

**ALTERNATIVAS EN EL USO DE LA ENERGIA SOLAR COMO RESPUESTA A  
LOS COMBUSTIBLES FOSILES Y EL CAMBIO CLIMATICO**

**CARLOS ANDRES MEZA GONZALEZ**

**ID: 89001**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRONICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**ALTERNATIVAS EN EL USO DE LA ENERGIA SOLAR COMO RESPUESTA A  
LOS COMBUSTIBLES FOSILES Y EL CAMBIO CLIMATICO**

**CARLOS ANDRES MEZA GONZALEZ**

**ID: 89001**

**Práctica empresarial**

**Para optar el título de ingeniero electrónico**

**ING. JORGE ENRIQUE GONZALEZ REYES**

**Supervisor de la empresa**

**PHD. OMAR PINZON ARDILA**

**Docente supervisor**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**SECCIONAL BUCARAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRONICA**

**BUCARAMANGA**

**2015**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION .....	15
1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA .....	17
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
3. PLAN DE TRABAJO PROPUESTO.....	21
3.1 ACTIVIDADES.....	21
3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	22
4. ESTADO DEL ARTE.....	24
4.1 ENERGIA SOLAR .....	24
4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS USOS DE LA ENERGÍA SOLAR .....	25
4.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	26
.....	31
4.4 PANEL FOTOVOLTAICO.....	31
4.5 TIPOS DE CONEXIONES EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	33
4.5.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos o aislado (Paneles fotovoltaicos + baterías + inversor + regulador de carga). .....	34
4.5.2 Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica local (red eléctrica local + Inversor de red + paneles fotovoltaicos). .....	36
4.5.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica con banco de baterías (red eléctrica local + Baterías + Inversor Cargador + paneles fotovoltaico + regulador de carga).....	38
4.6 NORMATIVAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA.....	40
4.7 DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS .....	40
5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	42
5.1. SELECCIONAR Y DIMENSIONAR LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS .....	42

5.1.1 Estimación del consumo.....	43
5.1.2 Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles fotovoltaicos..	45
5.1.3 Dimensionamiento del generador fotovoltaico.....	46
5.1.4 Dimensionamiento del banco de baterías. ....	46
5.1.5 Dimensionamiento del regulador de carga. ....	48
5.1.6 Dimensionamiento del Inversor. ....	50
<b>5.2 RECOPIRAR MODELOS Y EQUIPOS EXISTENTES EN EL MERCADO PARA ESTAS SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS.....</b>	<b>51</b>
5.2.1 Paneles solares o módulos fotovoltaicos.....	51
5.2.2 Regulador de carga. ....	60
5.2.3 Acumuladores o baterías.....	65
5.2.4 Inversores o convertidores de continua a alterna.....	76
<b>5.3 ELABORAR HOJAS DE CÁLCULO APLICABLES A ESTAS SOLUCIONES COMO UN APOORTE A LA COMUNIDAD.....</b>	<b>86</b>
<b>5.4 APLICAR SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS EN VIVIENDAS SEGÚN SU CONSUMO.....</b>	<b>96</b>
<b>5.5 APLICAR SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS EN PLANTAS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES EN SECTORES RURALES ALEJADOS DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES .....</b>	<b>118</b>
5.5.1 Diseñar un sistema fotovoltaico para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	127
5.5.2 Diseñar un sistema fotovoltaico para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperios, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.....	137
<b>5.6 ELABORAR UN MANUAL DE DISEÑO O GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR O FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>146</b>
5.6.1 manual de diseño para la implementación de la energía fotovoltaica. .	147
5.6.2 Se les entrego a la empresa el siguiente libro: Guia tecnica de aplicacion para instalaciones de energias renovables – instalaciones fotovoltaicas, Gobierno de Canarias, consejeria de industria, comercio y nuevas tecnologias. ....	147
5.6.3 Ley 1715 de 2014.....	151
5.6.4 Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana del territorio Colombiano. ....	152

5.7 PORTAFOLIO CON DISTRIBUIDORES NACIONALES DE EQUIPOS PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.....	153
6. GLOSARIO .....	155
7. APORTE AL CONOCIMIENTO.....	157
8. RECOMENDACIONES A LA EMPRESA.....	158
9. CONCLUSIONES .....	161
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	164
ANEXOS .....	168

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cronograma de Actividades.....	22
Tabla 2. Porcentaje de carga de una batería de 12 Voltios DC (corriente continua) mediante la medición del voltaje en los terminales de carga con un multímetro electrónico común.....	47
Tabla 3. Ventajas y desventajas de los reguladores de carga PWM y MPPT .....	61
Tabla 4. Utilización del regulador según las celdas del panel y las baterías .....	63
Tabla 5. Ventajas y desventajas entre las baterías AGM y las baterías de Gel.....	71
Tabla 6. Características de los diferentes tipos de baterías .....	73
Tabla 7. Características de las baterías de Gel de 12V en el mercado .....	74
Tabla 8. Características de las baterías de Gel de 2V en el mercado .....	74
Tabla 9. Características de las baterías AGM de 12V en el mercado.....	75
Tabla 10. Tipos de inversores.....	77
Tabla 11. Clasificación de los inversores monofásicos.....	78
Tabla 12. Clasificación de los inversores trifásicos:.....	79
Tabla 13. Ventajas y desventajas de las señales de salida en un inversor .....	81
Tabla 14. Ventajas y desventajas de las clases de Inversores DC a AC que hay en el mercado (Inversores DC a AC; Inversores cargadores; Micro-inversor).....	84
Tabla 15. Cuadro de descarga del ejemplo 2 .....	105
Tabla 16. Diseño y presupuesto de un sistema autónomo (aislado) ejemplo 1 ...	109
Tabla 17. Diseño y presupuesto de un sistema conectado a la red eléctrica para el ejemplo 1 .....	111
Tabla 18. Cuadro de descarga del ejemplo 3 .....	113
Tabla 19. Diseño y presupuesto de un sistema conectado a la red eléctrica con banco de baterías para el ejemplo 2.....	118
Tabla 20. Características del panel marca Yingli silicio Policristalino 250 W .....	124
Tabla 21. Radiación solar de Santa Rosa del Sur .....	127
Tabla 22. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas...	132

Tabla 23. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	133
Tabla 24. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.....	135
Tabla 25. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	136
Tabla 26. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas..	141
Tabla 27. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	143
Tabla 28. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	144
Tabla 29. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	146

## LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1: Diagrama del proyecto SIHSA en Gramalote.....	19
Imagen 2. Diagrama de Gantt del cronograma.....	23
Imagen 3. Efecto fotovoltaico.....	30
Imagen 4. Esquema de una instalación solar fotovoltaica típica.....	31
Imagen 5. Corte transversal de un panel fotovoltaico .....	33
Imagen 6. Sistema fotovoltaico autónomo o aislado.....	34
Imagen 7. Sistema fotovoltaico conectado a la red local .....	36
Imagen 8. Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica local con banco de baterías.....	38
Imagen 9. Diferencias entre los paneles fotovoltaicos policristalinos, monocristalinos y silicio amorfo .....	53
Imagen 10. Dos paneles fotovoltaicos iguales conectados en paralelo .....	57
Imagen 11. Dos paneles fotovoltaicos diferentes conectados en paralelo.....	58
Imagen 12. Paneles fotovoltaicos idénticos conectados en serie y en paralelo.....	59
Imagen 13. Comportamiento de un regulador de carga PWM (PR3030).....	64
Imagen 14. Comportamiento de un regulador de carga MPPT (Solarix) .....	64
Imagen 15. Conexiones de las baterías.....	76
Imagen 16. Diferencias en las señales de salida en un inversor (DC a AC).....	80
Imagen 17. Visualización de la hoja de Excel.....	86
Imagen 18. Cuadro de descarga del ejemplo 1 .....	88
Imagen 19. Datos usados para el diseño del ejemplo 1 .....	88
Imagen 20. Requerimientos para el sistema fotovoltaico del ejemplo 1 aplicado por la hoja de Excel.....	89
Imagen 21. Características del panel fotovoltaico del ejemplo 1.....	92
Imagen 22. Características de la batería del ejemplo 1 .....	92
Imagen 23. Características del regulador de carga del ejemplo 1 .....	93
Imagen 24. Diseño y presupuesto del ejemplo 1 por la hoja de Excel.....	94

Imagen 25. Conexión de dos baterías de 12V DC en serie para generar una batería de 24V DC .....	102
Imagen 26. Diagrama de un sistema fotovoltaico híbrido. ....	120
Imagen 27. Diagrama de un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red eléctrica. ....	121
Imagen 28. Diagrama de un Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna.....	122
Imagen 29. Diagrama de un Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica .....	123
Imagen 30. Diagrama del Sistema híbrido para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.....	132
Imagen 31. Diagrama del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	133
Imagen 32. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.....	134
Imagen 33. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	136
Imagen 34. Diagrama del Sistema híbrido para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	141
Imagen 35. Diagrama del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. ....	142
Imagen 36. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.....	144

Imagen 37. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas. .... 145

## LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Para aparatos con corriente alterna (AC).....	44
Ecuación 2. Para aparatos con corriente continua (DC) .....	44
Ecuación 3.....	44
Ecuación 4.....	46
Ecuación 5.....	46
Ecuación 6.....	48
Ecuación 7.....	48
Ecuación 8.....	49
Ecuación 9.....	49
Ecuación 10.....	50
Ecuación 11.....	51

## LISTA DE ANEXOS

- Anexo A. Fabricantes y especificaciones de paneles solares en el mercado
- Anexo B. Fabricantes y especificaciones de reguladores de carga en el mercado
- Anexo C. Fabricantes y especificaciones de baterías en el mercado
- Anexo D. Fabricantes y especificaciones de Inversores en el mercado
- Anexo E. Hoja de cálculo sistemas fotovoltaicos autónomos
- Anexo F. tabla fotovoltaica a 24 voltios sistemas autónomos
- Anexo G. tabla fotovoltaica sistemas autónomos 12V y 48V
- Anexo H. tabla fotovoltaica a 24 voltios sistemas grid tie con banco de baterías
- Anexo I. tabla fotovoltaica sistemas grid tie con banco de baterías de 12V y 48V
- Anexo J. tabla fotovoltaica sistemas grid tie
- Anexo K. Manual de diseño para la implementación de la energía fotovoltaica
- Anexo L. Guia tecnica de aplicacion para instalaciones de energias renovables -  
instalaciones fotovoltaicas
- Anexo M. Ley 1715 de 2014
- Anexo N. Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana del territorio  
Colombiano
- Anexo O. Proveedores

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** ALTERNATIVAS EN EL USO DE LA ENERGÍA SOLAR COMO RESPUESTA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

**AUTOR(ES):** Carlos Andrés Meza González

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR(A):** Ph.D Omar Pinzón Ardila

### RESUMEN

En la práctica empresarial SIHSA se desarrollaron herramientas, tales como: un manual de diseño para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos; un método de diseño, una hoja de cálculo en Excel que dimensiona y presupuesta los sistemas fotovoltaicos; los mapas de radiación solar del territorio colombiano; tablas de diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos y conectados a la instalación eléctrica para soluciones fotovoltaicas en viviendas según su consumo. Todas estas herramientas permitirán a la empresa diseñar y presupuestar cualquier sistema fotovoltaico que deseen realizar. A su vez la empresa SIHSA estará en capacidad de seleccionar los mejores elementos para la construcción de sus sistemas fotovoltaicos, debido a que se le mostraron los diferentes equipos con sus tecnologías propias con las opciones de mercado y puntos de distribución. Al operar con sistema fotovoltaicos se eliminan las emisiones de los gases de efecto invernadero; a su vez se pueden instalar en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica local. Debido a esto, la empresa SIHSA considera la energía solar fotovoltaica como una alternativa de generar energía limpia sin necesidad de uso de combustibles fósiles que producen el efecto del cambio climático.

### **PALABRAS CLAVES:**

paneles fotovoltaicos, energía solar, diseño

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** alternatives in the use of solar energy in response to fossil fuels and climate change

**AUTHOR(S):** Carlos Andrés Meza González

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** Ph.D Omar Pinzón Ardila

### ABSTRACT

In this internship was developed in the company SIHSA. A manual was designed to implement a photovoltaic solar system. A spreadsheet in Excel was implemented to calculate a photovoltaic system and shows its budgets. A portfolio presents a solar radiation maps in Colombia and show tables to design tied to off and on grid system. All these tools allow the company to design and calculate cost for any PV system. The company SIHSA will be able to select the best elements for the construction of its photovoltaic systems, including market's options. When operating with photovoltaic system emissions of greenhouse gases are removed; the photovoltaic system can be installed in places where there is no access to the local grid. the SIHSA company considers the solar energy as an alternative to generate clean energy without using fossil fuels to produce the effect of climate change.

### KEYWORDS:

solar energy, photovoltaic panels, design

## INTRODUCCION

En la práctica empresarial SIHSA se desarrollaron los medios mediante los cuales la empresa podrá diseñar y presupuestar sistemas para la generación eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos, debido a que los sistemas fotovoltaicos son una forma de producir energía eléctrica, sin generar efectos nocivos para el medio ambiente.

La producción de electricidad, se genera con diferentes mecanismos, sin embargo, algunos de ellos son contaminantes y consumidores de grandes cantidades de combustibles fósiles.

La producción de energía eléctrica en Colombia se desarrollando por medio de Hidroeléctricas y Termoeléctricas; a pesar que la primera tiene una baja en la producción de CO<sub>2</sub>, el impacto ambiental en la construcción de estas afecta considerablemente el medio ambiente, por otro lado, las termoeléctricas producen gases nocivos, los cuales saturan el medio ambiente generando un incremento en el nivel regular de los gases de efecto invernadero<sup>1</sup>.

Al operar con sistema fotovoltaicos se eliminan las emisiones de los gases de efecto invernadero; a su vez se pueden instalar en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica local. Debido a esto, la empresa SIHSA considera la energía solar fotovoltaica como una alternativa de generar energía limpia sin necesidad de uso de combustibles fósiles que producen el efecto del cambio climático.

---

<sup>1</sup> Estudio técnico-económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali, en línea [información consultado el 12 de noviembre de 2014]. Disponible en internet: <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/5219/1/TME01603.pdf>.

En la práctica empresarial SIHSA se desarrollaron herramientas, tales como: un manual de diseño para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos; un método de diseño, una hoja de cálculo en Excel que dimensiona y presupuesta los sistemas fotovoltaicos; los mapas de radiación solar del territorio colombiano; tablas de diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos y conectados a la instalación eléctrica para soluciones fotovoltaicas en viviendas según su consumo.

Todas estas herramientas permitirán a la empresa diseñar y presupuestar cualquier sistema fotovoltaico que deseen realizar. A su vez la empresa SIHSA estará en capacidad de seleccionar los mejores elementos para la construcción de sus sistemas fotovoltaicos, debido a que se le mostraron los diferentes equipos con sus tecnologías propias con las opciones de mercado y puntos de distribución.

Con todas estas herramientas la empresa SIHSA podrá llevar acabo cualquier tratamiento de aguas residuales y potables sin preocuparse del suministro eléctrico en el sitio, porque se encuentra en la capacidad de ofrecerles a sus clientes una solución para el suministro de electricidad mediante energía solar.

## 1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA

Sistemas Hidráulicos y sanitarios Ltda es una empresa especializada en el tratamiento de aguas potables y residuales. Con más de 30 años de experiencia, ofrecen productos y servicios de excelente calidad, haciendo uso de tecnologías apropiadas para sus necesidades.

Desde el año 2004 cuentan con la certificación de la norma ISO 9001. Cuentan con un moderno laboratorio de aguas, acreditado con la norma ISO 17025 desde 2007, es miembro activo del “Programa Interlaboratorios de Control de Calidad del Agua Potable - PICCAP” y está avalada por el “Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM” en el manejo de Aguas Residuales<sup>2</sup>.

Los servicios que ofrece la empresa son los siguientes:

- Plantas de tratamiento de aguas potables
- Plantas de tratamiento de aguas residuales
- Plantas de tratamiento de aguas industriales
- Piscinas y aguas recreacionales

Desde hace poco tiempo, la empresa Sistemas hidráulicos y sanitarios Ltda ha empezado a incursionar en el tema de los sistemas fotovoltaicos autónomos o mejor llamados, los sistemas con energía solar, esto debido a que algunas plantas de aguas potables y residuales se encuentran en sectores rurales alejados de los sistemas convencionales de energía, en otras palabras en lugares donde no cuentan con energía eléctrica convencional.

---

<sup>2</sup> Página web de SIHSA, en línea [información consultado el 16 de agosto de 2014]. Disponible en internet: <http://www.sihsa.co>

Por lo tanto, la empresa SIHSA ha visto la energía solar fotovoltaica como una solución para estos lugares rurales, con el fin de poder llevar a cabo los tratamientos adecuados a estas plantas de aguas potables, residuales e industriales. También han visto la energía solar como solución para crear calentadores para agua, mediante calentadores solares para las piscinas y aguas recreacionales.

Uno de los sistemas fotovoltaicos autónomos, diseñados por la empresa SIHSA, se llevó a cabo en Gramalote (municipio Colombiano ubicado en el departamento de norte de Santander) en el cual alimentan 3 bombas dosificadoras de 20 Watts cada uno, un bombillo de 12 Watts y 2 Hyward de 80 Watts cada uno.

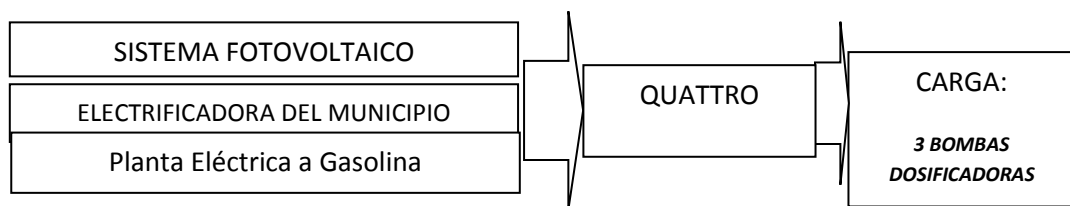
Para alimentar estos equipos mediante la energía fotovoltaica, se instaló lo siguiente:

- 1 panel solar Schott Solar Protect Asi de 103 Watts (potencia promedio), fabricación alemana.
- 1 regulador de carga MPPT Victron Energy con potencia máxima de 400W, 70 A y una alimentación máxima de 70 V en DC; Modelo Blue Solar.
- 1 Inversor Phoenix Victron Energy 350 Watts (potencia promedio), 24VDC / 120VAC 60Hz Onda seno pura, para uso continuo.
- 2 baterías selladas marca Mtek 12V DC, 150Ah, AGM VRLA.

También se le instaló un QUATTRO, el cual es un dispositivo al que se le pueden introducir varias entradas de corriente alterna (AC) y entrega una salida de corriente alterna (AC) constante. Este QUATTRO se instaló como medida de seguridad para el sistema, donde una de las entradas eléctricas es la suministrada por el inversor DC a AC del sistema fotovoltaico (panel solar, controlador de carga, baterías e inversor), otra entrada eléctrica es la corriente convencional suministrada por la electrificadora del municipio y otra entrada eléctrica es la suministrada por una planta eléctrica a gasolina.

Todo esto con el fin de que si las baterías no puedan mantener el consumo de energía requerida por las cargas en las horas nocturnas, las otras entradas eléctricas le ayudan para mantener el consumo de energía y nunca haya un apagón en el sistema.

### Imagen 1: Diagrama del proyecto SIHSA en Gramalote



Fuente: autor del proyecto

La idea de SIHSA con respecto a la energía fotovoltaica y mediante el desarrollo de la práctica empresarial, es poder iniciar un departamento en la empresa que trate sobre energías alternativas, como la fotovoltaica y no depender de empresas externas para el estudio y diseño de soluciones fotovoltaicas para llevar a cabo los tratamientos en las plantas de agua potables y residuales en los sectores rurales, alejados de los sistemas convencionales de energía eléctrica.

Mediante la práctica empresarial se pretende diseñar sistemas fotovoltaicos autónomos y elaborar un portafolio con modelos y equipos existentes en el mercado para soluciones fotovoltaicas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar sistemas fotovoltaicos autónomos como respaldo y respuesta a los sistemas convencionales.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar y dimensionar los sistemas solares fotovoltaicos.
- Aplicar soluciones fotovoltaicas en viviendas según su consumo
- Aplicar soluciones fotovoltaicas en plantas de aguas potables y residuales en sectores rurales alejados de los sistemas convencionales.
- Recopilar modelos y equipos existentes en el mercado para estas soluciones fotovoltaicas.
- Elaborar un portafolio con distribuidores nacionales de equipos para instalaciones fotovoltaicas.
- Elaborar hojas de cálculo aplicables a estas soluciones como un aporte a la comunidad.
- Elaborar un manual de diseño para la implementación de la energía solar fotovoltaica.

### 3. PLAN DE TRABAJO PROPUESTO

#### 3.1 ACTIVIDADES

##### 1. Primera Actividad: Recopilación Bibliográfica

- Conocer la metodología y la aplicación de la energía solar en Colombia y en Bucaramanga.
- Hacer investigación de fabricantes y distribuidores en los sistemas fotovoltaicos a nivel mundial.
- Hacer investigación de fabricantes y distribuidores en los sistemas fotovoltaicos a nivel nacional especialmente en Bucaramanga.
- Estudiar los sistemas de diseño de los sistemas fotovoltaicos.
- Estudiar los tipos de conexiones en sistemas fotovoltaicos
- Investigar y estudiar los modelos y equipos actuales de los sistemas fotovoltaicos.

##### 2. Segunda Actividad: Parámetros de diseño de los sistemas fotovoltaicos y elaboración de presupuestos.

- Elaborar los diseños y presupuestos de 16 modelos según el consumo (Wh/día).

##### 3. Tercera Actividad: Diseño y Elaboración de Presupuestos de los proyectos para SIHSA

- Elaborar diseños y presupuestos para soluciones fotovoltaicas en plantas de aguas residuales en sectores rurales alejados de los sistemas convencionales.

#### 4. Cuarta Actividad: Conclusiones generales sobre la implementación de la energía solar.

- Identificar las ventajas y desventajas en la implementación de sistemas fotovoltaicos autónomos como respaldo a los sistemas convencionales.
- Elaborar hojas de cálculo aplicables a estas soluciones como un aporte a la comunidad.
- Elaborar un portafolio con modelos y equipos existentes en el mercado para soluciones fotovoltaicas.
- Elaborar un manual de diseño para la implementación en sistemas solares fotovoltaicos.

### 3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

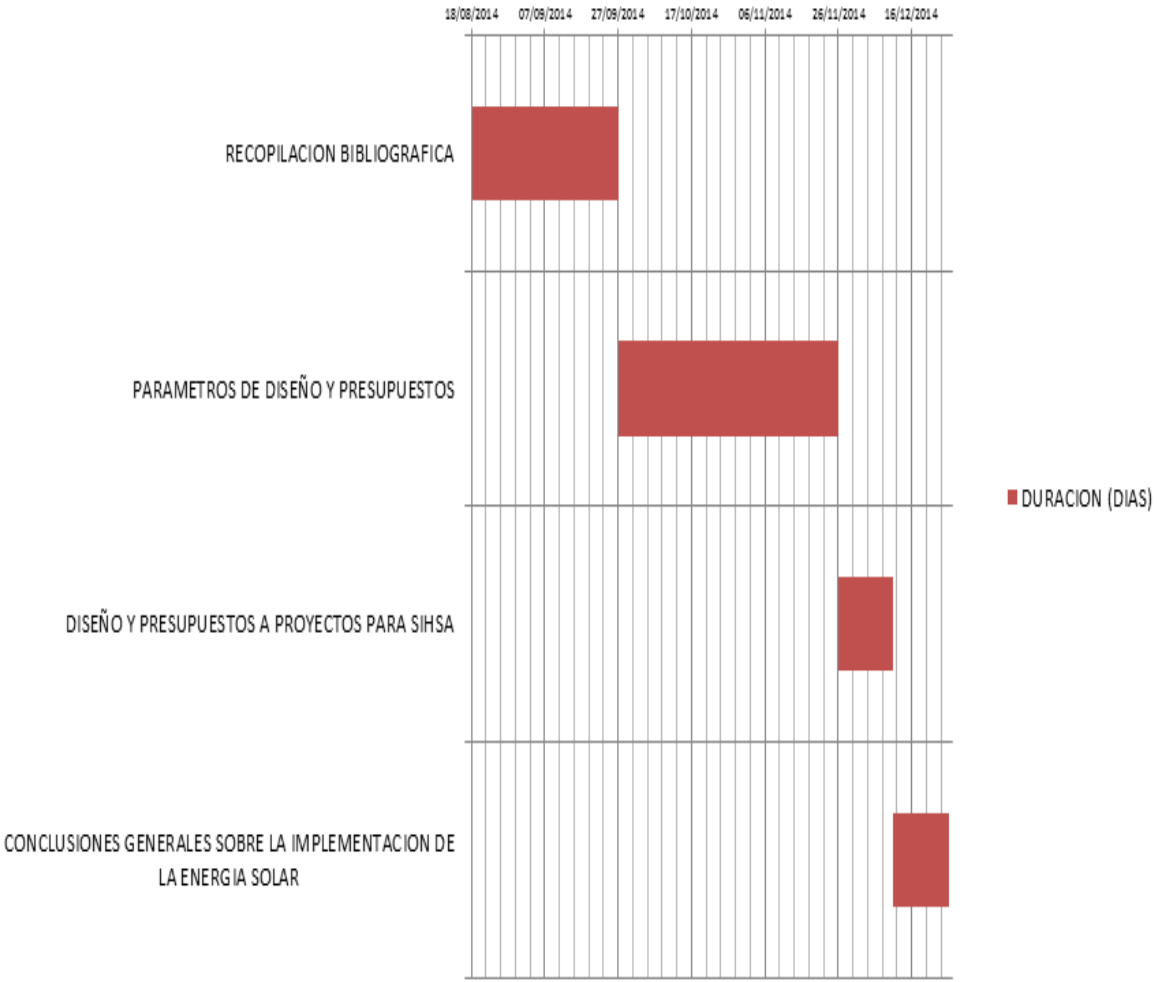
#### PRACTICA EMPRESARIAL EMPRESA SISHA

Tabla 1. Cronograma de Actividades.

	RECOPILACION BIBLIOGRAFICA	PARAMETROS DE DISEÑO Y PRESUPUESTOS	DISEÑO Y PRESUPUESTOS A PROYECTOS PARA SIHSA	CONCLUSIONES GENERALES SOBRE LA IMPLEMENTACION DE LA ENERGIA SOLAR
FECHA DE INICIO	18/08/2014	27/09/2014	26/11/2014	11/12/2014
■ DURACION (DIAS)	40	60	15	15

Fuente: autor del proyecto

**Imagen 2. Diagrama de Gantt del cronograma**



Fuente: autor del proyecto

## 4. ESTADO DEL ARTE

### 4.1 ENERGIA SOLAR

El Sol es la fuente principal de vida en la Tierra y ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia.<sup>3</sup>

El Sol produce una enorme cantidad de energía, aproximadamente 1122 Kilowatts cada segundo. La atmósfera exterior intercepta aproximadamente la mitad de una billonésima parte de la energía generada por el sol (aproximadamente 1.5 trillones de Kilowatts al año). Sin embargo, debido a la reflexión, dispersión y absorción producida por los gases de la atmósfera, sólo un 47% de esta energía (aproximadamente 0.7 trillones de Kilowatts al año) alcanzan la superficie de la tierra<sup>4</sup>.

Esta energía calienta la atmósfera, los océanos y los continentes; generan los vientos, mueve el ciclo del agua, hace crecer las plantas, proporciona alimento a los animales e incluso produce los combustibles fósiles. La humanidad depende de la energía de las plantas, el agua, el viento y los combustibles fósiles para hacer funcionar sus industrias, calentar y refrigerar sus viviendas y para mover sus sistemas de transporte<sup>5</sup>.

La cantidad de energía que se consume en el mundo anualmente es de aproximadamente 85 billones de Kilowatts hora. Esto es lo que se puede medir, es decir la energía que se compra, vende o comercializa.

---

<sup>3</sup> Greenenergylatinoamerica en línea [información consultado el 16 de agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.greenenergy-latinamerica.com/es/energias-renovables/energia-solar-solar-fotovoltaica-197>.

<sup>4</sup> Inicio energía solar.BuenasTareas.com, en línea [información consultado el 16 de agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Inicio-Energia-Solar/3475282.html>

<sup>5</sup> Ibíd.

En conclusión la energía total consumida por el mundo representa sólo el 0.014% de la energía solar que incide sobre la superficie de la tierra cada año<sup>6</sup>. Utilizar la energía solar de forma razonable, es el principal desafío para el siglo XXI.

## 4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS USOS DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar se clasifica según la tecnología y su uso general, entre estos se tienen:

Energía solar pasiva: no requiere elementos o sistemas mecánicos para aprovechar el calor del sol<sup>7</sup>.

Energía solar térmica: aprovecha la radiación térmica del sol para el calentamiento del agua para uso sanitario<sup>8</sup>.

Energía solar fotovoltaica: Produce energía eléctrica a través de paneles solares semiconductores. Las celdas fotovoltaicas presentan una eficiencia aproximada del 10 al 19%<sup>9</sup>.

Energía solar termoeléctrica: la radiación del sol calienta un fluido; por medio de éste y un ciclo térmico producen electricidad. Usado especialmente para aprovechar el calor emanado por el sol, por medio del calentamiento de paneles por los cuales circulan un fluido o agua.<sup>10</sup>

---

<sup>6</sup> Ibíd.

<sup>7</sup> Estudio técnico-económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali en línea [información consultado el 12 de noviembre de 2014]. Disponible en internet: <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/5219/1/TME01603.pdf>.

<sup>8</sup> Ibíd.

<sup>9</sup> Ibíd.

<sup>10</sup> Ibíd.

Energía solar híbrida: Combina la energía solar con otra energía. Según la energía con la que se combine es una hibridación y se puede usar para la generación de electricidad con energía solar la cual se puede dar de varias formas (fotovoltaica, solar termoeléctrica o eólica).<sup>11</sup>.

Otra forma de aprovechamiento de la energía solar, diferente a la producción de energía eléctrica por medio de paneles solares fotovoltaicos, corresponde a:

- Potabilizar agua
- Estufas Solares
- Secado
- Evaporación
- Destilación
- Refrigeración

### **4.3 SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

La energía solar fotovoltaica convierte la luz del sol en energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, sin perjudicar el medio ambiente, sin generar basuras y sin dañar la salud.

La energía solar fotovoltaica, al igual que otras energías renovables, constituye frente a los combustibles fósiles, una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético y no es perjudicial para el medio ambiente, evitando los efectos de otras fuentes (contaminación atmosférica, residuos, etc.) y los derivados de su generación (excavaciones, minas, canteras, etc.)<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Ciencias de la tierra y del medio ambiente: Libro electrónico, Energía solar [en línea] Pamplona. Navarra España en línea [consultado 12 de noviembre de 2014].

<http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/150EnSolar.htm>.

<sup>12</sup> Solar technology el salvador energía solar, en línea [información consultado 12 de noviembre de 2014].

<http://technologysolar.blogspot.com/2009/12/que-impacto-ambiental-tiene-la-energia.html>.

Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

**Clima:** la generación de energía eléctrica a partir de la luz solar no requiere de ningún tipo de combustión, por lo que no se producen poluciones térmicas ni emisiones de CO<sub>2</sub> que favorezcan el efecto invernadero.

**Geología:** Las celdas fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.

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

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

**Flora y fauna:** la repercusión sobre la vegetación es nula y al eliminarse los tendidos de redes eléctricas se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

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

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

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

La energía solar fotovoltaica solo representa el 0.001% del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo, pero se pronostica un rápido y significativo crecimiento en su implementación, debido al desarrollo de la tecnología y el compromiso medioambiental de los países más desarrollados<sup>13</sup>.

Cualquier aplicación que necesite electricidad para funcionar se puede alimentar con un sistema fotovoltaico adecuadamente diseñado. La única limitación es el valor del equipo y en algunas ocasiones, el tamaño del arreglo fotovoltaico. No obstante, en lugares remotos alejados de la red de distribución eléctrica, lo más rentable es instalar energía solar fotovoltaica antes que realizar una conexión a la red. Por lo tanto la rentabilidad de la energía solar dependerá del lugar donde se lleve la instalación. Por ejemplo en la mayoría de los países en desarrollo, no tiene acceso a la electricidad por carecer de una infraestructura eléctrica básica. En estos países la energía solar fotovoltaica resulta ser la fuente más rentable para obtener electricidad y en algunos lugares, la única.

En los países desarrollados, en los que existe una amplia infraestructura eléctrica, la cuestión es diferente. En este caso, en términos puramente económicos, los sistemas fotovoltaicos sólo resultan rentables en lugares alejados de la red convencional. Sin embargo, esto ha venido cambiando para algunos países.

En países como Alemania, España y Japón, además de la rentabilidad económica, se toma en cuenta también el impacto ambiental de cada fuente de energía, así como el costo de la importación del combustible fósil. Para el caso particular de los Estados Unidos de Norteamérica, se incentiva el uso de los sistemas fotovoltaicos para complementar la capacidad de generación de la red eléctrica y evitar las

---

<sup>13</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

interrupciones (blackouts) durante los periodos de alta demanda (durante el verano).<sup>14</sup>

Las instalaciones solares fotovoltaicas están conformadas por paneles fotovoltaicos que a su vez contienen celdas fotovoltaicas individuales hechas de materiales semiconductores como el silicio (cristalino y amorfo).

Cuando el sol brilla en una celda fotovoltaica se genera un campo eléctrico en el interior del semiconductor. El campo eléctrico se logra mediante la unión de dos regiones de un cristal de silicio que ha sido tratado químicamente (Dopado). Las celdas fotovoltaicas generan un paso de corriente proporcional al flujo luminoso que reciben.<sup>15</sup>

El cristal de silicio se dopa por una región por boro, debido a que el boro solo tiene tres electrones de valencia, uno menos que el silicio por lo tanto tiene una afinidad por los electrones mayor que el silicio. Por la otra región el cristal de silicio es dopado (impurificado) con fósforo, el fósforo tiene 5 electrones de valencia, uno más que el silicio, haciendo que muestre una afinidad menor por los electrones que el silicio. Una región se denominará n y será dopada con fosforo y la otra región se denominará p y será dopada con boro.

La unión p-n así formada genera una diferencia de potencial  $V_e$ , consecuentemente un campo eléctrico dirigido de la zona n hacia la zona p tiende a enviar los electrones (cargas negativas) hacia la zona n huecos (cargas positivas – lugar dejado por la ausencia del electrón liberado) hacia la zona p. Dando lugar por consiguiente a una corriente eléctrica desde la zona n a la zona p.

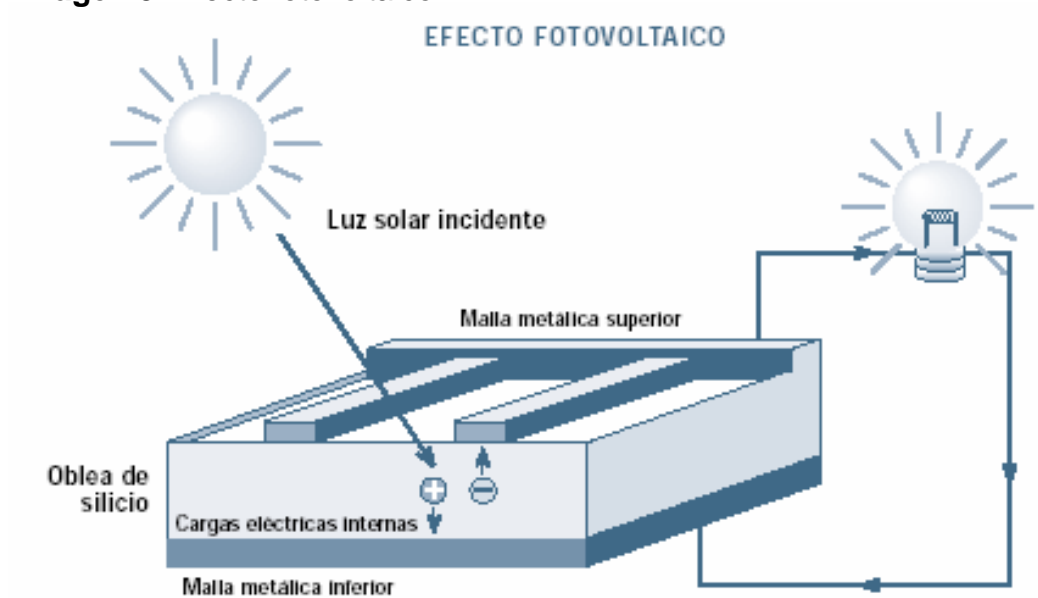
---

<sup>14</sup> Energía solar- interconectados a red, en línea [información consultado 12 de noviembre de 2014]  
[http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

<sup>15</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

Todo esto se logra debido a que el campo eléctrico se produce a una distancia de la unión menor que lo que se denomina longitud de difusión.<sup>16</sup>

**Imagen 3.** Efecto fotovoltaico



Fuente:[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

Para elaborar una celda fotovoltaica convencional (silicio) se parte de una barra cristalina de silicio dopada con boro que se corta en discos de un espesor de 0.3 mm, una de sus caras se dopa con fósforo hasta una profundidad de 0.3 micras, encima se deposita una rejilla metálica conductora y en la parte posterior una capa continua metálica, ambas capas sirven para facilitar la toma de contactos eléctricos con las dos regiones.

Para aumentar la potencia, se combinan varias celdas y se conectan en paralelo formando un panel fotovoltaico; estos paneles fotovoltaicos a su vez se pueden integrar para aumentar aún más la potencia formando una planta fotovoltaica

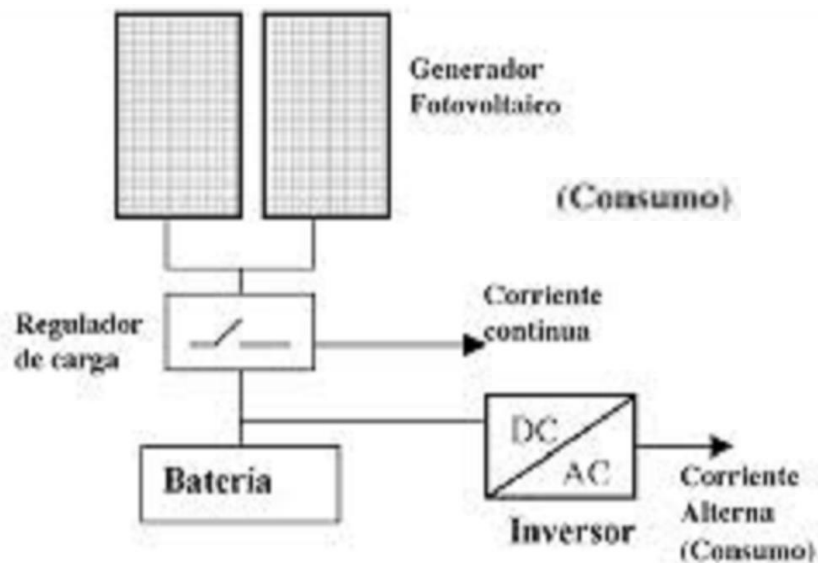
---

<sup>16</sup> Ibid.

Para lograr hacer una instalación solar fotovoltaica típica se necesitara de los siguientes equipos:

- Pánel fotovoltaico (generador fotovoltaico)
- Regulador de carga: dispositivo capaz de evitar las sobrecargas en las baterías y a la vez limita la tensión de la batería a unos valores adecuados para su buen funcionamiento
- Baterías: Su función consiste en suministrar energía a la carga en las horas de la noche.
- Inversores o convertidores de continua-alterna: son dispositivos que convierten la corriente continua del banco de baterías en corriente alterna.

**Imagen 4.** Esquema de una instalación solar fotovoltaica típica.



Fuente: <http://www.solener.com/pregunta.html>.

#### 4.4 PANEL FOTOVOLTAICO

Se denomina módulo o pánel solar fotovoltaico al conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas convencionalmente, de tal forma que reúnan unas condiciones

óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatibles con las necesidades y equipos estándares existentes en el mercado, Normalmente, se habla de paneles de 6 Voltios, 12 Voltios y 24 Voltios en corriente continua.<sup>17</sup>

Este conjunto de celdas está envuelto por unos elementos que les brinda protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que los soportan<sup>18</sup>.

Los elementos son los siguientes:

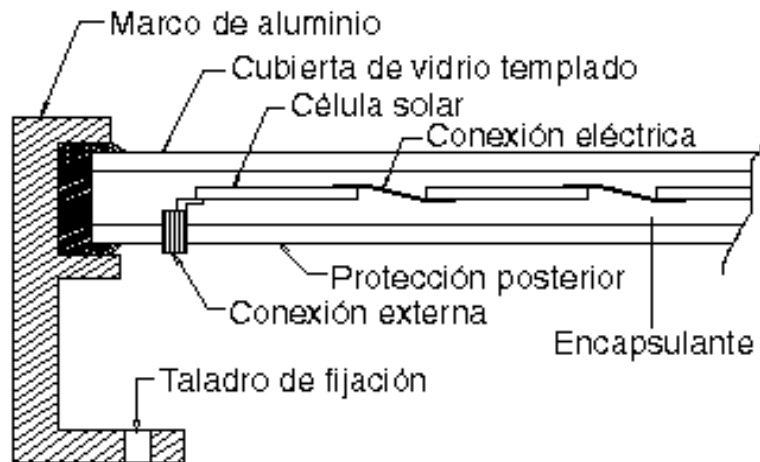
- Encapsulante: constituido por un material que brinda una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja a la acción de los rayos solares.
- Cubierta exterior de vidrio templado: facilita al máximo la transmisión luminosa; brinda protección en las condiciones climatológicas más adversas y deben soportar los cambios bruscos de temperatura.
- Cubierta posterior: constituida normalmente por varias capas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las celdas, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.
- Marco de metal: normalmente de aluminio, asegura rigidez al conjunto y lleva los elementos necesarios (generalmente perforaciones) para el montaje del panel sobre la estructura de soporte.
- Caja de terminales: incorpora los bornes para la conexión del módulo.
- Diodo de protección: impiden daños por sombras parciales en la superficie del módulo.

---

<sup>17</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>18</sup> Solartronic-preguntas frecuentes, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

**Imagen 5. Corte transversal de un panel fotovoltaico**



Fuente: [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

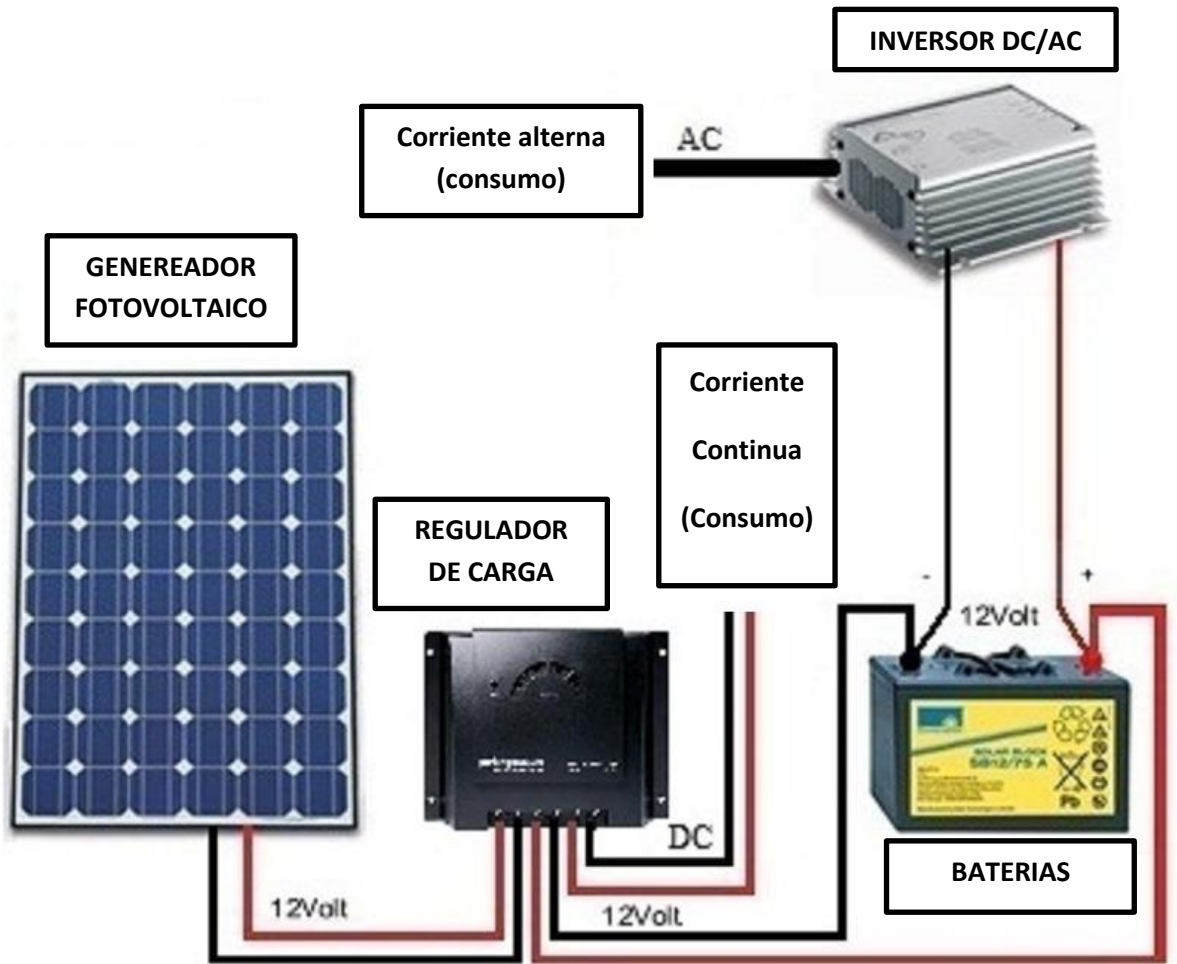
Las estructuras para anclar los paneles solares son generalmente de aluminio con tornillería de acero inoxidable; con el fin de asegurar una máxima ligereza y una mayor durabilidad en el tiempo.

#### **4.5 TIPOS DE CONEXIONES EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

Aunque tradicionalmente el uso de la energía solar fotovoltaica ha sido en aplicaciones aisladas de la red eléctrica local o donde no es rentable la instalación de líneas eléctricas, con el tiempo su uso se ha ido diversificando hasta el punto que resultan de gran interés las instalaciones solares fotovoltaicas en conexión con la red eléctrica local. La energía eléctrica producida por un sistema fotovoltaico puede ser utilizada en tres tipos de instalaciones.

#### 4.5.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos o aislado (Paneles fotovoltaicos + baterías + inversor + regulador de carga).

Imagen 6. Sistema fotovoltaico autónomo o aislado



Fuente: <http://www.solener.com/pregunta.html>.

Estas instalaciones se emplean en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo o en los que no es posible económicamente una interconexión. La electricidad generada en estos casos se destina totalmente a autoconsumo.

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados son:

- Electrificación de viviendas, escuelas, centros de salud, albergues y otros edificios.
- Electrificación de proyectos mineros, fincas y otras actividades productivas aisladas
- Alumbrado público
- Bombeo y tratamiento de aguas
- Antenas de telefonía aisladas de la red
- Señalización y comunicaciones

Los sistemas aislados deben ser equipados con sistemas para la acumulación de la energía producida (baterías). La acumulación es necesaria porque el sistema fotovoltaico autónomo puede proporcionar energía sólo en las horas diurnas. Por tal motivo es necesario almacenar la energía no utilizada mediante baterías, con el fin de suministrar la energía de consumo en las horas nocturnas donde no se dispone de luz solar.

La configuración básica de las instalaciones aisladas de la red eléctrica está compuesta por:

- El generador fotovoltaico: constituido por los varios módulos fotovoltaicos junto con los cables eléctricos que los unen y los elementos de soporte y fijación.
- Las baterías: son los elementos encargados de acumular la energía entregada por los paneles fotovoltaicos durante las horas de mayor radiación para su aprovechamiento en las horas nocturnas. Su función consiste en suministrar energía tal como es demandada por la carga, independientemente de la producción eléctrica del generador fotovoltaico en ese preciso momento. La capacidad de un acumulador se mide en amperios-hora (A.h). Las baterías para uso fotovoltaico tienen que cumplir

los siguientes requisitos: bajo valor de auto descarga (pérdida de carga de forma natural aunque no se den ciclos de carga o descarga), larga vida útil, bajos requerimientos de mantenimiento y elevado número de ciclos de carga-descarga.<sup>19</sup>

- Los inversores: son equipos electrónicos capaces de transformar la energía eléctrica proveniente de las baterías de corriente continua (DC) en corriente alterna (AC), necesaria para la alimentación directa de los usuarios.<sup>20</sup>
- El regulador de carga: controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuyan la vida útil de las baterías, a su vez suministra la energía de consumo de corriente continua (DC) al sistema.<sup>21</sup>

#### 4.5.2 Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica local (red eléctrica local + Inversor de red + paneles fotovoltaicos).

Imagen 7. Sistema fotovoltaico conectado a la red local



Fuente: <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno09/fotovolt/tecnologia.htm>.

<sup>19</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> Solartronic-preguntas frecuentes, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

Las instalaciones solares fotovoltaicas de conexión en paralelo a la red tienen la particularidad de trabajar en intercambio con la red eléctrica local. Es decir, durante las horas de luz solar el usuario consume de forma instantánea la energía solar producida por su sistema fotovoltaico, mientras que cuando no hay luz solar o ésta no es suficiente, o si el usuario requiere más energía eléctrica de la que la planta fotovoltaica está en grado de proveer, será la red eléctrica la que garantizará el abastecimiento de la energía eléctrica necesaria.<sup>22</sup>

Por otro lado, si ocurre que la instalación solar produce más energía que aquella requerida por el usuario, esa energía solar no utilizada puede ser cedida a la red eléctrica local. En este caso se habla de transferencia del excedente a la red eléctrica local.<sup>23</sup>

Las instalaciones solares fotovoltaicas de conexión en paralelo a la red eléctrica local pueden generar para el usuario un ahorro en la factura de la energía para su vivienda o empresa.<sup>24</sup>

La configuración básica de una planta solar fotovoltaica conectada en paralelo a la red eléctrica local consiste en:

- El generador fotovoltaico: constituido por los varios módulos fotovoltaicos junto con los cables eléctricos y los elementos de soporte y fijación.
- Inversor de red: son equipos electrónicos capaces de transformar la energía eléctrica proveniente del generador fotovoltaico de corriente continua (DC) en alterna (AC), con niveles de tensión y frecuencia adecuados para operar en paralelo con la red eléctrica local y ser utilizada por aparatos de

---

<sup>22</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>23</sup> *Ibíd.*

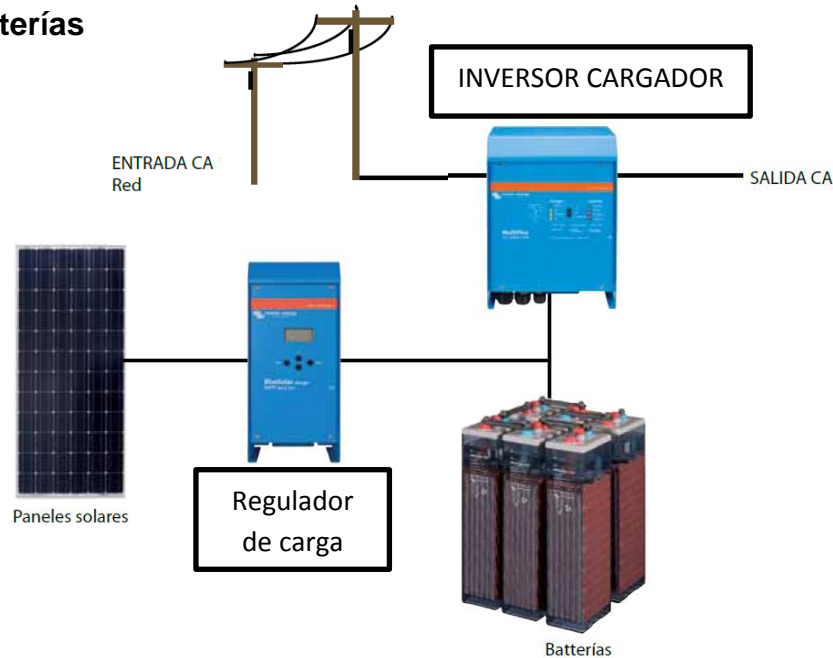
<sup>24</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

consumo, electrodomésticos y/o equipos de instalaciones en general. También se puede implementar micro inversores en estos sistemas en vez de un inversor de red.

- **Contador bidireccional:** es un dispositivo que permite tanto consumir como entregar energía eléctrica a la red. Un contador bidireccional funciona de la siguiente forma: durante el día se produce energía eléctrica con los paneles solares fotovoltaicos, el medidor se encarga de calcular esta energía y restarla al consumo del servicio de luz. Cuando se produce más energía de la requerida, esta energía se puede utilizar por las noches o en caso contrario de necesitar más energía de la producida, este se conectara al servicio de la red eléctrica convencional.

#### 4.5.3 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica con banco de baterías (red eléctrica local + Baterías + Inversor Cargador + paneles fotovoltaico + regulador de carga).

**Imagen 8. Sistema fotovoltaico conectado a la red electrica local con banco de baterías**



Fuente: [http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems\\_ES\\_web.pd](http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems_ES_web.pd).

Son sistemas para autoconsumo acoplados en corriente continua (DC), ofreciendo lo mejor de la energía solar fotovoltaica en aplicaciones residenciales y comerciales, Estos sistemas solares híbridos de inyección directa a la red eléctrica con respaldo de baterías entregan energía eficiente a la vivienda, ahorrando el consumo de energía del proveedor de red eléctrica local y mantienen un respaldo de energía acumulada en sus baterías para uso en caso de falla del suministro eléctrico local, aprovechando de mejor forma la energía eléctrica existente.<sup>25</sup>

En estos sistemas híbridos, la corriente alterna (AC) proveniente de la red eléctrica local puede complementar el suministro de energía proveniente de los paneles fotovoltaicos y vice-versa, la energía proveniente de los paneles fotovoltaicos puede cubrir cualquier falla que pueda producirse en el sistema.

La configuración básica de las instalaciones conectadas a la red eléctrica con banco de baterías está compuesta por:

- El generador fotovoltaico: constituido por los varios módulos fotovoltaicos junto con los cables eléctricos que los unen y los elementos de soporte y fijación.
- Las baterías: son los elementos encargados de acumular la energía entregada por los paneles fotovoltaicos durante las horas de mayor radiación para su aprovechamiento en las horas nocturnas<sup>26</sup>.
- inversor cargador: es un elemento inteligente para la gestión automática de la red eléctrica local y el generador fotovoltaico. Desarrolla la función de administrar de manera óptima y estable la red eléctrica local y las diferentes formas (fotovoltaica o eólica) de generación de energía que la conformen. A

---

<sup>25</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>26</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

su vez carga las baterías mediante la red eléctrica local cuando el generador fotovoltaico no tiene suficiente energía para cargarlas, principalmente en la las horas de la noche.<sup>27</sup>

- Regulador de carga: Controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas que disminuya la vida útil de las baterías, a su vez suministra la energía de consumo de corriente continua (DC) al sistema.

#### **4.6 NORMATIVAS PARA SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA**

En Colombia se desarrolló la Ley 1715 del 2014 que promueve el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, así como al fomento de la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias. A su vez da inicio al Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía, orientado a financiar los programas de eficiencia energética. Además, se establecen los incentivos para la inversión en generación de energías no convencionales.<sup>28</sup>

#### **4.7 DISEÑO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**

El diseño de un sistema fotovoltaico autónomo es bastante diferente que la de un sistema fotovoltaico conectado a red eléctrica local.

La tarea fundamental del diseño de un sistema fotovoltaico autónomo consiste principalmente en la determinación del tamaño óptimo del generador fotovoltaico;

---

<sup>27</sup> Greenenergylatinamerica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
<http://www.greenenergy-latinamerica.com/es/energia-solar-solar-fotovoltaica-197>.

<sup>28</sup> Diario oficial-república de Colombia, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
<http://www.comunidadcontable.com/BancoMedios/Imagenes/ley%201715%20de%202014.pdf>.

la batería o conjunto de baterías que forman el sistema; el inversor, el regulador de carga y el cableado.<sup>29</sup>

La potencia máxima de una planta fotovoltaica en teoría es ilimitada conectando un número indefinido de paneles solares fotovoltaicos. En la práctica, la potencia máxima de la instalación se determina con base a la radiación solar del lugar, las necesidades de energía eléctrica del usuario y la superficie disponible para la instalación de los paneles solares.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos-curso de energía solar fotovoltaica CIEMAT, universidad de Jaen, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].

<http://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>.

<sup>30</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].

[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

## 5. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

Cumpliendo con los objetivos específicos, se desarrollo en la practica empresarial las siguientes actividades:

### 5.1. SELECCIONAR Y DIMENSIONAR LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Para diseñar un sistema conectado a la red eléctrica local, se debe conseguir mediante el diseño, que el rendimiento del sistema sea lo más elevado posible o que el aporte energético anual del sistema sea el máximo a lo largo de un año. Debido a que está conectado a la red eléctrica local las posibles fallas del sistema no son tan cruciales como en un sistema fotovoltaico autónomo.<sup>31</sup>

Por el contrario, el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo no es tanto el producir la máxima energía sino que aparece el concepto de confiabilidad. El diseño en este caso se hace atendiendo más a la confiabilidad del sistema, entendiendo por confiabilidad el asegurar el buen funcionamiento del mismo, procurando que las fallas en el sistema sean mínimas. En este caso, el sistema debe diseñarse de forma que la probabilidad de falla sea lo más baja posible y para lograrlo, se deben tener en cuenta los factores que afectan a este diseño como son principalmente, el perfil de consumo de las cargas que va a alimentar la instalación fotovoltaica y la radiación solar del lugar donde se ubicará la instalación.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos-curso de energía solar fotovoltaica CIEMAT, universidad de Jaen, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].  
<http://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>.

<sup>32</sup> Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos-curso de energía solar fotovoltaica CIEMAT, universidad de Jaen, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].  
<http://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>.

La tarea fundamental del diseño de un sistema fotovoltaico autónomo consiste principalmente en la determinación del tamaño óptimo tanto del generador fotovoltaico como el de la batería o conjunto de baterías que forman el sistema, el inversor y el regulador de carga.

Existen gran variedad de métodos de diseño de sistemas fotovoltaicos autónomos. Esta diversidad abarca desde métodos muy complicados y que necesitan de un programa informático para ejecutarse hasta métodos mucho más simples, que con prácticamente una calculadora de mano permiten realizar el diseño.

El método de diseño de sistemas fotovoltaicos que se implementó en la empresa SIHSA para la creación de sus proyectos en sistemas solares fotovoltaicos consta de seis pasos, se pretende con este método que cualquier persona pueda realizar el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo sin tener que contar con complicados cálculos que le llevarían a usar algún tipo de programa informático.

Los pasos para el diseño que se propusieron para la empresa SIHSA fueron los siguientes:

- Paso 1. Estimación del consumo.
- Paso 2. Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles.
- Paso 3. Dimensionamiento del generador fotovoltaico.
- Paso 4. Dimensionamiento del banco de baterías.
- Paso 5. Dimensionamiento del regulador de carga.
- Paso 6. Dimensionamiento del inversor.

### **5.1.1 Estimación del consumo**

La demanda de energía impone muchas de las características de la instalación, por lo que en la planificación de las necesidades se debe tener en cuenta todo lo relacionado con los diferentes aparatos eléctricos que serán la carga del sistema.

Se deberá determinar la energía que el usuario necesitará diariamente. Para ello se deberá determinar la potencia individual de todos los aparatos que estarán en la instalación, junto con el tiempo medio de uso de cada uno de ellos. La potencia como el tiempo medio de uso se deberá redondear hacia arriba.

Conocidos todos los aparatos, potencias y tiempos de uso; la ecuación para determinar la energía de consumo, diferenciando entre los aparatos de corriente alterna (AC) y continua (DC) será:

**Ecuación 1.** Para aparatos con corriente alterna (AC)

$$E_{AC} = \sum P_{(AC)i} \cdot t_{di} \quad (1)$$

**Ecuación 2.** Para aparatos con corriente continua (DC)

$$E_{DC} = \sum P_{(DC)i} \cdot t_{di} \quad (2)$$

Siendo:

$E_{AC}$ : Energía consumida en AC (Wh)

$E_{DC}$ : Energía consumida en DC (Wh)

$P_i$ : Potencia nominal

$t_{di}$ : Tiempo diario de uso en el día (h)

Para determinar el consumo total, se debe tener en cuenta los rendimientos de los equipos utilizados; aplicando la siguiente ecuación:

**Ecuación 3.**

$$ET = \frac{E_{DC}}{h_{BAT}} + \frac{E_{AC}}{h_{BAT} \cdot h_{INV}} \quad (3)$$

Dónde:

ET: Energía real requerida por el sistema (consumo) (Wh)

hBAT: Rendimiento de la batería

hINV: Rendimiento del inversor

La energía real requerida ET, refleja la energía real que el sistema requiere en un día y es un dato importante a la hora de dimensionar el generador fotovoltaico.

### **5.1.2 Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles fotovoltaicos.**

Para optimizar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, estos deben estar inclinados con un grado de ángulo óptimo para captar los rayos del sol de manera perpendicular. Una inclinación equivocada podría causar una pérdida significativa de la eficiencia de todo el sistema fotovoltaico. Encontrar el ángulo correcto de los paneles no es fácil ya que la luz solar no es constante en nuestro planeta y varía en función de la latitud del lugar y la época del año.

El ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos debe ser igual a la latitud del lugar donde se encuentra la instalación. Esto permite tener un rendimiento promedio aceptable durante todo el período del año.<sup>33</sup>

Los sistemas de inclinación automática son capaces de seguir la trayectoria del sol durante el día, lo cual conlleva a una eficiencia máxima de energía en los paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos se encuentran siempre en una inclinación compatible con una radiación solar perpendicular a la superficie de los paneles. Estas soluciones no se pueden aplicar en el caso de los sistemas fotovoltaicos pequeños debido al alto costo de los servomecanismos.<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>34</sup> Solartronic-preguntas frecuentes, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

### 5.1.3 Dimensionamiento del generador fotovoltaico.

Una vez que la demanda energética de la carga es conocida, se está en condiciones de dimensionar el generador fotovoltaico (paneles solares). El número total de paneles fotovoltaicos que se deben instalar se puede determinar a partir de las siguientes ecuaciones:

#### Ecuación 4

$$NT = \frac{ET}{P_p \cdot HEP \cdot PG} \quad (4)$$

#### Ecuación 5

$$HEP \text{ (h /día)} = \frac{Gmb \text{ (Wh /m}^2\text{)}}{1000 \text{ (W /m}^2\text{)}} \quad (5)$$

Siendo:

NT: número total de paneles fotovoltaicos

ET: Energía real requerida (Wh) en un día

P<sub>p</sub>: Potencia de salida del panel fotovoltaico (W)

HEP (h /día): Es el número teórico de las horas equivalentes de potencia. Las HEP se calculan dividiendo el índice de radiación solar del sitio por una constante de fabricación de los paneles y es de 1000 W /m<sup>2</sup>.

G<sub>mb</sub>: Radiación Global del lugar donde se instalara los paneles fotovoltaicos (kWh /m<sup>2</sup>).

PG: Factor Global de Pérdidas (suele variar entre 0.65 y 0.9).

### 5.1.4 Dimensionamiento del banco de baterías.

Para definir el tamaño del banco de baterías, se deberán tener en cuenta los siguientes Parámetros:

1. Profundidad de descarga: La Profundidad de descarga (*Depth of Discharge*, DOD) es un método alternativo para indicar el estado de carga (SOC) de una batería. Un 0% de profundidad de descarga significa que no hay descarga. El DOD es el complemento del SOC: cuando uno aumenta, el otro disminuye. Mientras que las unidades del SOC son puntos porcentuales (0% = vacío; 100% = completo), las unidades de DOD pueden ser Ah (por ejemplo: 0 = lleno, 50 Ah = vacío) o puntos porcentuales (100% = vacío; 0% = completo). El valor de la profundidad de descarga se define en función del tipo de batería que se utilice en la instalación.<sup>35</sup>

**Tabla 2. Porcentaje de carga de una batería de 12 Voltios DC (corriente continua) mediante la medición del voltaje en los terminales de carga con un multímetro electrónico común.**

Carga (%)	99	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Voltaje (V)	12,91	12,80	12,66	12,52	12,38	12,06	12,06	11,90	11,70	11,42

Fuente: <http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>.

2. Días de Autonomía: es el número de días consecutivos que en ausencia de sol, el banco de baterías es capaz de atender el consumo, sin sobrepasar el porcentaje de descarga de la batería. Los días de autonomía dependen de factores como: el tipo de instalación y de las condiciones climáticas del lugar.<sup>36</sup>

La capacidad de las baterías es la cantidad de energía que debe ser capaz de almacenar, para asegurar los días de autonomía. La ecuación que se utiliza para determinar la capacidad del banco de baterías es:

<sup>35</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].

[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>36</sup> *Ibíd.*

### Ecuación 6

$$C_n \text{ (Ah)} = \frac{(ET) \cdot (N)}{(Pd) \cdot (V_{bat})} \quad (6)$$

Siendo:

C<sub>n</sub>: capacidad nominal de la batería (Ah)

ET: Energía real requerida (Wh)

N: días de autonomía

P<sub>d</sub>: Profundidad de descarga diaria permitida al banco de baterías.

V<sub>Bat</sub>: tensión nominal de la batería (V)

Es importante señalar que los periodos de autonomía cortos, alargan la vida de las baterías y dan al sistema mayor confiabilidad. La batería se elegirá de forma que se aproxime al valor de capacidad nominal (C<sub>n</sub>) calculado. El valor C<sub>n</sub> se debe redondear hacia arriba con el fin de obtener un mejor margen de seguridad.

La ecuación que se utiliza para determinar el número de baterías para el sistema es la siguiente:

### Ecuación 7.

$$\# \text{ De baterías} = \frac{C_n \text{ (Ah)}}{C_{nB} \text{ (Ah)}} \quad (7)$$

Siendo:

C<sub>n</sub>: Capacidad total requerida de batería (Ah)

C<sub>nB</sub>: Capacidad nominal de cada batería (Ah)

### 5.1.5 Dimensionamiento del regulador de carga.

A la hora de dimensionar el regulador de carga, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto, se tendrá que

determinar la corriente que produce el generador fotovoltaico y esta será la que deba soportar el regulador de carga en funcionamiento.

La intensidad de corriente que produce el generador es la suma de las intensidades que producen cada panel fotovoltaico funcionando a pleno rendimiento.

Para determinar la intensidad que genera un panel fotovoltaico a pleno rendimiento, se aplicara la siguiente ecuación:

**Ecuación 8.**

$$IR = \frac{(Pp) \cdot (hm)}{Vm} \quad (8)$$

Siendo:

IR: Corriente producida por un panel fotovoltaico (A)

Pp: Potencia de salida del panel fotovoltaico (W)

hm: Rendimiento del panel fotovoltaico

Vm: Tensión nominal del panel fotovoltaico (V)

Para determinar la cantidad de reguladores de carga debemos primero determinar la intensidad (corriente) que produce todos los paneles fotovoltaicos. Para esto aplicaremos las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 9.**

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = (IR) * (NT) \quad (9)$$

Dónde:

IR: Corriente producida por un panel fotovoltaico

NT= número total de paneles fotovoltaicos

### Ecuación 10.

$$\# \text{ De Reguladores} = \frac{\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico}}{\text{Corriente que soporta el regulador de carga}} \quad (10)$$

La corriente que soporta un regulador se establece según las especificaciones del fabricante.

#### 5.1.6 Dimensionamiento del Inversor.

Las características de funcionamiento que definen un inversor o convertidor DC – AC son:

- Potencia Nominal (kW)
- Tensión Nominal de Entrada (V)
- Tensión Nominal de Salida (V)
- Frecuencia de operación (HZ)
- Rendimiento (%)

El valor de la tensión nominal es un dato de referencia que sirve para identificar el tipo de inversor. A la hora de dimensionar el inversor se tendrá en cuenta la potencia que demanda la carga AC (corriente alterna), de forma que se elegirá un inversor cuya potencia nominal sea algo superior (10 %) a la máxima demandada por la carga AC (corriente alterna). Sin embargo, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor.

La segunda forma de dimensionar el inversor es mediante la potencia de arranque. Algunos inversores pueden suministrar más de su capacidad nominal durante períodos cortos de tiempo. Esta capacidad es importante cuando se utilizan motores u otras cargas que requieren de 2 a 7 veces más potencia para

arrancar que para permanecer en marcha una vez que han arrancado (motores de inducción, lámparas de gran potencia).<sup>37</sup>

La potencia del inversor se define con la siguiente ecuación:

**Ecuación 11.**

$$P_{inv} \approx PAC \quad (11)$$

Dónde:

P<sub>inv</sub>: Potencia del Inversor

PAC: Suma de las potencias de las cargas AC (corriente alterna)..

## **5.2 RECOPIRAR MODELOS Y EQUIPOS EXISTENTES EN EL MERCADO PARA ESTAS SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS**

Se realizó la siguiente investigación con el fin de conocer los diferentes equipos con sus tecnologías implementados en los sistemas fotovoltaicos y a su vez conocer los fabricantes de equipos fotovoltaicos con sus opciones en el mercado. Para realizar una instalación fotovoltaica típica (autónoma) se necesitaran de los siguientes equipos: Paneles solares o módulos fotovoltaicos, regulador de carga, baterías e inversores o convertidores de continua-alterna.

### **5.2.1 Paneles solares o módulos fotovoltaicos.**

Se denomina módulo o pánel fotovoltaico al conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas convencionalmente, de tal forma que reúnan unas condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía, siendo compatible con las necesidades y equipos estándares existentes en el mercado.

---

<sup>37</sup> Solartronic-preguntas frecuentes, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014]. [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/)

Normalmente, se habla de paneles solares de 12V, 24V y 48 V en corriente continua (DC).<sup>38</sup>

### 5.2.1.1 Tipos de paneles solares fotovoltaicos.

Los paneles solares fotovoltaicos son fabricados con celdas de silicio cristalino o arseniuro de galio.

En el mercado existen los siguientes paneles fotovoltaicos:

- Paneles de arseniuro de galio: Tienen un rendimiento del 27%, son los paneles fotovoltaicos más costosos en el mercado.<sup>39</sup>
- Paneles de silicio monocristalinos: Las celdas están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de celdas presenta un color azul oscuro uniforme. Son los más empleados en la actualidad, debido a que el silicio es el material más abundante en la tierra después del oxígeno. Tiene un rendimiento del 15%.<sup>40</sup>
- Paneles de silicio policristalinos: están constituidas por un conjunto de cristales de silicio, lo que explica que su rendimiento sea algo inferior al de los paneles monocristalinos, tiene un rendimiento del 14%. Se caracterizan por un color azul más intenso.<sup>41</sup>
- Paneles de silicio amorfo: Posee la ventaja de que su espesor llega a ser 50 veces más fino que el equivalente en paneles de silicio monocristalinos. Tiene una eficiencia del 9% pudiendo aumentar en las versiones multicapas y son paneles fotovoltaicos muy económicos. Son menos eficientes que los

---

<sup>38</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].

[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>39</sup> *Ibíd.*

<sup>40</sup> *Ibíd.*

<sup>41</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].

[http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

paneles de silicio cristalino (policristalinos y monocristalinos) pero también son los más baratos en el mercado.<sup>42</sup>

**Imagen 9. Diferencias entre los paneles fotovoltaicos policristalinos, monocristalinos y silicio amorfo**



Fuente: autor del proyecto.

**5.2.1.2 Diferencias entre los módulos policristalinos y los monocristalinos.**

La mayoría de los módulos fotovoltaicos están compuestos por celdas fotovoltaicas de silicio monocristalinos o policristalinos. La diferencia entre una y otra radica en el procedimiento de fabricación.

Las celdas de silicio monocristalinos se obtienen a partir del silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un "cristal germen" de silicio, el cual lo hace crecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se obtiene un monocristal dopado, que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Estas obleas se introducen después en hornos

---

<sup>42</sup> Ibid.

especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente y antes de realizar las interconexiones superficiales, se recubren con un tratamiento anti reflexivo de bióxido de titanio o zirconio.

En las celdas policristalinas, en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas.<sup>43</sup>

Para saber qué panel fotovoltaico tiene mejor rendimiento, bastara con mirar el porcentaje (%) de rendimiento que se visualiza en la ficha técnica de los paneles fotovoltaicos, actualmente se consiguen rendimientos muy parecidos entre los paneles monocristalinos y policristalinos. Por otra parte existe lo que se llama el coeficiente térmico, que es un valor con el que se cuantifica lo que le afecta la temperatura al rendimiento de las celdas en los paneles monocristalinos y policristalinos.

### 5.2.1.3 Tensión de los paneles de acuerdo a sus celdas fotovoltaicas

<b>Paneles de 30 celdas</b>	→	Tensión nominal = 12V
<b>Paneles de 36 celdas</b>	→	Tensión nominal = 12V
<b>Paneles de 48 celdas</b>	→	Tensión nominal = 18V
<b>Paneles de 54 celdas</b>	→	Tensión nominal = 18V
<b>Paneles de 60 celdas</b>	→	Tensión nominal = 24V
<b>Paneles de 72 celdas</b>	→	Tensión nominal = 24V
<b>Paneles de 120 celdas</b>	→	Tensión nominal = 48V
<b>Paneles de 144 celdas</b>	→	Tensión nominal = 48V

---

<sup>43</sup> Ibid.

#### **5.2.1.4 Factores a considerar al elegir un panel fotovoltaico**

Cuando se analiza la hoja de datos (datasheet) de un panel fotovoltaico encontraremos varios datos los cuales son importantes para determinar la calidad del panel fotovoltaico y a decidir si sus características cumplen las necesidades y requisitos para el diseño del generador fotovoltaico de un sistema solar fotovoltaico.

Estos requisitos varían dependiendo de muchos parámetros tales como la ubicación de la instalación, el espacio disponible y la temperatura. Teniendo en cuenta estos parámetros se podrá determinar el mejor panel fotovoltaico. Además de los datos técnicos del panel fotovoltaico es importante verificar el certificado de garantía del fabricante. Debido a la garantía del fabricante, se puede asegurar de hacerse una buena inversión en el tiempo, sin preocuparnos de los riesgos.

Los factores (datos) más importantes en la hoja de datos de un panel fotovoltaico a tener en cuenta son los siguientes:

- **Potencia Nominal:** Identifica la potencia (W) capaz de entregar el panel fotovoltaico bajo ciertas condiciones, llamadas STC (condición de prueba estándar) o una irradiación de  $1000 \text{ W / m}^2$ , con una temperatura de  $25 \text{ °C}$  y la distribución espectral AM igual a 1.5). Todos los fabricantes prueban sus paneles fotovoltaicos con estas condiciones, que son estándar y universalmente reconocido. La elección de la potencia nominal se debe determinar en la fase de diseño del sistema fotovoltaico.
- **Tipo de Celdas:** Las celdas solares se fabrican con diferentes materiales. Los materiales más utilizados son el silicio policristalino y monocristalino de silicio. Las celdas de silicio monocristalino se obtiene por corte de un único cristal de silicio, son un poco más eficientes y cuestan más. Con la misma potencia nominal un panel monocristalino ocupa menos espacio que un panel de silicio policristalino.

- **Garantía:** Este aspecto es muy importante. Hay dos tipos de garantías; la garantía del producto (falta de conformidad y la fabricación del panel fotovoltaico) y la garantía de ejecución. En esta garantía, el fabricante asegura que con el tiempo, la producción del panel fotovoltaico nunca caerá por debajo de un determinado porcentaje.
- **Eficiencia del Panel:** Es un porcentaje que indica la cantidad de energía que un panel solar es capaz de transformar en electricidad, teniendo en cuenta una condición de irradiación de  $1000W / m^2$  sobre su superficie.
- **Tolerancia de potencia:** La potencia nominal de los paneles fotovoltaicos pueden estar sujetas a pequeñas variaciones durante el proceso de fabricación. Cuanto menor sea la tolerancia declarada por el fabricante, el rendimiento de los paneles será estable. Si se opta por paneles con solo la tolerancia positiva, se tendrá una potencia nominal siempre garantizada o incluso superada.
- **NOCT:** Es la temperatura que alcanza la celda solar en condiciones de funcionamiento nominales (una irradiación de  $1000W / m^2$ , con una temperatura de  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ). Este valor indica la capacidad de la celda para disipar el calor. Teniendo en cuenta que cuando la temperatura aumenta, la celda produce menos. Se debe elegir un valor NOCT bajo
- **Coeficiente de temperatura: ( $\% / ^\circ\text{C}$ ):** Es un coeficiente negativo e indica el porcentaje de reducción en la potencia basado en el incremento de la temperatura ambiente. Cuando menor sea el coeficiente de temperatura el panel fotovoltaico será mejor.

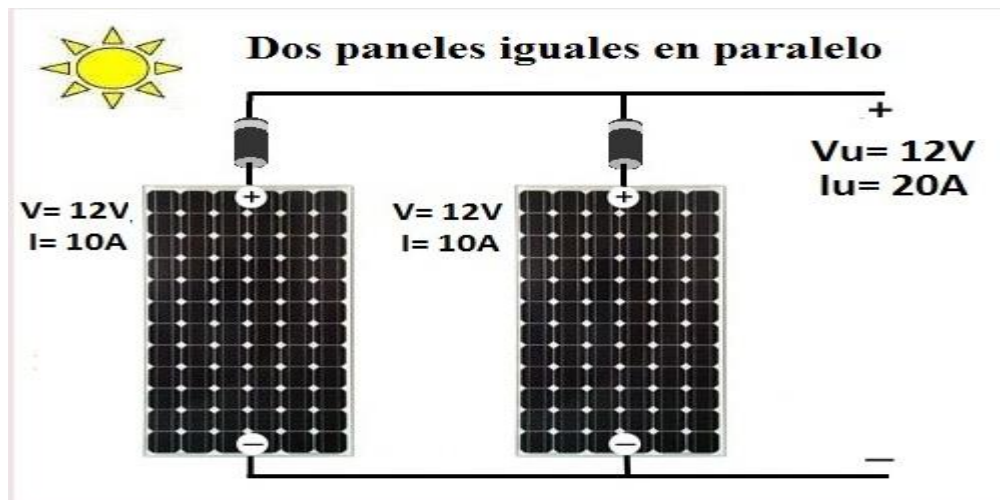
#### **5.2.1.5 Conexión de paneles fotovoltaicos en paralelo**

Al conectar paneles fotovoltaicos en paralelo se obtiene un aumento de la producción de energía de la actual disponible. Debido a que se aumenta la corriente del generador fotovoltaico manteniendo la misma tensión del mismo.

### 1. Conexión en paralelo de dos paneles fotovoltaicos idénticos:

Se conecta el terminal positivo de un panel al polo positivo del otro panel y se conecta el terminal negativo de un panel al polo negativo del otro panel, como se observa a continuación en la siguiente figura.

**Imagen 10. Dos paneles fotovoltaicos iguales conectados en paralelo**



Fuente: <http://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>

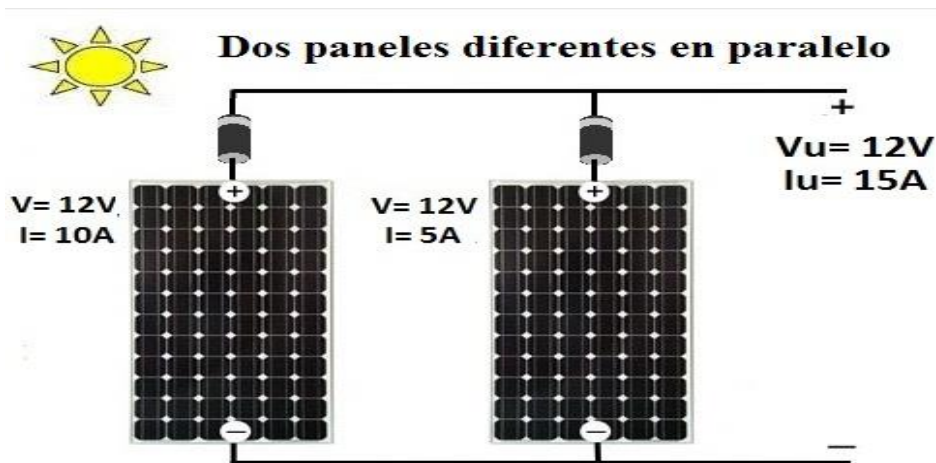
Para evitar pérdidas de rendimiento debido a sombras parciales, es necesario insertar en serie para cada panel fotovoltaico, un diodo de bloqueo. De este modo, si un panel fotovoltaico está en la sombra, los demás paneles fotovoltaicos no se verán afectados y al mismo tiempo protege todos los paneles fotovoltaicos de posibles fallas o cortos circuitos que pueden ocurrir en un panel fotovoltaico.

El mejor tipo de diodo para aplicaciones fotovoltaicas, es el diodo Schottky. Este tipo de diodo tiene una tensión umbral muy baja (del orden de 0.35 V contra los 0.6 V de los diodos comunes) de soporte que asegura una disipación de potencia muy baja.

## 2. Conexión en paralelo de dos paneles fotovoltaicos de diferentes potencias:

Si disponemos de paneles fotovoltaicos de la misma tensión, pero con diferentes potencias, se pueden conectar en paralelo, pero si los paneles fotovoltaicos tienen diferentes tensiones como potencias, entonces no se podrán conectar en paralelo, porque el panel fotovoltaico con menor tensión se comportara como una carga y empezara a absorber corriente en vez de producirla.

### Imagen 11. Dos paneles fotovoltaicos diferentes conectados en paralelo



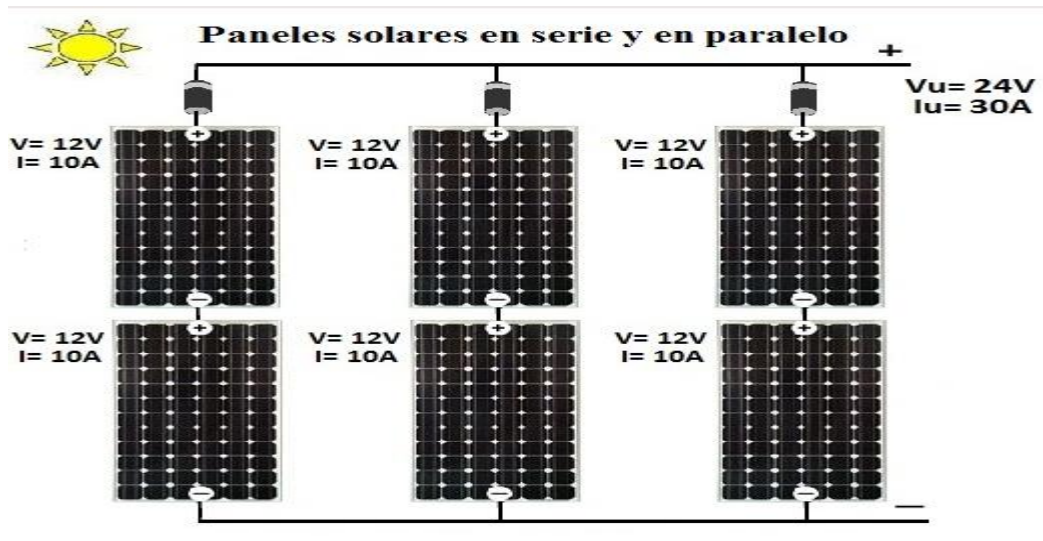
Fuente: <http://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>.

## 3. Conexión en paralelo y serie de paneles fotovoltaicos idénticos

Al conectar varios paneles fotovoltaicos en serie se aumenta la tensión mientras se mantiene la misma corriente y al conectar varios paneles fotovoltaicos en paralelo se aumenta la corriente mientras se mantiene la misma tensión.

Imagen. Paneles fotovoltaicos idénticos conectados en serie y en paralelo.

**Imagen 12. Paneles fotovoltaicos idénticos conectados en serie y en paralelo**



Fuente: <http://www.mpptsolar.com/es/paneles-solares-paralelo.html>.

#### **5.1.2.6 Paneles solares en el mercado.**

Los diez mayores productores mundiales de paneles fotovoltaicos son:

1. Yingli
2. Trina Solar
3. Canadian Solar
4. Sharp Solar
5. Jinko Solar
6. First Solar
7. ReneSolar
8. Kyocera
9. JA Solar
10. Hanwha Solarone

En el anexo A. (Fabricantes y especificaciones de paneles solares en el mercado), que se encuentra en el CD de anexos se visualiza las marcas, modelos y

especificaciones de los paneles fotovoltaicos de las siguientes empresas: Yingli solar, Technosun, Jinko solar, Panasonic, Kiocera, Rec, Suntech, Bosh.

## **5.2.2 Regulador de carga.**

El regulador de carga es el elemento que controla las cargas y descargas de la batería o banco de baterías, permitiendo el proceso de carga de la misma desde el generador fotovoltaico y el proceso de descarga a través de los elementos de consumo eléctrico del sistema global.<sup>44</sup>

### **5.2.2.1 Tipos de reguladores de carga.**

Los reguladores de carga implementan dos tecnologías: PWM y MPPT

#### 1. Regulador PWM (Modulación por ancho de pulso).

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM siglas en inglés de *pulse-width modulation*) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una sinusoidal o una cuadrada), para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta a un oscilador de onda dientes de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal dientes de sierra y el ciclo de trabajo está en función de la portadora.<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable-instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014]. Disponible en la web [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

<sup>45</sup> Wikipedia, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web [http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos).

## 2. Regulador MPPT (seguimiento del punto maximo de potencia).

La gestión de carga se lleva a cabo a través de un microcontrolador programado para medir de forma continua los valores de salida de voltaje y de corriente del panel fotovoltaico a través de un algoritmo que persigue el punto de máxima potencia de la curva del panel fotovoltaico (MPPT). El punto de máxima potencia de cualquier panel está sujeto a un cambio continuo debido a diversos parámetros tales como: temperatura, la luz incidente y los efectos de sombra. Al controlar estos parámetros se logra una alta eficiencia de conversión, lo que resulta en un aumento en la producción de electricidad fotovoltaica.<sup>46</sup>

**Tabla 3. Ventajas y desventajas de los reguladores de carga PWM y MPPT**

Tecnología del controlador	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p style="text-align: center;"><b>TECNOLOGIA PWM</b> <i>(Modulación por ancho de pulso)</i></p>	<p>Los reguladores de carga con tecnología PWM para sistemas fotovoltaicos son controlados por un microcontrolador, algunos poseen una pantalla LCD y pueden funcionar de forma automática, tanto en 12V y 24V. Proporcionan la cantidad adecuada de corriente a las baterías y las protegen frente a un exceso de carga o descarga con el fin de extender el ciclo de vida de las baterías.</p>	<p>Es considerada una tecnología vieja, es decir, antigua respecto a la tecnología que disponemos en el momento. En los circuitos PWM se presenta la posibilidad de que hayan interferencias generadas por radiofrecuencia. Éstas pueden minimizarse ubicando el controlador cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación. Se consigue en el mercado hasta una corriente máxima de 60 A</p>

<sup>46</sup> Mpptsolar, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web <http://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-solar-mppt.html>.

<p style="text-align: center;"><b>TECNOLOGIA MPPT (seguimiento del punto maximo de potencia)</b></p>	<p style="text-align: center;">Son reguladores de alta eficiencia, capaz de gestionar de forma automatica y segura la energia desde el panel fotovoltaico con el fin de cargar de la mejor forma las baterias. Los controladores MPPT pueden aumentar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos del 10 al 30 %. Se consigue en el mercado con una corriente maxima superiores de 20 A hasta 90 A.</p>	<p style="text-align: center;">Son equipos mas costoso que los controladores PWM</p>
--	--	--

Fuente: Autor del proyecto.

### **5.2.2.2 Utilización de un regulador con tecnología MPPT y un regulador con tecnología PWM.**

La elección de la tecnología del regulador de carga dependerá de las celdas del panel fotovoltaico y del voltaje nominal del banco de baterías que se utilizaran para alimentar las cargas. El controlador PWM normalmente cuesta menos que un regulador MPPT, pero el controlador MPPT permite producir más energía en comparación con un regulador PWM.

Si el voltaje nominal del panel fotovoltaico es ligeramente mayor que la de la batería, se recomienda el regulador PWM porque tiene un rendimiento diario similar a un regulador MPPT.<sup>47</sup>

En la siguiente tabla se ilustra la tecnología del regulador de carga a utilizar teniendo en cuenta los números de celdas que componen los paneles fotovoltaicos y el voltaje del banco de baterías que desea cargar.

<sup>47</sup> Mpptsolar, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web <http://www.mpptsolar.com/es/como-elegir-regulador-de-carga-solar.html>

**Tabla 4. Utilización del regulador según las celdas del panel y las baterías**

<b><i>Celdas del panel y voltaje de la batería</i></b>	<b><i>Tecnología del regulador</i></b>
Paneles de 36 celdas y baterías a 12V	MPPT
Paneles 48 celdas y baterías a 12V/24V	MPPT
Paneles 54 celdas y baterías a 12V/24V	MPPT
Paneles 72 celdas y baterías a 12V/24V	MPPT
Paneles 144 celdas y baterías a 48V	MPPT
Paneles 30 celdas y baterías a 12V	PWM
Paneles 60 celdas y baterías a 24V	PWM
Paneles 120 celdas y baterías a 48V	PWM

Fuente: <http://www.mpptsolar.com/es/como-elegir-regulador-de-carga-solar.html>.

### **5.2.2.3 Comportamiento de un regulador de carga PWM y un regulador de carga MPPT**

En las siguientes dos fotos se observa el comportamiento de la corriente en el regulador de carga PWM (PR3030) y el regulador de carga MPPT (Solarix). Además se utilizó un panel fotovoltaico de silicio monocristalino de 100 W y una batería Fiamm de 12 Voltios en corriente continua (DC).

#### **1. Regulador de carga PWM PR3030**

**Imagen 13. Comportamiento de un regulador de carga PWM (PR3030)**

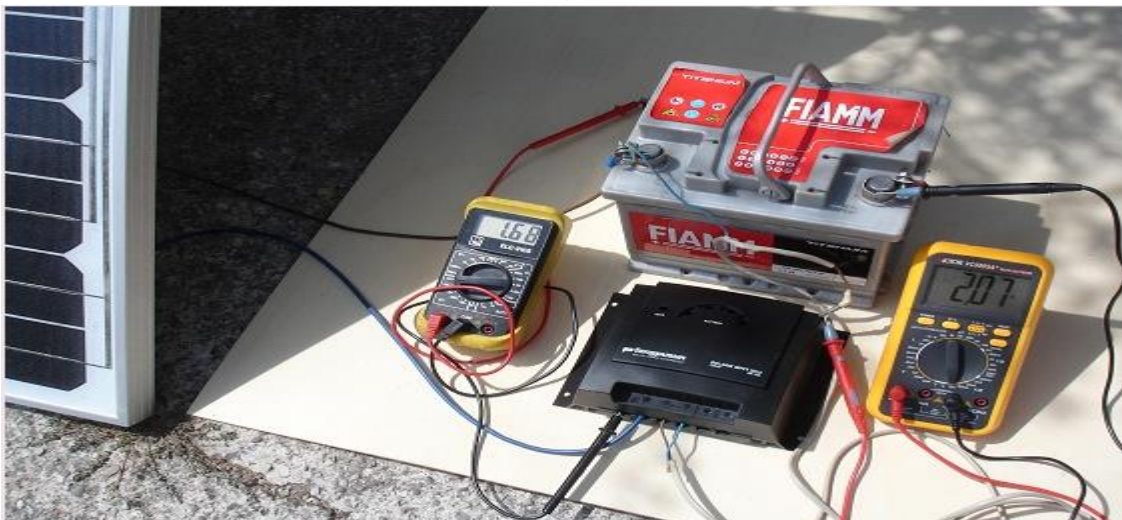


Fuente: Autor del proyecto

Como se puede observar en la imagen, el panel fotovoltaico genera una corriente de 1.60 A (amperios) que se utiliza casi en su totalidad por el regulador de carga PWM (1.57 A) para cargar la batería de 12 Voltios en corriente continua (DC).

## 2. Regulador de carga MPPT Solarix

**Imagen 14. Comportamiento de un regulador de carga MPPT (Solarix)**



Fuente: Autor del proyecto.

Como se puede observar en la imagen, el panel fotovoltaico genera una corriente de 1.68 A (amperios) pero la corriente que va a la batería de 12 Voltios en corriente continua (DC) suministrada por el regulador de carga MPPT es mayor, en este caso es de 2.07 A (Amperios).

Podemos concluir que el regulador MPPT (Solarix) considera toda la potencia del panel fotovoltaico, es decir, la diferencia entre la tensión suministrada por el panel fotovoltaico (para este ejemplo el panel fotovoltaico tiene un voltaje de circuito abierto de 36 Voltios) y la tensión necesaria para la batería en ese momento (para este ejemplo la batería requiere de 12 Voltios) no se pierde sino que se transforma por el regulador MPPT en más corriente para el proceso de carga de la batería. Este proceso no sucede para un regulador de carga PWM, que solo tiene en cuenta lo que entrega el panel fotovoltaico en ese momento.

El regulador de carga MPPT es capaz de optimizar al máximo una tensión fotovoltaica por encima del banco de baterías logrando más energía (corriente) en comparación con un regulador de carga PWM.

#### **5.2.2.4 Reguladores de carga en el mercado.**

En el anexo B. (Fabricantes y especificaciones de reguladores de carga en el mercado) que se encuentra en el CD de anexos, se visualiza las marcas, modelos y especificaciones de los reguladores de carga de las siguientes empresas: Outback, Phocos, Fangpusun, Technosun, Schneider, Morningstar, Victron Energy.

#### **5.2.3 Acumuladores o baterías.**

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica necesitan acumular parte de la energía producida por los paneles fotovoltaicos para su utilización en

ausencia de radiación solar o cuando ésta no sea suficiente para generar la totalidad requerida. Por tanto el acumulador o batería es una pieza clave de la instalación. Es muy importante que su tipo y capacidad sean las adecuadas para el consumo que van a cubrir dado que su precio es elevado. Una capacidad insuficiente impedirá la satisfacción de los consumos estimados y acortará su vida útil y demasiada capacidad generará un sobrepeso importante en la instalación. Las baterías representan gran parte de la inversión pero tienen la vida más corta de toda la instalación.

Aunque hay muchas formas de almacenar la energía, las más usadas son las baterías a base de plomo por su buena relación del precio por energía disponible.

Las características que definen a una batería son:

- El tipo de batería
- El material químico que lo compone
- Su capacidad, que se expresa en Ah (amperios por hora) y su tensión de trabajo, que se expresa en V (voltios)
- El tipo de carcasa exterior
- Su profundidad de descarga
- Su coeficiente de auto descarga

Una batería nos dará más energía cuanto más despacio se descargue. Por lo tanto si se descarga muy rápido su capacidad será menor. La duración del ciclo de carga se expresa en horas. También pierden carga de manera natural aunque no se den ciclos de carga o descarga, es lo que se llama auto descarga, suele ser del orden del 0,5% o 1% de la capacidad total por día.<sup>48</sup>

---

<sup>48</sup> Solarweb.net, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web <http://www.solarweb.net/wiki/Baterias-fotovoltaicas-Nivel-basico>.

Los amperios hora de una batería son simplemente el número de amperios que proporciona multiplicado por el número de horas durante las que circula esa corriente. Sirve para determinar en una instalación fotovoltaica, cuánto tiempo puede funcionar el sistema sin radiación solar que recargue las baterías.

La profundidad de descarga de la batería corresponde al porcentaje máximo de descarga que se le permite a la batería para funcionar correctamente. Hay que señalar que el porcentaje de descarga afecta incluso a las baterías de ciclo profundo, cuanto mayor sea el porcentaje de descarga menor es el número de ciclos de carga que la batería puede tener.<sup>49</sup>

#### **5.2.3.1 Baterías de Plomo.**

Las baterías de plomo usadas en sistemas fotovoltaicos son parecidas a las que se usan en autos y camiones, pero son optimizadas para una aplicación diferente. En los carros se debe tener la disponibilidad de tener mucha energía durante un tiempo muy corto, principalmente para arrancar el motor. Este alto flujo de amperios necesario se logra con capas de plomo delgadas.

En sistemas fotovoltaicos, las baterías tienen que dar la energía sobre un tiempo más largo y frecuentemente se descargan a niveles más bajos. Estas baterías de tipo ciclo profundo tienen capas de plomo más gruesas que además brindan la ventaja de prolongar su vida. Las baterías de uso fotovoltaico son de tipo estacionario, diseñadas para ofrecer servicios semicontínuos o intermitentes de energía durante períodos largos de tiempo.<sup>50</sup>

Existe gran variedad de capacidades y se dividen en varios tipos en función de la composición química de los elementos que las componen y por el tipo de carcasa que tienen. Las baterías de poca capacidad vienen en una carcasa tipo monoblock

---

<sup>49</sup> Solarweb.net, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web <http://www.solarweb.net/wiki/Baterias-fotovoltaicas-Nivel-basico>.

<sup>50</sup> *Ibíd.*

como las de los autos (aunque su composición es diferente). Las baterías de media y gran capacidad las componen elementos individuales de gran tamaño que tienen que ser interconectados entre sí para conseguir la capacidad y el voltaje adecuados al uso que se le va a exigir. Estas baterías son grandes y pesadas por el plomo. Son compuestas de celdas de 2 Voltios nominales que se juntan en serie para lograr baterías de 6V, 12V o más voltios.

Las baterías de plomo se componen de varias placas de plomo en una solución de ácido sulfúrico. La placa consiste en una rejilla de aleación de Plomo con una pasta de óxido de Plomo incrustada sobre la rejilla. La solución de ácido sulfúrico y agua se denomina electrolito. Independientemente del tamaño de las placas, una celda suministrará sólo una tensión nominal de 2 voltios. Una batería está constituida por varias celdas o elementos conectados en serie, interna o externamente,<sup>51</sup>

La vida de las baterías de plomo depende de la calidad con la que la fabricaron y de su uso correcto. Con el uso difícil de controlar, los fabricantes no ofrecen garantías largas, por lo tanto los años de vida depende de su uso. Si se descargan frecuentemente en forma profunda provoca que las baterías se dañen más rápido. La temperatura tiene gran influencia sobre la batería de plomo, una temperatura entre 20 y 25°C es lo óptimo para una batería en uso.<sup>52</sup>

En la eficiencia de las baterías de plomo es importante diferenciar entre la cantidad de energía que entra en la batería (cargando) y la que es disponible en la batería (descargando). La eficiencia en baterías normales de plomo va desde el 70 al 85%, es decir, que de 100Ah producidos para cargar la batería, solamente 70 o 85 Ah son disponibles, el resto de la energía se pierde principalmente en calor.

---

<sup>51</sup> Solartronic-preguntas frecuentes, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014].  
[http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

<sup>52</sup> DeltaVolt-energía renovable, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://deltavolt.pe/baterias>.

Las baterías de plomo de buena calidad, sobre todo los de tipo AGM, tienen una eficiencia del 95%.<sup>53</sup>

### **5.2.3.2 Diferencias entre las baterías de Plomo-ácido y las de Níquel-Cadmio.**

Las baterías de Níquel-Cadmio tienen una estructura física similar a las de Plomo-ácido. En lugar de Plomo, se utiliza hidróxido de Níquel para las placas positivas y óxido de Cadmio para las negativas. El electrolito es hidróxido de Potasio.

El voltaje nominal de un elemento de batería de Níquel-cadmio es de 1,2 V, en lugar de los 2 V de los elementos de batería de Plomo-ácido.

Las baterías de Níquel-cadmio aguantan procesos de congelación y descongelación sin ningún efecto sobre su comportamiento. Las altas temperaturas tienen menos incidencia que en las de Plomo-ácido. Los valores de auto descarga oscilan entre 3 y 6% al mes.

A las baterías de Níquel-cadmio les afectan menos las sobrecargas. Pueden descargarse totalmente sin sufrir daños. No tienen peligro de sulfatación. El costo de una batería de Níquel-cadmio es más elevado que el de una de Plomo-ácido; no obstante tiene un mantenimiento más bajo y una vida más larga. Esto las hace aconsejables para lugares aislados o de acceso peligroso.<sup>54</sup>

### **5.2.3.3 Tipos de baterías de plomo para aplicaciones fotovoltaicas.**

Se usan en la mayoría dos tipos de baterías de plomo:

#### **1. Baterías Líquidas:**

---

<sup>53</sup> Ibíd.

<sup>54</sup> Solartronic-preguntas frecuentes, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014]. [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

Las baterías líquidas son por lo general de plomo-ácido, son las que dominan el mercado, sobre todo por el precio. Son sensibles a los cortocircuitos y requieren de un mantenimiento para que su vida útil no se reduzca. Además generan gases tóxicos, por lo que hay que dedicarles un espacio ventilado.

Las baterías de plomo-ácido se encuentran en versión abierta con tapas que dejan sustituir el agua o en versión de libre mantenimiento que son cerradas pero con válvulas para que posibles gases puedan escapar durante cargas excesivas. Sus ventajas aparte del precio es que son menos problemáticas si se sobrecargan. Las desventajas es que se debe hacer un control del nivel de agua constantemente (en las de libre mantenimiento no se pueden sustituir el agua) y tiene una corta vida de aproximadamente 400 ciclos de carga y descarga. Una ventilación es muy importante para estos tipos de batería y temperaturas bajo cero pueden destruirlas rápidamente.<sup>55</sup>

## **2. Baterías tipo VRLA (abreviación del inglés: *Valve Regulated Lead Acid battery*).**

Estas baterías no son completamente selladas, pero contienen una tecnología que recombinan el oxígeno e hidrógeno que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas. Estas baterías funcionan en cualquiera posición. Hay dos tipos principales: las de consistencia de Gel y las AGM.<sup>56</sup>

### **A. Baterías de Gel.**

En estas baterías, el ácido tiene la forma de gel. Su gran ventaja es que ya no hay un líquido que se pueda perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición.

---

<sup>55</sup> Solarweb.net, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web <http://www.solarweb.net/wiki/Baterias-fotovoltaicas-Nivel-basico>.

<sup>56</sup> DeltaVolt-energía renovable, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web <http://deltavolt.pe/baterias>.

La corrosión es reducida y son más resistentes a bajas temperaturas. Su vida útil es mayor que la vida útil de las baterías líquidas y son las menos afectadas en casos de descargas profundas. La desventaja es que tiene una resistencia interna más alta que reduce el flujo máximo de la corriente y son más delicadas para carga. Estas baterías se usan frecuentemente en la industria y las telecomunicaciones.<sup>57</sup>

## B. Baterías tipo AGM.

En estas baterías, el ácido está fijado en fibras de vidrio. Sus ventajas respecto a las baterías de gel son una alta resistencia en climas fríos, su auto descarga es mínimo y tiene una eficiencia del 95%. Tienen una baja resistencia interna que permiten corrientes altas. La desventaja es que son baterías más costosas y tiene vulnerabilidad en altas descargas profundas. Estas baterías se usan frecuentemente en los sistemas fotovoltaicos.<sup>58</sup>

**Tabla 5. Ventajas y desventajas entre las baterías AGM y las baterías de Gel**

TIPOS DE BATERIAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Baterías AGM</b></p> <p>El ácido se absorbe mejor y más rápido por las placas de plomo de la batería, ya que una delgada manta de fibra de vidrio inmoviliza el ácido entre ellos. Funcionan en cualquier posición.</p>	<p>La batería AGM tiene una resistencia eléctrica interna muy baja. Esto, combinado con la migración más rápida de ácido permite que las baterías AGM entreguen y absorban tasas más altas de corriente eléctrica que otras baterías selladas durante su carga y descarga. Además, las baterías con tecnología AGM se pueden cargar a una tensión normal, no es necesario volver a calibrar los sistemas ya instalados o comprar cargadores especiales para ese tipo de tecnología.</p>	<p>Tiene un elevado precio y son muy vulnerables a altos niveles de descargas profundas.</p>

<sup>57</sup> *Ibíd.*

<sup>58</sup> DeltaVolt-energía renovable, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://deltavolt.pe/baterias>

<p style="text-align: center;"><b>Baterías de Gel</b></p> <p>En estas baterías 'selladas', el ácido tiene la forma de gel. Su gran ventaja es que ya no hay un líquido que se puede perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición.</p>	<p>El electrolito no es líquido, pero si gelificado. Con eso, hay menos evaporación y un aumento de la vida útil, garantizando un número mayor de ciclos de cargas y descargas. Estas baterías soportan descargas profundas y ambientes con vibraciones, golpes y altas temperaturas. Tienen también un voltaje más estable durante la descarga, que es ideal para uso con inversores.</p>	<p>Las baterías de GEL deben cargarse con tensiones más bajas, por eso el cargador debe estar correctamente ajustado para ese tipo de baterías.</p>
---	--	---

Fuente: Autor del proyecto

#### 5.2.3.4 Otros tipos de baterías para aplicaciones solares.

**A. baterías OPzS:** Diseñada para una vida útil de 20 años y para un ciclo de vida mayor a 1200 ciclos, con voltaje de: 2V, 6V y 12V y una capacidad de 50Ah a 3000Ah.<sup>59</sup>

Características:

- Recipientes translúcidos para facilitar el relleno del electrolito.
- Placas positivas tubulares abiertas.
- Placas negativas de rejilla.
- Vida útil más larga en aplicaciones cíclicas.
- Mejor tensión continua gracias a cortas conexiones entre los elementos.
- Excepcionales propiedades de anticorrosión debido al uso de placas de rejilla gruesa.
- Separadores internos de fibra de vidrio para conservar las características de la batería durante toda su vida útil.
- Bajo mantenimiento.

<sup>59</sup> DeltaVolt-energía renovable, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://deltavolt.pe/baterias>.

**B. Baterías OPzV:** Diseñada para una vida útil de 20 años y para un ciclo de vida mayor a 1200 ciclos, con voltaje de 2V y una capacidad de 200Ah a 3000Ah.<sup>60</sup>

Características:

- Larga Duración
- Excelente recuperación de descargas profundas y capacidad de ciclos.
- Seguridad incrementada con conectores totalmente aislados, electrolito inmovilizado, válvula de seguridad de una vía.
- Fácil instalación: posición vertical u horizontal.
- Mantenimiento reducido: sin reposición de agua.

**Tabla 6. Características de los diferentes tipos de baterías**

<i>TIPOS DE BATERIAS</i>	<i>CANTIDAD DE CICLOS</i>	<i>PROFUNDIDAD DE DESCARGA</i>	<i>EFICIENCIA</i>
Baterías de carros	200 Ciclos	50 %	70 %
Baterías líquidas de ciclo profundo	400 ciclos	80 %	85 %
Baterías de Gel	1800 ciclos	60 %	95 %
Baterías AGM	1500 ciclos	60 %	95 %
Baterías de Gel tipo OPzS o OPzV de uso industrial	1200 ciclos	20%	95 %
baterías de litio-ferrofosfato (LiFePO4)	2000 ciclos	20 %	95 %

Fuente: Autor del proyecto

### **5.2.3.5 CAPACIDADES (Ah) DE LAS BATERIAS DE GEL Y AGM QUE SE ENCUENTRAN EN EL MERCADO.**

---

<sup>60</sup> *Ibíd.*

**Tabla 7. Características de las baterías de Gel de 12V en el mercado**

Ah (amperio hora)	Voltaje (Voltios)	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Especificaciones técnicas
60	12	229x138x227	20	Capacidad nominal: 20 hr descarga a 25 °C Dur. de vida en flotación: 12 años a 20 °C Dur. de vida en ciclos: 500 ciclos en descarga 80% 750 ciclos en descarga 50% 1800 ciclos en descarga 30%
66	12	258x166x235	24	
90	12	350x167x183	26	
110	12	330x171x220	33	
130	12	410x176x227	38	
165	12	485x172x240	48	
220	12	522x238x240	66	

Fuente: Autor del proyecto

**Tabla 8. Características de las baterías de Gel de 2V en el mercado**

Ah (amperio hora)	Voltaje (Voltios)	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Especificaciones técnicas
600	2	145x206x688	49	Capacidad nominal: 10 hr descarga a 25 °C Dur. de vida en flotación: 20 años a 20 °C Dur. de vida en ciclos: 1500 ciclos en descarga 80% 2500 ciclos en descarga 50% 4500 ciclos en descarga 30%
800	2	210x191x688	65	
1000	2	210x233x690	80	
1200	2	210x275x690	93	
1500	2	210x275x840	115	
2000	2	215x400x815	155	
2500	2	215x490x815	200	
3000	2	215x580x815	235	

Fuente: Autor del proyecto

**Tabla 9. Características de las baterías AGM de 12V en el mercado**

Ah (amperio hora)	Voltaje (Voltios)	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Especificaciones técnicas	
240	6	320x176x247	31	Capacidad nominal: descarga en 20h a 25°C Dur. de vida en flotación: 7-10 años a 20 °C Dur. de vida en ciclos: 400 ciclos en descarga 80% 600 ciclos en descarga 50% 1500 ciclos en descarga 30%	
8	12	151x65x101	2,5		
14	12	151x98x101	4,1		
22	12	181x77x167	5,8		
38	12	197x165x170	12,5		
60	12	229x138x227	20		
66	12	258x166x235	24		
90	12	350x167x183	27		
110	12	330x171x220	32		
130	12	410x176x227	38		
165	12	485x172x240	47		
220	12	522x238x240	65		
255	12	522x238x240	70		

Fuente: Autor del proyecto

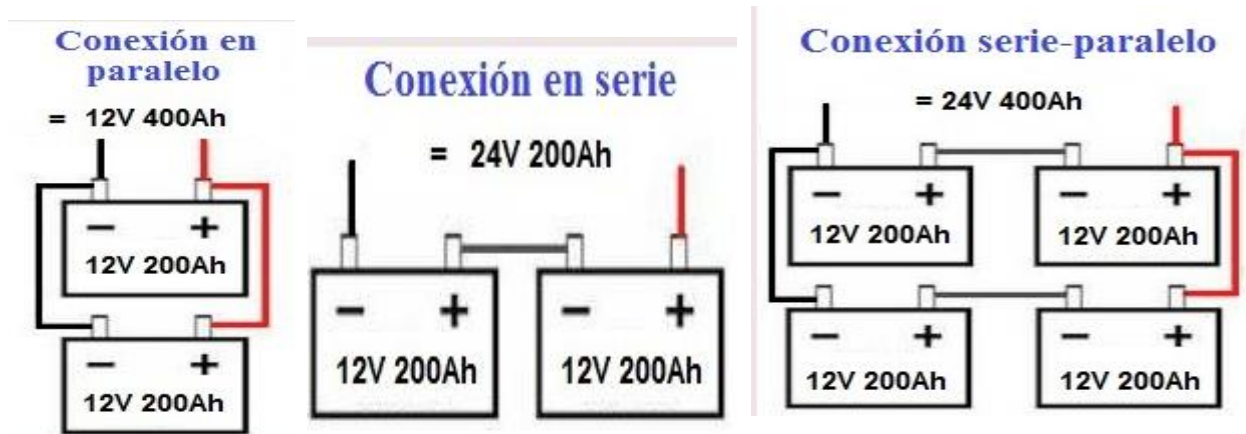
### 5.2.3.6 Conexión de baterías

La conexión en paralelo de baterías iguales permite obtener un aumento en la capacidad (Ah) del banco de baterías manteniendo el mismo voltaje nominal.

La conexión en serie de baterías permite obtener un aumento en la tensión nominal del banco de baterías manteniendo la misma capacidad (Ah).

La combinación de la conexión en paralelo con la conexión en serie permite obtener un aumento en la capacidad (Ah) y tensión nominal del banco de baterías.

**Imagen 15.** Conexiones de las baterías



Fuente: <http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>.

#### **5.2.3.7 Baterías en el mercado.**

En el anexo C. (Fabricantes y especificaciones de baterías en el mercado) que se encuentra en el CD de anexos, se visualiza las marcas, modelos y especificaciones de baterías de las siguientes empresas: Vision, Technosun, Varta, Victron Energy.

#### **5.2.4 Inversores o convertidores de continua a alterna.**

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua (DC) a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna (AC), con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.<sup>61</sup>

Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la

<sup>61</sup> Wikipedia-inversor electrónica, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web [http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_\(electr%C3%B3nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica)).

corriente continua (DC) generada por los paneles solares fotovoltaicos en las baterías en corriente alterna (AC) y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

#### 5.2.4.1 Tipos de Inversores.

Existen tres tipos de inversores; de los cuales cada uno es implementado dependiendo de la forma de la instalación fotovoltaicos.

**Tabla 10. Tipos de inversores**

<b>INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS</b>	<b>INVERSOR A UTILIZAR</b>
Sistemas fotovoltaicos aotonomos o aislados	INVERSORES DC A AC
Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica local con banco de baterías	INVERSORES CARGADORES
Sistemas Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica local	MICRO-INVERSORES

Fuente: Autor del proyecto

### 1. INVERSORES DC A AC

Son equipos electrónicos capaces de transformar la energía eléctrica almacenada en las baterías en corriente alterna (AC) necesaria para la alimentación directa de los usuarios; son equipos destinados a alimentar viviendas y comunidades, debido a que resulta más eficaz alimentar las cargas con corriente alterna que es la utilizada para la mayoría de las aplicaciones. Se clasifican en dos tipos: inversores monofásicos e inversores trifásicos.

## A. Inversores monofásicos:

Un inversor monofásico consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente de entrada y generar una onda rectangular. Esta onda rectangular alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer más a una onda sinusoidal y produciendo el voltaje de salida necesario. La forma de onda de salida del voltaje de un inversor ideal debe ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal sinusoidal sea más grande que las armónicas superiores.<sup>62</sup>

**Tabla 11. Clasificación de los inversores monofásicos**

<b>Inversores monofásicos con cancelación de voltaje</b>	Se varía la magnitud y frecuencia del voltaje de salida, sin tener en cuenta que el voltaje de entrada sea constante y que los interruptores no sean controlados en PWM (modulación de ancho de pulso).
<b>Inversores modulados en PWM o de onda modificada</b>	En la entrada de este inversor se encuentra un voltaje de corriente continua constante que proviene de un puente rectificador. La modulación de ancho de pulso PWM controla la magnitud y la frecuencia del voltaje de la salida.
<b>Inversores de salida cuadrada</b>	En este inversor se controla la magnitud de la entrada de corriente constante para que de esta manera se pueda tener el control sobre la magnitud de la salida en corriente alterna. La principal función de esta clase de inversor es la de controlar la frecuencia de la señal de salida

Fuente: Autor del proyecto.

---

<sup>62</sup> Inversores monofásicos, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://es.slideshare.net/hibarrap/inversor-monofasico>.

## B. Inversores trifásicos:

Los inversores trifásicos son utilizados para la alimentación de cargas trifásicas que requieran corriente alterna. Algunas de las aplicaciones de estos inversores son las siguientes:

- Fuentes de tensión alterna trifásica sin interrupciones
- Puesta en marcha de motores de corriente alterna trifásicos
- Conexión de fuentes que producen energía en continua con las cargas trifásicas (paneles fotovoltaicos).

**Tabla 12. Clasificación de los inversores trifásicos:**

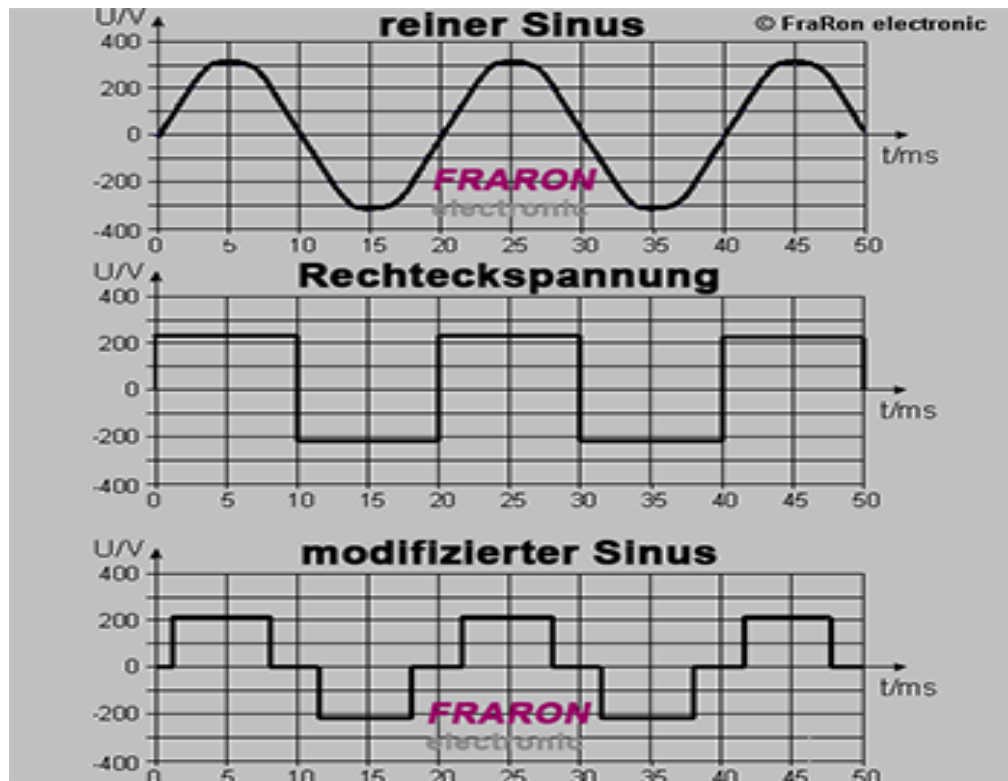
<b>Inversor trifásico implementado con tres inversores monofásicos</b>	Utiliza tres inversores monofásicos independientes, cada uno de ellos produce una tensión de salida que tiene su frecuencia fundamental desplazada 120 grados con respecto a las demás salidas. Este tipo de inversores trifásicos son preferibles en aquellas condiciones donde se necesite acceso a las tres fases de la carga por separado.
<b>Inversor trifásico PWM O de onda modificada</b>	En un inversor trifásico con modulación de ancho de pulso (PWM) el objetivo es modelar y controlar la tensión trifásica de salida en magnitud y frecuencia a partir de una tensión de entrada de corriente continua constante. Una única onda triangular se compara con tres tensiones de control sinusoidales desfasadas entre sí 120°, para conseguir a la salida un sistema de tensión trifásico equilibrado, empleando la conmutación PWM.
<b>Inversor trifásico de onda cuadrada</b>	Cuando el rango de modulación de la amplitud máxima adquiere valores elevados, el inversor trifásico PWM se convierte en uno de onda cuadrada. Aquí, cada interruptor se encuentra desfasados 180° grados de la frecuencia fundamental y nunca estarán cerrados ni abiertos simultáneamente los interruptores de una misma salida.

Fuente: <http://es.slideshare.net/hibarrap/inversor-monofasico>.

A la hora de buscar en el mercado inversores monofásicos o trifásicos, encontramos de dos clases: Los inversores de onda modificada y los inversores de onda seno pura.

Una onda modificada es lo suficientemente buena para alimentar una gran cantidad de aparatos, siempre que estos no lleven regulación electrónica. En todo caso, si el presupuesto lo permite, es recomendable comprar un inversor de onda seno pura, ya que hoy en día cada vez más aparatos de 110V o 220V tienen regulación electrónica.

**Imagen 16. Diferencias en las señales de salida en un inversor (DC a AC).**



Fuente: <http://jardin-solar.blogspot.com/2012/11/convertidores-de-corriente-que.html>.

Arriba esta la onda sinusoidal pura, en la mitad esta la onda cuadrada y abajo está la onda modificada (que es una onda cuadrada mejorada).

### 5.2.4.2 Clases de inversores DC a AC en el mercado

**Tabla 13. Ventajas y desventajas de las señales de salida en un inversor**

Clases de inversores	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>Los inversores de onda modificada:</b></p> <p>Utilizan la modulación de ancho de impulso (PWM). El ancho de la onda es modificada para acercarla lo más posible a una onda sinusoidal. La salida no es todavía una auténtica onda sinusoidal, pero está bastante próxima.</p>	<p>Sirven prácticamente para todo tipo de aparatos. Son adecuados para la iluminación ya sea para viviendas. El contenido de armónicos es menor que en la onda cuadrada. Son los que mejor relación calidad/precio ofrecen para la conexión de iluminación, televisión o variadores de frecuencia.</p>	<p>Para algunos aparatos de alta tecnología o cargas inductivas pueden no funcionar correctamente, ya que la onda se genera electrónicamente. No es recomendable para electrodomésticos que tengan en su interior regulación electrónica. En los televisores LCD puede generar interferencias en la pantalla. En los equipos de sonido finos puede generar interferencia.</p>
<p><b>Los inversores de onda sinusoidal pura</b></p> <p>Implementa una electrónica más elaborada el cual permite conseguir una onda sinusoidal pura.</p>	<p>Generan la misma onda que la que recibimos en el hogar. Se puede utilizar con todo tipo de aparatos respetando siempre la potencia que sea capaz de suministrar el modelo que se haya comprado. La incorporación de microprocesadores de última generación permite aumentar las prestaciones de los inversores con servicios de valor añadido como el control remoto, medición de energía consumida y la selección de batería.</p>	<p>Su costo es mayor que el de los inversores menos sofisticados.</p>

<b>Clases de Inversores</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<p data-bbox="342 317 639 390"><b>Los inversores de onda cuadrada:</b></p> <p data-bbox="298 457 683 1308">Los inversores funcionan haciendo pasar la corriente continua a través de un transformador, primero en una dirección y luego en otra. El dispositivo de conmutación que cambia la dirección de la corriente actúa con rapidez. Como consecuencia, la corriente que sale del transformador secundario va alternándose, en una frecuencia de 60 ciclos completos por segundo. La dirección del flujo de corriente a través de la cara primaria del transformador se cambia bruscamente, de manera que la forma de onda del secundario es cuadrada</p>	<p data-bbox="708 317 1094 667">Los inversores de onda cuadrada son los más baratos. Si se desea corriente alterna únicamente para alimentar un televisor, un ordenador o un aparato eléctrico pequeño, se puede implementar este tipo de inversor.</p>	<p data-bbox="1122 317 1471 575">Son los menos eficientes. Producen demasiados armónicos que generan interferencias (ruidos). No son aptos para motores de inducción</p>

Fuente: Autor del proyecto.

En el mercado se encuentran Inversores de todos los tipos y capacidades: 12V 24V y 48 Voltios a 110V/220V Monofásicos o también trifásicos 110V/220V/380V para sistemas aislados; con onda sinusoidal pura o modificada.

Los inversores trifásicos tienen las mismas ventajas y desventajas (mencionadas anteriormente en clases de inversores DC a AC en el mercado) al momento de usarlos con onda sinusoidal pura o modificada.

## **2. INVERSORES CARGADORES**

Los inversores cargadores están compuestos por un inversor sinusoidal de onda seno pura, un cargador de baterías con tecnología adaptable y un conmutador de transferencia de corriente alterna de alta velocidad, el cual permite trabajar en intercambio con una red de suministro eléctrico con niveles de tensión y frecuencia adecuados para el consumo. Esta red de suministro eléctrico puede ser proporcionada por un generador eléctrico a gasolina o la red eléctrica local. Estos inversores cargadores son los más costosos que hay en el mercado a lo que hace referencia a los inversores en los sistemas solares fotovoltaicos.<sup>63</sup>

## **3. MICRO-INVERSORES**

Los micro-inversores son equipos electrónicos capaces de transformar la energía eléctrica proveniente del generador fotovoltaico de corriente continua en alterna, con niveles de tensión y frecuencia adecuada para operar en paralelo con la red eléctrica local y ser utilizada por aparatos de consumo como electrodomésticos o equipos de instalaciones en general.

Los microinversores son unidades compactas fabricadas con una tecnología que convierten la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) de forma inmediata en un panel fotovoltaico. Los micro inversores, están basados en un micro inversor modular, el cual proporciona más energía de una forma totalmente confiable, simplificando enormemente el diseño, la instalación y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos.<sup>64</sup>

Los micros-inversores son los inversores más económicos que hay en el mercado a lo que hace referencia a los inversores en los sistemas fotovoltaicos.

---

<sup>63</sup> Ergea-Inversores cargadores, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].  
<http://www.ergea.com.co/index.php/ct-menu-item-21/ct-menu-item-23/ct-menu-item-29>.

<sup>64</sup> Enecsys- microinversores, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].  
<http://es.enecsys.com/products/micro-inverter-technology/>.

**Tabla 14. Ventajas y desventajas de las clases de Inversores DC a AC que hay en el mercado (Inversores DC a AC; Inversores cargadores; Micro-inversor)**

TIPOS DE INVERSORES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p><b>INVERSORES DC A AC</b></p>	<p>Hay gran variedad en el mercado y múltiples opciones (onda seno pura o modificada).</p> <p>Ideales para implementarlos en cargas trifásicas y monofásicas</p> <p>Son más económicos que los inversores cargadores</p>	<p>Una producción energética por debajo del nivel óptimo: reducen la energía que se obtiene de una matriz fotovoltaica, el panel fotovoltaico con el rendimiento más bajo debilita el rendimiento de todo el sistema fotovoltaico.</p> <p>No pueden proporcionar el seguimiento de puntos de máxima potencia (MPPT) para cada panel, impidiendo que se extraiga la máxima salida posible de la matriz fotovoltaica.</p> <p>Problemas de seguridad: el cableado procedente de los módulos solares de la matriz fotovoltaica que llega al inversor constituye un problema de seguridad.</p> <p>Problemas de durabilidad: estos inversores duran unos 10 años.</p> <p>Capacidad de monitorización limitada: estos sistemas monitorizan el rendimiento de la matriz fotovoltaica al completo, y no de cada panel fotovoltaico individual. Por lo tanto, resulta difícil determinar la ubicación precisa de los problemas de rendimiento.</p> <p>El diseño y la instalación de la matriz fotovoltaica y su cableado resultan complejos y caros.</p>

<b>TIPOS DE INVERSORES</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>INVERSORES CARGADORES</b>	<p>Los inversores cargadores fotovoltaicos ofrecen una independencia al pasar la corriente continua de 12V, 24V o 48V a alterna de 110V o 220V como un inversor tradicional de onda pura, pero además, cuando la tensión de las baterías baja hasta el mínimo, se activa la función cargador, que consiste en hacer entrar la red eléctrica local en caso de que la haya para que alimente las baterías y la vez suministre energía a la vivienda.</p>	<p>Son los más costosos en el mercado. Presenta las mismas desventajas que los inversores DC a AC con respecto a:            Capacidad de monitorización limitada;            Una producción energética por debajo del nivel óptimo: No pueden proporcionar el seguimiento de puntos de máxima potencia (MPPT) para cada panel fotovoltaico, impidiendo que se extraiga la máxima salida posible de la matriz fotovoltaica.</p>
<b>MICRO-INVERSORES</b>	<p>El micro inversor produce entre un 5% y un 10% más de energía a lo largo de la vida útil del sistema mediante la aplicación del seguimiento de puntos de máxima potencia (MPPT) a cada panel fotovoltaico con el objetivo de optimizar la producción energética. Como resultado, no hay una reducción en la salida del sistema cuando un panel fotovoltaico se ve reducida su salida a consecuencia de la sombra o la acumulación de suciedad en su superficie. Además, al realizarse la</p>	<p>Son complicados y costosos en la implementación en cargas trifásicas.             Solo son utilizados para sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica (sistemas grid tie)</p>

	<p>conversión de energía de corriente continua a corriente alterna en cada panel fotovoltaico, se eliminan los cables por donde circulan grandes cantidades de corriente, lo que hace al sistema solar más seguro.</p>	
--	--	--

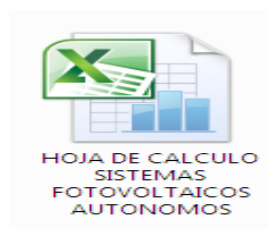
Fuente: Autor del proyecto.

### 5.2.4.3 Inversores en el Mercado.

En el anexo D. (Fabricantes y especificaciones de Inversores en el mercado) que se encuentran en el CD de anexos, se visualiza las marcas, modelos y especificaciones de Inversores de las siguientes empresas: Schneider, Tbs electronics, SMA, Outback, Advanced Energy, Kostal, Danfoss, Fronius, APS, Enphase Energy, Victron Energy.

## 5.3 ELABORAR HOJAS DE CÁLCULO APLICABLES A ESTAS SOLUCIONES COMO UN APORTE A LA COMUNIDAD.

### Imagen 17. Visualización de la hoja de Excel



Fuente: Autor del proyecto.

Se elaboró una hoja de cálculo, con buena presentación visual haciendo alusión a que es para el servicio de la empresa SIHSA, el cual permite a la empresa realizar cualquier diseño de un sistema fotovoltaico incluyendo su respectivo presupuesto.

Entiéndase al diseño como el cálculo del tamaño óptimo tanto del generador fotovoltaico como el de la batería o conjunto de baterías que forman el sistema y los otros elementos que también participan de la instalación como son el inversor y el regulador de carga. En la hoja de cálculo de Excel también se ilustran las ecuaciones que se tuvieron en cuenta para el diseño de los sistemas fotovoltaicos, las cuales se aplicaron para crear la hoja de cálculo de Excel.

**5.3.1 EJEMPLO1. Diseñar y presupuestar un sistema fotovoltaico autónomo con las siguientes características aplicando la hoja de cálculo de Excel:**

Una vivienda que consume lo siguiente: una lavadora de 330 W que se enciende durante una hora al día, un televisor de 150 W que se enciende durante 5 horas al día, dos computador de 100 W cada uno que se enciende durante 3 horas al día cada uno, una nevera de 1200W que se enciende durante 12 horas al día, 5 bombillos de 100 W cada uno que se enciende durante 6 horas al día cada uno y un equipo de sonido de 120 W que se enciende durante 4 horas al día.

Eficiencia de la Batería:.....95 %  
 Eficiencia del inversor:.....90 %  
 Profundidad de descarga de la batería: .....60 %  
 N° de días de autonomía: ..... 4  
 Tensión nominal del sistema.....24 V  
 Factor de perdidas..... 0.8  
 Radiación solar del lugar.....4.5 KWh / m<sup>2</sup>

En la primera parte de la hoja de cálculo se ingresaron los siguientes valores:

- Descripción del equipo; la potencia de cada equipo (W), la cantidad de equipos que se utilizaran en el sistema y la horas de funcionamiento por día de cada equipo.

**Imagen 18. Cuadro de descarga del ejemplo 1**

Descripción del equipo	Potencia (w)	Numero de equipos	Horas/día funcion	Total Potencia (w)	E = Wh/Día
LAVADORA	330	1	1	330	330
TELEVISOR	150	1	5	150	750
COMPUTADORES	100	2	3	200	600
NEVERA	1200	1	12	1200	14400
BOMBILLOS	100	5	6	500	3000
EQUIPO DE SONIDO	120	1	4	120	480

Fuente: Autor del proyecto.

- Los días de autonomía, la tensión nominal del sistema en corriente continua (DC) el cual es impuesta por la voltaje nominal del banco de baterías y el voltaje nominal de entrada del inversor, estos dos voltajes nominales deber ser iguales; el porcentaje de descarga de la batería que se implementará, la radiación solar del lugar donde se realizará la instalación, la eficiencia del inversor que se implementará, la eficiencia de la batería que se implementará y un factor global de pérdidas de los paneles fotovoltaicos.

**Imagen 19. Datos usados para el diseño del ejemplo 1**

<b>Datos usados para el calculo:</b>	
<i>Estos datos se puede modificar</i>	
⇒ Tension Nominal de la batería:	<b>24</b> VOLTIOS (para pequeños sistemas 12V o 24V, para grandes 48V)
⇒ Días de autonomía:	<b>4</b> (Sin cargar la batería) si no hay Sol o por otra razon
⇒ profundidad de descarga en la baterías:	<b>60</b> %
⇒ Radiación solar del lugar:	<b>4,5</b> kWh/m2 por día
⇒ Eficiencia del Inversor:	<b>90</b> %
⇒ Eficiencia de la batería:	<b>95</b> %
⇒ Factor Global de Pérdidas:	<b>0,8</b> (suele variar entre 0.65 y 0.9)

Fuente: Autor del proyecto.

La hoja de cálculo me determino los siguientes valores, teniendo en cuenta los valores ingresados anteriormente:

- Energía total del sistema (Wh), Potencia total del sistema (W, potencia a cubrir), la potencia de los paneles que requiere el sistema (W), la capacidad del banco de baterías que requiere el sistema (Ah), la corriente mínima que debe tener el regulador de carga en el sistema (A) y la potencia que debe tener el inversor para el sistema (W).

**Imagen 20.** Requerimientos para el sistema fotovoltaico del ejemplo 1 aplicado por la hoja de de Excel.

<i>Potencia total (Watts a Cubrir)</i>	2500	<i>Energía (Wh)</i>	19560
<b>Se requiere:</b>			
⇒ Paneles Solares con una potencia de:	6354,775828	Wattios (W) o mas	
⇒ Batería(s) con una capacidad de:	6354,775828	Ah	a 24 Voltios (V)
⇒ Un Regulador de Carga con mínimo:	171,0526316	Amperios (A) o mas	
⇒ Un Inversor de:	2500	Wattios (W) o mas	

Fuente: Autor del proyecto.

Las fórmulas que se aplicaron fueron las siguientes:

Potencia total (Watts a cubrir) = Suma de las cargas (Watts) que está compuesto el sistema = (330 W + 150 W + 200 W + 1200 W + 500 W + 120 W) = **2500 W**

Energía (Wh) = energía que el sistema requiere en un día = Suma de las energías (Wh/día) del cuadro de descarga del ejemplo 1 = (330 Wh/día + 750 Wh/día + 600 Wh/día + 14400 Wh/día + 3000 Wh/día + 480 Wh/día) = **19560 Wh/día**

$$\text{Energía real} = \frac{\text{Energía (Wh/día)}}{(\text{Eficiencia del inversor}) \cdot (\text{Eficiencia de las baterías})}$$

$$\text{Energía real} = \frac{19560 \text{ Wh/día}}{((90/100) \cdot (95/100))} = \mathbf{22877,193 \text{ Wh/día}}$$

$$\text{Potencia requerida} = \frac{\text{Energía real (Wh)}}{\text{en los paneles solares} \left( \frac{\text{Radiación solar del lugar}}{1000 \text{ W / m}^2} \right) \cdot \left( \text{factor global de perdidas} \right)}$$

$$\text{Potencia requerida} = \frac{22877.193 \text{ (Wh)}}{\text{en los paneles solares} \left( \frac{4500 \text{ (Wh / m}^2)}{1000 \text{ (W / m}^2)} \right) \cdot (0.8)}$$

**Potencia requerida en los paneles solares = 6354,77583 Watts**

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\left( \frac{(\text{energía real (Wh)}) \cdot (\text{Días de autonomía})}{\text{Porcentaje de descarga en las baterías}} \right)}{\text{Tensión nominal del sistema (Voltios)}}$$

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\left( \frac{(22877.193 \text{ (Wh)}) \cdot (4)}{(60/100)} \right)}{24 \text{ (Voltios)}} = 6354,77583 \text{ Ah a 24 V}$$

$$\text{Corriente mínima del regulador de carga} = \frac{\text{Potencia requerida en los paneles solares (W)}}{\text{Tensión nominal del sistema (V)}}$$

$$\text{Corriente mínima del regulador de carga (A)} = (6354,77583 \text{ W} / 24 \text{ V}) = 264.782 \text{ A}$$

$$\text{Capacidad del Inversor (W)} = \text{Potencia total (Watts a cubrir)} = \mathbf{2500 \text{ W}}$$

En la parte inferior izquierda de la hoja de cálculo de Excel se ingresaron los siguientes valores:

- La Potencia de salida (W), la eficiencia (%), la Tension en potencia maxima (V) y la Intensidad en potencia maxima (A) del pánel fotovoltaico que se implementara en la instalacion del sistema.

Para este ejemplo se utilizo el panel fotovoltaico marca Yingli silicio Policristalino, el cual tiene las siguientes caracteristicas:

- Potencia de salida del panel fotovoltaico.....250 W
- Eficiencia del panel fotovoltaico.....15.3 %
- Tensión en potencia máxima del panel fotovoltaico.....30.4 V
- Intensidad en potencia máxima del panel fotovoltaico..... 8.24 A

El regulador de carga me transforma la tensión nominal del panel fotovoltaico (30.4 V) en 24 Voltios en DC para ser inyectados a la batería que también es de 24 Voltios. Para transformar el voltaje nominal de 12V a 24V en corriente continua de la batería, se deben acoplar en serie dos baterías de 12V con el fin de conseguir los 24 V en corriente continua (DC) para alimentar el inversor en el sistema. El voltaje de entrada del inversor debe ser igual al voltaje nominal de la batería, debido a que el voltaje nominal de la batería que corresponde a corriente continua se transformará en voltaje de corriente alterna dentro del inversor.

**Imagen 21.** Características del panel fotovoltaico del ejemplo 1

<b>PANELES SOLARES:</b>	
<i>Características de un panel marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas</i>	
<b>Potencia de salida del panel (W):</b>	<b>250</b>
<b>Eficiencia del modulo (%):</b>	<b>15,3</b>
<b>Tension en potencia maxima (V):</b>	<b>30,4</b>
<b>Intensidad en potencia maxima (A):</b>	<b>8,24</b>

Fuente: Autor del proyecto.

- La Capacidad (Ah) y el voltaje (V) de la batería que se implementara en la instalacion del sistema. Para este ejemplo se utilizo la bateria AGM 12V/255Ah.

**Imagen 22.** Características de la batería del ejemplo 1

<b>BATERIA:</b>	
<i>Características de la batería a usar:</i>	
<b>Capacidad de la Bateria (Ah):</b>	<b>255</b>
<b>Voltaje de la batería (V):</b>	<b>12</b>

Fuente: Autor del proyecto.

- La Intensidad o corriente (A) del regulador de carga que se implementara en la instalacion del sistema. Para este ejemplo se utilizo el regulador de carga Outback MPPT 80 A (amperios).

**Imagen 23.** Características del regulador de carga del ejemplo 1



Fuente: Autor del proyecto

La hoja de cálculo me determino los siguientes valores, teniendo en cuenta los valores ingresados anteriormente: la cantidad de paneles solares, la cantidad de baterías, la cantidad de reguladores de carga y la capacidad (W) del inversor que se necesitara para cubrir la demanda energetica del sistema con su presupuesto. Esto se realiza para los tres tipos de conexiones que se pueden implementar en sistemas fotovoltaicos que son los siguientes:

- **Sistema fotovoltaico autónomo (aislado):** Paneles solares + regulador de carga + Baterías (AGM) + Inversor (DC a AC).
- **B. Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica con banco de baterías:** Paneles solares + baterías (AGM) + regulador de carga + Inversor cargador (Multiplus Victron).
- **C. Sistemas fotovoltaicos conectado a la red eléctrica (grid tie):** Paneles solares + micro inversores (Enphase M215).

Para este ejemplo, el diseño con su presupuesto para el sistema fotovoltaico autónomo determinado por la hoja de Excel fue el siguiente:

**Imagen 24.** Diseño y presupuesto del ejemplo 1 por la hoja de Excel

<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTONOMO (OFF GRID)</b>			
<i>El equipo está compuesto por los siguientes equipos:</i>			
<b>26</b>	Panel solar de	<b>250</b> W marca Yingli silicio Policristalino	
			<b>Precio Unitario</b>
			<b>TOTAL</b>
			<b>654.741</b>
			<b>17.023.266</b>
<b>3</b>	Controlador Outback MPPT	<b>80</b> Amperios	
			<b>878.966</b>
			<b>2.636.898</b>
<b>50</b>	Batería AGM	<b>12</b> Voltios / <b>255</b> Ah Marca Mtek	
			<b>1.079.834</b>
			<b>53.991.700</b>
<b>1</b>	Inversor DC-AC de	<b>2500</b> W o mas <b>24</b> Voltios (V)	
			<b>1.900.000</b>
			<b>1.900.000</b>
			<b>SUBTOTAL</b>
			<b>75.551.864</b>
			<b>IVA(16%)</b>
			<b>12.088.298</b>
			<b>TOTAL</b>
			<b>\$ 87.640.162</b>

Fuente: Autor del proyecto.

Nota: El precio Unitario de los equipos se pueden modificar, con el fin de buscar la mayor rentabilidad para el cliente, buscando nuevos proveedores con precios de equipos que se ajusten a las necesidades de la empresa SIHSA.

Las fórmulas que se aplicaron fueron las siguientes:

$$\# \text{ Paneles} = \frac{\text{Potencia requerida en los paneles solares}}{\text{Potencia del panel a utilizar en la instalación}}$$

$$\# \text{ Paneles} = (6354,77583 \text{ W}) / (250 \text{ W}) = 25.42 = \mathbf{26 \text{ p\u00e1neles solar de 250 W}} \\ \mathbf{\text{marca Yingli de silicio policristalino}}$$

Corriente máxima  
Del generador  
Fotovoltaico

$$= \left( \frac{(\text{Potencia del panel solar}) * (\text{Factor global de perdidas})}{\text{Tensi\u00f3n del panel solar en potencia m\u00e1xima}} \right) * (\text{Cantidad de de paneles})$$

$$\text{Corriente máxima del generador Fotovoltaico} = \left( \frac{(250 \text{ W} \cdot 0.8)}{30,4 \text{ V}} \right) \cdot (26) = 171.052632 \text{ A}$$

$$\# \text{ Reguladores de carga} = \frac{\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico}}{\text{Corriente del regulador de carga a utilizar en la instalación}}$$

$$\# \text{ Reguladores de carga} = (171,052632 \text{ A}) / (80 \text{ A}) = 2.138 = \mathbf{3 \text{ Reguladores de carga Outback MPPT de } 80 \text{ A}}$$

Capacidad del Inversor (W) = Potencia total (Watts a cubrir) = 2500 W

Por lo tanto se requiere **un inversor DC – AC de 2500 W / 24V**

$$\# \text{ Baterías} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Capacidad de la batería a utilizar en la instalación}}$$

$$\# \text{ Baterías} = (6354,77583 \text{ Ah}) / (255 \text{ Ah}) = 24.92 = 25 \text{ baterías a } 24\text{V}/255\text{Ah}$$

Para diseñar la batería, se requiere 50 baterías de 12V/255Ah (Para hacer una batería a 24V, hay que acoplar en serie dos baterías de 12 V) por lo tanto:

**# Baterías = 50 baterías a 12V/255Ah**

Nota: Si se implementa en la instalación solo baterías de 12V en DC

- Si el sistema esta alimentado a 24V; el número de baterías se debe multiplicar por dos; porque para hacer una batería de 24V se deben acoplar en serie dos baterías de 12V, con el fin de conseguir los 24V.
- Si el sistema esta alimentado a 48V; el número de baterías se debe multiplicar por cuatro; porque para hacer una batería de 48V se deben acoplar en serie cuatro baterías de 12V, con el fin de conseguir los 48V.
- Para una alimentación de 12V; el número de baterías corresponde al calculado en la fórmula del # de baterías.

La hoja de Excel se encuentra en el anexo E (Hoja de cálculo de sistemas fotovoltaicos autónomo) que se encuentra en el CD de anexos.

Para mayor entendimiento para el uso de la hoja de cálculo, recurrir al manual de diseño para la implementación de la energía fotovoltaica que se encuentra en el anexo K (Manual de diseño para la implementación de la energía solar o fotovoltaica) que se encuentra en el CD de anexos; en este manual explica detalladamente el uso de la hoja de cálculo de Excel, debido a que la hoja de cálculo es la herramienta que se desarrolló para SIHSA para diseñar los sistemas fotovoltaicos.

#### **5.4 APLICAR SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS EN VIVIENDAS SEGÚN SU CONSUMO.**

Se diseñaron los siguientes modelos según el consumo:

- Energía diaria de 0 Wh/día a 846 Wh/día.
- Energía diaria de 847 Wh/día a 1615 Wh/día
- Energía diaria de 1616 Wh/día a 2385 Wh/día
- Energía diaria de 2386 Wh/día a 3154 Wh/día

- Energía diaria de 3155 Wh/día a 3924 Wh/día
- Energía diaria de 3925 Wh/día a 4693 Wh/día
- Energía diaria de 4694 Wh/día a 5463 Wh/día
- Energía diaria de 5464 Wh/día a 6232 Wh/día
- Energía diaria de 6233 Wh/día a 7002 Wh/día
- Energía diaria de 7003 Wh/día a 7771 Wh/día
- Energía diaria de 7772 Wh/día a 8541 Wh/día
- Energía diaria de 8542 Wh/día a 9310 Wh/día
- Energía diaria de 9311 Wh/día a 10080 Wh/día
- Energía diaria de 10081 Wh/día a 10849 Wh/día
- Energía diaria de 10850 Wh/día a 11619 Wh/día
- Energía diaria de 11620 Wh/día a 12388 Wh/día

Cada modelo representa la energía diaria que puede suministrar un panel fotovoltaico de marca Yingli silicio Policristalino de 250 W, es decir, en el primer modelo la energía diaria de 846 Wh/día equivale a la energía que puede entregar un panel fotovoltaico, en el segundo modelo la energía diaria de 1615 Wh/día equivale a la energía que puede entregar dos paneles fotovoltaicos; y así sucesivamente. Se escogió de esta manera los modelos teniendo en cuenta la energía diaria (Wh/día), debido a que es más práctico en el momento de entregar soluciones fotovoltaicas en viviendas según el consumo.

Este dimensionamiento se realizó para sistemas autónomos, como para sistemas conectados a la red eléctrica local y para los sistemas conectados a la red eléctrica local con banco de baterías. Estos sistemas representan las tres formas de conexión para los sistemas fotovoltaicos.

**A. Sistemas fotovoltaicos aotonomos u off grid** (Paneles solares + baterías + inversor + regulador de carga): Estas instalaciones se emplean en aquellos

lugares en los que no se tienen acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red eléctrica y el punto de consumo o donde no es posible económicamente una interconexión.

**B. Sistemas Fotovoltaicos alimentados a la red eléctrica** (Paneles solares + Micro inversor Enphase): Las instalaciones solares fotovoltaicas de conexión en paralelo a la red tienen la particularidad de trabajar en intercambio con la red eléctrica local. Es decir, durante las horas de luz solar el usuario consume de forma instantánea la energía solar producida por sus paneles fotovoltaicos, mientras que cuando no hay luz solar o ésta no es suficiente, o si el usuario requiere más energía eléctrica de la que la planta fotovoltaica está en grado de proveer, será la red eléctrica la que garantizará el abastecimiento de la energía eléctrica necesaria.

**C. Sistemas fotovoltaicos alimentados a la red eléctrica con banco de baterías** (Paneles solares + Baterías + inversor cargador (Multiplus) + regulador de carga): Estos sistemas solares híbridos de inyección directa a la red eléctrica con respaldo de baterías entregan energía eficiente a la vivienda, ahorrando el consumo de energía del proveedor de la red eléctrica y manteniendo un respaldo de energía acumulada en sus baterías para uso en caso de una falla en el suministro eléctrico local.

Para cada modelo se calculó la cantidad de paneles solares, la cantidad de baterías, la cantidad de reguladores de carga como a su vez la capacidad del inversor necesario para satisfacer el consumo especificado en los modelos. Para la elaboración del diseño de cada modelo se aplicaron las ecuaciones expuestas anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe. Cada modelo está diseñado para una alimentación en las baterías de 12 Voltios, 24 Voltios y 48 Voltios en corriente continua (DC).

Solo se elaboraron presupuestos para los modelos con alimentación de 24 Voltios en las baterías para los sistemas autónomos y los sistemas conectados a la red eléctrica con banco de baterías, debido a que son los sistemas que emplea la empresa SIHSA para sus clientes y proyectos. Como un valor agregado a la práctica empresarial también se elaboró el presupuesto y el diseño para los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica local.

En cada modelo diseñado, se tiene una tabla donde se ilustra lo que requiere el sistema para su implementación; estos valores son los siguientes:

- Potencia de los paneles solares.
- Capacidad de la batería.
- Corriente mínima del regulador o controlador.
- Potencia del inversor.

Los valores se ilustran con el fin, de que si la empresa quisiera manejar otros equipos diferentes a los expuesto en el diseño, puedan determinar con facilidad que cantidad de equipos, ya sean, páneles solares, reguladores de carga, baterías o inversor, necesitaran para llevar acabo la instalación fotovoltaica.

El dimensionamiento de los modelos según el consumo y las necesidades del cliente es una herramienta de fácil acceso para la empresa para determinar el diseño de cualquier sistema fotovoltaico que deseen realizar, debido a que cubre un dimensionamiento que va de 1 Wh/día hasta 12388 Wh/día.

A se vez se convertirá en una herramienta para la empresa en el momento de ilustrar a sus clientes los servicios o las formas de conexión que ofrece SIHSA LTDA para la implementación en la energía fotovoltaica y a su vez buscar la mejor opción para sus clientes basándose en la inversión que estén dispuestos a realizar.

La organización de los diseños se hizo de la siguiente forma:

- Sistemas fotovoltaicos autónomos alimentados a 24 Voltios: Se encuentra en el anexo F (Tabla fotovoltaica a 24 voltios sistemas autónomos) del CD de anexos.
- Sistemas fotovoltaicos autónomos alimentados a 12 Voltios y 48 Voltios: Se encuentra en el anexo G (Tabla fotovoltaica sistemas autónomos 12V y 48V) del CD de anexos.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red con banco de baterías alimentados a 24 V: Se encuentra en el anexo H (Tabla fotovoltaica a 24 voltios sistemas grid tie con banco de baterías) del CD de anexos.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red con banco de baterías alimentados a 12 Voltios y 48 Voltios: Se encuentra en el anexo I (Tabla fotovoltaica sistemas grid tie con banco de baterías de 12V y 48V) del CD de anexos.
- Sistemas fotovoltaicos conectados a la red: Se encuentra en el anexo J (Tabla fotovoltaica sistemas grid tie) del CD de anexos.

Las características que se utilizaron para todos los diseños de los modelos según el consumo para los sistemas autónomos, como para sistemas conectados a la red eléctrica local y para los sistemas conectados a la red eléctrica local con banco de baterías fueron los siguientes:

2 Días de autonomía.

60% de porcentaje de descarga en el banco de baterías.

4.5kWh/m<sup>2</sup> es el promedio anual de la radiación solar en el territorio Colombiano.

Eficiencia de la Batería:.....95 %

Eficiencia del inversor:.....90 %

Factor de perdidas..... 0.8

Se determinó que la autonomía fuera de dos días, debido a que Colombia no presenta estaciones climáticas, lo cual conlleva a disponer de una radiación solar alta durante todos los días del año ( $4.5\text{kWh/m}^2$ ), por tal motivo dos días de autonomía representa la mejor opción para los sistemas fotovoltaicos implementados en Colombia y a su vez no se sobredimensiona la capacidad de la batería, el cual representa el mayor costo de una instalación fotovoltaica.

El factor de pérdida lo estableció el autor del proyecto y está asociado a las pérdidas que puede haber en los paneles fotovoltaicos, debido a que hay muchos factores que afectan su rendimiento, principalmente el clima. Este valor puede variar entre 0.65 y 0.9.

El porcentaje de descarga como la eficiencia de la batería corresponde a las características técnicas de la batería AGM 12V DC/255 Ah Marca Mtek. Se escogió la batería AGM 12V DC/255 Ah Marca Mtek, porque es la batería de 12V en corriente continua (DC) con mayor capacidad de corriente que disponemos en el mercado y la más utilizada para los diseños fotovoltaicos en Colombia.

#### Batería de 24V DC (Corriente Directa)

En el mercado no existe en el momento baterías de 24V DC de gran capacidad de corriente, por tal motivo para diseñar una batería de 24V DC para los sistemas fotovoltaicos, se debe conectar dos baterías de 12V DC en serie, con el fin de generar 24V en corriente continua (DC) para alimentar el inversor en el sistema, La batería de 12V DC que se implementan es la baterías AGM 12V/255 Ah Marca Mtek, debido a que es la batería de 12V DC con más capacidad de corriente que hay en el mercado y la más utilizada para los diseños fotovoltaicos. La capacidad (Ah) de una batería de 24V DC va ser igual a la capacidad (Ah) de la batería de 12V DC, en este ejemplo hablamos de una capacidad de 255 Ah (amperios hora). Por lo tanto hablamos de baterías de 24V/255 Ah.

**Imagen 25.** Conexión de dos baterías de 12V DC en serie para generar una batería de 24V DC



Fuente: Autor del proyecto.

NOTA: Se necesitan 2 baterías de 12V DC/255Ah para construir una batería de 24V DC/255Ah.

Se escogió una eficiencia del inversor del 90% debido a que la mayoría de los inversores, tienen una eficiencia que va del 90% al 95%. Por tal motivo para los diseños se eligió el rango más bajo, que es en este caso del 90%.

A la hora de dimensionar el inversor se debe tener en cuenta la potencia que demanda la carga AC (corriente alterna), de forma que se elegirá un inversor cuya potencia nominal sea algo superior (10%) a la máxima de la carga. El voltaje de entrada del inversor debe ser igual al voltaje nominal de la batería, debido a que el voltaje nominal de la batería que corresponde a corriente continua se transformará en voltaje de corriente alterna dentro del inversor

Los Inversores utilizados fueron los siguientes:

- **Inversor DC-AC de 2000W/24V marca Victron:** se escogió el fabricante Victron debido a que son los mejores fabricantes de inversores en el mundo. Este inversor se implementó para los sistemas fotovoltaicos autónomos u off grid alimentados a 24 voltios en DC (corriente continua).

- **B. Inversor/Cargador 2000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON MULTIPLUS:** el MultiPlus reúne: un inversor sinusoidal de onda pura, un cargador de baterías con tecnología adaptable y un conmutador de transferencia de corriente alterna de alta velocidad, el cual permite trabajar en intercambio con una red de suministro eléctrico con niveles de tensión y frecuencia adecuados para el consumo. Este inversor se implementó para los sistemas fotovoltaicos conectados a la red con banco de baterías alimentados a 24 voltios en DC (corriente continua).
- **MICRO-INVERSORES ENPHASE M215:** Son los microinversores más utilizados para instalaciones conectados a la red eléctrica. El sistema Enphase Energy, está basado en un micro inversor modular y proporciona la energía de una forma confiable, simplificando el diseño, la instalación y el mantenimiento de los sistemas solares fotovoltaicos. Este inversor se implementó para los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica.

Se eligió el panel marca Yingli silicio Policristalino de 250 W (vatios), porque es el módulo más versátil y es lo suficientemente compacto para instalarse en tejados residenciales y comerciales, también es lo suficientemente económico para satisfacer las necesidades de proyectos de generación a gran escala. Este panel fotovoltaico está certificada por UL y TÜV, empresas de prestigio mundial y respetadas en el sector de la energía solar.

Las características del panel fotovoltaico de silicio policristalino marca Yingli de 250 W (vatios) son las siguientes:

Potencia de salida del panel fotovoltaico.....	250 W (vatios)
Eficiencia del panel fotovoltaico.....	15.3 %
Tensión en potencia máxima del panel fotovoltaico.....	30.4 V (voltios)
Intensidad en potencia máxima del panel fotovoltaico.....	8.24 A (amperios)

Para elegir el regulador de carga, lo más adecuado es elegir uno que este muy por encima (10%) de la capacidad que requiere el sistema. La intensidad (amperios) que maneja un regulador de carga se da en las especificaciones del fabricante. El regulador de carga transforma la tensión nominal del panel fotovoltaico (30.4 V) en 24 Voltios en DC para ser inyectados a la batería que también es de 24 Voltios.

Los reguladores de carga utilizados en estos diseños fueron los siguientes: El regulador de carga Victron MPPT de 50 amperios y el regulador de carga Outback MPPT de 80 amperios.

Para los diseños de los modelos se eligieron estos dos reguladores de carga porque son los de mayor capacidad de corriente que se encuentran en el mercado, a su vez manejan la mejor tecnología para reguladores de carga que es la MPPT (seguimiento del punto máximo de potencia), la que permite que los paneles fotovoltaicos se comporten con la mayor eficiencia posible y a su vez son fabricados por empresas (Victron y Outback) reconocidas mundialmente en equipos para la implementación en sistemas fotovoltaicos.

#### **5.4.1 EJEMPLO 2. Diseñar y presupuestar un sistema fotovoltaico autónomo y conectado a la red eléctrica con las siguientes características:**

Una Vivienda que consume lo siguiente: una plancha de 1000 W que se enciende durante una hora al día, un televisor de 51 W que se enciende durante 5 horas al día, un computador de 40 W que se enciende durante 3 horas al día, una nevera de 400W que se enciende durante 20 horas al día, 3 bombillos de 100 W cada uno que se enciende durante 8 horas al día cada uno, un equipo de sonido de 120 W que se enciende durante 2 horas al día y una licuadora de 350 W que se enciende durante una hora al día. Para el sistema fotovoltaico autónomo implementar baterías con una tensión nominal de 24 Voltios en corriente continua (DC).

Lo primero que se debe hacer para elaborar el diseño es determinar la potencia individual de todos los aparatos de la instalación fotovoltaica, junto con el tiempo de uso de cada uno de ellos, con el fin de calcular la energía (Wh/día) que requiere el sistema y la potencia total (el cual me determina la potencia a la cual debe funcionar el inversor). Para este ejemplo se elaboró la siguiente tabla.

**Tabla 15. Cuadro de descarga del ejemplo 2**

Descripción del equipo	Potencia (W)	Número de equipos	Horas/día función	Consumo (Wh/día)
PLANCHA	1000	1	1	1000
TELEVISOR	51	1	5	255
COMPUTADOR	40	1	3	120
NEVERA	400	1	20	8000
BOMBILLOS	300	3	8	2400
EQUIPO DE SONIDO	120	1	2	240
LICUADORA	350	1	1	350
<b>Potencia Total (W)</b>	<b>2261</b>	<b>Energía (Wh/día)</b>		<b>12365</b>

Fuente: Autor del proyecto

Ya teniendo el dato de la energía (Wh/día) que requiere el sistema, nos disponemos a determinar la energía real requerida por el sistema, para esto aplicamos la ecuación 3; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$ET = EDC / hBAT + EAC / (hBAT \cdot hINV) \quad (3)$$

Dónde:

ET: Energía real requerida por el sistema (Wh / día)

EDC = Energía consumida en DC (Wh) = 0 Wh / día

EAC = Energía consumida en AC (Wh) = 12365 Wh / día

hBAT: rendimiento de la batería = 95% = 0.95

hINV: rendimiento del inversor = 90% = 0.90

Por lo tanto tenemos que:

$$ET = (0 / 0.95) + (12365 / (0.95 * 0.90)) = 14462 \text{ Wh / día}$$

Ya teniendo la energía real requerida (ET), ahora nos disponemos a determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos que requiere el sistema, para esto aplicamos las ecuaciones 4 y 5; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\text{HEP (h/día)} = \text{Gmb} / 1000 \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (5)$$

$$\text{NT} = \text{ET} / (\text{Pp} * \text{HEP} * \text{PG}) \quad (4)$$

Dónde:

NT: número total de paneles solares

**ET: Energía real requerida por el sistema = 14462 Wh / día**

Pp: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

HEP: Es el número teórico de las horas equivalentes de potencia. Las HEP se calculan dividiendo el índice de radiación solar del sitio por una constante de fabricación de los paneles y es de 1000 Wh / m<sup>2</sup>

Gmb: radiación promedio anual en kilovatios (KWh/ m<sup>2</sup>) del lugar donde se instalara los paneles solares = 4.5 KWh / m<sup>2</sup>

PG: factor de perdidas = 0.8

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{HEP: } 4500 / 1000 = 4.5 \text{ (h/día)}$$

$$\text{NT} = 14462 / (250 * 4,5 * 0.8) = 16.06 = 16 \text{ Paneles fotovoltaicos de marca Yingli de silicio policristalino de 250 W}$$

Para determinar la capacidad de la batería que debe tener el sistema, aplicamos la ecuación 6; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\mathbf{Cn \text{ (Ah)} = (ET * N) / (Pd * Vbat)} \quad \mathbf{(6)}$$

Dónde:

Cn: Capacidad nominal de la batería

ET: Energía real requerida por el sistema = 14462 Wh / día

N = Días de autonomía = 2

Pd = porcentaje de descarga de la batería = 60% = 0.6

Vbat: Voltaje nominal de la batería = 24 V

La capacidad nominal de la batería será:

$$\mathbf{Cn \text{ (Ah)} = (14462 * 2) / (0.6 * 24) = 2009 \text{ Ah}}$$

Ahora nos disponemos a calcular la cantidad de baterías que se necesitaran para satisfacer la capacidad total requerida de la batería, para esto aplicamos la ecuación 7; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\mathbf{\# \text{ Baterías} = Cn \text{ (Ah)} / CnB} \quad \mathbf{(7)}$$

Dónde:

Cn: Capacidad total requerida de la batería = 2009 Ah

CnB: capacidad nominal de cada batería = 255 Ah

El número de baterías será:

$$\mathbf{\# \text{ Baterías} = 2009 \text{ Ah} / 255 \text{ Ah} = 7.87 = 8 \text{ baterías a } 24\text{V}/255\text{Ah}}$$

Para diseñar la batería, se requiere 16 baterías de 12 V/255Ah (Para hacer una batería de 24V, hay que acoplar dos baterías de 12 V en serie) por lo tanto:

$$\mathbf{\# \text{ Baterías} = 16 \text{ baterías a } 12\text{V}/255\text{Ah.}}$$

Para determinar la capacidad del regulador de carga que requiere el sistema, lo primero que debemos hacer es determinar la máxima corriente que va circular por la instalación, por lo tanto se tendrá que determinar la corriente que produce el generador fotovoltaico (paneles fotovoltaicos) y para esto aplicaremos las ecuaciones 8, 9 y 10; expuestas anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$IR: Pp * hm / Vm \quad (8)$$

Siendo:

IR: Corriente producida por un panel fotovoltaico (A)

Pp: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

hm: rendimiento del panel fotovoltaico: 0.8

Tensión nominal del panel fotovoltaico: 30,4 V

La corriente producida por un panel fotovoltaico es:

IR:  $(250 * 0.8) / (30,4) = 6,58$  A (amperios)

La corriente que producen todos los paneles fotovoltaicos es:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = (IR) * (NT) \quad (9)$$

Dónde:

IR: Corriente producida por un panel fotovoltaico = 6.58 A

NT= número total de paneles solares = 16 paneles fotovoltaicos

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = 6.58 \text{ A} * 16 = 105,28 \text{ A}$$

El regulador de carga debe soportar una corriente superior a 105,28 A (amperios).

$$\# \text{ De Reguladores} = \frac{\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico}}{\text{Corriente que soporta el regulador de carga}} \quad (10)$$

**# De Reguladores = (105,28A) / (80A) = 1,316 = 2 reguladores de carga MPPT 80A**

El inversor a implementar debe soportar una potencia (W) superior a la carga total del Sistema, en este caso, debe ser superior a 2261 W.

El diseño y presupuesto de un sistema autónomo (aislado) para este ejemplo es el siguiente:

El equipo está compuesto por los siguientes equipos:

- 16 Paneles Solares de 250 W cada uno
- 2 Controlador MPPT 80 A
- 20 Batería AGM Sellada 12V/205Ah o 36 baterías de GEL de 2V/600Ah o 16 baterías AGM de 12V/255Ah
- 1 Inversor DC-AC de 3000W a 24V
- Estructura tipo techo
- Rack para 16 Baterías
- Cables y accesorios necesarios para la instalación

**Tabla 16. Diseño y presupuesto de un sistema autónomo (aislado) ejemplo 1**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
16	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	654.741	10.475.856
16	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah MTEK	912.377	14.598.032
2	Controlador Outback MPPT 80 A	1.826.638	3.653.276
1	Inversor Samlex 3000 W/24 V	1.900.900	1.900.900
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	173.743	173.743

TOTAL OFERTA BASICA	30.801.807
IVA 16 %	4.928.289
TOTAL OFERTA	35.730.096

Fuente: Autor del proyecto.

Nota: Los precios son proporcionados por la empresa Erco energía S.A.S  
/www.ercoenergia.com.co

Para el mismo ejemplo, al implementar un sistema conectado a la red eléctrica no se necesitaran las baterías, tampoco se necesitaran el regulador de carga, pero la cantidad de paneles fotovoltaicos no es la misma, debido a que está conectado a la red eléctrica, las posibles fallas del sistema no son tan cruciales como en un sistema fotovoltaico autónomo. Por lo tanto no se necesitara determinar la energía real requerida por el sistema.

Para determinar la cantidad de paneles solares que requiere el sistema conectado a la red eléctrica local, aplicamos las ecuaciones 4 y 5; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\text{HEP (h/día)} = \text{Gmb} / 1000 \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (5)$$

$$\text{NT} = \text{ET} / (\text{Pp} * \text{HEP} * \text{PG}) \quad (4)$$

Dónde:

NT: número total de paneles solares

**ET: Energía del sistema = 12365 Wh / día**

Pp: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

HEP: Es el número teórico de las horas equivalentes de potencia. Las HEP se calculan dividiendo el índice de radiación solar del sitio por una constante de fabricación de los paneles y es de 1000 Wh / m<sup>2</sup>

Gmb: radiación promedio anual en kilovatios (KWh/ m<sup>2</sup>) del lugar donde se instalara los paneles solares = 4.5 KWh / m<sup>2</sup>

PG: factor de perdidas = 0.85

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{HEP: } 4500 / 1000 = 4.5 \text{ (h/día)}$$

$$\text{NT} = 12365 / (250 * 4,5 * 0.85) = 12.93 = 13 \text{ Paneles fotovoltaicos de marca Yingli de silicio policristalino de 250 W}$$

Para los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica local; la cantidad de micros inversores que requiere el sistema corresponde a la misma cantidad de paneles fotovoltaicos. Cada módulo fotovoltaico va conectado a un micro inversor.

El diseño y presupuesto de un sistema conectado a la red eléctrica local para este ejemplo es el siguiente:

El equipo está compuesto por los siguientes equipos:

- 13 Panel Solar de 250 W marca Yingli solar
- 13 microinversor Enphase
- Cables y accesorios necesarios para la instalación
- Estructura tipo techo para paneles

**Tabla 17. Diseño y presupuesto de un sistema conectado a la red eléctrica para el ejemplo 1**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
13	Panel solar 250 W marca Yingli silicio policristalino	833.000	10.829.000
13	Rack panel 250 W	60.000	780.000

13	Microinversor M215 Enphase	663.700	8.628.100
13	Engaged Cable	92.500	1.202.500
12	Engaged Coupler	152.500	1.830.000
1	Tablero, tornillos, protección AC, cableado AWG	450.000	450.000
1	Sistema de monitoreo Enlighthn	2.529.100	2.529.100

TOTAL OFERTA BASICA	26.248.700
IVA 16 %	4.199.729
TOTAL OFERTA	30.448.492

Fuente: Autor del proyecto.

Nota: Los precios son proporcionados por la empresa Ergea S.A.S

[/www.ergea.com.co](http://www.ergea.com.co)

Podemos concluir que para este ejemplo es más económico implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica que un sistema fotovoltaico autónomo y al mismo tiempo ahorramos espacio en la instalación, debido a que solo se necesitaran 13 paneles en vez de los 16 paneles que requiere el sistema fotovoltaico autónomo; el sistema alimentado a la red eléctrica local no requiere un espacio para almacenar el banco de baterías. Por lo general los espacios asignados para almacenar las baterías son grandes y deben tener una muy buena ventilación de aire con el fin de no dañarlas.

Cuando se tiene altos costos en la facturación eléctrica, la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red representa ventajas inmediatas, logrando una reducción en la factura de energía eléctrica, específicamente en las horas del día, donde la radiación del sol es apropiada para la producción de energía eléctrica.

**5.4.2 EJEMPLO 3. Diseñar y presupuestar un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica con banco de baterías con las siguientes características:**

Una finca que consume una bomba de agua monofásica de 2HP (1500 W) que se enciende durante tres hora al día, un televisor de 100 W que se enciende durante 7 horas al día, un computador de 220 W que se enciende durante 4 horas al día, 5 bombillos de 100 W cada uno que se enciende durante 8 horas al día cada uno y una licuadora de 350 W que se enciende durante una hora al día. El banco de baterías implementa una tensión nominal de 24 Voltios en corriente continua (DC).

Lo primero que se debe hacer para elaborar el diseño es determinar la potencia individual de todos los aparatos de la instalación fotovoltaica, junto con el tiempo de uso de cada uno de ellos, con el fin de calcular la energía (Wh/día) que requiere el sistema y la potencia total (el cual me determina la potencia a la cual debe funcionar el inversor). Para este ejemplo se elaboró la siguiente tabla.

**Tabla 18. Cuadro de descarga del ejemplo 3**

Descripción del equipo	Potencia (W)	Número de equipos	Horas/día función	Consumo (Wh/día)
BOMBA DE AGUA	1500	1	3	4500
TELEVISOR	100	1	7	700
COMPUTADOR	220	1	4	880
BOMBILLOS	500	5	8	4000
LICUADORA	350	1	1	350
<b>Potencia Total (W)</b>	<b>2670</b>	<b>Energía (Wh/día)</b>		<b>10430</b>

Fuente: Autor del proyecto

Ya teniendo el dato de la energía (Wh/día) que requiere el sistema, nos disponemos a determinar la energía real requerida por el sistema, para esto

aplicamos la ecuación 3; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$ET = EDC / hBAT + EAC / (hBAT \cdot hINV) \quad (3)$$

Dónde:

ET: Energía real requerida por el sistema (Wh / día)

EDC = Energía consumida en DC (Wh) = 0 Wh / día

EAC = Energía consumida en AC (Wh) = 10430 Wh / día

hBAT: rendimiento de la batería = 95% = 0.95

hINV: rendimiento del inversor = 90% = 0.90

Por lo tanto tenemos que:

$$ET = (0 / 0.95) + (10430 / (0.95 * 0.90)) = 12199 \text{ Wh / día}$$

Ya teniendo la energía real requerida (ET), ahora nos disponemos a determinar la cantidad de paneles solares que requiere el sistema, para esto aplicamos las ecuaciones 4 y 5; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$HEP \text{ (h/día)} = Gmb / 1000 \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (5)$$

$$NT = ET / (Pp * HEP * PG) \quad (4)$$

Dónde:

NT: número total de paneles solares

ET: Energía real requerida por el sistema = 12199 Wh / día

Pp: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

HEP: Es el número teórico de las horas equivalentes de potencia. Las HEP se calculan dividiendo el índice de radiación solar del sitio por una constante de fabricación de los paneles y es de 1000 Wh / m<sup>2</sup>

Gmb: radiación promedio anual en kilovatios (KWh/ m<sup>2</sup>) del lugar donde se instalara los paneles solares = 4.5 KWh / m<sup>2</sup>

PG: factor de perdidas = 0.8

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{HEP: } 4500 / 1000 = 4.5 \text{ (h/día)}$$

$$\text{NT} = 12199 / (250 * 4,5 * 0.8) = 13.55 = 14 \text{ Paneles fotovoltaicos de marca Yingli de silicio policristalino de 250 W}$$

Para determinar la capacidad de la batería que debe tener el sistema, aplicamos la ecuación 6; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\text{Cn (Ah)} = (\text{ET} * \text{N}) / (\text{Pd} * \text{Vbat}) \quad (6)$$

Dónde:

Cn: Capacidad nominal de la batería

ET: Energía real requerida por el sistema = 12199 Wh / día

N = Días de autonomía = 2

Pd = porcentaje de descarga de la batería = 60% = 0.6

Vbat: Voltaje nominal de la batería = 24 V

La capacidad nominal de la batería será:

$$\text{Cn (Ah)} = (12199 * 2) / (0.6 * 24) = 1694 \text{ Ah}$$

Ahora nos disponemos a calcular la cantidad de baterías que se necesitaran para satisfacer la capacidad total requerida de la batería, para esto aplicamos la ecuación 7; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\# \text{ Baterías} = \text{Cn (Ah)} / \text{CnB} \quad (7)$$

Dónde:

Cn: Capacidad total requerida de la batería = 1694 Ah

CnB: capacidad nominal de cada batería = 255 Ah

El número de baterías será:

$$\# \text{ Baterías} = 1694 \text{ Ah} / 255 \text{ Ah} = 6.64 = 7 \text{ baterías a } 24\text{V}/255\text{Ah}$$

Para diseñar la batería, se requiere 14 baterías de 12 V/255Ah (Para hacer una batería de 24V, hay que acoplar dos baterías de 12 V en serie) por lo tanto:

$$\# \text{ Baterías} = 14 \text{ baterías a } 12\text{V}/255\text{Ah}$$

Para determinar la capacidad del regulador de carga que requiere el sistema, lo primero que debemos hacer es determinar la máxima corriente que va circular por la instalación, por lo tanto se tendrá que determinar la corriente que produce el generador fotovoltaico (paneles fotovoltaicos) y para esto aplicamos las ecuaciones 8, 9 y 10; expuestas anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\text{IR: } P_p * h_m / V_m \quad (8)$$

Siendo:

IR: Corriente producida por un panel fotovoltaico (A)

Pp: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

hm: rendimiento del panel fotovoltaico: 0.8

Tensión nominal del panel fotovoltaico: 30,4 V

La corriente producida por un panel fotovoltaico es:

$$\text{IR: } (250 * 0.8) / (30,4) = 6,58 \text{ A (amperios)}$$

La corriente que producen todos los paneles fotovoltaicos es:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = (IR) * (NT) \quad (9)$$

Dónde:

IR: Corriente producida por un panel fotovoltaico = 6.58 A

NT= número total de paneles solares = 16 paneles fotovoltaicos

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = 6.58 \text{ A} * 14 = 92,12 \text{ A}$$

El regulador de carga debe soportar una corriente superior a 92,12 A (amperios).

$$\# \text{ De Reguladores} = \frac{\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico}}{\text{Corriente que soporta el regulador de carga}} \quad (10)$$

$$\# \text{ De Reguladores} = (92,12 \text{ A}) / (50 \text{ A}) = 1,842 = 2 \text{ reguladores de carga MPPT 50A}$$

El inversor/cargador a implementar debe soportar una potencia (W) superior a la carga total del Sistema, en este caso, debe ser superior a 2670 W

El diseño y presupuesto de un sistema conectado a la red eléctrica local con banco de baterías para este ejemplo es el siguiente:

El equipo está compuesto por los siguientes equipos:

- 14 Paneles Solares de 250 W cada uno
- 2 Controladores MPPT 50 A
- 16 Batería AGM Sellada 12V/205Ah o 36 baterías de GEL de 2V/600Ah o 14 baterías AGM de 12V/255Ah
- 1 Inversor cargador DC-AC de 3000W a 24V
- Estructura tipo techo
- Rack para 14 Baterías
- Cables y accesorios necesarios para la instalación

**Tabla 19. Diseño y presupuesto de un sistema conectado a la red eléctrica con banco de baterías para el ejemplo 2**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
14	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	654.741	9.166.374
14	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah MTEK	912.377	12.773.278
2	Controlador Victron MPPT 50 A	878.966	1.757.932
1	Inversor/cargador Multiplus 3000 W/24V	3.406.896	3.406.896
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	173.743	173.743

TOTAL OFERTA BASICA	27.278.223
IVA 16 %	4.364.515
TOTAL OFERTA	31.642.748

Fuente: Autor del proyecto.

Nota: Los precios son proporcionados por la empresa Erco energía S.A.S  
/www.ercoenergia.com.co

## **5.5 APLICAR SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS EN PLANTAS DE AGUAS POTABLES Y RESIDUALES EN SECTORES RURALES ALEJADOS DE LOS SISTEMAS CONVENCIONALES**

Se elaboraron dos proyectos para SIHSA , se les elaboraron dos diseños con sus respectivos presupuestos, cada diseño tiene cuatro formas de instalacion, las cuales representan las soluciones fotovoltaicas en plantas de aguas residuales con sus respectivos presupuesto. Estos se elaboraron para un cliente en Santa Rosa del Sur.

Las formas de instalación combina los diferentes sistemas de que disponemos para generar energía eléctrica, los diferentes sistemas son: energía fotovoltaica (paneles fotovoltaicos); red eléctrica convencional y un generador de electricidad a ACPM. En las cuatro formas de instalación se busca tener un respaldo de seguridad confiable para el sistema, principalmente en las baterías, debido a que las baterías nos suministraran la energía que requiere el sistema en las horas nocturnas, donde no disponemos de energía solar, con el fin de que si las baterías no pueden mantener el consumo de energía requerida por las cargas, las otras fuentes eléctricas le ayudan para mantener un consumo continuo de energía y nunca haya un apagón en el sistema.

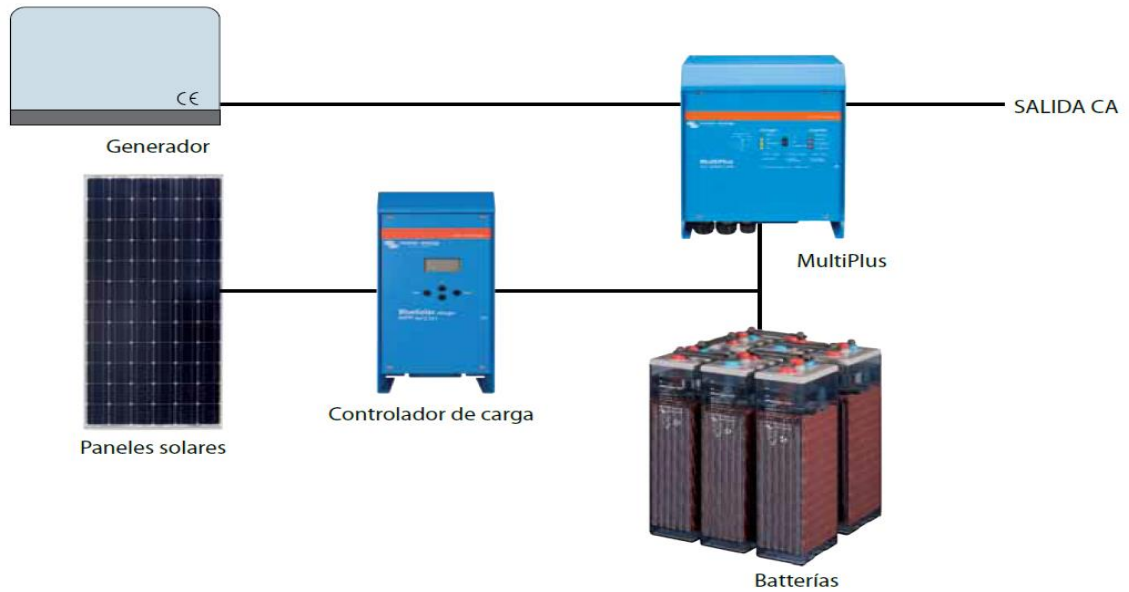
Las cuatro formas de instalación que representan las soluciones fotovoltaicas en plantas de aguas residuales que se presentaron para estos dos proyectos fueron las siguientes:

**A. Sistemas híbridos (Paneles solares + regulador de carga + baterías + inversor cargador (Multiplus) + generador a ACPM)**

En los sistemas fotovoltaicos híbridos, si la energía fotovoltaica no proporciona la energía suficiente al sistema, el generador a ACPM se enciende para suministrar la energía faltante. En este caso se utiliza un inversor/cargador MultiPlus.

El generador se conecta directamente al MultiPlus. El MultiPlus permite trabajar con el generador o con los paneles fotovoltaicos (por medio de las baterías) alternativamente con niveles de tensión y frecuencias adecuados para el consumo. El Multiplus regula automáticamente el encendido y el apagado del generador a ACPM, mientras maximiza el uso de la energía fotovoltaica y garantiza una larga vida a la batería.

**Imagen 26. Diagrama de un sistema fotovoltaico híbrido.**



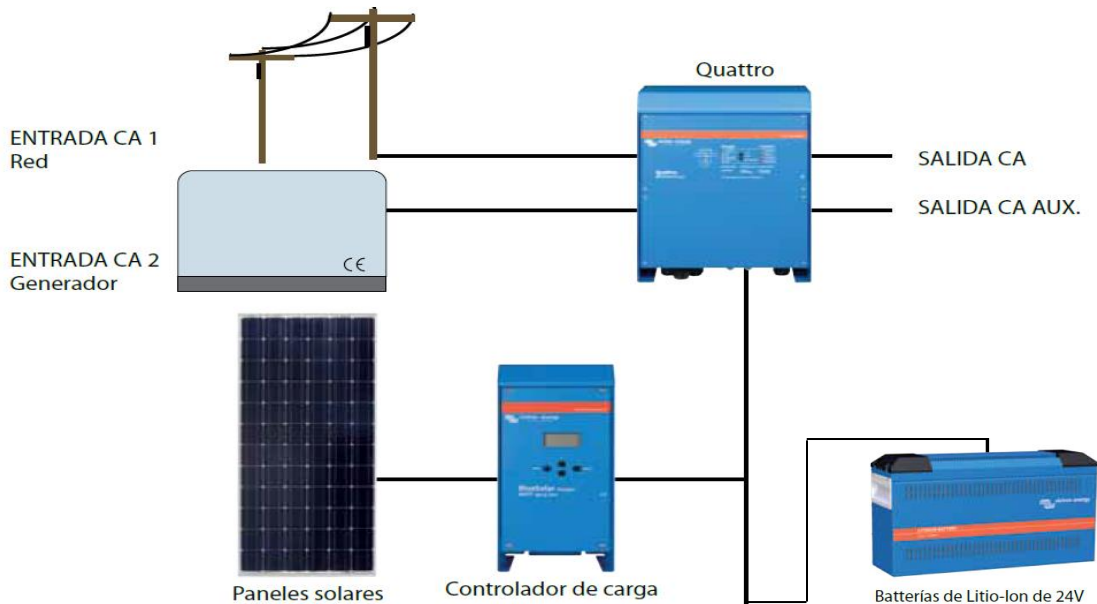
Fuente: [http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems\\_ES\\_web.pdf](http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems_ES_web.pdf)

**B. Sistemas híbridos conectado a la red eléctrica (Paneles solares + regulador de carga + baterías + inversor cargador (QUATTRO) + generador a ACPM + red eléctrica)**

Este sistema se combina con una conexión a la red eléctrica local. Estos sistemas se implementan principalmente en lugares donde el suministro solar es insuficiente y la red eléctrica sufre de apagones, por lo tanto se necesita la ayuda de un generador a ACPM para suplir las fallas en el suministro de energía.

En vez del MultiPlus se utiliza el QUATTRO, que es un MultiPlus con dos conmutadores de transferencia incorporados al cual se conectan la red eléctrica y el generador de ACPM permitiendo trabajar con el generador o con la red de suministro eléctrico alternativamente con los paneles fotovoltaicos (por medio de las baterías) con niveles de tensión y frecuencias adecuados para el consumo.

**Imagen 27. Diagrama de un sistema fotovoltaico híbrido conectado a la red eléctrica.**



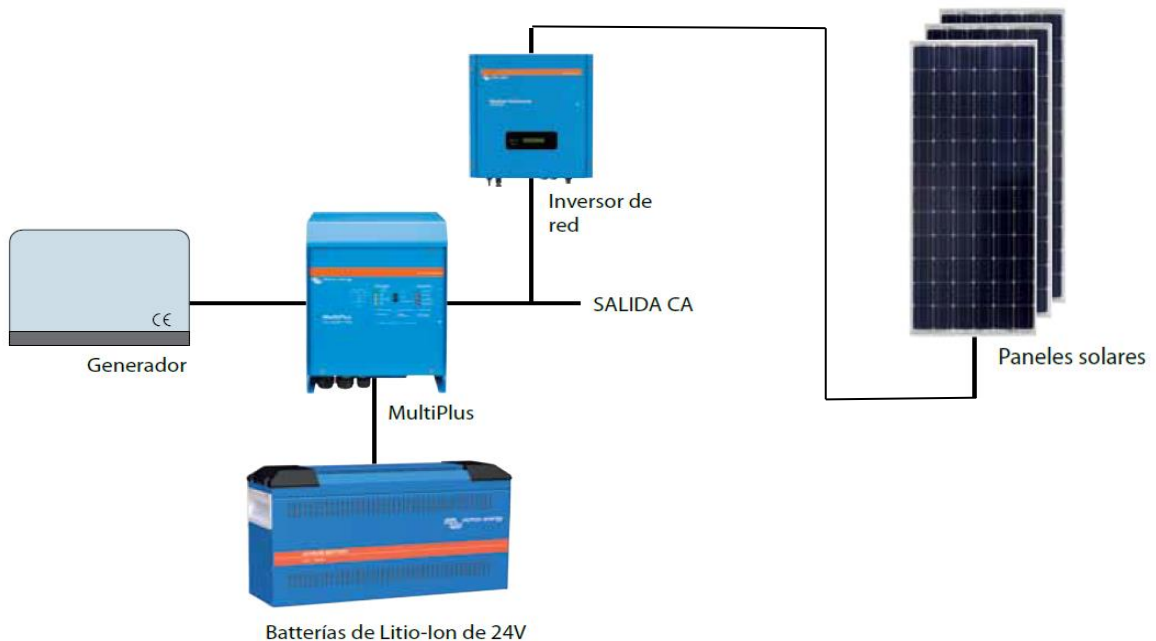
Fuente: [http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems\\_ES\\_web.pdf](http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems_ES_web.pdf)

### **C. Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna (Paneles solares + inversor de red + baterías + inversor cargador (Multiplus) + generador a ACPM)**

Estos sistemas se implementan principalmente para alimentar dispositivos de gran consumo de energía en corriente alterna (CA). En estos sistemas la energía fotovoltaica es convertida inmediatamente en corriente alterna (AC) por medio de un inversor de red. El inversor de red debe estar interconectado a una red secundaria de corriente alterna (CA), en este caso la red secundaria de corriente alterna es suministrada por el inversor cargador Multiplus. Estos sistemas tienen una mayor eficiencia que los sistemas híbridos debido a que cualquier exceso de energía solar (la que no está siendo utilizada por los dispositivos de corriente alterna) se utiliza para cargar las baterías.

Cuando los paneles fotovoltaicos generan energía, el inversor de red la convierte en corriente alterna inmediatamente con niveles de tensión y frecuencias adecuados para el consumo con la capacidad de sincronizar para interactuar con una línea de servicio (Multiplus). El generador a ACPM suministra su corriente alterna con niveles de tensión y frecuencias adecuados para el consumo directamente al inversor/cargador MultiPlus. Si se requiriera una potencia superior a la que pueda suministrar los paneles fotovoltaicos, entran en paralelo el generador y la instalación fotovoltaica. Cuando los paneles fotovoltaicos producen más potencia de la necesaria, el Multiplus utilizará el excedente para cargar las baterías.

**Imagen 28. Diagrama de un Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna**

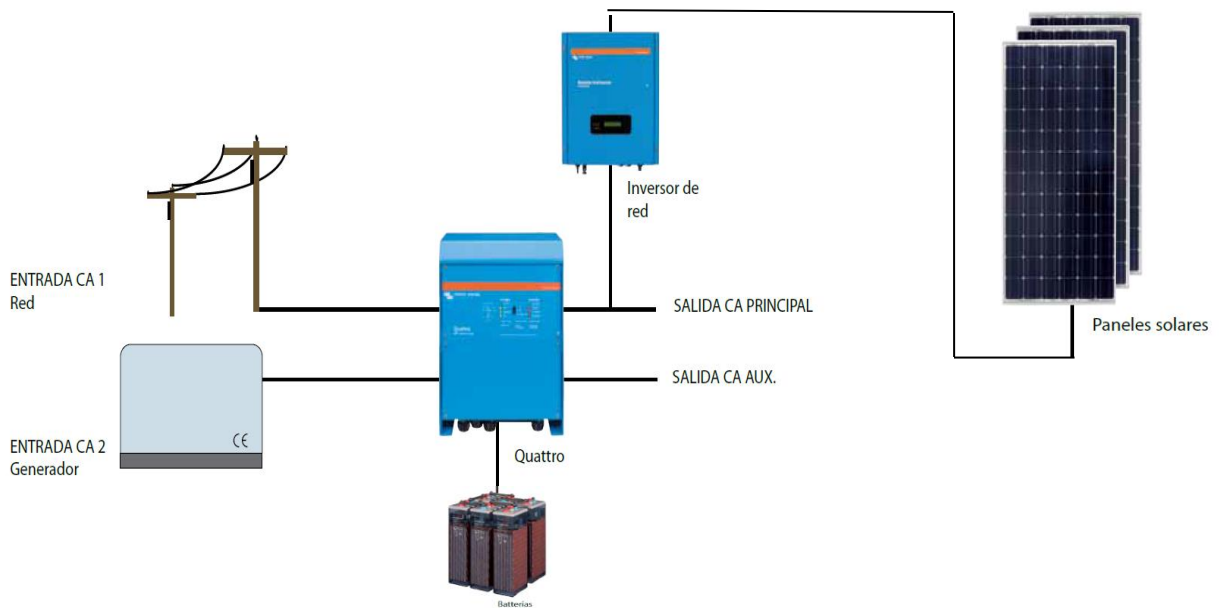


Fuente: [http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems\\_ES\\_web.pdf](http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems_ES_web.pdf)

**D. Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica (Paneles solares + inversor de red + baterías + inversor cargador (QUATTRO) + generador a ACPM)**

La diferencia con el sistema fotovoltaico híbrido con conversión directa a corriente alterna (AC) es que este sistema se combina con una conexión a la red eléctrica por medio el inversor cargador (QUATTRO), el cual permite la entrada de dos señales de corriente alterna por medio de dos conmutadores de transferencia incorporados al cual se conectan la red eléctrica y el generador de ACPM permitiendo trabajar con el generador de ACPM o con la red de suministro eléctrico alternativamente con niveles de tensión y frecuencias adecuados para el consumo. Estos sistemas garantizan un suministro de energía continuo. Por ejemplo, Si se requiriera una potencia superior a la que pueda suministrar los paneles fotovoltaicos, entran en paralelo el generador o la red eléctrica mediante el proceso de sincronización (frecuencia, voltaje, secuencia) que realiza el inversor de red. Cuando los paneles fotovoltaicos producen más potencia de la necesaria, el Multiplus utilizara el excedente para cargar las baterías.

**Imagen 29. Diagrama de un Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica**



Fuente: [http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems\\_ES\\_web.pdf](http://www.victronenergy.com/upload/documents/Brochure-Off-Grid,-back-up-and-island-systems_ES_web.pdf)

Los equipos utilizados para el diseño y la elaboración del presupuesto fueron los siguientes:

- panel solar 250W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas (\$ 605.000 + IVA)
- Regulador de carga Outback MPPT de 80 A (Amperios) (\$ 1.826.638 + IVA)
- Inversor/cargador 2000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON MULTIPLUS (\$ 3.700.000 + IVA)
- Inversor/cargador 5000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON QUATTRO (\$ 5.900.000 + IVA)
- Inversor de conexión a red BLUE SOLAR 2000W (\$ 4.220.000 + IVA)
- baterías selladas marca Mtek 12V DC, 255Ah, AGM VRLA (\$ 912.377 + IVA).
- Generador ENERMAX con motor HONDA 2500W (Planta Diésel) (\$ 1.500.000 + IVA).

Para los dos proyectos para SIHSA se usaron las siguientes características:

Eficiencia de la Batería:.....95 %  
 Eficiencia del inversor:.....90 %  
 Profundidad de descarga de la batería: .....60 %  
 N° de días de autonomía: ..... 2  
 Voltaje Nominal de la Batería.....24 V  
 Factor de perdidas..... 0.8

**Tabla 20. Características del panel marca Yingli silicio Policristalino 250 W**

Potencia de salida del panel (W):	250 W
Eficiencia del módulo (%):	15.3 %

Tensión en potencia máxima (V):	30,4 V
Intensidad en potencia máxima (A):	8,24

Fuente: [http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/DS\\_YGE60Cell-29b\\_40mm\\_SP\\_SP\\_201211\\_v02.20.pdf](http://www.yinglisolar.com/assets/uploads/products/downloads/DS_YGE60Cell-29b_40mm_SP_SP_201211_v02.20.pdf)

Los días de autonomía la estableció el cliente de Santa Rosa del Sur, el cual representa un valor adecuado, debido a que se dispone de una radiación solar alta y constante durante todos los días del año en el lugar de la instalación, a su vez no se sobredimensiona la capacidad de la batería.

La eficiencia como el porcentaje de descarga de la batería, representan las características técnicas de la batería Mtek 12V DC, 255Ah, AGM VRLA. Se escogió esta batería debido a que es la batería de 12V DC con más capacidad de corriente disponible en el mercado y la más utilizada para los diseños fotovoltaicos.

Para transformar el voltaje nominal de 12V a 24V en corriente continua de la batería, se deben acoplar en serie dos de estas baterías con el fin de conseguir los 24 V en corriente continua (DC) para alimentar el inversor en el sistema. El regulador de carga me transforma la tensión nominal del panel fotovoltaico (30.4 V) en 24 Voltios en DC para ser inyectados a la batería que también es de 24 Voltios.

El factor de pérdida la estableció el autor del proyecto y está asociado a las pérdidas que puede haber en los paneles fotovoltaicos, debido a que hay muchos factores que afectan su rendimiento, principalmente el clima. Este valor puede variar entre 0.65 y 0.9.

La eficiencia del inversor como el voltaje nominal de las baterías representan las características técnicas del Inversor/Cargador 2000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON MULTIPLUS y el Inversor/cargador 5000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON QUATTRO.

El voltaje de entrada del inversor debe ser igual al voltaje nominal de la batería, debido a que el voltaje nominal de la batería que corresponde a corriente continua se transformará en voltaje de corriente alterna dentro del inversor. En estos dos diseños se empleó inversores con entrada de 24 Voltios de corriente continua, por lo tanto el voltaje nominal de las baterías debe ser también de 24 voltios de corriente continua.

El Inversor/cargador 5000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON QUATTRO es un inversor cargador al cual se le pueden conectar dos fuentes de alimentación de corriente alterna (CA) independientes, debido a que posee dos conmutadores de transferencia de corriente alterna (CA) de alta velocidad, el cual permite trabajar alternativamente con una red de suministro eléctrico o con un generador a ACPM con niveles de tensión y frecuencias adecuados para el consumo, también posee un inversor sinusoidal de onda pura y un cargador de baterías con tecnología adaptable.

El Inversor de conexión a red (BLUE SOLAR 2000W) convierte la energía de corriente continua producida por los paneles solares en corriente alterna y la sincroniza para interactuar con una red de suministro eléctrico de corriente alterna con niveles de tensión y frecuencia adecuados para el consumo. Esta red de suministro eléctrica puede ser proporcionada por un inversor cargador o la red eléctrica local. Estos inversores trabajan con una tensión de entrada de entre 100 y 170 voltios de corriente continua y generan una tensión de alterna de la misma amplitud y frecuencia que la tensión de la red eléctrica monofásica a la que se conectan.

La diferencia entre un inversor de red y un micro inversor, es que el micro inversor convierte la energía solo de un panel fotovoltaico, por tal motivo en un sistema de generación fotovoltaica que esté compuesta por cierta cantidad de paneles fotovoltaico, se requerirá la misma cantidad de micro inversores. En cambio para esa misma cantidad de paneles fotovoltaico solo se necesitara un inversor de red,

impidiendo alcanzar el punto de máxima potencia (MPPT) para cada panel fotovoltaico, el cual permite aumentar la eficiencia de cada módulo fotovoltaico.

Santa Rosa del Sur es un municipio de Colombia, en el nororiente del país, en el departamento de Bolívar, a 650 km de Cartagena de Indias, la capital departamental. Se halla enclavada en una zona montañosa, en la Serranía de San Lucas (Cordillera Central). Está conformado por la cabecera municipal con quince Barrios, en el sector rural existen 12 corregimientos y 101 veredas.<sup>65</sup>

**Tabla 21. Radiación solar de Santa Rosa del Sur**

(KWh / m<sup>2</sup>)

ENERO	4.0 – 4.5
FEBRERO	4.5 – 5.0
MARZO	4.5 – 5.0
ABRIL	4.0 – 4.5
MAYO	3.5 – 4.0
JUNIO	4.0 – 4.5
JULIO	5.0 – 5.5
AGOSTO	4.5 – 5.0
SEPTIEMBRE	4.5 – 5.0
OCTUBRE	4.0 – 4.5
NOVIEMBRE	4.0 – 4.5
DICIEMBRE	4.0 – 4.5

**Promedio Radiación Solar anual  
4.5 KWh / m<sup>2</sup>**

Fuente: Atlas de Radiación Solar de Colombia – UPME [en línea]. Bogotá DC: Unidad de Planeación Minero 69 Energética. 2005 en línea [consultado el 20 de octubre de 2012]. Disponible en internet:[http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/1-Atlas\\_Radiacion\\_Solar.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/1-Atlas_Radiacion_Solar.pdf).

Los dos proyectos para SIHSA para las soluciones fotovoltaicas en plantas de aguas residuales fueron los siguientes:

### **5.5.1 Diseñar un sistema fotovoltaico para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

<sup>65</sup> Wikipedia-santa rosa del sur, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Santa\\_Rosa\\_del\\_Sur](http://es.wikipedia.org/wiki/Santa_Rosa_del_Sur).

0.85 HP = 600 W

Bomba dosificadora = 20 W

Potencia Total del Sistema = 600 W + 20 W = 620 W

EAC = Energía requerida por día = 620 W \* 8 (horas) = 4960 Wh / día

Lo primero que se determinó fue la energía real requerida por el sistema, para esto se aplicó la ecuación 3; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$ET = EDC / h_{BAT} + EAC / (h_{BAT} \cdot h_{INV}) \quad (3)$$

Dónde:

ET: Energía real requerida por el sistema (Wh / día)

EDC = Energía consumida en DC (Wh) = 0 Wh / día

EAC = Energía consumida en AC (Wh) = 4960 Wh / día

h<sub>BAT</sub>: rendimiento de la batería = 95% = 0.95

h<sub>INV</sub>: rendimiento del inversor = 90% = 0.90

Por lo tanto tenemos que:

$$ET = (0 / 0.95) + (4960 / (0.95 * 0.90)) = 5801 \text{ Wh / día}$$

Ya teniendo la energía real requerida (ET), se determinó la cantidad de paneles solares que requiere el sistema, para esto se aplicó las ecuaciones 4 y 5; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$HEP \text{ (h/día)} = G_{mb} / 1000 \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (5)$$

$$NT = ET / (P_p \cdot HEP \cdot PG) \quad (4)$$

Dónde:

NT: número total de paneles solares

ET: Energía real requerida por el sistema = 5801 Wh / día

P<sub>p</sub>: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

HEP: Es el número teórico de las horas equivalentes de potencia. Las HEP se calculan dividiendo el índice de radiación solar del sitio por una constante de fabricación de los paneles y es de  $1000 \text{ W / m}^2$

Gmb: radiación promedio anual en kilovatios ( $\text{KWh/ m}^2$ ) del lugar donde se instalara los paneles solares =  $4.5 \text{ KWh / m}^2$

PG: factor de perdidas = 0.8

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{HEP: } 4500 / 1000 = 4.5 \text{ (h/día)}$$

$$\text{NT} = 5801 / (250 * 4,5 * 0.8) = 6.44 = 7 \text{ Paneles solares de marca Yingli de silicio policristalino de 250 W}$$

Para calcular la capacidad de la batería que debe tener el sistema, se aplicó la ecuación 6; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\text{Cn (Ah)} = (\text{ET} * \text{N}) / (\text{Pd} * \text{Vbat}) \quad (6)$$

Dónde:

Cn: Capacidad nominal de la batería

ET: Energía real requerida por el sistema =  $5801 \text{ Wh / día}$

N = Días de autonomía = 2

Pd = porcentaje de descarga de la batería =  $60\% = 0.6$

Vbat: Voltaje nominal de la batería =  $24 \text{ V}$

La capacidad nominal de la batería será:

$$\text{Cn (Ah)} = (5801 * 2) / (0.6 * 24) = 805 \text{ Ah}$$

Para determinar la cantidad de baterías que se necesitaran para satisfacer la capacidad total requerida de la batería se aplicó la ecuación 7; expuesta

anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\# \text{ Baterías} = C_n (\text{Ah}) / C_{nB} \quad (7)$$

Dónde:

C<sub>n</sub>: Capacidad total requerida de la batería = 805 Ah

C<sub>nB</sub>: capacidad nominal de cada batería = 255 Ah

El número de baterías será:

$$\# \text{ Baterías} = 805 \text{ Ah} / 255 \text{ Ah} = 3 \text{ baterías a } 24\text{V}/255\text{Ah}$$

Para hacer esta batería, se requiere 6 baterías de 12V/255Ah (Para hacer una batería de 24V, hay que acoplar dos baterías de 12 V en serie).

$$\# \text{ Baterías} = 6 \text{ baterías a } 12\text{V}/255\text{Ah}$$

Para calcular la capacidad del regulador de carga que requiere el sistema, lo primero que se hizo fue determinar la máxima corriente que va circular por la instalación, por lo tanto se determinó la corriente que produce el generador fotovoltaico (paneles fotovoltaicos) y para esto se aplicó las ecuaciones 8, 9 y 10: expuestas anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$I_R: P_p * h_m / V_m \quad (8)$$

Siendo:

I<sub>R</sub>: Corriente producida por un panel fotovoltaico (A)

P<sub>p</sub>: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

h<sub>m</sub>: rendimiento del panel fotovoltaico: 0.8

Tensión nominal del panel fotovoltaico: 30,4 V

La corriente producida por un panel fotovoltaico es:

$$I_R: (250 * 0.8) / (30,4) = 6,58 \text{ A}$$

La corriente que producen todos los paneles fotovoltaicos es:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = (IR) * (NT) \quad (9)$$

Dónde:

IR: Corriente producida por un panel fotovoltaico = 6.58 A

NT= número total de paneles solares = 7 paneles fotovoltaicos

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = 6.58 \text{ A} * 7 = 46 \text{ A}$$

El regulador de carga debe soportar una corriente superior a 46 A (amperios).

$$\# \text{ De Reguladores} = \frac{\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico}}{\text{Corriente que soporta el regulador de carga}} \quad (10)$$

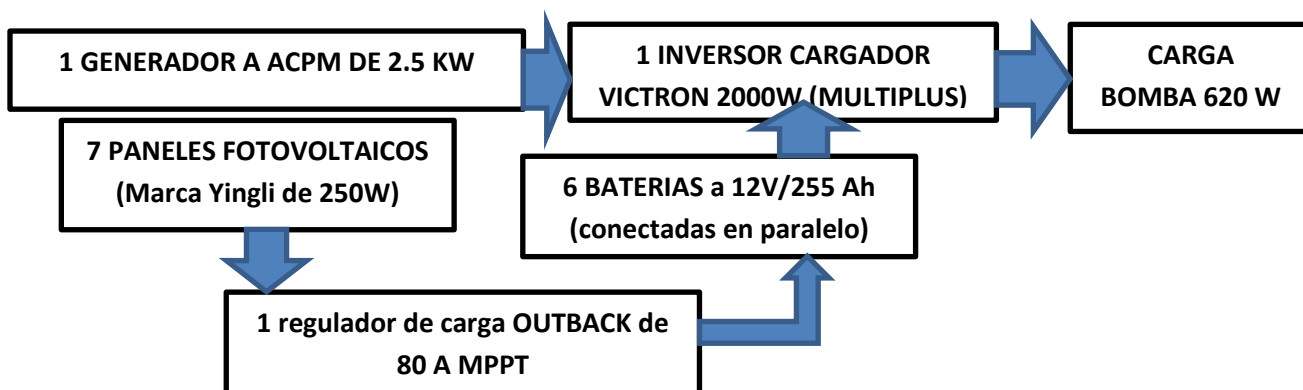
$$\# \text{ De Reguladores} = (46 \text{ A}) / (80 \text{ A}) = 0,575 = 1 \text{ reguladores de carga MPPT 80A}$$

El inversor cargador Victron debe soportar una potencia (W) superior a la carga total del Sistema, en este caso, debe ser superior a 620 W.

Los diseños con sus respectivos presupuestos son los siguientes:

**A. Sistemas híbridos (Paneles solares + regulador de carga + baterías + inversor cargador (Multiplus) + generador a ACPM**

**Imagen 30. Diagrama del Sistema híbrido para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto

**Tabla 22. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

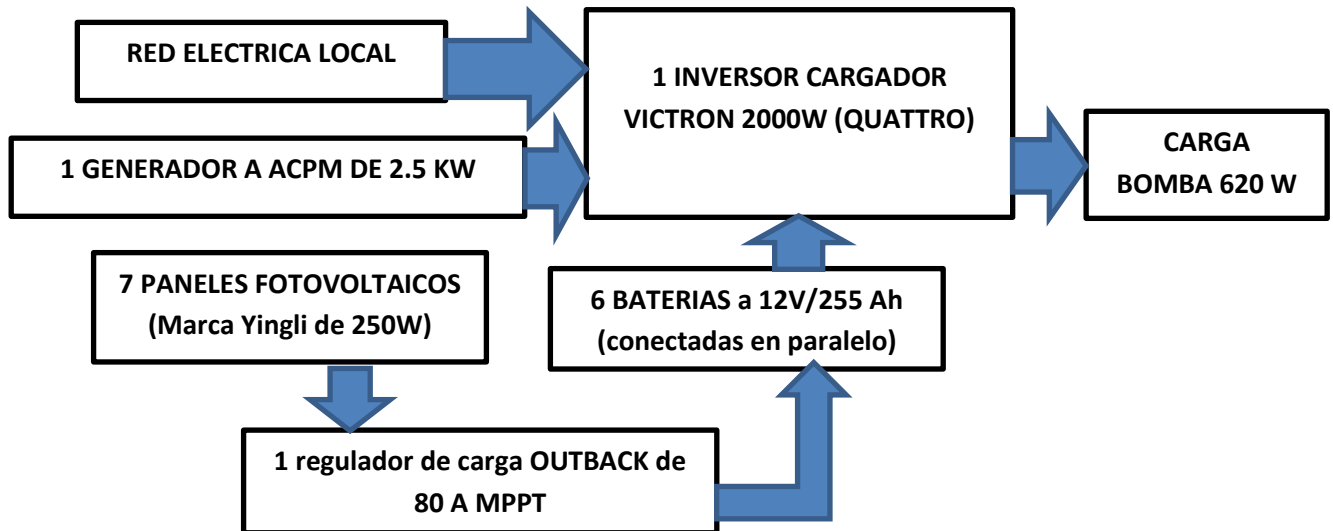
CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
7	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.235.000
6	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	5.474.262
1	Controlador Outback MPPT 80 A	1.826.638	1.826.638
1	Inversor/Cargador 2000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON MULTIPLUS	3.700.000	3.700.000
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

TOTAL OFERTA BASICA	17.167.100
IVA 16 %	2.746.736
<b>TOTAL OFERTA</b>	<b>19.913.836</b>

Fuente: Autor del proyecto

**B. Sistemas híbridos conectado a la red eléctrica (Paneles solares + regulador de carga + baterías + inversor cargador (QUATTRO) + generador a ACPM + red eléctrica)**

**Imagen 31. Diagrama del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto

**Tabla 23. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
7	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.235.000
6	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	5.474.262
1	Controlador Outback MPPT 80 A	1.826.638	1.826.638
1	Inversor/Cargador 5000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON QUATTRO	5.900.000	5.900.000

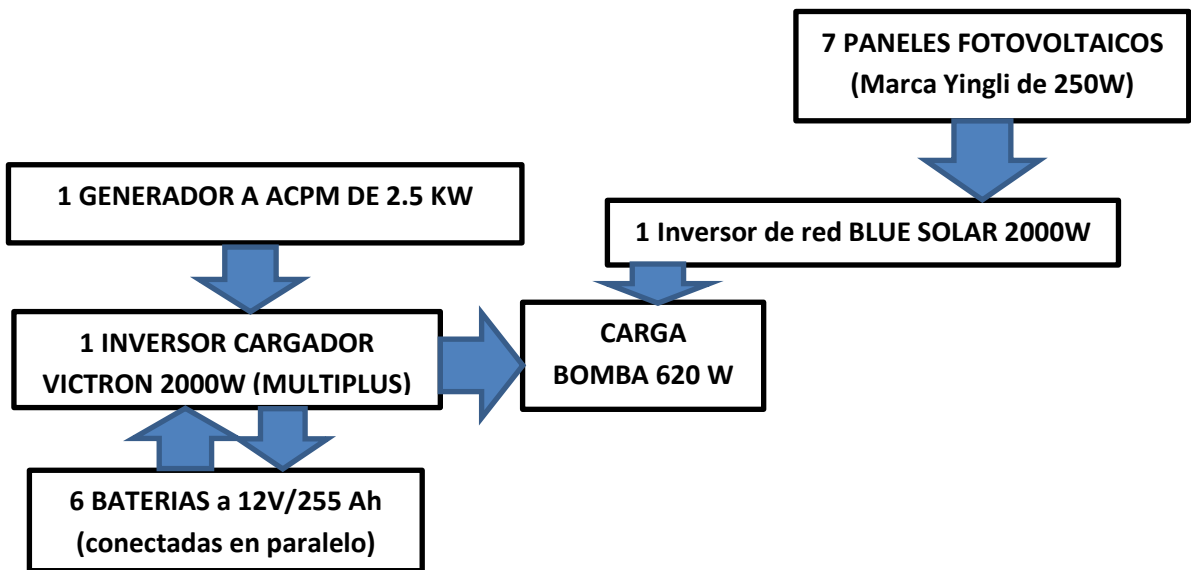
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

TOTAL OFERTA BASICA	19.367.100
IVA 16 %	3.098.736
TOTAL OFERTA	22.465.836

Fuente: Autor del proyecto

**C. Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna (Paneles solares + inversor de red + baterías + inversor cargador (Multiplus) + generador a ACPM).**

**Imagen 32. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto.

**Tabla 24. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

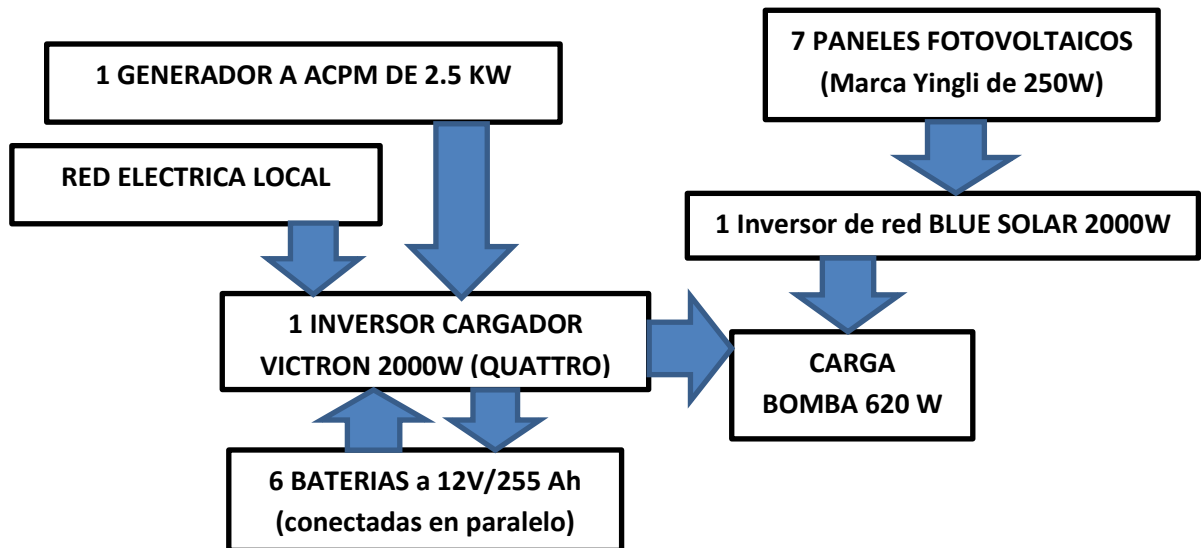
CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
7	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.235.000
6	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	5.474.262
1	Inversor de conexión a red BLUE SOLAR 2000W	4.220.000	4.220.000
1	Inversor/Cargador 2000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON MULTIPLUS	3.700.000	3.700.000
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

<b>TOTAL OFERTA BASICA</b>	<b>19.560.462</b>
<b>IVA 16 %</b>	<b>3.129.673</b>
<b>TOTAL OFERTA</b>	<b>22.690.135</b>

Fuente: Autor del proyecto.

**D. Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica (Paneles solares + inversor de red + baterías + inversor cargador (QUATTRO) + generador a ACPM).**

**Imagen 33. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto.

**Tabla 25. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 0.85 HP / 120 V AC a 5 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
7	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.235.000
6	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	5.474.262
1	Inversor de conexión a red BLUE SOLAR 2000W	4.220.000	4.220.000
1	Inversor/Cargador 5000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON QUATTRO	5.900.000	5.900.000
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200

1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

TOTAL OFERTA BASICA	21.760.462
IVA 16 %	3.481.673
TOTAL OFERTA	25.242.135

Fuente: Autor del proyecto.

**5.5.2 Diseñar un sistema fotovoltaico para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperios, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

1 HP = 750 Vatios

Bomba dosificadora = 20 Vatios

Potencia Total del Sistema = 750 W + 20 W = 770 W

EAC = Energía requerida por día = 770 W \* 8 (horas) = 6160 Wh / día

Lo primero que se determino fue la energía real requerida por el sistema, para esto se aplicó la ecuación 3; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$ET = EDC / hBAT + EAC / (hBAT \cdot hINV) \quad (3)$$

Dónde:

ET: Energía real requerida por el sistema (Wh / día)

EDC = Energía consumida en DC (Wh) = 0 Wh / día

EAC = Energía consumida en AC (Wh) = 4960 Wh / día

hBAT: rendimiento de la batería = 95% = 0.95

hINV: rendimiento del inversor = 90% = 0.90

Por lo tanto tenemos que:

$$ET = (0 / 0.95) + (6160 / (0.95 * 0.90)) = 7204 \text{ Wh / día}$$

Ya teniendo la energía real requerida (ET), se determinó la cantidad de paneles solares que requiere el sistema, para esto se aplicó las ecuaciones 4 y 5; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\text{HEP (h/día)} = \text{Gmb} / 1000 \text{ (W / m}^2\text{)} \quad (5)$$

$$\text{NT} = \text{ET} / (\text{Pp} \cdot \text{HEP} \cdot \text{PG}) \quad (4)$$

Dónde:

NT: número total de paneles solares

ET: Energía real requerida por el sistema = 7204 Wh / día

Pp: Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

HEP: Es el número teórico de las horas equivalentes de potencia. Las HEP se calculan dividiendo el índice de radiación solar del sitio por una constante de fabricación de los paneles y es de 1000 W / m<sup>2</sup>.

Gmb: radiación promedio anual en kilovatios (KWh/ m<sup>2</sup>) del lugar donde se instalara los paneles solares = 4.5 KWh / m<sup>2</sup>

PG: factor de perdidas = 0.8

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{HEP: } 4500 / 1000 = 4.5 \text{ (h/día)}$$

$$\text{NT} = 7204 / (250 * 4,5 * 0.8) = 8.005 = 8 \text{ Paneles solares de marca Yingli de silicio policristalino de 250 W}$$

Para determinar la capacidad de la batería que debe tener el sistema, se aplicó la ecuación 6; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$Cn \text{ (Ah)} = (ET * N) / (Pd * Vbat) \quad (6)$$

Dónde:

Cn: Capacidad nominal de la batería

ET: Energía real requerida por el sistema = 7204 Wh / día

N = Días de autonomía = 2

Pd = porcentaje de descarga de la batería = 60% = 0.6

Vbat: Voltaje nominal de la batería = 24 V

La capacidad nominal de la batería será:

$$Cn \text{ (Ah)} = (7204 * 2) / (0.6 * 24) = 1000 \text{ Ah}$$

Para determinar la cantidad de baterías que se necesitarán para satisfacer la capacidad total requerida de la batería se aplicó la ecuación 7; expuesta anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$\# \text{ Baterías} = Cn \text{ (Ah)} / CnB \quad (7)$$

Dónde:

Cn: Capacidad total requerida de la batería = 1000 Ah

CnB: capacidad nominal de cada batería = 255 Ah

El número de baterías será:

$$\# \text{ Baterías} = 1000 \text{ Ah} / 255 \text{ Ah} = 4 \text{ baterías a } 24\text{V}/255\text{Ah}$$

Para hacer estas baterías, se requiere 8 baterías de 12V/255Ah (Para hacer una batería de 24V, hay que acoplar dos baterías de 12 V en serie).

$$\# \text{ Baterías} = 8 \text{ baterías a } 12\text{V}/255\text{Ah}$$

Para calcular la capacidad del regulador de carga que requiere el sistema, lo primero que se hizo fue determinar la máxima corriente que va circular por la instalación, por lo tanto se tendrá que calcular la corriente que produce el

generador fotovoltaico y para esto se aplicó las ecuaciones 8, 9 y 10; expuestas anteriormente en el tema de “seleccionar y dimensionar los sistemas fotovoltaicos” del informe.

$$I_R: P_p * h_m / V_m \quad (8)$$

Siendo:

$I_R$ : Corriente producida por un panel fotovoltaico (A)

$P_p$ : Potencia de salida del panel fotovoltaico = 250 W

$h_m$ : rendimiento del panel fotovoltaico: 0.8

Tensión nominal del panel fotovoltaico: 30,4 V

La corriente producida por un panel fotovoltaico es:

$$I_R: (250 * 0.8) / (30,4) = 6,58 \text{ A}$$

La corriente que producen todos los paneles fotovoltaicos es:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = (I_R) * (NT) \quad (9)$$

Dónde:

$I_R$ : Corriente producida por un panel fotovoltaico = 6.58 A

$NT$ = número total de paneles solares = 8 paneles fotovoltaicos

Por lo tanto tenemos que:

$$\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico} = 6.58 \text{ A} * 8 = 53 \text{ A}$$

El regulador de carga debe soportar una corriente superior a 53 A (amperios).

$$\# \text{ De Reguladores} = \frac{\text{Corriente máxima del generador fotovoltaico}}{\text{Corriente que soporta el regulador de carga}} \quad (10)$$

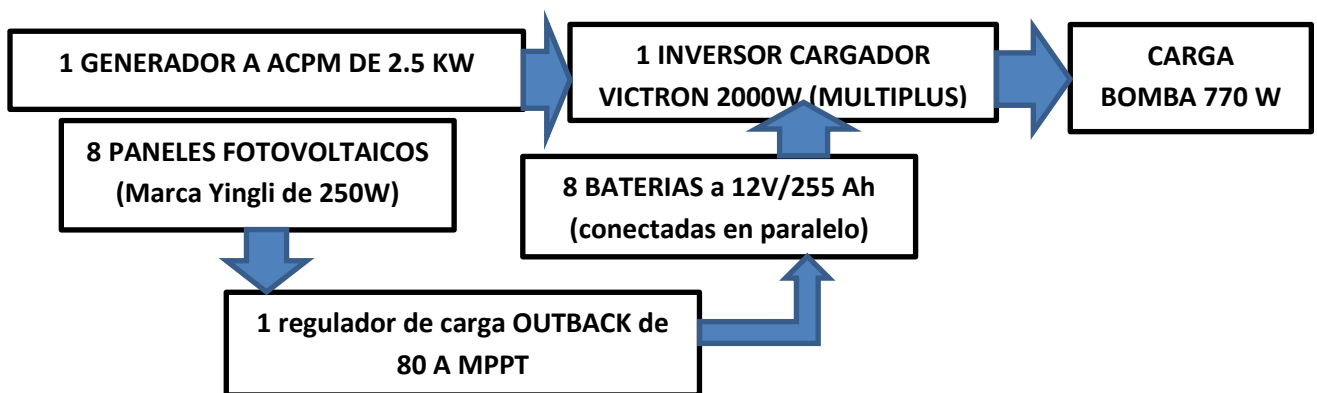
$$\# \text{ De Reguladores} = (53 \text{ A}) / (80 \text{ A}) = 0.6625 = 1 \text{ reguladores de carga MPPT } 80 \text{ A}$$

El inversor cargador Victron debe soportar una potencia (W) superior a la carga total del Sistema, en este caso, debe ser superior a 770 W.

Los diseños con sus respectivos presupuestos son los siguientes:

**A. Sistemas híbridos (Paneles solares + regulador de carga + baterías + inversor cargador (Multiplus) + generador a ACPM).**

**Imagen 34. Diagrama del Sistema híbrido para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto.

**Tabla 26. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
8	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.840.000
8	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	7.299.016
1	Controlador Outback MPPT 80 A	1.826.638	1.826.638
1	Inversor/Cargador 2000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON MULTIPLUS	3.700.000	3.700.000

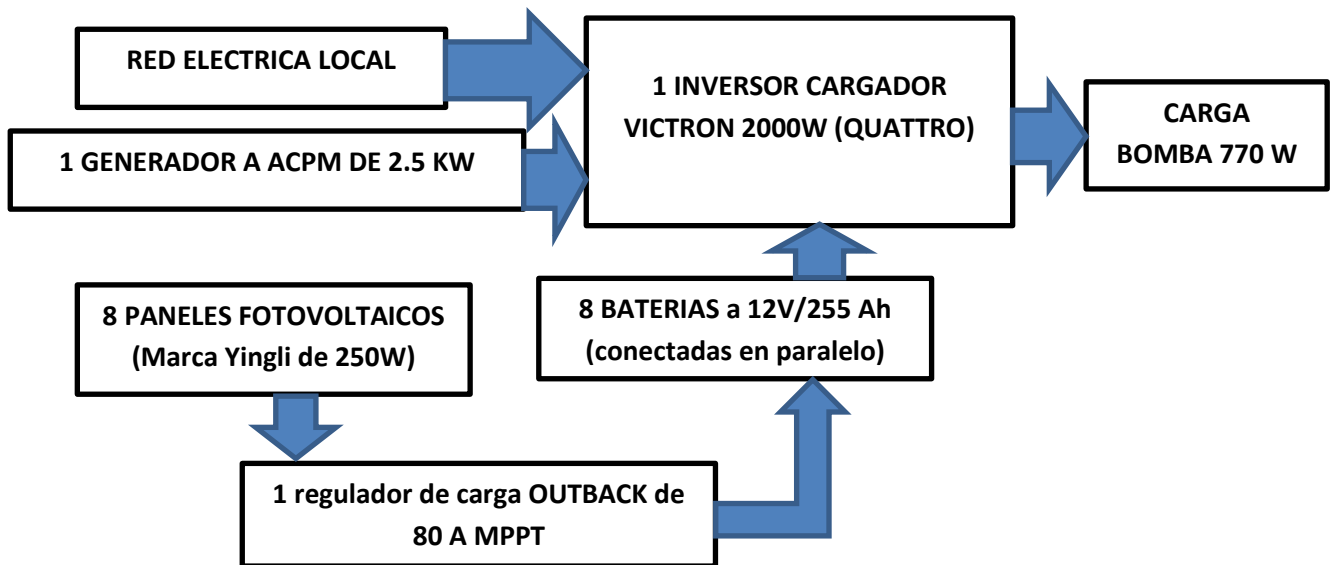
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

TOTAL OFERTA BASICA	19.596.854
IVA 16 %	3.135.496
TOTAL OFERTA	22.732.350

Fuente: Autor del proyecto

**B. Sistemas híbridos conectado a la red eléctrica (Paneles solares + regulador de carga + baterías + inversor cargador (QUATTRO) + generador a ACPM + red eléctrica.**

**Imagen 35. Diagrama del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto

**Tabla 27. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

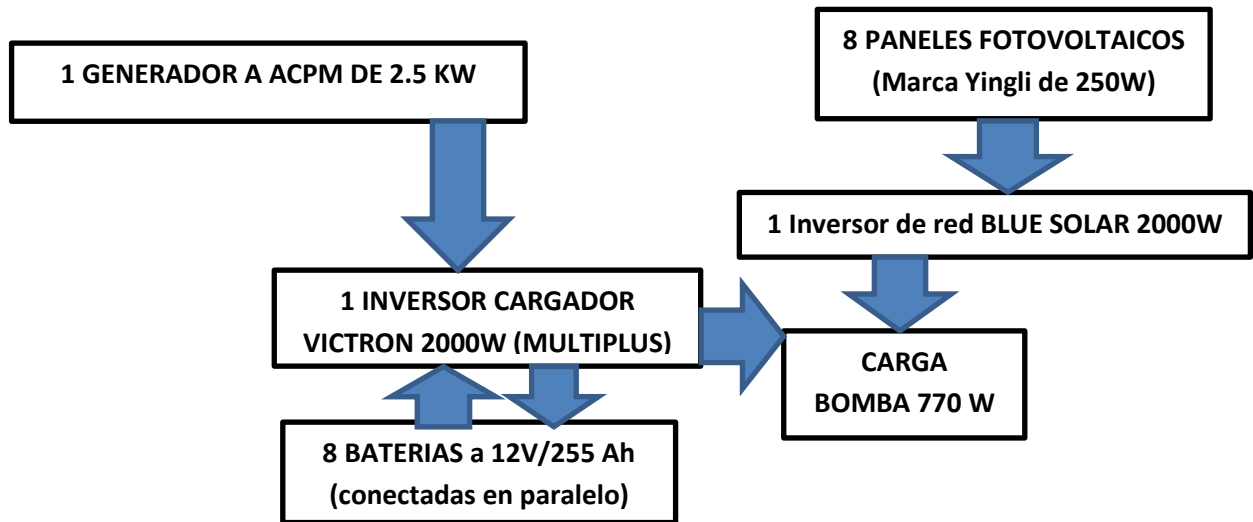
<b>CANT</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO UND</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
8	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.840.000
8	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	7.299.016
1	Controlador Outback MPPT 80 A	1.826.638	1.826.638
1	Inversor/Cargador 5000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON QUATTRO	5.900.000	5.900.000
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

<b>TOTAL OFERTA BASICA</b>	<b>21.796.854</b>
<b>IVA 16 %</b>	<b>3.487.496</b>
<b>TOTAL OFERTA</b>	<b>25.284.350</b>

Fuente: Autor del proyecto

**C. Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna (Paneles solares + inversor de red + baterías + inversor cargador (Multiplus) + generador a ACPM).**

**Imagen 36. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto

**Tabla 28. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
8	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.840.000
8	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	7.299.016
1	Inversor de conexión a red BLUE SOLAR 2000W	4.220.000	4.220.000
1	Inversor/Cargador 2000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON MULTIPLUS	3.700.000	3.700.000
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200

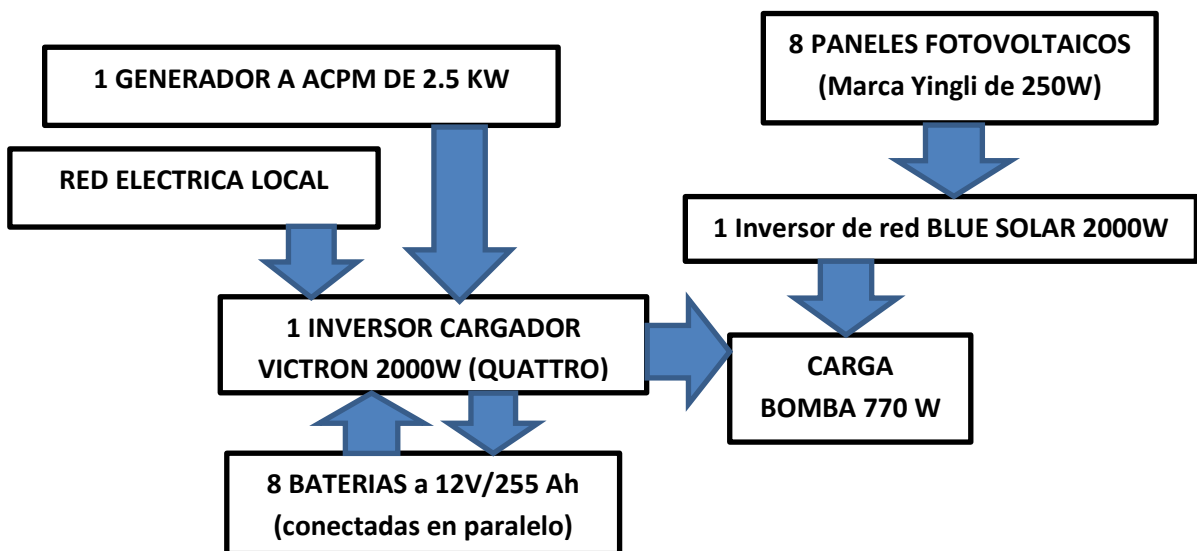
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

TOTAL OFERTA BASICA	21.990.216
IVA 16 %	3.518.434
TOTAL OFERTA	25.508.650

Fuente: Autor del proyecto.

**D. Sistemas híbridos con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica (Paneles solares + inversor de red + baterías + inversor cargador (QUATTRO) + generador a ACPM).**

**Imagen 37. Diagrama del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**



Fuente: autor del proyecto

**Tabla 29. Diseño y presupuesto del Sistema híbrido con conversión directa a corriente alterna conectado a la red eléctrica para una bomba con 1 HP / 120 V AC a 5.3 amperio, Monofásico, con un tiempo de encendido de 8 horas.**

CANT	DESCRIPCION	PRECIO UND	PRECIO TOTAL
8	Panel solar 250 W marca Yingli silicio Policristalino de 60 celdas	605.000	4.840.000
8	Batería AGM SELLADA 12V/255 Ah Marca Mtek	912.377	7.299.016
1	Inversor de conexión a red BLUE SOLAR 2000W	4.220.000	4.220.000
1	Inversor/Cargador 5000W/24VDC ONDA SENO PURA VICTRON QUATTRO	5.900.000	5.900.000
1	PROTECCION BATERIA BAJO VOLTAJE 40A VICTRON BP-40I	256.200	256.200
1	Extensión cable MC4, conectores MC4 macho/hembra + Cable solar 6mm	175.000	175.000
1	Generador Enermax motor honda 2.5KW (15 litros) planta a ACPM	1.500.000	1.500.000

<b>TOTAL OFERTA BASICA</b>	<b>24.190.216</b>
<b>IVA 16 %</b>	<b>3.870.434</b>
<b>TOTAL OFERTA</b>	<b>28.060.650</b>

Fuente: Autor del proyecto

## **5.6 ELABORAR UN MANUAL DE DISEÑO O GUÍA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR O FOTOVOLTAICA.**

Se realizaron las siguientes actividades:

1. Se les elaboro un Manual de diseño para la implementación de la energía fotovoltaica.

2. Se les entrego el libro: Guia tecnica de aplicacion para instalaciones de energias renovables - instalaciones fotovoltaicas - Gobierno de Canarias, consejeria de industria, comercio y nuevas tecnologias.

3. Explicación de la ley 1715 de 2014

4. Se les entrego el libro: la radiación solar del territorio Colombiano (MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA).

#### **5.6.1 manual de diseño para la implementación de la energía fotovoltaica.**

Se diseño un manual de diseño de sistemas fotovoltaicos, principalmente para sistemas autónomos, donde se explica paso a paso el procedimiento para la elaboración de un diseño fotovoltaico con su presupuesto.

También se explica claramente la utilización de la hoja de cálculo que se elaboró para la empresa SIHSA como herramienta de diseño de sus sistemas fotovoltaicos, debido a que se utilizara la herramienta de la hoja de cálculo de Excel para diseñar los sistemas fotovoltaicos. En el manual de diseño también se encuentra un ejemplo de diseño fotovoltaico autónomo explicado detalladamente.

El manual de diseño de sistemas fotovoltaicos se encuentra en el anexo K. (Manual de diseño para la implementación de la energía solar o fotovoltaica) que se encuentra en el CD de anexos.

**5.6.2 Se les entrego a la empresa el siguiente libro: Guia tecnica de aplicacion para instalaciones de energias renovables - instalaciones fotovoltaicas, Gobierno de Canarias, consejeria de industria, comercio y nuevas tecnologias.**

En este libro se explican detalladamente el tema de las instalaciones fotovoltaicas.

Se explican los componentes de una instalación fotovoltaica, los tipos de conexiones, su dimensionamiento (paneles solares, controlador de carga, baterías, inversor), los tipos de paneles que disponemos en el mercado y su fabricación.

Esta guía técnica explica todo el tema de instalaciones fotovoltaicas y sus aplicaciones; convirtiéndose en un libro guía para la empresa SIHSA. Este libro se solicitó directamente al gobierno de CANARIAS de España mediante un email y nos enviaron un archivo pdf del libro.

El libro se encuentra en pdf en el anexo L. (Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables - instalaciones fotovoltaicas) que se encuentra en el CD de anexos.

Los temas del libro son los siguientes:

## 1. DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

### 1.1. PREÁMBULO

### 1.2. SITUACIÓN ACTUAL EN ESPAÑA.

## 2. COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.

### 2.1. CÉLULAS Y PANELES FOTOVOLTAICOS.

#### 2.1.1 Funcionamiento

#### 2.1.2 Rendimiento.

#### 2.1.3 Tipos

#### 2.1.4 Parámetros de una célula solar

#### 2.1.5 Proceso de fabricación de las células monocristalinas

#### 2.1.6 El módulo fotovoltaico

### 2.2. ACUMULADORES.

#### 2.2.1 Conceptos Generales

#### 2.2.2 Carga del acumulador

- 2.2.3 Dimensionado
- 2.2.4 Acumuladores de gel
- 2.2.5 Acumuladores de níquel-cadmio
- 2.3. REGULADORES DE CARGA.
  - 2.3.1 Conceptos generales
  - 2.3.2 Regulador shunt
  - 2.3.3 Regulador serie
  - 2.3.4 Módulos fotovoltaicos autorregulados
- 2.4. OTROS EQUIPOS PARA USO EN LA INSTALACIÓN.
  - 2.4.1 Sistemas de medida y control
  - 2.4.2 Desconectores
  - 2.4.3 Interruptores horarios
  - 2.4.4 Temporizadores
  - 2.4.5 Convertidores continua-continua
  - 2.4.6 Convertidores de acoplamiento
  - 2.4.7 Convertidores continua-alterna
- 2.5. ESTRUCTURAS SOPORTE PARA PANELES FOTOVOLTAICOS.
  - 2.5.1 Conceptos generales
  - 2.5.2 Tipos de estructura
  - 2.5.3 Sombras entre filas de módulos fotovoltaicos
  - 2.5.4 Efectos de los agentes atmosféricos
- 3. CÁLCULO DE INSTALACIONES.
  - 3.1. INTERPRETACIÓN DE LAS TABLAS DE RADIACIÓN.
  - 3.2. CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.
  - FACTOR DE SEGURIDAD.
  - 3.3. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN.
  - 3.4. CÁLCULO DEL REGULADOR.
- 4. INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS CONECTADAS A LA RED ELÉCTRICA.
  - 4.1. CONCEPTOS GENERALES.

- 4.2. DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA CONECTADO A RED.
- 5. RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LAS INSTALACIONES.
  - 5.1. VENTA DE LA ENERGÍA PRODUCIDA EN INSTALACIONES CONECTADAS A LA RED.
    - 5.1.1 Instalaciones aisladas
    - 5.1.2. Instalaciones conectadas a la red con potencia inferior a 5 kWp
    - 5.1.3. Instalación conectada a la red de potencia superior a 5 kWp
    - 5.1.4 Gastos fiscales y de mantenimiento de la instalación
- 6. CLASIFICACIÓN DE INSTALACIONES DE ENERGÍA SOLAR FV.
  - 6.1. CLASIFICACIÓN POR APLICACIÓN.
  - 6.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU UTILIZACIÓN.
- 7. EJEMPLOS DE CÁLCULO DE INSTALACIONES.
  - 7.1. ELECTRIFICACIÓN DE UNA VIVIENDA RURAL.
  - 7.2. BOMBEO DE AGUA.
  - 7.3. ILUMINACIÓN DE UN PARQUE PÚBLICO.
- 8. LEGISLACIÓN APLICABLE EN EL ESTADO ESPAÑOL.
  - 8.1. NORMATIVA DE CARÁCTER GENERAL.
  - 8.2. NORMATIVA DE CARÁCTER ESPECÍFICO
  - 8.3. COMENTARIOS AL R.D. 2818/1998, DE 23 DE DICIEMBRE.
    - 8.3.1. Introducción
    - 8.3.2. Objetivos y ámbito del Real Decreto en lo relativo a la energía solar fotovoltaica.
    - 8.3.3. Competencias
    - 8.3.4. Procedimiento de presentación de solicitudes
    - 8.3.5. Registro Administrativo
    - 8.3.6. Condiciones de entrega de la energía eléctrica
    - 8.3.7. Criterios
    - 8.3.8. Régimen económico
  - 8.4. COMENTARIOS AL R.D. 1663/2000, DE 29 DE septiembre.

## 8.5. COMENTARIOS A LA NORMATIVA TERRITORIAL EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANARIAS.

8.5.1. Decreto 196/2000, de 16 de octubre

8.5.2. Orden de 27 de mayo de 2002

## 9. LEGALIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE CANARIAS.

9.1. AUTORIZACIÓN ADMINISTRATIVA.

9.2. INCLUSIÓN DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL RÉGIMEN ESPECIAL.

9.3. PUESTA EN MARCHA E INSCRIPCIÓN DEFINITIVA EN EL REGISTRO.

9.4. CONDICIONES DE ENTREGA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA GENERADA.

9.4.1. Punto de conexión a red

9.4.2. Contrato con Unelco-Endesa

9.4.3. Condiciones técnicas de conexión a la red

## 10. EMPRESAS DEL SECTOR FOTOVOLTAICO.

### **5.6.3 Ley 1715 de 2014**

Se expuso a la empresa SIHSA la nueva metodología sobre el tema de energía solar que empezó a aplicar Colombia a partir de Mayo del año 2014, expuesta en la ley 1715 de 2014 del gobierno en la que se expresa lo siguiente:

La Ley 1715 del 2014 establece el marco legal y los instrumentos necesarios para la promoción y aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía; a su vez fomenta la inversión, la investigación y el desarrollo de energías renovables.

Se da inicio al Fondo de Energías No Convencionales, orientado a financiar los programas de eficiencia energética. Además, se establece los incentivos para la inversión en generación de energías no convencionales para las empresas.

La Ley 1715 del 2014 busca establecer planes de actuación para fomentar el aprovechamiento energético de la biomasa agrícola y forestal, los residuos sólidos que no sean susceptibles de reutilización y reciclaje, el recurso eólico en proyectos de generación en Zonas No Interconectadas (ZNI), el potencial de la geotermia y la energía solar. A su vez, el Ministerio de Minas y Energía promueve el desarrollo de soluciones híbridas que combinen fuentes locales de generación eléctrica con fuentes diésel (hidroeléctricas y termoeléctricas) y minimicen el tiempo de funcionamiento de los equipos diésel en la prestación de servicio de energía para las zonas no interconectadas

Con esta norma, Colombia continúa dando pasos importantes en procura de un sistema energético más limpio, que involucre a las administraciones públicas; a las empresas privadas y a las autoridades locales, e incentive la fomentación de las fuentes no convencionales de energía con criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica.<sup>66</sup>

La ley completa 1715 del 13 de mayo del 2014 se encuentra en el anexo M (Ley 1715 de 2014) que se encuentra en el CD de anexos.

#### **5.6.4 Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana del territorio Colombiano.**

Se entregó en forma de libro, la radiación solar del territorio Colombiano (MAPAS DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL SOBRE UNA SUPERFICIE PLANA).

---

<sup>66</sup> Ministerio de minas y energía-república de Colombia, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].  
[http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?cargaHome=2&opcionCalendar=10&id\\_comunicado=988](http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?cargaHome=2&opcionCalendar=10&id_comunicado=988)

Una colección de 13 mapas, uno para cada mes del año y uno promedio anual; ilustra una aproximación de promedios anuales diarios de la radiación solar que incide por metro cuadrado de superficie horizontal sobre el territorio colombiano ( $\text{kwh/m}^2$ ).

Estos mapas ayudaran a la empresa SIHSA a determinar la radiación solar ( $\text{kwh/m}^2$ ) del territorio donde lleven a cabo sus proyectos. La radiación solar del territorio es un dato fundamental para diseñar los generadores fotovoltaicos (paneles solares) en los sistemas fotovoltaicos autónomos.

Los mapas de radiación solar global sobre una superficie plana del territorio Colombiano se encuentra en el anexo N. (Mapas de radiación solar global sobre una superficie plana del territorio Colombiano) que se encuentra en el CD de anexos

## **5.7 PORTAFOLIO CON DISTRIBUIDORES NACIONALES DE EQUIPOS PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.**

Se elaboró una base de datos de empresas en formato Word, donde se encuentra su información de contacto y de la empresa. A su vez se muestran los precios de los equipos fotovoltaicos que ofrecen, tales como: paneles solares, reguladores de carga, baterías e inversores.

Fueron anexadas a la base de datos 3 empresas nacionales, principalmente ubicadas en Bucaramanga, dando inicio al portafolio de distribuidores nacionales para la empresa SIHSA con el fin de buscar proveedores de equipos fotovoltaicos y alternativas económicas que conlleven a la empresa SIHSA a encontrar la mayor rentabilidad para sus clientes, buscando nuevos proveedores con precios de equipos que se ajusten a las necesidades de la empresa SIHSA.

Las empresas anexadas fueron las siguientes:

1. ERGEA
2. ERCO ENERGIA
3. HELIOTERMICA

El portafolio con distribuidores nacionales de equipos para instalaciones fotovoltaicas se encuentra en el anexo Q (PROVEEDORES) que se encuentra en el CD de anexos.

## 6. GLOSARIO

**POTENCIA (W):** es la rapidez con la cual se transforma la energía, su unidad de medida es el Watt (o Vatio); Es decir un Watt es un Joule consumido en un segundo:  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ .

**ENERGÍA (KWh):** es una unidad de potencia expresada en un tiempo específico, la cantidad de energía capaz de producir y sustentar una cierta potencia durante un determinado tiempo. Así, un vatio-hora es la energía necesaria para mantener una potencia constante de un vatio (1 W) durante una hora, y equivale a 3600 julios.

**FOTOVOLTAICOS:** corresponde a un dispositivo sensible a la luz, conformado por varios metales, estos desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos, convierten energía luminosa en energía eléctrica; Formados por celdas fabricadas a base de silicio puro con adición de impurezas de ciertos elementos químicos.<sup>67</sup>

**CONEXIÓN EN PARALELO:** La conexión en paralelo de dos baterías iguales permite tener una salida de dos veces la capacidad (amperios), manteniendo el mismo voltaje Nominal.<sup>68</sup>

**CONEXIÓN EN SERIE:** La conexión en serie de dos baterías iguales permite obtener una salida doble de la tensión nominal, manteniendo la misma capacidad.<sup>69</sup>

---

<sup>67</sup> Estudio técnico-económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali, en línea [información consultado el 12 de noviembre de 2014]. Disponible en internet: <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/5219/1/TME01603.pdf>.

<sup>68</sup> Mpptsolar-conexión en serie y en paralelo de varias baterías, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. <http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>.

<sup>69</sup> *Ibíd.*

**CO<sub>2</sub>:** El dióxido de carbono, es uno de los gases de efecto invernadero que contribuyen a que la Tierra tenga una temperatura tolerable para la biomasa. Por otro lado, un exceso de dióxido de carbono provoca el fenómeno conocido como efecto invernadero, reduciendo la emisión de calor al espacio y provocando un mayor calentamiento del planeta.<sup>70</sup>

**DOPAR:** Se define como el proceso intencional de agregar impurezas en un semiconductor extremadamente puro con el fin de cambiar sus propiedades eléctricas.

---

<sup>70</sup> Wikipedia-dióxido de carbono, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido\\_de\\_carbono\\_](http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono_)

## 7. APORTE AL CONOCIMIENTO

Siguiendo los pasos del manual de diseño para la implementación de la energía fotovoltaica, la utilización de la hoja de cálculo de Excel y el libro de los mapas de radiación solar del territorio Colombiano, la empresa SIHSA se encuentra capacitada para diseñar y presupuestar cualquier sistema fotovoltaico en Colombia, ya sea autónomo, conectado a la red eléctrica local o conectado a la red con banco de baterías; para llevar a cabo los tratamientos en las plantas de aguas potables y residuales en los sectores rurales alejados de los sistemas convencionales de energía eléctrica sin necesidad de depender de empresas externas para el estudio y diseño de soluciones fotovoltaicas,

Los diseños de los modelos según el consumo se convertirán en una herramienta de fácil acceso para la empresa SIHSA, el cual ilustra los servicios y las conexiones que ofrece SIHSA LTDA en energía fotovoltaica; a su vez busca la mejor opción para el cliente basándose en la inversión que esté dispuesto a realizar. Cubre un dimensionamiento que va de 1 Wh/día hasta 12388 Wh/día.

El libro de guía técnica de aplicación para instalaciones fotovoltaicas del Gobierno de Canarias y la investigación que se realizó sobre la recopilación de modelos y equipos existentes en el mercado para las soluciones fotovoltaicas se convertirán en textos guías para la empresa SIHSA para sus empleados que empiecen a incursionar o profundizar en el tema de energía fotovoltaica, debido a que en él se explica claramente el tema y los equipos que se implementan para las instalaciones fotovoltaicas.

La base de datos de empresas en formato Word, se convertirá en una herramienta muy importante para la empresa SIHSA para la búsqueda de proveedores de equipos fotovoltaicos, con el fin de buscar alternativas económicas que conlleven a la empresa SIHSA a encontrar la mayor rentabilidad para sus clientes.

## 8. RECOMENDACIONES A LA EMPRESA

Las diferencias entre los paneles monocristalinos y policristalinos no son tan grandes, por lo tanto para tomar la decisión de qué panel comprar, se recomienda mirar el precio (\$) del panel fotovoltaico antes que cualquier otra cosa, siempre y cuando no reduzca demasiado el espacio a utilizar por los paneles, ya que si es así, se recomienda conseguir la mejor relación  $W/m^2$  que se pueda en el panel. Y para eso, se debe revisar el valor del porcentaje (%) de rendimiento de cada uno de los paneles que se encuentra en la ficha técnica de cada panel fotovoltaico.

En el momento de escoger un regulador de carga para un sistema fotovoltaico, lo más adecuado es elegir uno que esté por encima de la capacidad que requiere el sistema (10%) y configurado con la tecnología MPPT (seguimiento del punto máximo de potencia) porque permite aumentar considerablemente la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos principalmente de los paneles solares, lo que garantiza una mayor producción de electricidad limpia y un gran beneficio para nuestra salud y el medio ambiente.

En las baterías se debe rechazar la posibilidad de acoplar baterías en paralelo, ya que disminuye la confiabilidad. En general, el uso de más de dos baterías en paralelo se considera peligroso, no así cuando estas mismas baterías se acoplan en serie. Lo máximo que se puede conectar en paralelo son 3 baterías.

Utilizar la batería AGM 12V DC/255 Ah para los diseños fotovoltaicos aislados, debido a que es la batería de 12 Voltios de corriente continua (DC) con mayor capacidad de corriente que dispone el mercado y la más utilizada para los diseños fotovoltaicos en Colombia.

Cuando tengamos sistemas fotovoltaicos que implementen baterías, lo ideal es implementar un inversor o un regulador de carga que tenga la capacidad de

monitoriar el voltaje de las baterias, con el fin de pronosticas rapidamente las fallas en un sistema fotovoltaico, es decir, al estar monitoriando el voltaje de las baterias se podra dianosticar rapidamente si el sistema de baterias esta fallando en los sistemas fotovoltaicos.

A la hora de dimensionar el inversor se debe tener en cuenta la potencia que demanda la carga de corriente alterna (AC), de forma que se elegirá un inversor cuya potencia nominal sea algo superior (10%) a la máxima. Si se necesita una tensión de 220V AC se recomienda comprar un inversor que tenga esa opción o si no comprar un transformador 110V-220V. Llegado el caso de necesitar un sistema trifásico se recomienda buscar un Inversor DC a AC que este configurado en modo trifásico. Para sistemas Monofásicos se necesitaran solo un Inversor DC a AC, pues solo se maneja una fase.

Para sistemas pequeños se recomienda utilizar una alimentacion en las baterias de 12 y 24 voltios en corriente continua (DC), preferiblemente 24 Voltios y para sistemas grandes se recomienda utilizar una alimentacion en las baterias de 48 Voltios en corriente continua (DC).

Para sistemas conectados a la red se recomienda utilizar microinversores principalmente el micro inversor Enphase M215, en vez de un inversores de red, porque los micro inversores Enphase M215 son mas economicos y permiten el monitoreo de paneles por separado, a su vez mantienen a cada panel funcionando al maximo rendimiento (MPPT), optimizando la produccion energetica.

Las instalaciones fotovoltaicas requieren un mantenimiento mínimo y sencillo, que se reduce a las siguientes operaciones:

Módulos fotovoltaicos: requieren un mantenimiento mínimo constante, debido a su propia configuración, no tienen partes móviles; las celdas y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector. Es conveniente hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año, asegurándose de que las conexiones entre los paneles y el regulador de carga estén bien ajustadas y libres de corrosión. En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, simplemente utilizar agua.

Regulador de carga: la simplicidad del equipo reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las fallas sean muy escasas. Las operaciones que se pueden realizar son las siguientes: observación visual del estado y funcionamiento del regulador; comprobación de las conexiones y cableados del equipo.

Batería: es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración. Las operaciones que se pueden realizar son las siguientes:

Comprobación del nivel del electrolito (cada 6 meses aproximadamente): debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de "Máximo" y "Mínimo". Si no existen estas marcas, el nivel correcto del electrolito es de 20 mm por encima del protector de separadores. Si se observa un nivel inferior en alguno de los elementos, se deben llenar con agua destilada. No debe llenarse nunca con ácido sulfúrico. También debe comprobarse el estado de los terminales de la batería; debe limpiarse de posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.

## 9. CONCLUSIONES

El actual cambio climático debido al incremento de los gases de efecto invernadero, sugiere que es tiempo de cambiar la forma como se consume y se produce la electricidad. Por ello, es importante empezar a utilizar fuentes renovables, como la energía solar y con esta el aprovechamiento de los sistemas solares fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica domiciliaria.

Al producir electricidad por medio de paneles fotovoltaicos, se reduce el consumo de combustibles fósiles que son utilizados en la actualidad para la producción de electricidad, de esta manera se deja de arrojar una cantidad importante de gases contaminantes al medio ambiente, reduciendo en una forma apropiada el crecimiento del efecto invernadero.

Una de las ventajas de los sistemas fotovoltaicos, es que después de su instalación, la producción de energía es de manera inmediata, ocasionando que el sistema presente beneficios desde el momento que este se instala y a lo largo de su vida útil. Permitiendo así el aprovechamiento de una fuente inagotable. Además lo sencillo de su instalación, hace que la reubicación de estos sistemas pueda ser llevada a cualquier residencia permitiendo así la conexión del sistema en casi cualquier lugar donde se tenga radiación solar.

Con la instalación de sistemas fotovoltaicos, la forma como producimos energía no afecta en el costo de la misma, razón por la cual al pasar el tiempo y llegar al periodo del retorno de la inversión, que para este caso es de 25 años, se seguiría aprovechando gratuitamente la energía que el sistema fotovoltaico genera.

De los tipos de sistemas solar analizados anteriormente (sistemas fotovoltaicos aislado o autónomo y sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica local), se prestan algunas ventajas y desventajas.

Por ejemplo; el sistema conectado a la red presenta la posibilidad de vender energía eléctrica en momentos que la generación es superior al consumo de la vivienda, igualmente el aislado permite auto abastecerse de energía en horas de baja radiación solar o de nula como en horas de la noche, contando así con una autonomía de dos días y cero dependencia de la red eléctrica, sin embargo este último presenta un incremento en la inversión a la hora de diseñar y operar el sistema, específicamente por los bancos de baterías, los cuales representan la mayor inversión de los sistemas fotovoltaicos aislados.

La desventaja del sistema conectado a la red eléctrica es que requiere la utilización de contadores bidireccionales, los cuales son necesarios para la implementación de este tipo de sistemas. Por otro lado, los sistemas aislados, permite operar el sistema solamente en horas del día, donde la radiación solar es suficiente.

Cuando se tiene altos costos en la facturación eléctrica, la implementación de un sistema conectado a la red representa ventajas inmediatas, logrando una reducción en la factura de energía eléctrica, específicamente en las horas del día, donde la radiación del sol es apropiada para la producción de energía eléctrica.

Los paneles policristalinos y monocristalinos son más usados que los paneles de silicio amorfo en las instalaciones fotovoltaicas, llegado el caso de que una celda fotovoltaica en los paneles monocristalinos o policristalinos falle o se dañe, el panel sigue funcionando, pero esto no sucede en los paneles de silicio amorfo.

Los paneles de silicio amorfo son más livianos, pequeños y más resistentes al agua y a la suciedad que los paneles policristalinos y monocristalinos.

La energía fotovoltaica tiene muchísimas aplicaciones, en sectores como: electrificación de viviendas rurales y urbanas, bombeo de agua, tratamiento de

aguas, señalizaciones (marítima, ferroviaria, terrestre y aérea), alumbrado público, conexión a la red eléctrica, sistemas de telecontrol vía satélite, detección de incendios y sistemas para generar ahorro energético en sistemas residenciales, comerciales e industriales.

La energía fotovoltaica tiene tantas aplicaciones como pueda tener la electricidad.

En conclusión; la energía fotovoltaica es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energías renovables - instalaciones fotovoltaicas” Gobierno de canarias
- Atlas de Radiación solar de Colombia - República de Colombia.
- Richard N. Chapman. Sizing Handbook for stand alone photovoltaic / storage systems. Sandia National Laboratories. April 1987
- M. A. Egido, E. Lorenzo. The sizing of stand alone pv systems: a review and proposed Method. Solar Energy Materials and Solar Cells 26 (1992) 51-69.
- E. Lorenzo et al. Electricidad Solar. Progensa. 1994.
- M. Sidrach-de-Cardona, Ll. Mora López. A simple model for sizing stand alone photovoltaic Systems. Solar Energy Materials and Solar Cells 55 (1998) 199-214.
- M. Sidrach-de-Cardona, Ll. Mora López. A general multivariate qualitative model for sizing Stand alone photovoltaic systems. Solar Energy Materials and Solar Cells 59 (1999) 185-197.
- L. Barra, S. Cataloni, F. Fontana, F. Lavorante. Solar Energy 33. 6. 1984. 509-514.
- B. Bartoli, V. Cuomo, F. Fontana, C. Serio, V. Silvestrini. Applied Energy 18. 1984. 37-47.
- Luque y Hedegeus. Handbook of photovoltaic science and engineering. John Wiley and Sons Ltd. 2003.

## Web Grafía

Ciencias de la tierra y del medio ambiente: Libro electrónico, Energía solar [en línea] Pamplona. Navarra España en línea [consultado 12 de noviembre de 2014]. <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/150EnSolar.htm>.

Energía solar- interconectados a red, en línea [información consultado 12 de noviembre de 2014] [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

Estudio técnico-económico para la implementación masiva de sistemas solares fotovoltaicos para los estratos cinco y seis de la ciudad de Cali en línea [información consultado el 12 de noviembre de 2014]. Disponible en internet: <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/5219/1/TME01603.pdf>.

Greenenergylatinoamerica en línea [información consultado el 16 de agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.greenenergy-latinamerica.com/es/energias-renovables/energia-solar-solar-fotovoltaica-197>.

Guía técnica de aplicaciones para instalaciones de energía renovable- instalaciones fotovoltaica, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014]. [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307\\_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf).

DeltaVolt-energia renovable, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://deltavolt.pe/baterias>.

Diario oficial-república de Colombia, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014]. <http://www.comunidadcontable.com/BancoMedios/Imagenes/ley%201715%20de%202014.pdf>.

Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos-curso de energía solar fotovoltaica CIEMAT, universidad de Jaen, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. <http://manuelberaun.files.wordpress.com/2011/12/dimensionado-de-sfv-autonomos.pdf>.

Inicio energía solar.BuenasTareas.com, en línea [información consultado el 16 de agosto de 2014] Disponible en internet: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Inicio-Energia-Solar/3475282.html>

Inversores monofásicos, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://es.slideshare.net/hibarrap/inversor-monofasico>.

Ergea-Inversores cargadores, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. <http://www.ergea.com.co/index.php/ct-menu-item-21/ct-menu-item-23/ct-menu-item-29>.

Enecsys- microinversores, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. <http://es.enecsys.com/products/micro-inverter-technology/>.

Jardín Solar, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. <http://jardin-solar.blogspot.com/2012/11/convertidores-de-corriente-que.html>

Ministerio de minas y energía-república de Colombia, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].  
[http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?cargaHome=2&opcionCalendar=10&id\\_comunicado=988](http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?cargaHome=2&opcionCalendar=10&id_comunicado=988).

Mpptsolar, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://www.mpptsolar.com/es/regulador-de-carga-solar-mppt.html>.

Mpptsolar, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://www.mpptsolar.com/es/como-elegir-regulador-de-carga-solar.html>

Mpptsolar-conexión en serie y en paralelo de varias baterías, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. <http://www.mpptsolar.com/es/baterias-serie-paralelo.html>.

Página web de SIHSA, en línea [información consultado el 16 de agosto de 2014]. Disponible en internet: <http://www.sihsa.co>

Solartronic-preguntas frecuentes, en línea [información consultado 16 de agosto de 2014]. [http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas\\_Frecuentes/](http://www.solartronic.com/Ayuda/Preguntas_Frecuentes/).

Solar technology el salvador energía solar, en línea [información consultado 12 de noviembre de 2014]. <http://technologysolar.blogspot.com/2009/12/que-impacto-ambiental-tiene-la-energia.html>.

Solarweb.net, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. disponible en la web <http://www.solarweb.net/wiki/Baterias-fotovoltaicas-Nivel-basico>.

Wikipedia-dióxido de carbono, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido\\_de\\_carbono](http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono).

Wikipedia-santa rosa del sur, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Santa\\_Rosa\\_del\\_Sur](http://es.wikipedia.org/wiki/Santa_Rosa_del_Sur).

Wikipedia-inversor electrónica, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web [http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor\\_\(electr%C3%B3nica\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica)).

Wikipedia, en línea [información consultado 16 de octubre de 2014].disponible en la web [http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n\\_por\\_ancho\\_de\\_pulsos](http://es.wikipedia.org/wiki/Modulaci%C3%B3n_por_ancho_de_pulsos).

## **ANEXOS**

CD Adjunto