



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.**

## **Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE  
GENERACIÓN DISTRIBUIDA AISLADA DE LA RED PARA  
AUTOCONSUMO CON SISTEMA DE ALMACENAMIENTO EN UNA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS Y ANÁLISIS DE  
VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA”**

### **INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN POTENCIA**

Presentada por:

**ISRAEL BENJAMÍN ORELLANA MARTÍNEZ**

**GABRIEL ALFONSO QUIMIS CASTRO**

GUAYAQUIL - ECUADOR

2015

## **AGRADECIMIENTO**

Le doy gracias a Dios por todo lo que ha dado a mi familia quien me viene apoyando desde un principio especialmente a mi madre quien siempre creyó en mí y depósito todo su amor y confianza, a mi padre que tuvo paciencia de apoyarme en todo y nunca abandonarme en mis estudios, también a mi esposa y a mi hija quienes son el motor que me impulsa a seguir adelante y no desfallecer en toda meta que me proponga.

### **Israel Benjamín Orellana Martínez**

Agradezco a Dios por sus bendiciones, a mi padre por su apoyo incondicional y haber depositado su confianza en mí, también a mis profesores por compartir sus experiencias, conocimientos y poder cumplir mi meta propuesta.

### **Gabriel Alfonso Quimis Castro**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi madre Rosa Martínez Ordoñez quien siempre creyó en mí y me dio su apoyo incondicional, a mi padre Franklin Orellana Cañarte quien sin él no hubiera alcanzado esta meta y a mi hija Emily Orellana Garofalo quien es mi alegría y motivación para no decaer nunca.

### **Israel Benjamín Orellana Martínez**

Dedico este trabajo a mi Padre Ing. Alfonso Quimis quien me apoyo en este largo caminar y supo creer en mis destrezas y capacidades en poder lograr cumplir mi meta. A los Ingenieros Gustavo Bermúdez, Jorge Chiriboga, Jorge Flores y Don Rufino Assan pilar fundamental en la carrera y compartir sus conocimientos y experiencias. A mis amigos y persona especial por compartir con ellos momentos de preocupación, estudios, alegrías, tristezas.

### **Gabriel Alfonso Quimis Castro**

## **TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

---

**Ing. Jorge Montealegre García**

**PROFESOR DE LA MATERIA DE GRADUACION**

---

**Ing. Ángel Recalde Lino**

**PROFESOR DELEGADO DE LA UNIDAD ACADEMICA**

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de este informe, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma la ESCUELA

**SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”**

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

---

**Israel Benjamín Orellana Martínez**

---

**Gabriel Alfonso Quimis Castro**

## RESUMEN

En este presente informe se analiza la opción de realizar una instalación fotovoltaica aislada en una vivienda unifamiliar en el Recinto El Achiote en la Provincia del Guayas con el propósito de dar a conocer la viabilidad técnica y económica de la instalación.

En el diseño de la instalación fotovoltaica se procedió a realizarse mediante el método del rendimiento global (Performance Ratio), con el cual se obtuvo el número total de paneles fotovoltaicos. Se clasificó en dos tipos de consumo eléctrico denotados como consumo bajo y medio con la finalidad de dar servicio eléctrico con la opción de seleccionar dos grados de electrificación.

Como resultado en la viabilidad técnica se encontró con toda la disponibilidad de los recursos tanto de mano de obra como en materiales para la puesta en marcha de la instalación fotovoltaica; por otro lado en la viabilidad económica se utilizó el método beneficio costo que demostró que la instalación fotovoltaica es la más económica comparadas con dos alternativas de suministro eléctrico; como es la opción de instalar, una línea de media

tensión hasta el lugar de dimensionamiento, y la de poner un generador eléctrico a combustión interna.

Con la información propuesta para la realización de la instalación fotovoltaica a una vivienda unifamiliar se llegó a la conclusión que es más conveniente la instalación de este tipo de sistema, para los dos grados de electrificación propuestos, la cual ayudaría a muchos hogares donde no disponen aún de un servicio eléctrico.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA .....	III
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA .....	V
RESUMEN .....	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
INTRODUCCIÓN .....	XIX
CAPÍTULO 1 .....	1
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	7
1.3.1. Objetivos Generales.....	7
1.3.2. Objetivos Específicos .....	7
1.4. METODOLOGÍA .....	8
CAPÍTULO 2.....	10
MARCO TEÓRICO .....	10

2.1.	ENERGÍAS RENOVABLES .....	10
2.2.	TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES .....	11
2.2.1.	Energía hidráulica .....	11
2.2.2.	Energía Solar .....	12
2.2.3.	Energía Eólica.....	13
2.2.4.	Energía Geotérmica .....	14
2.2.5.	Energía Biomasa.....	16
2.2.6.	Energía Mareomotriz.....	17
2.3.	ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR .....	18
2.3.1.	Tipos de Radiaciones.....	18
2.3.2.	Movimiento del Sol .....	19
2.3.3.	Radiación Solar en el Ecuador.....	22
2.4.	GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR.....	24
2.4.1.	Termoeléctrica .....	24
2.4.1.	Fotovoltaico.....	26
2.5.	TIPOS DE CELULAS SOLARES .....	29
2.6.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO FOTOVOLTAICO .....	31
2.6.1.	Efecto Fotoeléctrico .....	31
2.6.1.	Circuito equivalente de la célula solar .....	34
2.6.2.	Funcionamiento de una célula solar.....	35
2.7.	PANEL FOTOVOLTAICO .....	38

2.7.1. Parámetros.....	38
2.7.2. Curvas de los Módulos.....	41
2.8. SOMBRAS EN LAS CÉLULAS.....	42
2.9. COMPONENTE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO.....	43
2.9.1. Acumuladores de energía .....	43
2.9.2. Reguladores.....	51
2.9.3. Conversores.....	55
2.9.4. Elementos de protección.....	59
CAPÍTULO 3.....	64
DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN .....	64
3.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE DIMENSIONAMIENTO.....	64
3.2. UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN .....	65
3.3. MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO .....	66
3.3.1. Cálculos de los Consumos Diarios .....	67
3.3.4. Corriente y ángulo de inclinación.....	70
3.3.5. Dimensionamiento del generador .....	71
3.3.6. Dimensionamiento de la batería .....	76
3.3.7. Dimensionamiento del controlador de carga .....	79
3.3.8. Dimensionamiento del inversor .....	80
3.3.9. Cableado del sistema.....	82
3.3.10. Protección del sistema.....	85
3.4. SIMULACIÓN EN PVSYST V5.2.....	87

CAPÍTULO 4.....	88
ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA .....	88
4.1. COSTOS .....	88
4.1.1. Costos inicial + instalación.....	89
4.1.2. Costo de operación y mantenimiento.....	90
4.1.3. Costos de reposición de partes o piezas .....	90
4.2 ANALISIS BENEFICIO / COSTO INCREMENTAL .....	90
4.3. COSTOS INICIALES GENERALES .....	92
4.3.1. Costo inicial sistema fotovoltaico .....	92
4.3.2. Costo inicial para Línea de Media Tensión.....	93
4.3.3 Costo Inicial Generadores a combustible .....	94
4.4. ANALISIS B/C INCREMENTAL BAJO CONSUMO Y MEDIO CONSUMO.....	95
4.4.1. Análisis B/C entre Línea de Media Tensión y Sistema FV .....	95
4.4.2. Análisis B/C entre Generador a combustión y Sistema FV.....	97
CONCLUSIONES .....	99
RECOMENDACIONES.....	103
ANEXO 1 .....	108
DATOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	108
ANEXO 2 .....	127
DATOS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA.....	127
ANEXO 3 .....	135

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACION.....	135
ANEXO 4 .....	145
DATOS DE LOS COMPENENTES FOTOVOLTAICOS .....	145
BIBLIOGRAFÍA.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1</b> Componentes de la radiación solar.....	19
<b>Figura 2. 2</b> Movimiento elíptico de la tierra alrededor del Sol .....	20
<b>Figura 2. 3</b> Angulo de la altura solar .....	21
<b>Figura 2. 4</b> Angulo de la azimut solar.....	21
<b>Figura 2. 5</b> Concentrador cilindro-parabólico. ....	25
<b>Figura 2. 6</b> Concentrador de receptor central.....	26
<b>Figura 2. 7</b> Clasificación de los sistemas fotovoltaicos. ....	26
<b>Figura 2. 8</b> Sistema de generación aislada. ....	27
<b>Figura 2. 9</b> Sistema de generación conectada a la red eléctrica.....	28
<b>Figura 2. 10</b> Sistema de generación híbridos.....	29
<b>Figura 2. 11</b> Celda Monocristalina.....	30
<b>Figura 2. 12</b> Celda Policristalino.....	30
<b>Figura 2. 13</b> Celda de Película Delgada.....	31
<b>Figura 2. 14</b> Corriente de iluminación y corriente del diodo en una célula solar con carga. ....	33
<b>Figura 2. 15</b> Modelo eléctrico de una célula solar real. ....	34
<b>Figura 2. 16</b> Curva corriente-tensión y potencia-tensión de una célula solar ( $T_a=20^{\circ}\text{C}$ y $G=800\text{ W/m}^2$ ). ....	37
<b>Figura 2. 17</b> Curva corriente-voltaje al incrementar la irradiancia de una célula solar ( $T_a=20^{\circ}\text{C}$ ). ....	38

<b>Figura 2. 18</b> Curva potencia-tensión al incrementar irradiancia de una célula solar ( $T_a=20^\circ\text{C}$ ). .....	39
<b>Figura 2. 19</b> Curva Corriente-Voltaje al incremento de la temperatura de una célula solar ( $G=800\text{ W/m}^2$ ). .....	40
<b>Figura 2. 20</b> Curva potencia-tensión al incremento de la temperatura de la célula solar ( $G=800\text{ W/m}^2$ ). .....	40
<b>Figura 2. 21</b> Diodos de protección en un panel fotovoltaico. ....	42
<b>Figura 2. 22</b> Batería de plomo-acido (Monoblock). .....	45
<b>Figura 2. 23</b> Batería tipo Gel. ....	47
<b>Figura 2. 24</b> Batería de Níquel-Cadmio. ....	48
<b>Figura 2. 25</b> Batería de Iones de Litio. ....	50
<b>Figura 2. 26</b> Conexión serie de baterías con vasos de 2 V. ....	50
<b>Figura 2. 27</b> Conexión en paralelo de baterías con vasos de 2 V. ....	51
<b>Figura 2. 28</b> Conexión de baterías en serie y paralelo con vasos de 2 V. ...	51
<b>Figura 2. 29</b> Esquema de bloque del regulador shunt. ....	53
<b>Figura 2. 30</b> Situación de un convertidor dc – dc dentro de un circuito FV. .	56
<b>Figura 2. 31</b> Situación de un convertidor dc–ca dentro de un circuito FV. ...	58
<b>Figura 2. 32</b> Esquema de bloque de un inversor dc-ac. ....	58
<b>Figura 2. 33</b> Componentes básicos de un interruptor electromecánico. ....	60
<b>Figura 2. 34</b> Fusibles para protección de sistemas fotovoltaicos. ....	62
<b>Figura 2. 35</b> Esquema de conexión a tierra de estructura y marco metálico.	63
<b>Figura 3. 1</b> Ubicación de la instalación del sistema fotovoltaico autónomo..	65

**Figura 3. 2** Diagrama de la vivienda a instalar SFA y la ubicación de los  
componentes a instalar ..... 66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1</b> Valores de radiación solar global para las provincias del país y sus ciudades más importantes. Fuente: NEC 11.....	23
<b>Tabla 2. 2</b> Valor promedio mensual de radiación solar global para Quito y Guayaquil. Fuente: NEC 11. ....	24
<b>Tabla 2. 3</b> Característica de las baterías plomo-acido.....	46
<b>Tabla 2. 4</b> Característica de las baterías de Níquel-Cadmio. ....	48
<b>Tabla 3. 1</b> Indicador del nivel de tensión con respecto a la potencia demandada. ....	68
<b>Tabla 3. 2</b> Datos de consumo eléctrico bajo.....	69
<b>Tabla 3. 3</b> Datos de consumo eléctrico medio.....	69
<b>Tabla 3. 4</b> Demanda estimada de energía para los dos consumos.....	69
<b>Tabla 3. 5</b> Horas de sol pico y corriente de diseño.....	71
<b>Tabla 3. 6</b> Rendimiento global de las instalaciones.....	75
<b>Tabla 3. 7</b> Número total de paneles para la instalación.....	75
<b>Tabla 3. 8</b> Capacidades del grupo generador.....	75
<b>Tabla 3. 9</b> Características del panel fotovoltaico. ....	76
<b>Tabla 3. 10</b> Tiempo de operación y régimen de descarga.....	78
<b>Tabla 3. 11</b> Capacidad de las baterías diaria y estacional. ....	78
<b>Tabla 3. 12</b> Números totales de baterías a instalar. ....	78
<b>Tabla 3. 13</b> <i>Capacidad útil del banco de baterías</i> .....	78
<b>Tabla 3.14</b> Características de la batería.....	79

<b>Tabla 3. 15</b> Número de reguladores a utilizar.....	80
<b>Tabla 3. 16</b> Característica del controlador de carga.....	80
<b>Tabla 3. 17</b> Número de inversores requeridos.....	81
<b>Tabla 3. 18</b> Característica del inversor.....	81
<b>Tabla 3. 19</b> Calibre y tipo de conductor utilizado en el consumo bajo.....	84
<b>Tabla 3. 20</b> Número total de conductores y tubería para consumo bajo.....	84
<b>Tabla 3. 21</b> Calibre y tipo de conductor utilizado en el consumo medio.....	84
<b>Tabla 3. 22</b> Número total de conductores y tubería para consumo medio.....	85
<b>Tabla 3. 23</b> Protección para la instalación de consumo bajo.....	86
<b>Tabla 3. 24</b> Protección para la instalación de consumo medio.....	87
<b>Tabla 4. 1</b> Costos para el consumo bajo.....	93
<b>Tabla 4. 2</b> Costos para el consumo medio.....	93
<b>Tabla 4. 3</b> Costos de la Línea de Media Tensión.....	94
<b>Tabla 4. 4</b> Costos del generador de 350 W para consumo bajo.....	95
<b>Tabla 4. 5</b> Costos del generador de 1000 W para consumo medio.....	95
<b>Tabla 4. 6</b> Gradiente entre Línea de M.T y FV para bajo consumo.....	96
<b>Tabla 4. 7</b> Gradiente entre Línea de M.T y FV para medio consumo.....	96
<b>Tabla 4. 8</b> Resultado B/C incremental entre Línea de M.T y FV para bajo y medio consumo.....	96
<b>Tabla 4. 9</b> Gradiente entre Generador a combustión y FV bajo consumo....	97
<b>Tabla 4. 10</b> Gradiente entre Generador a combustión y FV para medio consumo.....	97

<b>Tabla 4. 11</b> Resultado B/C incremental entre Generador a combustión y FV para bajo y medio consumo.....	97
--	----

## INTRODUCCIÓN

Las energías alternativas hoy en día han ganado fuerza con el paso de los años ya que posee unas series de ventajas significativas que la hacen ser ya implementadas alrededor el mundo. Como es el caso de la energía fotovoltaica que ha generado gran acogida tanto para su comercialización y utilización para autoconsumo en lugares remotos, porque es de fácil instalación y requiere un mínimo mantenimiento.

Con la implementación de este tipo de sistema de generación fotovoltaica traerá fuentes de trabajo y múltiples beneficios al medio ambiente entre estos la disminución del efecto invernadero en el planeta.

La energía fotovoltaica ha dado grandes beneficios a muchas personas de bajo recursos las cuales no lograban poseer el servicio eléctrico, debido a la ubicación remota que se encuentran, pero existen algunos inconvenientes a la hora de realizar su implementación, a causa de su alto costo inicial que posee, la cual se ve reducida en los costos que es reflejado en los años de vida útil de la instalación.

Se dará a conocer la situación actual del Ecuador y su cambio de la matriz productiva que enfrentará con la inclusión de sistemas de generación de energías alternativas como es la fotovoltaica, la importancia de estos en la ayuda de la electrificación en viviendas remotas.

Se explicará los conceptos y aplicaciones de los diferentes componentes que conforman el sistema fotovoltaico, el método de dimensionamiento utilizado como es el rendimiento global, el análisis de viabilidad técnica y económica para determinar la posibilidad y la conveniencia de la utilización de este tipo de sistema, todo esto para dos grados de electrificación.

Adicionalmente al cálculo del diseño se utilizará el programa PVSYST V5.2 para comprobar lo calculado y verificar resultados, de esa manera aseguramos un buen dimensionamiento de la instalación fotovoltaica.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

La mayor parte de la generación actual en el Ecuador proviene de centrales hidroeléctricas, térmicas y de combustión interna que abastece la demanda eléctrica. Estos sistemas de generación son limitados o dependen también de las condiciones climáticas existentes y deterioran el medio ambiente.

Los sistemas de generación se encuentran muy alejados de la carga produciendo grandes pérdidas en su transmisión y de igual forma en la parte de distribución, y una forma de mitigar con esas pérdidas es generando parte de su energía en los hogares formando así un sistema descentralizado o más conocido como generación distribuida.

Las centrales hidráulicas poseen grandes ventajas por ser renovable tales como la no emisión de gases de efecto invernadero, bajo costo de operación, disponibilidad casi inagotable y la facilidad de la regulación de la carga, pero también poseen sus desventajas como es su alta inversión y daño al ecosistema acuático y su ambiente. Mientras tanto las centrales térmicas a combustión las ventajas es la disponibilidad de su combustible sin depender de la climatología o la hidrología y como desventajas es que producen emisiones toxicas al ambiente.

Con el fin de lograr una sostenibilidad económica y ambiental, la tendencia mundial es aprovechar las fuentes renovables para la generación de electricidad. Por ello, para contrarrestar la creciente presencia de las fuentes no renovables en la generación de electricidad en el país, el Ecuador durante los últimos seis años, ha sentado las bases para cubrir la demanda interna de electricidad con producción nacional basada en energías de fuentes renovables, principalmente de la hidroeléctrica. De este modo, para 2021, se proyecta una representatividad del 69% de las fuentes renovables en la generación de electricidad (MEER – Conelec, 2012). [1]

Con respecto al recurso solar en el Ecuador se ha instalado seis mil sistemas fotovoltaicos, principalmente en la Amazonia que representan el 0.1%. Se

encuentran suscritos títulos de habilitantes para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos por 282MW.[2]

Consolidar la transformación de los sectores estratégicos, el uso soberano y eficiente de los recursos naturales, considerando el gran potencial de energías renovables para desarrollar proyectos como complejos solares fotovoltaicos, termosolares, complejos eólicos e hidroeléctricos. Una de las medidas de transformación de la matriz productiva. [3]

Hasta el 31 de enero del 2013 los proyectos fotovoltaicos que han firmado contrato con el CONELEC y por lo tanto disponen del título de habilitante, cuyas potencias mayores a 1 MW sumaron una capacidad de 275 MW y para menores a 1 MW sumaron una capacidad de 72,99 MW.[4]

En cuanto al recurso solar, el CONELEC publicó en el 2008, el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica” que incluye la cuantificación del potencial solar disponible y sus posibilidades de generación eléctrica. Mediante programas como Euro-Solar y el fondo FERUM, se ha impulsado el aprovechamiento solar para generación de energía eléctrica en zonas rurales alejadas de las redes de distribución.[5]

EL MEER promueve la gestión de proyectos de electrificación rural con energía renovable no convencionales, los cuales están trabajando con varios actores del sector eléctrico, en conjunto con organizaciones no

gubernamentales, para de esta manera consolidar y sacar adelante a estos proyectos. Entre estas organizaciones se encuentra el programa Eurosolar, Consolidaciones de las Energías Renovables en el Norte Amazónico Ecuatoriano, Fortalecimiento de la Unidad Renovable en la EEASA, Observatorio de Energía Renovable en Morona Santiago, Electrificación Rural con Energía Renovable en Zonas Aisladas del Ecuador- Proyecto BID/GEF.[6]

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Muchos países de primer mundo utilizan las energías renovables como fuentes alternativas de generación ya que están disponibles en la naturaleza y poseen un alto contenido de energía, como es el caso de España que en el 2014 la potencia instalada en energía fotovoltaica fue de 4672 Mw y en energía eólicos fue de 23002 Mw, que funcionan de forma conjuntas y de manera eficientes y limpia, aportando su potencia generada al sistema eléctrico.[7]

La demanda de energía eléctrica se va incrementado significativamente a través de los años, y consigo su generación, dando paso a la necesidad de instalar nuevos centros de generación eficientes y sustentables de menor costo y que ofrezcan un mínimo impacto ambiental.

La utilización de la energía solar, es un recurso renovable y limpio, para la generación de energía eléctrica, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminución de energías no renovables y ahorro de combustible fósiles, dando la posibilidad de llegar a electrificar a zonas alejadas de las redes de distribución.

El Ecuador posee una topografía muy variable, con una gran diversidad y condiciones ideales que le dan un gran potencial para la utilización de energías renovables y limpias, las cuales no pueden dejarse afuera de los inventarios de los recursos energéticos para la producción de energía eléctrica, ya que la cobertura de la demanda eléctrica que se encuentra en la actualidad no es la suficiente, se podrían vincular estas energías renovables para la electrificación y energización rural.

El Ecuador es un país en vía de desarrollo, destacando la importancia de aumentar el grado de electrificación, sobre todo en las zonas rurales. La energía fotovoltaica aislada es una opción real, para la obtención de electricidad en sitios de difícil acceso, donde la construcción de líneas aéreas de distribución sería muy costosa, debido a las grandes pérdidas de energía, al alto costo de inversión, de operación y mantenimiento. De esta manera es importante conocer las tecnologías fotovoltaicas aisladas con almacenamiento de energía, como también su productividad, costo,

rentabilidad, normativas vigentes, para de esta manera saber sus ventajas y limitaciones.

Ante la excesiva dependencia a los combustibles fósiles, el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) adicionalmente propone el fortalecimiento en el país del uso de energías renovables no convencionales, como son: solar, eólica, geotérmica, biomasa, mareomotriz; teniendo como objetivo establecer la generación de energía eléctrica de fuentes renovables como las principales alternativas sostenibles en el largo plazo. [8]

En el censo poblacional y vivienda realizado en el 2010, se determinó que el 94,7% de viviendas urbanas tenían energía eléctrica mientras tanto el 89.03% de vivienda rurales no poseían este servicio. Para cubrir esta demanda de energía eléctrica se puede ofrecer a estos sectores de energía alternativa y renovable, con la cual ayudaría a impulsar su estado socioeconómico, contribuyendo con una herramienta para el desarrollo de sus actividades productivas y mejorando la calidad de vida, y de esta manera cubriendo con las necesidades principales como es el alumbrado, comunicación, y el desarrollo de sus actividades agropecuarias, artesanales y comerciales. [9]

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivos Generales**

Elaborar un proyecto de aprovechamiento de la energía solar para la utilización en una vivienda rural unifamiliar de la Provincia del Guayas por medio de paneles fotovoltaicos y baterías que conforman un sistema desconectada de la red eléctrica pública y dando a conocer los aspectos conceptuales, metodológico, técnicos y económicos de la instalación.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar las ventajas de las instalaciones fotovoltaicas desconectada de la red para viviendas unifamiliares rurales de la provincia del Guayas.
- Analizar los diferentes componentes que conforma la instalación fotovoltaica aislada de la red.
- Determinar la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos mediante el análisis del peor mes del año.
- Determinación del número de paneles fotovoltaicos mediante el rendimiento global de la instalación y banco de baterías para una vivienda unifamiliar aislada.

- Determinación adecuada del inversor y regulador con respecto al número de paneles y la potencia de la carga demandada, tomando en cuenta la disponibilidad de estos dispositivos en el mercado.
- Cumplimiento del diseño de una instalación fotovoltaico con respecto a la Noma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11.
- Dar a conocer la viabilidad técnica y económica de una instalación fotovoltaica en una vivienda unifamiliar.

#### **1.4. METODOLOGÍA**

Para realizar el diseño del Sistema Fotovoltaico es necesario conocer las características y funcionamiento posterior de los diferentes dispositivos que conforma las instalaciones aisladas de la red, para esto se realizará investigaciones por medio del internet y fuentes bibliográficas, de este modo poder entender los aspectos de los diferentes componentes de este sistema, como es del panel fotovoltaico, reguladores, inversores, baterías, y otros equipos.

Para la estimación de la demanda conectada en una vivienda unifamiliar se va a tomar dos tipos de demanda, una de menor consumo, y la otra de mayor consumo, para esto se estimará la cantidad de equipos que va a funcionar y el tiempo de utilización, para de esta manera poder determinar la energía

total que se requiere alimentar por medio de los paneles fotovoltaicos. También se aproximarán las pérdidas se va a dar en el sistema (eficiencia de los dispositivos y pérdidas en el cableado).

Con la inclinación optima de los paneles fotovoltaicos obtendremos los máximos beneficios de insolación de este sistema y de esta manera poder cubrir con la demanda de energía del usuario, con la ayuda de los datos de radiación de la NASA.

Para los cálculos de paneles fotovoltaicos, banco de baterías, regulador e inversor se lo realizará mediante el método de dimensionamiento de rendimiento global de la instalación con respecto a diseños españolas ya elaboradas, pero tomando en consideración la norma NEC 11, y también se realizará la simulación con el software PVSYST V5.2, de esta manera comparamos lo calculado con lo simulado.

Se indicara también las cotizaciones de los elementos utilizados para el dimensionamiento en el sistema fotovoltaico y así conoceremos el costo de inversión y un análisis de resultados donde daremos a conocer la viabilidad del proyecto y la aplicación del mismo.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ENERGÍAS RENOVABLES**

Las energías renovables es un recurso que se recupera de manera continua y es considerada inagotable a escala humana, además tiene la ventaja de que puede complementarse con otro tipo de energía renovable y poder favorecerse entre ellas. Estos tipos energías son amigables con el medio ambiente, ya que producen un mínimo impacto en el entorno, en consideración a otros tipos de energía convencionales como es el combustible fósil, gas, carbón, etc.

Las ventajas de las energías renovables es que son respetuosas con el medio ambiente, no generan residuos peligrosos, ni gases contaminantes, y se puede instalar en zonas rurales y aisladas.

El impacto medio ambiental en la generación de electricidad de las energías convencionales es 31 veces superior al de las energías renovables.[10]

## **2.2. TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES**

### **2.2.1. Energía hidráulica**

La Energía Hidráulica es la obtenida de una masa de agua elevada con respecto a su nivel de referencia. Es obtenida por el movimiento del agua que genera energía cinética y es aprovechada mediante una turbina que esta acoplada al rotor del generador la cual convierte la energía cinética en energía eléctrica. Además la energía hidráulica es una fuente que se restaura anualmente y de esta manera constituye un recurso renovable.

Las centrales eléctricas constituyen unas de las generaciones más importantes en el planeta debido a que una tonelada de agua a una altura de 10 metros posee una generación de 278 Kwh.

La energía potencial del agua se transforma en energía cinética y ésta a su vez en energía mecánica, por medio de las turbinas hidráulicas, colocadas en

la base de los correspondientes embalses reguladores. El empleo de la energía captada es, casi exclusivamente, para la producción de electricidad.

La conveniencia económica de utilizar una fuente hidráulica para producir energía eléctrica depende de las características hidrológica, orográfica y obtener bajo costo de operación. Desde el 2014 hasta el 2016 el Ecuador contara con la construcción de 8 proyectos hidroeléctricos que en conjunto sumaran una potencia de 2756 Mw. Para el año 2016 el 93% de la energía suministrada será de origen hidroeléctrico. [11]

### **2.2.2. Energía Solar**

El sol es donde se origina la energía solar y de las otras fuentes de energía renovables, es un enorme reactor de fusión nuclear que libera energía al espacio en forma de radiación electromagnética la cual se desplaza en el vacío.

El potencial energético del sol es variable en función del día, época del año y situación atmosférica. La potencia recibida en la parte superior de la atmósfera sobre una superficie perpendicular al rayo de sol, en el caso de una distancia al Sol promedio, se denomina constante solar, cuyo valor aproximado es de  $1.367\text{kW/m}^2$ . Esta cantidad se reduce hasta

aproximadamente  $900\text{W/m}^2$  cuando atraviesa la atmósfera y llega al suelo.

[12]

Las formas de aprovechamiento de esta energía solar son de uso térmico y fotovoltaico. Los aprovechamientos térmicos son utilizados para calentar aire, agua, u otras sustancias. Y el fotovoltaico es utilizado para obtener energía electromagnética mediante paneles o células fotovoltaicos.

El calentamiento de agua para uso doméstico es la principal área de los sistemas solares activos. El análisis de la venta de paneles solares en países con florecientes industrias solares. Prácticamente la duración de este tipo de energía es ilimitada.

El CONELEC ha dado paso a proyectos fotovoltaicos de generación cuyas potencias mayores a 1 Mw suman un total de 275 Mw y para menores a 1 Mw suman un total de 72.991 Mw, todo esto da una capacidad instalada de generación fotovoltaica de 347.991 Mw.[13]

### **2.2.3. Energía Eólica**

Hoy por hoy la energía eólica es una fuente de energía renovable con un alto índice de crecimiento mundial que se produce gracias a la fuerza cinética de grandes masas de aire y que ha logrado un desarrollo tecnológico en sus turbogeneradores con el pasar de los años.

La energía captada por las grandes masas de aire es dependiente de la hora del día, el año, y situaciones geográficas y topológicas. Por alguna razón técnica es imposible extraer todo el potencial energético cinético en una corriente de aire.

El aprovechamiento de esta fuente energética es su conversión directa en energía mecánica a través del giro del eje de la turbina eólica con una cierta potencia. Esta energía mecánica puede transformarse posteriormente en energía potencial (bombeo) o energía eléctrica (por accionamiento de un generador eléctrico acoplado al eje de la turbina).

La producción de energía y el consumo son idénticos, toda la energía eléctrica que producen los aerogeneradores es enviada a la red de distribución. En Ecuador, la energía eólica se está aprovechando en la isla San Cristóbal con una capacidad de 2,4 MW y en la provincia de Loja, en el cerro Villonaco, con una potencia instalada de 16.5 MW, además está en construcción un proyecto en la isla Baltra con una capacidad de 2.25 MW. El equivalente de la energía proporcionada por estos proyectos puede abastecer los hogares de 150 mil ecuatorianos.[14]

#### **2.2.4. Energía Geotérmica**

Se origina en el interior de la tierra en su magma fundido; pero su aprovechamiento solo es en aquellas zonas donde el calor es próximo a la superficie. Los campos térmicos se clasifican en dos grupos: hipertérmicos y semitérmicos. En el primero el agua es caliente o en forma de vapor y alcanza la superficie. En el segundo el agua o gases calientes no emergen.

Se estima que este recurso energético supone una capacidad de unos 30 millones de Teravatios. Sin embargo, solo es aprovechable una pequeña parte. Muchas áreas del mundo disponen de recursos geotérmicos accesibles, especialmente regiones del denominado Anillo de Fuego, áreas que bordean el Océano Pacífico, zonas de la falla continental y otros puntos calientes. [15]

El agua y gases calientes que emergen de forma natural a la superficie son utilizados para la calefacción o de uso industrial. En las perforaciones en campos hipertérmicos el agua caliente o el vapor son usados para dar movimiento a turbinas a vapor y de esta manera poder producir electricidad. En cambio en los campos semitérmicos son usados para la calefacción de aguas, calefacción y usos industrial.

Su producción y consumo de este método de generación es de manera instantánea ya que el uso del calor extraído es convertido en energía. En el Ecuador se está realizando varios proyectos geotérmicos entre los

principales se encuentran Chacana de 318 MW, Cachimbiro de 113Mw, y Chalpatán de 130 Mw sumando una potencia instalada total de 561 MW. [16]

### **2.2.5.Energía Biomasa**

La fotosíntesis es la forma más antigua de aprovechar la energía del sol y de manera natural, la madera y restos de vegetación libres de humedad producen un alto contenido de energía como el butano o metano. En la práctica final podemos obtener varias fuentes de energía biomasa sea de origen vegetal, sintético, animal o residuos sólidos urbanos.

El potencial energético a partir de la Biomasa puede variar dependiendo de la materia prima que se esté utilizando, logística del material hasta el punto de recepción y condiciones climáticas.

El uso adecuado de los componentes orgánicos que se encuentran en la naturaleza sea basura reciclada, bagazo de caña de azúcar entre otros dando así un alto índice energético. Los ingenios azucareros utilizan el bagazo de la caña de azúcar para la elaboración de azúcar de igual manera para producir electricidad y abastecer su demanda energética.

En el Ecuador, el tipo de biomasa que se utiliza para generar electricidad es el bagazo de la caña de azúcar Ingenios locales, ECUDOS, SAN CARLOS,

VALDEZ, MIGUEL ANGEL entre otros fuera de la provincia del Guayas, para su producción activa y autoabastecer su demanda eléctrica.

En el listado de proyectos del CONELEC para la generación con energía renovables mediante biomasa se encuentra un proyecto de 10.7 Mw, ubicada en la provincia de los Ríos cantón Chone.[17]

### **2.2.6. Energía Mareomotriz**

Su origen viene dado por la interacción gravitatoria Tierra y la Luna que desplaza cantidades inmensas de las aguas de los océanos.

El potencial energético depende del punto del planeta y de la época del año, así como de la disponibilidad de zonas donde embalsar el agua del mar durante la pleamar. En la práctica son aprovechables los niveles superiores a los 4 m.

La única forma de aprovechamiento es la conversión en energía mecánica, para su conversión posterior en energía eléctrica, mediante turbinas hidráulicas.

Su producción y consumo de este método de generación es de manera instantánea y se la considera renovable e ilimitada. La mayor instalación en funcionamiento se encuentra en el estuario de la Rance (Francia), con una

potencia instalada de 240 MW y que alcanza una producción de 480 GWh/año. [18]

## **2.3. ANÁLISIS DE LA RADIACIÓN SOLAR**

### **2.3.1. Tipos de Radiaciones**

**Radiación Extraterrestre:** Es la radiación solar diaria que se precede sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmosfera terrestre. Por todo esto la radiación solar que llega a una superficie terrestre procede de tres componentes que son la radiación directa, difusa y reflejada.

**Radiación Directa:** Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

**Radiación Difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más

radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

**Radiación Reflejada o Albedo:** Es la cantidad de radiación solar que es devuelta a la atmosfera tras chocar con la superficie terrestre. La cantidad de radiación reflejada o absorbida se debe al color de la superficie que recibe los rayos, la variación del albedo dan lugar a dos efectos que es el de enfriamiento y el de calentamiento.

**Radiación Global:** La radiación Global es la suma de las tres componentes que da lugar a esta radiación resultante. Todas estas radiaciones mencionadas anteriormente se pueden apreciar en la Figura 2. 1.

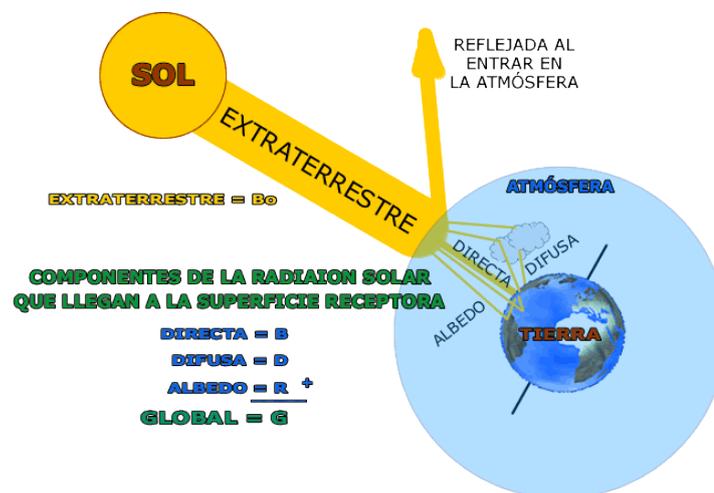
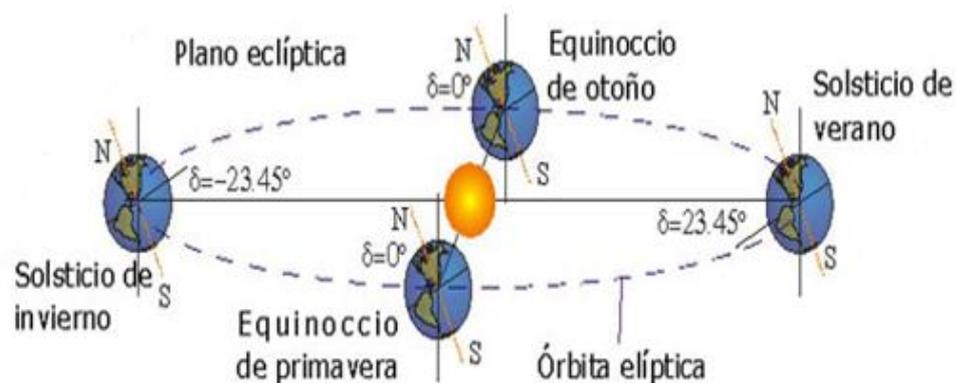


Figura 2. 1 Componentes de la radiación solar.

### 2.3.2.Movimiento del Sol

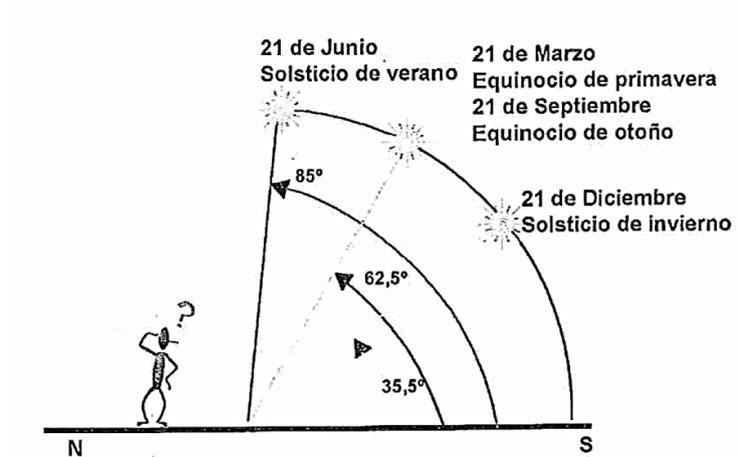
Como se conoce la tierra tiene dos clases de movimiento uno de rotación que dura 24 horas y de translación que dura 365 días. El eje polar el que gira la tierra, está inclinado respecto del plano de la eclíptica un ángulo de 23,45 grados. Debido a esta declinación solar, varía entre +23.45 grados para el solsticio de verano y -23.45 grados para el solsticio de invierno, pero en los equinoccios la declinación solar es nula, tal como se observa en la Figura 2.



**Figura 2. 2** Movimiento elíptico de la tierra alrededor del Sol

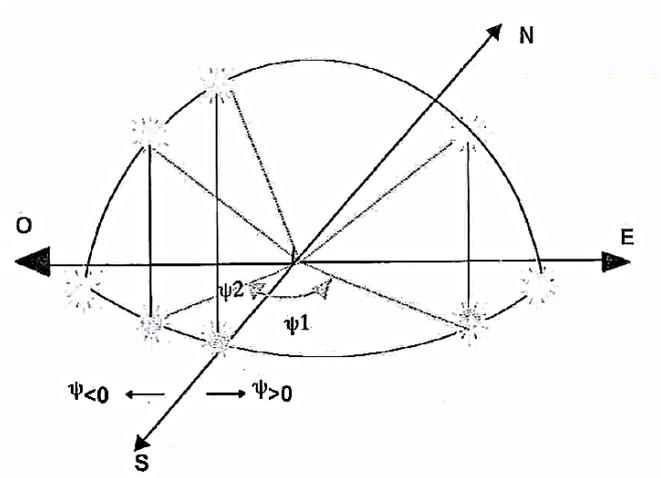
Para conocer el movimiento del sol se considera un sistema de coordenadas con dos ángulos, que permite conocer en cada momento donde se encuentra.

**Altura Solar ( $\alpha$ ):** Es el ángulo formado por la posición aparente del sol en el cielo con la horizontal del lugar, este se aprecia en la siguiente Figura 2. 3.



**Figura 2. 3** *Angulo de la altura solar*

**Azimut solar ( $\Psi$ ):** Es el ángulo horizontal formado por la posición del sol y la dirección del verdadero sur, este se aprecia en la Figura 2. 4



**Figura 2. 4** *Angulo de la azimut solar.*

Para conseguir la mayor producción de una instalación se debe proceder a que los paneles estén siempre perpendiculares a los rayos solares, para esto los paneles deben poseer dos grados de libertad.

### **2.3.3. Radiación Solar en el Ecuador**

La información de la radiación promedio en el Ecuador se puede obtener del sitio de la NASA u otros diferentes sitios web. Los datos en Ecuador son bastante altos entre 4 y 6 KWh/m<sup>2</sup>/día promedio anual. Se tiene que tener presente también las condiciones climáticas del lugar.

Al estar atravesado por la Línea Equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año, lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir electricidad y calor, ya que en promedio hay 12 horas de sol durante el día. La variación en el zenit (cuando el sol esta perpendicular a la Tierra, a las 12 del día) es de +/- 23.5°, es decir que el Sol se desplaza 47° en el año entre el solsticio de verano (21 de junio) y el solsticio de invierno (21 de diciembre).

El CONELEC contrató en el año 2008 la elaboración del Mapa Solar del Ecuador, y se basa en datos tomados de sistemas satelitales del NREL (National Renewable Energy Laboratory) de los Estados Unidos entre 1985 y 1991 que interpola la información a celdas de 1 km<sup>2</sup>. Se muestra información sobre las insolaciones directa (isohelias a 300 Wh/m<sup>2</sup>.dia), difusa (isohelias a 100 wh/m<sup>2</sup>.dia) y global (isohelias a 150 Wh/m<sup>2</sup>.dia) para cada mes del año y el promedio anual. Con este mapa solar se ha elaborado un mapa resumen anual con la insolación global promedio anual agrupada en cinco zonas I a V

en kWh/m<sup>2</sup>.dia. Los valores de insolación o radiación solar global para las provincias del país y sus ciudades más importantes son: [19]

PROVINCIA	CIUDAD	Wh/m2/dia	ZONA
Carchi	Tulcán	4200	II
Esmeraldas	Esmeraldas	4350	II
Imbabura	Ibarra	5250	IV
Manabí	Portoviejo	4650	III
Pichincha	Quito	5075	IV
Tsachilas	Santo Domingo	4650	III
Cotopaxi	Latacunga	4800	IV
Napo	Tena	4350	II
Santa Elena	Salinas	4350	II
Guayas	Guayaquil	4513	III
Los Ríos	Babahoyo	4650	III
Bolívar	Guaranda	4800	IV
Tungurahua	Ambato	4650	III
Chimborazo	Riobamba	4200	II
Pastaza	Puyo	4200	II
Cañar	Azoguez	4500	III
Morona Santiago	Macas	4050	II
Azuay	Cuenca	4350	II
EL Oro	Machala	4200	II
Loja	Loja	4350	II
Zamora Chinchipe	Zamora	4350	II
Galápagos	Puerto Ayora	5835	V

**Tabla 2. 1** Valores de radiación solar global para las provincias del país y sus ciudades más importantes. Fuente: NEC 11.

MES	Wh/m2/dia promedio	
	Quito	Guayaquil
Enero	4950	3900
Febrero	4950	4200
Marzo	4950	4650
Abril	4800	4350
Mayo	4650	4500

Junio	4800	4200
Julio	5250	4350
Agosto	5400	4650
Septiembre	5550	5100
Octubre	5250	4500
Noviembre	5250	4950
Diciembre	5100	4800
<b>Promedio</b>	<b>5075</b>	<b>4513</b>

**Tabla 2. 2** Valor promedio mensual de radiación solar global para Quito y Guayaquil. Fuente: NEC 11.

## 2.4. GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR

La generación de electricidad aprovechando la energía del sol se la realiza usando dos alternativas:

- a) Concentradores solares
- b) Generación mediante sistema fotovoltaico

### 2.4.1. Termoeléctrica

**Concentradores Solares:** Son llamados también acumulador puntual de luz solar, este método simplifica los costos de la energía solar, puesto que requiere menor cantidad de celdas solares para generar la misma cantidad de electricidad, este trabajo es similar a tener una lupa que enfoca la energía en un solo punto, también se puede realizar un arreglo de espejos reflejando los rayos solares a un punto objetivo. Existen dos tipos de concentradores solares:

- a) concentrador cilindro parabólico

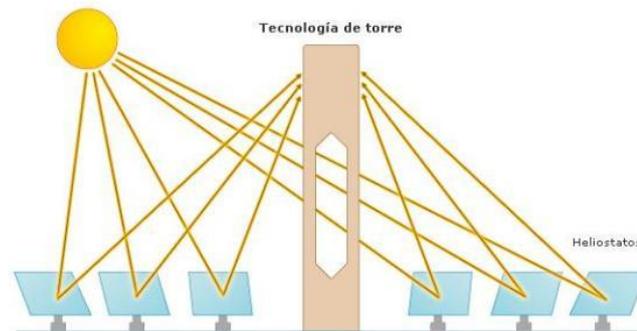
b) concentrador de receptor central

**El concentrador cilindro parabólico:** Este refleja la energía solar hacia un punto llamado “foco parabólico”. En las paredes del receptor parabólico debe ser lubricado para que la captación solar y la irradiación eviten un sobrecalentamiento y deteriore su estructura, su temperatura de alcance sobrepasa el punto de ebullición del agua.



**Figura 2. 5** Concentrador cilindro-parabólico.

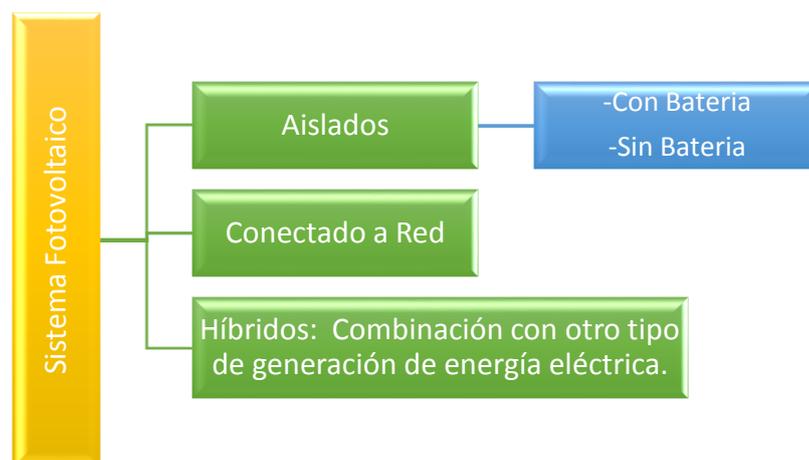
**Concentrador de receptor central:** Este capta y concentra la radiación solar sobre un receptor donde se produce la conversión de la energía radiante en energía térmica que se instala en la parte superior de una torre. La torre receptora sostiene fluido de trabajo puede ser aire, vapor de agua donde dicho fluido eleva su temperatura generando vapor a presión que mueve directamente una turbina. En los otros, el fluido transporta el calor a un generador de vapor de agua, con el que se hace funcionar una turbina que mueve al generador eléctrico.



**Figura 2. 6** Concentrador de receptor central.

### 2.4.1. Fotovoltaico

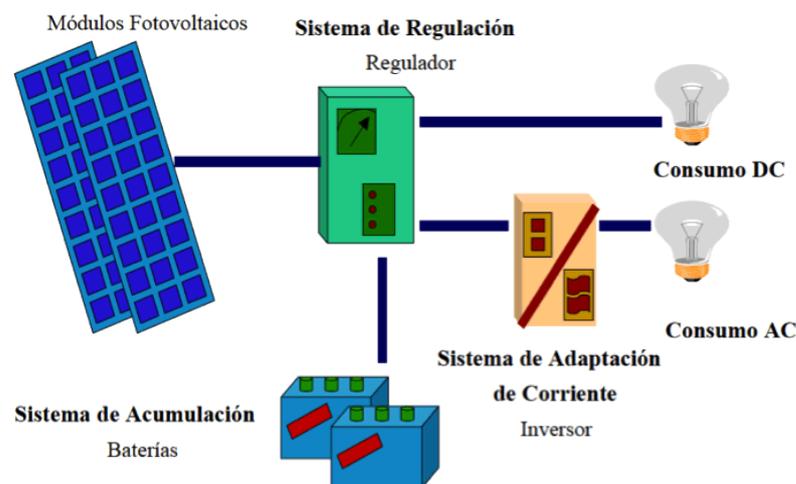
La generación fotovoltaica se puede clasificar según su utilización y del tamaño de su potencia, mediante el siguiente esquema.



**Figura 2. 7** Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.

**Sistemas Aislados:** Tiene como función de satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica para aquellos lugares donde no existe la red eléctrica de distribución o que es de difícil acceso. Los sistemas aislados

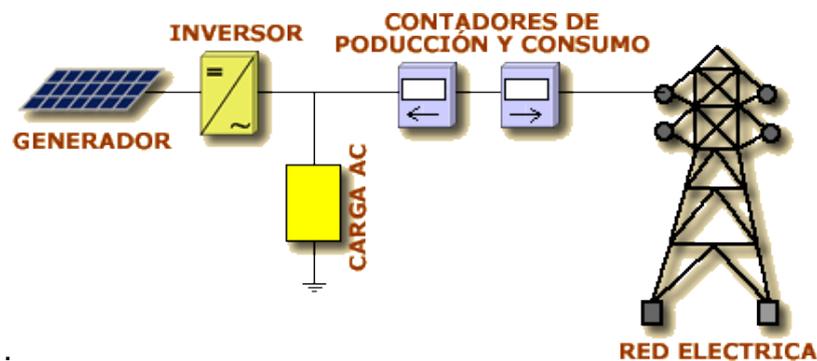
están equipados con sistemas de acumulación de energía (banco de baterías), ya que este sistema solo puede aportar energía durante el día, de esta manera puede suplir la demanda eléctrica tanto en el día como la noche. Este sistema implica que los paneles fotovoltaicos deben ser dimensionados de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y la recarga de las baterías. Los sistemas aislados están conformado por los módulos fotovoltaicos, regulador de carga, sistema de acumulación, inversor, y elementos de protección para los circuitos, este sistema se puede apreciar en el siguiente Figura 2. 8.



**Figura 2. 8** Sistema de generación aislada.

Una de las aplicaciones de los sistemas aislados es el que no requieren la utilización de acumuladores, y por lo tanto siempre funciona que haya sol, como por ejemplo un sistema de bombeo de agua.

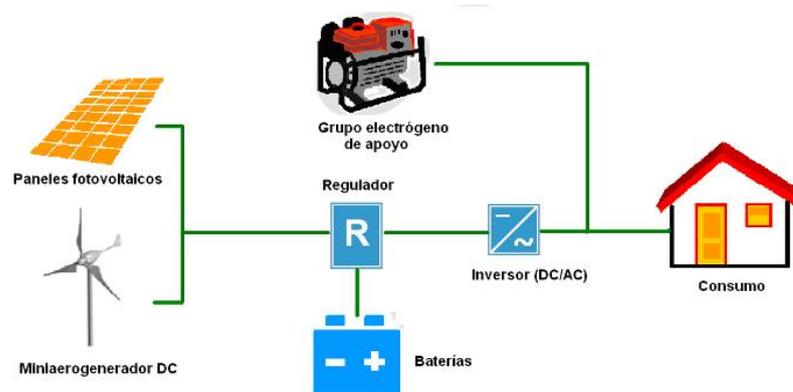
**Sistemas Conectados a la Red:** Estos no requieren de estar conectados a sistemas de acumulación de energía, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica. Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de esta manera garantizando el correcto funcionamiento de la instalación en la entrega de energía, tanto en modo como en tiempo, evitando así situaciones peligrosas. Los sistemas conectados a la red cuenta con módulos fotovoltaicos, inversores para la conexión a la red, elementos de protección del circuito, y contadores de energía, este sistema se puede apreciar en el siguiente Figura 2. 9.



**Figura 2. 9** Sistema de generación conectada a la red eléctrica.

**Sistemas Híbridos:** En algunos casos los sistemas fotovoltaicos aislados se pueden complementar con otros sistemas de generación renovable, de esta manera asegurando una mayor disponibilidad de la electricidad. A esta combinación con otro sistema de generación se lo denomina sistema híbrido y comúnmente se utiliza la generación eólica o también grupos electrógenos.

Una de las ventajas en los sistemas fotovoltaicas es que estos sistemas son normalmente compatibles con cualquier otro sistema de generación. Esta combinación aprovecha los recursos energéticos cerca de la instalación para de esta manera poseer mayor fiabilidad en el suministro de energía. Este tipo de sistema de generación mencionado se puede apreciar en la siguiente Figura 2. 10.



**Figura 2. 10** Sistema de generación híbridos.

## 2.5. TIPOS DE CELULAS SOLARES

Unas de las principales celdas o células fotovoltaicas utilizadas en la obtención de la irradiación solar, son definidas a continuación.

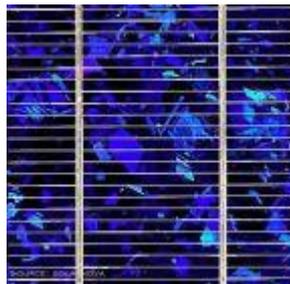
**Celda Monocristalina:** Las celdas monocristalinas son las más utilizadas y por ende la más comercializadas, su fabricación es de silicio, el cual es purificado y cristalizado en lingotes, los cuales son cortados en finas hojas

para hacer las células. Estas poseen un color uniforme, generalmente azul y negro. Su eficiencia es dependiente de fabricante pero está en un rango del 17.2 al 19.8%. [20]



**Figura 2. 11** Celda Monocristalina.

**Celda Policristalino:** Las celdas policristalinas o multicristalina su fabricación es igual que las células monocristalinas sino que el silicio que utilizan es de bajo coste. Su fabricación es de forma cuadrada, su eficiencia depende del fabricante y están en un rango del 13 al 15.6%. Y tienen un precio económico.[20]



**Figura 2. 12** Celda Policristalino.

**Celda de película delgada:** Las celdas de película delgada o amorfa son fabricadas de una fina capa de silicio no cristalino y flexible. Son las menos

eficientes que otras celdas y la menos costosa. Su eficiencia es menor del 10%.[21]



**Figura 2. 13**Celda de Película Delgada.

## **2.6. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO FOTOVOLTAICO**

Los paneles solares están compuesto de células fotovoltaicas que es donde se realiza la transformación de la energía luminosa en electricidad, el efecto fotoeléctrico es el fundamento de este proceso energético.

### **2.6.1. Efecto Fotoeléctrico**

Con ayuda de materiales semiconductores como es el caso del silicio, que a cero kelvin son aislantes, pero al recibir energía lumínica se transforman en conductores y pueden producir corriente eléctrica. Lo mismo sucede en las células fotovoltaicas. Los materiales semiconductores son expuestos a los rayos solares que contienen energía luminosa (fotones). Los fotones dan energía a los electrones de valencia de los átomos de silicio.

En el estado puro el silicio no es muy fotoconductor, de esta manera se le introduce impurezas (se lo dopa). Con una impureza de fosforo, que tiene 5 electrones en su capa (una más que el silicio), produce un excedente de cargas negativas, y se la clasifica como material tipo n. Para el caso de introducir impurezas como es el boro, que tiene 3 electrones en su capa externa (una menos que el silicio), produce un excedente de carga positiva, y se la clasifica como material tipo p.

Al unir físicamente el tipo p y n, se denomina diodo, debido a que los electrones de la capa n son atraídos por las cargas positivas de la capa p, produciendo una corriente eléctrica. La característica tensión-corriente queda en la ecuación de Shockley que se muestra a continuación.

$$I_d = I_0 * \left[ e^{\frac{V}{m \cdot V_t}} - 1 \right] \quad (2. 1)$$

Donde:

$I_d$ = Corriente del diodo.

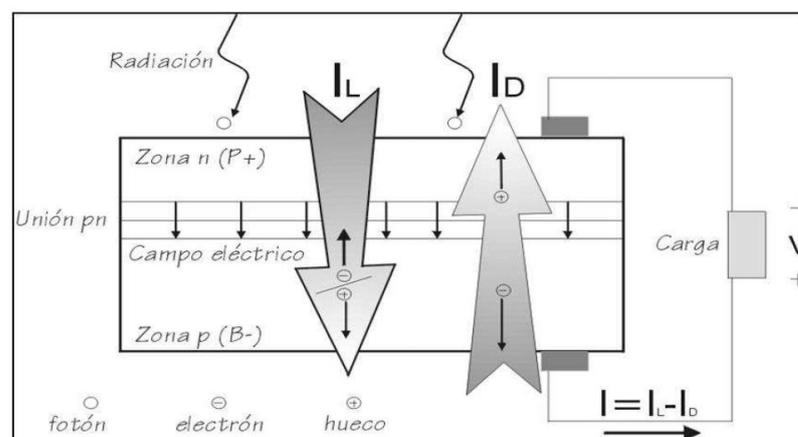
$I_0$ =Corriente de saturación en oscuridad del diodo.

$V$ = Tensión aplicada al diodo.

$m$ = Factor de idealidad del diodo.

$V_t$ = Potencial térmico.

En una unión p-n iluminada coexisten dos corrientes de sentido contrario y orígenes diferentes. La corriente de iluminación o fotocorriente, es el debido a la incidencia de fotones, circula desde la región n a la región p. La corriente de oscuridad o diodo, circula desde la región p a la región n. Este fenómeno se lo puede observar en la Figura 2. 14.



**Figura 2. 14** Corriente de iluminación y corriente del diodo en una célula solar con carga.

La corriente total se puede expresar mediante la siguiente ecuación.

$$I = I_L - I_0 * \left[ e^{\frac{V}{e m^* v t}} - 1 \right] \quad (2. 2)$$

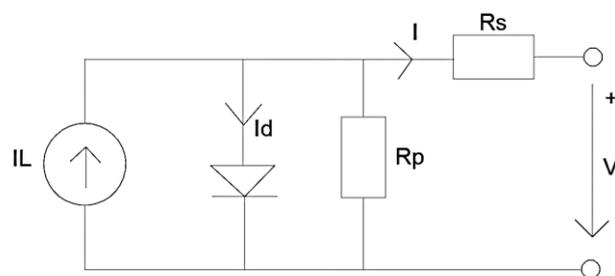
Donde:

I= Corriente total

I<sub>L</sub>= Fotocorriente generada en la celda solar

### 2.6.1. Circuito equivalente de la célula solar

El panel fotovoltaico real puede ser representado por un circuito equivalente, la corriente fotogeneradora es modelada por una fuente de corriente, mientras la corriente de oscuridad es representada por un diodo y las resistencias serie y paralelo son apreciables en las células reales, todo esto se puede apreciar en la siguiente Figura 2. 15.



**Figura 2. 15** Modelo eléctrico de una célula solar real.

La ecuación del modelo de la célula solar se reduce a la siguiente expresión:

$$I = I_L - I_d - \frac{V + I * R_s}{R_p} \quad (2. 3)$$

Donde:

$R_s$ = Resistencia serie, que representa la resistencia interna de la célula, que se debe a la malla de metalización, de los contactos, y propia de semiconductor, esta debe ser la más pequeña posible.

$R_p$ = Resistencia paralelo, que representa las imperfecciones en la calidad de la unión p-n de la célula, este debe ser la más grande posible.

$I_L$ = Corriente generada por los fotones en la celda solar

$I_d$ = Corriente del diodo que depende de las características y la calidad de la celda.

$V$ = Voltaje externo de la celda solar.

### 2.6.2. Funcionamiento de una célula solar

La corriente de la célula solar es una combinación entre la corriente de oscuridad y la fotocorriente, está también dependiente de la tensión aplicada en los terminales del dispositivo. La respuesta de las células solares vendrá dada por los siguientes parámetros, los cuales se definen a continuación.

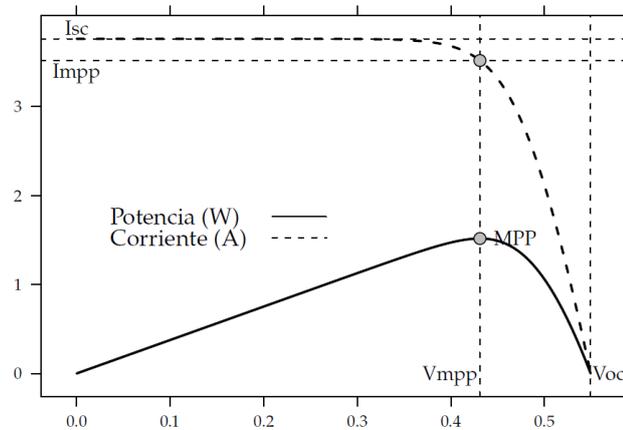
**Corriente de Corto Circuito:** Es la máxima corriente que se puede obtener del panel fotovoltaico bajo condiciones definidas de iluminación y temperatura. Es la medida en amperios, de la corriente en los bornes del panel cuando se presenta una resistencia nula, esto provocando un cortocircuito, y debido a la despreciable resistencia al paso de la corriente la caída del voltaje es prácticamente cero.

**Voltaje a Circuito Abierto:** Es el máximo voltaje que se puede tener en el panel fotovoltaico bajo condiciones definidas de iluminación y temperatura. Es una medida de tensión en los bornes del panel cuando se presenta una resistencia infinita, correspondiente a una corriente igual a cero.

**Corriente a un determinado voltaje:** Las condiciones de corriente de corto circuito y voltaje de circuito abierto corresponden a dos condiciones extremas, en la práctica lo que se da es que el panel se establezca en un determinado valor de corriente eléctrica que fluirá a través del circuito conectado a su borde determinada por una resistencia que definirá la característica eléctrica del circuito, cuya intersección con su curva establecerá un voltaje de operación y una intensidad que entregara al circuito.

**Potencia Máxima:** Bajo condiciones determinadas la intensidad tendrá un valor entre 0 y  $I_{sc}$ , obteniendo un voltaje de entre 0 y  $V_{oc}$ . Dado que la potencia es el producto entre voltaje y corriente, esta será máxima para algunos ciertos valores. El panel fotovoltaico da la máxima potencia cuando la resistencia del circuito externo favorece a las máximas condiciones de voltaje y corriente.

En la Figura 2. 16 se aprecia los conceptos definidos anteriormente de manera más clara, que representa la curva Corriente-Voltaje y la curva Potencia-Voltaje de un panel fotovoltaico cualquiera.



**Figura 2. 16** Curva corriente-tensión y potencia-tensión de una célula solar ( $T_a=20^\circ\text{C}$  y  $G=800\text{ W/m}^2$ ).

**Factor de Forma y Eficiencia:** El factor de forma es la relación por el producto  $V_{\text{max}} * I_{\text{max}}$  y por el producto  $V_{\text{pc}} * I_{\text{sc}}$ , como se puede apreciar en la siguiente fórmula.

$$FF = \frac{V_{\text{max}} * I_{\text{max}}}{V_{\text{pc}} * I_{\text{sc}}} \quad (2.4)$$

Este factor está comprendido entre 0,7 y 0,8 y varía entre una célula y otra. De esta manera es posible determinar el punto de máxima potencia conociendo el factor de forma de la célula mediante la siguiente fórmula.

$$P_{\text{max}} = FF * I_{\text{sc}} * V_{\text{oc}} \quad (2.5)$$

La eficiencia de la célula solar se puede cuantificar mediante la siguiente fórmula.

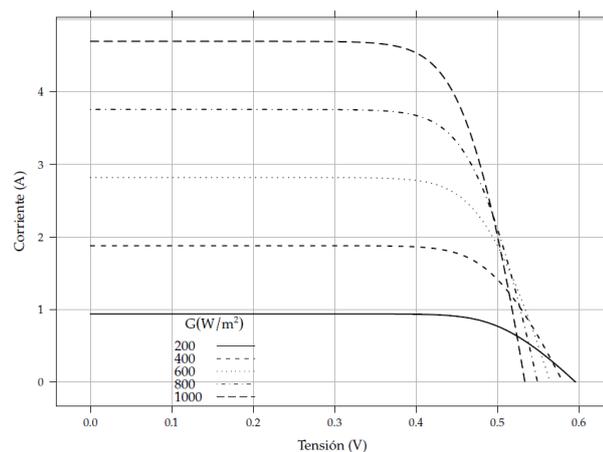
$$\eta = \frac{I_{\max} * V_{\max}}{P_L} \quad (2.6)$$

Donde  $P_L$  representa la potencia luminosa que incide en la célula. Este valor de eficiencia corresponde al caso en el que el acoplamiento entre la célula y la carga permita trabajar en el punto de máxima potencia.

## 2.7. PANEL FOTOVOLTAICO

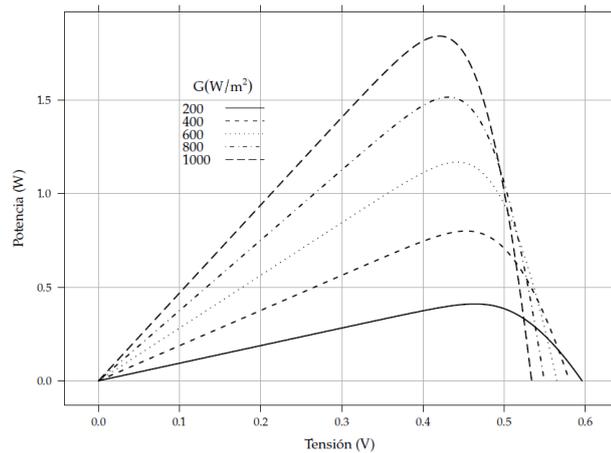
### 2.7.1. Parámetros

**Efecto de la intensidad de Radiación Solar:** El cambio de intensidad eléctrica de salida del panel fotovoltaico depende de la cantidad de radiación que caiga sobre ella. La corriente del panel varía de forma directamente proporcional, y la tensión caiga muy lentamente, como podemos apreciar en la Figura 2. 17.



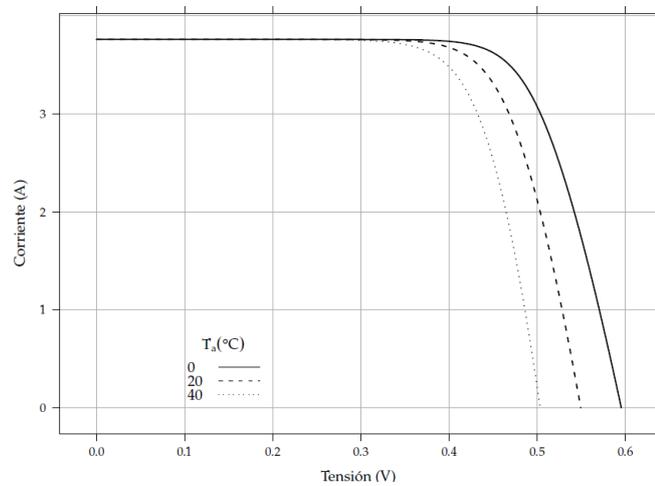
**Figura 2. 17** Curva corriente-voltaje al incrementar la irradiancia de una célula solar ( $T_a=20^\circ\text{C}$ ).

De igual forma el incremento de la irradiación provoca que la potencia de la célula se incremente y produzca una pequeña caída de tensión, como se aprecia en la curva potencia-tensión de la Figura 2. 18.



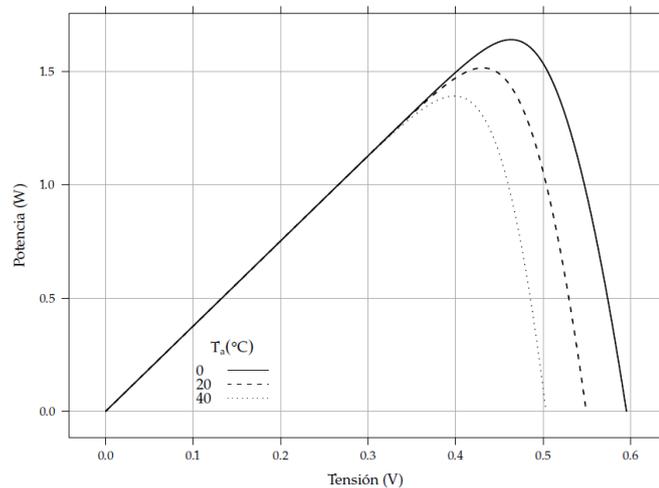
**Figura 2. 18** Curva potencia-tensión al incrementar irradiancia de una célula solar ( $T_a=20^\circ\text{C}$ ).

**Efecto de la temperatura:** El aumento de la temperatura en el panel fotovoltaico provoca una reducción del voltaje de circuito abierto según el valor de  $dV_{oc}/dT_c$ , donde  $T_c$  es la temperatura de la célula, que es dependiente de la temperatura ambiente y la irradiación incidente, esto se puede apreciar en la curva corriente-voltaje de la Figura 2. 19.



**Figura 2. 19** Curva Corriente-Voltaje al incremento de la temperatura de una célula solar ( $G=800 \text{ W/m}^2$ ).

De forma inevitable el aumento de temperatura de la célula provoca un decaimiento de su potencia de funcionamiento, como se puede apreciar en la curva potencia-tensión de la Figura 2. 20.



**Figura 2. 20** Curva potencia-tensión al incremento de la temperatura de la célula solar ( $G=800 \text{ W/m}^2$ ).

### 2.7.2. Curvas de los Módulos

La curva intensidad-tensión de un módulo, se obtiene a partir de las curvas de las células que lo componen. Como todas las células de un módulo han de tener características iguales, para hallar la intensidad y corriente del módulo se lo realiza de la siguiente forma. La intensidad se la obtiene de la multiplicación entre el parámetro de las células por el número de células en paralelo que tiene el modulo como se aprecia en la siguiente formula.

$$I_{CC \text{ MODULO}} = I_{cc \text{ celula}} * N_{\text{celulas paralelo}} \quad (2. 7)$$

Para la tensión se la obtiene de la multiplicación del parámetro de tensión de las células por el número de células en serie que tiene el modulo.

$$V_{CA \text{ MODULO}} = V_{ca \text{ celula}} * N_{\text{celulas serie}} \quad (2. 8)$$

En cambio para la obtención de la potencia se la determina por la multiplicación del parámetro de potencia de las células por el número de células en paralelo y por el número de células en serie que tiene el modulo.

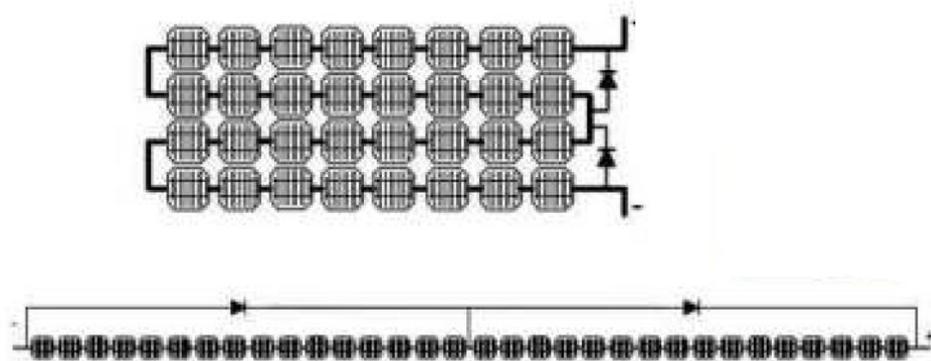
$$P_{MAX \text{ MODULO}} = P_{\max \text{ celula}} * N_{\text{celulas paralelo}} * N_{\text{celulas serie}} \quad (2. 9)$$

La curva resultante tiene la misma forma que la de las células, y por tanto sufrirá los mismos efectos con las variaciones de radiación y temperatura.

## 2.8. SOMBRAS EN LAS CÉLULAS

Las sombras pueden producir que gran parte de los módulos no funcionen y por este motivo se debe evitar al máximo esta proyección. Por eso se debe escoger la correcta ubicación física de la totalidad de los componentes de la instalación. Este hecho hace que los paneles se comporte en lugar de generador y funcionen como receptor, aumentando de este modo su temperatura y causando daños irreparables.

Una forma para resolver este inconveniente es colocar diodos de protección dentro de la caja de conexiones del módulo. Estos diodos están conectados en paralelo con grupos de células asociadas en serie como se puede apreciar en la Figura 2. 21.



**Figura 2. 21** Diodos de protección en un panel fotovoltaico.

## **2.9. COMPONENTE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO**

### **2.9.1. Acumuladores de energía**

Un acumulador o batería es un dispositivo capaz de formar la energía potencial química en energía eléctrica. Están compuesto por dos electrodos sumergidos en un electrolito en donde se producen reacciones químicas en los procesos de carga y descarga.

La capacidad de un acumulador se mide en amperios-hora (Ah), para de esta manera poder determinar el tiempo de descarga. Si el tiempo de descarga es muy corto, la capacidad de la batería disminuye, mientras que si el tiempo es más largo, la capacidad de la batería aumenta.

El objetivo principal de los acumuladores de un sistema fotovoltaico es de suministrar energía demandada por la carga durante varios días, cuando la producción del panel es baja debido a las condiciones meteorológicas adversas.

Los acumuladores para las aplicaciones solares deben cumplir con distintas condiciones básicas, que son:

- Aceptar toda la corriente de carga del panel solar.
- Mantenimiento nulo o mínimo.

- Fácil de transporte e instalación.
- Baja auto descarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

La vida útil de un batería está directamente relacionado con la profundidad de descarga. Esta se expresa en los ciclos, que es el número de veces que se carga y descarga. La vida útil de la batería también depende del espesor de las placas y de la concentración del electrolito, pero está más fuerte relacionado con las profundidades de descarga.

**Batería de Plomo-acido:** Este tipo de batería es el más usado debido a su bajo costo. Cuando la batería está cargada, el electrodo positivo tiene un depósito de dióxido de plomo y el negativo es plomo. Al descargarse, la reacción química que hace que, tanto en la placa positiva como en la negativa se deposite sulfato de plomo. Las baterías de plomo-ácido se utilizan, no solo en aplicaciones fotovoltaicas, también en automoción. Pero a parte del coste, mucho más elevado para las baterías fotovoltaicas, las diferencias técnicas entre ambas baterías son fundamentales. La capacidad de almacenamiento de una batería de plomo-ácido varía con la temperatura del electrolito, que está determinada por la temperatura ambiente.



**Figura 2. 22** Batería de plomo-acido (Monoblock).

En la siguiente Tabla 2. 3 muestra se la característica de las baterías plomo-acido, y que la mayor capacidad de la batería se da cuando esta se encuentra a 25°C, por lo que es importante mantener la temperatura del electrolito cercana a esta temperatura, alargando de esta manera su vida útil.

Voltaje de una celda	2V
Densidad de carga	15-30 Wh/kg
Descargas	No soporta descarga muy profundas
Ciclos de vida	Menos de 500 descargas
Baja temperatura ambiente	La soportan mal
Alta temperatura ambiente	Pierden eficiente
Autodescarga	Alta
Almacenamiento	No pierden largos periodos
Sulfatación de las placas	Se produce
Congelación del electrolito	Se produce
Tensión de descarga	Disminuye gradualmente

Mantenimiento	Alto
Coste	Bajo

**Tabla 2. 3** Característica de las baterías plomo-acido.

El estado de carga, la temperatura del electrolito y la corriente de descarga, influye en el voltaje de salida de las baterías plomo-acido, y todo estos es fundamental a la hora de instalar el acumulador fotovoltaico, ya que si no se encuentran en un lugar protegido pueden no funcionar correctamente.

**Batería tipo GEL:** Son baterías plomo-acido selladas donde el electrolito no está en forma de líquido sino esta gelificado por medio de un polvo de sílice que se le pone al electrolito, lo que produce que haiga menos evaporación y aumento de la vida útil de la batería, con esto garantizando un número mayor de ciclos de carga y descarga. También poseen las ventajas de que soportan descargas profundas, golpes, vibraciones, y altas temperaturas. Esta batería es cara, pero está diseñada para la durabilidad, con excelente rendimiento que logran ser una óptima elección.



**Figura 2. 23** Batería tipo Gel.

**Batería Níquel-cadmio (Ni-Cd):** Existe una gran variedad de tipos de baterías de Ni-Cd, que utilizan diferentes tecnologías, y que se diferencian en el precio, respuesta ante los ciclos de carga y descarga, mantenimiento necesario. Hay algunos tipos de baterías de Níquel-cadmio entre estos se encuentran, con electrodos sintetizados, con electrodos esponjosos, con electrodos de fibra, con placas pocked y Ni-Cd cerradas. Debido a su alto costo inicial, más de seis veces que la de plomo-ácido, las baterías de níquel-cadmio no han podido suplantarlas. Sin embargo, su costo largo plazo es menor que el de una batería de igual capacidad del tipo plomo-ácido debido a su bajo mantenimiento y su larga vida útil, el doble que la de plomo-ácido.



**Figura 2. 24** Batería de Níquel-Cadmio.

Voltaje de una celda	1.4 V
Densidad de carga	20-40 Wh/kg
Descargas	Soporta sin daños descarga muy profundas
Ciclos de vida	Más de 500 descargas
Baja temperatura ambiente	La soportan bien sin problemas
Alta temperatura ambiente	Tienen una mayor eficiencia que las de plomo-acido
Autodescarga	Es inicialmente elevada, pero disminuye con el tiempo
Almacenamiento	Permitan largos periodos
Sulfatación de las placas	No se produce
Congelación del electrolito	No se produce
Tensión de descarga	Permanece constante
Mantenimiento	Bajo
Coste	Alto

**Tabla 2. 4** Característica de las baterías de Níquel-Cadmio.

La característica de la Tabla 2. 4 representa una buena solución para los climas tropicales o en instalaciones aisladas y que requieren poco mantenimiento.

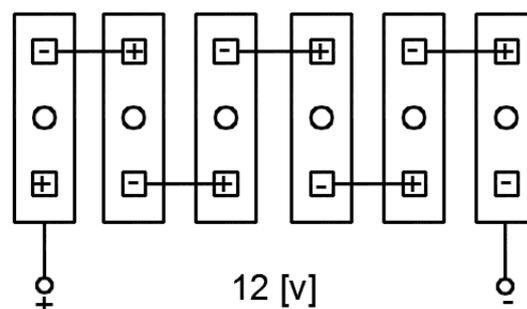
En las baterías de Ni-Cd, el voltaje de salida permanece prácticamente constante hasta el momento en que su capacidad se agota. En ese momento la cantidad de energía que puede suministrar disminuye radicalmente.

**Batería de Ion litio:** Las baterías basándose en iones de Litio es un dispositivo de almacenamiento de energía que usa como electrolito, una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo, y son las baterías que se emplean fundamentalmente en los teléfonos móviles es muy previsible que se desarrollen hasta sustituir a las de Ni-Cd incluso en aplicaciones fotovoltaicas, especialmente en pequeños sistemas. Estas baterías consiguen almacenar mucha más energía que otros tipos y son también mucho más ligeras, pesando cerca de la mitad que una Ni-Cd equivalente.



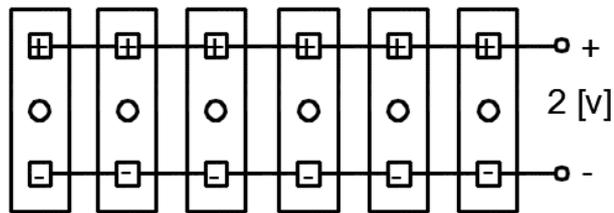
**Figura 2. 25** Batería de Iones de Litio.

**Conexiones de Baterías:** Las baterías se pueden conectar entre sí, para de esta manera poder incrementar el nivel de voltaje, la capacidad, o el voltaje y la capacidad. La conexión serie (positivo a negativo) las tensiones de las celdas se suman, para obtener baterías de 4, 6, 12, 24 voltios y así sucesivamente, pero manteniendo la misma capacidad, esta conexión se la puede apreciar en la siguiente Figura 2. 26.



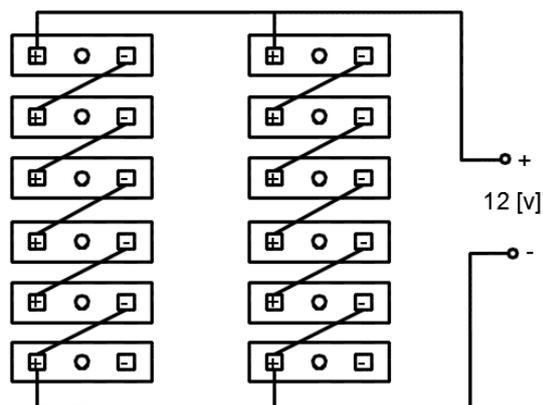
**Figura 2. 26** Conexión serie de baterías con vasos de 2 V.

La conexión en paralelo (positivo a positivo y negativo a negativo) las capacidades de las celdas se suman, manteniendo la misma tensión nominal, esta conexión se puede apreciar en la siguiente Figura 2. 27.



**Figura 2. 27** Conexión en paralelo de baterías con vasos de 2 V.

La conexión serie y paralelo se incrementa tanto el voltaje como la capacidad de las celdas, esta conexión se la puede apreciar en la siguiente Figura 2. 28.



**Figura 2. 28** Conexión de baterías en serie y paralelo con vasos de 2 V.

### 2.9.2.Reguladores

Como se ha indicado los paneles fotovoltaicos tienen voltajes nominales superiores a la tensión nominal de las baterías usadas en la instalación. Este hecho es causado por dos factores que son:

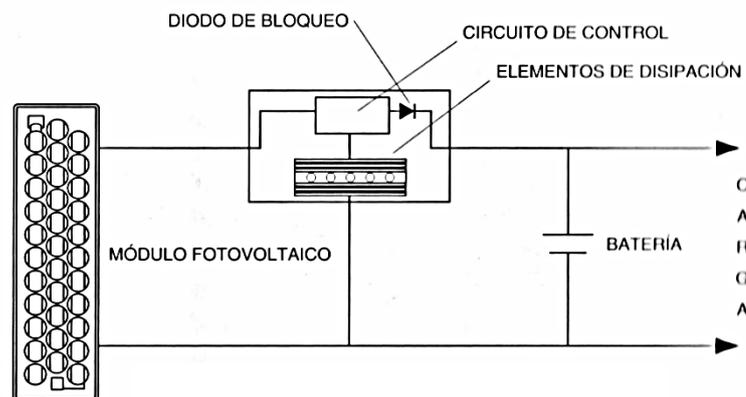
- a) La tensión nominal del panel debe de ser más alta, para de este modo no ser afectada por el aumento temperatura.
- b) El voltaje de circuito abierto debe ser siempre mayor al máximo voltaje de la batería, para de esta forma poder cargarla adecuadamente.

En si la misión del regulador es evitar que, debido a una sobrecarga excesiva causado por el panel, esta pueda en algún momento causar perjuicios al acumulador y acortando la vida del mismo, y evitar la descarga de las baterías sobre los paneles (diodo). Existen dos tipos de reguladores el de tipo shunt o paralelo y el tipo serie. La misión de estos dos reguladores es la misma y se diferencia en la forma de trabajo y prestaciones de cada uno de estos elementos.

**Regulador Shunt o Paralelo:** El método tradicional de controlar la carga de las baterías en los sistemas eléctricos solares es el regulador shunt. Este dispositivo detecta el voltaje de los bornes de la batería y cuando ese potencial alcanza el valor establecido, creando así una vía de baja resistencia a través del grupo solar, de esta manera derivando la corriente que van a las baterías.

Hay un diodo en serie entre el regulador en paralelo y la batería, este impide que la corriente del acumulador retorne a través de regulador o a los paneles

solares. El sistema que se está dando energía toma corriente de las baterías, el voltaje en los bornes descenderá hasta que se desconecte el regulador en derivación y se reanude la carga. El esquema de bloque de conexión del regulador de carga se puede apreciar en la siguiente Figura 2. 29.



**Figura 2. 29** Esquema de bloque del regulador shunt.

Este regulador disipa toda la corriente de salida del grupo generador cuando el sistema de baterías se encuentran en plena carga, esto es aplicado cuando el sistemas solares son pequeños, pero se tratan de sistemas grandes se requiere un disipador térmico de grandes dimensiones, lo que conduce a problemas de habilidad y coste elevado.

**Regulador en Serie:** El regulador serie se basa en el concepto de la regulación en serie, en la que el grupo solar se desconecta del sistema, este sistema es equivalente a un interruptor conectado en serie que da una vía de baja resistencia desde el grupo solar al sistema de baterías durante la carga

y un circuito abierto entre el grupo solar u la batería cuando estas se encuentren totalmente cargadas. El regulador serie de construcción electromecánico no disipa nada de energía, porque cuando está en la posición cerrado no hay caída de tensión en el interruptor y cuando está en abierto existe paso de la corriente. La única potencia consumida es la del circuito de control y, en su caso, la producida por la caída de voltaje en el diodo de bloqueo, si se le dota de este elemento al regulador. Hoy en día la práctica totalidad de reguladores serie utilizan relés de estado sólido, con una circuitería de control más o menos sofisticada que hará que sus funciones sean más o menos avanzadas en cuanto a regulación de carga se refiere. Si enumerarnos las funciones mínimamente necesarias para que un regulador de carga tipo serie, con uso en sistemas fotovoltaicos, sea válido a los requerimientos de carga tecnológicamente disponibles en la actualidad, deberíamos exigirle como mínimo los siguientes condicionantes:

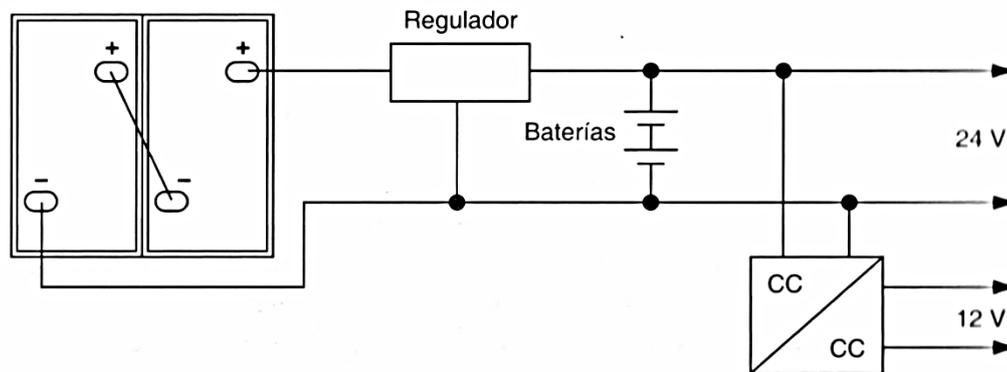
- Que el relé de estado sólido, sea de elevada fiabilidad de funcionamiento en el tiempo.
- Selección automática de la tensión de entrada, como mínimo en valores estándar de 12 V y 24 V y nominales.
- Sistema de regulación en fases diferenciadas, que nos proporcionen una carga adecuada de los acumuladores, evitando el todo o nada de los primeros reguladores serie.

- Variación de los niveles de carga con la temperatura, mediante un sensor externo o interno que modifique dichos niveles en función de la temperatura ambiente a que se encuentre el acumulador, asegurando de esta forma una carga adecuada a la batería y evitando la falta de carga o la sobrecarga por variaciones de la temperatura. Esta función es especialmente importante en países donde la diferencia de temperatura entre el invierno y el verano es considerable.

Concluyendo, los reguladores serie utilizados hoy en día para el control de carga de la batería de acumuladores nos aseguran un eficaz trabajo y una mayor vida de los sistemas fotovoltaicos. En la medida que el sistema de regulación realice fases de carga diferenciadas, podremos asegurar un mayor y mejor nivel de carga.

### **2.9.3. Conversores**

**Convertidor dc-dc:** Es un circuito eléctrico que recibe en su entrada corriente continua y en su salida se tiene corriente continua de diferente voltaje. Un caso típico de utilización del inversor dc-dc se aprecia en la Figura 2. 30.



**Figura 2. 30** Situación de un convertidor dc – dc dentro de un circuito FV.

Los convertidores tienen dos aplicaciones básicas:

- Seguimiento del punto de máxima potencia del generador.
- Permitir utilizar elementos de consumo, que trabajan a otra tensión continua a la del acumulador.

Existen varios tipos de convertidores de dc /dc:

- Convertidores elevadores, que cambian el voltaje de las baterías a otro voltaje más alto.
- Convertidores reductores, que cambian el voltaje de las baterías a otro voltaje más bajo.
- Convertidores de múltiples salidas, que con un mismo voltaje de entrada pueden ofrecer varios voltajes de salida.

- Convertidores de entrada variable, son los convertidores que ofrecen una salida fija independientemente del voltaje de entrada.

Las características estándar de los convertidores dc / dc son:

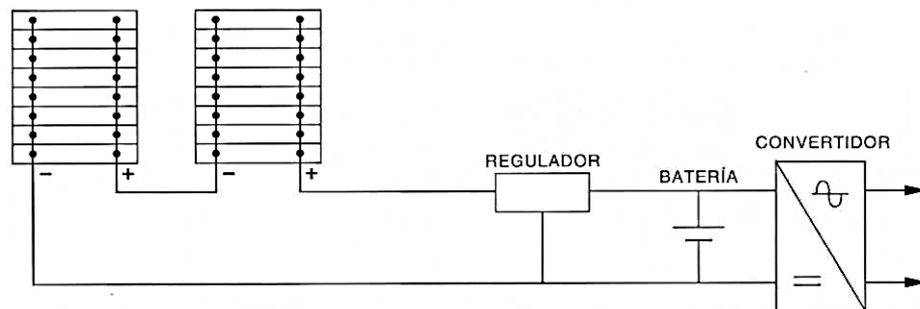
- Rendimiento normalmente situado en torno al 90% a la potencia máxima.
- Margen de voltaje de entrada  $\pm 25$  % del voltaje nominal de entrada.
- Máximo rizado permisible a la salida 5% del voltaje nominal de entrada.
- Voltaje de salida  $\pm 15$ % del voltaje nominal de salida.

Los convertidores deben tener las siguientes protecciones:

- Contra sobrecargas y cortocircuitos por la limitación de la corriente de salida.
- Contra subvoltaje desconectando el convertidor si el voltaje de entrada es insuficiente.
- Contra sobrevoltaje de salida, limitando el voltaje de salida.
- Contra inversión de polaridad a la entrada.
- Entrada y salida aisladas entre sí para evitar corrientes indeseadas.

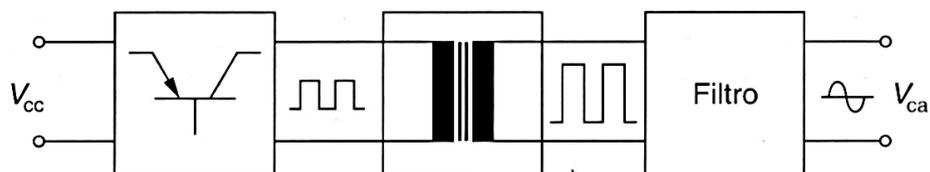
**Inversor dc-ac:** Es un dispositivo electrónico que permite la conversión de la corriente continua de un voltaje conocido a una corriente alterna de otro voltaje, ya sea para la aplicación directamente a la demanda de la carga o para la inyección de la misma a la red. Estos inversores son utilizados tanto

para instalaciones conectadas a la red, como en instalaciones aisladas. El caso típico de utilización del inversor se aprecia en la Figura 2. 31.



**Figura 2. 31** Situación de un convertidor dc-ca dentro de un circuito FV.

EL inversor de dc-ac consta de un circuito electrónico, realizado con transistores o tiristores, que trocea la corriente continua, alternándola y creando una onda de forma cuadrada, que es utilizada después de haber hecho pasar por un transformador que la eleva la tensión, obtenido de esta manera convertidores de onda cuadrada, y si se filtra se adquiere una forma de onda sinusoidal igual al de la red eléctrica. Este esquema del inversor se la puede apreciar en la Figura 2. 32.



**Figura 2. 32** Esquema de bloque de un inversor dc-ac.

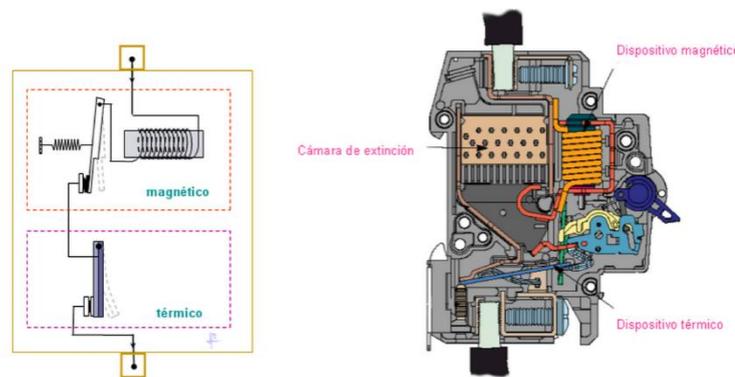
Para cargas de naturaleza resistiva la forma de la onda carece de importancia hasta incluso se podría utilizar corriente continua o alterna. Pero

en el caso de cargas inductivas, la forma de la onda de tensión es fundamental, ya que la máxima eficiencia en la rotación sucede cuando la alimentación es una onda sinusoidal. Los inversores de corriente continua en alterna son utilizados como receptores de corriente alterna en instalaciones aislada de la red y permiten conectar los sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica. Los inversores se pueden distinguir en dos tipos que son; el primero que es el inversor de conmutada por la red o natural, que permite determinar el fin del estado de conducción en los dispositivos electrónicos, éstos son utilizados para sistemas fotovoltaicos conectados a la red, y el segundo que son inversores de conmutación forzada que son utilizados en los sistemas aislados que permiten generar corriente alterna que en su salida puede ser de forma escalonada o por modulación de ancho de pulso que consiguen ondas prácticamente senoidales y por lo tanto con poco contenido de armónicos.

#### **2.9.4.Elementos de protección**

**Interruptor Magneto térmico:** Es un dispositivo utilizado para la protección de circuitos eléctricos, contra sobrecorriente y sobrecargas, en vez de la utilización de fusibles, ya que cuando sucede una falla este abre el circuito y se lo puede reanudar cuando la falla ya está arreglada, sin tener que cambiar por otro como es el caso del fusible.

El interruptor se encuentra equipado con dos dispositivos de protección conectados en serie, y que su reacción es mediante dos efectos que produce la corriente eléctrica cuando circula por un conductor, que es la temperatura y campos magnéticos. De este modo su equipamiento es con un disparador térmico que funciona cuando existe sobrecorrientes bajas (sobrecargas) y un disparador electromagnético para sobrecorriente elevadas (cortocircuitos). El funcionamiento del disparador térmico es por la curvatura de la lámina bimetálica que se produce la diferencia de grados de dilatación producido por la corriente eléctrica, y para el disparador electromagnético se produce cuando la bobina (electroimán) atrae al núcleo, el cual acciona un dispositivo mecánico realizando la apertura de los contactos principales del interruptor. El diagrama interno y su principio de funcionamiento de un interruptor magneto térmico se pueden apreciar en la siguiente Figura 2. 33.



**Figura 2. 33** Componentes básicos de un interruptor electromecánico.

**Fusibles:** El fusible es un dispositivo de protección utilizados en los sistemas eléctricos ya sean estos de corriente alterna o continua, este interrumpe el

flujo de corriente eléctrica, cuando sobrepasa la corriente de fusión del fusible en un tiempo determinado. Una condición de operación del fusible es cuando se encuentra en sobrecarga, la cual se encuentra en condiciones excesiva por arriba de la corriente nominal especificada. Esta corriente se encuentra entre 2 a 3 veces la corriente nominal. Su funcionamiento puede producirse por corrientes de arranques de motores, inrush de transformadores, mal funcionamiento de artefactos eléctricos y cuando existen demasiadas cargas conectadas a un solo circuito. La segunda forma de hacer funcionar un fusible es cuando se presenta un cortocircuito la cual produce una corriente muy elevada en el orden de 6 veces la corriente nominal hasta incluso a los miles de amperios. Los fusibles pueden presentar muy buenas ventajas como es la de su bajo costo, reducido tamaño y un elevado poder de corte y sus desventajas es la dificultad en la protección contra sobrecargas, labores de mantenimiento se puede reemplazar un fusible por otro calibre superior produciendo una falsa protección, en sistemas trifásicos al fundirse un fusible ocasiona sobrecargas las otras dos fases. Una representación de un fusible común en la utilización de la protección de sistemas fotovoltaicos se puede apreciar en la Figura 2. 34.



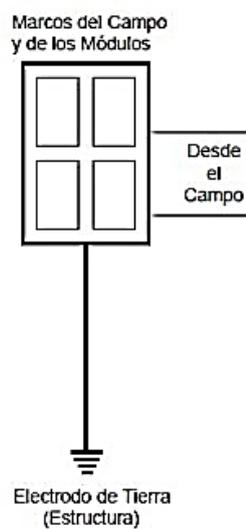
**Figura 2. 34** Fusibles para protección de sistemas fotovoltaicos.

**Puesta a tierra:** La puesta a tierra es la conexión conductora por la cual un circuito eléctrico o equipo se conecta a tierra. Este sistema de puesta a tierra es muy necesario en las instalaciones fotovoltaicas ya que este protege los equipos y las instalaciones debido a las siguientes causas.

- Se obtiene una resistencia de bajo valor para de este modo desviar los fenómenos eléctricos transitorios, corriente de falla estática, así como el ruido eléctrico y radiofrecuencias.
- Ofrece un camino a tierra antes las descargas atmosféricas y sobrecorrientes internas del sistemas.
- Hace que los equipos de protección sean más sensibles, permitiendo un rápido camino de corrientes defectuosas a tierra.

Uno de los métodos que se utiliza para la puesta a tierra es mediante la utilización de varillas que pueden ser de cobre, de acero con recubrimiento

de cobre, esta varilla es también conocida como varilla copperweld. En instalaciones fotovoltaicas en la parte de generación las estructuras y como los marcos metálicos de los paneles deben ir conectados todos en si a tierra antes descargas atmosféricas. Esta conexión se la puede apreciar en la siguiente Figura 2. 35.



**Figura 2. 35** Esquema de conexión a tierra de estructura y marco metálico.

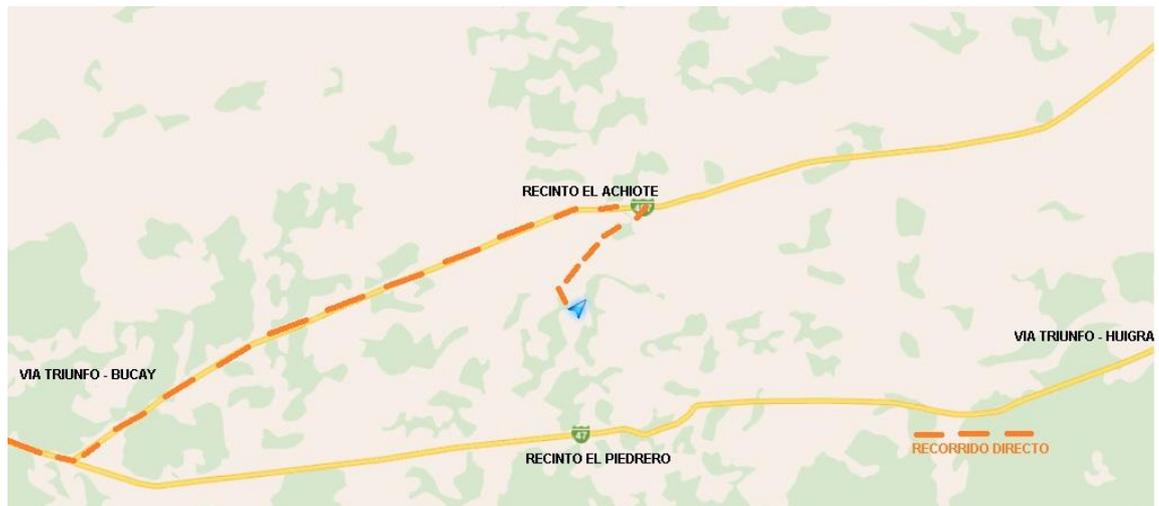
La conexión a tierra es utilizada también en el inversor contra fallas de cortocircuitos y en las cargas de corriente alterna para la protección contra el contacto indirecto.

## **CAPÍTULO 3**

### **DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE DIMENSIONAMIENTO**

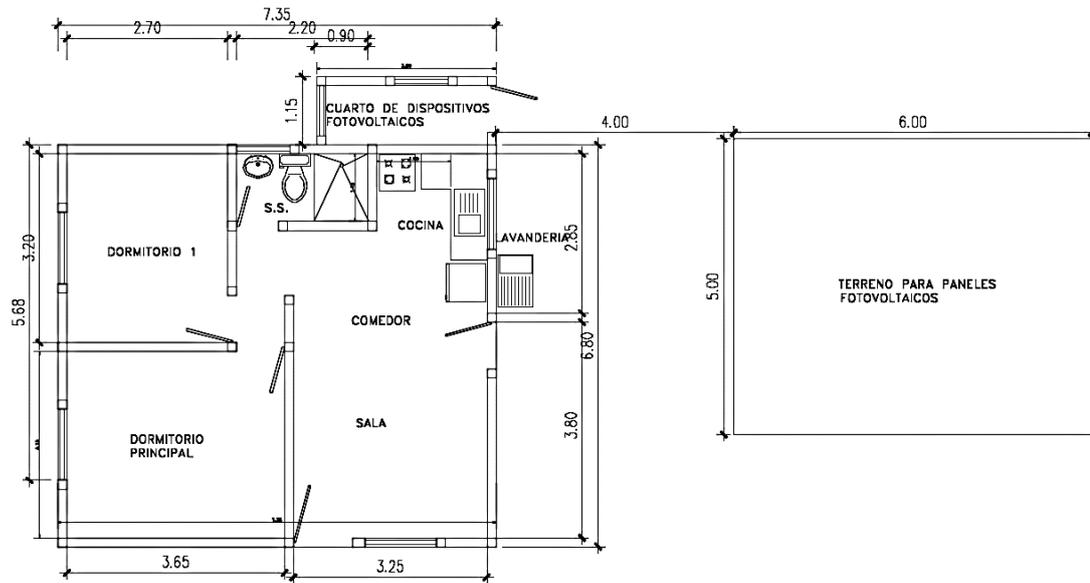
La instalación del sistema fotovoltaico autónomo se ubicara a la altura del kilómetro 23 en el Recinto El Achiote de la vía El Triunfo – General Antonio Elizalde (Bucay) ambos de la provincia del Guayas, con un tiempo aproximado de 25 minutos sin vehículo, el terreno cuenta con una área de 6.8 hectáreas disponible y que son utilizados para la agricultura, el cual se tomara una parte del mismo para la instalación de los paneles fotovoltaicos. En la Figura 3. 1 se puede apreciar el sector de instalación del sistema mencionado.



**Figura 3. 1** Ubicación de la instalación del sistema fotovoltaico autónomo.

### **3.2. UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN**

En la vivienda contará con un cuarto donde se instalarán los diferentes dispositivos del sistema fotovoltaico como son baterías, inversor, regulador de carga, protecciones, tableros, etc.; este constará de un sistema de ventilación para que los equipos no se sobrecalienten ni se sobrecarguen. En cambio los paneles fotovoltaicos se instalarán en un segmento de terreno alado de la vivienda, estos estarán instalados sobre estructuras metálicas, con su respectivo ángulo de inclinación óptima de radiación. El diagrama de la vivienda donde se realizara la instalación se aprecia en la siguiente Figura 3. 2.



**Figura 3. 2** Diagrama de la vivienda a instalar SFA y la ubicación de los componentes a instalar.

Con la colocación de los paneles en un espacio libre de sombras, se logrará que los estos obtengan las 8 horas de irradiación al día durante todo el año.

### 3.3. MÉTODO DE DIMENSIONAMIENTO

Este método se basa en el cálculo del consumo diario de energía, teniendo en consideración las pérdidas que se producen en toda la instalación, para de esta forma poder determinar un rendimiento global (performance ratio) y poder obtener el número de paneles necesarios para suplir la demanda. El cálculo se lo hará tomando en consideración algunos aspectos importantes de la norma NEC 11, y otros factores significativos que se tomarán en consideración para realizar un correcto dimensionamiento de los

componentes del sistema fotovoltaico. Cabe recalcar que este método del rendimiento global es utilizado cuando tenemos un regulador con buscador del punto de máxima potencia (MPP), caso contrario si no disponemos de este buscador se lo realizaría mediante el método amperios-hora, el cual incrementaría la parte de generación aumentando el número de paneles y consigo un aumento del costo de la instalación.

En este dimensionamiento tomaremos dos alternativas de cálculo, ósea dos consumos eléctricos que lo denotaremos como consumo bajo y consumo medio, para de forma tener abarcado dos diseño que serán evaluados en el análisis económico para así asegurar la viabilidad de la instalación fotovoltaica aislada.

### **3.3.1. Cálculos de los Consumos Diarios**

Para la obtención del consumo diario, se toma en consideración de que si la demanda durante todo el año es contante o varía. Si varía se ha de calcular los consumos mensuales. Se puede utilizar el voltaje de las baterías, pero se tiene que tomar en consideración las caídas de voltajes los cuales aumentan el consumo de energía y el voltaje de operación de los equipos.

Se elaborará un listado de los diferentes aparatos conectados al sistema, el número de horas de uso diario, y la potencia de operación de cada uno. La determinación del consumo de energía es de manera directa, se obtiene de

la energía de los todos los dispositivos que serán alimentado por el sistema fotovoltaico.

El tipo de voltaje del sistema se establecerá con respecto a las cargas más elevadas. Si predominan las cargas de AC, se elegirá un voltaje AC que sea compatible con la entrada del inversor. En cambio sí predominan los consumos de las cargas DC, se debe elegir la tensión de la carga mayor.

En general se recomienda tensiones de dimensionamiento con respecto a la siguiente Tabla 3. 1, con la cual se seleccionara el nivel de voltaje evitando así el incremento excesivo de corriente, pero también teniendo en cuenta que el aumento de la tensión incrementará el costo de la instalación, por las baterías.

Potencia demandada AC [Kw]	Voltaje entrada al inversor [V]
<1,5	12
1,5 - 5	24 o 48
> 5	48 o mayores

**Tabla 3. 1** Indicador del nivel de tensión con respecto a la potencia demandada.

Para la determinación de los consumos diarios de la demanda se puede apreciar en las Tabla 3. 2 y Tabla 3. 3 los datos de potencia de los electrométricos, el tiempo de utilización, y los consumos de energía por día de cada aparato. En la Tabla 3. 4 se indica la demanda estimada de energía

consumida para la instalación para los casos de consumo eléctrico bajo y medio.

Dispositivos		Cantidad	Potencia [W]	Ciclo diario [horas/días]	Energía [wh/día]
TV	AC	1	70	4	280
Focos 20 W c/u	AC	5	20	5	500
DVD	AC	1	30	3	90
Radio	AC	1	30	3	90
Otros	AC	1	20	4	80

**Tabla 3. 2** Datos de consumo eléctrico bajo.

Dispositivos		Cantidad	Potencia [W]	Ciclo diario [horas/días]	Energía [wh/día]
TV	AC	1	70	4	280
Focos 20 W c/u	AC	5	20	5	500
DVD	AC	1	30	3	90
Radio	AC	1	30	3	90
Refrigeradora	AC	1	250	8	2000
Licuada	AC	1	300	0,17	51

**Tabla 3. 3** Datos de consumo eléctrico medio.

	Consumo Bajo	Consumo Medio
<b>Energía Diaria [Kwh]</b>	1,040	3,011
<b>Energía mensual [Kwh]</b>	31,20	90,33
<b>Energía anual [Kwh]</b>	374,4	1083,96

**Tabla 3. 4** Demanda estimada de energía para los dos consumos.

### 3.3.4. Corriente y ángulo de inclinación

Se tiene que escoger el mes más desfavorable de irradiación en el año, que es el mes donde baja la proporción de energía solar disponible. Con esto se dimensiona la instalación fotovoltaica para el peor mes de un año. Para el ángulo de inclinación óptimo del panel fotovoltaico se escoge la inclinación que da la mayor energía en el mes más desfavorable. El número de horas de sol pico se obtiene de la división de la radiación media en  $\text{Wh/m}^2/\text{día}$  para  $1000 \text{ W/m}^2$ . El cálculo de los distintos ángulos de inclinación se encuentra en el Anexo C1, tanto para las cargas de consumos bajo y medio. Las horas de sol pico para cada inclinación se la determina mediante la siguiente fórmula.

$$H_T = k * H \quad (3. 1)$$

Donde:

k= Constante de inclinación del panel por grado de inclinación.

H= media de la radiación mensual diaria sobre la superficie horizontal.

En la Tabla 3. 5 se encuentra la selección de la corriente mínima y las horas de sol máximo para el ángulo de inclinación de 10 grados, el cual resulto el más óptimo.

Angulo de inclinación		=	10
Consumo	Horas sol pico [Horas/Día]	Corriente de diseño [A]	
Bajo	4,17	25,60	
Medio	4,17	69,42	

**Tabla 3. 5** Horas de sol pico y corriente de diseño.

### 3.3.5. Dimensionamiento del generador

Para el cálculo del número de paneles necesario para satisfacer la demanda de energía eléctrica prevista en la vivienda tanto para el consumo bajo y medio propuesto, son estimados en la siguiente expresión en función del emplazamiento, tipo de panel solar y del rendimiento global.

$$N_{mod} = \frac{C_{ed}}{P_{MP} * HSP * PR} \quad (3. 2)$$

Donde:

$C_{ed}$  = consumo estimado diario.

$P_{MP}$  = Potencia pico del módulo.

HSP = Horas de sol pico en el mes más desfavorable.

PR = Rendimiento global de la instalación (Performance ratio).

Para el rendimiento global de la instalación se toma en cuenta las siguientes pérdidas:

### **Pérdidas por dispersión de potencia de los módulos:**

La potencia que pueden ofrecer los paneles no es exactamente la misma, por esta razón, tampoco su intensidad ni su voltaje de máxima potencia. Este valor de pérdida se puede obtener del catálogo del fabricante de los paneles.

### **Pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas:**

El rendimiento de las células solares disminuye con el incremento de la temperatura a la que se encuentra la superficie del panel. Para el cálculo de este factor se realizará mediante la siguiente expresión:

$$P_T = K_T * (T_c - 25^\circ\text{C}) \quad (3.3)$$

Donde:

$K_T$  = el coeficiente de temperatura [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ], *si este dato no es dado por el fabricante se puede asumir de  $0.05^\circ\text{C}^{-1}$ .*

$T_c$ , es la temperatura media mensual a la que trabajan las placas fotovoltaicas.

El valor de temperatura mensual que operan los paneles se pueden determinar mediante la siguiente formula.

$$T_c = T_a + 1.25 * (T_{onc} - 20) \quad (3.4)$$

Donde:

$T_a$  = temperatura ambiente media mensual [°C].

$T_{onc}$  = temperatura de operación normal de la célula, si no el fabricante no lo ofrece se puede asumir de 45°C.

### **Pérdida debida a la acumulación de suciedad en los módulos:**

Con una inclinación apropiada de los paneles y realizando tareas de mantenimiento y limpieza de forma regular, estas pérdidas no pueden superar el 3%.

### **Pérdidas por sombras**

Las pérdidas por sombreado en los generadores fotovoltaicos afectan su producción, de este modo se tiene que en lo absoluto se presente estos sombramiento en los paneles.

### **Pérdidas por degradación de los módulos:**

Esta pérdida se presenta de forma natural en todas las células de silicio debido a la exposición de la radiación solar, que de forma usual está en el orden del 1%.

**Pérdidas eléctricas:**

Estas pérdidas son debidas a la resistencia que ofrecen los conductores a la hora de circular la corriente eléctrica. Estas no deben ser mayor al 3%.

**Pérdidas por reflectancia**

Estas pérdidas con debido a los efectos angulares de la reflexión en los módulos, fueron estimadas por la Universidad de Ginebra y se considera en un 2,9%.

De esta manera se puede determinar el rendimiento global el sistema mediante la siguiente fórmula:

$$PR = \eta_{temperatura} * \eta_{cableado} * \eta_{inversor} * \eta_{regulador} * \eta_{bateria} * \dots * \eta_n \quad (3.5)$$

En la siguiente Tabla 3. 6 se encuentra el rendimiento global de la instalación fotovoltaica para los dos casos de consumo eléctrico. Los detalles de los rendimientos de cada componente se encuentran en el Anexo B1.

	<b>Performance ratio</b>
<b>Consumo Bajo</b>	0,658199569
<b>Consumo Medio</b>	0,702572574

**Tabla 3. 6** Rendimiento global de las instalaciones.

En la Tabla 3. 7 y Tabla 3. 8 se encuentra el número total de paneles y las características de la capacidad del grupo generador respectivamente, para la instalación fotovoltaica en los dos casos de consumo propuestos. En la Tabla 3. 9 se aprecia las características técnicas del módulo fotovoltaico escogido para la instalación tanto para los dos consumos; y en Anexo A4 se encuentra su datasheet completo.

	<b>Número total de paneles</b>	<b>Número total de paneles a instalar</b>	<b>Números en serie</b>	<b>Números en paralelo</b>
<b>Consumo Bajo</b>	2,53	3	1	3
<b>Consumo Medio</b>	6,85	7	1	7

**Tabla 3. 7** Número total de paneles para la instalación.

	<b>Corriente Nominal General [A]</b>	<b>Isc del Generador [A]</b>	<b>Voltaje nominal Generador [V]</b>	<b>Voc Generador [V]</b>
<b>Consumo Bajo</b>	25,26	26,64	18	22,6
<b>Consumo Medio</b>	58,94	62,16	18	22,6

**Tabla 3. 8** Capacidades del grupo generador.

<b>Modelo</b>	Simax 150w		
<b>Tensión nominal [V]</b>	12	<b>Potencia [W]</b>	150
<b>Largo[mm]</b>	1482		
<b>Ancho [mm]</b>	676	<b>Grosor [mm]</b>	35
<b>Peso [Kg]</b>	12	<b>Tonc [°C]</b>	45
<b>Voltaje [V]</b>	<b>a MMP</b>		<b>Voc</b>
	18		22.6
<b>Corriente [A]</b>	<b>a MMP</b>		<b>Isc</b>
	8.42		8.88
<b>Tolerancia de potencia [%]</b>	2	<b>KT [°C^-1]</b>	0.0035

**Tabla 3. 9** Características del panel fotovoltaico.

### 3.3.6. Dimensionamiento de la batería

Para la determinación de la capacidad de la batería se la obtiene de la multiplicación del número de días de autonomía del sistema para el consumo diario y esto dividido para la máxima profundidad de descarga de las baterías, como se puede ver en la siguiente formula.

$$\text{Capacidad batería} = \frac{\text{N}^\circ \text{ días autonomía} * \text{Consumo diario}}{\text{Maxima profundida de descarga}} \quad (3. 6)$$

Para la fórmula de la capacidad de la batería tiene que ser modificada por factores que afecten a la capacidad de la batería y la máxima profundidad de descarga. El primer factor es el que las baterías pierden capacidad cuando las temperaturas son muy bajas, a su vez la capacidad de la batería también

varía con el régimen de descarga, este régimen se puede obtener con la fórmula siguiente.

$$\text{Tiempo de operacion medido cargas} = \frac{\sum \text{Consumos} * \text{tiempo de operacion}}{\sum \text{Consumos}} \quad (3.7)$$

$$\text{Regimen descarga medio} = \frac{\text{N}^\circ \text{ dias autonomia} * \text{tiempo de operación de las cargas}}{\text{Máxima profundidad de descarga}} \quad (3.8)$$

El número de baterías en serie y paralelo se puede obtener mediante la siguiente fórmula.

$$\text{N}^\circ \text{Baterias serie} = \frac{\text{Voltaje nominal del sistema}}{\text{Voltaje nominal batería}} \quad (3.9)$$

$$\text{N}^\circ \text{Baterias paralelo} = \frac{\text{Capacidad necesaria batería}}{\text{Capacidad de una batería}} \quad (3.10)$$

En la Tabla 3. 10 se aprecia la determinación del régimen de descarga medio de las baterías, tomando en cuenta el tiempo de operación de las baterías y el consumo diario de la demanda. En la Tabla 3. 11 se indica las capacidades de las baterías en periodo diario y estacional, el cual es seleccionado el mayor de los dos periodos para el cálculo. Para las Tabla 3. 12 y Tabla 3. 13 se encuentra el número de baterías a instalar y la capacidad disponible respectivamente. Para la Tabla 3.14 se encuentra las

características técnicas de la batería escogida; y en el Anexo B4 su datasheet completo.

Clase social	Consumo Diario [Ah/Día]	Tiempo medio de operación [horas]	Régimen descarga medio [horas]
Consumo Bajo	1168,54	4,67	20,03
Consumo Medio	3169,47	4,06	17,41

**Tabla 3. 10** Tiempo de operación y régimen de descarga.

	Consumo diario [Ah/día]	Capacidad batería Diaria [Ah]	Capacidad batería Estacional [Ah]
Consumo Bajo	106,7	426,8	457,5
Consumo Medio	289,5	1158,1	1240,8

**Tabla 3. 11** Capacidad de las baterías diaria y estacional.

	Capacidad necesaria de batería [Ah]	Capacidad de la batería seleccionada [Ah]	Baterías en paralelo	Baterías en Serie	N° Total de Baterías
Consumo Bajo	457,5	160	3	1	3
Consumo Medio	1240,8	160	8	1	8

**Tabla 3. 12** Números totales de baterías a instalar.

	Capacidad del sistema de baterías [Ah]	Capacidad Útil [Ah]
Consumo Bajo	480	336
Consumo Medio	1280	896

**Tabla 3. 13** Capacidad útil del banco de baterías.

<b>Marca</b>	Ultracell
<b>Modelo</b>	UCG150-12
<b>Tipo</b>	GEL
<b>Voltaje nominal [v]</b>	12
<b>Capacidad nominal C20 [Ah]</b>	160
<b>Peso [Kg]</b>	44
<b>Dimensiones [mm]</b>	485x170x240

**Tabla 3.14** Características de la batería.

### 3.3.7. Dimensionamiento del controlador de carga

El objetivo del controlador de carga es proteger las baterías ante sobrecargas y descargas excesivas. El controlador debe tener la capacidad de controlar la máxima corriente del sistema. De este modo se recomienda dar un margen de seguridad del 1.25 con respecto a la corriente de cortocircuito del generador como presenta a continuación.

$$I_{RE} = 1.25 * I_{SC} * N_{paralelo} \quad (3.11)$$

En la Tabla 3. 15 se determina la corriente nominal del regulador y cuantos reguladores se necesitan en la instalación fotovoltaica. Y en la Tabla 3. 16 se indica la característica del controlador de carga seleccionado y en Anexo C4 su datasheet completo.

	Isc Generador [A]	Corriente nominal Regulador [A]	Reguladores en Paralelo
<b>Consumo Bajo</b>	33,3	45	1
<b>Consumo Medio</b>	77,7	45	2

**Tabla 3. 15** Número de reguladores a utilizar.

Para el consumo medio de carga se necesitan dos reguladores en su instalación, con el cual se debe de conectar en paralelo para su correcto funcionamiento.

<b>Modelo :</b>	MORNINGSTAR
<b>Tipo:</b>	TriStar-45
<b>Voltaje batería [V]</b>	12/24/48
<b>Corriente de carga nominal [A]</b>	45
<b>Voltaje máximo Circuito abierto [V]</b>	150
<b>Eficiencia [%]</b>	99
<b>Dimensiones (al x an x p) [mm]</b>	291 x 130 x 142
<b>Peso [Kg]</b>	4.2

**Tabla 3. 16** Característica del controlador de carga.

### 3.3.8. Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento del inversor se tiene presente un factor de sobrecarga del 25% para protección ante sobrecarga la demanda eléctrica AC, y adicionalmente a esto se agrega un factor de 50% ante arranques o potencias instantáneas que pueda tener la demanda y que se encuentra en

rangos de menos de un segundo. En la Tabla 3. 17 se indica lo dicho anteriormente y el número de inversores requeridos en la instalación. Y en la Tabla 3. 18 se encuentra las características técnicas del inversor utilizado en la instalación para los dos casos de consumo eléctrico y en el Anexo D4 sus datasheets completos.

	Potencia de la carga AC [W]	Potencia AC con sobrecarga[W]	Potencia AC pico [W]	Potencia del inversor [W]	Números de inversores
<b>Consumo Bajo</b>	250	312,5	468,75	350	1
<b>Consumo Medio</b>	780	975	1462,5	1000	1

**Tabla 3. 17** Número de inversores requeridos.

	Consumo Bajo	Consumo Medio
<b>Marca</b>	VictronEnergy	PowerStar
<b>Modelo</b>	Phoenix 12/350	Lw1000-12-C
<b>Voltaje DC</b>	12	12
<b>Voltaje AC</b>	110	120
<b>Potencia continua</b>	350	1000
<b>Potencia pico</b>	700	3000
<b>Eficiencia</b>	89%	95%
<b>Peso</b>	3.5	18
<b>Dimensiones (al x an x p)</b>	72x155x237	442x218x179

**Tabla 3. 18** Característica del inversor.

### 3.3.9. Cableado del sistema

Para el sistema de cableado se tiene que tomar en cuenta el tipo y los calibres de los conductores, y de ese modo aumentar el rendimiento y la fiabilidad del sistema fotovoltaico.

Las secciones de los conductores externos deben tener una caída de tensión menor del 3% entre grupo generador y el regulador, inferior al 1% entre la batería y el regulador, inferior al 3% entre el regulador y las cargas.

El cable del arreglo fotovoltaico y el regulador se selecciona de tal forma de su capacidad sea 125% la corriente de cortocircuito del grupo generador, de igual forma el cable del regulador y la batería.

Los cables exterior de la instalación fotovoltaica deben ser resistente a la humedad, temperatura 90°C, doble aislamiento multifilares y resistente a los rayos ultravioleta, estos pueden ser del tipo XHHN, SUPERFLEX, o similares.

El calibre del conductor se debe de tomar en cuenta su ampacidad y caída de tensión y esta viene dado por la siguiente formula.

$$S = \frac{2 * l * i}{C * \Delta V} \quad (3.12)$$

Donde:

$l$ = Distancia de un elemento a otro.

$i$ = Corriente que circulará por el conductor.

$C$ = La conductividad del material que conforma el cable.

$\Delta V$ = Caída de tensión en el conductor.

Algunos factores que se utilizaron para el dimensionamiento de los conductores se encuentran en el Anexo D1, escogiendo como conductor el cobre tanto para la parte continua y alterna en la instalación.

En la Tabla 3. 19 y Tabla 3. 21 se muestra el tipo de conductor y el calibre que se utilizara en la instalación en cada tramo, en la Tabla 3. 20 y Tabla 3. 22 se indica el calibre del cable de protección y el diámetro del tubo protector que abarcara los conductores, para los dos casos de consumo de energía.

Tramo	Voltaje [V]	Corriente máxima [A]	Longitud [m]	Caídas de tensión [%]	Tamaño [AWG] (1)	Máxima intensidad admisible conductor	Tipo de cable
Generador - regulador	12	26,64	5	3	4	63,7	THHN
Batería- regulador	12	26,64	3	1	2	86,45	THHN
Batería- inversor	12	7,15	3	1,5	10	27,3	THHN
Inversor- CGPM	110	6,36	5	1	12	22,75	THHN

**Tabla 3. 19** Calibre y tipo de conductor utilizado en el consumo bajo.

Tramo	Sección del cable de protección, [AWG] (2)	Número Total de conductores [AWG] (1)+(2)	Diámetro de tubo protector, [mm]
Generador - regulador	4	3 #4	32
Batería - regulador	6	2 #2, 1 #6	40
Batería - inversor	10	3 #10	20
Inversor - CGPM	12	3 #12	20

**Tabla 3. 20** Número total de conductores y tubería para consumo bajo.

Tramo	Voltaje [V]	Corriente máxima [A]	Longitud [m]	Caídas de tensión [%]	Tamaño [AWG] (1)	Máxima intensidad admisible conductor	Tipo de cable
Generador - regulador 1	12	35,52	5	3	4	63,7	THHN
Generador - regulador 2	12	26,64	5	3	4	63,7	THHN
Batería - regulador	12	62,16	3	1	3/0	150,15	THHN
Batería - inversor	12	26,32	3	1,5	4	63,7	THHN
Inversor - CGPM	120	25	5	1	10	27,3	THHN

**Tabla 3. 21** Calibre y tipo de conductor utilizado en el consumo medio.

Tramo	Sección del cable de protección [AWG] (2)	Número Total de conductores [AWG] (1)+(2)	Diámetro de tubo protector [mm]
Generador-regulador 1	4	3 #4	32
Generador-regulador 2	4	3 #4	32
Batería-regulador	1/0	2 # 3/0, 1 #1/0	63
Batería-inversor	4	3 #4	32
Inversor-CGPM	10	3 #10	20

**Tabla 3. 22** Número total de conductores y tubería para consumo medio.

### 3.3.10. Protección del sistema

En las protecciones se utilizarán interruptores, fusibles y breaker para proteger a los equipos y personas. Con el interruptor permite el corte de la corriente en caso de emergencia, el fusible da protección mediante sobrecorrientes en caso de cortocircuitos o fallas a tierra y el breaker es una protección utilizada en circuito de corriente alterna protege ante sobrecorriente y cortocircuito.

El fusible será elegido de tal modo de que la máxima corriente de operación se encuentre en el rango del 50 al 80% de la capacidad nominal del fusible.

El breaker será dimensionado para que opere al 125% de la máxima corriente pico que pueda entregar el inversor.

Para la selección del fusible sea efectivo, se debe cumplir que:

$$I_b \leq I_n \leq 0,9 \cdot I_{adm} \quad (3. 13)$$

Donde:

$I_b$  = Corriente que recorre la línea.

$I_n$  = Corriente nominal del fusible asignado a la línea.

$I_{adm}$  = Máxima corriente admisible del cable conductor de la línea.

En la Tabla 3. 23 y Tabla 3. 24 se indica las protecciones seleccionadas tanto para parte de corriente continua como la de corriente alterna para los dos casos de consumo eléctrico, con el fin de dar seguridad a la instalación fotovoltaica en caso de que ocurra un fallo en el sistema.

Tramo	$I_b$	$I_n$	$0,9 \cdot I_{adm}$
Generador - regulador	26,64	40	63,7
Batería - regulador	26,64	40	86,5
Batería - inversor	7,15	10	27,3
Inversor - CGPM	7,95	10	20,5

**Tabla 3. 23** Protección para la instalación de consumo bajo.

Tramo	$I_b$	$I_n$	$0,9 \cdot I_{adm}$
Generador - regulador 1	35,52	50	57,33
Generador - regulador 2	26,64	40	57,33
Batería - regulador	62,16	100	135,14
Batería - inversor	26,32	40	57,33
Inversor - CGPM	31,25	40	24,57

**Tabla 3. 24** Protección para la instalación de consumo medio.

### 3.4. SIMULACIÓN EN PVSYST V5.2

Para la simulación realizada en el programa PVSYST V5.2 se la encuentra en el Anexo E1, el cual se halla las hojas de los resultados obtenidos para los dos grados de electrificación propuesto anteriormente, y este dio como resultado el mismo número de paneles y baterías a utilizar en la instalación fotovoltaica aislada, de esta forma se determinó su verificación y confiabilidad con lo calculado.

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA**

#### **4.1. COSTOS**

En el análisis económico se lo realizará mediante el método beneficio costo para el proceso de selección, este se lo hará entre Sistema Fotovoltaico vs Generadores a combustión interna y el Sistema Fotovoltaico vs Instalación de una línea de media tensión.

Una vez obtenida la opción más conveniente se realizará la instalación del sistema eléctrico, la cual el usuario será el absoluto dueño de una pequeña central eléctrica y este asumirá los costos iniciales de materiales, transporte e instalaciones sin descartar el mantenimiento.

Para la realización del análisis se tendrá presente todos los costos de los equipos, instalación, movilización, transporte, capacitación, mano de obra, todas las inversiones que se debe hacer para tener energía durante el tiempo de estudio de 20 años.

Los costos se clasificaran de la siguiente forma:

- Costos inicial + instalación
- Costos de O&M(operación y Mantenimiento)
- Costos de reposición de partes o piezas

#### **4.1.1. Costos inicial + instalación**

Son aquellos gastos necesarios para poder tener un sistema en capacidad de entregar energía. Los costos para poder iniciar un proyecto son:

- Costos de adquisición de equipos.
- Costo de mano de obra (Instalación), movilización y transporte.
- Capacitaciones y manejo de herrajes y otros.

#### **4.1.2. Costo de operación y mantenimiento**

Son los costos donde se incluyen el pago de técnicos, operarios, encargados del mantenimiento, inspección de los sistemas y reparaciones menores.

Estos valores deberán ser asumidos por el usuario, por lo que se requiere del cobro de una tarifa para que los sistemas sean sustentables económicamente, adicional a esto no se debe incluir el remplazo de equipos o reparaciones mayores

#### **4.1.3. Costos de reposición de partes o piezas**

Son los costos de reposición de los equipos y materiales durante el periodo de estudio de 20 años. Estos costos serán ubicados en la parte de la inversión inicial en el estudio.

Los costos por reposición de componentes incluye reparaciones mayores así como el remplazo de equipos que ya han concluido su vida útil.

### **4.2 ANALISIS BENEFICIO / COSTO INCREMENTAL**

Este análisis se basa en la razón de los beneficios a los costos asociados para un proyecto en particular, para de forma establecer de la mejor alternativa propuesta.

La razón B/C incremental también llamado convencional se determina al utilizar los valores cálculos de valor presente, valor anual o valor futuro, y la alternativa de costo extra se justifica si dicha razón B/C es igual o mayor que 1.0. La ecuación que indica la razón B/C es la siguiente.

$$\Delta B/C_{incremental} = \frac{\Delta Beneficios}{\Delta Costos} = \frac{\Delta Costo O\&M}{\frac{\Delta Costo total * Tasa de interes}{1 - (1 + Tasa de interes)^{-año de estudio}}} \quad (4.1)$$

La regla de elección en el análisis B/C es:

- Si B/C incremental  $\geq 1.0$ , se elige la alternativa de mayor costo, debido a que el costo adicional es justificable en términos económicos.
- Si B/C incremental  $< 1.0$ , se elige la alternativa de menor costo.

Para llevar a cabo un análisis B/C incremental correctamente, se requerirá la comparación de cada alternativa sólo con otra alternativa, para la cual el costo incremental ya esté justificado.

### 4.3. COSTOS INICIALES GENERALES

En los cálculos de los costos de los componentes para la instalación para los dos consumos se tomó una tasa de interés del Banco Central del Ecuador de 7,94% del promedio de los diez últimos meses y un periodo de estudio de 20 años.

#### 4.3.1. Costo inicial sistema fotovoltaico

Los costos de inversión inicial serán la suma de los costos de los equipos más los costos de instalación, sin descartar el costo operación & mantenimiento anualmente como se muestran en las siguientes Tabla 4. 1 y Tabla 4. 2.

<b>Costo inicial (1)</b>	\$ 3994,32
<b>Costo instalación (2)</b>	\$ 399,43
<b>Costos cambios (3)</b>	\$ 1371,46
<b>Total inicial (1)+(2)+(3)</b>	\$ 5765,21
<b>Costo O&amp;M</b>	\$ 34,13

**Tabla 4. 1** Costos para el consumo bajo.

<b>Costo inicial (1)</b>	\$ 9,401,88
<b>Costo instalación (2)</b>	\$ 940,19
<b>Costos cambios (3)</b>	\$ 3,356,93
<b>Total inicial (1)+(2)+(3)</b>	\$ 13,699,00
<b>Costo O&amp;M</b>	\$ 34,13

**Tabla 4. 2** Costos para el consumo medio.

Los datos detallados de los costos de los elementos que conforman el sistema tanto para bajo y medio consumo se pueden encontrar en el Anexo A2.

#### **4.3.2. Costo inicial para Línea de Media Tensión**

Los costos de adquisición de los materiales para la distancia recorrida desde la alimentadora más cercana hasta el punto que consideradamente es de 6 kilómetros en la cual se ha desarrollado un análisis de los materiales desde el punto inicial hasta el final teniendo en cuenta la geografía de la naturaleza en donde van a ser colocados los postes, tendido de la línea monofásica, transformador entre otros herrajes con transporte, etc., se indicara los costos por estructura de poste y con su vano respectivo en el Anexo B2.

La distancia entre poste y poste aproximadamente de 70 metros dando un total de 86 postes en la cual se cubre los 6 km de distancia en donde el último poste encontraremos un transformador monofásico de distribución de 5 KVA. Los precios de manera general de la ubicación de los postes con mano de obra y materiales en el Anexo B2

Los costos de inversión inicial serán la suma de los costos de los equipos más los costos de instalación, sin descartar el costo operación & mantenimiento anualmente como se muestran en la Tabla 4. 3.

<b>Costo inicial (1)</b>	\$	31238,47
<b>Costo instalación (2)</b>	\$	11955,83
<b>Total inicial (1)+(2)</b>	\$	43194,30
<b>Costo O&amp;M</b>	\$	1223,37
<b>Total</b>	\$	44417,67

**Tabla 4. 3** Costos de la Línea de Media Tensión.

#### **4.3.3 Costo Inicial Generadores a combustible**

Los costos iniciales de la adquisición del generador deben de ser cubiertos de igual manera en bajo consumo 350 W y medio consumo 1000 W, adicional el costo de combustible mensual y repuestos originales por parte del fabricante ejemplo, filtro de gasolina, filtro de aire, etc. En la Tabla 4.4 y

Tabla 4.5 se encuentran los precios de los generadores para consumo bajo y medio respectivamente.

<b>Costo Generador 350 W (1)</b>	\$ 567,62
<b>Costo instalación (2)</b>	\$ 56,762
<b>Costos cambio de equipo (3)</b>	\$ 290,82
<b>Costo combustible anual (4)</b>	\$ 4952,62
<b>Total inicial (1)+(2)+(3)+(4)</b>	\$ 5867,83
<b>Costo O&amp;M anual</b>	\$ 30,00

**Tabla 4. 4** Costos del generador de 350 W para consumo bajo

<b>Costo Generador 1000 W (1)</b>	\$ 2482,00
<b>Costo instalación (2)</b>	\$ 248,20
<b>Costos cambio de equipo (3)</b>	\$ 1271,66
<b>Costo combustible anual (4)</b>	\$ 7428,93
<b>Total inicial (1)+(2)+(3)+(4)</b>	\$ 11430,79
<b>Costo O&amp;M anual</b>	\$ 40,00

**Tabla 4. 5** Costos del generador de 1000 W para consumo medio.

#### **4.4. ANALISIS B/C INCREMENTAL BAJO CONSUMO Y MEDIO CONSUMO**

##### **4.4.1. Análisis B/C entre Línea de Media Tensión y Sistema FV**

Los costos iniciales y mantenimientos anuales entre la línea de tensión y el sistema fotovoltaico, se indica en las Tabla 4. 6, y Tabla 4. 7. Y el resultado de este análisis B/C incremental tanto para bajo y medio consumo se pueden ver en la Tabla 4. 8.

	<b>Fotovoltaica (1)</b>	<b>gradiente (2)-(1)</b>	<b>Línea MT (2)</b>
<b>Costos iniciales Totales</b>	\$ 5765,21	\$ 37429,09	\$ 43194,30
<b>Costos O&amp;M</b>	\$ 34,13	\$ 1189,24	\$ 1223,37

**Tabla 4. 6** Gradiente entre Línea de M.T y FV para bajo consumo.

	<b>Fotovoltaica (1)</b>	<b>gradiente (2)-(1)</b>	<b>Línea MT (2)</b>
<b>Costos iniciales Totales</b>	\$ 13699,00	\$ 29495,30	\$ 43194,30
<b>Costos O&amp;M</b>	\$ 34,13	\$ 1189,24	\$ 1223,37

**Tabla 4. 7** Gradiente entre Línea de M.T y FV para medio consumo.

	<b><math>\Delta</math>Beneficios</b>	<b><math>\Delta</math>Costos</b>	<b><math>\Delta</math> B/C<sub>incremental</sub></b>
<b>Consumo Bajo</b>	\$ 1189,24	\$ 3795,23	\$ 0,3133
<b>Consumo Medio</b>	\$ 1189,24	\$ 2990,76	\$ 0,3976

**Tabla 4. 8** Resultado B/C incremental entre Línea de M.T y FV para bajo y medio consumo.

En los resultados esperados indica que su valor es <1 en bajo y medio consumo, entonces el sistema fotovoltaico es más VIABLE.

#### 4.4.2. Análisis B/C entre Generador a combustión y Sistema

##### FV

Los costos iniciales y mantenimientos anuales entre el Generador a combustión interna y el sistema fotovoltaico, se indica en las Tabla 4. 9, y Tabla 4. 10. Y el resultado de este análisis B/C incremental tanto para bajo y medio consumo se pueden ver en la Tabla 4. 11.

	Fotovoltaica (1)	gradiente (2)-(1)	Combustión (2)
<b>Costos iniciales Totales</b>	\$ 5765,21	\$ 102,61	\$ 5867,83
<b>Costos O&amp;M</b>	\$ 34,13	\$ 4,13	\$ 30,00

**Tabla 4. 9** Gradiente entre Generador a combustión y FV bajo consumo.

	Fotovoltaica (1)	gradiente (2)-(1)	Combustión (2)
<b>Costos iniciales Totales</b>	\$ 13699,00	\$ 2268,21	\$ 11430,79
<b>Costos O&amp;M</b>	\$ 34,13	\$ 5,87	\$ 40,00

**Tabla 4. 10** Gradiente entre Generador a combustión y FV para medio consumo.

	$\Delta$ Beneficios	$\Delta$ Costos	$\Delta B/C_{\text{incremental}}$
<b>Consumo Bajo</b>	\$ 4,13	\$ 10,40	\$ 0,3971
<b>Consumo Medio</b>	\$ 5,87	\$ 229,99	\$ 0,0255

**Tabla 4. 11** Resultado B/C incremental entre Generador a combustión y FV para bajo y medio consumo.

En los resultados esperados indica que su valor es  $<1$  en bajo y medio consumo, entonces el sistema fotovoltaico es más VIABLE.

## **CONCLUSIONES**

1. En la elaboración del presente informe de una instalación fotovoltaica unifamiliar aislada realizada en El Recinto el Achiote en la provincia del Guayas se llegó a la conclusión que resulto conveniente la realización de este tipo de sistema de generación, con respecto a las otras dos opciones de electrificación; como es, el recorrido de una línea de media tensión hasta el punto de estudio, y la instalación de un generador de combustión interna.
2. También se concluye que las instalaciones fotovoltaicas son una buena solución de electrificación en zonas remotas y aisladas de la red eléctrica, aportando al desarrollo de áreas rurales donde resultaría bastante

costosa la instalación de nuevas líneas de distribución, además son amigables con el medio ambiente.

3. En el parte del diseño de la instalación se procedió a utilizar el método rendimiento global del sistema o también conocido como performance ratio, con el cual se obtuvo el número total de paneles fotovoltaicos necesario para abastecer la demanda total requerida para los dos grados de electrificación; de igual forma y siguiendo las normas se determinaron los diferentes componentes de la instalación. Estos cálculos se rigió con respecto a diseños españolas ya elaboradas, pero tomando en cuenta la norma Ecuatoriana NEC 11 del capítulo de Energías Renovables.
4. El análisis económico se lo realizo mediante el método beneficio costo incremental debido a que no se disponía de un ingreso anual donde se podría recuperar lo invertido, sino que solo representaba costos; como son de inversión inicial, instalación, cambios de los equipos, mano de obra y mantenimiento, y que se lo determinó para dos grados de electrificación.
5. En el análisis de viabilidad técnica se determinó que si existía la posibilidad de realizar nuestro diseño ya que si se encontró todos los

componentes necesarios para el levantamiento de la instalación fotovoltaica, los elementos y precios se seleccionaron de empresas ecuatorianas como ProViento S.A y ElectroEcuatoriana.

6. Se analizó los costos de los diferentes alternativas de electrificación, para los dos consumos eléctricos; el análisis de bajo consumo, resultó la instalación de una línea de media tensión la mayor inversión inicial y como la menor de todas estas la fotovoltaico; esto cambia para el consumo medio que resulto la mayor inversión la línea media tensión y la menor el generador de combustión interna; a pesar de estas diferencias de inversión inicial, se concluyó que para ambos casos el sistema fotovoltaico resulto el más conveniente para la instalación, de acuerdo al análisis beneficio costo realizado.
  
7. Se analizó que los costos de operación y mantenimiento entre las tres alternativas se estableció que la de mayor costo fue la línea de media tensión debido a la contratación de personal capacitado y de un vehículo canasta; en cambio, la de un generador requiere de una persona calificada que se acerque al lugar y poder realizar un mantenimiento preventivo y correctivo; pero los costos de mantenimiento a un sistema fotovoltaico, resultan ser menores porque requieren de un mínimo

cuidado y un sencillo mantenimiento y solo de una persona capacitada cuando exista problemas o reemplazo de algún dispositivo.

8. Se realizó la simulación con el programa PVSYST V5.2, el cual contaba con componentes de diferentes fabricantes, pero de la de la misma capacidad utilizada en el cálculo teórico, el cual dio como resultado los mismos números de paneles y baterías que se utilizarán en la instalación para los dos grados de electrificación propuestos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Si se realiza la implementación de la instalación fotovoltaica aislada se debe de seguir los pasos indicados anteriormente para la determinación de los diferentes depósitos utilizados y no tratar de sobredimensionar más de lo que esta propuesto, ya que produciría que los componentes se sobrecarguen y se deterioren afectando la vida útil de la instalación.
2. La gran modularidad de los sistemas fotovoltaicos, permite abordar proyectos de forma escalonada de manera flexible y adaptarse a las necesidades del usuario en función de sus recursos económicos y la disponibilidad inmediata en el tiempo.

3. Los componentes electrónicos de la instalación fotovoltaica se los ubicó en un cuarto exclusivo para estos dispositivos por el carácter de delicadeza y protección que tienen; caso contrario, si no se contara con este tipo de cuarto se tendría que ubicar en un lugar seco, fresco, libre de humedad y calor por los problemas que tendrían estos en su correcto funcionamiento y disminución de su vida útil.
  
4. Las baterías utilizadas en la instalación fotovoltaica son las de tipo GEL selladas ya que poseen características de un mínimo mantenimiento y no desprenden gases tóxicos en el ambiente; caso contrario, si se utilizarían baterías como las de plomo ácido se tendrían que estar ubicados en un lugar distintos de los componentes electrónicos (inversor, regulado, etc.) ya que estos podrían averiarse por los gases contaminantes.
  
5. Tener presente el dimensionamiento de los conductores ya que se pueden producir caídas de tensiones considerables y con ello la reducción del rendimiento de la instalación fotovoltaico; considerar también el tipo de conductor sea el correcto, de esta manera evitando el deterioro, fallos, e interrupciones del servicio. Tratar de que los conductores estén debidamente protegidos mediante tuberías o canaletas, asegurando de esta manera su protección y de las personas que estén en su alrededor.

6. En la parte de los equipos de protección y seguridad se debe verificar que estén correctamente ubicados y parametrizados asegurando la funcionalidad y protección hacia las personas en caso de algún una falla en la instalación o producida por el misma persona.
7. Se debe de asegurar que la instalación posea la debida conexión a tierra, para protección de los equipos y de las personas; evitando accidentes por contactos directos e indirectos con los componentes y preservando la vida de la instalación.
8. Se debe de tener presente el mantenimiento de la instalación, para de esta manera asegurar su correcto funcionamiento, ya sea estos realizados cada año o cuando la instalación lo amerite, estos mantenimiento lo puede realizar el mismo dueño de la instalación fotovoltaico ya que no necesita de gran conocimiento para realizarlo; caso contrario, si se produce algún daño en algún componente de la instalación se debe de llamar a una persona capacitada que realice el cambio o arreglo del dispositivo.
9. Debido a la inversión inicial alta del sistema fotovoltaico se recomienda su financiación mediante el BANCO NACIONAL DE FOMENTO, ya que

dicho banco ofrece créditos hipotecarios de producción con una tasa de interés baja y cuyos pagos del crédito se los puede realizar con la producción de cultivos de ciclo corto, otra opción es mediante proyectos renovables que ofrece la empresa eléctrica CNEC en conjunto con el MEER en la ayuda de electrificación de zonas de bajo recurso económico.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### DATOS DE DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

#### ANEXO A1

#### Ubicación de la instalación y datos de radiación del sector.



**Figura A1. 1** Datos de latitud y longitud del cantón El Triunfo Fuente:  
<http://www.verfotosde.org/ecuador/coordenadas.php?Guayaquil&id=71>

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar horizontal diaria	Presión atmosférica	Velocidad del viento	Temperatura de la tierra
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C
Enero	21.9	67.0%	4.49	89.5	1.8	25.7
Febrero	21.7	72.9%	4.59	89.5	1.8	24.1
Marzo	21.8	72.7%	5.04	89.5	1.7	24.1

Abril	22.2	66.8%	4.91	89.5	1.7	24.9
Mayo	22.1	60.5%	4.51	89.6	1.9	24.7
Junio	21.9	54.4%	4.18	89.6	2.4	24.3
Julio	22.0	47.4%	4.01	89.7	2.5	24.9
Agosto	22.7	43.9%	4.50	89.7	2.4	26.7
Septiembre	23.1	46.0%	4.74	89.6	2.2	28.3
Octubre	23.0	50.8%	4.51	89.6	2.0	29.2
Noviembre	22.3	57.1%	4.72	89.5	2.0	28.2
Diciembre	22.1	63.4%	4.71	89.5	1.9	26.9
<b>Anual</b>	22.2	58.6%	4.58	89.6	2.0	26.0

**Tabla A1. 1** Superficie meteorológica y energía solar de la NASA. Fuente:  
<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=-2.1717&lon=-79.59775&submit=Submit>

## ANEXO B1

### Rendimiento global de la instalación.

#### Consumo Bajo

	Perdidas [%]	Rendimiento [%]
<i>Pérdidas por dispersión de potencia de los módulos</i>	2	98
<i>Pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas</i>	11,29	88,7125
<i>Pérdidas debida a la acumulación de suciedad en los módulos</i>	3	97
<i>Pérdidas por sombras</i>	0	100
<i>Pérdidas por degradación de los módulos</i>	1	99
<i>Pérdidas eléctricas</i>	3	97
<i>Pérdidas por reflectancia</i>	2,9	97,1
<i>Perdidas en el inversor</i>	11	89
<i>Perdidas en el regulador</i>	1	99
<i>Perdidas en baterías</i>	5,00	95

**Tabla B1. 1**

## Consumo Medio

	Perdidas [%]	Rendimiento [%]
<i>Pérdidas por dispersión de potencia de los módulos</i>	2	98
<i>Pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas</i>	11,29	88,7125
<i>Pérdidas debida a la acumulación de suciedad en los módulos</i>	3	97
<i>Pérdidas por sombras</i>	0	100
<i>Pérdidas por degradación de los módulos</i>	1	99
<i>Pérdidas eléctricas</i>	3	97
<i>Pérdidas por reflectancia</i>	2,9	97,1
<i>Perdidas en el inversor</i>	5	95
<i>Perdidas en el regulador</i>	1	99
<i>Perdidas en baterías</i>	5,00	95

**Tabla B1. 2**

## ANEXO C1

### Determinación de la inclinación óptima de los paneles fotovoltaicos.

Inclinación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
<b>0</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>5</b>	0,97	0,98	1,00	1,01	1,01	1,03	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,96
<b>10</b>	0,93	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,04	1,02	0,99	0,96	0,93	0,92
<b>15</b>	0,89	0,93	0,98	1,02	1,05	1,06	1,05	1,02	0,98	0,93	0,89	0,87
<b>20</b>	0,84	0,89	0,96	1,02	1,06	1,07	1,05	1,01	0,96	0,89	0,84	0,82

**Tabla C1. 1**

### Consumo bajo.

Angulo de inclinación [Grados]				=	5
MES	Consumo Corregido [Ah/Día]	Horas sol pico [Horas/Día]		=	Corriente diseño [A]
E	107	/	4,36	=	24,5
F	107	/	4,50	=	23,7
M	107	/	5,04	=	21,2
A	107	/	4,96	=	21,5
M	107	/	4,56	=	23,4
J	107	/	4,31	=	24,8
J	107	/	4,09	=	26,1

A	107	/	4,55	=	23,5
S	107	/	4,74	=	22,5
O	107	/	4,42	=	24,2
N	107	/	4,58	=	23,3
D	107	/	4,52	=	23,6

Tabla C1. 2

Angulo de inclinación [Grados]				=	10
MES	Consumo Corregido [Ah/Día]	Horas sol pico [Horas/Día]		Corriente diseño [A]	
E	107	/	4,18	=	25,6
F	107	/	4,41	=	24,2
M	107	/	4,99	=	21,4
A	107	/	5,01	=	21,3
M	107	/	4,69	=	22,8
J	107	/	4,39	=	24,3
J	107	/	4,17	=	25,6
A	107	/	4,59	=	23,3
S	107	/	4,69	=	22,7
O	107	/	4,33	=	24,7
N	107	/	4,39	=	24,3
D	107	/	4,33	=	24,6

Tabla C1. 3

MES	Consumo Corregido [Ah/Día]	Horas sol pico [Horas/Día]		Corriente diseño [A]	
E	107	/	4,00	=	26,7
F	107	/	4,27	=	25,0
M	107	/	4,94	=	21,6
A	107	/	5,01	=	21,3
M	107	/	4,74	=	22,5
J	107	/	4,43	=	24,1
J	107	/	4,21	=	25,4
A	107	/	4,59	=	23,3
S	107	/	4,65	=	23,0
O	107	/	4,19	=	25,4
N	107	/	4,20	=	25,4
D	107	/	4,10	=	26,0

Tabla C1. 4

**Consumo Medio.**

Angulo de inclinación [Grados]				=	5
MES	Consumo Corregido [Ah/Día]	Horas sol pico [Horas/Día]		Corriente diseño [A]	
E	290	/	4.36	=	66,5
F	290	/	4.50	=	64,4
M	290	/	5.04	=	57,4
A	290	/	4.96	=	58,4
M	290	/	4.56	=	63,6
J	290	/	4.31	=	67,2
J	290	/	5.14	=	70,8
A	290	/	4.55	=	63,7
S	290	/	4.74	=	61,1
O	290	/	4.42	=	65,5
N	290	/	4.58	=	63,2
D	290	/	4.52	=	64,0

**Tabla C1. 5**

Angulo de inclinación [Grados]				=	10
MES	Consumo Corregido [Ah/Día]	Horas sol pico [Horas/Día]		Corriente diseño [A]	
E	290	/	4,18	=	69,3
F	290	/	4,41	=	65,7
M	290	/	4,99	=	58,0
A	290	/	5,01	=	57,8
M	290	/	4,69	=	61,7
J	290	/	4,39	=	66,0
J	290	/	4,17	=	69,4
A	290	/	4,59	=	63,1
S	290	/	4,69	=	61,7
O	290	/	4,33	=	66,9
N	290	/	4,39	=	66,0
D	290	/	4,33	=	66,8

**Tabla C1. 6**

Angulo de inclinación [Grados]				=	15
MES	Consumo Corregido	Horas sol pico [Horas/Día]		Corriente diseño [A]	

	[Ah/Día]				
E	290	/	4,00	=	72,5
F	290	/	4,27	=	67,8
M	290	/	4,94	=	58,6
A	290	/	5,01	=	57,8
M	290	/	4,74	=	61,1
J	290	/	4,43	=	65,3
J	290	/	4,21	=	68,8
A	290	/	4,59	=	63,1
S	290	/	4,65	=	62,3
O	290	/	4,19	=	69,0
N	290	/	4,20	=	68,9
D	290	/	4,10	=	70,7

Tabla C1. 7

## ANEXO D1

Datos para el dimensionamiento de los conductores.

Valores de conductividad del cobre-Cu ( $m/\Omega \cdot mm^2$ ) con la temperatura T ( $^{\circ}C$ )							
20 $^{\circ}C$	30 $^{\circ}C$	40 $^{\circ}C$	50 $^{\circ}C$	60 $^{\circ}C$	70 $^{\circ}C$	80 $^{\circ}C$	90 $^{\circ}C$
56	54	52	50	48	47	45	44

Tabla D1. 1

Valores de conductividad del aluminio-Al ( $m/\Omega \cdot mm^2$ ) con la temperatura T ( $^{\circ}C$ )							
20 $^{\circ}C$	30 $^{\circ}C$	40 $^{\circ}C$	50 $^{\circ}C$	60 $^{\circ}C$	70 $^{\circ}C$	80 $^{\circ}C$	90 $^{\circ}C$
35	34	32	31	30	29	28	27

Tabla D1. 2

<b>Mm2</b>	0.83	1.3	2.08	3.3	5.26	8.37	13.3	21.15	33.62	53.52	67,4	85	67,4
<b>AWG</b>	18	16	14	12	10	8	6	4	2	1/0	2/0	3/0	2/0
<b>Amp</b>	10	13	18	25	30	40	55	70	95	125	145	165	145

Tabla D1. 3

Relación entre los conductores de protección y activos	
Sección de los conductores activos de la instalación, $S$ ( $mm^2$ )	Sección mínima de los conductores de protección, $S_p$ ( $mm^2$ )
$S \leq 16$	$S_p = S$

$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Tabla D1. 4

Sección nominal de los conductores unipolares [mm <sup>2</sup> ]	Diámetro exterior de los tubos [mm]				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	---
185	50	63	75	---	---
240	50	75	---	---	---

Tabla D1. 5

## ANEXO E1

Simulación realizada en PVSYST V5.2 para consumo bajo

PVSYST V5.20		12/04/15	Página 1/4		
<b>Sistema Aislado: Parámetros de la simulación</b>					
<b>Proyecto :</b>	<b>Proyecto Aislado at el triunfo</b>				
<b>Lugar geográfico</b>	el triunfo	<b>País</b>	ecuador		
<b>Ubicación</b>	Latitud	2.0°S	Longitud	80.0°W	
Hora definido como	Hora Legal	Huso hor. UT-4	Altitud	10 m	
	Albedo	0.20			
<b>Datos climatológicos :</b>	el triunfo, Síntesis datos por hora				
<b>Variante de simulación : consumo medio</b>					
	Fecha de simulación	12/04/15 19h47			
<b>Parámetros de la simulación</b>					
<b>Orientación Plano Receptor</b>	Inclinación	10°	Acimut	0°	
<b>Características generador FV</b>					
<b>Módulo FV</b>	Si-mono	Modelo	<b>AP-150</b>		
		Fabricante	Astro Power		
Número de módulos FV		En serie	1 módulos	En paralelo	3 cadenas
N° total de módulos FV		N° módulos	3	Pnom unitaria	150 Wp
Potencia global generador		Nominal (STC)	<b>450 Wp</b>	En cond. funciona.	452 Wp (25°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)		V mpp	17 V	I mpp	27 A
Superficie total		Superficie módulos	<b>4.4 m²</b>		
<b>Factores de pérdida Generador FV</b>					
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	28.8 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s	
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, VelViento=1m/s)			TONC	45 °C	
Pérdida Óhmica en el Cableado Res. global generador		9.4 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC	
Pérdidas por polvo y suciedad del generador			Fracción de Pérdidas	3.0 %	
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas	3.0 %	
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas	4.0 % (tensión fija)	
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo	0.05		
<b>Parámetro del Sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Sistema Aislado</b>			
<b>Batería</b>	Modelo	<b>Dural SC</b>			
	Fabricante	Electrona			
Características del banco de baterías	Tensión	12 V	Capacidad Nominal	450 Ah	
	N° de unidades	3 en paralelo			
	Temperatura	Fijo (20°C)			
<b>Regulador</b>	Modelo	General Purpose Default			
	Tecnología	Undefined			
Umbral de Regulación Baterías	Carga	13.7/13.1 V	Coef. temp.	-5.0 mV/°C/elem.	
Comando de Generador Auxiliar		11.8/12.9 V	Descarga	11.8/12.6 V	
<b>Necesidades de los usuarios</b>	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año			
	media	1.0 kWh/Día			

Traducción sin garantía. Solo el texto inglés está garantizado.

Figura E1. 1

PVSYST V5.20		12/04/15	Página 2/4	
<b>Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario</b>				
<b>Proyecto :</b> Proyecto Aislado at el triunfo				
<b>Variante de simulación :</b> consumo medio				
<b>Parámetros principales del sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Aislado</b>		
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut 0°	
Generador FV	N° de módulos	3	Pnom total <b>450 Wp</b>	
Batería	Modelo	Dural SC	Tecnología bierta, tubular	
banco de baterías	N° de unidades	3	Tensión/Capacidad <b>12 V / 450 Ah</b>	
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 380 kWh/año	
<b>Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 1.0 kWh/día</b>				
<b>Valores anuales</b>				
	Número	Potencia	Utilización	Energía
Lámparas fluorescentes	5	20 W/lámpara	5 h/día	500 Wh/día
TV/Magnetoscopio/PC	1	70 W/art.	4 h/día	280 Wh/día
Electrodomésticos	1	60 W/art.	3 h/día	180 Wh/día
Otras utilizaciones	1	20 W total	4 h/día	80 Wh/día
<b>Energía total diaria</b>				<b>1040 Wh/día</b>

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

**Figura E1. 2**

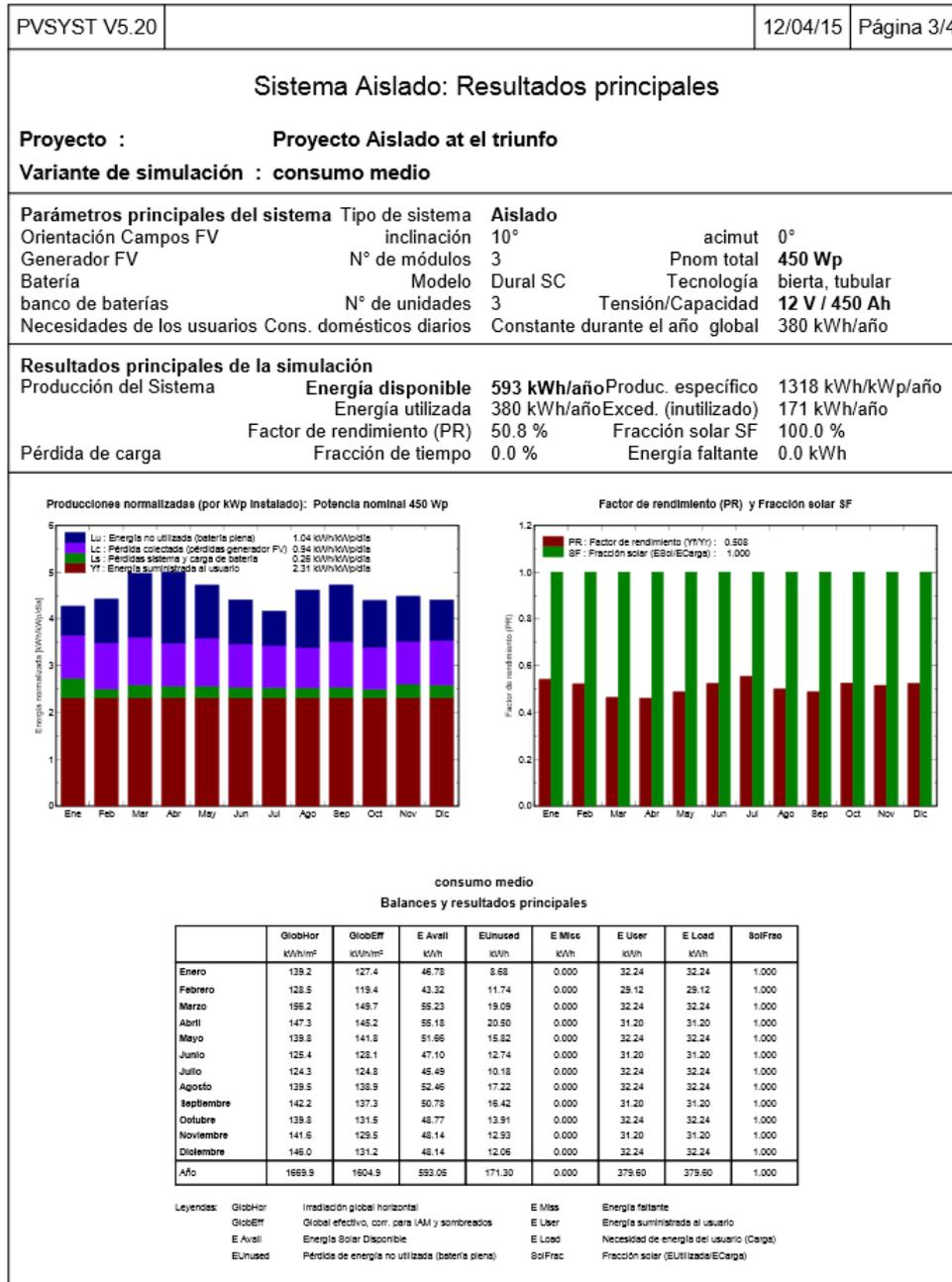


Figura E1. 3



PVSYST V5.20		12/04/15	Página 1/4
<b>Sistema Aislado: Parámetros de la simulación</b>			
<b>Proyecto :</b>	<b>Proyecto Aislado at el triunfo</b>		
<b>Lugar geográfico</b>	<b>el triunfo</b>	<b>País</b>	<b>ecuador</b>
<b>Ubicación</b>	Latitud 2.0°S	Longitud	80.0°W
Hora definido como	Hora Legal Huso hor. UT-4	Altitud	10 m
	Albedo 0.20		
<b>Datos climatológicos :</b>	el triunfo, Síntesis datos por hora		
<b>Variante de simulación : Sin efecto de sombreado</b>			
	Fecha de simulación	12/04/15 18h28	
<b>Parámetros de la simulación</b>			
<b>Orientación Plano Receptor</b>	Inclinación	5°	Acimut 0°
<b>Características generador FV</b>			
<b>Módulo FV</b>	Si-mono	Modelo <b>AP-150</b>	
		Fabricante Astro Power	
Número de módulos FV	En serie	1 módulos	En paralelo 3 cadenas
N° total de módulos FV	N° módulos	3	Pnom unitaria 150 Wp
Potencia global generador	Nominal (STC)	<b>450 Wp</b>	En cond. funciona. 452 Wp (25°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	V mpp	17 V	I mpp 27 A
Superficie total	Superficie módulos	<b>4.4 m²</b>	
<b>Factores de pérdida Generador FV</b>			
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	28.8 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20° C, VelViento=1m/s)			TONC 45 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado Res. global generador		9.4 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
Pérdidas por polvo y suciedad del generador			Fracción de Pérdidas 3.0 %
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas 3.0 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas 2.0 % en MPP
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo	0.05
<b>Parámetro del Sistema</b>			
<b>Batería</b>	Tipo de sistema	<b>Sistema Aislado</b>	
	Modelo	<b>Dural SC</b>	
	Fabricante	Electrona	
Características del banco de baterías	Tensión	12 V	Capacidad Nominal 450 Ah
	N° de unidades	3 en paralelo	
	Temperatura	Fijo (20°C)	
<b>Regulador</b>	Modelo	Generic Default with MPPT converter	
	Tecnología	MPPT converter	Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
Convertidor	Eficiencias Máx. y EURO	96.0/94.0 %	
Umbral de Regulación Baterías	Carga	13.7/13.1 V	Descarga 11.8/12.6 V
	Comando de Generador Auxiliar	11.8/12.9 V	
<b>Necesidades de los usuarios.</b>	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	
	media	1.0 kWh/Día	

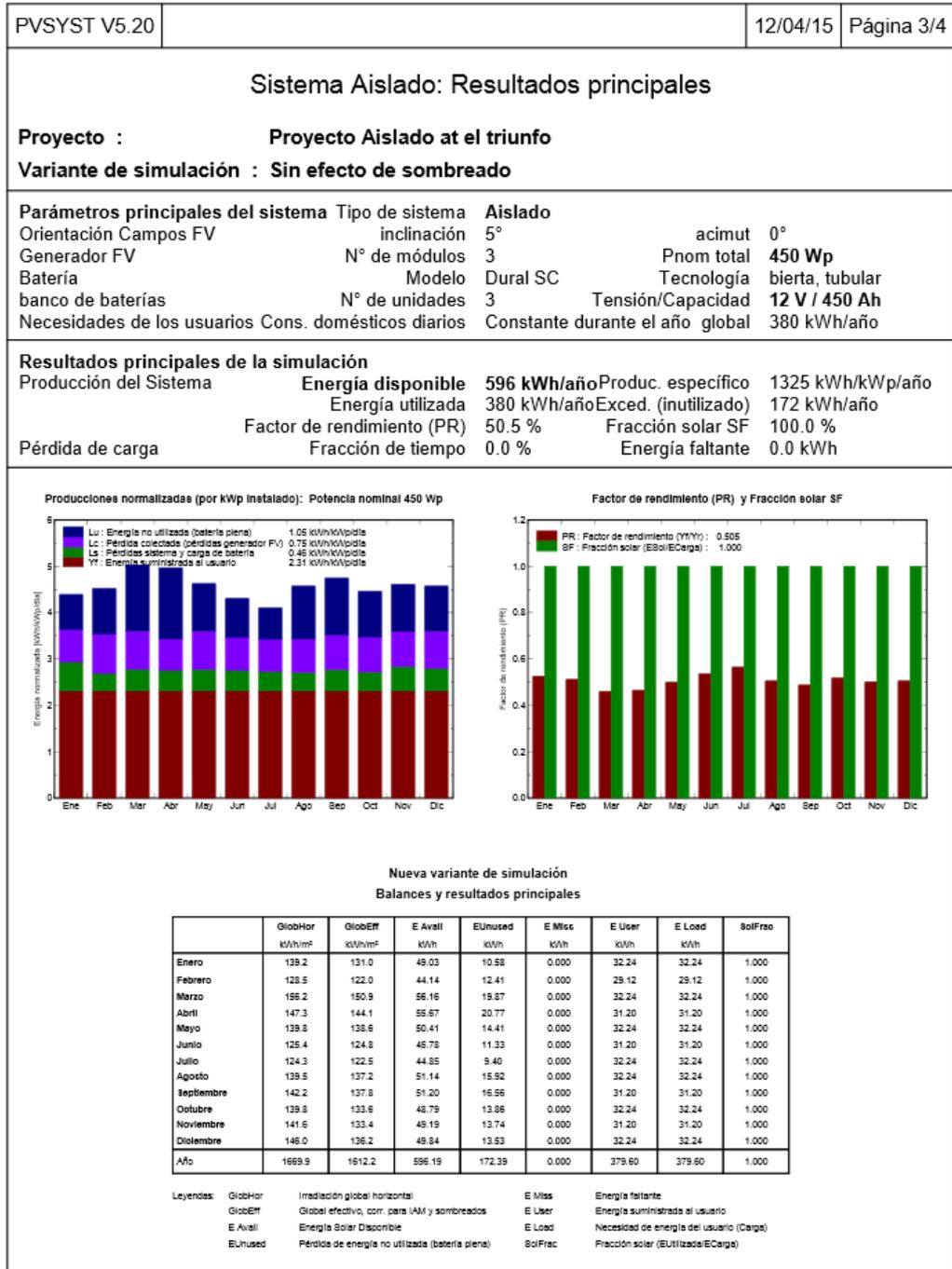
Traducción sin garantía. Solo el texto inglés está garantizado.

Figura E1. 5

PVSYST V5.20		12/04/15	Página 2/4	
<b>Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario</b>				
<b>Proyecto : Proyecto Aislado at el triunfo</b>				
<b>Variante de simulación : Sin efecto de sombreado</b>				
<b>Parámetros principales del sistema</b>				
Tipo de sistema	<b>Aislado</b>			
Orientación Campos FV	inclinación	5°	acimut 0°	
Generador FV	N° de módulos	3	Pnom total <b>450 Wp</b>	
Batería	Modelo	Dural SC	Tecnología bierta, tubular	
banco de baterías	N° de unidades	3	Tensión/Capacidad <b>12 V / 450 Ah</b>	
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 380 kWh/año	
<b>Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 1.0 kWh/día</b>				
<b>Valores anuales</b>				
	Número	Potencia	Utilización	Energía
Lámparas fluorescentes	5	20 W/lámpara	5 h/día	500 Wh/día
TV/Magnetoscopio/PC	1	70 W/art.	4 h/día	280 Wh/día
Electrodomésticos	1	60 W/art.	3 h/día	180 Wh/día
Otras utilizaciones	1	20 W total	4 h/día	80 Wh/día
<b>Energía total diaria</b>				<b>1040 Wh/día</b>

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

**Figura E1. 6**



Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

**Figura E1.7**

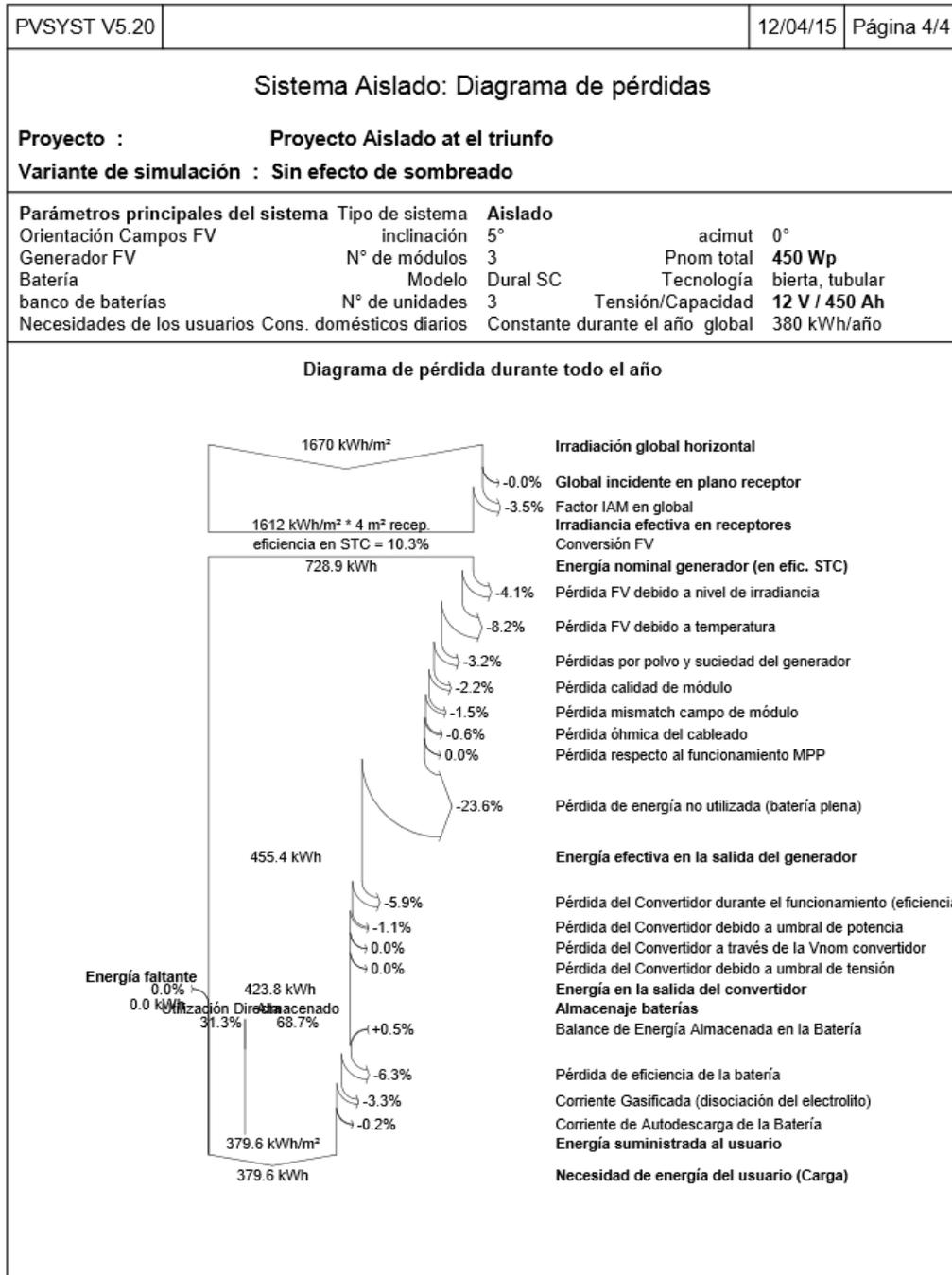


Figura E1. 8

## Simulación realizada en PVSYST V5.2 para consumo medio

PVSYST V5.20		12/04/15	Página 1/4
<b>Sistema Aislado: Parámetros de la simulación</b>			
<b>Proyecto :</b>	<b>Proyecto Aislado at el triunfo</b>		
<b>Lugar geográfico</b>	<b>el triunfo</b>	<b>Pais</b>	<b>ecuador</b>
<b>Ubicación</b>	Latitud 2.0°S	Longitud	80.0°W
Hora definido como	Hora Legal Huso hor. UT-4	Altitud	10 m
	Albedo 0.20		
<b>Datos climatológicos :</b>	el triunfo, Síntesis datos por hora		
<b>Variante de simulación : consumo bajo</b>			
	Fecha de simulación	12/04/15 19h42	
<b>Parámetros de la simulación</b>			
<b>Orientación Plano Receptor</b>	Inclinación 10°	Acimut	0°
<b>Características generador FV</b>			
<b>Módulo FV</b>	Si-mono	Modelo	<b>AP-150</b>
		Fabricante	Astro Power
Número de módulos FV	En serie	1 módulos	En paralelo 7 cadenas
N° total de módulos FV	N° módulos	7	Pnom unitaria 150 Wp
Potencia global generador	Nominal (STC)	<b>1.05 kWp</b>	En cond. funciona. 1.06 kWp (25°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C)	V mpp	17 V	I mpp 63 A
Superficie total	Superficie módulos	<b>10.2 m²</b>	
<b>Factores de pérdida Generador FV</b>			
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	28.8 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
=> Temp. Opera. Nom. Cél. (G=800 W/m², Tamb=20°	C, VelViento=1m/s)	TONC	45 °C
Pérdida Óhmica en el Cableado Res. global generador	4.0 mOhm	Fracción de Pérdidas	1.5 % en STC
Pérdidas por polvo y suciedad del generador		Fracción de Pérdidas	3.0 %
Pérdida Calidad Módulo		Fracción de Pérdidas	3.0 %
Pérdidas Mismatch Módulos		Fracción de Pérdidas	4.0 % (tensión fija)
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parámetro bo	0.05
<b>Parámetro del Sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Sistema Aislado</b>	
<b>Batería</b>	Modelo	<b>Dural SC</b>	
	Fabricante	Electrona	
Características del banco de baterías	Tensión	12 V	Capacidad Nominal 1200 Ah
	N° de unidades	8 en paralelo	
	Temperatura	Fijo (20°C)	
<b>Regulador</b>	Modelo	General Purpose Default	
	Tecnología	Undefined	Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
Umbrales de Regulación Baterías	Carga	13.7/13.1 V	Descarga 11.8/12.6 V
	Comando de Generador Auxiliar	11.8/12.9 V	
<b>Necesidades de los usuarios</b>	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	
	media	3.0 kWh/Dia	

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

**Figura E1. 9**

PVSYST V5.20		12/04/15	Página 2/4	
<b>Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario</b>				
<b>Proyecto :</b> Proyecto Aislado at el triunfo				
<b>Variante de simulación :</b> consumo bajo				
<b>Parámetros principales del sistema</b>	Tipo de sistema	<b>Aislado</b>		
Orientación Campos FV	inclinación	10°	acimut 0°	
Generador FV	N° de módulos	7	Pnom total <b>1.05 kWp</b>	
Batería	Modelo	Dural SC	Tecnología bierta, tubular	
banco de baterías	N° de unidades	8	Tensión/Capacidad <b>12 V / 1200 Ah</b>	
Necesidades de los usuarios	Cons. domésticos diarios	Constante durante el año	global 1102 kWh/año	
<b>Cons. domésticos diarios, Constante durante el año, media = 3.0 kWh/día</b>				
<b>Valores anuales</b>				
	Número	Potencia	Utilización	Energía
Lámparas fluorescentes	5	20 W/lámpara	5 h/día	500 Wh/día
TV/Magnetoscopio/PC	1	70 W/art.	4 h/día	280 Wh/día
Electrodomésticos	1	60 W/art.	3 h/día	180 Wh/día
Frigorífico/Congelador	1		2000 Wh/día	2000 Wh/día
Otras utilizaciones	1	300 W total	0 h/día	60 Wh/día
Energía total diaria				3020 Wh/día

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Figura E1. 10

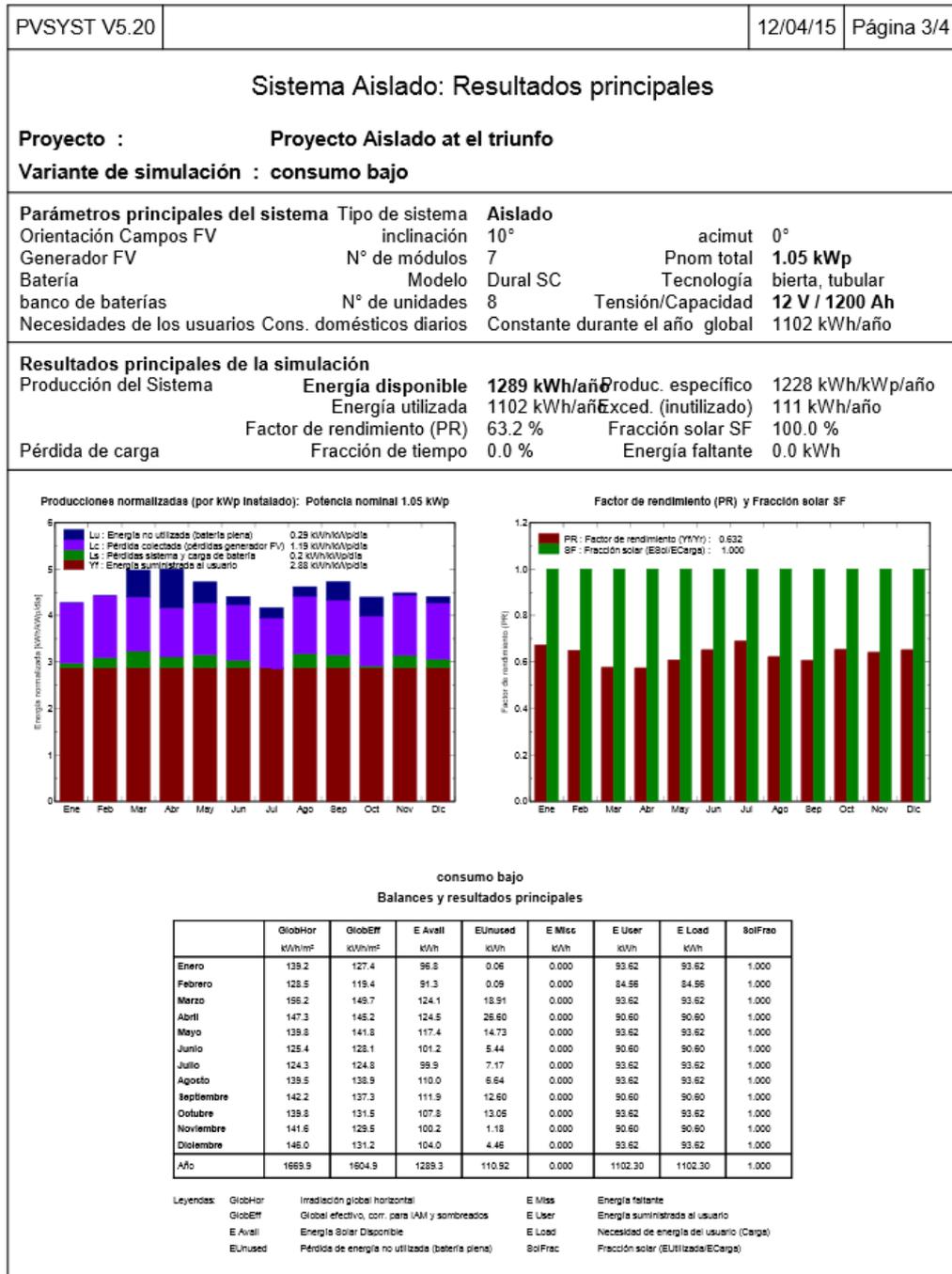


Figura E1. 11

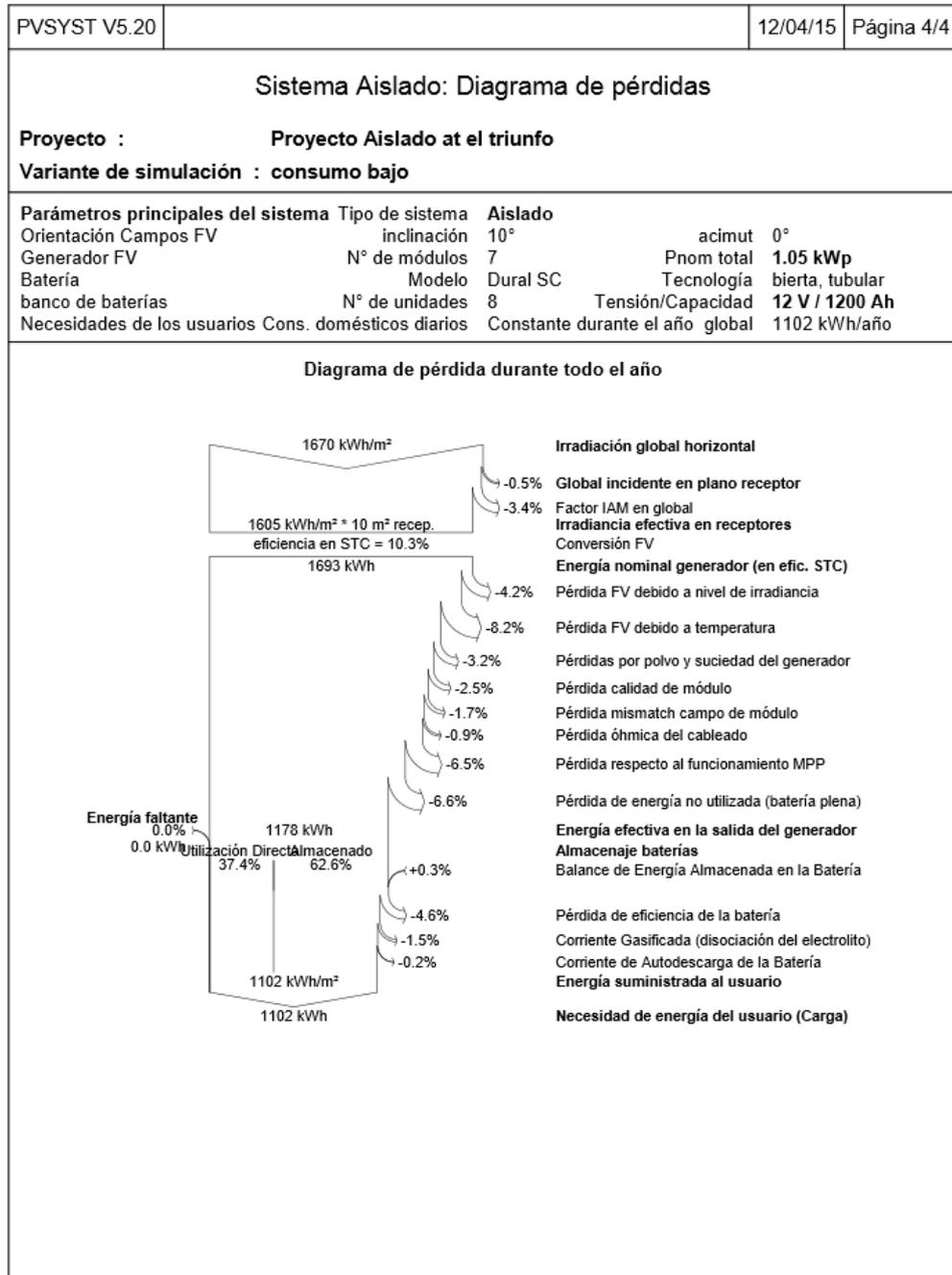


Figura E1. 12

## ANEXO 2

### DATOS DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA

#### ANEXO A2

#### Costo inicial del sistema fotovoltaico para bajo consumo

No.	ELEMENTOS DEL SISTEMA	CANT	P/U [\$]	TOTAL [\$]
1	panel fotovoltaico 150wp 12v	3	250,00	750,00
2	estructura porta paneles de perfil de aluminio para 3 paneles 1,50x2,10m	1	165,00	165,00
3	baterías libre de mantenimiento 12v, 150ah	3	560,00	1.680,00
4	regulador o controlador de carga 12v 45a	1	450,00	450,00
5	lámparas fluorescentes 12v, 15w	1	10,88	10,88
6	boquilla de porcelana para lámpara	1	2,50	2,50
7	inversor de corriente de 350w baja/ 1000w alto	1	240,00	240,00
8	fusible 40a dc	2	11,78	23,56
9	fusible de 10a dc	1	4,35	4,35
10	fusible de 10a ac	1	4,35	4,35
11	seccionador de 100a dc / 200 dc	1	108,92	108,92
12	cable solido verde para tierra 1 x 4 awg	10	0,63	6,25
13	cable sólido para protección panel y regulador 2x6awg / 2x4awg	10	0,83	8,30
14	cable sólido para protección inversor y bateria 2x10awg / 2x4awg	10	1,07	10,70
15	cable solido protección inversor y breake de carga 2x12awg / 2x10awg	10	0,36	3,60
16	cable conexión panel-regulador de carga bipolar 2x4awg	10	1,07	10,71
17	cable conexión entre paneles 1 x 10 awg	4	0,63	2,50
18	cable alimentador carga dc interiores bipolar cable 2x12awg	10	0,36	3,57
19	cables para carga ac 2 x 14 awg	10	0,27	2,68
20	cable conexión entre inversor y baterias 1 x 10 awg	10	1,07	10,71
21	cable conexión entre inversor y breaker de carga 2x12 awg / 2x10awg	10	0,63	6,25
22	cable conexión entre regulador y breaker de carga 2x12awg / 2x10awg	10	0,36	3,57
23	CABLE CONEXIÓN ENTRE BATERIA Y REGULADOR 2 x 2AWG /	10	1,07	10,71

	CABLE 3/0			
24	interruptor de un solo polo sobrepuesto	1	1,12	1,12
25	tubería pvc 1 1/4' x3 protección de conductores	2	1,79	3,58
26	tubería pvc 1 1/2' x3 protección de conductores	1	2,57	2,57
27	tubería pvc 3/4' x3 protección de conductores	3	0,45	1,35
28	tomacorriente doble polarizado para ac sobrepuesto	1	2,50	2,50
29	caja de conexiones y empalmes	10	0,36	3,57
30	transporte de equipos y accesorios	1	25,00	25,00
31	varilla de cobre para puesta tierra, 5/8"	1	7,54	7,54

**Tabla A2. 1**

<b>SUBTOTAL [\$]</b>	3566,35
<b>IVA 12% [\$]</b>	427,96
<b>TOTAL [\$]</b>	3994,32

**Tabla A2. 2**

### Costo inicial del sistema fotovoltaico para medio consumo

No.	ELEMENTOS DEL SISTEMA	CANT	P/U [\$]	TOTAL [\$]
1	panel fotovoltaico 150wp 12v	7	250,00	1.750,00
2	estructura porta paneles de perfil de aluminio para 3 paneles 1,50x2,10m	3	165,00	495,00
3	baterías libre de mantenimiento 12v, 150ah	8	560,00	4.480,00
4	regulador o controlador de carga 12v 45a	2	450,00	900,00
5	lámparas fluorescentes 12v, 15w	1	10,88	10,88
6	boquilla de porcelana para lámpara	1	2,50	2,50
7	inversor de corriente de 350w baja/ 1000w alto	1	450,00	450,00
8	fusible 40a dc	2	11,78	23,56
9	fusible 50a dc	1	1,43	1,43
10	fusible 100a dc	1	4,90	4,90
12	fusible 40a ac	1	11,78	11,78
14	seccionador de 100a dc / 200 dc	1	135,23	135,23
15	cable solido verde para tierra 1 x 4 awg	10	0,63	6,30
16	cable sólido para protección panel y regulador 2x6awg / 2x4awg	10	1,07	10,70
17	cable sólido para protección inversor y batería 2x10awg / 2x4awg	6	1,07	6,42
18	cable solido protección inversor y breake de carga 2x12awg / 2x10awg	10	0,63	6,30
19	cable conexión panel-regulador de carga bipolar 2x4awg	20	1,07	21,40

20	cable conexión entre paneles 1 x 10 awg	4	0,63	2,52
21	cable alimentador carga dc interiores bipolar cable 2x12awg	5	0,36	1,80
22	cables para carga ac 2 x 14 awg	5	0,27	1,35
23	cable conexión entre inversor y baterías 1 x 10 awg	6	1,07	6,42
24	cable conexión entre inversor y breaker de carga 2x12 awg / 2x10awg	10	0,63	6,30
25	cable conexión entre regulador y breaker de carga 2x12awg / 2x10awg	10	0,36	3,60
26	cable conexión entre batería y regulador 2 x 2awg / cable 3/0	6	0,64	3,84
27	interruptor de un solo polo sobrepuesto	1	1,12	1,12
28	tubería pvc 2 1/2' x 3 protección de conductores	1	2,70	2,70
29	tubería pvc 1 1/4' x3 protección de conductores	5	1,79	8,95
31	tubería pvc 3/4' x3 protección de conductores	2	0,45	0,90
32	tomacorriente doble polarizado para ac sobrepuesto	1	2,50	2,50
33	caja de conexiones y empalmes	10	0,36	3,60
34	transporte de equipos y accesorios	1	25,00	25,00
35	varilla de cobre para puesta tierra, 5/8"	1	7,54	7,54

**Tabla A2. 3**

<b>SUBTOTAL [\$]</b>	8.394,54
<b>IVA 12% [\$]</b>	1.007,34
<b>TOTAL [\$]</b>	9.401,88

**Tabla A2. 4**

## ANEXO B2

### Costo de materiales y mano de obra para la Línea de Media Tensión.

#### Estructura ur2

Nº	MATERIALES	CANT.	V. UNIT	V. TOTAL
1	Poste concreto de 11m 500kg	1	225.14	225.14
2	Collar galvanizado de 5 ½''	2	5.41	10.82
3	Aislador de suspensión (de disco) ANSI 52-1, 15 kV	6	6.30	37.80
4	Abrazadera Terminal / Grapa Pistola #6 - 2/0 ACSR USA	3	10.76	32.28
5	Aislador tipo retenida de porcelana, clase ANSI 54-2	2	2.05	4.10
6	Rack Galv. De 1 vía 38 x 4 mm (1 1/2 x 11/64")	1	2.80	2.80
7	Aislador tipo rollo(de garruchas) 53-2	1	0.63	0.63

8	Perno pin galvanizado espg. Corto 5/8 x8	1	5.20	5.20
9	Aislador tipo pin (de copa) ANSI 55-4	1	3.68	3.68
10	Montaje estructura monofásica terminal simple "UR2"	1	20.22	20.22
11	Tendido y regulado conductor ACSR No.2	70m	0.33	23.10
12	Excavación para postes de H.A.	1	15.21	15.21
13	Conductor ACSR#2 AWG MX1	70m	0.66	46.20
14	Izaje de postes de H.A DE 10-11-12 M	1	38.84	38.84
15	Carga transporte y descarga de postes de H.A. DE 10-11-12 M	1	32.23	32.23
16	Estribo para derivación, aleación Cu Sn para conductor ACSR #2	2	4.96	9.92
17	Grapa Caliente o de línea viva de 25 a 95 mm2 (3 - 4/0 AWG)	1	4.67	4.67

<b>SUBTOTAL</b>	508.17
<b>IVA 12%</b>	60.98
<b>TOTAL</b>	569.15

### Anexo B2. 1

### Estructura up sin transformador 1φ

Nº	MATERIALES	CANT.	V. UNIT	V. TOTAL
1	Poste concreto de 11m 500kg	1	225.14	225.14
2	Perno pin galvanizado espg. Corto 5/8 x8	1	5.20	5.20
3	Perno pin Galv. Extra senc. 1" x 18"	1	4.73	4.73
4	Collar galvanizado de 5 ½"	2	5.41	10.82
5	Aislador tipo pin (de copa) ANSI 55-4	1	3.68	3.68
6	Rack Galv. De 1 vía 38 x 4 mm (1 1/2 x 11/64")	1	2.80	2.80
7	Aislador tipo rollo(de garruchas) 53-2	1	0.63	0.63
10	Montaje estructura monofásica terminal simple "UP"	1	11.56	11.56
11	Tendido y regulado conductor ACSR No.2	70m	0.33	23.10
12	Excavación para postes de H.A.	1	15.21	15.21
13	Conductor ACSR#2 AWG MX1	70m	0.66	46.20
14	Izaje de postes de H.A DE 10-11-12 M	1	38.84	38.84
15	Carga transporte y descarga de postes de H.A.DE 10-11-12m	1	32.23	32.23

<b>SUBTOTAL</b>	420.14
-----------------	--------

<b>IVA 12%</b>	50.42
<b>TOTAL</b>	470.56

### Anexo B2. 2

#### Estructura up con transformador 1φ

Nº	MATERIALES	CANT.	V. UNIT	V. TOTAL
1	Poste concreto de 11m 500kg	1	225,14	225,14
2	Perno pin galvanizado espg. Corto 5/8 x8	1	5,20	5,20
3	Perno pin Galv. Extra senc. 1" x 18"	1	4,73	4,73
4	Collar galvanizado de 5 ½"	2	5,41	10,82
5	Aislador tipo pin (de copa) ANSI 55-4	1	3,68	3,68
6	Rack Galv. De 1 vía 38 x 4 mm (1 1/2 x 11/64")	1	2,80	2,80
7	Aislador tipo rollo(de garruchas) 53-2	1	0,63	0,63
8	Montaje estructura monofásica terminal simple "UP"	1	11,56	11,56
9	Lámpara de sodio de 250W	1	152,25	152,25
10	Estribo para deriva, aleación CuSn para conductor ACSR #2	1	4,96	4,96
11	Grapa Caliente o de línea viva de 25 a 95 mm2 (3 - 4/0 AWG)	1	4,67	4,67
12	Caja porta fusible CI-100 15 KV	1	89,85	89,85
13	Tirafusible cabeza fija, tipo K, 1A	1	1,10	1,10
14	Tendido y regulado conductor ACSR No.2	70m	0,33	23,10
15	Trafo 5 KVA, 1F CSP, 1B, 13800GRDY/7960-120/240V	1	1.257,95	1.257,95
16	Varilla para puesta a tierra tipo COPPERWELD 16mm (5/8") x 1800 mm (71")	1	7,72	7,72
17	Conector de cobre a golpe de martillo para sistemas de puesta tierra para conductor #6 AWG	1	1,21	1,21
18	Cable concéntrico de cobre XLPE 2x6+6MM2	20m	3,31	66,20
19	Caja de protección de policarbonato para medidor	1	12,13	12,13
20	Sello de seguridad pre numerado	1	1,89	1,89
21	Conector dentado estanco de 16-95/4-35 mm2	1	2,76	2,76
22	Excavación para postes de H.A.	1	15,21	15,21
23	Conductor ACSR#2 AWG MX1	70m	0,66	46,20
24	Ménsula plástica ojal de acometida para poste y fachada	2	0,94	1,88
25	Montaje y conexión de iluminaria nueva 250W	1	16,07	16,07
26	Montaje completo de Trafo monof 5KVA CSP	1	122,47	122,47
27	Izaje de postes de H.A DE 10-11-12 M	1	38,84	38,84

28	Instalación completa de medidor (Caja Policar+puesta a tierra)	1	8,39	8,39
29	Instalación de acometida completa (KIT VANO - FACHADA)	1	11,60	11,60
30	Carga transporte y descarga de postes de H.A. DE 10-11-12 M	1	32,23	32,23

<b>SUBTOTAL</b>	2.183,24
<b>IVA 12%</b>	261,99
<b>TOTAL</b>	2.445,23

### Anexo B2. 3

#### Precios de mano de obra y materiales

			Una Casa	
Poste		Distancia	Dólares	
De	Hasta	Metros	Materiales	Mano de Obra
<b>Alimen</b>	1	70,00	424,00	145,15
1	2	70,00	335,10	135,45
2	3	70,00	335,10	135,45
3	4	70,00	335,10	135,45
4	5	70,00	335,10	135,45
5	6	70,00	335,10	135,45
6	7	70,00	335,10	135,45
7	8	70,00	335,10	135,45
8	9	70,00	335,10	135,45
9	10	70,00	335,10	135,45
10	11	70,00	335,10	135,45
11	12	70,00	418,71	145,15
12	13	70,00	335,10	135,45
13	14	70,00	335,10	135,45
14	15	70,00	335,10	135,45
15	16	70,00	335,10	135,45
16	17	70,00	335,10	135,45
17	18	70,00	335,10	135,45
18	19	70,00	335,10	135,45
19	20	70,00	335,10	135,45
20	21	70,00	335,10	135,45
21	22	70,00	335,10	135,45

22	23	70,00	335,10	135,45
23	24	70,00	418,71	145,15
24	25	70,00	335,10	135,45
25	26	70,00	335,10	135,45
26	27	70,00	335,10	135,45
27	28	70,00	335,10	135,45
28	29	70,00	335,10	135,45
29	30	70,00	335,10	135,45
30	31	70,00	335,10	135,45
31	32	70,00	335,10	135,45
32	33	70,00	335,10	135,45
33	34	70,00	335,10	135,45
34	35	70,00	335,10	135,45
35	36	70,00	418,71	145,15
36	37	70,00	335,10	135,45
37	38	70,00	335,10	135,45
38	39	70,00	335,10	135,45
39	40	70,00	335,10	135,45
40	41	70,00	335,10	135,45
41	42	70,00	335,10	135,45
42	43	70,00	335,10	135,45
43	44	70,00	335,10	135,45
44	45	70,00	335,10	135,45
45	46	70,00	335,10	135,45
46	47	70,00	335,10	135,45
47	48	70,00	418,71	145,15
48	49	70,00	335,10	135,45
49	50	70,00	335,10	135,45
50	51	70,00	335,10	135,45
51	52	70,00	335,10	135,45
52	53	70,00	335,10	135,45
53	54	70,00	335,10	135,45
54	55	70,00	335,10	135,45
55	56	70,00	335,10	135,45
56	57	70,00	335,10	135,45
57	58	70,00	335,10	135,45
58	59	70,00	335,10	135,45

59	60	70,00	418,71	145,15
60	61	70,00	335,10	135,45
61	62	70,00	335,10	135,45
62	63	70,00	335,10	135,45
63	64	70,00	335,10	135,45
64	65	70,00	335,10	135,45
65	66	70,00	335,10	135,45
66	67	70,00	335,10	135,45
67	68	70,00	335,10	135,45
68	69	70,00	335,10	135,45
69	70	70,00	335,10	135,45
70	71	70,00	335,10	135,45
71	72	70,00	418,71	145,15
72	73	70,00	335,10	135,45
73	74	70,00	335,10	135,45
74	75	70,00	335,10	135,45
75	76	70,00	335,10	135,45
76	77	70,00	335,10	135,45
77	78	70,00	335,10	135,45
78	79	70,00	335,10	135,45
79	80	70,00	335,10	135,45
80	81	70,00	335,10	135,45
81	82	70,00	335,10	135,45
82	83	70,00	335,10	135,45
83	84	70,00	418,71	145,15
84	85	70,00	335,10	135,45
85	86	70,00	2.080,48	364,75
<b>TOTAL</b>		Metros Recorrido	\$ Materiales	\$ Mano de Obra
		6.020,00m	31.238,47	11.955,83
			43.194,30 \$	

**Anexo B2. 4**

## **ANEXO 3**

### **MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA INSTALACION**

La instalación de un sistema fotovoltaico propiamente dicha está constituido por los módulos fotovoltaicos, el sistema de regulación y control, los acumuladores de energía, y por el inversor. Los otros elementos del sistema pertenecen al sistema eléctrico y tienen su mantenimiento respectivo.

Lo más indicado a la hora de realizar el mantenimiento de los principales componentes de una instalación fotovoltaica es acudir a los manuales de estos dispositivos ya que en ellos se encuentran la información más precisa que se puede obtener, ya que nadie como el propio fabricante conoce el equipo, funcionamiento, y los cuidados que requieren. Pero se pueden seguir estos debidos consejos de cara al mantenimiento y la detección de errores o averías, considerando las normas y recomendaciones mencionadas a continuación.

#### **Modulo fotovoltaico**

El módulos siendo el elemento más importante en el sistema fotovoltaico, es el que menor mantenimiento se da, debido a que se lo puede limpiar con cualquier elemento no abrasivo cuando se presenta suciedad en el mismo. Habitualmente las instalaciones ubicadas en el campo no se producen

depósitos de suciedad tan frecuentemente, en cambio si estuviese hubiese ubicada en una zona industrial donde se elimine residuos por chimeneas, es cuando se necesitaría de un mantenimiento más frecuente.

Además de la limpieza de los paneles, se verifica las conexiones de los elementos, verificar la degradación de los estados constructivo y comprobar el estado de la puesta a tierra, para proteger contra sobretensiones.

Se recomienda que los chequeos periódicos de los paneles fotovoltaicos se realicen mediante las siguientes indicaciones:

- Bajar el panel fotovoltaico y ponerlo sobre una superficie plana adecuada.
- Desconectar los contactos en la bornera del panel fotovoltaico.
- Realizar la limpieza del vidrio protector con un paño húmedo, evitando dañar el vidrio o ejercer excesiva presión sobre la superficie del mismo, así como verificar que el sellado se mantenga sin picaduras o que tengan filtrados de agua u otros.
- Con un cepillo metálico limpiar los contactos y bornes, eliminando suciedad y restos de óxidos.
- Otra vez con el cepillo metálico limpiar los contactos del conductor que va al regulador de carga.
- Conectar nuevamente los contactos tomando en consideración siempre la polaridad y realizar un adecuado ajuste de los tornillos de contacto.

## **Estructura y soporte**

Dependiendo del material de construcción se realiza el tipo de mantenimiento, ya que pueden ser construidas de aluminio, hierro, acero inoxidable, fibra de vidrio. En el caso de tener una estructura metálica se debe realizar el siguiente mantenimiento:

- Realizar la limpieza de plantas en crecimiento u hongos.
- Revisar de que no exista en la estructura partes dobladas, flojas u oxidadas, en caso de existir estos inconvenientes tratar de corregir y dejar en buen estado, especialmente en pernos y tornillos, si se encuentra oxidado se debe limpiar y colocar anticorrosivo.

## **Baterías**

Para el correcto funcionamiento de un sistema aislado se debe tener presente el correcto mantenimiento de sus baterías, de esta manera se debe seguir las siguientes normas básicas de mantenimiento.

- Mantener el lugar donde se coloque las baterías entre 15 o 25°C, el frío ralentiza las operaciones tanto de carga como de descarga; y el calor aumenta la evaporación del agua del electrolito y promueve la oxidación de las placas positivas.

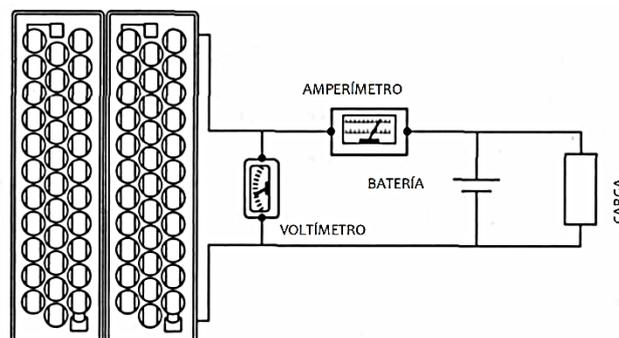
- Siempre que sea posible, fijar bien las baterías, de esta manera evitando su movimiento.
- Mantener los terminales de conexión limpios, apretados, y seca la carcasa de la batería.
- Mantener el nivel del electrolito adecuado, añadiendo agua destilada en caso de necesidad, evitando así que las placas estén expuesta al aire y tratar no excederse en el llenado que provoque el desbordamiento del electrolito.
- Evitar que las baterías se descarguen por completo ya que deteriorarían su vida útil.
- Calcular adecuadamente el número de baterías que necesite la instalación para evitar un uso excesivo que limite su vida útil.
- Comprobar el funcionamiento del cargador de batería, las cargas excesivas o insuficientes pueden disminuir su vida útil.
- Evitar siempre que se pueda las cargas rápidas de las baterías, ya que se produce importante deterioros a medio plazo.
- Comprobar que no hay diferencia de carga entre las distintas células de la batería, y si fuera así, se debe efectuar una carga de nivelación.

## **Regulador de voltaje**

Las comprobaciones y ajustes de los reguladores de carga deben ser antes de instalarlos en el sistema fotovoltaico y varía dependiendo del tipo de

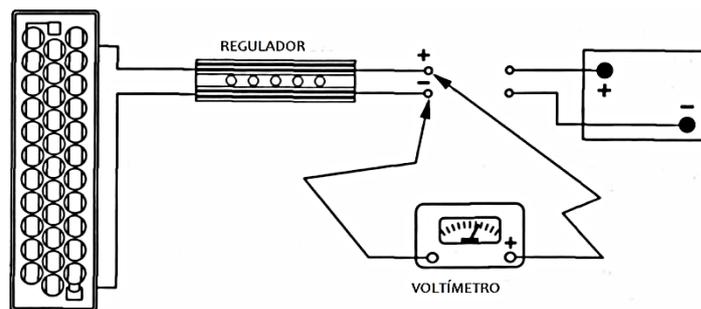
circuito que se utilice. Existen dos tipos de reguladores de carga como se vio anteriormente que es el tipo serie y paralelo.

El regulador serie representa una fácil comprobación ya que si medimos la corriente de carga entre el regulador y la batería, esta será la que el panel puede proporcionar en ese mismo instante; el corte del circuito vendrá dado cuando la tensión adquirida en la batería se iguale a la del regulador, y esta puede ser medida con un voltímetro en los bornes del regulador, en el caso de que el voltaje sea bajo o alto, o no exista paso de corriente desde los paneles a las baterías, el regulador debe ser sustituido o llevado a reparación. Esta medida de voltaje y corriente se aprecia en la siguiente Figura A3. 1.



**Figura A3. 1** Medida de voltaje y corriente en un circuito fotovoltaico para un regulador serie.

EL regulador shunt o paralelo para su comprobación se procede a separar la batería del grupo panel-regulador y se mide el voltaje en las bornes de salida del regulador a la batería, esta tensión debe ser ajustada para evitar la sobrecarga, esta medida se realizar cuando el sol esta elevado en el horizonte, y se debe observar el calentamiento de los transistores, si la tensión se encuentra entre 28V–29V o 56V–58V para sistemas de 24 y 48 voltios nominales respectivamente se puede decir que el regulador se encuentra en un buen funcionamiento. Esta medida de voltaje se la puede apreciar en la siguiente Figura A3. 2.



**Figura A3. 2** Medición de voltaje en un circuito fotovoltaico para un regulador shunt.

Si se desea la comprobación de la corriente de consumo del regulador, la corriente absorbida por un módulo fotovoltaico, etc., se debe cubrir el panel con una manta muy opaca, o esperar la noche, e intercalar un amperímetro que mostrara la corriente absorbida por el elemento en cuestión. Estas medidas son utilizadas si se sospecha de fugas elevadas a través de los módulos, consumo excesivo del regulador, rotura del diodo de bloqueo, etc.

También se puede seguir los siguientes pasos para el mantenimiento de los reguladores de carga.

- Desconectar las líneas de conducción del panel fotovoltaico al regulador de carga.
- En el caso de tener suciedad en los contactos o restos de óxidos, desconectar todos los conductores y limpiarlos con un cepillo metálico, tanto los bornes de conexión como los terminales de los conductores. Reconectar y realizar el ajuste adecuado en los bornes teniendo en cuenta la polaridad.
- Verificar y ajustar los tornillos de los bornes con un desarmador adecuado, para una correcta conducción eléctrica.
- Si existiesen fusibles, verificar también el estado de los contactos, y si es necesario cambiarlos hágalo con uno de igual valor en tensión y amperaje para evitar daño a los equipos y una correcta protección eléctrica.

## **Inversor**

EL mantenimiento del inversor no difiere mucho de las especificaciones generales, siendo algunas estas operaciones que se presentan a continuación.

- Revisar que la alarma se encuentren apagada y que el indicador del parámetro se encuentre dentro de lo normal.
- Asegurar que la temperatura del inversor estén en los rangos establecidos por el fabricante.
- Comprobar que el equipo no muestre resto de suciedad o humedad que pueda afectar su funcionamiento.
- Mediante pequeños esfuerzos sobre los equipos comprobar que su sujeción es firme.
- Comprobar que los cables estén debidamente conectados y sujetos.
- Si existe acumulación de suciedad, limpiar bien el dispositivo.
- Medición de eficiencia y distorsión armónicas.
- Comprobar que el inversor suministre a la carga la corriente y el voltaje adecuado, según las condiciones específicas de la instalación.

## **De la puesta a tierra**

La puesta a tierra es un elemento de gran importancia en los sistemas eléctricos y más aún cuando existen dispositivos instalados en la intemperie. De esta manera garantizando su correcto funcionamiento y alargando la vida de la instalación.

- Se debe comprobar que los tomas de tierras se encuentren humedecidos, si en la instalación se tiene interruptores diferenciales se debe comprobar su funcionamiento.
- Comprobar la resistencia de las tomas de tierra para verificar que presenten una resistencia adecuada.
- Comprobar que no haiga señales de óxido en los puntos de conexión ni en los cables de puesta a tierra.
- Comprobar que la resistencia entre las líneas de conducción y la tierra de los componentes de acoplamiento como los varistores.

La periodicidad de estos mantenimientos se lo realiza anualmente o cuando haya sucedido una falla de funcionamiento, algunas de estas acciones son realizadas con personal técnicos de manteniendo.

## **Cableado y accesorios**

EL cableado eléctrico es un elemento donde circula la corriente ya sea esta dc o ac permitiendo la unión de los diferentes dispositivos, por esta razón es de gran importancia su operación y manteniendo, ya que estos pueden sufrir daños por sobrecalentamiento debido al exceso de su capacidad o por fallas momentáneas en el cableado.

- Realizar una comprobación visual en los cables entre el generador y los cableados internos y externos se encuentren en buen estado.

- Los cables aéreos deben estar correctamente sujetos y limpios de objetos, pesos o extensiones que la pueden perjudicar.
- Los cables exteriores no aéreos, sus protecciones y canalizaciones deben estar en un buen estado, sin presencia de signos de impactos, oxidación, humedad, ataques de roedores, etc.
- Los cables interiores, sus protecciones y canalizaciones deben estar en un buen estado, sin presencia de signos de impactos, oxidación, humedad, ataques de roedores, etc.
- Comprobar con una pinza amperimétrica que la corriente que pasa por el generador-regulador, regulador-acumulador, inversor-carga, son las previstas según el diseño y condiciones de funcionamiento de la instalación y se encuentren en los márgenes fijados en la especificaciones técnicas.
- Comprobar con un voltímetro que las diferencias de potencial entre los bornes de entrada y salida del circuito generador-regulador, regulador-acumulador, regulador-inversor, inversor-carga, sean los de diseño de la instalación.
- Al encontrarse con cables con un mal funcionamiento, se deberá a proceder a la inspección de las conexiones, limpiarlas y apretarlas.

La prioridad de este mantenimiento se lo hace anualmente o cuando haya ocurrido una falla que el usuario lo detecte en el cableado, algunas de estas acciones son realizadas con el personal técnicos apropiada.

## ANEXO 4

### DATOS DE LOS COMPONENTES FOTOVOLTAICOS

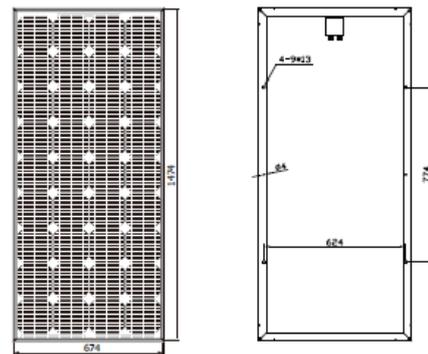
#### ANEXO A4

#### Panel fotovoltaico

### TECHNICAL DATA SHEET SM636-150



Technical Data	
Type	SM636-150
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 156mm×156mm
Number of Cells	36 pcs
Size of module	1482×676×35mm ( 156×156mm cell)
Module, Weight	12 kg
Connector / Cross-Section	Cixi Renhe
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front Cover Glass	Safety Glass
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminium



Electrical Data		
Maximum Power	$P_{MPP,STC}$	150 W
Power Tolerance	$\Delta_{STC}$	+2%
Maximum Power Voltage	$U_{MPP,STC}$	18.1 V
Maximum Power Current	$I_{MPP,STC}$	8.42 A
Open Circuit Voltage	$U_{OC,STC}$	22.6 V
Short Circuit Current	$I_{SC,STC}$	8.88 A
Cell Efficiency	$\eta_{STC}$	15.5 %
Maximum System Voltage	$U_{DC}$	1000 V

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C, Wind 0 m/s

Temperature Coefficients		
Power Coefficient	$\alpha_p (P_{MPP})$	- 0.50 ± 0.05 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_p (U_{OC})$	- 0.35 ± 0.01 %/K
Current Coefficient	$\varphi_p (I_{SC})$	0.06 ± 0.01 %/K

Power Warranty	
10 years performance warranty to 90 %	
25 years performance warranty to 80 %	
5 years warranty against production and material defects	

Certifications	
IEC 61215, IEC 61730 ,TUV, CE, ISO9001:2000	

Simax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd Add:beibanjing riverside,suzhou road,taicang city,jiangsu province,China  
Tel: +86 - 512 - 53378555 Fax: +86-512-53378556  
Url: www.simaxsolar.com Email: info@simaxsolar.com



Figura A4. 1

## ANEXO B4

## Acumulador de energía



## UCG150-12



## Physical Specification

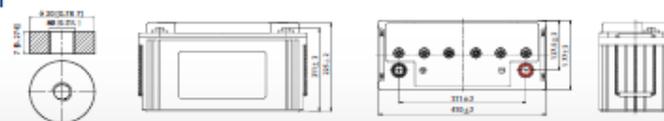
Part Number:	UCG150-12
Length:	485 ± 2 mm (19.09 inches)
Width:	170 ± 2 mm (6.69 inches)
Container Height:	240 ± 2 mm (9.45 inches)
Total Height (with terminal):	240 ± 2 mm (9.45 inches)
Approx Weight:	Approx 44 kg

## Specifications

	Nominal Voltage	12V
	Nominal Capacity (10HR)	150AH
Terminal Type	Standard Terminal	F10
	Optional Terminal	F11
Container Material	Standard Option	ABS
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94:V0)
Rated Capacity	150.8 AH/8.04A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	150.0 AH/15.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)
	131.6 AH/26.3A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	119.3 AH/39.8A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)
	96.9 AH/96.9A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)
Max Discharge Current	1500A (5s)	
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ	
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 45.0A, Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage	
	13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F)	103%
	25°C (77°F)	100%
	0°C (32°F)	86%
Design Floating Life at 20°C	15 Years	
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

## Dimensions

## F11 Terminal



## Anexo B4. 1

## ANEXO C4

## Controlador de carga MORNINGSTAR 12 V/ 45 A



## TRI STAR MPPT™

CONTROLADOR DE PANELES SOLARES CON  
DETECCIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA



45 o 60 amperios  
hasta 150 Voltios  
a circuito abierto

Producto mostrado con instrumento opcional

El controlador de paneles solares **TriStar MPPT** de Morningstar, con tecnología **TrakStar Technology™**, es un avanzado controlador de carga de baterías con capacidad de detección del punto de máxima potencia (MPPT) para paneles fotovoltaicos independientes de la red eléctrica, de hasta 3 KW de potencia. Este controlador tiene un incomparable rendimiento pico del 99% y mucho menos pérdidas de energía que otros controladores MPPT del mercado.

El TriStar MPPT aplica un avanzado algoritmo de seguimiento de carga para extraer la máxima potencia del panel fotovoltaico. Hace un barrido extremadamente rápido de toda la curva I-V para determinar la ubicación del pico de potencia. Este producto es el primer controlador de paneles fotovoltaicos con conexión Ethernet integrada para acceder a la Internet. También ofrece hasta 200 días de registro de datos.

Principales características y beneficios

**■ Máxima extracción de energía**  
La tecnología **TrakStar MPPT** ofrece:

- Detección del punto de potencia pico superior al de otros controladores MPPT
- Barrido rápido de toda la curva I-V
- Reconocimiento de varios picos de potencia durante periodos de sombra o en instalaciones combinadas de grupos de paneles fotovoltaicos
- Excelente respuesta a la salida del sol y con bajo nivel de irradiación solar

**■ Fiabilidad extremadamente alta**

- Factor térmico de alto margen, sin ventiladores de enfriamiento
- Diseño con circuitos en paralelo para reducir la sobrecarga y prolongar la vida útil de los componentes electrónicos
- Sin relés mecánicos
- Tiene protección contra cortocircuito en el panel
- Inductores encapsulados en epoxi y tarjetas de circuito impreso con revestimiento normalizado

**■ Muy alto rendimiento**

- Rendimiento pico del 99%
- Algoritmo exclusivo de seguimiento de carga que reduce al mínimo las pérdidas de energía
- Bajo consumo energético
- Servicio continuo a plena carga a 45 °C sin pérdida de capacidad nominal
- Selectos componentes electrónicos de alta capacidad para reducir las pérdidas por calentamiento

**■ Funciones completas de interconexión en red y comunicaciones**  
Permite monitorear el sistema, registrar datos y ajustar parámetros. Utiliza protocolo MODBUS™ de configuración abierta y software **MS View** de Morningstar.

- **Meterbus:** Para comunicaciones entre productos compatibles de Morningstar
- **Conexión serie RS-232:** Para conectar a una computadora personal
- **EIA-485:** Para comunicaciones entre varios dispositivos comunes a un bus colector
- **Ethernet:** Para conexión a la Internet o a una red local. Visualización con programa navegador de la Internet y envío de mensajes y texto.

**■ Registro de mediciones y datos**

- El instrumento opcional **TriStar** y el instrumento remoto brindan datos detallados de operación, alarmas y fallas
- Indicación de estado del sistema en pantalla de tres LEDs
- Hasta 200 días de registro de datos vía instrumentos o conectores de comunicación

Estado del sistema:

53.60V	28C	54.2A
2867W		MPPT

Registro de datos:

Today	Batt	Day: -1	Batt
	46.4 Vmin		47.2 Vmin
Today	Solar	Day: -1	Solar
	58.9 Amax		56.8 Amax
Today	Solar	Day: -1	Solar
	107.2 Vmax		105.5 Vmax

## Anexo C4. 1

# TRISTAR MPPT™ CONTROLADOR DE PANELES SOLARES

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Parámetros eléctricos

	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60
• Corriente máxima de batería	45 amp.	60 amp.
• Entrada nominal		
12 Voltios	600 Watts	800 Watts
24 Voltios	1200 Watts	1600 Watts
48 Voltios	2400 Watts	3200 Watts

	TS-MPPT-45 y TS-MPPT-60
• Rendimiento pico	99%
• Voltaje nominal del sistema	12, 24, 36 o 48 VCC
• Voltaje máximo del panel a circuito abierto	150 VCC
• Rango de voltaje de servicio de batería	8-72 VCC
• Consumo propio máximo	4 Watts
• Protección contra picos transitorios	4500 Watts/conector

### Protecciones electrónicas

- Panel solar: Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
- Batería: Alto voltaje
- Alta temperatura
- Descargas atmosféricas y picos transitorios
- Corriente inversa (de noche)

### Carga de batería

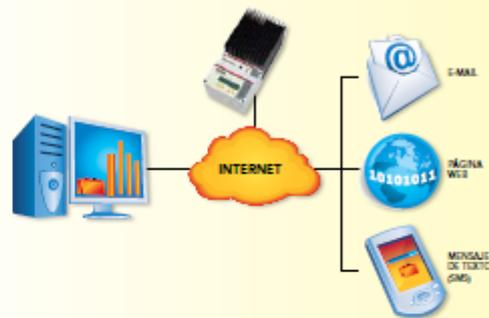
- Algoritmo de carga: 4 etapas
  - Etapas de carga: Principal (a corriente constante), absorción, flotante, equalización (balance de carga)
  - Compensación de temperatura:
    - Coeficiente:  $-5 \text{ mV/}^\circ\text{C/celda}$  ( $25^\circ$  de ref.)
    - Rango:  $-30^\circ\text{C}$  a  $+80^\circ\text{C}$
    - Selector de carga: Absorción, flotante, equalización, HVD
- Nota: Incluye sensor remoto de temperatura.

### Características físicas

- Dimensiones: 29.1 x 13.0 x 14.2 cm  
11.4 x 5.1 x 5.6 pulgadas
- Peso: 4.2 kg / 9.2 libras
- Medida máxima del conductor: 35 mm<sup>2</sup> / 2 AWG
- Aberturas para conductos: M20; ½, 1, 1-¼ pulgadas
- Caja: Tipo 1 (para interiores, ventilada)  
IP20

### Condiciones ambientales

- Temperatura ambiente:  $-40^\circ\text{C}$  a  $+45^\circ\text{C}$
- Temperatura de almacenamiento:  $-55^\circ\text{C}$  a  $+100^\circ\text{C}$
- Humedad: 100%, sin condensación
- Protección climática: Encapsulado de epoxi  
Revestimiento normalizado  
Terminales para atmósfera marina



### Conectores de comunicación

	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60
• MeterBus	Si	Si
• RS-232	Si	Si
• EIA-485	No	Si
• Ethernet	No	Si

### Opciones

- Instrumento 2 TriStar (TS-M-2)
- Instrumento remoto 2 TriStar (TS-RM-2)
- Centralizador de instrumentos (HUB-1)
- Excitador de relés (RD-1)

### Normas

- Cumple con normas CE
- Inscrito en ETL (UL1741)
- Cumple con Parte 15, Clase B de FCC
- Cumple con el Código Eléctrico Nacional de EE.UU. (NEC)
- Cumple con RoHS
- Fabricado en una planta aprobada por normas ISO 9001.

**GARANTÍA:** Cinco años de garantía. Comuníquese con Morningstar o su distribuidor autorizado para obtener los términos completos de la garantía.

**DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:**

**MORNINGSTAR**  
corporation

8 Pheasant Run  
Newtown, PA 18940 USA  
Tel.: +1 215-321-4457 Fax: +1 215-321-4458  
E-mail: info@morningstarcorp.com  
Web site: www.morningstarcorp.com

## ANEXO D4

## Inversor para Consumo Bajo Victron Energy 12 V / 350 W



**Inversores Phoenix**

180VA – 1200 VA    230V/50Hz y 110V/60Hz

[www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)



Phoenix Inverter  
12/180

#### SinusMax – Diseño superior

Desarrollado para uso profesional, la gama de inversores Phoenix es ideal para innumerables aplicaciones. El criterio utilizado en su diseño fue el de producir un verdadero inversor sinusoidal con una eficiencia optimizada pero sin comprometer su rendimiento. Al utilizar tecnología híbrida de alta frecuencia, obtenemos como resultado un producto de la máxima calidad, de dimensiones compactas, ligero y capaz de suministrar potencia, sin problemas, a cualquier carga.

#### Potencia de arranque adicional

Una de las características singulares de la tecnología SinusMax consiste en su muy alta potencia de arranque. La tecnología de alta frecuencia convencional no ofrece un rendimiento tan extraordinario. Los inversores Phoenix, sin embargo, están bien dotados para alimentar cargas difíciles, como ordenadores o herramientas eléctricas de baja potencia.

#### Transferencia de la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

Para los modelos de menor potencia recomendamos el uso de nuestro conmutador de transferencia automático "Filax". El tiempo de conmutación del "Filax" es muy corto (menos de 20 milisegundos), de manera que los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción.



Phoenix Inverter  
12/800 with Schuko socket

#### Diagnóstico LED

Por favor, consulte el manual para obtener su descripción.

#### Interruptor on/off remoto

Conector para interruptor remoto on/off disponible en todos los modelos.

#### Conmutadores DIP para seleccionar 50 ó 60 Hz (sólo en el modelo 48/350)

#### Disponible con tomas de corriente distintas

Ver las imágenes más abajo.



Phoenix Inverter 12/350  
with IEC-320 sockets



Phoenix Inverter 12/180  
with Schuko socket



Phoenix Inverter 12/180  
with Nema 5-15R sockets



Phoenix Inverter 12/800  
with IEC-320 socket



Phoenix Inverter 12/800  
with Schuko socket



Phoenix Inverter 12/800  
with BS 1363 socket



Phoenix Inverter 12/800  
with AN/NZS 3112 socket



Phoenix Inverter 12/800  
with Nema 5-15R socket

## Anexo D4. 1

Inversor Phoenix	12 Volt 24 Volt 48 Volt	12/180 24/180	12/350 24/350 48/350	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia CA cont. de salida a 25 °C (VA) (3)		180	350	800	1200
Potencia cont. a 25 °C / 40 °C (W)		175 / 150	300 / 250	700 / 650	1000 / 900
Pico de potencia (W)		350	700	1600	2400
Tensión / frecuencia CA de salida (4)	110VAC o 230VAC +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada (V DC)	10,5 - 15,5 / 21,0 - 31,0 / 42,0 - 62,0		9,2 - 17,3 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 68,0		
Alarma de batería baja (V DC)	11,0 / 22 / 44		10,9 / 21,8 / 43,6		
Apagado por batería baja (V DC)	10,5 / 21 / 42		9,2 / 18,4 / 36,8		
Autorrecuperación de batería baja (V DC)	12,5 / 25 / 50		12,5 / 25 / 50		
Eficacia máx. 12 / 24 / 48 V (%)	87 / 88	89 / 89 / 90	91 / 93 / 94	92 / 94 / 94	
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	2,6 / 3,8	3,1 / 5,0 / 6,0	6 / 6 / 6	8 / 9 / 8	
Consumo en vacío en modo de ahorro	n. a.	n. a.	2	2	
Protección (2)	a - e				
Temperatura de funcionamiento	-40 to +50°C (refrigerado por ventilador)				
Humedad (sin condensación)	max 95%				
<b>CARCASA</b>					
Material y color	aluminio (azul RAL 5012)				
Conexiones de la batería	1)	1)	1)	1)	
Tomas de corriente CA estándar	230V: IEC-320 (IEC-320 enchufe incluido), CEE 7/4 (Schuko) 120V: Nema 5-15R				
Otros enchufes (bajo pedido)	BS 1363 (Reino Unido) AN/NZS 3112 (Australia/Nueva Zelanda)				
Tipo de protección	IP 20				
Peso en (kg / lbs)	2,7 / 5,4	3,5 / 7,7	6,5 / 14,3	8,5 / 18,7	
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p en pulgadas)	72x132x200 2.8x5.2x7.9	72x155x237 2.8x6.1x9.3	104 x 194 x 305 4.1 x 7.6 x 12.0	104 x 194 x 305 4.1 x 7.6 x 12.0	
<b>ACCESORIOS</b>					
Interruptor on/off remoto	Conector bifásico				
Conmutador de transferencia automático	Filax				
<b>NORMATIVAS</b>					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Normativas	EN55014-1 / EN 55014-2/ EN 61000-6-2 / EN 61000-6-3				
1) Cables de batería de 1,5 metros (12/180 con encendedor de cigarrillos) 2) Protección a) Cortocircuito de salida b) Sobrecarga c) Tensión de la batería demasiado alta 3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 4) La frecuencia puede ajustarse por medio del conmutador DIP (sólo en modelos 750VA)					
d) Tensión de la batería demasiado baja e) Temperatura demasiado alta					

## Anexo D4. 2

**Inversor para Consumo Medio PowerStar 12 V / 1000 W**

# Inversor y Cargador con Pantalla

## Conexión básica para la serie Power Star LW

Atención: Alto Voltaje



Solo abrir por personal cualificado.  
Lee el manual antes de usar este producto.



### SECCIÓN DE LOS CABLES en mm<sup>2</sup>

Cargador o inversor	Longitud del cable 0 - 1.50m	Longitud del cable 1.50 - 4.0m
125-180A	50mm <sup>2</sup>	70mm <sup>2</sup>
180-330A	70mm <sup>2</sup>	90mm <sup>2</sup>

Si hay dificultad para obtener cable de 90 mm<sup>2</sup>, se puede usar 2 \* 50 mm<sup>2</sup> o 3 \* 35mm<sup>2</sup>. El rendimiento del inversor puede mejorar por cable más grueso y tiradas más cortas, mantener la longitud tan corta como sea posible. Usar solo cable de cobre.



**Anexo D4. 3**

Especificaciones generales		Power star LW					
<b>Onda de entrada</b>	Onda Pura (Generador o red electrica)						
<b>Voltaje nominal de entrada</b>	120VAC	230VAC					
<b>Apagado por baja tensión</b>	90V±4%	184V/154V±4%					
<b>Reencendido por baja tensión</b>	100V±4%	194V/164V±4%					
<b>Apagado por alta tensión</b>	140V±4%	253V±4%					
<b>Reencendido por alta tensión</b>	135V±4%	243V±4%					
<b>Entrada de voltaje máxima</b>	150VAC	270VAC					
<b>Entrada nominal de frecuencia</b>	50Hz o 60Hz (Detección automática)						
<b>Low freq trip:</b>	47Hz for 50Hz, 57Hz for 60Hz						
<b>High freq trip:</b>	55Hz for 50Hz, 65Hz for 60Hz						
<b>Onda de salida</b>	Modo Bypass (igual que en la entrada)						
<b>Protección de sobrecarga</b>	Fusible automático						
<b>Protección de cortocircuito</b>	Fusible automático						
<b>Transferencia del relé</b>	30amp or 40amp						
<b>Eficiencia del modo de transferencia</b>	95%+						
<b>Tiempo de transferencia</b>	10ms						
<b>Bypass sin conexión de batería</b>	Si						
<b>Corriente máximo bypass</b>	30amp or 40amp						
<b>Bypass corriente de sobrecarga</b>	35amp or 45amp: Alarm						
<b>Especificaciones salida inversor</b>							
<b>Onda de salida</b>	Onda pura						
<b>Potencia de salida continua Vatios</b>	1000	2000	3000	4000	5000	6000	
<b>Potencia de salida continua VA</b>	1000	2000	3000	4000	5000	6000	
<b>Factor de potencia</b>	0.9-1.0						
<b>Voltaje nominal de salida RMS</b>	120/230VAC						
<b>Regulación salida de voltaje</b>	+/- 10% RMS						
<b>Frecuencia de salida</b>	50Hz ± 0.3Hz or 60Hz ± 0.3Hz						
<b>Eficiencia nominal</b>	>88%						
<b>Potencia de pico</b>	3000	6000	9000	1200	1500	18000	
<b>Protección de cortocircuito</b>	Si						
<b>Especificaciones entrada inversor</b>							
<b>Voltaje nominal de entrada</b>	12V	24V	48V				
<b>Mínimo voltaje de funcionamiento</b>	10V	20V	40V				
<b>Alarma batería baja</b>	10.5V	21V	42V				
<b>Desconexión por baja batería</b>	10V	20V	40V				
<b>Alarma alto voltaje batería</b>	16V	32V	64V				
<b>Modo ahorro</b>	Debajo de 25w						
<b>Modo ahorro</b>	Pulsa el interruptor ON/OFF en modo ahorro						
<b>Especificaciones cargador</b>							
<b>Rango entrada de voltaje</b>	95-127VAC 194-243VAC						
<b>Voltaje de salida</b>	Dependiendo del tipo de batería						
<b>Corriente de carga</b>	35A / 70A						
<b>Voltaje inicial</b>	10-15.7v for 12v (*2 for 24v, *4 for 48v)						
<b>Protección sobrecarga (el cargador se apaga)</b>	(15.7 for 12v (*2 for 24v, *4 for 48v)						
<b>Curva de carga (4 etapas de carga con corriente constante)</b>							
<b>Carga progresiva con control digital</b>							
<b>Tipo de batería</b>	<b>Carga</b>	<b>rápida</b>	<b>flotación</b>	<b>(*2 para 24v, *4 para 48v)</b>			
Gel U.S.A	14.0	13.7					
A.G.M 1	14.1	13.4					
A.G.M 2	14.6	13.7					
Plomo-acido sellado	14.4	13.6					
Gel Euro	14.4	13.8					
Plomo-acido abierto	14.8	13.3					
Calcium	15.1	13.6					
Sulfatación	15.5 para 4 horas						
<b>Mando a distancia RJ12</b>	Si						
<b>Medidas en mm</b>	Modelos: 1000/2000/3000		442*218*179				
	Modelos: 4000/5000/6000		598*218*179				
<b>Peso</b>	1000	2000	3000	4000	5000	6000	
	20kg	20kg	26kg	48kg	48kg	48kg	

## Anexo D4. 4

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] "PLAN NACIONAL DE DESARROLLO," in *PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR*, QUITO, 2013-2017, pp. 74-75.
- [2] "PLAN NACIONAL DE DESARROLLO," in *PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR*, QUITO, 2013-2017, p. 317.
- [3] "PLAN NACIONAL DE DESARROLLO," in *PLAN NACIONAL PARA EL BUEN VIVIR*, QUITO, 2013-2017, p. 393.
- [4] "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION," in *ASPECTO DE SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL*, QUITO, 2013-2022, pp. 192, 193, 194, 195.
- [5] "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022," in *ASPECTO DE SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL*, QUITO, p. 69.
- [6] "Ministerio de Electricidad y Energia Renovable," [Online]. Available: <https://www.energia.gob.ec/electrificacion-rural-con-energias-renovables/>.
- [7] "Red Electrica de España," [Online]. Available: [http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/avance\\_informe\\_sistema\\_electrico\\_2014.pdf](http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/avance_informe_sistema_electrico_2014.pdf).
- [8] "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION," in *ASPECTO DE SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL*, QUITO, 2013-2022, p. 30.
- [9] "Ministerio de Electricidad y Energia Renovable," [Online]. Available: <https://www.energia.gob.ec/electrificacion-rural-con-energias-renovables/>.
- [10] B. Veritas, "Energía Solar Fotovoltaica," FC editorial 7ma Edición, 2012, p. 22.
- [11] E. VINTIMILLA, "EL NUEVO SECTOR ELECTRICO ECUATORIANO," CUENCA, 2013.

- [12] "Programas y Actividades de Educación Ambiental," [Online]. Available: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo19.pdf>.
- [13] "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022," in *ASPECTO DE SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL*, QUITO, pp. 192, 193, 194, 195.
- [14] [Online]. Available: <http://www.energia.gob.ec/ministerio-de-electricidad-y-energia-renovable-presento-el-primer-atlas-eolico-del-ecuador/>.
- [15] "Programas y Actividades de Educación Ambiental," [Online]. Available: <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo21.pdf> .
- [16] "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022," in *ASPECTO DE SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL*, QUITO, p. 180.
- [17] "PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACION 2013-2022," in *ASPECTO DE SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD SOCIAL Y AMBIENTAL*, QUITO, p. 192.
- [18] R. C. A. C. ., M. C. José Carta, "Centrales de energías renovables," in *Generacion electrica con energias renovables*, Madrid(España), Pearson Educacion , 2009, p. 54.
- [19] "NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION," in *ENERGIA RENOVABLES*, Quito, 2011, pp. 55, 56 y 57.
- [20] "YINGLI SOLAR," [Online]. Available: <http://www.yinglisolar.com/al/products/monocrystalline/>.
- [21] J. M. R. C. Bureau Veritas, "ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA," MADRID, 2012.
- [22] R. C. P. A. C. S. M. C. G. José Carta González, "CENTRALES DE ENERGIAS RENOVABLES," in *GENERACION ELECTRICA CON ENERGIA RENOVABLES*, MADRID (ESPAÑA), PEARSON EDUCACION, 2009, pp. 49, 50.
- [23] E. A. Cabrerizo, "Instalaciones Solares Fotovoltaicas," in *Acumuladores*, Progensa, 2008, p. 50.