PARA USO  
AGROPECUARIO**

**TRABAJO MONOGRÁFICO**

Para obtener el Grado de

*Ingeniero en Sistemas de Energía*

**PRESENTA**

**LEOVIGILDO CASTILLO RODRIGUEZ**

**SUPERVISORES**

M.T.S. ROBERTO ACOSTA OLEA  
M. en C. EMMANUEL TORRES MONTALVO  
Dr. FERNANDO FLORES MURRIETA

Chetumal, Quintana Roo, Noviembre 2012



**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.T.S Roberto Acosta Olea \_\_\_\_\_

***Supervisor:*** M. en C. Emmanuel Torres Montalvo \_\_\_\_\_

***Supervisor:*** Dr. Fernando Flores Murrieta \_\_\_\_\_

**Chetumal, Quintana Roo, Noviembre 2012**

## AGRADECIMIENTOS

### A DIOS TODO PODEROSO:

Quien me dio la salud, fortaleza, paciencia, sabiduría y el entendimiento para asimilar, desarrollar y poner en practica esta profesión que escogí, llegando a su culminación.

### A MIS PADRES:

Que con su amor, sacrificio, dedicación y consejos supieron guiarme para ver realizado mis estudios con la satisfacción de haber llegado a feliz término.

### A MIS MAESTROS:

Que con sus enseñanzas, paciencia y esmero contribuyeron a la realización de este proyecto.

### A MIS AMIGOS:

Por compartir todos los momentos vividos durante la trayectoria de la carrera, momentos inolvidables en los que nos apoyamos mutuamente.

### A MIS HERMANAS:

Que con sus experiencias, consejos, paciencia y amor supieron ayudarme en el desenvolvimiento de mi carrera, atendiendo con esmero todas las dudas que durante toda mi carrera necesite.

### A DON AURELIO:

Fiel amigo y compadre de mi familia que contribuyo como principal herramienta para la realización de este proyecto dándome la oportunidad y todas las facilidades para el desempeño del mismo en el rancho de su propiedad.

# Contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>I</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>II</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>V</b>
<b>Lista de graficas.....</b>	<b>V</b>
<b>Capítulo 1: <u>Introducción</u>.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.....	4
1.4 Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo.....	7
<b>Capítulo 2: <u>Diseño de dos sistemas fotovoltaicos autónomos</u>.....</b>	<b>13</b>
2.1 Datos geográficos del lugar de instalación de los sistemas.....	14
2.2 Sistema 1 Electrificación domestica.....	15
2.2.1 Paso 1 Inventario energético de las cargas en corriente directa (CD) y alterna (CA).....	16
2.2.2 Paso 2 Dimensionamiento del sistema de módulos y del controlador de carga.....	18
2.2.3 Paso 3 Dimensionamiento del sistema de baterías e inversor de corriente.....	19
2.2.4 Paso 4 Calculo del calibre de los conductores eléctricos en corriente directa (CD).....	21
2.2.5 Paso 5 Dimensionamiento de la instalación eléctrica de la vivienda....	26
2.2.6 Imágenes del proyecto realizado.....	32
2.3 Sistema 2 Suministro de agua potable.....	33
2.3.1 Paso 1 Características físicas del pozo y estimación del recurso hidráulico.....	33
2.3.2 Paso 2 Calculo del caudal diario y longitud de la tubería de alimentación.....	34
2.3.3 Paso 3 Cálculo de la carga estática y carga dinámica total.....	36
2.3.4 Paso 4 Determinación del tipo de bombeo.....	38
2.3.5 Paso 5 Dimensionamiento del sistema de módulos fotovoltaicos y controlador de carga.....	39
2.3.6 Paso 6 Cálculo del calibre de los conductores en corriente directa.....	41
2.3.7 Imágenes del proyecto realizado.....	43
<b>Capítulo 3: <u>Conclusión</u>.....</b>	<b>44</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>VI</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>VII</b>



## Resumen

Este trabajo de monografía, describe el proceso de diseño de dos sistemas fotovoltaicos autónomos cuya aplicación fue en el medio agropecuario.

En principio se da una breve explicación sobre los problemas básicos que ocasiona la dependencia de los combustibles fósiles y de las consecuencias que esto implica para la humanidad, pero sobre todo del efecto al medio ambiente. Así mismo, se da una explicación general sobre los sistemas fotovoltaicos, su clasificación y los elementos básicos que intervienen en el diseño de los mismos.

Posteriormente se describen con mayor amplitud las metodologías del diseño de cada uno de los elementos que conforman cada uno de los sistemas fotovoltaicos autónomos propuestos. Se aborda uno de los elementos muy imprescindibles como lo es el diseño del cableado de los sistemas fotovoltaicos, así como el cálculo de los dispositivos de desconexión o protección.

Finalmente, se concluyen de manera general los objetivos alcanzados y la explicación de algunos inconvenientes que se tuvieron antes, durante y después de la instalación de los sistemas, y de la experiencia nueva aprendida, pero sobre todo al mejoramiento de las instalaciones fotovoltaicas futuras.

## Antecedentes

Desde que fue reportada la primera celda solar de silicio cristalino en 1954, el desarrollo de la tecnología fotovoltaica ha tenido un fuerte impulso en la investigación y aplicación que ha hecho hoy en día, una tecnología madura, confiable y de larga duración.

Debido a sus altos costos, sus aplicaciones iniciales estuvieron acotadas en proyectos en donde el precio del producto no fue una limitante, como es el caso de las aplicaciones espaciales.

Afortunadamente, con los resultados de la investigación y desarrollo de la tecnología, que han traído como consecuencia procesos de producción masiva, los costos se han ido reduciendo. De la misma manera en que se fue desarrollando la tecnología fotovoltaica, los fabricantes de dispositivos eléctricos se abocaron a la tarea de diseñar y construir aparatos eléctricos que fueran susceptibles de funcionar con esta energía eléctrica del tipo directo. Así, los proyectos de aplicación terrestre, usando estos aparatos eléctricos, muestran un panorama de competitividad económica con tecnologías convencionales para generar electricidad. Como consecuencia, el uso de la tecnología fotovoltaica se ha venido haciendo cada vez más popular para generar electricidad en sitios remotos apartados de la red eléctrica convencional o para proyectos en donde se requiere un sistema de energía confiable, limpia y que no impacte al ambiente. Una de las aplicaciones principales que se detecto en los inicios del desarrollo de la tecnología fotovoltaica fue el extraer agua del subsuelo, dadas las necesidades del vital liquido para el desarrollo de la vida vegetal o animal. Por esa razón, en los años 70's se tiene el reporte de la primera aplicación de un motor de corriente directa, de imán permanente, acoplado mediante una flecha, a una bomba sumergible energizado con un sistema fotovoltaico. Este sistema fue desarrollado por la compañía francesa Pompes Guinard. Varias unidades de este tipo fueron instaladas en dichos años.

Posteriormente, a fines de los años 70's, el Banco Mundial emite una convocatoria para desarrollar sistemas de bombeo de agua mediante el uso de la energía solar, especialmente usando la tecnología fotovoltaica, con el objeto de abastecer de este vital liquido a pequeñas granjas para propósito de irrigación a baja escala. Además se pretendía evaluar y demostrar la factibilidad económica, confiabilidad y de uso de dichos sistemas en esa aplicación. Así mismo, retroalimentar a los fabricantes para el mejoramiento de sus productos y tecnificar los procesos irrigación. La meta era establecer un precio de \$ 0.05 usd por m<sup>3</sup> de agua extraído para cargas estáticas de 7 metros con razones de flujo de hasta 5 litros por segundo. Un total de 11 proyectos fueron instalados y los resultados del estudio fueron dados a conocer en 1981. De ellos se destaca que la meta de \$ 0.05 usd por m<sup>3</sup> de agua extraído no puede ser alcanzada fácilmente, pero la tecnología demostró que dichos proyectos se pueden realizar. Como continuación del programa se instalaron 64 sistemas adicionales los que fueron sometidos a estudios técnicos y económicos. Se demostró que para aplicaciones de consumo humano el sistema de bombeo fotovoltaico es mas barato que un sistema convencional [5]. En la actualidad el costo de la energía eléctrica, producida con módulos fotovoltaicos sigue siendo alto, principalmente para proyectos de mediana y gran escala. Sin embargo, la eficiencia de los equipos fotovoltaicos ha ido creciendo considerablemente.

En la década de los 50's, se contaban con eficiencias en módulos fotovoltaicos de 5-6%, la cual con el desarrollo tecnológico ha mejorado hasta niveles considerables de 20-30%.

Esta tecnología seguirá ganando participación de mercado en países donde existen incentivos financieros respaldados por el gobierno, específicamente en el caso de Alemania, donde existe una tarifa de estímulo que contribuye a solventar, las desventajas económicas derivadas del alto costo de la tecnología para energía renovable. La aplicación de dicha tarifa ha generado una expansión importante en el uso de la energía solar fotovoltaica. Por otra parte el gobierno de Japón se ha establecido el objetivo de que hacia el año 2030 el 30% de todos los hogares dispongan de módulos fotovoltaicos.

Las energías renovables a nivel mundial representan el 18% de la generación eléctrica (la mayoría de esta participación considera las energías hidráulica y eólica), mientras que la contribución al suministro térmico de las renovables es de un 24%. La participación de las energías fotovoltaica, solar, eólica y la bioenergía ha crecido rápidamente en los últimos años, efecto que se atribuye a las inversiones en investigación y desarrollo que se iniciaron hace más de tres décadas. Mundialmente, la capacidad de generación a través de instalaciones fotovoltaicas es de alrededor de 6000 Megawatts, instalada principalmente en Alemania, Japón y Estados Unidos de América. Actualmente México cuenta con alrededor de 1,924.8 Megawatts de capacidad instalada de generación de energía eléctrica con base en energías renovables, que incluye la capacidad destinada al servicio público, cogeneración y autoabastecimiento, representando el 3.3% de la capacidad instalada en el servicio público del país. El presente programa deriva de un mandato de la ley del aprovechamiento de las energías renovables y el financiamiento de la transición energética y su misión es la incorporación de las energías renovables a matriz energética nacional y tiene como visión lograr una verdadera transición energética. El uso de energías renovables, junto con otras iniciativas asociadas al uso eficiente de la energía colaborara en la reducción de emisiones del sector eléctrico. Para cumplir las metas de capacidad de generación de energía eléctrica por energías renovables de este programa, se asume que se podrá contar con recursos provenientes de las reducciones certificadas de emisiones por proyectos registrados ante el mecanismo para un desarrollo limpio. Actualmente se cuenta con el apoyo del banco mundial para la electrificación rural con energías renovables en Oaxaca, Veracruz, Guerrero y Chiapas, mediante el proyecto de servicios integrales de energía. Este proyecto tiene como propósito dotar de electricidad a un aproximado de 2500 comunidades rurales que no cuentan con servicios de energía eléctrica y que por su alto grado de dispersión y el escaso número de viviendas por comunidad, difícilmente serán integradas a la red eléctrica nacional. Se pretende utilizar las energías renovables que se adecuen mejor a las condiciones geográficas de la zona.

El programa contempla también el apoyo concurrente a actividades productivas asociadas a la electrificación que permitan incentivar el crecimiento y el desarrollo económico en dichas comunidades. Del mismo modo existe, el proyecto de energías renovables a gran escala del gobierno federal el cual entro en vigor en Abril del 2007, y tiene como objetivo global ambiental reducir las emisiones de gases de efecto invernadero así como las barreras para la interconexión de tecnologías renovables a la red eléctrica en México. Con el se busca apoyar a nuestro país para el desarrollo de la experiencia inicial de un proyecto de energía renovable interconectado con base en criterios comerciales de 100 Megawatts.



## Lista de figuras

Nº	<u>Descripción</u>	Pag.
1.1	Efecto de las emisiones contaminantes que contribuyen al calentamiento global.....	1
1.2	Diagrama de un sistema fotovoltaico básico.....	3
1.3	Diagrama de un sistema fotovoltaico para bombeo.....	3
1.4	Diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo.....	5
1.5	Esquema de un sistema fotovoltaico-eólico.....	5
1.6	Diagrama de un sistema fotovoltaico conectado a red.....	5
1.7	Sistema fotovoltaico para alumbrado público.....	6
1.8	Escuela con acceso a Internet a través de sistemas fotovoltaicos.....	6
1.9	Sistema de 12 volts para refrigeración de vacunas.....	6
1.10	Celda, modulo y sistema de módulos fotovoltaicos.....	7
1.11	Tipos de celdas fotovoltaicas para la fabricación de módulos.....	8
1.12	Placa de datos de un modulo fotovoltaico de 48 Wp.....	9
1.13	Componentes básicos de un sistema fotovoltaico autónomo.....	13
2.14	Mapa del estado de Quintana Roo.....	14
2.15	Camino hacia el rancho.....	15
2.16	Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico para electrificación domestica.....	15
2.17	Diagrama de conexión de los equipos del sistema.....	24
2.18	Esquema del flujo de corriente en la instalación eléctrica en corriente alterna (CA).....	27
2.19	Diagrama de las conexiones de las tuberías conduit .....	29
2.20	Diagrama de planta del proyecto de electrificación domestica.....	30
2.21	Vista de la vivienda.....	31
2.22	Vivienda con los módulos fotovoltaicos instalados.....	31
2.23	Vista frontal de los módulos.....	31
2.24	Controlador de carga.....	31
2.25	Inversor de corriente.....	31
2.26	Sistema de baterías.....	31
2.27	Lámpara exterior.....	31
2.28	Lámpara del dormitorio.....	32
2.29	Lámpara de la sala.....	32
2.30	Datos geométricos del pozo.....	33
2.31	Diagrama del proyecto del sistema de bombeo.....	40
2.32	Pozo hecho con maquina.....	41
2.33	Agua que tomaban los animales.....	41
2.34	Pozo con bomba instalada.....	41
2.35	Módulos fotovoltaicos instalados.....	41
2.36	Bomba shurflo 9300 operando.....	41
2.37	Conexión de los tanques de almacenamiento.....	41

2.38	Controlador de bomba tipo intemperie.....	41
2.39	Electro-nivel de los tanques.....	41

### Lista de tablas

Nº	<u>Descripción</u>	Pag.
2.1	Insolación global mensual en kWh/m <sup>2</sup> día a 18.23° de latitud, Chetumal Qroo...	15
2.2	Consumo de los aparatos en corriente directa (CD) a 12 volts.....	16
2.3	Consumo de los aparatos en corriente alterna (CA) a 110 volts.....	16
2.4	Relación de consumo total (G) entre insolación (r).....	17
2.5	Características físicas y eléctricas de un modulo fotovoltaico de 80 Wp.....	18
2.6	Características Físicas y eléctricas de un controlador.....	19
2.7	Características Físicas y eléctricas de una Batería de Ciclo profundo.....	19
2.8	Inventario de la potencia total instalada en Corriente Alterna.....	20
2.9	Especificaciones eléctricas de un inversor de onda senoidal modificada.....	21
2.10	Calculo y localización de los dispositivos de desconexión .....	25
2.11	Número máximo de conductores que pueden alojarse en tubo conduit.....	26
2.12	Consumo promedio de agua para animales.....	33
2.13	Datos físicos e hidráulicos del pozo.....	35
2.14	Calculo del mes de diseño.....	35
2.15	Calculo de la carga estática y carga dinámica total.....	36
2.16	Rendimiento del sistema de bombeo en base a la carga dinámica.....	37
2.17	Especificaciones de una bomba shurflo serie 9300.....	37
2.18	Calculo de la corriente eléctrica necesaria.....	38
2.19	Características físicas y eléctricas de un modulo fotovoltaicos de 54 Wp.....	38
2.20	Conexión eléctrica de los módulos fotovoltaicos.....	38
2.21	Especificaciones eléctricas para un controlador de bomba.....	39

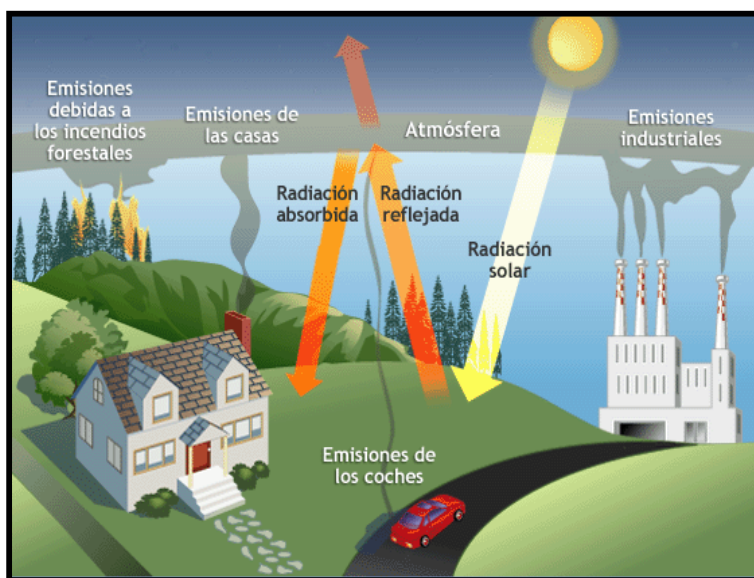
### Lista de graficas

Nº	<u>Descripción</u>	Pag.
2.1	Determinación del tipo de sistema de bombeo.....	36



Ante la situación energética mundial, es fundamental que las energías denominadas renovables participen en una proporción considerable para satisfacer la demanda creciente de energía que los países requerirán para los próximos años.

La mayoría de los países, durante las últimas décadas, se han caracterizado por depender de los combustibles fósiles para producir la energía que requieren para su desarrollo (industria, transporte y vivienda), lo cual ha generado dos problemas: La disminución de las reservas de combustibles cuando la demanda cada vez va en aumento, originándose con esto, costos altos de la energía producida y presentándose consecuencias económicas graves para los países. El segundo problema se refiere al aumento del contenido de gases de efecto invernadero en la atmósfera y en especial el Bióxido de Carbono producido por la utilización de los combustibles fósiles como fuentes primarias de energía, contribuyendo a elevar la temperatura en la superficie de la tierra y originándose un cambio climático a nivel mundial [1] ( Ver *Figura 1.1*).



**Figura 1.1 Efecto de las emisiones contaminantes que Contribuyen al calentamiento global [2]**

La energía es de vital importancia para el desarrollo económico de cualquier país. Con ella es posible llevar a cabo los trabajos que el hombre por si solo es incapaz de hacer. Existen diversas fuentes de energía, entre ellas están los combustibles fósiles y las fuentes de energía renovables como la fotovoltaica entre otras (eólica, hidráulica, foto térmica, biomasa, geotérmica, etc). La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación directa de la energía solar en electricidad.

La energía solar fotovoltaica entre otras se denominan renovables debido a que representan un recurso inagotable respecto del ciclo de vida humano (es decir sabemos que el sol se acabara algún día, pero ya no habrá seres vivos en la tierra).

Además, presentan la característica de ser abundantes y limpias. Con instalaciones fotovoltaicas a gran escala, la energía solar fotovoltaica tiene un gran potencial para la generación de energía.

Actualmente, la energía solar fotovoltaica representa una alternativa real para su aplicación en diversas tareas domésticas, industriales y agropecuarias.

Las aplicaciones más comunes en el sector agropecuario, son *la electrificación básica para fines domésticos*, cercos eléctricos, sistemas de refrigeración, además del *bombeo de agua para sistemas de riego y abrevaderos entre otros*.

La electrificación con fines domésticos a través de la energía solar fotovoltaica ofrece un mayor abanico de posibilidades en su utilización para actividades agropecuarias productivas (por ejemplo además de proporcionar la energía eléctrica para aparatos electrodomésticos, es posible combatir plagas de murciélagos para el cuidado de los animales mediante el alumbrado) (Ver *Figura 1.2*).

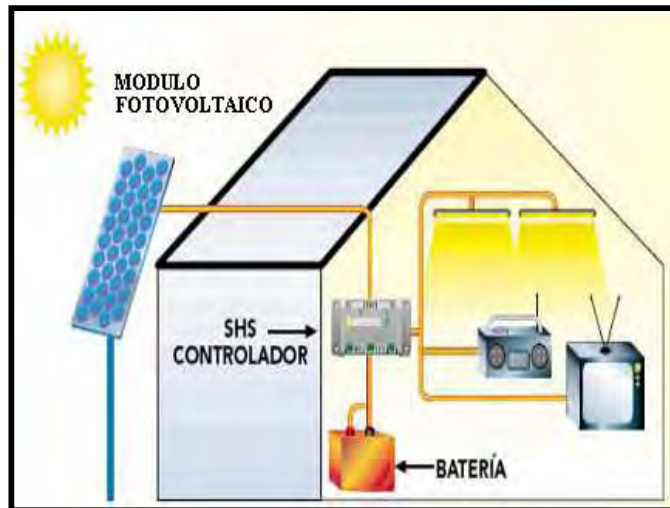
El *bombeo de agua* en pequeña escala es una aplicación de mucha trascendencia en el mundo; tiene especial impacto en lugares donde no hay suministro de energía eléctrica convencional. Los sistemas de bombeo fotovoltaicos se caracterizan por ser de alta confiabilidad, larga duración y mínimo mantenimiento, lo cual se traduce en un menor costo a largo plazo si se le compara con los combustibles fósiles. Además no requiere del empleo de un operador y tiene un bajo impacto ambiental (no contaminan el aire o el agua y no producen ruido) (Ver *Figura 1.3*).

La evidente importancia del agua para las actividades productivas agropecuarias y la posibilidad de optimizar su aprovechamiento, despierta la inquietud de explorar alternativas para contar con el vital líquido de manera constante, esto, con el fin de diversificar, mejorar y ampliar la producción.

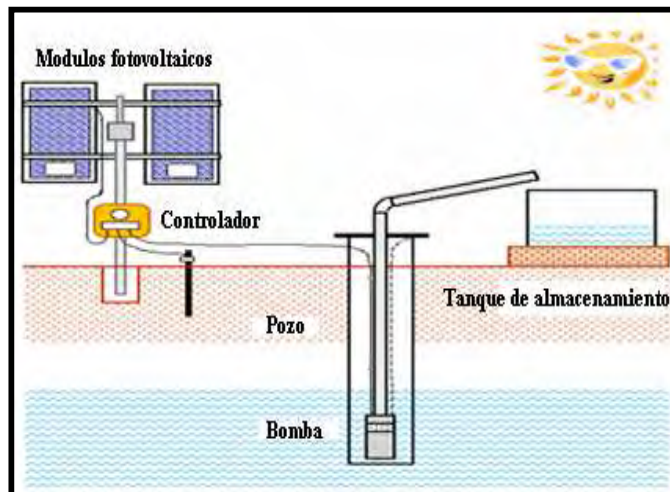
El bombeo de agua es factible aplicando la energía solar fotovoltaica para la generación de energía eléctrica.

Ahora los agroproductores que utilizan los sistemas fotovoltaicos ya no deben caminar decenas de kilómetros para adquirir el combustible y los insumos que requiere una planta convencional generadora de energía eléctrica, ni deben invertir tiempo y recurso para su operación y mantenimiento.

El suministro de energía se realiza por medio de los sistemas fotovoltaicos, los cuales pueden ser modulares y se diseñan conforme al tamaño necesario para generar la energía que demanda la aplicación. La energía que se obtiene durante el día y si lo requiere, puede acumularse mediante un sistema de almacenamiento compuesto por baterías especiales de alta eficiencia y durabilidad, denominadas “de ciclo profundo”[3].



*Figura 1.2* Diagrama de un sistema fotovoltaico básico [4]



*Figura 1.3* Diagrama de un sistema fotovoltaico para bombeo [3]

## 1.1 Objetivo General

El propósito de este trabajo monográfico es proporcionar una metodología para el diseño de dos sistemas fotovoltaicos autónomos aplicados al sector agropecuario.

## 1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos de esta monografía, cabe mencionar lo siguiente:

- 1) Promover mediante los sistemas fotovoltaicos el uso adecuado de las energías renovables en el sector agropecuario.

- 2) El presente documento tiene también la finalidad de aportar de manera práctica y sencilla el formulario del diseño de cada uno de los bloques que integran un sistema fotovoltaico autónomo. Se espera que esta monografía sirva de ejemplo para cubrir si no todo al menos gran parte de la estrategia en el diseño y aplicación para la resolución de problemas en el suministro de la energía en lugares remotos con fines de producción.

### 1.3 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse de acuerdo a la siguiente manera:

#### A) Por su estructura

- **Sistemas autónomos** – Un sistema fotovoltaico es autónomo cuando toda la demanda es satisfecha únicamente por la energía generada por el propio sistema (Ver *Figura 1.2, Figura 1.3 y Figura 1.4*).
- **Sistemas híbridos** – Un sistema fotovoltaico es híbrido cuando para satisfacer la demanda se utiliza una fuente auxiliar de energía (eólica entre otras). (Ver *Figura 1.5*).
- **Sistemas conectados a red** – Un sistema Fotovoltaico esta conectado a red cuando la energía producida es transportada a la red eléctrica (Ver *Figura 1.6*).

#### B) Por su forma de uso

- **Sistemas fotovoltaicos para uso domestico**– Utilizados para la electrificación de aparatos electrodomésticos (Licuadoras, televisores, radios, lámparas etc) (Ver *Figura 1.2 y Figura 1.4*).
- **Sistemas fotovoltaicos para servicios sociales básicos** – Utilizados para la implementación y acceso a la educación en zonas marginadas y mejoramiento del nivel de vida de comunidades rurales. (Ver *Figura 1.8*).
- **Sistemas fotovoltaicos para usos productivos** – Utilizados para el abastecimiento de agua, lavabos, regaderas, baños, abrevaderos y sistemas de riego entre otros usos (Ver *Figura 1.3*).

#### C) Por el periodo de su uso

- **Diurno** – El periodo de trabajo se realiza durante el día, no necesita una unidad de almacenamiento. Ejemplo: Bombeo fotovoltaico, sistemas conectados a red etc (Ver *Figura 1.3 y Figura 1.6*).
- **Nocturno** – El periodo de trabajo se realiza durante la noche. Necesita una unidad de almacenamiento. Ejemplo: Trampas de luz (para combatir insectos nocturnos), iluminación pública, sistemas para señalización marina (boyas, faros etc). (Ver *Figura 1.7*).
- **Continuo** – El periodo de trabajo se realiza durante las 24 horas del día. Necesita una unidad de almacenamiento. Ejemplo: refrigeradores de vacunas, sistemas de telecomunicación etc. (Ver *Figura 1.9*) [5].

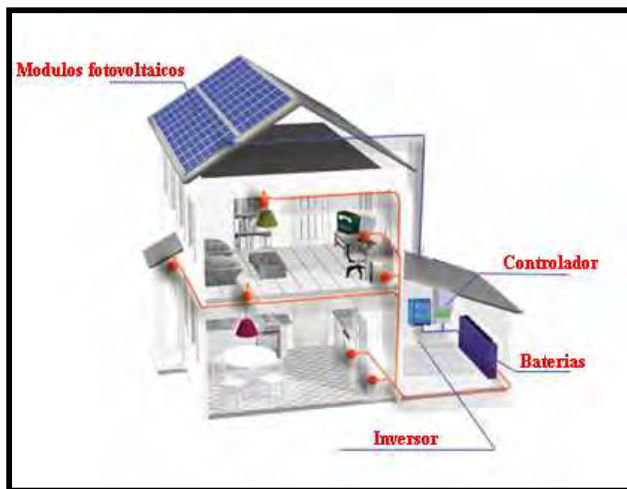


Figura 1.4 Diagrama de un sistema fotovoltaico autónomo [6]

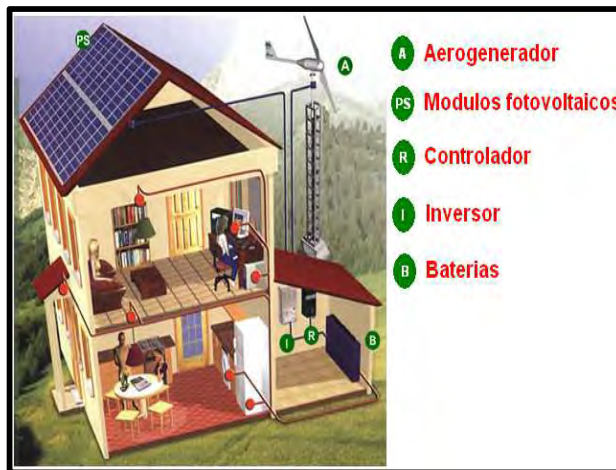


Figura 1.5 Diagrama de un sistema fotovoltaico- eólico [7]

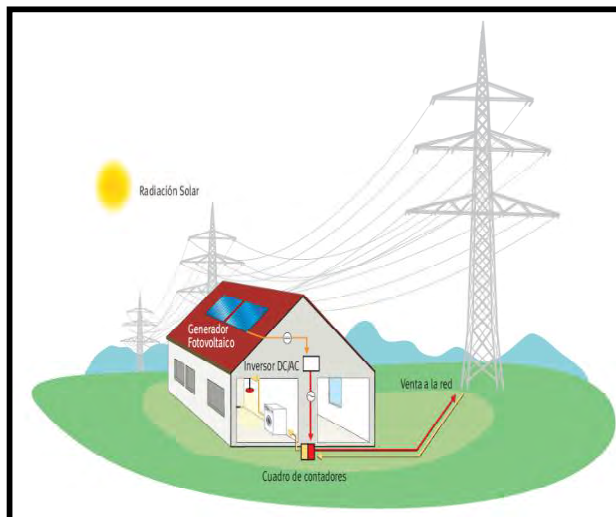


Figura 1.6 Diagrama de un sistema fotovoltaico conectado a red [8]





*Figura 1.7* Sistema fotovoltaico para alumbrado público y sus componentes [9]



*Figura 1.8* Escuela con acceso a Internet a través de sistemas fotovoltaicos [10]



*Figura 1.9* Sistema de 12 volts para refrigeración de vacunas [10]

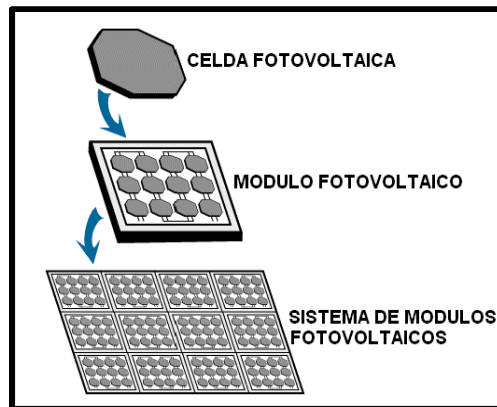
## 1.4 Componentes de un sistema fotovoltaico autónomo

Un sistema fotovoltaico autónomo capta la energía del sol y la almacena, si lo requiere en las baterías para tener el suministro por la noche y en días nublados. Sus principales componentes son *los módulos fotovoltaicos, controladores, baterías e inversores*. A continuación damos la definición y descripción de cada uno.

### ❖ *Módulos fotovoltaicos:*

La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado módulo fotovoltaico. Los módulos fotovoltaicos son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado.

Dependiendo, de la aplicación y del diseño un sistema fotovoltaico podría consistir en una sola celda fotovoltaica, de un solo modulo o de un sistema de módulos fotovoltaicos (es decir de un arreglo fotovoltaico) (Ver *Figura 1.10*).



*Figura 1.10* Celda, modulo y sistema de módulos fotovoltaicos [11]

Una celda fotovoltaica es el componente o elemento básico constructivo de un modulo fotovoltaico que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales. Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas. Una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 por 10 centímetros y produce alrededor de un watts a plena luz del día. Normalmente las celdas fotovoltaicas son color azul oscuro. La mayoría de los módulos fotovoltaicos constan de 36 celdas fotovoltaicas.

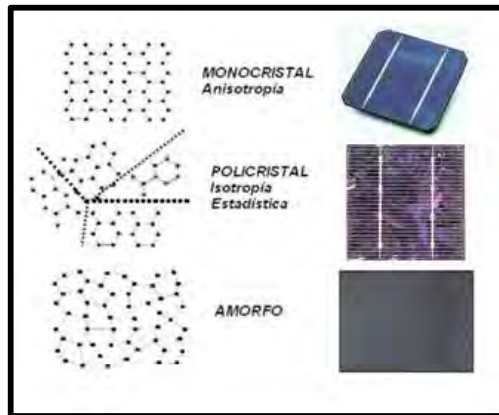
El marco de vidrio y aluminio tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (acetato de vinil etileno). El vidrio frontal es anti reflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados.

Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos fotovoltaicos. Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en (Ver *Figura 1.11*):

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

**Módulos de silicio poli cristalino:** son ligeramente más baratos que los módulos de silicio mono cristalino, aunque su eficiencia es menor.

**Módulos de silicio amorfo:** tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared [13].



**Figura 1.11** Tipo de celdas fotovoltaicas para la fabricación de módulos [12]

Además de los aspectos físicos de un modulo fotovoltaico, tienen la característica principal de parámetros eléctricos tales como la potencia máxima ( $P_{max}$ ), *corriente de cortocircuito* ( $I_{sc}$ ), *voltaje a circuito abierto* ( $V_{oc}$ ), *corriente a potencia máxima* ( $I_{pmax}$ ) y *voltaje a potencia máxima* ( $V_{pmax}$ ). Estos datos vienen especificados por el fabricante en una etiqueta de identificación en la parte posterior del modulo fotovoltaico. A la información vertida en dicha etiqueta se le conoce con el nombre de valores de placa. Ahí mismo deberá de incluirse la información del laboratorio de prueba que ha certificado a este como una unidad que ha pasado las pruebas de seguridad y de uso[3].

A continuación definiremos los cuatro parámetros eléctricos que identifican a un modulo fotovoltaico (Ver *Figura 1.12*).

***Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ):***

Es la máxima corriente que produce una celda, modulo o arreglo fotovoltaico bajo condiciones de irradiancia máxima ( $1\text{kW}/\text{m}^2$ ).

***Corriente a potencia máxima ( $I_{pmax}$ ):***

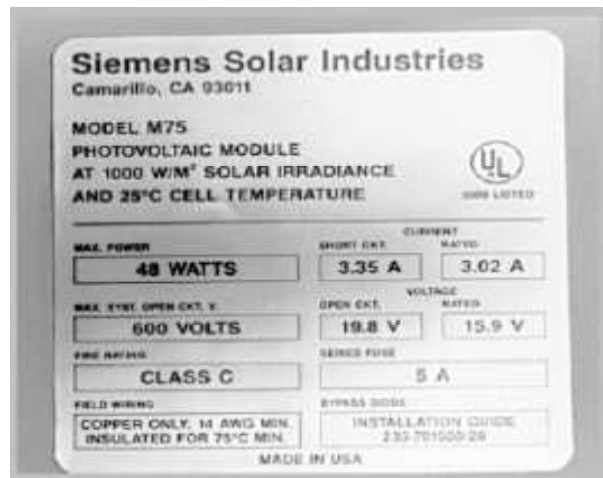
Es la corriente que genera una celda, modulo o arreglo fotovoltaico, que produce la máxima potencia de ellos, para cualquier valor de la irradiancia.

***Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ):***

Es el máximo voltaje que genera una celda, un modulo o arreglo fotovoltaico cuando sobre el incide la luz solar.

***Voltaje a potencia máxima ( $V_{pmax}$ ):***

Es el valor del voltaje en una celda, modulo o arreglo fotovoltaico para el cual la potencia que define es la máxima para cualquier valor de irradiancia [3].



***Figura 1.12*** Placa de datos de un modulo fotovoltaico de 48 Wp [3]

❖ ***Controlador:***

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad.

Si la batería ya está cargada, el controlador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia esta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el controlador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.

Existen diversas marcas y tipos de controladores. Es aconsejable adquirir siempre un controlador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) del sistema fotovoltaico. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga.

Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de esta ha descendido a valores peligrosos.

Generalmente el controlador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente [13].

### ❖ **Baterías:**

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

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

**1.-** Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos fotovoltaicos producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.

**2.-** Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar lámparas, licuadoras así como un televisor o radio precisamente cuando la radiación es nula.

Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.

**3.-** Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuado para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que puede producir los módulos fotovoltaicos (aun en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse.

En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas.

Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperes durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperes durante 100 horas.

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines.

Las consecuencias más graves del empleo de baterías de automóviles son:

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

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

La capacidad de la batería se mide en “amperes-hora” (Ah), una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100) [13].

Para evaluar el tamaño del sistema de baterías es necesario definir previamente los siguientes factores:

- ***Días de autonomía (D)***: Corresponden al tiempo que podrá funcionar el sistema sin recibir radiación solar en condiciones adecuadas. Habitualmente, para instalaciones de electrificación para viviendas este factor puede ser de 3 a 6 días, mientras que para aplicaciones profesionales puede superar los 10.
- ***Profundidad de descarga máxima (M)***: Corresponde al límite de descarga que puede alcanzar la batería. Para los casos mas habituales de electrificación domestica, puede tomarse este valor como de un 60%. Las baterías empleadas en otro tipo de sistemas pueden permitir profundidades de descarga superiores al 90%.
- ***Voltaje Nominal del Sistema (Vs)***: Esta depende directamente de las características de conexión del sistema Fotovoltaico, lo mas usual son tensiones de 12 o 24V en el caso de instalaciones domesticas [14].

### ❖ *Inversor:*

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

El tipo de la energía se refiere principalmente al comportamiento temporal de los valores de voltaje y corriente con los que se suministra esa energía.

Algunos aparatos eléctricos, como lámparas, radios y televisores funcionan a 12 volts de corriente directa, y por lo tanto pueden ser energizados a través de una batería cuyo voltaje se mantiene relativamente constante alrededor de 12 volts.

Por otra parte, hay lámparas, radios y televisores que necesitan 110 o 120 volts de corriente alterna para funcionar.

Estos aparatos eléctricos se pueden adquirir en cualquier comercio ya que con estos niveles de voltaje operan el 95% de los electrodomésticos en los sistemas conectados a la red pública convencional.

El voltaje en el tomacorriente, el cual tiene corriente alterna, fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo o 60 hertz, pero su valor efectivo es equivalente a 120 volts.

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

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

En sistemas fotovoltaicos pequeños es frecuente, además de los equipos antes mencionados, el uso de fusibles o interruptores para la protección del sistema (al menos un fusible o interruptor entre el sistema de módulos y el controlador). En sistemas medianos y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos y, adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada. En el siguiente capítulo damos la descripción detallada de los métodos de cálculo empleados para el diseño de los sistemas fotovoltaicos autónomos propuestos [13].

## Capítulo 2 Diseño de dos sistemas Fotovoltaicos autónomos

Por diseño de un sistema fotovoltaico autónomo se entiende un concepto muy amplio que abarcaría a todas las tareas y especificaciones que se han de realizar y tener en cuenta para que un sistema fotovoltaico funcione satisfactoriamente, con la mayor fiabilidad y al menor coste posible.

En este sentido existirán una gran multitud de factores que afectaran a este diseño como son entre otros el consumo o perfil de consumo de las cargas que vaya a alimentar el sistema fotovoltaico y el consumo del vital liquido requerido a bombear, así como la radiación del lugar donde se ubicara el sistema, principalmente.

El concepto de dimensionamiento seria un concepto menos amplio y estaría incluido entre las tareas de diseño. Se entiende por dimensionamiento de un sistema fotovoltaico el cálculo del tamaño óptimo de la instalación.

La tarea fundamental del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo (Ver *Figura 1.2*, *Figura 1.3* y *Figura 1.4*) consistiría principalmente en la determinación del tamaño óptimo tanto del arreglo fotovoltaico como de la batería o conjunto de baterías que formen el sistema.

Puesto que estos dos elementos son los más importantes del sistema fotovoltaico autónomo, se deberá prestar atención a su dimensionamiento.

En una fase posterior, y sin restarle importancia, habrá que dimensionar también los otros elementos que también participan en la instalación como son el inversor, el controlador de carga y el cableado.

Existe gran variedad de métodos de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos. Esta diversidad abarca desde métodos muy complicados y que necesitan de un programa informático para ejecutarse hasta métodos más simples, que con prácticamente una calculadora de mano permiten realizar el dimensionamiento. En nuestro caso emplearemos un método sencillo, conocido como el *método del mes critico* para el caso de la electrificación domestica (sistema 1), y para el caso del sistema de bombeo fotovoltaico (sistema 2) aplicaremos el *método del mes de diseño*, considerando algunas apreciaciones y factores relevantes en el dimensionamiento.

En la siguientes secciones de este capítulo, aplicaremos los métodos de diseño de cada uno de los bloques que conforman un sistema fotovoltaico autónomo tanto para la electrificación domestica como para el sistema fotovoltaico de bombeo de agua para abrevaderos. Así mismo se da la información de la ubicación donde tales sistemas fueron instalados. Un bloque muy fundamental, es la determinación de los calibres de los conductores tanto para las instalaciones de corriente directa (CD) como para las instalaciones en corriente alterna (CA). Ambos sistemas fueron diseñados de manera independiente para tener una mejor distinción de la configuración y aplicación de los mismos (es decir se diseñaron como sistemas individuales) [14].



## 2.1 Datos geográficos del lugar de instalación de los sistemas

El lugar de instalación de los sistemas fotovoltaicos propuestos, se ubica en la Ribera del Rio Hondo, siendo mas especifico en el ejido Cacao Othón P. Blanco, el cual se encuentra a 80 Km de la Ciudad de Chetumal Quintana Roo (Ver *Figura 2.13*). El camino desde la carretera principal del ejido Cacao, hacia el Rancho “La juventud” (Lugar donde se instalaron) es de difícil acceso (Ver *Figura 2.14*).

La información referente a la insolación del lugar fue considerada y tomada de los datos proporcionados para la Ciudad de Chetumal Quintana Roo, la cual tiene una latitud de  $18.23^\circ$  (Ver *Tabla 2.1*) [15].



*Figura 2.13* Mapa del estado de Quintana Roo [16]



*Figura 2.14* Camino hacia el rancho

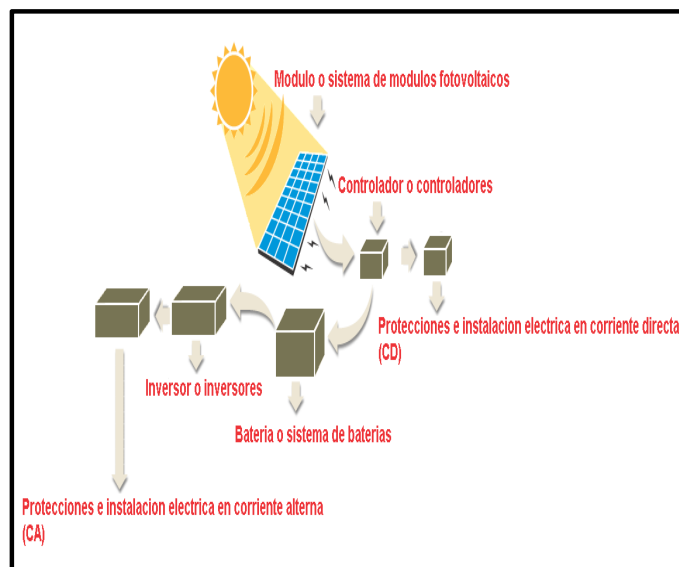
**Tabla 2.1 Insolación Global Mensual en kWh/m<sup>2</sup> día a 18.23° de Latitud, Chetumal QRoo [15]**

<i>Meses del año</i>	<i>Insolación Global (r)</i>
Enero	3.9
Febrero	4.7
Marzo	5.4
Abril	5.7
Mayo	5.3
Junio	4.7
Julio	4.9
Agosto	5.0
Septiembre	4.5
Octubre	4.4
Noviembre	4.0
Diciembre	3.7

## 2.2 Sistema 1 Electrificación domestica

En este caso, se pretende diseñar un sistema fotovoltaico para el suministro de corriente directa y alterna para cubrir las necesidades domesticas mas comunes (iluminación y uso de electrodomésticos comunes).

De tal manera que el propietario tenga la posibilidad de adquirir mejores condiciones de vida. Normalmente este procedimiento solo se realiza en aquellos lugares donde no existe conexión a la red, o la conexión resulta ser muy cara. El diseño consiste de una serie de pasos en los cuales se dimensionan cada uno de los bloques que integran un sistema fotovoltaico autónomo para la electrificación domestica. A continuación, damos la explicación del criterio de diseño cada uno de los bloques (Ver *Figura 2.15*).



**Figura 2.15 Diagrama de bloques de un sistema fotovoltaico para electrificación domestica [17]**

## 2.2.1 PASO1 Inventario energético de las cargas en corriente directa (CD) y alterna (CA)

Como primer paso en el diseño, es de suma importancia tener como dato de inicio una estimación de la demanda de energía eléctrica en watts-hora/día de las instalaciones eléctricas de la vivienda tanto en corriente directa como en corriente alterna.

Por lo tanto se habrán de evaluar, por separado, el consumo total de la energía de los aparatos de corriente directa y alterna, tal y como se muestra en la siguiente tabla (Ver *Tabla 2.2* y *Tabla 2.3*)[14].

**Tabla 2.2 Consumo de los aparatos en Corriente Directa (CD) a 12 volts [14]**

Descripción del aparato	Potencia (Watts) (P1)	Numero de aparatos (N1)	Horas de operación por día (hrs) (H1)	Consumo (Watts-hora/día) (P1xN1xH1=C1)
Lámpara compacta	9	1	0.5	4.5
<b>Total (1)</b>	=	$\Sigma C1$	=	<b>4.5</b>

$$\text{Es decir } Total(1) = \Sigma(P1 \times N1 \times H1) = \Sigma C1 = 4.5 \frac{Wh}{dia} \quad (2.1)$$

$$\text{Y } Total(2) = \Sigma(P2 \times N2 \times H2) = [(50) + (15) + (60) + (198)] = 323 \frac{Wh}{dia} \quad (2.2)$$

**Tabla 2.3 Consumo de los aparatos en Corriente Alterna (CA) a 110 Volts [14]**

Descripción del aparato	Potencia (Watts) (P2)	Numero de aparatos (N2)	Horas de operación por día (hrs) (H2)	Consumo (Watts-hora/día) (P2xN2xH2=C2)
Televisor a color de 14"	50	1	1	50
Radio	15	1	1	15
Licuada	350	1	0.17	60
Lámpara circular fluorescente	22	3	3	198
<b>Total (2)</b>	=	$\Sigma C2$	=	<b>323</b>

Para la *evaluación del consumo total (G)* de la instalación eléctrica en general se tienen en cuenta dos factores:

*Margen de seguridad de captación (Eb):* Corresponde a las pérdidas en el cableado, perdidas en conexiones, variaciones en los consumos previstos inicialmente, etc. En principio puede estimarse en un 15% para la mayoría de los casos.

*Eficiencia del inversor (Ei):* Es la relación entre la energía que se aporta al inversor y la realmente disponible para el consumo. Generalmente el inversor tiene un consumo propio constante y un rendimiento variable en función de la carga a la que suministre. Como se trata de un inversor de onda sinusoidal modificada le estimamos una eficiencia del 80% [14].

Considerando los factores definidos anteriormente se tiene que el reajuste del consumo total del sistema quedaría calculado aplicando por separado las siguientes formulas para corriente directa y corriente alterna respectivamente:

Para corriente directa se tiene que el consumo ajustado es:

$$G_c = \frac{[(100 + E_b) \times Total(1)]}{100} = \frac{[(100 + 15) \times 4.5]}{100} = 5.2 \frac{Wh}{dia} \quad (2.3)$$

Y para corriente alterna se tiene que:

$$G_a = \frac{[(100 + E_b) \times Total(2)]}{E_i} = \frac{[(100 + 15) \times 323]}{80} = 464.3 \frac{Wh}{dia} \quad (2.4)$$

De tal manera que el Consumo Total de la instalación eléctrica en general quedaría determinada de la siguiente forma:

$$G = G_c + G_a = 5.2 + 464.3 = 470 \frac{Wh}{dia} \quad (2.5)$$

A continuación, consideramos un Consumo Total ( $G$ ) de igual manera para todos los meses del año y aplicamos la relación de Consumo Total ( $G$ )/Insolación Global ( $r$ ) tal y como se muestra en la siguiente Tabla.

**Tabla 2.4 Relación de Consumo Total ( $G$ ) entre Insolación ( $r$ ) [14]**

<i>Meses del año</i>	<i>Consumo Total (G)</i>	$P_{max} = \frac{G}{r}$
Enero	470	121
Febrero	470	100
Marzo	470	87
Abril	470	83
Mayo	470	89
Junio	470	100
Julio	470	96
Agosto	470	94
Septiembre	470	104
Octubre	470	107
Noviembre	470	118
<b>Diciembre</b>	<b>470</b>	<b>127</b>

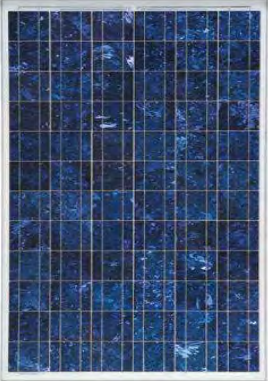
En base a la **Tabla 2.4** notamos que el mes de diseño para nuestro proyecto sería el mes de diciembre, ya que es el mes donde menos insolación tendremos y en donde más potencia ( $P_{max}$ ) se requerirá para cubrir el Consumo Total requerido por la instalación eléctrica de la vivienda. Con este dato obtenido, es posible determinar el sistema de módulos fotovoltaicos necesarios para el abastecimiento de la energía demandada por la instalación receptora [14].

## 2.2.2 PASO2 Dimensionamiento del sistema de módulos fotovoltaicos y del controlador de carga

Ahora entramos a una de las etapas más importantes del diseño de nuestro proyecto. La potencia de captación ( $P_c$ ) en Watts-pico ( $W_p$ ) del modulo fotovoltaico elegido, es muy necesaria antes que nada para determinar el tamaño del sistema de módulos fotovoltaicos. En este caso se emplearon módulos fotovoltaicos poli cristalinos de 80 Watts-pico. Las características físicas y eléctricas del modulo fotovoltaico se detallan en la **Tabla 2.5**.

**Tabla 2.5 Características Físicas y eléctricas de un modulo fotovoltaico de 80 Wp [18]**

Compañía: TOTAL-ENERGIE		
Modelo: TE850A3		
Tamaño de celdas	mm	125 x 125
Numero de celdas	us	36/4 x 9
Potencia típica	Wp	80
Voltaje de uso	V	12
Voltaje a potencia máxima ( $V_{mp}$ )	V	17.3
Corriente a potencia máxima ( $I_{mp}$ )	A	4.6
Voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ )	V	21.8
Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ )	A	5
Conexión		Caja de conexión
Voltaje máximo de función del sistema	V	600
Diodos de protección		2 Bypass
Peso	kg	7.8
Temperatura de uso y almacenamiento	°C	-40/+85
Humedad relativa		0 a 100%



A partir de la potencia de captación en Watts-pico del modulo fotovoltaico elegido y de  $P_{max}$ , es posible determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para suplir la energía requerida. Debido a posibles errores en la orientación, conexiones y al efecto de la temperatura en los módulos compensamos en un 10%, de tal manera que la cantidad de módulos del sistema quedaría determinada mediante la siguiente formula [14]:

$$N_{mod} = 1.1 \frac{P_{max}}{P_c} = \frac{1.1 \times 127}{80} = 2 \quad (2.6)$$

Llegada esta fase del diseño, deberá de definirse el voltaje nominal del sistema ( $V_s$ ) de módulos fotovoltaicos.

Si el voltaje nominal del sistema es 12 V, y el voltaje a potencia máxima del modulo seleccionado es 17.3 V el número de módulos fotovoltaicos que deberán conectarse en serie  $N_{s, mod}$  para que el voltaje nominal ( $V_s$ ) de salida del sistema de módulos fotovoltaicos iguale al voltaje del sistema de baterías ( $V_B$ ) será calculado por la siguiente formula:

$$N_{s, mod} = \frac{V_s}{V_{mp}} = \frac{12}{17.3} = 1 \quad (2.7)$$

Y el número de módulos que se conectaran en paralelo será [13]:

$$N_{p, mod} = \frac{N_{mod}}{N_{s, mod}} = \frac{2}{1} = 2 \quad (2.8)$$

Según la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEDE-2005) y la NEC-96 (Nacional Electrical Code), referente a los sistemas de energía fotovoltaica, la capacidad del controlador quedaría calculada, considerando la corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) y el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) del modulo fotovoltaico seleccionado, por lo tanto la capacidad del controlador necesario para este sistema se determinaría de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$G_c = 1.56 \times N_{p, mod} \times I_{sc} = 1.56 \times 2 \times 5 = 15.6 \text{ A} \quad (2.9)$$

$$Y \ V_c = 1.25 \times N_{s, mod} \times V_{oc} = 1.25 \times 1 \times 21.8 = 27.25 \text{ V} \quad (2.10)$$

Esto significa que emplearemos un controlador con una capacidad de 20 A y con un voltaje máximo de regulación de 27.25 V. Esto también implica que todos los aparatos en Corriente Directa y dispositivos de protección tendrán la capacidad de soportar 27.25 V. Por lo tanto seleccionamos un controlador cuyas características se adapten a estas exigencias de diseño como el que se muestra en la Tabla 2.6 [3].

**Tabla 2.6 Características Físicas y eléctricas de un controlador [19]**

<b>Compañía: Morningstar Corporation.</b>				
<b>MODELO: SS-20L</b>				
Carga especificada (Amperes)	Regulación de voltaje (Batería sellada)	Regulación de voltaje (Batería con liquido)	Peso (kg)	Cable (mm <sup>2</sup> )
20	14.1-28.2 V	14.4-28.8 V	0.23	5.2



### 2.2.3 PASO3 Dimensionamiento del sistema de baterías e inversor de corriente

Por ultimo, la capacidad de acumulación ( $Q$ ), en amperes-hora (Ah), se calculo utilizando el siguiente criterio:

$$Q = \frac{110 \times G \times D}{V_s \times M} = \frac{110 \times 470 \times 3}{12 \times 60} = 215 \text{ Ah} \quad (2.11)$$

Posteriormente, seleccionamos en base al cálculo anterior, la batería con la capacidad en Ah mas ajustada a este valor, dando como resultado la selección de una batería de 6 volts ( $V_b = 6$  Volts) y 225 Ah ( $S = 225$  Ah) cuyas características físicas y eléctricas se muestran en la Tabla 2.7 [14].

**Tabla 2.7 Características Físicas y eléctricas de una Batería de Ciclo profundo [20]**

<b>Compañía: Trojan Battery Company</b>				
<b>Modelo: T-105</b>				
Capacidad (Ah)	Voltaje (Volts)	Peso (kg)	Dimensiones (mm)	
225	6	28	264 x 181 x 284	



Como el voltaje nominal del sistema ( $V_s$ ) de módulos fotovoltaicos deberá coincidir, con el voltaje del sistema de baterías, el conexionado del sistema de baterías quedaría efectuado de acuerdo al siguiente criterio:

$$\text{El número de baterías a conectar en paralelo sería: } B_p = \frac{Q}{s} = \frac{215}{225} = 1 \quad (2.12)$$

$$\text{Y el número de baterías a conectar en serie: } B_s = \frac{V_s}{V_b} = \frac{12}{6} = 2 \quad (2.13)$$

De tal forma, que el número total de baterías ( $TB$ ) a utilizar para esta aplicación sería[13]:

$$TB = B_p \times B_s = 1 \times 2 = 2 \quad (2.14)$$

En el caso del tamaño del inversor, la primera regla que debemos tomar, es la de conseguir el consumo exacto de los equipos en corriente alterna, así como su punta de arranque. Este último dato es la causa de múltiples averías, ya que por una parte, muchos de los inversores no pueden proporcionar puntas de potencia grandes, y por otra existen determinados equipos (frigoríficos, motores etc.) que pueden llegar a consumir hasta diez veces su potencia nominal en el momento del arranque. De acuerdo a la **Tabla 2.8** la potencia total instalada en Corriente Alterna (CA) es 481 Watts, cantidad que fue calculada en base a la siguiente fórmula:

$$\sum P_i = \sum [(P_2 \times N_2)] = 481 \text{ W} \quad (2.15)$$

Dicho dato, representaría técnicamente la potencia de salida requerida por los aparatos en Corriente Alterna para poder funcionar correctamente, sin embargo los inversores tienen un consumo propio que depende de su rendimiento ( $E_i$ ) el cual es siempre proporcionado por el fabricante.

Entonces, la potencia mínima del inversor necesario quedaría determinada a través del siguiente criterio:

$$P_{inv} = \frac{\sum P_i}{E_i} = \frac{481}{0.8} = 601.3 \text{ W} \quad (2.16)$$






**Tabla 2.8 Inventario de la potencia total instalada en Corriente Alterna [14]**

Descripción del aparato	Potencia (Watts) (P2)	Numero de aparatos (N2)	Potencia instalada (Watts) (Pi = P2*N2)
Televisor a color de 14"	50	1	50
Radio	15	1	15
Licuada	350	1	350
Lámpara circular fluorescente	22	3	66
<b>Potencia total Instalada</b>	=	$\sum P_i$ =	481



Se selecciona un inversor de 800 Watts (W) de onda senoidal modificada cuyas características quedan definidas en la **Tabla 2.9** [14].

**Tabla 2.9 Especificaciones eléctricas de un inversor de onda senoidal modificada [21]**

<b>Compañía:</b> <b>Techmancorporation.</b>				
<b>MODELO: TIA-800</b>				
Voltaje de entrada ( <b>V<sub>in</sub></b> )	Voltaje de salida ( <b>V<sub>out</sub></b> )	Frecuencia ( <b>F</b> ) (Hertz)	Potencia nominal ( <b>P<sub>n</sub></b> )	
12 – 13.8 V	110 V	60	800 W	

#### 2.2.4 PASO4 Cálculo del calibre de los conductores eléctricos en corriente directa (CD)

El cálculo del calibre del conductor a utilizar para la interconexión de los diferentes elementos de un sistema fotovoltaico es muy importante, debido fundamentalmente a que estamos trabajando con Corriente Directa (CD) de bajo valor (12V, 24V etc.) y como consecuencia el número de amperes aumenta, haciendo que las pérdidas en los conductores eléctricos sean notorias si estos no están bien dimensionados. La norma eléctrica sugiere mantener las caídas de voltaje al mínimo para evitar grandes pérdidas de energía y aparatos que operen de una manera deficiente.

- En sistemas fotovoltaicos cuyo voltaje nominal del sistema (**V<sub>s</sub>**) sea menor o igual a 48 Volts, la caída de voltaje debe limitarse a un valor máximo del 3% del voltaje de operación del sistema fotovoltaico en cualquier circuito de este.
- En sistemas de más de 48 Volts, las caídas de voltaje deben limitarse a un máximo del 5% del voltaje nominal del sistema fotovoltaico [22].

Como el voltaje nominal de nuestro sistema fotovoltaico es de 12 Volts, entonces de acuerdo a lo anterior estaremos restringidos a una caída de voltaje máxima de  $E\% = 3\%$ . Por lo tanto, para calcular el calibre adecuado (**S<sub>c</sub>**) para transferir la energía entre ambos bloques de nuestro sistema emplearemos la siguiente fórmula [29].

$$S_c = \frac{4 \times L \times I}{V_s \times E\%} \quad (2.17)$$

La fórmula anterior nos permite calcular el calibre del conductor en función de la longitud (**L**), la intensidad (**I**) y la caída de tensión (**E%**) permitida.

El dimensionamiento del cableado se realizará en función a la forma en cómo están distribuidas las cargas en corriente directa (CD) y la ubicación de los equipos. Dentro de la vivienda se ubicarán los equipos que conforman el sistema fotovoltaico (Inversor, sistema de baterías, controlador y protecciones). El sistema de módulos fotovoltaicos se instalará sobre una estructura de madera dura y a una altura lo suficientemente segura para evitar que los animales estropeen el sistema de módulos.



A continuación procedemos al cálculo del calibre de los conductores entre los equipos y las cargas en corriente directa (CD) [26].

### Selección del calibre del cable para la conexión entre módulos fotovoltaicos

Antes de calcular el calibre del conductor para la interconexión de los módulos fotovoltaicos, se requiere determinar la corriente eléctrica de diseño ( $I_{D1}$ ) la cual está determinada en base a la norma eléctrica para sistemas fotovoltaicos de la siguiente manera:

$$I_{D1} = 1.56 \times N_s, \text{mod} \times I_{sc} = 1.56 \times 1 \times 5 = 7.8 \text{ A} \quad (2.18)$$

Estimamos una distancia de un metro entre módulos adyacentes ( $L_1=1\text{m}$ ) por lo tanto:

$$S_{c1} = \frac{4 \times L_1 \times I_{D1}}{V_s \times E\%} = \frac{4 \times 1 \times 7.8}{12 \times 3} = 0.87 \text{ mm}^2 * \quad (2.19)$$

El conductor calibre #18 tiene una sección transversal de  $0.82 \text{ mm}^2$  y una ampacidad de  $7.5 \text{ A}$  a una temperatura de servicio de  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ , el cual no es adecuado debido a que nuestra corriente eléctrica de diseño ( $I_{D1}$ ) y la sección transversal calculada es mayor que la de este conductor\*. Según la norma eléctrica solo es adecuado para la interconexión de los módulos fotovoltaicos mínimo el calibre #14 el cual tiene una sección transversal de  $2.08 \text{ mm}^2$  y una ampacidad de  $25 \text{ A}$  a una temperatura de servicio de  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , lo cual satisface los requerimientos de ampacidad y caída de voltaje permisible. Por lo tanto, seleccionamos el calibre #14 para la interconexión de los módulos fotovoltaicos.

Ahora bien, los cables eléctricos se alojarán dentro de una tubería conduit de PVC para instalaciones fotovoltaicas, lo que implica que estarán a una temperatura diferente ( $60\text{-}70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) a la del medio ambiente.

Esto significa que la ampacidad del calibre del cable seleccionado se reducirá a  $14.5 \text{ A}$  (o sea  $25 \times 0.58 = 14.5 \text{ A}$ ). Sin embargo esta reducción no afecta a la corriente de diseño ya que es mucho menor que este valor [28].

### Selección del calibre del cable del sistema de módulos al controlador

Según la norma eléctrica, la corriente de diseño ( $I_{D2}$ ) que proporcionara el sistema de módulos al controlador será:

$$I_{D2} = 1.25 \times N_p, \text{mod} \times I_{sc} = 1.25 \times 2 \times 5 = 12.5 \text{ A} \quad (2.20)$$

Considerando una distancia entre equipos de  $3.5$  metros ( $L_2= 3.5 \text{ m}$ ) se tiene que:

$$S_{c2} = \frac{4 \times L_2 \times I_{D2}}{V_s \times E\%} = \frac{4 \times 3.5 \times 12.5}{12 \times 3} = 4.86 \text{ mm}^2 \quad (2.21)$$

El conductor calibre #10 tiene una sección transversal de 5.26 mm<sup>2</sup> y una ampacidad de 40 A a una temperatura de servicio de 90 °C. Como estarán en tubería la ampacidad se reduce a 23.2 A (40\*0.58 = 23.3 A), si embargo es mayor que la corriente de diseño por lo tanto seleccionamos este calibre [28]. (Ver anexo 2 y anexo 3).

**Selección del calibre del cable del controlador al sistema de baterías**

Como la corriente (**ID2**) a controlar es la misma que la que viene del sistema de módulos al controlador, considerando una distancia de 1.4 metros (**L3** =1.4 m) tenemos lo siguiente:

$$Sc3 = \frac{4 \times L3 \times ID2}{Vs \times E\%} = \frac{4 \times 1.4 \times 12.5}{12 \times 3} = 1.94 \text{ mm}^2 \quad (2.22)$$

El calibre de conductor#14 tiene una sección transversal de 2.08 mm<sup>2</sup> y una ampacidad de 25 A a una temperatura de servicio de 90 °C. Si embargo esta capacidad se reduce a 20.3 A (25\*0.58 = 14.5 A) por estar alojados en tubería. Por lo consiguiente seleccionamos este calibre ( Ver anexo 2 y 3) [28].

**Selección del calibre del cable desde el controlador a lámpara compacta**

Desde el controlador se conectara una lámpara compacta que operara al voltaje nominal del sistema (**Vs**) o sea 12 Volts. Esta lámpara se instalara en la estructura de madera donde se alojara el sistema de módulos fotovoltaicos para una posible ampliación o como un medio de emergencia, la cual se encontrara a una distancia de 4 metros (**L4**). La potencia de la lámpara compacta (**PL**) es de 9 Watts por lo tanto el consumo de corriente será de:

$$ID4 = \frac{PL}{Vs} = \frac{9}{12} = 0.75 \text{ A} \quad (2.23)$$

Y el calibre del cable necesario será:

$$Sc4 = \frac{4 \times L4 \times ID4}{Vs \times E\%} = \frac{4 \times 4 \times 0.75}{12 \times 3} = 0.33 \text{ mm}^2 \quad (2.24)$$

El calibre de conductor # 18 tiene una sección transversal de 0.82 mm<sup>2</sup> y una ampacidad de 7.5 A a una temperatura de servicio de 75 °C.

Como los cables estarán en tubería la ampacidad de éste cable se reducirá a 4.35 A (7.5 \*0.58), lo cual lo hace idóneo técnicamente y económicamente para la conexión de la lámpara compacta, sin embargo la norma eléctrica no permite el uso de calibres de conductores por debajo del calibre del conductor #14. Por consiguiente, optamos por seleccionar el calibre #14 [28].

### Selección del calibre del cable de interconexión del sistema de baterías

Para el cálculo del cable a utilizar para la conexión de las baterías, generalmente se toma la capacidad ( $ID_5 = 225$ ) de la batería en Ah especificada por el fabricante en su paca de datos (Ver **Tabla 2.7**). Como las baterías se conectarán en serie para adecuar el voltaje nominal ( $V_s$ ) del sistema de módulos, por lo tanto consideraremos una distancia entre puente de 0.5 m ( $L_5 = 0.5$  m).

$$Sc_5 = \frac{4 \times L_5 \times ID_5}{V_s \times E\%} = \frac{4 \times 0.5 \times 225}{12 \times 3} = 12.5 \text{ mm}^2 \quad (2.25)$$

El calibre de conductor #6 tiene una sección transversal de 13.3mm<sup>2</sup>, pero no es adecuado debido a que su ampacidad es de 75 A a una temperatura de servicio de 90 °C. Según la tabla del apéndice el conductor mínimo para la conexión entre baterías sería el calibre # 3/0 el cual tiene una ampacidad de 225 A a una temperatura de servicio de 90 °C [28].

### Selección del calibre del cable del sistema de baterías al inversor

Generalmente, los inversores de onda senoidal modificada por debajo de los 1000 Watts nominales incluyen el cable eléctrico para conectarlos al sistema de baterías. El inversor seleccionado cuyas especificaciones se dan en la **Tabla 2.9** posee 1 metro ( $L_6 = 1$ m) de cables con conectores tipo caimán calibre #8. Sin embargo realizaremos el cálculo para verificar si cumple con estas especificaciones. La potencia nominal ( $P_n$ ) del inversor de corriente seleccionado es de 800 Watts y opera al voltaje del sistema de módulos fotovoltaicos ( $V_s$ ) según las especificaciones dadas en la **Tabla 2.9** por lo tanto la corriente eléctrica ( $ID_6$ ) que absorberá será calculada de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$ID_6 = \frac{P_n}{V_s} = \frac{800}{12} = 67 \text{ A} \quad (2.26)$$

y

$$Sc_6 = \frac{4 \times L_6 \times ID_6}{V_s \times E\%} = \frac{4 \times 1 \times 67}{12 \times 3} = 7.44 \text{ mm}^2 \quad (2.27)$$

En base al resultado, el calibre de conductor #8 tiene una sección transversal de 8.37 mm<sup>2</sup> y una ampacidad de 55 A a una temperatura de servicio de 90 °C al aire libre. Vemos que efectivamente el calibre #8 es el adecuado para este inversor de corriente.

De acuerdo a los datos obtenidos en los cálculos anteriores la interconexión de los componentes del sistema fotovoltaico autónomo para la vivienda, y los calibres de los conductores adecuados para tal aplicación quedarían contemplado tal y como se muestra en la **Figura 2.16**.

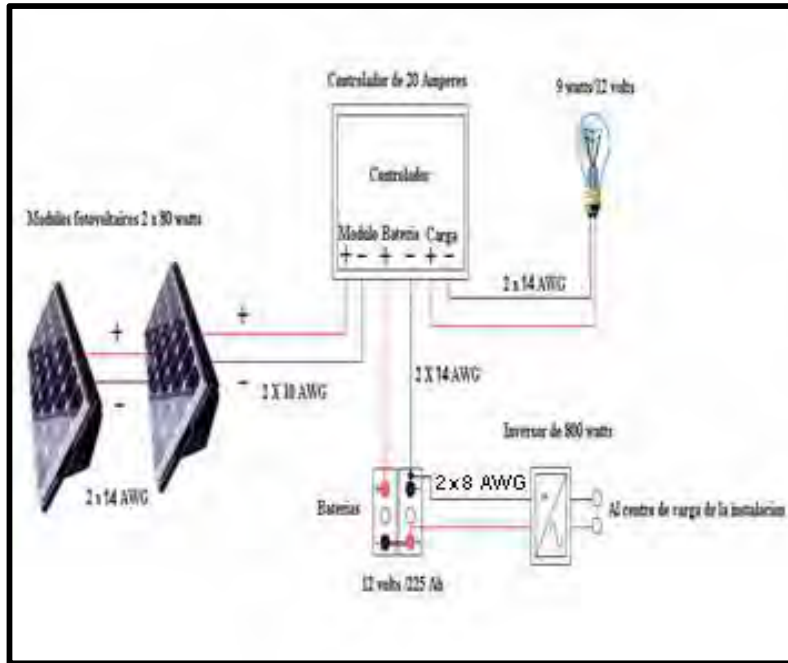


Figura 2.16 Diagrama de conexión de los equipos del sistema [23]

En cuanto, al tipo de conductores a emplear, de acuerdo a la norma eléctrica se sugirieron los tipos RHW-2, THW-2, y THWN-2 tanto para la interconexión de los módulos como para la conexión entre el sistema de módulos o arreglo fotovoltaico y el controlador de carga.

Según la Norma eléctrica solo requieren sistemas de tierras aquellos sistemas de módulos fotovoltaicos con voltajes en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) mayores de 50 Volts (es decir mínimo 3 módulos fotovoltaicos conectados en serie). Como el voltaje en circuito abierto del sistema de módulos es de 21.8 Volts ( $V_{oc}$ ) entonces no requerimos ningún sistema de tierras para el conductor negativo, sin embargo deberá instalarse un sistema de tierra (una varilla de copperweld) para el aterrizado de todos los equipos ya que habrán partes metálicas de los mismos y equipos homologados [29].

Para un mejor mantenimiento, pero sobre todo seguro será necesario sugerir algún medio de desconexión o dispositivo de protección (fusibles, interruptores etc.). El cálculo de estos dispositivos será en base a lo que dicta la norma. Los dispositivos de desconexión o protección fueron calculados de acuerdo a las especificaciones eléctricas de los equipos que conforman el sistema fotovoltaico propuesto, los cuales se muestran en la Tabla 2.10 [3].

Tabla 2.10 Cálculo y localización de los dispositivos de desconexión [3]

Dispositivo de desconexión	Voltaje (Volts)	Corriente (Amperes)
De módulos a controlador	$= 1.25 \times V_{oc} \times N_s, \text{ mod}$ $= 1.25 \times 21.8 \times 1 = 28 \text{ V}$	$= 1.25 \times I_{sc} \times N_p, \text{ mod}$ $= 1.25 \times 5 \times 2 = 13 \text{ A}$
De baterías a inversor	$1.25 \times V_s = 1.25 \times 12 = 15 \text{ V}$	$= 1.25 \times I_{D6} = 1.25 \times 67 = 84 \text{ A}$

Esto significa que requeriremos un interruptor o fusible de 28 Volts y 13Amperes y otro de 15 Volts y 84 Amperes para tal propósito.

Hasta esta etapa del diseño se ha determinado la capacidad de los equipos que conformaran el sistema fotovoltaico autónomo para satisfacer los requerimientos básicos de la vivienda, los dispositivos de desconexión y los calibres de los conductores que transportaran la energía eléctrica generada por el sistema de módulos o arreglo fotovoltaico. Como los conductores eléctricos que interconectan los diferentes equipos del sistema estarán alojados dentro de tuberías será necesario determinar el tamaño de tubería mínimo necesario para esta aplicación. Dicha tubería puede seleccionarse de acuerdo a la **Tabla 2.11**.

**Tabla 2.11** Numero máximo de conductores que pueden alojarse en tubo conduit [28]

TIPO DE CONDUCTOR	CALIBRE DEL CONDUCTOR (AWG)	DIAMETRO NOMINAL DEL TUBO (mm)									
		13	19	25	32	38	51	63	76	89	102
T, TW, y THW	14*	9	16	25	45	61					
	14	8	14	22	39	54					
	12*	7	12	20	35	48	78				
	12	6	11	17	30	41	68				
	10*	5	10	15	27	37	61				
	10	4	8	13	23	32	52				

\*Alambres

De acuerdo a la **Tabla 2.11** y en base a la **Figura 2.18** se selecciono tubería conduit de PVC de 13 mm (1/2”) para el alojamiento de los conductores [28].

### 2.2.5 PASO 5 Dimensionamiento de la instalación eléctrica de la vivienda

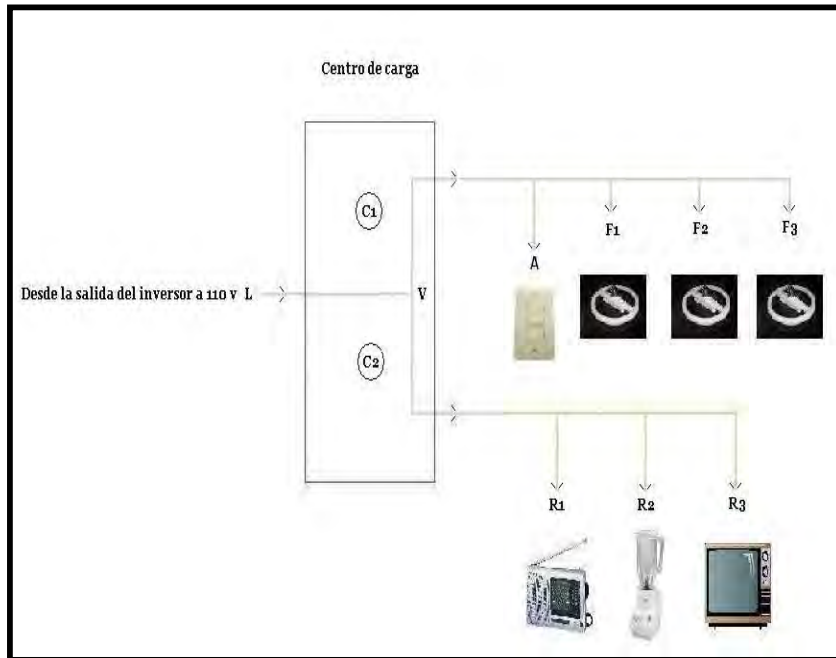
Para el diseño de la instalación eléctrica en corriente alterna, es necesario tener en cuenta ante todo la potencia de consumo de cada uno los aparatos de los que se pretende conectar y el tipo de carga que se pretende implementar en la instalación eléctrica. Esto implica que deberán de determinarse cuantos circuitos derivados se requerirán para el alumbrado y cuantos para propósitos generales. Según la norma para instalaciones eléctricas residenciales, se permite solo el uso de circuitos derivados de 15 o 20 amperes para alimentar unidades de alumbrado con portalámparas estándar. De acuerdo a la **Tabla 2.8** se tiene que la carga total de alumbrado es de 66 Watts con un voltaje de alimentación proporcionado por el inversor de 110 volts. Por lo tanto la capacidad de cada circuito derivado para el alumbrado será de 1650 Watts (es decir 110 Volts \*15 Amperes) de tal manera que el número de circuitos derivados para el alumbrado quedaría contemplado por la siguiente expresión:

$$No. de circuitos = \frac{Carga\ total\ de\ alumbrado\ (Watts)}{Capacidad\ de\ cada\ circuito\ (Watts)} = \frac{66}{1650} = 1 \quad (2.28)$$

Según la norma el número de salidas para un circuito derivado se calculan para un mínimo de 180 Watts. Por consiguiente, el número de salidas para este circuito derivado quedaría determinado en base a la siguiente expresión:

$$No. de salidas = \frac{Carga\ total\ Watts}{180\ Watts} = \frac{415}{180} = 2.31 = 3 \quad (2.29)$$

De acuerdo al criterio anterior, la instalación eléctrica de la vivienda, consistirá en 2 circuitos derivados, que saldrían de un centro de carga alimentado por un inversor de 800 Watts. El esquema del flujo de la corriente eléctrica a las cargas sería el propuesto por la *Figura 2.18* [28].



*Figura 2.17 Esquema del flujo de corriente en la instalación eléctrica en corriente alterna (CA) [22].*

El cálculo correspondiente al calibre del conductor para cada circuito de la instalación se efectúa en base a las distancias recorridas por la corriente eléctrica absorbidas por cada aparato de la instalación empleando el siguiente procedimiento.

- ✓ En primer lugar se establecen las distancias en las que se prevee que circularan las corrientes eléctricas es decir, de acuerdo a la *Figura 2.17* se tiene lo siguiente:

$$VA = 2 \text{ metros } AF1 = 8 \text{ metros } AF2 = 15 \text{ metros } AF3 = 20 \text{ metros}$$

$$VR1 = 4 \text{ metros } VR2 = 8 \text{ metros } VR3 = 10 \text{ metros}$$

- ✓ En segundo lugar, procedemos a calcular las corrientes eléctricas demandadas por cada circuito utilizando la ley de ohm.

Para el circuito 1 de alumbrado se tiene que la corriente demandada por cada lámpara sería igual a:

$$IF1 = IF2 = IF3 = \frac{F1}{V} = \frac{F2}{V} = \frac{F3}{V} = \frac{22 \text{ watts}}{110 \text{ volts}} = 0.2 \text{ A} \quad (2.30)$$

Para el circuito 1 de alumbrado se tiene que la corriente demandada por cada lámpara sería igual a:

$$IF1 = IF2 = IF3 = \frac{F1}{V} = \frac{F2}{V} = \frac{F3}{V} = \frac{22 \text{ watts}}{110 \text{ volts}} = 0.2 \text{ A} \quad (2.31)$$

Como todas las lámparas son iguales entonces la corriente total para el circuito 1 quedaría determinada mediante la siguiente expresión:

$$IT1 = No. \times IF1 = 3 \times 0.2 = 0.6 \text{ A} \quad (2.32)$$

Y para el circuito 2 se tiene que:

$$IR1 = \frac{R1}{V} = \frac{15 \text{ watts}}{110 \text{ volts}} = 0.14 \text{ A} \quad (\text{Radio}) \quad (2.33)$$

$$IR2 = \frac{R2}{V} = \frac{350 \text{ watts}}{110 \text{ volts}} = 3.18 \text{ A} \quad (\text{Licuadora}) \quad (2.34)$$

$$IR3 = \frac{R3}{V} = \frac{50 \text{ watts}}{110 \text{ volts}} = 0.45 \text{ A} \quad (\text{Televisor}) \quad (2.35)$$

Por consiguiente, la corriente total demandada por el circuito 2 sería:

$$IT2 = (IR1 + IR2 + IR3) = (0.14 + 3.18 + 0.45) = 3.77 \text{ A} \quad (2.36)$$

- ✓ En tercer lugar, aplicamos las siguientes formulas utilizando las corrientes demandadas y las distancias donde se prevé el flujo para determinar el calibre adecuado para cada circuito derivado de la instalación, teniendo en consideración una caída de voltaje permisible del 3% entre el centro de carga y cualquier punto de consumo y el 1% entre el inversor y el centro de carga [22].

Para calcular el calibre del circuito 1 se tiene lo siguiente:

$$S1 = \frac{4 \times [(VA + AF1) \times (IF1) + (VA + AF2) \times (IF2) + (VA + AF3) \times (IF3)]}{Va \times E\%}$$

$$S1 = \frac{4 \times [(2 + 8) \times 0.2 + (2 + 15) \times 0.2 + (2 + 20) \times 0.2]}{110 \times 3\%} = 0.2 \text{ mm}^2 \quad (2.37)$$

Y para el circuito 2 se tiene que:

$$S2 = \frac{4 \times [(VR1 \times IR1) + (VR2 \times IR2) + (VR3 \times IR3)]}{Va \times E\%}$$

$$S2 = \frac{4 \times [(4 \times 0.14) + (8 \times 3.18) + (10 \times 0.45)]}{110 \times 3\%} = 0.4 \text{ mm}^2 \quad (2.38)$$

Para el conductor eléctrico entre el inversor de corriente y el centro de carga, suponemos que la corriente eléctrica que se demandara en esa línea será la total de la instalación eléctrica es decir [22]:

$$IT = IT1 + IT2 = 0.6 + 3.77 = 4.37 \text{ A} \quad (2.39)$$

De acuerdo a la *Figura 2.17* la distancia LV es igual a 0.5 metros. Por lo tanto el calibre de conductor entre el inversor y el centro de carga será calculado de acuerdo a la siguiente expresión considerando una caída de voltaje  $E\% = 1\%$  para este caso:

$$S = \frac{4 \times LV \times IT1}{Va \times E\%} = \frac{4 \times 0.5 \times 4.37}{110 \times 1\%} = 0.1 \text{ mm}^2 \quad (2.40)$$

De acuerdo a la norma y a las tablas del apéndice expuesta al final de esta monografía, el mínimo calibre de cables utilizado en las instalaciones eléctricas residenciales es el calibre #14 el cual tiene una sección transversal de 2.08 mm<sup>2</sup> y una ampacidad de 25 Amperes a una temperatura de servicio de 90 °C.

Por lo tanto seleccionamos este calibre para nuestra instalación para ambos circuitos y para la línea de conexión entre el inversor y el centro de carga. (Ver anexo 2 y anexo 3).

En base a la **Tabla 2.11** y a la *Figura 2.19* el máximo tramo de tubería conduit en la instalación eléctrica es de 4 conductores, por lo tanto seleccionamos tubería conduit de PVC de 13 mm de diámetro. La configuración de las conexiones de tubería conduit y accesorios es el mostrado en la *Figura 2.18* [28].



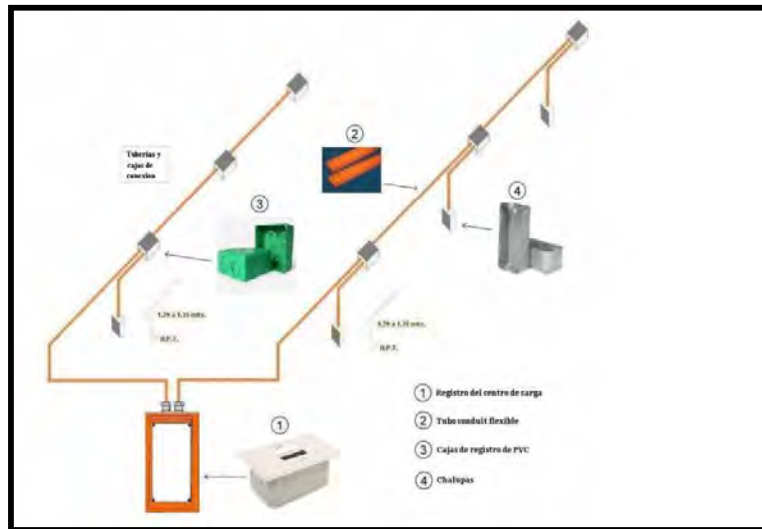


Figura 2.18 Diagrama de conexiones de las tuberías conduit [22]

- ✓ En cuarto lugar determinamos la capacidad de los interruptores que protegerán cada uno de los circuitos de la instalación eléctrica:

En el circuito 1 la corriente total ( $I_{T1}$ ) es de 0.6 A, por lo tanto la norma menciona que la capacidad del dispositivo de protección será calculado al 125% de la corriente total del circuito es decir:

$$P1 = 1.25 \times I_{T1} = 1.25 \times 0.6 = 0.75 \text{ A} = 1 \text{ A} \quad (2.41)$$

Para el circuito 2 la corriente total ( $I_{T2}$ ) es de 3.77 A, así que la capacidad del dispositivo de protección para este circuito será de:

$$P2 = 1.25 \times I_{T2} = 1.25 \times 3.77 = 4.7 \text{ A} = 5 \text{ A} \quad (2.42)$$

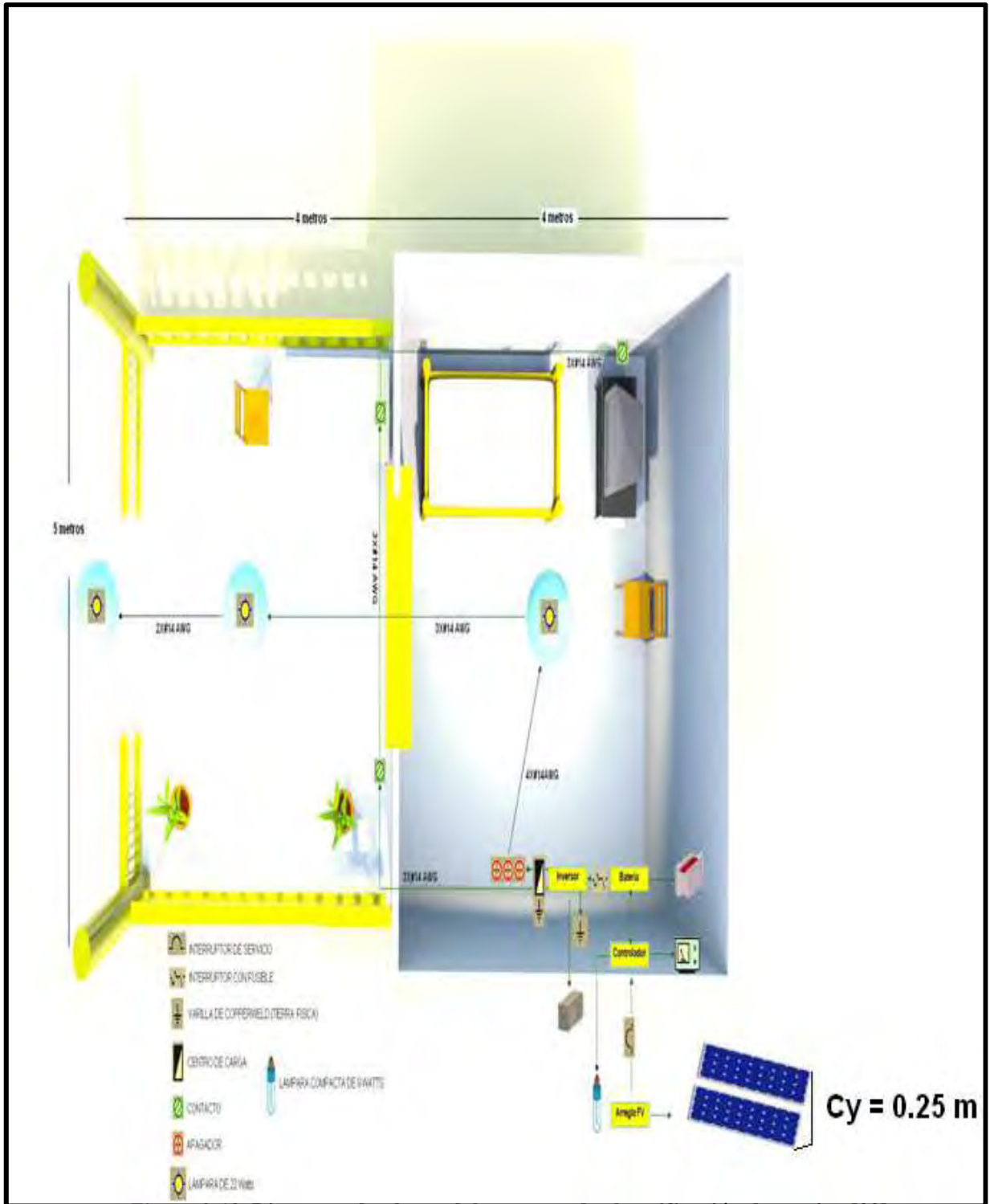
Por lo tanto requeriremos de dos interruptores uno de 1 A y el otro de 5 A para la protección de cada uno de los circuitos derivados[25].

Como la latitud del lugar es de  $18.23^\circ$  y el ancho de la estructura soporte sobre el cual van sujetos los módulos es de  $r = 0.8$  metros, entonces la componente vertical sería igual a:

$$C_y = r \text{sen}(LAT) = 0.8 \text{sen}(18.23^\circ) = 0.25 \text{ m} \quad (2.43)$$

con orientación hacia el sur.

Como diseño final del sistema el proyecto total quedaría contemplado esquemáticamente como el de la *Figura 2.19* donde se muestra un diagrama de planta, y donde se dan los detalles del calibre y número de conductores por tramo de tubería conduit, así mismo se muestra la ubicación de todos los equipos del sistema fotovoltaico propuesto [28].



*Figura 2.19* Diagrama de planta del proyecto de electrificación domestica [22]

## 2.2.1 Imágenes del proyecto realizado

✚ Antes :



*Figura 2.20* Vista de la vivienda

✚ Después:



*Figura 2.21* Vivienda con los módulos Fotovoltaicos instalados



*Figura 2.22* Vista frontal de los módulos



*Figura 2.23* Controlador de carga



*Figura 2.24* Inversor de corriente



*Figura 2.25* Sistema de baterías



*Figura 2.26* Lámpara exterior



*Figura 2.27 Lámpara del dormitorio*



*Figura 2.28 Lámpara de la sala*

Como un complemento de las necesidades del rancho “La juventud” pero sobre todo como un recurso vital para cubrir los requerimientos de producción agropecuario, dimensionamos un sistema fotovoltaico para suministrar el vital líquido para la manutención principalmente de los animales. La necesidad de obtener agua de calidad para los animales, resulta imprescindible por cuestiones de salud y del suministro constante. Es por ello que proponemos que una manera de contribuir al cuidado de los animales y al medio ambiente, sería a través del diseño de un sistema fotovoltaico. A continuación, damos una descripción y los pasos para el diseño del siguiente sistema [3].

### 2.3 Sistema 2 Suministro de agua potable

El presente proyecto tiene la finalidad de determinar el tamaño óptimo de un sistema fotovoltaico para el bombeo de agua para el mantenimiento de 25 vacas. La finalidad de este sistema se basa en transportar el agua desde un pozo hasta unos tanques de almacenamiento para una reserva de 3 días, para que posteriormente sea transportada hacia unos abrevaderos. Los pasos a seguir para la determinación de la capacidad del sistema son los siguientes:

#### 2.3.1 PASO1 Características físicas del pozo y estimación del recurso hidráulico

Antes que nada, es fundamental como dato de partida, tener el conocimiento de las características físicas del pozo, así como la determinación del recurso hidráulico disponible.

El pozo tiene una profundidad total de 43 metros, con un nivel estático de 23 metros, por lo tanto el recurso hidráulico ( $V$ ) disponible sería de una columna ( $L$ ) de agua de 20 metros (es decir  $43\text{ m} - 23\text{ m} = 20\text{ m}$ ) (Ver *Figura 2.30*).

Como la geometría del pozo es casi cilíndrica y la columna de agua disponible es de 20 metros deducimos que el recurso hidráulico ( $V$ ) disponible es:

$$V = 0.5 \pi D^2 L = 0.5 x (3.1416) x (0.5)^2 (20) = 8.107\text{ m}^3 = 8107\text{ Litros} \quad (2.44)$$

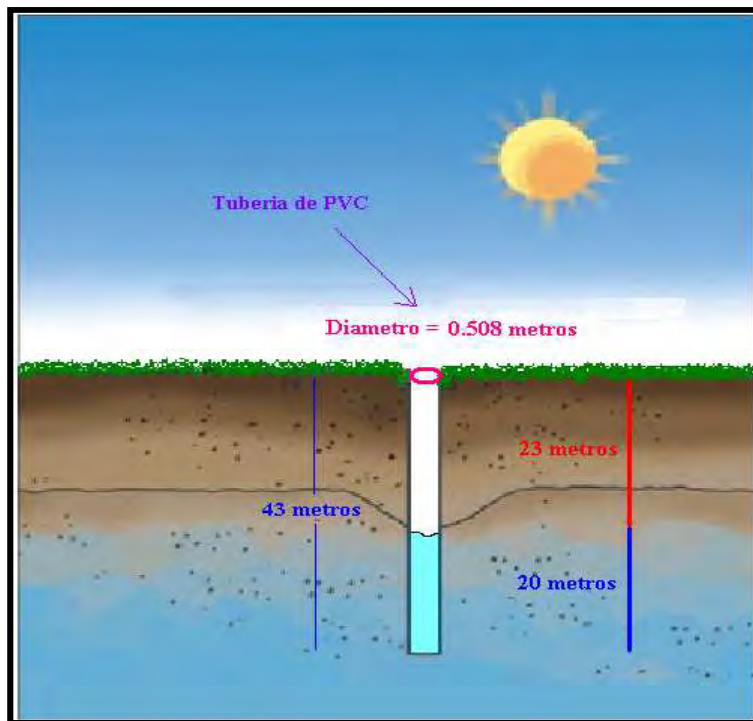


Figura 2.29 Datos geométricos del pozo [24]

### 2.3.2 PASO2 Calculo del caudal diario y longitud de la tubería de alimentación

Usando la tabla de consumos promedios, tendremos que tomar el de mayor consumo, pues para este proyecto como es puro ganado, en general, tomaremos: el consumo de agua del ganado lechero.

Tabla 2.12 Consumo promedio de agua para animales [26]

<i>Animal</i>	<i>Consumo de agua (litros/animal)</i>
Caballos	50
<b>Ganado lechero</b>	<b>40 – 57</b>
Toros	45
Bueyes o novillos	10 – 20
Burros	23
Puercos	20
Ovejas	5 – 8
Cabras	5 – 8
Gallinas	0.1 – 0.23



Considerando un consumo general para los animales por igual, con un promedio de:

**48.5 litros/día**, se tiene que la determinación del caudal diario requerido, considerando 25 cabezas de ganado y una sobre estimación del 20% para el caudal deseable quedaría de la siguiente manera:

✓ **Caudal deseable**

$$\text{Caudal deseable} = \# \text{ de animales} \times \text{consumo promedio} \left( \frac{\text{litros}}{\text{día}} \right) \times 1.2 \quad (2.45)$$

$$\text{Caudal deseable} = 25 \times 48.5 \times 1.2 = 1,455 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad (2.46)$$

✓ **Nivel de reserva**

$$\text{Nivel de reserva} = (\text{Caudal deseable} \times \# \text{ de días de reserva}) \quad (2.47)$$

$$\text{Nivel de reserva} = (1,455 \times 3) = 4365 \text{ litros} \quad (2.48)$$

Acumularemos en un tanque de almacenamiento 4,365 litros lo que representaría 3 días de reserva y ocuparía un espacio de 4.365 m<sup>3</sup>. Por lo tanto, seleccionamos dos tanques de almacenamiento de 2500 litros cada uno. Para el caudal diario sobre estimamos un 10% por consiguiente el caudal será igual a siguiente criterio:

✓ **Caudal diario**

$$\text{Caudal diario} = (\text{Caudal deseable} \times 1.10) \quad (2.49)$$

$$\text{Caudal diario} = (1,455 \times 1.10) = 1600.5 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad (2.50)$$

$$\text{Caudal diario} = 1600.5 \frac{\text{litros}}{\text{día}} = 1.6005 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \quad (2.51)$$

El espejo de agua se encuentra a 23 m de profundidad, como debemos mantener la bomba sumergida en todo momento, calculamos el abatimiento necesario de tal manera que la bomba no quede fuera del nivel del agua, por lo tanto el caudal diario previsto por día es  $C = 1.6005 \text{ m}^3/\text{día}$  entonces el abatimiento necesario será de:

$$A = \frac{C}{0.5 \pi D^2} = \frac{1.6005}{0.5 \times 3.1416 \times (0.5)^2} = 4 \text{ m} \quad (2.52)$$

Se estima que el tanque estará a una distancia horizontal de la cañería que lo alimentará, y que será de 10 m. En caso de que se hubiese construido el tanque de almacenamiento, el criterio geométrico hubiese sido un tanque en forma circular, donde D es el diámetro de la base, y H es la altura del tanque [3].

Nuestra reserva (R) representa 4.365 m<sup>3</sup> Si el diámetro (Dt) de nuestro tanque es de 3 m entonces la superficie de la base (B) será:

$$B = 0.5\pi Dt^2 = 0.5 \times 3.1416 \times (3)^2 = 14 \text{ m}^2 \quad (2.53)$$

Y la altura (Ht) del tanque será de:

$$Ht = \frac{R}{B} = \frac{4.365}{14} = 0.31 \text{ m} \quad (2.54)$$

Y la tubería total requerida de alimentación sería de: 23m + 4 m + 2.5m + 10m = 40 m Entonces el proyecto quedaría con base a los datos de la *Tabla 2.13*.

*Tabla 2.13 Datos físicos e hidráulicos del pozo [3]*

<i>Nivel estático del agua:</i>	23 m
<i>Abatimiento:</i>	4 m
<i>Altura de descarga:</i>	2.5 m
<i>Distancia al depósito:</i>	10 m
<i>Requerimiento diario:</i>	1600.5 litros/día

### 2.3.3 PASO3 Cálculo de la carga estática y carga dinámica total

Como no sabemos la demanda diaria de cada mes, ya que el propietario del rancho solo nos dio la cantidad de cabezas de ganado, estamos tomando la cantidad de agua demandada por día por igual para todos los meses. Como se debería tomar la demanda mayor de agua en cierto mes, en este caso tomamos de Abril-Agosto por que consideramos que son los meses que hace mayor calor y los animales toman más agua (ver *Tabla 2.14*).

**Tabla 2.14** Cálculo del mes de diseño [3]

Insolación Global en México en Kwh./m <sup>2</sup> -día				
Mes	Demanda Diaria		Insolación	Caudal
	(litros/día)		(horas-pico/día)	(litros/hora)
Enero	1600.5	/	3.9	410.4
Febrero	1600.5	/	4.7	340.5
Marzo	1600.5	/	5.4	296.4
<b>Abril</b>	<b>1600.5</b>	<b>/</b>	<b>5.7</b>	<b>280.8</b>
Mayo	1600.5	/	5.3	301.9
Junio	1600.5	/	4.7	340.5
Julio	1600.5	/	4.9	326.6
Agosto	1600.5	/	5	320.1
Septiembre	1600.5	/	4.5	355.7
Octubre	1600.5	/	4.4	363.7
Noviembre	1600.5	/	4	400.1
Diciembre	1600.5	/	3.7	432.5

Una vez determinado el régimen de bombeo de nuestro sistema fotovoltaico, procedemos a calcular nuestra carga estática y dinámica. El cálculo correspondiente de estos factores sería el descrito en la **Tabla 2.15**.

El factor 0.02 representa por omisión el 2% adicional del recorrido del fluido desde la noria hasta el punto de descarga. Este factor es debido a las pérdidas por el rozamiento del agua en la tubería [3].

**Tabla 2.15** Cálculo de la carga estática y carga dinámica total [3]

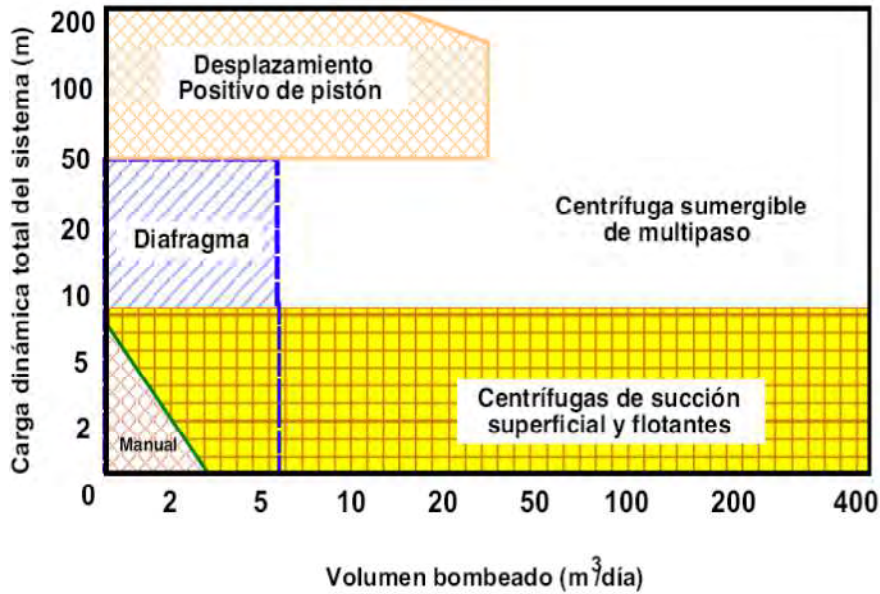
1	2	3
Volumen de agua necesaria por día (l/día)	Insolación del Sitio (h-pico/día)	Régimen de bombeo (l/h)
1600.5	÷	5.7 = 281

4	5	6	7	8	9	10
Nivel estático (m)	Abatimiento (m)	Altura de descarga (m)	Carga estática (m)	Factor de fricción (decimal)	Carga estática (m)	Carga dinámica total (m)
23	+	3.9	+	2.5	=	29.4
				x	0.02	+
						29.4
						=
						30.0



### 2.3.4 PASO4 Determinación del tipo de bombeo

El pozo tiene una carga dinámica total de 30 m y el caudal diario requerido es de 1.6005 m<sup>3</sup>/día por lo tanto el sistema quedaría determinado en base a la *Grafica 2.1* y a la *Tabla 2.16*.



*Grafica 2.1* Determinación del tipo de sistema de bombeo [3]

**Tabla 2.16** Rendimiento del sistema de bombeo en base a la carga dinámica [29]

Valores por omisión de eficiencias de sistemas de bombeo		
<i>Carga dinámica aproximada (metros)</i>	<i>Tipo de sistema de bombeo</i>	<i>Eficiencia</i>
5	Centrifuga de superficie	25%
20	Centrifuga de superficie	15%
20	Centrifuga de superficie	25%
20 a 100	Centrifuga de paso múltiple	35%
0 a 100	Desplazamiento positivo	35%
Más de 100	Desplazamiento positivo(de Palanca)	45%

De acuerdo a lo anterior el sistema de bombeo estaría conformado por una bomba de diafragma y desplazamiento positivo cuya eficiencia es de 35%. Una bomba con estas características hidráulicas y mecánicas sería la que se muestra en la *Tabla 2.17* [3].

**Tabla 2.17 Especificaciones de una bomba shurflo serie 9300 [25]**

<b>Compañía: SHURFLO</b>		
Numero de Modelo: 9325-043-101		
Diseño de bomba	mm	Desplazamiento positivo
Cámaras		3 diafragmas
Motor		De imán permanente con protección térmica
Voltaje nominal	V	24
Potencia máxima	Wp	120
Bypass interno	psi	105-110
Levantamiento máximo vertical	m	70
Sumersión máxima	m	30
Aplicaciones típicas		Bombeo de agua potable
Peso	kg	2.72



### 2.3.5 PASO5 Dimensionamiento del sistema de módulos fotovoltaicos y Controlador

Como ya sabemos el valor de la carga dinámica total y el volumen de agua necesaria, es posible determinar la energía hidráulica de nuestro sistema, y de esta forma determinar la corriente en Amperes que requerirá nuestro proyecto. Como nuestra bomba seleccionada solo trabaja con un voltaje de 24 volts, entonces el voltaje nominal del sistema será de 24 volts. El procedimiento de cálculo de la corriente eléctrica del proyecto sería el que se describe en la **Tabla 2.18**.

**Tabla 2.18 Cálculo de la corriente eléctrica necesaria [3]**

<b>11</b>		<b>12</b>		<b>13</b>		<b>14</b>		<b>15</b>		<b>16</b>		<b>17</b>		<b>18</b>	
Volumen de agua necesaria por día		Carga dinámica total		Factor de conversión		Energía hidráulica		Factor de rend. del sist. de bombeo		Energía del arreglo FV		Voltaje nominal del sist		Carga Eléctrica	
1	(l/día)	10	(m)			(Wh/día)				(Wh/día)		(v)		(Ah/día)	
	1600.5	x	30.0	÷	367	=	130.8	÷	0.35	=	373.803	÷	24	=	16

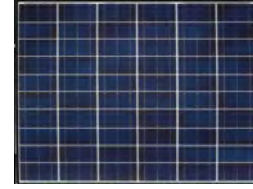
<b>19</b>		<b>20</b>		<b>21</b>	
Carga Eléctrica		Factor de rend. del conduct		Carga Eléctrica corregida	
18 (Ah/día)		(decimal)		(Ah/día)	
	16	÷	0.95	=	16.39

<b>22</b>		<b>23</b>		<b>24</b>	
Carga eléctrica corregida		Insolación del Sitio		Corriente del proyecto	
21 (Ah/día)		2 (h-pico/día)		(A)	
	16.39	÷	5.7	=	3

Con este dato de la corriente eléctrica es posible seleccionar el modulo fotovoltaico adecuado para este proyecto. Se seleccionan módulos fotovoltaicos cuyas características eléctricas y físicas se muestran en la **Tabla 2.19 [3]**.

**Tabla 2.19 Características Físicas y eléctricas de un modulo fotovoltaico de 54 Wp [26]**

<b>Compañía: KYOCERA</b>			
Modelo: KC50T			
Tamaño de modulo	mm	639x652x54	
Potencia típica	Wp	54	
Voltaje de uso	V	12	
Voltaje a potencia máxima (Vmp)	V	17.4	
Corriente a potencia máxima (Imp)	A	3.11	
Voltaje de circuito abierto (Voc)	V	21.7	
Corriente de cortocircuito (Isc)	A	3.31	
Conexión	Caja de conexión		
Peso	kg	5.0	



Una vez seleccionado el modelo del modulo fotovoltaico, el siguiente procedimiento de calculo seria la cantidad de los módulos que se requerirán para este proyecto así como la forma de conexión de los mismos. El procedimiento simplificado seria el descrito en la *Tabla 2.20*.

**Tabla 2.20 Conexión eléctrica de los módulos fotovoltaicos [3]**

<b>25</b>		<b>26</b>		<b>27</b>		<b>28</b>		<b>29</b>	
Corriente del proyecto		Factor de conversión de módulo		Corriente ajustada al proyecto		Corriente Imp del módulo		Módulos en paralelo	
<b>24</b>	(A)			(A)		(A)			
	3	÷	0.9	=	3	÷	3.11	÷	1

<b>30</b>		<b>31</b>		<b>32</b>		<b>33</b>		<b>34</b>	
Voltaje nominal del sistema		Voltaje Vmp del módulo		Módulos en serie		Módulos en paralelo		Total de Módulos	
<b>17</b>	(V)					<b>10</b>			
x	24	÷	17.4	=	2	x	1	=	2



El factor de conversión se utiliza solo para compensar perdidas de potencia debido al efecto de la temperatura a la cual trabajara el sistema de módulos fotovoltaicos [3].

Para la determinación del controlador, empleamos el siguiente criterio en base a la norma se tiene lo siguiente:

$$R = 1.56 \times I_{sc} \times \text{Módulos en paralelo} = 1.56 \times 3.31 \times 1 = 5 \text{ A} \quad (2.55)$$

En vista de que solo pudimos conseguir en el mercado controladores de 8 Amperes, procedimos a seleccionar un controlador de 8 A/24 volts. Las especificaciones eléctricas se muestran en la *Tabla 2.21* [3].

**Tabla 2.21 Especificaciones eléctricas para un controlador de bomba [27]**

Compañía: DANKOFF				
Modelo: 8B			Vista interior sin tapa	Vista con tapa
Voltajes de operación con selector	V	12/24/36/48		
Corriente eléctrica	A	8		
Tipo		Intemperie		
Peso	kg	0.3 kg		

### 2.3.6 PASO6 Cálculo del calibre de conductores en corriente directa (CD)

Este procedimiento de cálculo consiste en determinar los calibres de conductores adecuados para la interconexión de los módulos fotovoltaicos, del sistema de módulos al controlador y del controlador a la bomba. Dicho procedimiento es similar al de la sección 2.2.4 paso4 referente al sistema 1 (electrificación domestica). El cálculo se efectúa de la siguiente forma:

#### Selección del calibre del cable para la conexión entre módulos fotovoltaicos

El sistema de módulos fotovoltaicos esta compuesto por dos módulos de 54 Wp con conexión en serie. De acuerdo a la norma y a cálculos realizados anteriormente, el calibre mínimo para la interconexión de módulos fotovoltaicos es el calibre # 14 y el máximo el calibre #12. Por razones económicas seleccionamos el calibre #14 [29].

#### Selección del calibre del cable del sistema de módulos al controlador

En este caso nuestra corriente de diseño ( $I_D$ ) la determinamos mediante la siguiente formula:

$$I_D = 1.25 \times I_{sc} \times \text{Módulos en paralelo} = 1.25 \times 3.31 \times 1 = 4.13 \text{ A} \quad (2.56)$$

Y estimando una distancia ( $L_D$ ) de 4 metros se tiene que:

$$S = \frac{4 \times L_D \times I_D}{V_s \times E\%} = \frac{4 \times 4 \times 4.13}{24 \times 3} = 1 \text{ mm}^2 \quad (2.57)$$

El calibre #14 tiene una ampacidad de 25 A a una temperatura de servicio de 90 °C. Como los conductores irán alojados en tuberías conduit, lo que implica que estarán sometidos a una temperatura de 61 a 70 °C, entonces la ampacidad de este conductor se reducirá a 14.5 A (o sea  $25 \times 0.58$ ). Como la corriente de diseño es mucho menor a este valor entonces seleccionamos este calibre [28].

### Selección del calibre del cable del controlador a la bomba sumergible

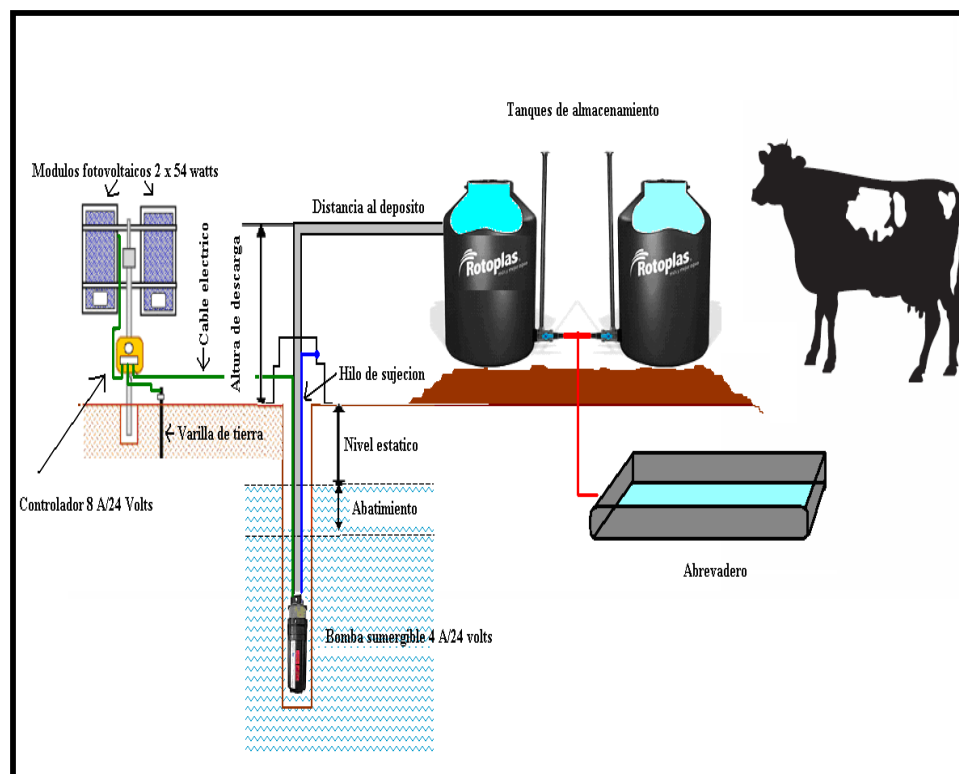
La corriente de diseño para este caso será la misma que en la anterior ya que esta se prevee que circule del controlador a la bomba sumergible. Estimando una distancia aproximadamente de 30 metros se tiene lo siguiente:

$$S = \frac{4 \times Lg \times ID}{Vs \times E\%} = \frac{4 \times 30 \times 4.13}{24 \times 3} = 7 \text{ mm}^2 \quad (2.58)$$

El calibre #8 tiene una sección transversal 8 mm<sup>2</sup> y una ampacidad de 55 A. Como estos conductores estarán en tubería conduit su capacidad se reducirá para un rango de temperatura de 61-70 ° C a 31.9 A (es decir 55 x 0.58). Nuestra corriente de diseño es mucho menor que esta ampacidad por lo tanto seleccionamos este calibre.

Por ultimo, solo se instalo una varilla de copperweld como sistema de tierra para todos los equipos que tuvieran partes metálicas como los módulos, estructuras y controlador.

En base a los datos obtenidos en los cálculos del sistema fotovoltaico para el bombeo, la configuración quedaría de acuerdo al diagrama de la *Figura 2.31* [28].



**Figura 2.30** Diagrama del proyecto del sistema de bombeo [3].



### 2.3.7 Imágenes del proyecto realizado

✚ Antes:



*Figura 2.31* Pozo hecho con maquina



*2.32* Agua que tomaban los animales

✚ Después:



*Figura 2.33* Pozo con bomba instalada instalados



*Figura 2.34* Módulos fotovoltaicos



*Figura 2.35* Bomba shurflo 9300 operando



*Figura 2.36* Conexión de los tanques



*Figura 2.37* Controlador de bomba tipo intemperie



*Figura 2.38* Electro nivel de los tanques

En conclusión, la necesidad diaria de contar con la energía y de hacerlo de manera eficiente y ecológica, ha impulsado a muchas personas a depender de la energía para realizar actividades productivas en el campo. Sin embargo, todavía nos queda mucho trabajo por hacer y canalizar la información del uso adecuado de las energías renovables a los productores agropecuarios. En el estado de Quintana Roo son muchas las necesidades que el productor requiere para satisfacer las necesidades en el campo con el propósito de extender su producción y a la vez la venta de sus productos agrícolas. Desafortunadamente, la falta de conocimiento del campo y de los sistemas fotovoltaicos por parte de algunos propietarios ha ocasionado la discontinuidad de algunos sistemas fotovoltaicos debido a la sobre estimación en la operación de los sistemas y a la inexperiencia del manejo de los animales así como la seguridad de los sistemas. Los sistemas fotovoltaicos generalmente no requieren de un mantenimiento frecuente, sin embargo es muy importante, elaborar un plan de mantenimiento y de seguridad para cada sistema antes de ponerlos en marcha y hacerle saber al propietario sobre el manejo adecuado del plan. Muchas veces y debido al costo de los equipos fotovoltaicos prescindimos de costos adicionales, principalmente en la seguridad de los sistemas, mismas que con el tiempo y a los accidentes resultan en lo no redituable y a la desconfianza de la tecnología fotovoltaica por parte del propietario. De acuerdo a la experiencia obtenida en la elaboración e instalación de estos proyectos, cabe señalar que la confiabilidad y operación de estos sistemas son efectivamente reales en la solución de cualquier necesidad, siempre y cuando se diseñen de la manera mas optima posible y se tomen en cuenta ante todo la seguridad de los equipos. En el diseño del sistema fotovoltaico para la electrificación domestica, aprendí que resulta más económico, pero sobre todo más seguro llevar a cabo la instalación del sistema fotovoltaico dentro de la vivienda (excepto los módulos fotovoltaicos). En el caso del sistema fotovoltaico para el bombeo de agua, como es costumbre se sugirió, la elaboración de un cerco de seguridad, mismo que no se llevo a cabo correctamente por el propietario, por la falta de experiencia en el manejo de sus animales. Desafortunadamente, esto implico gastos adicionales en tiempo y entrega, mismos que se vieron reflejados en daños y reparaciones, principalmente en el cableado, la tubería y la bomba. Uno de los inconvenientes que tuve para resolver el problema de los daños ocasionados al sistema fotovoltaico de bombeo, fue precisamente el de obtener algunas piezas dañadas de la bomba, debido a la poca cantidad de equipos y refacciones de equipos para energías renovables de venta en México y a la información referente a empresas dedicadas a la implementación y venta de este tipo de sistemas. Debido a razones económicas no se emplearon algunos elementos de las instalaciones como son las tuberías conduit de PVC adecuadas, interruptores de protección tanto para las instalaciones de corriente continua como de corriente alterna, así como el tipo de aislamiento de conductor adecuado para tales instalaciones. Sin embargo dichos proyectos operaron justamente a la forma en como fueron diseñados [29].

## ANEXOS

ANEXO 1 [22]

<b>FACTORES DE CORRECCION POR NUMERO DE CONDUCTORES (FN)</b>	
<b>CANTIDAD DE CONDUCTORES</b>	<b>FACTOR</b>
4 a 6	<b>0.8</b>
7 a 24	<b>0.7</b>
25 a 42	<b>0.6</b>
Sobre 42	<b>0.5</b>

ANEXO 2 [22]

<b>FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA AMBIENTE(FT)</b>	
<b>TEMPERATURA AMBIENTE°C</b>	<b>FACTOR</b>
<b>MAS DE 30 HASTA 35</b>	<b>0.94</b>
<b>MAS DE 35 HASTA 40</b>	<b>0.87</b>
<b>MAS DE 40 HASTA 45</b>	<b>0.80</b>
<b>MAS DE 45 HASTA 50</b>	<b>0.71</b>
<b>MAS DE 50 HASTA 55</b>	<b>0.62</b>
<b>MAS DE 60 HASTA 70</b>	<b>0.58</b>

ANEXO 3 [29]

<b>Tipo</b>	<b>Calibre (AWG)</b>	<b>Temp. Aislante</b>	<b>Ampacidad máxima (amperios)</b>	
			<b>a 30°C</b>	<b>a 60-70°C</b>
<b>Cables monoconductores</b>	<b>14</b>	<b>90°C</b>	<b>30</b>	<b>17.4</b>
		<b>75°C</b>	<b>25</b>	<b>8.3</b>
	<b>12</b>	<b>90°C</b>	<b>40</b>	<b>23.2</b>
		<b>75°C</b>	<b>35</b>	<b>11.5</b>
	<b>10</b>	<b>90°C</b>	<b>55</b>	<b>31.9</b>
		<b>75°C</b>	<b>50</b>	<b>16.5</b>
<b>Cables de 2 o más conductores</b>	<b>14</b>	<b>90°C</b>	<b>25</b>	<b>14.5</b>
		<b>75°C</b>	<b>20</b>	<b>6.6</b>
	<b>12</b>	<b>90°C</b>	<b>30</b>	<b>17.4</b>
		<b>75°C</b>	<b>25</b>	<b>8.3</b>
	<b>10</b>	<b>90°C</b>	<b>40</b>	<b>23.2</b>
		<b>75°C</b>	<b>35</b>	<b>11.5</b>
<b>8</b>	<b>90°C</b>	<b>55</b>	<b>31.9</b>	
	<b>75°C</b>	<b>50</b>	<b>16.5</b>	



## Bibliografía

### Referencias Webs

- [1] “7º *Simposium Latinoamericano de la energía 2012*”  
Pagina Web: [www.simposiumenergia.org.mx/eventos/1/](http://www.simposiumenergia.org.mx/eventos/1/)
- [2] Estefany Flores, Daniela Lizeth. “*Efecto invernadero y Consecuencias*”  
Pagina Web : [www.danielacorrea.galeon.com/index.htm](http://www.danielacorrea.galeon.com/index.htm)
- [3] “*Índice de especialidad en electricidad solar*”  
Pagina Web: [www.itacanet.org/esp/electricidad/](http://www.itacanet.org/esp/electricidad/)
- [4] “*Funcionamiento y operación de un sistema fotovoltaico*”  
Pagina Web:  
[www.funcionamientodesistemasolar.blogspot.com/2011/05/sistema-fotovoltaico.html?m=1](http://www.funcionamientodesistemasolar.blogspot.com/2011/05/sistema-fotovoltaico.html?m=1)
- [5] L. Roberto Valer. “*Energías Renovables y Ecología Para Todos*”  
Pagina Web:  
[www.solucionessolares.blogspot.com/2008/05/clasificacion-sistemas-fotovoltaicos.html?m=1](http://www.solucionessolares.blogspot.com/2008/05/clasificacion-sistemas-fotovoltaicos.html?m=1)
- [6] Venta de equipo solar y servicios energéticos. “*Limpia tu mundo*”  
Pagina Web: [www.limpiatumundo.com/solar-fotovoltaica.php](http://www.limpiatumundo.com/solar-fotovoltaica.php)
- [7] Juan González Calderón. “*VAHCO Construcciones Sustentables*”  
Pagina Web: [www.lacasasustentable.com/electricidad-eolica.html](http://www.lacasasustentable.com/electricidad-eolica.html)
- [8] Distribuidor de Sistemas de energías renovables. Fundación 2008, “*Clean Energía Solar*”  
Pagina Web: [www.cleanenergysolar.com/2011/06/13/](http://www.cleanenergysolar.com/2011/06/13/)
- [9] Venta de Equipos eléctricos y ecológicos. “*Bricos*”  
Pagina Web: [www.bricos.com/2010/01/alumbrado-publico-solar/](http://www.bricos.com/2010/01/alumbrado-publico-solar/)
- [10] Ellis Abraham, Delia Cota Alma. Guía Técnica, Agosto 2001, “*Energía fotovoltaica en la Educación a distancia*”. Pagina Web: [www.solar.nmsu.edu/publications/telesecundarias/](http://www.solar.nmsu.edu/publications/telesecundarias/)
- [11] “*Un nuevo horizonte a la energía solar fotovoltaica*”  
Pagina Web:  
[www.rcsb.infor.blogspot.com/2009/04/un-nuevo-futuro-junto-la-fotovoltaica.html?m=1](http://www.rcsb.infor.blogspot.com/2009/04/un-nuevo-futuro-junto-la-fotovoltaica.html?m=1)
- [12] “*Celdas Fotovoltaicas*”. Pagina Web: [www.panelessolarescaseros.net/?p=282](http://www.panelessolarescaseros.net/?p=282)
- [13] “*Programa Regional de Energía y Pobreza en Centroamérica PREPCA*”  
Pagina Web: [www.bun-ca.org/publicaciones/fotovoltaica](http://www.bun-ca.org/publicaciones/fotovoltaica)

- [14] Asesoría en Línea. “*Formación y Empleo*”  
Pagina Web: [www.conectapyme.com/files/publica/](http://www.conectapyme.com/files/publica/)
- [15] Venta de Equipo solar. “*Solartronic*”. Pagina Web: [www.solartronic.com/download/radiacion/](http://www.solartronic.com/download/radiacion/)
- [16] Mapas de México. “*Explorando México*”.  
Pagina Web: [www.explorandomexico.com.mx/map-gallery/0/47/](http://www.explorandomexico.com.mx/map-gallery/0/47/)
- [17] “*Informando y Mejorando América Latina*”.  
Pagina Web: [www.ecolatin.org/paneles-solares-fotovoltaicas](http://www.ecolatin.org/paneles-solares-fotovoltaicas)
- [18] Venta de Equipo Fotovoltaico. Pagina Web: [www.tenesol.com](http://www.tenesol.com)
- [19] Venta y Fabricación de Reguladores fotovoltaicos.  
Pagina Web: [www.morningstarcorp.com/es/home/](http://www.morningstarcorp.com/es/home/)
- [20] Venta y Fabricación de Baterías Solares. Pagina Web: [www.trojanbattery.com](http://www.trojanbattery.com)
- [21] Venta y Fabricación de convertidores electrónicos. Pagina Web: [www.techman-usa.com/](http://www.techman-usa.com/)
- [22] Centro de promoción de uso del cobre.  
Pagina Web:  
[www.procobre.org/archivos/peru/conductores/](http://www.procobre.org/archivos/peru/conductores/)
- [23] Venta de equipo solar. Pagina Web: [www.syscom.com.mx/pdf/](http://www.syscom.com.mx/pdf/)
- [24] Diagramas y esquemas de sistemas fotovoltaicos. Pagina Web: [www.fortunecity.com](http://www.fortunecity.com)
- [25] Venta y fabricación de equipo y bombas solares. Pagina Web: [www.shurflo.com](http://www.shurflo.com)
- [26] Venta y fabricación de equipo solar. Pagina Web: [www.kyocera.com](http://www.kyocera.com)
- [27] Venta de bombas solares y optimizadores de energía.  
Pagina Web: <http://pvsolarpumps.com>

## Libros

- [28] Enríquez Harper Gilberto. 1998, “*Instalaciones eléctricas residenciales*”, Vol.1, Limusa, Ciudad de México, Pag. 11.
- [29] Sánchez Juárez Aarón. 1994, “*Tecnología Fotovoltaica Aplicada al Bombeo de Agua*”, Vol.1, Ciudad de México, Pag.1.

