

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR –
COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Misael Contreras Baldovino

Ingeniería Mecatrónica
Facultad De Ingenierías Y Arquitectura



Universidad De Pamplona

Pamplona, 2021

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA
ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR –
COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título
de Ingeniero en Mecatrónica

Misael Contreras Baldovino

Director:

Yara Angeline Oviedo Durango

Ingeniería Mecatrónica, Magister © En Controles Industriales

Ingeniería Mecatrónica

Facultad De Ingenierías Y Arquitectura



Universidad De Pamplona

Pamplona, 2021

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo primordialmente a Dios por brindarme la sabiduría para completar mi
profesión.*

*A mis padres, por estar ahí en los momentos difíciles, por apoyarme en todos mis proyectos y
por ser los causantes de que mi sueño se haga posible.*

*A mis amigos por ser participe a lo largo de toda mi carrera, por compartir sabidurías y hacer
que esto fuese posible.*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme cruzar los obstáculos, por los logros y por el acompañamiento en toda mi carrera.

A mis padres por sacrificarse para darme un estudio profesional, por apoyarme en los momentos difíciles y culminar este gran logro de mi vida.

A la tutora Yara Oviedo por brindarme una guía de enseñanza, asesoría y acompañamiento de estudio a lo largo de mi trabajo.

Por último, a todos los compañeros, docentes y amigos que compartieron sus conocimientos y experiencias conmigo, que junto a su apoyo hicieron enriquecer mis capacidades y superar los retos que se presentaron a lo largo de mi carrera.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

RESUMEN

En el presente trabajo se ilustra detalladamente la instalación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales del Sur de Bolívar, el proceso de este proyecto consistió en lograr resolver las dificultades energéticas de los habitantes de estas zonas a través de este sistema. La instalación de cada sistema fotovoltaico se basó en las normas técnicas y profesional RETIE y NTC2050, lo cual se realizó haciendo la verificación de la zona, el posicionamiento de los equipos electrónicos, la protección de todo el sistema, el uso de material altamente conductivo y la conexión a un panel de mando, que controla todo el sistema fotovoltaico. Al final, esta energía automatizada es dirigida hacia las conexiones eléctricas del área residencial, comercial y/o campo rural. Hay factores externos que afectaron positivamente al funcionamiento óptimo de este sistema fotovoltaico como lo es, la incidencia solar, las zonas altamente despejadas (no hay obstrucción de la radiación solar al panel) y la superficie del terreno. Cabe resaltar que un 75% de los habitantes de estas zonas viven de la agricultura y la ganadería, impulsando a la implementación de este tipo de energía solar para el uso de, electrobombas en posos hídricos (agua potable de uso doméstico y en la agricultura), sistemas de riegos sin y con aspersión para sus cultivos, cercas eléctricas, hogar etc.

Palabras claves: *Sistema, energía, rurales, radiación, fotoeléctricas, agricultura.*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Abstract

This work illustrates in detail the installation of photovoltaic systems in rural areas of southern Bolívar, the process of this project consisted of solving the energy difficulties of the inhabitants of these areas through this system. The installation of each photovoltaic system is based on the technical and professional standards RETIE and NTC2050, which was carried out by verifying the area, the positioning of the electronic equipment, the protection of the entire system, the use of highly conductive material and the connection to a control panel, which controls the entire photovoltaic system. Ultimately, this automated energy is directed towards the electrical connections of the residential, commercial and / or rural area. There are external factors that positively affect the optimal operation of this photovoltaic system, such as solar incidence, highly clear areas (there is no obstruction of solar radiation to the panel) and the surface of the land. It should be noted that 75% of the inhabitants of these areas live from agriculture and livestock, promoting the implementation of this type of solar energy for the use of electric pumps in water wells (drinking water for domestic use and in agriculture), irrigation systems without and with aspersion for your crops, electric fences, home, etc.

Keywords: *System, energy, rural, radiation, photoelectric, agriculture.*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS	12
LISTADO DE FIGURAS	13
1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. JUSTIFICACIÓN	21
1.2. OBJETIVOS.....	23
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	<i>23</i>
1.2.2. <i>Objetivos específicos.....</i>	<i>23</i>
2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE	24
2.1.1. <i>Radiación Solar</i>	<i>24</i>
2.1.1.1. <i>Movimiento del Sol</i>	<i>26</i>
2.1.1.2. <i>Características eléctricas de células y módulos fotovoltaicos.....</i>	<i>26</i>
2.1.2. <i>Descripción de Sistemas.....</i>	<i>28</i>
2.1.2.1. <i>Panel solar.....</i>	<i>29</i>
2.1.3. <i>Sombreado Parcial En Paneles Fotovoltaicos</i>	<i>30</i>
2.1.4. SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA	31
2.1.5. <i>Integración a la Red de Sistemas Fotovoltaico</i>	<i>33</i>
2.1.6. <i>Puesta a Tierra</i>	<i>35</i>
2.1.6.1. <i>Funciones de un polo a tierra.....</i>	<i>35</i>
2.1.6.2. <i>Componentes de un polo a tierra</i>	<i>36</i>
2.1.6.3. <i>Procesos de instalación</i>	<i>36</i>
2.1.6.4. <i>Valores de referencia de resistencia</i>	<i>36</i>
2.1.6.5. <i>Diseño del sistema de puesta a tierra NORMA RETIE y NTC 2050.</i>	<i>37</i>
2.1.7. <i>Inversor DC a AC.....</i>	<i>39</i>
2.1.8. REGULADOR DE CARGA SOLAR	40
2.1.8.1. <i>¿Cómo funciona un regulador PWM?</i>	<i>41</i>
2.1.8.2. <i>¿Cómo funciona un regulador MPPT?.....</i>	<i>41</i>
2.1.9. <i>Breaker Eléctrico</i>	<i>42</i>
2.1.9.1. <i>Características de los breakers eléctricos</i>	<i>43</i>
2.1.9.2. <i>Localización de los Disyuntores.....</i>	<i>44</i>

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.10.	<i>Cables para instalaciones eléctricas</i>	44
2.1.10.1.	Color de los cables eléctricos según Norma RETIE	45
2.1.10.2.	Calibre de cables eléctricos para casa	45
2.1.10.2.1.	Sección y funcionalidad del cableado:	45
2.1.11.	<i>Diseño de las instalaciones eléctricas (NORMA RETIE y NTC2050)</i>	46
2.1.11.1.	Productos usados en las instalaciones eléctricas (NORMA RETIE y NTC2050).....	47
2.1.12.	<i>¿Qué es una batería solar?</i>	48
2.1.12.1.	En que consiste el funcionamiento de una batería solar	48
2.1.12.2.	Que tipos de baterías solares existen	49
2.1.13.	<i>Variador de Frecuencia</i>	50
2.1.13.1.	Funcionamiento: ¿Cuáles son los principios básicos por los que se rige un variador de frecuencia?	51
2.1.13.2.	Diferentes tipos de variadores de frecuencia y usos.....	51
2.1.13.3.	Estas son las ventajas de contar con un variador de frecuencia	53
2.1.14.	<i>¿Qué es una bomba solar sumergible?</i>	53
2.1.14.1.	¿Cuál es la principal ventaja de este tipo de bombas solares?	54
2.1.14.2.	Principales aplicaciones para este tipo de bombeo solar	54
2.1.15.	<i>Capacidad nominal de circuitos ramales</i>	55
2.1.15.1.	210-19 Conductores: capacidad de corriente y sección transversal mínima.	55
2.1.16.	<i>Protección contra sobre corriente</i>	56
2.1.16.1.	250-125 Conductor de puesta a tierra de los instrumentos.	57
2.1.17.	<i>310-15 Capacidad de corriente</i>	58
2.1.16.	<i>Diseño versus dimensionado</i>	59
2.1.16.1.	Métodos de dimensionado	59
2.1.16.2.	Método propuesto para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos	61
2.1.16.3.	Estimación del consumo	61
2.1.16.4.	Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los módulos	63
2.1.16.5.	Dimensionado del Generador Fotovoltaico	64
2.1.16.6.	Dimensionado del Sistema de Acumulación (Batería)	65
2.1.16.7.	Dimensionado del Regulador	66
2.1.16.8.	Dimensionado del Inversor	68
2.1.16.9.	Dimensionado del Cableado	69
2.2.	ESTADO DEL ARTE	70
2.1.1.	<i>Energía Solar Autónoma</i>	70

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.2.	<i>Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica.....</i>	71
2.1.3.	<i>Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable (SAGER).....</i>	72
2.1.4.	<i>Planta de Energía Solar en Santa Rosa de Lima en el Departamento de Bolívar.....</i>	73
2.1.5.	<i>Acueducto con Energía Solar en el Corregimiento El Cuatro</i>	74
2.1.6.	<i>Planta de Energía Solar Proyecto ‘Bayunca 1’</i>	75
2.1.7.	<i>Implementación de sistema fotovoltaico para acueducto rural en Barrancayuca, Bolívar</i>	76
2.1.8.	<i>Sistema Fotovoltaico para Riego de Cultivos en Las Marías, Bolívar.....</i>	77
3.	INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO TIQUISIO, SUR DE BOLÍVAR.....	78
3.1.	METODOLOGÍA.....	78
3.1.1.	<i>realizar una inspección planeada en la zona de la futura instalación.</i>	78
3.1.1.1.	Detallar el área de trabajo	79
3.1.1.2.	Verificación del lugar donde hay mayor radiación solar.	79
3.1.2.	<i>Calcular el consumo energético requerido, para una correcta Selección de materiales.</i>	80
3.1.2.1.	Plantear las ecuaciones necesarias para un correcto cálculo del consumo energético.....	80
3.1.2.2.	Obtener la cantidad de paneles necesarios para el correcto funcionamiento del sistema	82
3.1.2.3.	Establecer la cantidad de baterías para un óptimo rendimiento del sistema.....	84
3.1.3.	<i>Diseñar el esquema de conexión y posicionamiento de los equipos.....</i>	90
3.1.3.1.	Diseño de la estructura del sistema fotovoltaico de acuerdo a los requerimientos del cliente	92
3.1.4.	<i>Identificación de ubicación de los paneles solares.....</i>	97
3.1.4.1.	Seleccionar el modelo de conexión de los paneles, de acuerdo al tipo de controlador solar PWM.....	97
3.1.4.2.	Trazo de un esquema de la distribución energética del área.	104
3.1.5.	<i>Ejecutar la instalación de sistemas fotovoltaicos</i>	105
3.1.5.1.	Instalación de cada elemento eléctrico en su correcto posicionamiento.....	108
3.1.5.2.	Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Inversor DC a AC, Controlador PWM, Breaker e impulsor).....	109
3.1.5.3.	Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Inversor DC a AC, Controlador PWM, Breaker)	114
3.1.5.4.	Efectuar la instalación de los polos a tierra, para prevenir cualquier daño por causa de descarga eléctrica.	115
3.1.5.5.	Realizar el cableado interno y puntos eléctricos del área, de acuerdo a las normas de la RETIE.	117
3.1.6.	<i>Validar el buen funcionamiento del sistema con pruebas de medición energética.</i>	117
3.1.6.1.	Examinación de cada punto eléctrico (paneles, baterías, cableado del área) con su posible corrección.	117

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

3.1.6.2.	Evaluación del sistema fotovoltaico con las cargas.....	119
4.	INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO EN PINILLOS, SUR DE BOLÍVAR.....	120
4.1.	METODOLOGÍA.....	120
4.1.1.	<i>Realizar una inspección planeada en la zona de la futura instalación</i>	<i>120</i>
4.1.1.1.	Verificación del lugar donde hay mayor radiación solar.....	120
4.1.1.2.	Detallar el área de trabajo	120
4.1.2.	<i>Calcular el consumo energético requerido, para una correcta Selección de materiales.</i>	<i>121</i>
4.1.2.1.	Plantear las ecuaciones necesarias para un correcto cálculo del consumo energético.....	121
4.1.2.2.	Obtener la cantidad de paneles necesarios para el correcto funcionamiento del sistema	123
4.1.2.3.	Establecer la cantidad de baterías para un óptimo rendimiento del sistema.....	125
4.1.3.	<i>Diseñar el esquema de conexión y posicionamiento de los equipos.....</i>	<i>131</i>
4.1.3.1.	Diseño de la estructura del sistema fotovoltaico de acuerdo a los requerimientos del cliente	133
4.1.3.2.	Identificación de ubicación de los paneles solares.....	135
4.1.3.3.	Seleccionar el modelo de conexión de los paneles, de acuerdo al tipo de controlador solar PWM.....	136
4.1.3.4.	Trazo de un esquema de la distribución energética del área.	142
4.1.4.	<i>Ejecutar la instalación del sistema fotovoltaico con su respectiva protección eléctrica.....</i>	<i>146</i>
4.1.4.1.	Efectuar la instalación de los polos a tierra, para prevenir cualquier daño por causa de descarga eléctrica. 146	
4.1.4.2.	Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Inversor DC a AC, Controlador PWM, Breaker) 151	
4.1.5.	<i>Validar el buen funcionamiento del sistema con pruebas de medición energética.....</i>	<i>152</i>
4.1.5.1.	Evaluación del sistema fotovoltaico con las cargas.....	154
5.	INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EXTRACCIÓN DE AGUA, SUR DE BOLÍVAR.....	155
5.1.	METODOLOGÍA.....	155
5.1.1.	<i>realizar una inspección planeada en la zona de la futura instalación.</i>	<i>155</i>
5.1.1.1.	Detallar el área de trabajo	155
5.1.1.2.	Verificación del lugar donde hay mayor radiación solar.....	156
5.1.2.	<i>Calcular el consumo energético requerido, para una correcta Selección de materiales.</i>	<i>157</i>
5.1.2.1.	Plantear las ecuaciones necesarias para un correcto cálculo del consumo energético.....	157
5.1.2.2.	Obtener la cantidad de paneles necesarios para el correcto funcionamiento del sistema	158
5.1.3.	<i>Diseñar el esquema de conexión y posicionamiento de los equipos.....</i>	<i>163</i>
5.1.3.1.	Diseño de la estructura del sistema fotovoltaico de acuerdo a los requerimientos del cliente	164

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

5.1.4.	<i>Identificación de ubicación de los paneles solares.</i>	167
5.1.4.1.	Seleccionar el modelo de conexión de los paneles.	168
5.1.4.2.	Trazo de un esquema de la distribución energética del área.	173
5.1.5.	<i>Ejecutar la instalación de sistemas fotovoltaicos</i>	174
5.1.5.1.	Instalación de cada elemento eléctrico en su correcto posicionamiento	176
5.1.5.2.	Situar los paneles solares	177
5.1.5.3.	Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Variador de frecuencia, DPS, breaker trifásico)	179
5.1.5.4.	Efectuar la instalación de los polos a tierra, para prevenir cualquier daño por causa de descarga eléctrica.	180
5.1.5.5.	Realizar el cableado interno y puntos eléctricos del área, de acuerdo a las normas de la RETIE.	181
5.1.6.	<i>Validar el buen funcionamiento del sistema con pruebas de medición energética.</i>	181
5.1.6.1.	Examinación de cada punto eléctrico (paneles, cableado del área) con su posible corrección.	181
5.1.6.2.	Evaluación del sistema fotovoltaico con las cargas	182
6.	CONCLUSIONES	183
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. <i>TABLA DE RESISTENCIA MÁXIMA POLO A TIERRA (TABLA CON NORMATIVA RETIE). [7]</i>	37
TABLA 2. <i>DIMENSIONAMIENTO DE CARGAS. (AUTOR)</i>	81
TABLA 3. INVENTARIO DE HERRAMIENTAS. (AUTOR)	106
TABLA 4. MATERIALES PARA INSTALACIÓN. (AUTOR)	107
TABLA 5. DIMENSIONAMIENTO DE CARGAS	121
TABLA 6. INVENTARIO DE HERRAMIENTAS	144
TABLA 7. MATERIALES PARA INSTALACIÓN. (AUTOR)	146
TABLA 8. <i>DIMENSIONAMIENTO DE CARGAS. (AUTOR)</i>	157
TABLA 9. INVENTARIO DE HERRAMIENTAS. (AUTOR)	175
TABLA 10. MATERIALES PARA INSTALACIÓN. (AUTOR)	176

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

LISTADO DE FIGURAS

FIG. 1. <i>DISTRIBUCIONES ESPECTRALES DE POTENCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR. [1]</i>	25
FIG. 2 <i>CANTIDAD DE RADIACIÓN EN LA TIERRA. [2]</i>	25
FIG. 3 <i>TRAYECTORIA DEL SOL. [2]</i>	26
FIG. 4. <i>CIRCUITO EQUIVALENTE DE UNA CELULA FOTOVOLTAICA. [1]</i>	26
FIG. 5. <i>CONEXIONES TÍPICAS EN CÉLULAS FOTOVOLTAICAS DE SILICIO COMERCIALES. (A) CONEXIONES EN PARALELO EN UNA CELULA INDIVIDUAL. (B) CONEXIONES EN 33 CELULAS EN SERIE. (C) CONEXIÓN EN PARALELO DE VARIOS MODULOS. [1]</i>	28
FIG. 6 <i>ESTRUCTURA DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO. [2]</i>	29
FIG. 7. <i>FUNCIONAMIENTO DE UN PANEL SOLAR.[3]</i>	30
FIG. 8 <i>SOMBREADO POR EDIFICIOS A PANELES SOLARES. [5]</i>	31
FIG. 9 <i>CONFIGURACIONES DE LOS SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA CON ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y (A) AISLADOS EN LA RED, (B) INTERCONECTADOS CON LA RED. [6]</i>	32
FIG. 10 <i>CONFIGURACIONES DE INTEGRACIÓN DE RED DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO (A) INVERSORES CENTRALIZADOS Y (B) SISTEMA MODULARIZADO CON CONVERTIDORES DC-DC. CONFIGURACIONES DE INTEGRACIÓN DE RED DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO (C) SISTEMA MODULAR CON INVERSORES CC-CA. [6]</i>	34
FIG. 11 <i>PUESTA A TIERRA INTERCONECTADAS. [8]</i>	38
FIG. 12 <i>INVERSOR DC A AC. [9]</i>	39
FIG. 13 <i>ESQUEMA DEL INVERSOR SINUSOIDAL. [9]</i>	40
FIG. 14 <i>ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN REGULADOR SOLAR. [10]</i>	42
FIG. 15 <i>BREAKER. [11]</i>	43
FIG. 16 <i>CABLES PARA INSTALACIONES ELÉCTRICAS. [12]</i>	44
FIG. 17 <i>COLORES DE CABLES ELÉCTRICOS SEGÚN LA NORMA EUROPEA. [12]</i>	45

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

FIG. 18 <i>EXTRACCIÓN DE AGUA POR MEDIO DE ENERGÍA SOLAR. [15]</i>	54
FIG. 19 <i>SISTEMA DE RIEGO FOTOVOLTAICO. [15]</i>	55
FIG. 20 <i>MONTAJE DE UN SISTEMA SOLAR AUTÓNOMO. [18]</i>	70
FIG. 21 <i>SISTEMA PV CON INVERSOR CENTRAL. [19]</i>	71
FIG. 22 <i>VISTA DE LA INSTALACIÓN HÍBRIDA SAGER EN EL TEJADO DE LA ETSEIB, EN BARCELONA. [20]</i>	72
FIG. 23 <i>GRANJA SOLAR (CELSIA BOLÍVAR). [21]</i>	73
FIG. 24 <i>ACUEDUCTO CON ENERGÍA SOLAR EN EL CORREGIMIENTO EL CUATRO (MUNICIPIO DE MAGANGUÉ – BOLÍVAR). [22]</i>	75
FIG. 25 <i>PROYECTO SOLAR BAYUNCA 1. [23]</i>	76
FIG. 26 <i>SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ACUEDUCTO RURAL. (AUTOR)</i>	77
FIG. 27 <i>SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA RIEGO DE CULTIVOS. (AUTOR)</i>	78
FIG. 28 <i>RECORRIDO EN EL ÁREA DE INSTALACIÓN. (AUTOR)</i>	79
FIG. 29 <i>ÁREAS DESPEJADAS EN ZONA DE INSTALACIÓN. (AUTOR)</i>	80
FIG. 30 <i>PLANO DEL ÁREA DE TRABAJO. (AUTOR)</i>	91
FIG. 31 <i>CAD DEL ÁREA DE TRABAJO. (AUTOR)</i>	92
FIG. 32 <i>TUBO COLUMNA. (AUTOR)</i>	93
FIG. 33 <i>CABEZOTE GRADUAL (CANISTER). (AUTOR)</i>	93
FIG. 34 <i>DISEÑO ÁNGULOS GALVANIZADOS. (AUTOR)</i>	94
FIG. 35 <i>ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA. (AUTOR)</i>	94
FIG. 36 <i>ESTRUCTURA PINTADA CON ANTICORROSIVO. (AUTOR)</i>	95
FIG. 37 <i>ÁNGULOS DE SUJECIÓN. (AUTOR)</i>	96
FIG. 38 <i>CANISTER (GRADUABLE). (AUTOR)</i>	96
FIG. 39 <i>ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA BASE SIN LOS PANELES. (AUTOR)</i>	97
FIG. 40 <i>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS SOLARES. [24]</i>	99

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

FIG. 41 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR).....	100
FIG. 42 I-V Y P-V. (AUTOR)	100
FIG. 43 ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN (PARALELO) MÓDULOS SOLARES. (AUTOR)	101
FIG. 44 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR).....	101
FIG. 45 RESPUESTA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR).....	102
FIG. 46 PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO. (AUTOR)	103
FIG. 47 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PSIM. (AUTOR).....	103
FIG. 48 PLANO DE DISTRIBUCIÓN DEL CABLEADO ELÉCTRICO. (AUTOR)	105
FIG. 49 POSICIONAMIENTO DEL PANEL DE MANDO CON SUS ACCESORIOS ELÉCTRICOS. (AUTOR)	108
FIG. 50 POSICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA BASE DE LOS PANELES. (AUTOR)	109
FIG. 51 CAVIDAD PARA INCRUSTAR LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	109
FIG. 52 UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE FORMA HORIZONTAL INCLINADA. (AUTOR).....	110
FIG. 53 CONEXIONES ELÉCTRICAS DE LOS PANELES (PARALELO). (AUTOR)	111
FIG. 54 ENSAMBLE DE LOS PANELES A LA ESTRUCTURA. (AUTOR).....	111
FIG. 55 ESTRUCTURA DE FORMA VERTICAL CON PANELES ENSAMBLADOS. (AUTOR).....	112
FIG. 56 BRÚJULA PARA LA CORRECTA UBICACIÓN DE LOS PANELES. (AUTOR)	112
FIG. 57 VACIADO DE CONCRETO EN LA CAVIDAD DE INCRUSTACIÓN DE LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	113
FIG. 58 CONEXIÓN DE LAS BATERÍAS (SERIE-PARALELO). (AUTOR)	113
FIG. 59 CONEXIONANDO LAS BATERÍAS CON EL INVERSOR. (AUTOR)	114
FIG. 60 CONEXIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PANEL DEMANDA CON LOS PANELES SOLARES. (AUTOR)	115
FIG. 60 ZANJA PARA PUESTA A TIERRA CON SU ELECTRODO INCRUSTADO. (AUTOR).....	116
FIG. 62 ELABORACIÓN DE ZANJA PARA EL SPT DEL TABLERO DE MANDO Y EL IMPULSOR. (AUTOR)	116
FIG. 63 DISTRIBUCIÓN DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL LUGAR. (AUTOR).....	117

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

FIG. 64 CONTROLADOR SOLAR CON LA CARGA DE LOS PANELES SOLARES EN BUEN FUNCIONAMIENTO. (AUTOR)	118
FIG. 65 INVERSOR EN BUEN FUNCIONAMIENTO, ARROJANDO 117 VAC. (AUTOR)	118
FIG. 66 ILUMINACIÓN CON EL SISTEMA FUNCIONANDO CORRECTAMENTE. (AUTOR)	119
FIG. 67 PLANO DEL ÁREA DE TRABAJO. (AUTOR)	131
FIG. 68 PLANO UBICACIÓN DE LOS PANELES SOLARES Y EL PANEL DE MANDO. (AUTOR)	131
FIG. 69 CAD DEL ÁREA DE TRABAJO. (AUTOR)	132
FIG. 70 TUBO COLUMNA. (AUTOR)	133
FIG. 71 CABEZOTE GRADUAL (CANISTER). (AUTOR)	133
FIG. 72 DISEÑO ÁNGULOS GALVANIZADOS. (AUTOR)	134
FIG. 73 ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	134
FIG. 74 APLICACIÓN DE PINTURA ANTICORROSIVA A LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	135
FIG.75 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS SOLARES. [26]	137
FIG.76 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR)	138
FIG. 77 I-V Y P-V. (AUTOR)	138
FIG.78 ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN MÓDULOS SOLARES. (AUTOR)	139
FIG. 79 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR)	139
FIG. 80 RESPUESTA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR)	140
FIG. 81 PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO. (AUTOR)	141
FIG. 82 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PSIM. (AUTOR)	141
FIG. 83 PLANO DE DISTRIBUCIÓN DEL CABLEADO ELÉCTRICO. (AUTOR)	143
FIG. 84 A). APERTURA DE LA ZANJA DEL TUBO COLUMNA (CIRCULO AZUL). B). LA ZANJA DEL SPT (CIRCULO NARANJA). (AUTOR)	147
FIG. 85 ENSAMBLE DE LOS PANELES CON LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	147

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

FIG. 86 CONEXIONES ELÉCTRICAS DE LOS PANELES SOLARES (PARALELO). (AUTOR)	148
FIG. 87 ENSAMBLE TOTAL DE LOS PANELES SOLARES EN LA ESTRUCTURA. (AUTOR).....	148
FIG. 88 LEVANTAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO. (AUTOR)	149
FIG. 89 SISTEMA FOTOVOLTAICO TOTALMENTE PERPENDICULAR A LA SUPERFICIE. (AUTOR)	149
FIG. 90 SISTEMA DE PANELES CON UBICACIÓN HACIA EL SUR. (AUTOR)	150
FIG. 91 APLICACIÓN DE CONCRETO EN LA BASE DEL TUBO COLUMNA. (AUTOR).....	150
FIG. 92 CONEXIÓN DEL TABLERO DE MANDO, PANELES SOLARES, CONTROLADOR DE CARGA, INVERSOR Y BREAKER. (AUTOR)	151
FIG. 93 VERIFICACIÓN DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR LOS PANELES HACIA EL CONTROLADOR DE CARGA SOLAR. (AUTOR)	152
FIG. 94 VOLTAJE DE SALIDA CORRECTO POR PARTE DEL INVERSOR. (AUTOR).....	153
FIG. 95 SISTEMA FOTOVOLTAICO FUNCIONANDO CON LAS CARGAS ELÉCTRICAS DEL LUGAR. (AUTOR).....	154
FIG. 96 RECORRIDO EN EL ÁREA DE INSTALACIÓN. (AUTOR)	156
FIG. 97 ÁREAS DESPEJADAS EN ZONA DE INSTALACIÓN. (AUTOR)	156
FIG. 98 PLANO DEL POZO. (AUTOR).....	163
FIG. 100 TUBO COLUMNA. (AUTOR).....	164
FIG. 101 ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	165
FIG. 102 ESTRUCTURA PINTADA CON ANTICORROSIVO. (AUTOR).....	166
FIG. 103 PARALES DE SUJECCIÓN. (AUTOR).....	166
FIG. 104 ENSAMBLE DE LA ESTRUCTURA BASE SIN LOS PANELES. (AUTOR).....	167
FIG. 105 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MÓDULOS SOLARES. [24]	168
FIG. 106 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR).....	169
FIG. 107 I-V Y P-V. (AUTOR).....	170
FIG. 108 ESQUEMÁTICO DE CONEXIÓN (SERIE) MÓDULOS SOLARES. (AUTOR).....	170

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

FIG. 109 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR)	171
FIG. 110 RESPUESTA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS SOLARES. (AUTOR)	171
FIG. 111 PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO. (AUTOR)	172
FIG. 112 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PSIM. (AUTOR)	172
FIG. 113 PLANO DE DISTRIBUCIÓN DEL CABLEADO ELÉCTRICO. (AUTOR)	174
FIG. 114 POSICIONAMIENTO DEL PANEL DE MANDO CON SUS ACCESORIOS ELÉCTRICOS. (AUTOR)	177
FIG. 115 POSICIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA BASE DE LOS PANELES. (AUTOR)	177
FIG. 116 CAVIDAD PARA INCRUSTAR LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	178
FIG. 117 ENSAMBLE DE LOS PANELES A LA ESTRUCTURA. (AUTOR)	179
FIG. 118 CONEXIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PANEL DEMANDA CON LOS PANELES SOLARES. (AUTOR)	180
FIG. 119 ZANJA PARA PUESTA A TIERRA CON SU ELECTRODO INCRUSTADO. (AUTOR)	180
FIG. 120 DISTRIBUCIÓN DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL LUGAR. (AUTOR)	181
FIG. 121 MEDICIÓN DEL VOLTAJE AL VARIADOR. (AUTOR)	182
FIG. 122 EXTRACCIÓN DE AGUA. (AUTOR)	182

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia hay zonas rurales sin acceso a fluido eléctrico, esto a causa de varias razones tanto empresarial como geográfica. En el siguiente proyecto se documenta detalladamente el diseño y ejecución de sistemas fotovoltaicos en áreas rurales del sur del departamento de Bolívar-Colombia. En estas zonas rurales el privilegio de tener energía eléctrica es muy poco probable y si la obtienen es muy deficiente, por lo que los habitantes de estas zonas recurren a los sistemas fotovoltaicos. El Sistema fotovoltaico tiene la capacidad de entregar energía eléctrica a base de radiación solar, haciendo un aprovechamiento de una fuente natural sin la contaminación de la madre naturaleza. Esta tecnología ha revolucionado el mundo, está compuesta por diversos componentes electrónicos que son

- Panel solar
- Regulador de carga solar
- Inversor DC/AC
- Acumulador de carga (baterías)

Además de otros accesorios que hacen que el sistema sea más robusto y duradero como, la estructura, conectores, cableado, sistemas puesta a tierra y demás elementos que más adelante están detallados. Para que un sistema fotovoltaico tenga un óptimo rendimiento tiene que haber un correcto dimensionamiento, es aquí donde se calcula la cantidad de paneles, baterías, selección de dispositivos eléctricos dependiendo de la posición geográfica del lugar. Una ventaja importante que hace que estos sistemas sean mucho más confiables es la ubicación de estas zonas rurales, ya que se encuentran ubicadas en la Costa Caribe Colombiana donde la radiación solar está entre las más altas.

Según un estudio realizado por la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) el promedio de horas pico en promedio anual que tiene esta parte del departamento de Bolívar es de 5.0 a 6.0 horas, las horas pico indican el tiempo en el que el sistema fotovoltaico absorbe la máxima

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

radiación solar. Este tiempo es fundamental para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, ya que entre más alto es el valor de las horas pico, menos paneles y acumuladores de cargas se necesitan, economizando los recursos monetarios. Cabe resaltar que la mayoría que desean implementar este tipo de sistemas van dirigidas a parcelas o fincas, donde se hace necesario el riego de cultivos, extracción de agua para el consumo humano mediante bombas sumergidas y externas, energía doméstica etc.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

1.1. JUSTIFICACIÓN

En las zonas rurales del sur del departamento de Bolívar y sus alrededores, tienen un grave inconveniente con el fluido eléctrico, ya que dicha energía eléctrica no es constante o es nula. En la actualidad esas zonas todavía han estado abandonadas por el sector público, en los 46 municipios del departamento hay 27 mil kilómetros de redes que no alcanzan a cubrir el 85% de los centros poblados y rurales. Con base a la problemática, se realizaron instalaciones de sistema fotovoltaicos siempre y cuando los habitantes de estas zonas lo requieran, ya que los recursos económicos para su instalación y compra de materiales provienen de los bolsillos del solicitante de estas zonas afectadas. Sin embargo, hay una Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), la cual da un beneficio económico a personas con sistemas de energía renovables por concientización y colaboración con el medio ambiente, dicho beneficio se basa en un subsidio del 35% del valor total del proyecto energético. Estos sistemas proporcionan energía limpia a base de la radiación solar, ya que estos paneles convierten dicha radiación en energía eléctrica sin contaminar el medio ambiente, proporcionando un rendimiento óptimo y reduciendo costos económicos, a comparación de los altos costos que exigen las empresas generadoras de energía convencionales. Este sistema fotovoltaico está diseñado para uso tanto domiciliario como en la agricultura, ya que el 75% de los habitantes de estas zonas rurales ejercen diversas actividades de campo.

Cabe resaltar que la garantía de este sistema fotovoltaico varía de acuerdo a sus componentes principales; los paneles solares tienen una garantía de 25 años, las baterías, inversor y controlador de carga solar tienen una durabilidad de 12 años en promedio, por lo cual da una mayor viabilidad para estas zonas afectadas por el postconflicto, y recuperando la inversión del sistema energético en poco tiempo, ya que la diferencia entre costos de una red eléctrica convencional y energía por sistema fotovoltaico es muy considerable. Si bien, se hace la comparación en costos de consumo de energía eléctrica proveniente de una empresa y un sistema fotovoltaico, es claro afirmar que la disminución en costos se añade a la energía proveniente de paneles solares. Estos sistemas son más utilizados para el sistema de riegos (posos hídricos) de

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

cultivos, aumentando la producción de las cosechas en un 95% sin necesidad de depender de los cambios climáticos.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

- Instalar sistemas fotovoltaicos para zonas rurales en el sur de Bolívar – Colombia, con la empresa ASOTEMS.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar una inspección planeada en la zona de la futura instalación.
- Calcular el consumo energético requerido, para una correcta Selección de materiales.
- Diseñar el esquema de conexión y posicionamiento de los equipos.
- Ejecutar la instalación de los sistemas fotovoltaicos con su respectiva protección eléctrica.
- Validar el buen funcionamiento del sistema con pruebas de medición energética.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Radiación Solar

Después de atravesar la atmosfera, la radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra tiene una densidad de flujo máxima de alrededor de 1 kW m⁻². Esto supone que, en áreas habitadas, los flujos de energía procedentes del Sol varíen entre 3 y 30 MJ m⁻² dia⁻¹ según el punto geográfico y las condiciones meteorológicas que se consideren. Los fotones que componen este flujo tienen longitudes de onda que varían entre 0,3 y 2,5 μm . De ellos pertenecen a la región ultravioleta todos los fotones en que $\lambda < 0,4 \mu\text{m}$ (alrededor del 9% de la irradiancia total). En el intervalo $0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$, se encuentran los fotones componentes del espectro visible, que forman el 15% de la irradiancia total. Finalmente, los fotones de longitud de onda $\lambda > 0,7 \mu\text{m}$, que forman el 16% de la irradiancia total, pertenecen al infrarrojo. Las tres regiones, en conjunto, son consideradas como radiación de onda corta. [1]

La Tierra alcanza un equilibrio térmico debido a que recibe energía al espacio a un ritmo medio de 1 kW m⁻². Esta energía es reemitida en forma de fotones de baja energía, cuya longitud de onda está comprendida entre 5 y 25 μm (un espectro que muestra un máximo en alrededor de 10 μm), que forman lo que se denomina radiación de onda larga. [1]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

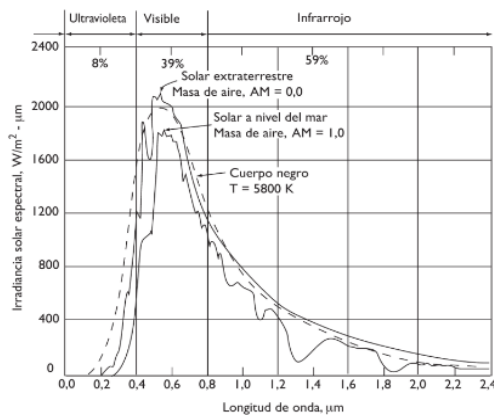


Fig. 1. *Distribuciones espectrales de potencia de la radiación solar. [1]*

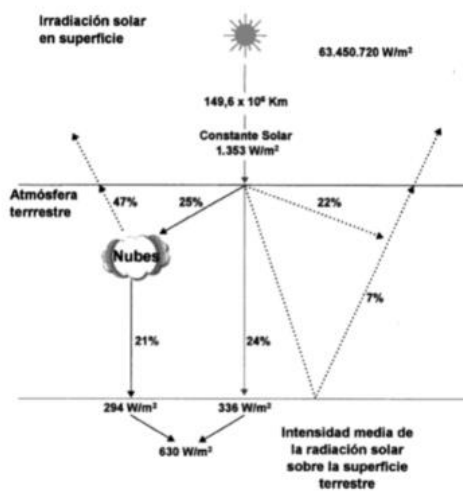


Fig. 2 *Cantidad de radiación en la tierra. [2]*

A la tierra solo llega 1/3 de la energía captada por la atmosfera y de toda esa energía el 70% la consume el mar, aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial. [2]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.1.1. Movimiento del Sol

El sol dibuja trayectorias diferentes según la estación del año, en invierno sube poco y en verano mucho, lo que hace que las sombras cambien en cada estación del año. Para conocer la trayectoria del sol se utilizará un sistema de coordenadas con 2 ángulos, que permite saber en cada momento donde se encuentra. [2]

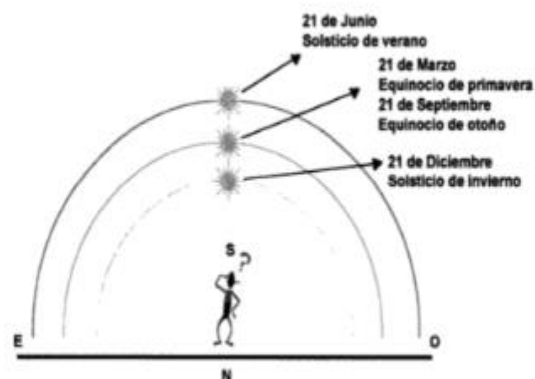


Fig. 3 Trayectoria del Sol. [2]

2.1.1.2. Características eléctricas de células y módulos fotovoltaicos

Las características eléctricas de una célula fotovoltaica quedan definidas por medio del circuito equivalente que aparece en la siguiente figura. [1]

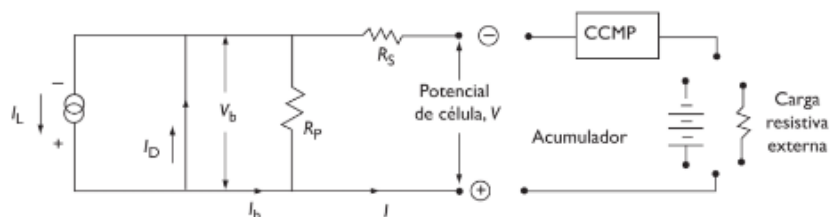


Fig. 4. Circuito equivalente de una célula fotovoltaica. [1]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Este circuito equivalente deja claro que, para alcanzar eficiencias elevadas en la transformación de energía luminosa en energía eléctrica, se debe alcanzar un valor máximo, para lo cual tiene que haber pérdidas de fotones mínimas, absorción de la luz en las proximidades de la capa de empobrecimiento, baja reflectancia superficial, área de contacto entre la superficie del semiconductor y el contacto óhmico pequeña, una concentración elevada de dopante y pocos centros de recombinación Así:

- I_d tiene que tener un valor mínimo (por medio de una concentración elevada de dopante, por ejemplo).
- La resistencia en paralelo, R_p , tiene que ser elevada.
- La resistencia en serie, R_s , tiene que ser pequeña, lo que se logra con contactos de resistencia baja y trayectorias cortas para las corrientes superficiales.
- Tiene que existir un acoplamiento óptimo entre la resistencia que opone a la corriente la carga externa y la resistencia interna de la célula ($R_{carga} = R_{interna} = V/I$).

Una célula fotovoltaica típica de si puede tener una forma cuadrada de 10 cm x 10 cm y producir un voltaje de célula $V=0,5$ V y generar una corriente proporcional a la intensidad de la luz solar, de hasta un máximo de 2,5 a 3 amperios. Las células solares suelen estar conectadas entre sí formando conjuntos de módulos un dos entre sí en paralelo. A su vez, cada módulo está formado por la conexión de varias células en serie, mientras que cada célula está formada por un conjunto de elementos superficiales conectados en paralelo, como puede verse en la siguiente Fig. (5). [1]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

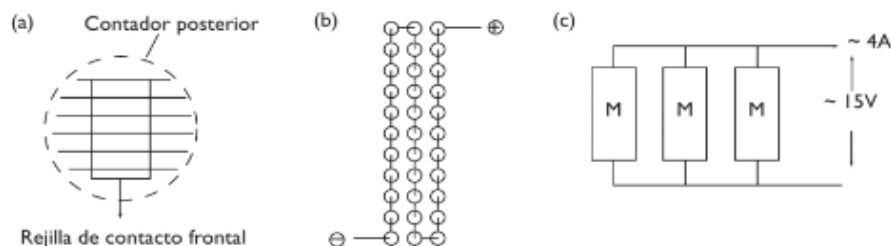


Fig. 5. Conexiones típicas en células fotovoltaicas de silicio comerciales. (a) conexiones en paralelo en una célula individual. (b) conexiones en 33 células en serie. (c) conexión en paralelo de varios módulos. [1]

Si el dispositivo estuviese iluminado de forma no uniforme, debido a la formación de sombras o una concentración desigual del haz luminoso, pueden producirse averías en una célula individual o en un módulo, lo que puede causar problemas. Las células o los módulos pueden hacerse operar en conexión diodo directa o inversa, lo que puede dar lugar a sobrecalentamientos. Para evitar que esto desencadene una serie de fallos, se conecta un conjunto de diodos de protección en paralelo con cada célula unida en serie a otras. De este modo pueden alcanzarse tiempos de vida de los dispositivos fotovoltaicos del orden de 20 años. [1]

2.1.2. Descripción de Sistemas Fotovoltaicos

Es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que se fusionan para captar la energía radiante del sol y transformada en energía eléctrica. Estos sistemas independiente de su utilización se pueden clasificar de la siguiente manera: [2]

- Aislados
- Conectados a la red
- Híbridos

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Los siguientes componentes componen el sistema fotovoltaico: [2]

- **Generador fotovoltaico:** Encargado de captar y convertir la radiación solar en energía eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.[2]
- **Regulador de Carga:** Encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobre tensiones que puedan dañarla.[2]
- **Baterías o Acumuladores:** Almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en periodos donde la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.[2]
- **Inversor:** Encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna.[2]
- **Elementos de Protección del Circuito:** Como interruptores de desconexión, diodos de bloqueo etc. [2]



Fig. 6 Estructura de un sistema fotovoltaico. [2]

2.1.2.1. Panel solar

Un panel solar es una estructura de aluminio formada por células solares compuestas de silicio en las cuales, mediante el efecto fotovoltaico, se convierte la radiación recibida del sol en energía eléctrica. El efecto fotovoltaico se produce cuando incide la radiación solar sobre un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

normal asociada a un átomo, para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico. De esta forma se consigue la corriente eléctrica que hace funcionar el mundo.[4]

Cuando el panel recibe radiación, un hilo conductor integrado en el panel permite el flujo de electrones entre el material tipo N y el material tipo P, produciendo así una corriente directa. Uno de los materiales más utilizados para la fabricación de los paneles es el silicio, el cual es dopado en positivo y negativo con boro y otros materiales para hacer más grande su flujo de electrones, en la actualidad lo hace un material semiconductor. Al dopar el panel con elementos como el fósforo o el boro, se crea un material positivo tipo P, en el cual quedan electrones libres y un material negativo tipo N en el cual quedan huecos libres. [3]

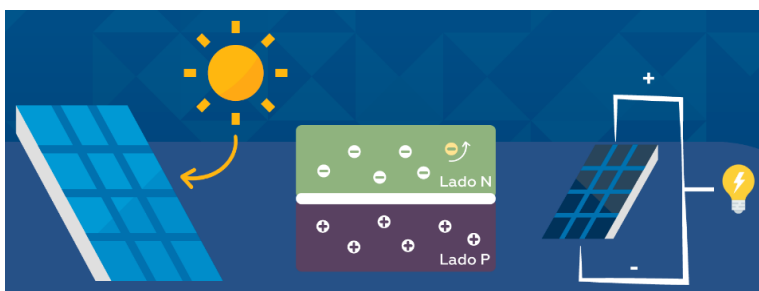


Fig. 7. *Funcionamiento de un panel solar.*[3]

2.1.3. Sombreado Parcial En Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos experimentan una sombra parcial a través de varias fuentes, como árboles, edificios cercanos, y otros paneles. Sin embargo, los cielos cubiertos y nublados son una de las principales razones para causar Sombreado parcial e inconsistencia en la potencia de salida de los campos fotovoltaicos. En el método propuesto, Desarrollar un algoritmo de predicción del movimiento de la nube para contrarrestar los efectos del sombreado parcial del panel en la salida fotovoltaica que causa fluctuaciones masivas en la salida de potencia fotovoltaica. Este método sirve como una prueba de concepto para ser utilizada en aplicaciones solares. [5]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 8 *Sombreado por edificios a paneles solares. [5]*

El bloqueo parcial o total de la luz solar de un módulo fotovoltaico se conoce como sombreado. Cuando una celda fotovoltaica sombreada se conecta a un celdas en una configuración serie-paralelo, el ISC de corriente máxima de la celda sombreada es significativamente menor que el IMP actual óptimo de las celdas no sombreadas. Dado que cada celda de la cadena debe conducir la misma corriente, toda la cadena está obligada a operar a la corriente de cortocircuito del celda sombreada, restringiendo severamente la corriente y por lo tanto la energía producida a partir del resto celdas sin sombrear. Un efecto similar ocurre a nivel de módulo. [5]

2.1.4. **Sistemas de Conversión de Energía Fotovoltaica**

Los sistemas de conversión de energía fotovoltaica se estructuran en dos grupos según su carga. La carga de los sistemas que convierten la energía fotovoltaica puede ser una conexión a la red o una carga local (lineal o no lineal). Estos sistemas pueden clasificarse aún más en función de la disponibilidad de sistemas de almacenamiento de energía que juega un papel vital debido a la discontinuidad de la irradiancia solar. El almacenamiento de energía se puede realizar utilizando diferentes tecnologías como batería, volante y supercondensadores. Supercondensadores y los

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

volantes se pueden utilizar para cumplir con los requisitos de almacenamiento de energía a corto plazo debido a su alta potencia. La densidad y las baterías se pueden incorporar en sistemas que necesitan requisitos de almacenamiento de energía a largo plazo debido a su alta densidad de energía. Por lo tanto, las baterías juegan un papel importante en la red aislada de sistemas. [6]

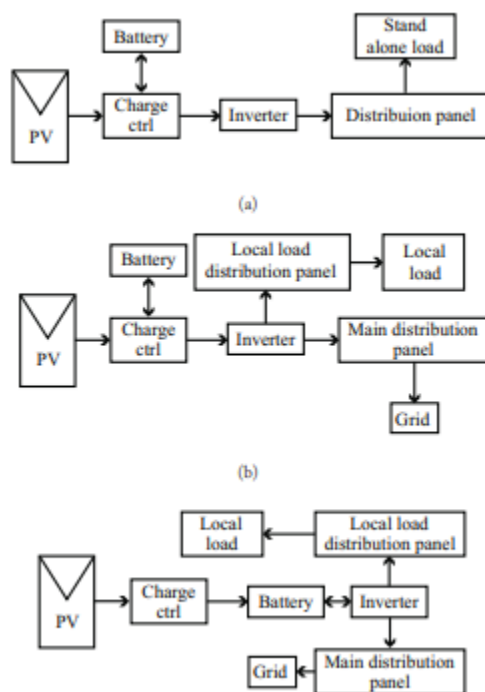


Fig. 9 Configuraciones de los sistemas de conversión de energía fotovoltaica con almacenamiento de energía y (a) aislados en la red, (b) interconectados con la red. [6]

La figura (9), muestra la configuración básica de un sistema de conversión de energía fotovoltaica aislado de la red con acumulador de energía. El controlador de carga del sistema gestiona la energía generada por el campo fotovoltaico basado en la demanda de energía de la

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

carga local y la carga de la batería. Figura (9) y (9b) muestra dos configuraciones diferentes de sistemas fotovoltaicos conectados a la red con almacenamiento de energía. [6]

2.1.5. Integración a la Red de Sistemas Fotovoltaico

Es necesario convertir la energía fotovoltaica generada en una forma apropiada para las redes eléctricas o para uso del consumidor con el propósito de consumirlo de manera adecuada. Tal conversión se lleva a cabo por varios tipos de convertidores electrónicos de potencia y entre ellos están DC / AC, DC / DC, AC / DC y convertidores de tipo AC / AC. Configuraciones típicas de convertidores de potencia para la integración de la red fotovoltaica los módulos se muestran en la Fig. 7. [6]

Los inversores centralizados que se muestran en la Fig. 7(a) se utilizan generalmente en potencias fotovoltaicas más alta sistemas de energía que son económicos y eficientes pero que sufren de baja confiabilidad ya que hay un solo inversor de conexión a red para un gran número de módulos fotovoltaicos. Si este inversor falla, todo el sistema se desconectará de la red. Además, no podrían llevar a cabo seguimiento del punto de máxima potencia a nivel modular, por lo tanto, generación optimizada de energía fotovoltaica no sería posible particularmente cuando algunos módulos en la matriz están sombreados o defectuosos. Sobre el por otro lado, los sistemas modularizados mostrados en las Fig. 7(b) y 7(c) actuarían de manera óptima en términos del punto de máxima potencia (MPPT) a nivel modular, aunque pueden ser algo caro y con pérdidas. Además, las estructuras modulares tienden a aumentar la fiabilidad del sistema ya que un convertidor o módulo fotovoltaico defectuoso puede desconectarse del sistema mientras que los demás pueden continuar operando. [6]

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

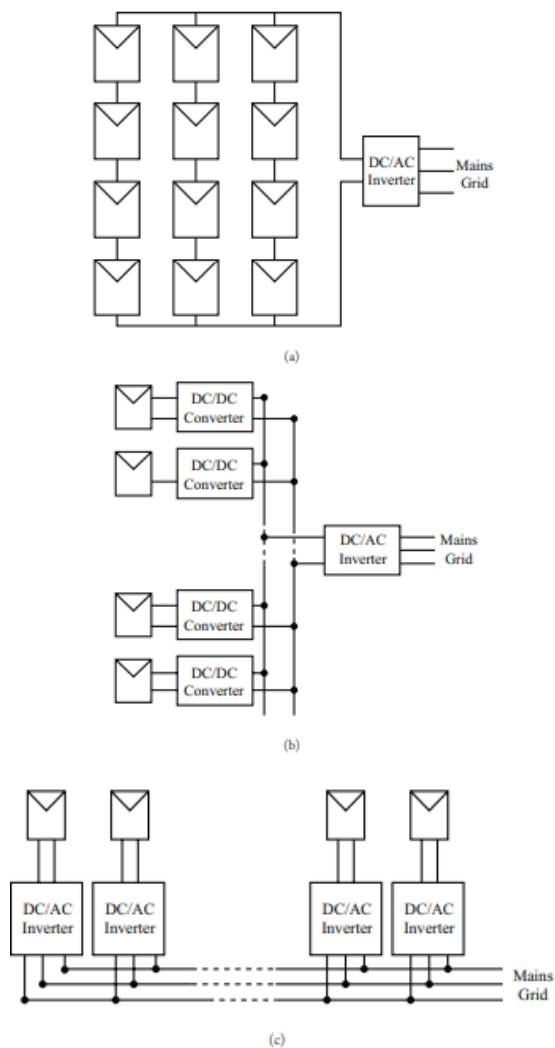


Fig. 10 Configuraciones de integración de red de módulos fotovoltaicos utilizando (a) inversores centralizados y (b) sistema modularizado con convertidores DC-DC. Configuraciones de integración de red de módulos fotovoltaicos utilizando (c) sistema modular con inversores CC-CA. [6]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.6. Puesta a Tierra

Toda instalación eléctrica que le aplique el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) o conocido comúnmente como polo a tierra, tiene que disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), Los SPT permiten proteger la integridad de las personas evitando que reciban descargas eléctricas o fugas de electricidad, cuidar los aparatos eléctricos y la compatibilidad electromagnética. [7]

2.1.6.1. Funciones de un polo a tierra

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostática y de rayo.
- Transmitir señales de RF en onda media y larga.

Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos. Las carcasas de los aparatos eléctricos están conectado a la tercera espiga de los enchufes, la cual permite realizar las descargas al sistema de polo a tierra el cual pasa por un cable con cubierta verde (Cumpliendo con la norma RETIE). El sistema de puesta a tierra se conecta a los toma corrientes, las cajas de los sockets y de los interruptores de luz. Estas descargas son enviadas al tablero de distribución donde se encuentra con los breakeres eléctricos y sigue hacia la varilla de cobre u otro material, que se encuentran enterrados en tierra. Los aparatos eléctricos modernos vienen provistos de un sistema de fuga a tierra, el cual permite utilizar este cable de tierra para realizar estas descargas. [7]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.6.2.Componentes de un polo a tierra

- Electrodo, una varilla de cobre u otro material conductor, es un elemento aterrizado a tierra, es un elemento conductor que permite realizar las descargas de redes de baja tensión o alta tensión. Esta varilla se encuentra enterrada a una profundidad de 2,50 más y la cual no debe sobrepasar 25 ohmio. El diseño de la varilla puede varias según el terreno o utilizar una placa metálica que cumpla con las especificaciones. Mas adelante observaremos los diferentes diseños.[7]
- Cable el cual debe tener una cubierta verde para cumplir las normas y desde la caja de distribución hasta el electrodo puede no llevar cubierta.[7]
- Los conectores, con el cual se aseguran el cable a la varilla de cobre y en la caja de distribución. [7]
- Platinas de acuerdo al sistema de puesta a tierra, teniendo en cuenta las instalaciones y equipos que se conectaran a la red eléctrica.[7]

2.1.6.3.Procesos de instalación

- Un ingeniero eléctrico o tecnólogo eléctrico debe ser el encargado de realizar la instalación de la puesta a tierra.[7]
- Se debe realizar un hueco suficientemente amplio para sacar la tierra y verificar que no haya piedras demás de 2 cm, en caso de que se encuentre este tipo de terreno se podrá cernir la tierra, para preparar la instalación.[7]
- Este sistema debe tener una resistencia no mayor a 25 ohmios.
- Se debe realizar un mantenimiento periódico por estar en la intemperie y expuestos a la corrosión.[7]

2.1.6.4.Valores de referencia de resistencia

Un buen diseño de puesta a tierra debe garantizar el control de las tensiones de paso, de contacto y transferidas. Los valores que deben tomarse como referencia como valores máximos, adoptados de las normas técnicas IEC 60364-4-442, ANSI/IEEE 80, NTC 2050 y NTC 4552. El

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

cumplimiento de estos valores, no exonera al diseñador y constructor de garantizar que las tensiones de paso, contacto y transferidas aplicadas al ser humano en caso de una falla a tierra, pero cumpliendo estas normas podemos tener un sistema eléctrico más seguro. [7]

Aplicación	Valores Máximos
Estructuras y torrecillas de líneas o redes con cable de guarda.	20 Ω
Subestaciones de alta y extra alta tensión.	1 Ω
Subestaciones de media tensión.	10 Ω
Protección contra rayos.	10 Ω
Punto neutro de acometida en baja tensión.	25 Ω
Redes para equipos electrónicos o sensibles	10 Ω

Tabla 1. *Tabla de resistencia máxima polo a tierra (Tabla con normativa RETIE).* [7]

2.1.6.5. Diseño del sistema de puesta a tierra NORMA RETIE y NTC 2050.

El diseñador de sistemas de puesta a tierra para centrales de generación, líneas de transmisión de alta y extra alta tensión y subestaciones, deberá comprobar mediante el empleo de un procedimiento de cálculo, reconocido por la práctica de la ingeniería actual, que los valores máximos de las tensiones de paso y de contacto a que puedan estar sometidos los seres humanos, no superen los umbrales de soportabilidad. Para efectos del diseño de una puesta a tierra de subestaciones se deben calcular las tensiones máximas admisibles de paso, de contacto y transferidas, las cuales deben tomar como base una resistencia del cuerpo de 1000 Ω y cada pie como una placa de 200 cm² aplicando una fuerza de 250N. El procedimiento básico sugerido es el siguiente: [8]

- a) Investigar las características del suelo, especialmente la resistividad.
- b) Determinar la corriente máxima de falla a tierra, que debe ser entregada por el Operador de

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Red en media y alta tensión para cada caso particular.

- c) Determinar el tiempo máximo de despeje de la falla para efectos de simulación.
- d) Investigar del tipo de carga.
- e) Calcular preliminar de la resistencia de puesta a tierra.
- f) Calcular de las tensiones de paso, contacto y transferidas en la instalación.
- g) Evaluar el valor de las tensiones de paso, contacto y transferidas calculadas con respecto a la soportabilidad del ser humano.
- h) Investigar las posibles tensiones transferidas al exterior, debidas a tuberías, mallas, conductores de neutro, blindaje de cables, circuitos de señalización, además del estudio de las formas de mitigación.
- i) Ajustar y corregir el diseño inicial hasta que se cumpla los requerimientos de seguridad. j) Presentar un diseño definitivo.

En instalaciones de uso final con subestación tipo poste el diseño de la puesta a tierra puede simplificarse, pero deben tenerse en cuenta los parámetros de resistividad del terreno, corrientes de falla que se puedan presentar y los tipos de cargas a instalar. En todo caso se deben controlar las tensiones de paso y contacto. [8]

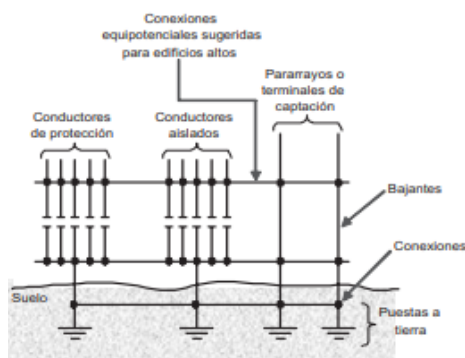


Fig. 11 Puesta a Tierra interconectadas. [8]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.7. Inversor DC a AC

Un inversor es un dispositivo electrónico capaz de transformar una corriente continua (DC) en una corriente alterna (AC) a un voltaje y frecuencia determinados. Por ejemplo, si tenemos que alimentar un electrodoméstico que funciona en corriente alterna 230V (frecuencia 50Hz) pero no tenemos a disposición la corriente alterna de red, gracias al inversor, igualmente podemos alimentarlo, utilizando una fuente de corriente continua, como una batería de 12V (DC) Por lo tanto, es indispensable usarlo para alimentar a través de corriente continua, los dispositivos eléctricos que funcionan en corriente alterna. Los inversores se utilizan en sistemas fotovoltaicos aislados (autónomos) para alimentar dispositivos eléctricos de casas aisladas, refugios de montaña, casas rodantes y barcos, y también se utilizan en sistemas fotovoltaicos conectados a la red para introducir la corriente producida por la planta directamente en la red eléctrica de distribución. [9]



Fig. 12 Inversor DC a AC. [9]

Para obtener una corriente alterna sinusoidal a la salida de nuestro transformador, debemos aplicar una corriente sinusoidal en la entrada. Para producir una onda sinusoidal a la entrada de la bobina primaria, necesitamos un oscilador. Uno de los osciladores más simples que podemos hacer es definitivamente el de Puente de Wien con transistores FET. La salida tiene un rendimiento estable gracias a la retroalimentación. En la mayoría de los circuitos oscilantes la corriente de salida será de baja intensidad o, en cualquier caso, no será suficiente para impulsar

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

la bobina principal. Por lo tanto, esta corriente tendrá que ser amplificada, por lo que será más o menos equivalente a un potente amplificador de audio para producir una alta corriente para la bobina primaria del transformador. El transformador, aunque es muy útil, no hace nada por nada. A medida que aumenta la tensión, la corriente se reduce, y la potencia (voltaje x corriente) permanece igual (descuidando las pérdidas internas del transformador) En otras palabras, para obtener en la salida Kw en corriente alterna, necesitamos suministrar en la entrada Kw en corriente continua. [9]

Los mejores y más caros inversores son gestionados por un microcontrolador y basan su funcionamiento en la modulación por ancho de pulso (PWM) El sistema puede retroalimentarse para proporcionar una tensión de salida estable ante las variaciones de la tensión de entrada. Para ambos tipos de modulación, la calidad de la señal está determinada por la cantidad de bits empleados. Va desde un mínimo de 3 bits hasta un máximo de 12 bits, capaz de describir la sinusoide con una excelente aproximación. [9]

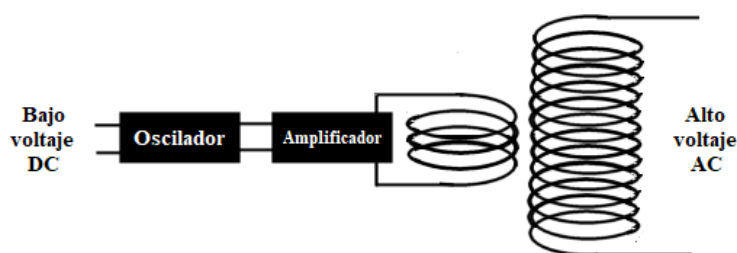


Fig. 13 Esquema del inversor sinusoidal. [9]

2.1.8. Regulador de Carga Solar

En toda instalación fotovoltaica aislada existen dos tipos de reguladores de carga solares: los reguladores PWM y los reguladores MPPT. Ambos se encargan de lo mismo, controlar el flujo de energía entre el campo fotovoltaico y las baterías, pero difieren en la tensión de

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

funcionamiento y por tanto en las aplicaciones en las que deben ser usados, como veremos más adelante. [10]

2.1.8.1.¿Cómo funciona un regulador PWM?

Un regulador PWM (Modulación por anchura de pulsos) sólo dispone en su interior de un Diodo, por tanto los paneles solares funcionan a la misma tensión que las baterías solares. La energía a un lado y al otro del regulador es la misma, con los valores de tensión y corriente iguales también. Esto hace que los módulos no trabajen en su punto de máxima potencia, sino en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo una pérdida de potencia, que puede llegar hasta el 25-30%. [10]

El regulador PWM es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual, a pulsos de tensión, en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería. Así, la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable. [10]

2.1.8.2.¿Cómo funciona un regulador MPPT?

Un regulador MPPT dispone, además del diodo de protección, de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia. Esto le permite dos cosas: [10]

- El convertidor de tensión CC-CC (de alta tensión en el campo fotovoltaico a baja tensión en las baterías) permite trabajar a tensiones diferentes en el campo fotovoltaico y en las baterías.
- El seguidor del punto de máxima potencia (MPPT por sus siglas en inglés) adapta la tensión de funcionamiento en el campo fotovoltaico a la que proporcione la máxima potencia.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Por tanto, en un regulador MPPT la energía que entra y sale del regulador es la misma, al igual que en los reguladores PWM, pero la tensión y la corriente son diferentes a un lado y a otro. Con ello se consigue aumentar la tensión del panel solar y aumentar la producción solar en hasta un 30% respecto a los reguladores solares PWM, aunque también son más caros los reguladores solares MPPT. [10]

Al poder trabajar a tensiones más elevadas en el campo fotovoltaico, se reducen las pérdidas energéticas ocasionadas con bajas tensiones (como las pérdidas son proporcionales a la corriente, a menor corriente, menores pérdidas), haciendo que los reguladores MPPT sean especialmente indicados para potencias fotovoltaicas elevadas, dónde se busque generar el máximo de energía. [10]



Fig. 14 Esquema de funcionamiento de un regulador solar. [10]

2.1.9. Breaker Eléctrico

El breaker eléctrico es un dispositivo esencial en el mundo moderno, y uno de los mecanismos de seguridad más importantes en cualquier casa, edificio o industria. ¿Quieres saber cómo funciona un breaker eléctrico? Cuando un cableado eléctrico en un edificio tiene demasiada

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

corriente, estos simples elementos la cortan hasta que alguien solucione el problema. También llamado disyuntor, es un interruptor automático que corta el paso de la corriente eléctrica si se cumplen determinadas condiciones, tales como altibajos de tensión. [11]

Al contrario de los fusibles, que son de un solo uso, un disyuntor o breaker eléctrico se puede reconectar siempre que las causas que lo activaron, se hayan resuelto. A la hora de adquirir estos componentes tenemos que tener en cuenta ciertas características, como, por ejemplo: la tensión del trabajo, la intensidad nominal, el poder de corte, el poder de cierre, el número de polos. [11]



Fig. 15 Breaker. [11]

2.1.9.1. Características de los breakers eléctricos:

A la hora de adquirir uno de estos hemos de tener en cuenta algunas características: [11]

- Tensión de trabajo: Voltaje para el que están diseñado. Pueden ser monofásicos o trifásicos
- Intensidad nominal: Al igual que con la tensión, es el valor de la corriente de trabajo
- Poder de corte: La intensidad máxima que puede interrumpir
- Poder de cierre: Intensidad máxima que puede soportar sin sufrir daños
- Número de polos: La cantidad de conectores que podemos conectar al dispositivo

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.9.2. Localización de los Disyuntores:

Los diferentes tipos de disyuntores se instalan en el cuadro eléctrico. La configuración más habitual es tener el interruptor general e inmediatamente después el diferencial, del que “cuelgan” los termomagnéticos de cada uno de los circuitos de la instalación. El ICP (interruptor de control de potencia), si lo hay, se instala por encima de del interruptor general, pero con los contadores digitales este dispositivo ya no es necesario. Como vemos, los disyuntores son elementos básicos de seguridad en las instalaciones eléctricas y protegen a los aparatos eléctricos y las personas. [11]

2.1.10. Cables para instalaciones eléctricas

A través de los diferente tipos de cables eléctricos se transporta la corriente eléctrica desde la caja de servicio a los circuitos de la vivienda. Veremos cuáles son los mejores cables para instalaciones eléctricas domésticas. [12]

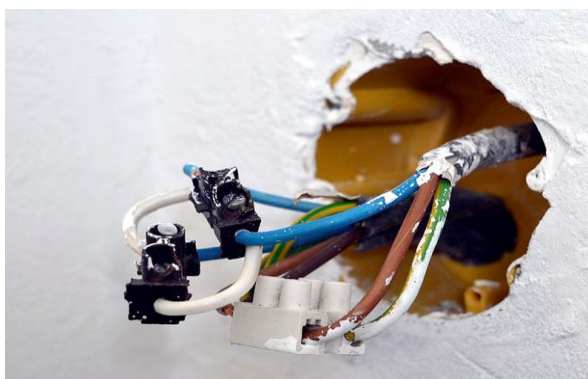


Fig. 16 Cables para instalaciones eléctricas. [12]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.10.1. Color de los cables eléctricos según Norma RETIE

Son cables diseñados bajo las normas internacionales UNE-EN 50525 e IEC 60227. Además, cumplen con el Reglamento Electrotécnico ITC-BT: 9/20/26/27/30/41 y con la Normativa Europea que se aplica a los cables eléctricos CPR (Construction Product Regulation). La gama de colores, según la sección del cable eléctrico, es la siguiente: blanco, marrón, rojo, amarillo-verde, gris y negro. [12]

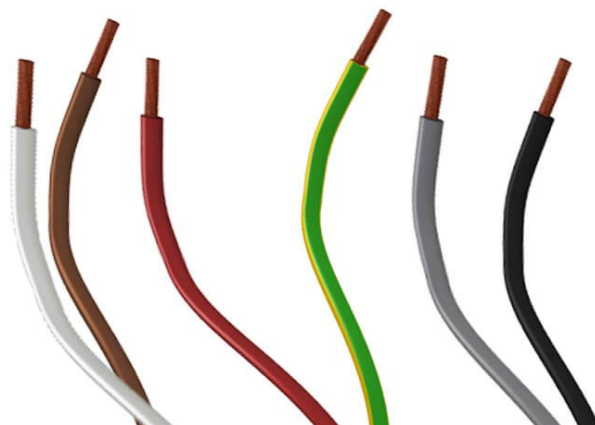


Fig. 17 Colores de cables eléctricos según la norma europea. [12]

2.1.10.2. Calibre de cables eléctricos para casa

2.1.10.2.1. Sección y funcionalidad del cableado:

La sección mínima de conductores aconsejada para cableado doméstico, en una instalación de dos conductores y toma de tierra con aislamiento de PVC bajo tubo empotrado es: [12]

- Diámetro: 1,5 mm²: iluminación y automatización.
- Diámetro: 2,5 mm²: tomas de uso en general, baño y cuarto de cocina.
- Diámetro: 4 mm²: lavadora, secadora, lavavajillas y termo eléctrico.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

- Diámetro: 6 mm²: cocina y horno, aire acondicionado y calefacción.

2.1.11. Diseño de las instalaciones eléctricas (NORMA RETIE y NTC2050).

Toda instalación eléctrica objeto del presente Reglamento que se construya a partir de la entrada en vigencia de este Anexo General deberá contar con un diseño, efectuado por el profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esa actividad. El diseño debe cubrir los aspectos que le apliquen, según el tipo de instalación y complejidad de la misma: [11]

- a) Análisis de carga
- b) Cálculo de transformadores.
- c) Análisis del nivel tensión requerido.
- d) Distancias de seguridad.
- e) Cálculos de regulación.
- f) Cálculos de pérdidas de energía.
- g) Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- h) Cálculo y coordinación de protecciones.
- i) Cálculo económico de conductores
- j) Cálculos de ductos, (tuberías, canalizaciones, canaletas, blindo barras).
- k) Cálculo del sistema de puestas a tierra.
- l) Análisis de protección contra rayos.
- m) Cálculo mecánico de estructuras.
- n) Análisis de coordinación de aislamiento.
- o) Análisis de riesgos eléctricos y medidas para mitigarlos.
- p) Cálculo de campos electromagnéticos en áreas o espacios cercanos a elementos con altas tensiones o altas corrientes donde desarrollen actividades rutinarias las personas.
- q) Cálculo de iluminación.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

- r) Especificaciones de construcción complementarias a los planos incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales.
- s) Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
- t) Diagramas unifilares.
- u) Planos eléctricos de construcción.
- v) Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación.

Los diseños de las instalaciones para uso final de la electricidad deberán cumplir los literales (a, b, d, e,f, g, h, j, k, q, r, s, t, u), la profundidad con que se traten los ítems dependerá del tipo de instalación. [11]

2.1.11.1.Productos usados en las instalaciones eléctricas (NORMA RETIE y NTC2050).

La selección de los materiales eléctricos y su instalación estará en función de la seguridad, su uso, empleo e influencia del entorno, por lo que se deberán tener en cuenta entre otros los siguientes criterios básicos: [11]

- a) Tensión: La nominal de la instalación.
- b) Corriente: Que trabaje con la corriente de operación normal.
- c) Frecuencia: Se debe tomar en cuenta la frecuencia de servicio cuando influya en las características de los materiales.
- d) Potencia: Que no supere la potencia de servicio.
- e) Corriente de cortocircuito: Los equipos deben soportar las corrientes de cortocircuito previstas
- f) Compatibilidad de materiales: No deben causar deterioro en otros materiales, en el medio ambiente ni en las instalaciones eléctricas adyacentes.
- g) Tensión de ensayo dieléctrico: Tensión asignada mayor o igual a las sobretensiones previstas.
- h) Otras características: Otros parámetros eléctricos o mecánicos que puedan influir en el

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

comportamiento del producto, tales como el factor de potencia, tipo de corriente, conductividad eléctrica y térmica etc.)

i) Características de los materiales en función de las influencias externas (medio ambiente, condiciones climáticas, corrosión, altitud, etc.)

j) Temperaturas normales y extremas de operación.

k) Exigencia de los certificados de conformidad para los productos que así lo contemplen.

2.1.12. ¿Qué es una batería solar?

Como sabes, aunque las placas solares sean las grandes protagonistas de tu sistema fotovoltaico, estas no son las únicas que cumplen funciones interesantes de cara a darte lo mejor de la energía solar. Las baterías solares son ese dispositivo que te permite almacenar la energía que producen las placas solares cuando hace sol con el fin de que puedas usarla en los momentos en los que no lo hay, como la noche o los días nublados. Este dispositivo también te permite hacer uso de una intensidad de corriente mayor que la que están proporcionando las placas solares en funcionamiento, algo especialmente interesante a la hora de utilizar diversos aparatos a la vez. [13]

2.1.12.1. En que consiste el funcionamiento de una batería solar

Las baterías solares se encargan de acumular energía eléctrica y proporcionártela cuando los paneles solares no están produciendo electricidad o la cantidad que necesitas. ¿Cómo lo hacen? En el momento en el que las placas solares producen una cantidad de energía mayor a la que consumes, esta se utiliza para cargar las baterías. Esto ocurre, por ejemplo, si hace sol y poco viento. [13]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.12.2. Que tipos de baterías solares existen

Podemos diferenciar diversos tipos de baterías. No todas presentan las mismas características y, dependiendo de tus necesidades y preferencias, te vendrán mejor unas u otras. Según el ciclo, diferenciamos dos tipos de baterías: [13]

- **Baterías de ciclo bajo:** se ocupan de proporcionar energía cuando hay una demanda alta. Así, hay suministro en todo momento, sin ningún tipo de interrupción. Si cuentas con este tipo de batería, es recomendable que no las dejes descargar de forma profunda, pues pueden desgastarse y deteriorarse, sobre todo si suelen bajar del 20 %. Debido a esta última característica, no suele ser el tipo de batería preferido para los sistemas solares fotovoltaicos.[13]
- **Baterías de ciclo profundo:** al contrario que las anteriores, estas baterías pueden descargarse repetitivamente hasta el 80 %. Suelen ser muy utilizadas, debido sobre todo a esta característica, pues permiten disfrutarlas sin preocupaciones por el desgaste, por lo que también suelen ser la opción más demandada para los sistemas de energía solar. [13]
- **Baterías de ácido-plomo:** estas son las más comunes en las instalaciones solares. Presentan una alta eficiencia, que oscila entre el 85 % y el 95 % y una excelente relación calidad-precio. Si cuentas con este tipo de batería, es importante que te acuerdes de cargarla por completo tras cada ciclo para evitar fallos, así como mantenerlas completamente descargadas durante días, pues pueden no funcionar de nuevo. [13]
- **Baterías líquidas:** en este caso, hablamos de baterías de forma sellada y de forma abierta. Las de forma sellada presentan válvulas que hacen posible el intercambio de líquidos y las de forma abierta, cuentan con unas tapas que permiten el cambio de agua. Su precio es asequible y son bastante resistentes a las sobrecargas. Claro que su vida útil no es muy larga y cuando trabajan a temperaturas muy bajas pueden llegar a estropearse. [13]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

- **Baterías Absortion Glass Mat (AGM):** la mayoría de estas baterías, en la que el ácido se fija en las fibras de vidrio para absorberlas, son de válvula regulada. Son las más modernas y caras de las que te presentamos en esta clasificación y tienen una vida útil larga, así como una gran resistencia a las temperaturas bajas. Se trata de baterías de ciclo profundo que apenas se auto descargan. [13]

2.1.13. Variador de Frecuencia

Los variadores o convertidores de frecuencia son sistemas que se encuentran entre la fuente de alimentación eléctrica y los motores eléctricos. Sirven para regular la velocidad de giro de los motores de corriente alterna (AC). [14]

Por sus siglas en inglés, solemos referirnos al variador de frecuencia como VFD, que viene de *variable frequency drive*, que se traduciría literalmente como “regulador/variador de frecuencia variable”. A pesar de ello, también están presentes en el mercado otras acepciones como puede ser VSD (*variable speed drive* o regulador de velocidad variable) o ASD (*adjustable speed drive*, conocido en castellano como “accionamiento de velocidad variable).[14]

Regulando la frecuencia de la electricidad que recibe el motor, el variador de frecuencia consigue ofrecer a este motor la electricidad demandada, evitando así la pérdida de energía, o lo que es lo mismo, optimizando el consumo. [14]

En lo referido a los ventiladores, lo que hace un variador de frecuencia es regular la velocidad rotacional de un motor, variando con el ello el caudal de aire, la presión y la potencia eléctricas. Debido a las llamadas “Leyes de la proporcionalidad”, variando las RPM (revoluciones por minuto) de un motor, cambiamos el caudal: lo más interesante de todo es que, reduciendo un 20% esa velocidad, el caudal se reducirá otro 20%, sin embargo, el consumo eléctrico caerá hasta un 50%. [14]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.13.1. Funcionamiento: ¿Cuáles son los principios básicos por los que se rige un variador de frecuencia?

Tal y como mencionamos arriba, un motor conectado a la red eléctrica cuenta con un par y una velocidad determinados. En el supuesto caso de que no se ajusten a lo requerido por un sistema concreto, podemos contar con un variador de frecuencia para ajustarlo a nuestras necesidades.

En definitiva, se trata de controlar la velocidad del motor. Los variadores o convertidores de frecuencia “convierten” (de ahí su nombre) la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua. Este es el primer paso del proceso y se lleva a cabo por una parte esencial del variador, llamada rectificador. [14]

De aquí pasamos a la siguiente fase, de la que se encargan los **condensadores** del variador. Estos se cargan con la corriente continua transformada por el rectificador y suavizan la forma de onda de la corriente eléctrica resultante. [14]

Finalmente, la última etapa es la del **inversor**, que convierte la corriente continua en corriente alterna, de nuevo. Así es como realmente el motor recibe el suministro ajustado a las necesidades de frecuencia y voltaje adecuados. [14]

2.1.13.2. Diferentes tipos de variadores de frecuencia y usos

Para saber cuál es el variador de frecuencia que más se ajusta a los fines deseados, tendremos que conocer de antemano dos factores: cuál es el **voltaje** con el que estamos trabajando y cuál es el tipo de motor al que conectaremos el variador. [14]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

A grandes rasgos, estas serían las diferentes tipologías:

- **Variadores de frecuencia de corriente alterna:** generalmente, son los aquí explicados en este artículo. [14]
- **Variadores de frecuencia de corriente directa:** destinados a motores alimentados por corriente continua. [14]
- **Variadores de frecuencia de voltaje de entrada:** se encargan de generar una nueva onda sinusoidal de tensión, introduciendo una serie de onda cuadrada y mediante la variación del voltaje. [14]
- **Variadores de frecuencia de fuentes de entrada:** en este caso es el caudal de onda cuadrada el que se recibe de entrada. Requieren grandes inversores para mantener una corriente constante. [14]
- **Variadores de frecuencia de ancho pulso modulado:** llamado PWM (por sus siglas en inglés *pulse-width modulation*), mantiene el par motor constante por medio de una serie de pulsos de voltaje constantes realizados por unos transistores. [14]
- **Variadores de frecuencia de vector de flujo de ancho de pulso modulado:** cuentan con un microprocesador que gestiona el proceso de la regulación o variación de la corriente al motor.[14]

Existen otras formas de categorizar los variadores de frecuencia, pero están lejos de la temática que tratamos aquí hoy. Por ejemplo, están los variadores mecánicos, que como su nombre indica, utilizan poleas o rodillos metálicos. También el caso de los variadores hidráulicos, que para regular la velocidad del motor utilizan algún tipo de fluido. [14]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.13.3. Estas son las ventajas de contar con un variador de frecuencia

Si bien el ahorro energético es el mayor y más destacado atributo que supone la instalación de los variadores de frecuencia, este está lejos de ser el único. Un variador de frecuencia es habitualmente fácil de instalar y no requiere ningún tipo de mantenimiento o éste muy reducido, lo que añade, además, una prolongación de la vida útil de los equipos a los que va destinado, que ya de por sí ganan longevidad por recibir la electricidad que demandan y no más (ni menos).[14]

Obviamente, estos beneficios – ligados a que el variador ofrece la energía necesaria – también pueden extenderse a otros campos como los medioambientales (no hay exceso de esfuerzo en los equipos), financieros (no hay gastos extraordinarios de consumo), u operativos (por ejemplo, por sobrecalentamiento de los dispositivos). En último lugar, la menor exigencia para los motores industriales, regulados por un variador de frecuencia, ayudará a reducir ostensiblemente el ruido generado. [14]

2.1.14. ¿Qué es una bomba solar sumergible?

Una bomba solar sumergible es aquel sistema preparado para sacar o mover agua de un pozo de sondeo a una gran altura. La característica más notable de la bomba sumergible es que tiene una capacidad de aspersion muy grande, por lo que puede sacar agua a grandes profundidades. El diseño alargado de este tipo de bombas solares es diferente a las de superficie para favorecer a su rendimiento y hacer que la bomba trabaje mejor. [15]

Este tipo de bomba consta de dos partes, la bomba y el controlador que controla a la misma. Por una parte, el controlador interconecta la bomba con los **paneles solares** y por otra parte la bomba va unida por un lado al variador y luego al sistema de tuberías o a un depósito para luego ser distribuida. [15]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.14.1.¿Cuál es la principal ventaja de este tipo de bombas solares?

La principal ventaja de este tipo de bomba solar es la gran capacidad que tiene para hacer ascender el agua, así como su altura de succión es grande, luego su caudal no lo es tanto. Este tipo de bomba es muy valiosa ya que te permite sin nada de esfuerzo elevar el agua desde donde se encuentre a la superficie, en poco tiempo, como por ejemplo puede ser el pozo de sondeo de cualquier finca.

Otra ventaja muy grande es la posibilidad de tener una bomba centrífuga sumergible, la cual no te sacará agua a tanta profundidad como una bomba helicoidal, pero a bastantes metros sacará un caudal bastante decente, propio de una bomba centrífuga. [15]

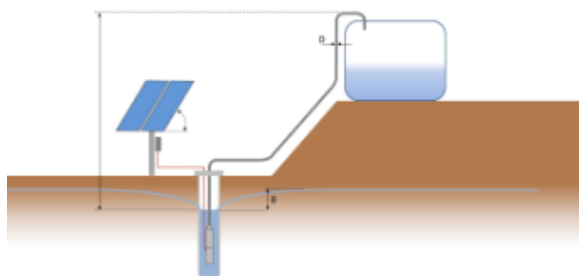


Fig. 18 Extracción de agua por medio de energía solar. [15]

2.1.14.2.Principales aplicaciones para este tipo de bombeo solar

Como principal uso destacan los usos para agua potable, riegos, ganadería, llenado de depósitos, invernaderos, escuela taller, parques de atracciones, viviendas aisladas de la red eléctrica, pero sobre todo para poder sacar agua en las condiciones más extremas a profundidades muy grandes. [15]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

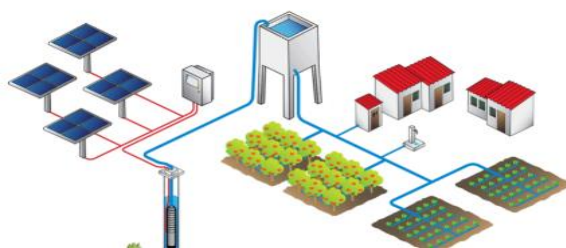


Fig. 19 Sistema de riego fotovoltaico. [15]

2.1.15. Capacidad nominal de circuitos ramales

2.1.15.1.210-19 Conductores: capacidad de corriente y sección transversal mínima.

- a) Generalidades. Los conductores de los circuitos ramales deben tener una capacidad de corriente no menor a la carga máxima que van a alimentar. Además, los conductores de circuitos ramales con varias salidas para alimentar tomacorrientes para cargas portátiles conectadas con cordón y clavija, deben tener una capacidad de corriente no menor a la corriente nominal del circuito ramal. Los cables cuyo conductor neutro tenga menor sección transversal que los conductores no puestos a tierra, deben ir así rotulados. [16]

Notas: 1) Véase el Artículo 310-15, para la capacidad de corriente de los conductores. 2) Véase la Sección 430 parte B, para la capacidad de corriente de los conductores de los circuitos ramales de motores. 3) Véase el Artículo 310-10, para las limitaciones de temperatura de los conductores. 4) Los conductores de circuitos ramales como están definidos en la Sección 100, con una sección que evite una caída de tensión superior al 3 % en las salidas más lejanas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere al 5 %, ofrecen una eficacia razonable de funcionamiento. Para la caída de tensión en los conductores del alimentador, véase el Artículo 215-2. [16]

- a) Estufas y artefactos de cocina domésticos. Los conductores de los circuitos ramales que

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

alimenten estufas domésticas, hornos montados en la pared, estufas de sobreponer y otros artefactos de cocina domésticos, deben tener una capacidad de corriente no menor a la corriente nominal del circuito ramal y no menor a la carga máxima que deben alimentar. [16]

- b) Otras cargas. Los conductores de circuitos ramales que alimenten a cargas distintas de artefactos de cocina, tal como se indica en el apartado anterior b) y en la lista de el Artículo 210-2, deben tener una capacidad de corriente suficiente para las cargas conectadas y una sección transversal no menor a 2,08 mm² (14AWG). Excepciones: 1) Los conductores de derivación para esas cargas deben tener una capacidad de corriente no menor a 15 A en los circuitos de corriente nominal no menor a 40 A, y no menor a 20 A en los circuitos de corriente nominal de 40 o 50 A y sólo cuando esos conductores alimenten a cualquiera de las siguientes cargas: a. Porta bombillas o artefactos de alumbrado con derivaciones que se extiendan no más de 0,5m más allá de cualquier parte de la porta bombillas o artefacto. Por encima de esa longitud se toma un conductor de calibre superior. b. Accesorios con conductores de derivación como se indica en el Artículo 410-17.[16]
- c) Salidas individuales que no sean de tipo tomacorriente, con cables no superiores a 0,5 m de largo. d. Artefactos de calefacción industrial por lámparas de infrarrojos. e. Los terminales sin resistencia de los cables y salidas de los equipos de deshielo y fusión de la nieve. 2) Los cables y cordones de artefactos como están permitidos en el Artículo 240-4. 210-20. [16]

2.1.16. Protección contra sobre corriente.

Los conductores de circuitos ramales y los equipos deben estar protegidos mediante dispositivos de protección contra sobre corriente con una capacidad de corriente nominal o ajuste: 1) que no supere a la especificada en el Artículo 240-3 para los conductores, 2) que no supere a la

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

especificada en las correspondientes Secciones en el Artículo 240-2 para los respectivos equipos y 3) lo establecido para los dispositivos de salida en el Artículo 210-21. Excepciones: 1) Está permitido que los conductores de derivación admitidos en el Artículo 210-19. c) estén protegidos por el dispositivo de protección contra sobre corriente del circuito ramal. 2) Los alambres y cordones de artefactos como lo permite el Artículo sobre corriente véase el Artículo 240-1; para cargas continuas véanse los Artículos 210-22 y 220-3. 210-21. Dispositivos de salida. Los dispositivos de salida deben tener una corriente nominal no menor a la carga que van a servir y deben cumplir lo establecido en los siguientes apartados a) y b): [16]

- a) Porta bombillas: Cuando estén conectados a un circuito ramal de más de 20 A nominales, los porta bombillas deben ser del tipo de servicio pesado. Una porta bombillas de servicio pesado debe tener una potencia nominal no menor a 600 W si es de tipo medio y no menor a 750 W si es de cualquier otro tipo. [16]
- b) Tomacorrientes: 1) Un tomacorriente sencillo instalado en un circuito ramal individual, debe tener una capacidad de corriente no menor a la de dicho circuito. Excepciones: 1) Si está instalado según el Artículo 430-81. 2) Está permitido que un tomacorriente instalado exclusivamente para usar un soldador de arco conectado con cordón y clavija, tenga una capacidad de corriente no menor a la del menor de los conductores del circuito ramal, tal como establece el Artículo 630-11. a) para los soldadores de arco con transformador de c.a. y rectificador de c.c. y el Artículo 630-21. a) para los soldadores de arco con moto generador.[16]

2.1.16.1.250-125 Conductor de puesta a tierra de los instrumentos.

El conductor de puesta a tierra de los circuitos secundarios de transformadores de instrumentos y de las carcasas de los instrumentos no debe ser de calibre menor a 3,3 mm² (12 AWG) en cobre o 5.25 mm² (10 AWG) en aluminio. Se considera que las carcasas de transformadores de instrumentos, instrumentos, medidores y relés que vayan montados directamente sobre

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

superficies o armarios metálicos puestos a tierra o paneles de instrumentos metálicos puestos a tierra, están también puestas a tierra y no se requiere usar un conductor adicional. [16]

2.1.17. 310-15 Capacidad de corriente.

Se permite calcular la capacidad de corriente de los conductores mediante los siguientes apartados a) o b). Nota. Para las corrientes calculadas en este Artículo no se tiene en cuenta la caída de tensión. Para los circuitos de alimentación, véase el Artículo 215-2.b), Nota 2. Para los circuitos ramales, véase el Artículo 210-19.a), Nota 4. a) Generalidades. La capacidad de corriente de los conductores de 0 a 2 000 V nominales debe ser la especificada en las Tablas de capacidad de corriente, 310-16 a 310-19 y sus notas correspondientes. La capacidad de corriente de los conductores sólidos con aislamiento dieléctrico, de 2 001 a 35 000 V, es la especificada en las Tablas 310-67 a 310-86 con sus notas correspondientes. Nota. Las Tablas 310-16 a 310-19 son Tablas de aplicación para usar en el cálculo del calibre de los conductores con las cargas calculadas de acuerdo con la Sección 220. La capacidad de corriente es el resultado de tener en cuenta uno o más de los siguientes factores: [16]

1. La compatibilidad en temperatura con los equipos conectados, sobre todo en los puntos de conexión. [16]
2. La coordinación con los dispositivos de protección contra sobre corriente del circuito y de la instalación. [16]
3. Los requisitos de los certificados o certificaciones de los productos. Véase a este respecto el Artículo 110-3. b). [16]
4. El cumplimiento de las normas de seguridad establecidas por las prácticas industriales y procedimientos generalmente aceptados. b) Supervisión por expertos. [16]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.16. Diseño versus dimensionado

Por diseño de un sistema fotovoltaico autónomo se entiende un concepto muy amplio que abarcaría a todas las tareas y especificaciones que se han de realizar y tener en cuenta para que un sistema fotovoltaico funcione satisfactoriamente, con la mayor fiabilidad y al menor coste posible. En este sentido existirán una gran multitud de factores que afectarán a este diseño como son entre otros el consumo o perfil de consumo de las cargas que vaya a alimentar la instalación fotovoltaica y la radiación solar del lugar donde se ubicará la instalación, principalmente. [17]

El concepto de dimensionado sería un concepto menos amplio y estaría incluido entre las tareas del diseño. Se entiende por dimensionado de un sistema fotovoltaico el cálculo del tamaño óptimo de la instalación. La tarea fundamental del dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo con la estructura presentada consistirá principalmente en la determinación del tamaño óptimo tanto del generador fotovoltaico como de la batería o conjunto de baterías que formen el sistema. Puesto que estos dos elementos son los más importantes del sistema fotovoltaico autónomo se deberá prestar especial atención a su dimensionado. En una fase posterior, y sin restarle importancia, habrá que dimensionar también los otros elementos que también participan de la instalación como son el inversor, el regulador de carga y el cableado. [17]

2.1.16.1. Métodos de dimensionado

Existen gran variedad de métodos de dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos. Esta diversidad abarca desde métodos muy complicados y que necesitan de un programa informático para ejecutarse hasta métodos mucho más simples, que con prácticamente una calculadora de mano permiten realizar el dimensionado. [17]

La filosofía de dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo es bastante diferente de la de un sistema fotovoltaico conectado a red. En este último, el criterio que se suele emplear para el diseño y dimensionado es el de conseguir que a lo largo de un año el rendimiento del sistema sea

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

lo más elevado posible o que la aportación energética anual del sistema sea máxima. Puesto que está conectado a la red eléctrica, los posibles fallos del sistema no son tan cruciales como en un sistema fotovoltaico autónomo. Por el contrario, el criterio que se sigue en el dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo no es tanto el producir la máxima energía, sino que aparece el concepto de fiabilidad. El dimensionado en este caso se hace atendiendo más a la fiabilidad del sistema, entendiendo por fiabilidad el asegurar el buen funcionamiento del mismo procurando que los fallos en el sistema sean mínimos. En este caso, el sistema deberá diseñarse y dimensionarse de forma que la probabilidad de fallo sea lo más baja posible, dentro de unos márgenes que se establecen según el tipo de sistema. [17]

Una primera clasificación de métodos de dimensionado sería aquella que los clasificaría según si el método presenta alguna información sobre la fiabilidad del sistema o no. Los métodos que presentan ese tipo de información son muy preciosos, pero a su vez suelen tener otros condicionantes que los hacen más complicados de ejecutar, sobre todo si no se cuenta con un programa informático que los simule. Por otro lado, existen también diferentes métodos propuestos por diferentes autores, que, aunque no dan información sobre la fiabilidad, si sirven como una buena aproximación, al menos en una primera fase del diseño que permita establecer una idea de la estructura del sistema fotovoltaico al menos grosso modo. En este capítulo se ha pretendido presentar un método que sea comprensible por su sencillez y a la vez que sirva como primera aproximación en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico. Se pretende con este método que cualquier usuario pueda realizar un dimensionado de un sistema fotovoltaico autónomo sin tener que contar con complicados cálculos que le llevarían a usar algún tipo de programa informático. [17]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.16.2. Método propuesto para el dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos

Como se ha comentado anteriormente, de la gran multitud de métodos de dimensionado de sistemas fotovoltaicos que existen, se presenta para este curso uno muy sencillo, pero que a pesar de su sencillez proporciona muy buenos resultados, sobre todo muy útiles para una primera fase de diseño de una determinada instalación. Los pasos a seguir en el dimensionado que se propone son las siguientes: [17]

- Paso 1. Estimación del consumo
- Paso 2. Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los paneles
- Paso 3. Dimensionado del generador fotovoltaico
- Paso 4. Dimensionado del sistema de acumulación
- Paso 5. Dimensionado del regulador
- Paso 6. Dimensionado del inversor
- Paso 7. Dimensionado del cableado

2.1.16.3. Estimación del consumo

La demanda de energía impone muchas de las características de la instalación, por lo que en la planificación de las necesidades se debe anotar todo lo relacionado con los diferentes aparatos eléctricos que serán la carga del sistema. Se deberá calcular la energía que el usuario necesitará diariamente. Para ello se deberá determinar la potencia de todos los aparatos de que constará la instalación, individualmente, junto con el tiempo medio de uso de cada uno de ellos. En caso de duda, tanto la potencia como el tiempo medio de uso se deberán redondear hacia arriba. Conocidos todos los aparatos, potencias y tiempos de uso la expresión para calcular la energía de consumo, distinguiendo entre los aparatos de corriente alterna y continua será: [17]

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

$$EAC = \sum P(AC)_i * t_{di} \quad (1)$$

$$EDC = \sum P(DC)_i * t_{di} \quad (2)$$

Siendo:

EAC: Energía consumida en AC (Wh)

EDC: Energía consumida en DC (Wh)

Pi: Potencia Nominal (W)

ti: Tiempo diario de uso (h)

Para calcular el consumo total, se tendrán en cuenta los rendimientos de las etapas existentes aplicando la siguiente expresión: [17]

$$ET = \frac{EDC}{\eta_{BAT}} + \frac{EAC}{\eta_{BAT} * \eta_{INV}} \quad (3)$$

Donde:

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

η_{BAT} : Rendimiento de la batería

η_{INV} : Rendimiento del inversor

La energía real requerida ET, refleja la energía que el sistema demanda en su conjunto en un día, y es un dato importante a la hora de dimensionar el generador fotovoltaico. [17]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.16.4. Cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los módulos

Para el cálculo del ángulo óptimo de inclinación de los módulos fotovoltaicos de la instalación es necesario conocer como dato de partida, al menos la radiación solar incidente en el lugar (valores medios mensuales). Estos datos suelen referirse a superficie horizontal, por lo que por los diferentes métodos existentes se han de calcular a diferentes inclinaciones. Se asume que para buscar el óptimo de posición de los módulos, éstos estarán orientados al sur, y sólo habrá que calcular la radiación incidente a diferentes inclinaciones. A modo de resumen se presentan las siguientes ecuaciones que pueden servir para realizar los cálculos de radiación solar incidente a diferentes inclinaciones: [17]

Se asume que para buscar el óptimo de posición de los módulos, éstos estarán orientados al sur, y sólo habrá que calcular la radiación incidente a diferentes inclinaciones. A modo de resumen se presentan las siguientes ecuaciones que pueden servir para realizar los cálculos de radiación solar incidente a diferentes inclinaciones: [17]

Ecuaciones:

Ec 4: Factor de corrección de la excentricidad de la órbita de la Tierra:

$$E_o = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1 + 0,33 \cos\left(\frac{2 * \pi * Dn}{365}\right) \quad (4)$$

Dn: orden del día

Angulo diario (rad)

$$\text{Ángulo} = 2 * \pi * \left(\frac{Dn-1}{365}\right) \quad (5)$$

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.16.5. Dimensionado del Generador Fotovoltaico

Una vez que la demanda energética de la carga es conocida, se está en condiciones de dimensionar el generador fotovoltaico. El número total de módulos fotovoltaicos que se deben instalar se puede calcular a partir de la siguiente expresión: [17]

$$NT = \frac{ET}{Pp \cdot Gm\beta \cdot PG} \quad (6)$$

Siendo:

ET: Energía real requerida (Wh)

Pp: Potencia Pico del Módulo (W / kW / m²)

Gmβ: Radiación Global sobre una superficie inclinada un ángulo β (kWh /m²)

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

Conociendo el número de total de paneles que forman el generador fotovoltaico y la tensión nominal de la batería, que coincide con la tensión nominal de la instalación, se puede determinar si es necesario agrupar los módulos en serie y en paralelo. El número de módulos que habrá que conectar en serie, se calcula así:

$$Ns = \frac{VBat}{Vm} \quad (7)$$

Donde:

Ns : número de módulos en serie por rama

VBat: tensión nominal de la batería (V)

Vm: tensión nominal de los módulos (V)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Y el número de ramas en paralelo a conectar para suministra la potencia necesaria, viene dado por:

$$N_p = \frac{NT}{N_s} \quad (8)$$

Siendo N_p el número de módulos a conectar en ramas paralelo. Los valores de NT , N_s y N_p se redondean por exceso, excepto si se aproximan mucho a las cifras por defecto, de manera que se asegure el suministro de potencia que demanda la instalación. El ángulo de inclinación de los paneles β se calculó anteriormente con el método del mes crítico.

Tras estos cálculos estaría dimensionado el generador fotovoltaico tanto en número de módulos como en la inclinación de los mismos.

2.1.16.6. Dimensionado del Sistema de Acumulación (Batería)

Para definir el tamaño del acumulador, se deberán tener en cuenta los siguientes parámetros:

- **Máxima Profundidad de Descarga:** es el nivel máximo de descarga que se le permite a la batería antes de la desconexión del regulador, para proteger la duración de la misma. En baterías estacionarias de plomo-ácido un valor adecuado de este parámetro es de 0.7. [17]
- **Días de Autonomía:** es el número de días consecutivos que, en ausencia de sol, el sistema de acumulación es capaz de atender el consumo, sin sobrepasar la profundidad máxima de descarga de la batería. Los días de autonomía posibles, dependen entre otros factores del tipo de instalación y de las condiciones climáticas del lugar. La capacidad de las baterías es la cantidad de energía que debe ser capaz de almacenar, para asegurar los días de autonomía. Las expresiones que se utilizan para hallar la capacidad de la misma, tanto

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

en W (vatios hora) como en Ah (amperios hora) son: [17]

$$C_n \text{ (Wh)} = \frac{ET \cdot N}{P_d} \quad (9)$$

$$C_n \text{ (Ah)} = \frac{C_n \text{ (Wh)}}{V_{bat}} \quad (10)$$

Siendo:

Cn: capacidad nominal de la batería (Wh ó Ah)

ET: Energía real requerida (Wh)

Pd: Máxima Profundidad de descarga de la batería

VBat: tensión nominal de la batería (V)

Es importante señalar que los periodos de autonomía cortos, alargan la vida de las baterías y dan al sistema mayor fiabilidad. La batería se elegirá de forma que se aproxime al valor de capacidad nominal Cn calculado. Igualmente se tenderá a elegir la batería redondeando el valor Cn por exceso para obtener mejor margen de seguridad. [17]

2.1.16.7. Dimensionado del Regulador

El regulador es el elemento que controla las cargas y descargas de la batería, permitiendo el proceso de carga de la misma desde el generador fotovoltaico y el proceso de descarga a través de los elementos de consumo eléctrico del sistema global. A la hora de dimensionar un regulador, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto, se habrá de calcular la corriente que produce el generador, la corriente que consume la carga, y la máxima de estas dos corrientes será la que deba soportar el regulador en funcionamiento. [17]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

La corriente de corte a la que debe actuar el regulador será fijada en el propio dispositivo, pero ha de soportar la máxima posible que la instalación pueda producir. [17]

$$IG = IR * NR \quad (11)$$

$$IR = \frac{Pp \cdot \eta m}{Vm} \quad (12)$$

Siendo

IG: Corriente producida por el generador (A)

IR: Corriente producida por cada rama en paralelo del generador (A)

NR: Número de ramas en paralelo del generador

Pp: Potencia Pico del módulo fotovoltaico (W)

ηm : Rendimiento del módulo

Vm: Tensión nominal de los módulos (V)

La intensidad que consume la carga se determina teniendo en cuenta todos los consumos al mismo tiempo: [17]

$$IC = \frac{PDC}{Vbat} + \frac{PAC}{220} \quad (13)$$

Donde:

IC: Corriente que consume la carga (A)

PDC: Potencia de las cargas en DC (W)

Vbat: Tensión nominal de la batería (V)

PAC: Potencia de las cargas en AC (W)

De estas dos corrientes, la máxima de ambas será la que el regulador deberá soportar, y

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

será la que se utilice para su elección. [17]

$$IR = \max (IG, IC) \quad (14)$$

2.1.16.8. Dimensionado del Inversor

Las características de funcionamiento que definen un inversor o convertidor DC –AC son: [17]

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

La tensión de entrada en el inversor de una instalación fotovoltaica no será siempre constante, por lo que el inversor debe ser capaz de transformar distintas tensiones continuas dentro de un determinado rango. Ese rango suele ser de un 15 %. [17]

El valor de la tensión nominal es un dato de referencia dentro del intervalo de actuación que sirve para identificar el tipo de convertidor. A la hora de dimensionar el inversor se tendrá en cuenta la potencia que demanda la carga AC, de forma que se elegirá un inversor cuya potencia nominal sea algo superior a la máxima demandada por la carga. Sin embargo, se debe evitar el sobredimensionamiento del inversor para tratar de hacerlo trabajar en la zona donde presenta mejores eficiencias. Se puede resumir la potencia del inversor con esta expresión: [17]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

$$P_{inv} \approx PAC \quad (15)$$

2.1.16.9. Dimensionado del Cableado

El dimensionado del cableado constituye una de las tareas en las que se deberá prestar especial atención, ya que siempre que exista consumo habrá pérdidas debido a las caídas de tensión en los cables. Estas pérdidas óhmicas deben cumplir la más restrictiva de las dos condiciones siguientes: [17]

1. Verificar las normas electrotécnicas de baja tensión.
2. La pérdida de energía debe ser menor que una cantidad prefijada.

Su valor puede calcularse con las siguientes expresiones: [17]

$$PPC = I^2 * RC \quad (16)$$

$$RC = \frac{\rho * L}{S} \quad (17)$$

Siendo:

PPC: Potencia de Pérdidas en los conductores (W)

I: Corriente que circula por los conductores (A)

RC: Resistencia óhmica de los conductores (Ω)

ρ : Resistividad del conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)

L: Longitud de los conductores (m)

S: Sección de los conductores (mm^2)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.2. ESTADO DEL ARTE

2.1.1. Energía Solar Autónoma

Un sistema fotovoltaico autónomo o aislado (SFA) convierte la energía proveniente del Sol en energía eléctrica, almacenándola en una batería para su uso posterior. Es un sistema que no requiere de una conexión a la red eléctrica, trabajando de forma autónoma para proveer energía a los equipos. Son sistemas que se adaptan bien a lugares remotos sin conexión a la red, donde hay un bajo consumo de energía y un buen recurso solar. En lugares determinados pueden ser la solución más apropiada para electrificar un edificio o una vivienda. Con la bajada constante de precios de los módulos fotovoltaicos y la inminente mejora en las tecnologías de acumulación, los SFA's se convertirán en una opción cada vez más asequible para los 1400 millones de personas en el mundo que viven aún sin energía eléctrica. Los SFA's pueden suministrar energía eléctrica a clínicas, hospitales, escuelas, puestos de comunicación, viviendas y sistemas de bombeo de agua, entre otros. [18]



Fig. 20 Montaje de un Sistema Solar Autónomo. [18]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.2. Conexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica

El concepto de generación distribuida (DG) se enfoca en emplear pequeñas plantas de generación de energía eléctrica que se localizan cerca de los centros de consumo. Dicha generación puede abarcar el uso de recursos renovables, la instalación de generadores o el uso de bancos de baterías (energy storage) [1, 2]. Los beneficios de la implementación de la DG en los sistemas eléctricos se ven reflejados en la reducción de los costos de la expansión del sistema de transmisión y distribución, la reducción de pérdidas en las líneas, el mejoramiento de la sensibilidad y la confiabilidad del sistema y la descentralización de la generación permitiendo la generación en sitio (on-site generation) [3, 4]. [19]

Con la implementación de estos sistemas se espera que no solo los generadores inyecten potencia a la red, sino que también los usuarios participen en la generación de potencia a baja escala para desarrollar sus propios sistemas de DG. Dicha metodología se enmarca en el concepto de red inteligente o Smart-Grid. [19]

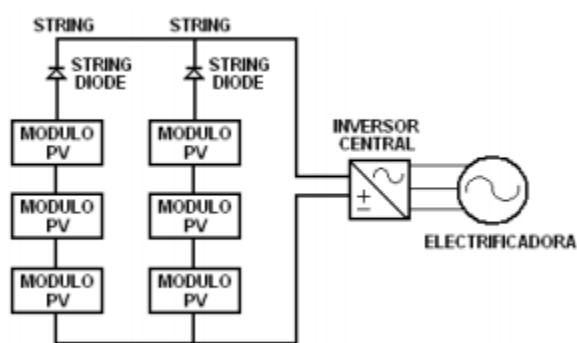


Fig. 21 Sistema PV con inversor central. [19]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.3. Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable (SAGER)

Se describe la instalación realizada en la ETSEIB, en Barcelona, de una fuente renovable híbrida (solar y eólica) de energía eléctrica aislada de la red eléctrica. También se presenta el laboratorio de energías renovables montado parte en la azotea de la Esc. Tec. Sup. de Ingeniería Industrial de Barcelona y parte en las instalaciones del GREP, en la misma escuela. El banco de pruebas consiste en un grupo fotovoltaico (de 2,65kW), un aerogenerador (de 750W), un banco de baterías (de 105Ah a 48V), la electrónica de conversión y control, y un sistema avanzado de monitorización. [20]

El proyecto SAGER nace de la colaboración de la empresa SAFT Power Systems Iberica y del grupo de investigación GREP, de la UPC, con el fin de disponer de un laboratorio de energías renovables, concretamente de sistemas híbridos, para evaluar y desarrollar técnicas de dimensionado y modelización del sistema. En la Fig. 22 se puede observar la vista de la instalación en la azotea de la escuela. El grupo de investigación GREP, junto a SAFT Power Systems Iberica, trabaja por dotar al mercado de un producto compacto para la integración de sistemas híbridos alimentando cargas situadas en emplazamientos remotos. [20]



Fig. 22 Vista de la instalación híbrida SAGER en el tejado de la ETSEIB, en Barcelona. [20]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.4. Planta de Energía Solar en Santa Rosa de Lima en el Departamento de Bolívar

La planta de energía fotovoltaica comenzó operaciones y tiene conexión directa con el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Esta granja de energía solar tiene una capacidad instalada de 8,06 megavatios (MW), y se presume que generará energía limpia para el consumo de 7.400 familias que habitan en el territorio colombiano. El proyecto fue construido a través de Epsa, que invirtió un promedio de ocho millones de dólares, y financiado con los recursos que obtuvieron de la emisión de bonos verdes que realizó la compañía meses atrás. [21]

El montaje de esta gran infraestructura tomó siete meses de trabajo arduo. El terreno que fue empleado para el proyecto es de alrededor doce hectáreas, en donde se instalaron 32.000 paneles solares que buscan generar 15.542 megavatios al año. La planta de energía, en términos ambientales, es un gran avance para el país, pues ayudará a alimentar diferentes equipos y mantener la funcionalidad y operatividad de los territorios de producción, recreo y vivienda de una manera amigable con el medio ambiente. [21]



Fig. 23 Granja Solar (Celsia Bolívar). [21]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

2.1.5. Acueducto con Energía Solar en el Corregimiento El Cuatro

Los habitantes del corregimiento de El Cuatro, en el municipio de Magangué, comenzaron a disfrutar oficialmente de un micro acueducto, que genera 60 mil litros de agua diarios. La población que alcanza aproximadamente 800 personas, que ocupan las 120 viviendas pasaron de captar el agua en pozos artesanales para obtenerla de un moderno sistema que construyó la Alcaldía. [22]

Fernando Flórez, beneficiario del proyecto, dijo que esa obra llega en buen momento, ya que actualmente sufrían por la falta de agua a raíz del fuerte verano que azotaba al corregimiento. “Esta es una obra innovadora ya que cuenta con paneles solares, y le va a traer mucho beneficio a la comunidad puesto que ya no vamos a gastar tanto dinero comprando pimpinas de agua”, dijo Flórez. [22]

Para Venedit Polo, otro habitante de El Cuatro, sostuvo que el sistema llegó después de 50 años de no tener un punto donde abastecerse, sino que debían recorrer largas jornadas para poder obtener el preciado líquido. “Esa inversión la necesitábamos mucho porque llevábamos años padeciendo por ese vital servicio, sobre todo acá en la zona rural”, agregó la mujer. El secretario de Planeación, Zaith Camacho, le entregó la obra a la Junta de Acción Comunal y a la Junta Administradora del Acueducto, en representación de toda la comunidad. [22]

Resaltó que ese micro acueducto trabaja con energías renovables, amigables con el medio ambiente, tiene un sistema de paneles solares que permite generar toda esta cantidad de agua diariamente, que procede de un pozo de 120 metros de profundidad con una tubería de 8 pulgadas. [22]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 24 *Acueducto con Energía Solar en el Corregimiento El Cuatro (Municipio de Magangué – Bolívar). [22]*

2.1.6. Planta de Energía Solar Proyecto ‘Bayunca 1’

En cercanías a Cartagena, exactamente en el municipio de Bayunca, a pocos kilómetros de los más importantes puertos marítimos del país, fue inaugurada la Planta de Energía Solar, el proyecto 'Bayunca 1'. Hay que recordar que se trata de una planta que entró en operación el pasado 30 de septiembre, Iván Martínez, presidente de EGAL, gestora del proyecto, puso en marcha este nuevo espacio con el que se suman dos plantas para las energías limpias. [23]

En su momento se detalló que la Planta Solar Bayunca I fue construida sobre un área de 6,5 hectáreas, espacios que albergan 9.000 paneles solares los cuales aportan una potencia pico de 3,6 megavatios. En la presentación, además de los ejecutivos de la empresa, el presidente Iván Duque, explicó que "tenemos que seguir pensando en grande, estamos trabajando que tengamos en el primer trimestre de 2021 una nueva subasta para no regulados por encima de 5.000 megas en todo el territorio nacional, para seguir consolidando energías renovables". [23]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 25 *Proyecto Solar Bayunca 1. [23]*

2.1.7. Implementación de sistema fotovoltaico para acueducto rural en Barrancayuca, Bolívar

Este proyecto que implementó la empresa Yimar Yepes & CIA con el fin de suplir las necesidades de los habitantes de una finca en la zona rural de Barrancayuca, corregimiento de Magangué Bolívar. Se instalaron 14 paneles de 410 w para alimentar una electrobomba, que a su vez extraía agua de un poso conectado a un acuífero. Este líquido es limpiado utilizando filtros de agua, y posteriormente almacenado en un tanque. Este sistema fotovoltaico para acueductos rurales ha sido una gran innovación para los habitantes de esas zonas, ya que sufrían de escasez de agua y la que suministraban no está apta para el consumo humano, provocando enfermedades gastrointestinales. Este proyecto recibió un premio en Latinoamérica verde, siendo uno de los más innovadores y reduciendo la producción de CO₂ en estas zonas. Cabe resaltar que también hay reducción en gastos monetarios y cuidado con el medio ambiente.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 26 *Sistema Fotovoltaico Para Acueducto Rural. (Autor)*

2.1.8. Sistema Fotovoltaico para Riego de Cultivos en Las Marías, Bolívar

La gran utilización de aspersores de riegos se ha venido incrementando, gracias a los sistemas fotovoltaicos para su uso. Esta vez la empresa Yimar Yepes & CIA en 2020 instaló un sistema fotovoltaico en una finca con 2 paneles de 300 w elevados a una altura de 7 metros, con el fin de alimentar una electrobomba para la extracción de agua en un poso. También un pequeño porcentaje de esa agua es enviada a un tanque para uso doméstico, con el fin de sacarle el máximo provecho del líquido vital en estas zonas rurales. Cabe resaltar que, gracias a estos sistemas, los cultivos han crecido exponencialmente y los animales no han padecido de agua, siendo independiente de los cambios climáticos. La distancia máxima que alcanza el agua debido a la presión es de 400 metros.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 27 *Sistema fotovoltaico para riego de cultivos. (Autor)*

3. Instalación de Sistema Fotovoltaico Tiquisio, Sur de Bolívar

3.1. Metodología

3.1.1. realizar una inspección planeada en la zona de la futura instalación.

En este apartado se demuestra los estudios pertinentes que se elaboraron en las zonas de instalaciones de sistemas fotovoltaicos dependiendo de su uso. El método conveniente para este tipo de estudios es el siguiente:

- Visita en el lugar de la instalación, sea comercial, industrial o campo rural.
- Desplazamiento es las posibles áreas de instalación del lugar.
- Inspección del terreno de forma empírica.
- Priorizar áreas con mayor radiación solar.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

3.1.1.1. Detallar el área de trabajo

Para realizar un detalle del área de instalación, es necesario hacer un recorrido de inspección planeada, para hacer un correcto posicionamiento de los equipos, así se garantiza un óptimo rendimiento en el sistema fotovoltaico.



Fig. 28 Recorrido en el área de instalación. (Autor)

En la anterior figura (24), se muestra una panorámica de cómo está compuesto el terreno, lugares despejados y cercanos a la vivienda.

3.1.1.2. Verificación del lugar donde hay mayor radiación solar.

Este apartado va de la mano con la figura (23), ya que en ella se muestra los lugares despejados, para una correcta absorción de energía solar hacia los paneles, esto ayuda a aumentar el porcentaje de optimización del sistema fotovoltaico.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 29 Áreas despejadas en zona de instalación. (Autor)

Como se puede evidenciar en la figura (29), hay mayor parte de zonas despejadas que no obstruyen el paso de la radiación solar al sistema fotovoltaico. Cabe destacar que estas zonas mayormente son llanos, no hay montaña que pueda infringir en la energía solar hacia los paneles solares.

3.1.2. Calcular el consumo energético requerido, para una correcta Selección de materiales.

Para el cálculo del consumo energético se hizo necesario hacer los siguientes pasos:

- Numero de cargas.
- Verificar los vatios de cada carga.
- Tiempo de activación energética por cada carga.

3.1.2.1. Plantear las ecuaciones necesarias para un correcto cálculo del consumo energético

Luego de los pasos anteriores se hace los respectivos cálculos para cuantificar el total de vatios. Las especificaciones dadas por el cliente. A continuación, se muestra en la siguiente tabla:

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

CANTIDAD	CARGAS	VATIOS (W)	TIEMPO (h)	TOTAL (Wh)
7	Bombillos led	12	3	252
1	Ventilador	65	12	780
4	Reflector	30	3	360
1	Impulsor	6	24	144
1	TV	60	4	240
1	Teléfono celular	20	2	40
TOTAL				1816

Tabla 2. *dimensionamiento de cargas. (Autor)*

De acuerdo con la información de la tabla 2 se hacen los siguientes cálculos.

$$\text{Bombillos led: } 7 * 12 \text{ W} * 3 \text{ h} = 252 \text{ Wh}$$

$$\text{Ventilador: } 1 * 65 \text{ W} * 12 \text{ h} = 720 \text{ Wh}$$

$$\text{Reflectors led: } 4 * 30 \text{ W} * 3 \text{ h} = 360 \text{ Wh}$$

$$\text{Impulsor: } 1 * 6 \text{ W} * 24\text{h} = 144 \text{ Wh}$$

$$\text{TV: } 1 * 60 \text{ W} * 4\text{h} = 240 \text{ Wh}$$

$$\text{Teléfono celular: } 1 * 20 \text{ W} * 2\text{h} = 40 \text{ Wh}$$

Las operaciones anteriores indican cuantos vatios consume cada carga por hora, esto es muy importante para el dimensionamiento, de aquí es la base para que el sistema funcione de manera excelente.

$$\text{Total vatios} = 252 \text{ Wh} + 780 \text{ Wh} + 360 \text{ Wh} + 144 \text{ Wh} + 240 \text{ Wh} + 40 \quad (18)$$

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

$$\text{Total vatios} = 1816 \text{ Wh}$$

En (18) se hace la sumatoria de las potencias de cada una de las cargas, esto nos sirve para dimensionar de forma correcta la cantidad de módulos que se necesitan para suplir la demanda energética.

El paso siguiente es sumar los vatios de las cargas individuales, esto nos facilita el cálculo de la potencia del inversor más adelante.

$$W_d = 12W + 65W + 30W + 6W + 60W + 20W \quad (19)$$

$$W_d = 193W$$

En (19) se hace la sumatoria de las potencias sin tener en cuenta la cantidad de tiempo en uso, solamente la potencia de las cargas como tal.

3.1.2.2. Obtener la cantidad de paneles necesarios para el correcto funcionamiento del sistema

Para la obtención de la cantidad de paneles, hay que tener en cuenta ciertos datos y especificaciones de los módulos fotovoltaicos las cuales son:

- Cantidad de vatios producidos
- Dimensión del modulo
- Hora solar pico.

Una vez tenido en cuenta los datos anteriores se procede a identificar el módulo correcto para el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Hay que tener en cuenta que cada panel en hora pico

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

produce 1000 W por metro cuadrado eso considerando que la temperatura del panel este a unos 25°C, lo que en esta parte del caribe colombiano la temperatura es mayor.

Para el primer paso, se divide el total de Wh entre un coeficiente de pérdidas del sistema para el funcionamiento del panel que equivale al 0.539 en la ecuación (20).

$$T_w = \frac{1816 Wh}{0.539} = 3369 Wh \quad (20)$$

Con la siguiente ecuación (21) se calcula la potencia de paneles pico requeridos.

$$P_w = \frac{T_w}{h_{sp}} \quad (21)$$

Donde:

T_w es el total de demanda de energía

h_{sp} es la hora de sol de pico del lugar, en la zona sur de Bolívar está en 5.0 hsp

Se reemplazan los valores en la ecuación (21):

$$P_w = \frac{3369 W}{5 HSP} = 673 Wh$$

La HSP indica cuanto tiempo los módulos solares están operando a su máxima potencia, por lo que es un factor importante para la cuantía del sistema y la cantidad de paneles solares a utilizar. Al hacer inventario en la bodega de materiales, se seleccionó paneles de 435 W. Por lo cual se escogieron 2 paneles para sobrepasar los 673Wh. Sin embargo, hay que sumarle las pérdidas del sistema fotovoltaico que equivale al 20% las cuales son las siguientes:

- Temperatura, 4% por cada aumento de 10°C teniendo en cuenta la temperatura ambiente

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

de estas zonas del sur de Bolívar es de 40°C, por lo que sería un 16% de pérdidas por temperatura.

- Resistencia en el material conductor, 0,8%
- Pérdidas angulares y espectrales, 0,5 %
- Pérdidas por rendimiento inversor DC/AC, 0,7%
- Pérdidas por sombreado del generador fotovoltaico, 0,4%

Al sumar las pérdidas el resultado total es de un 18,4% aproximadamente 20%, este factor de pérdidas se le suma a la demanda de potencia P_w en la siguiente ecuación (22).

$$N_p = \frac{673 \text{ W} * 1.20}{435 \text{ W}} = 1.8 \approx 2 \text{ paneles de } 435 \text{ W} \quad (22)$$

Al comparar la demanda de energía con la eficiencia de los paneles, se puede concluir que con los dos paneles de 435 W hay un rendimiento óptimo para el sistema fotovoltaico requerido.

3.1.2.3. Establecer la cantidad de baterías para un óptimo rendimiento del sistema

Para el cálculo del número de baterías necesarios, hay que tener en cuenta la cantidad de demanda energética diaria, el voltaje y la cantidad de días de autonomía, esto se ve reflejado en la siguiente ecuación (23):

$$C = \frac{T_w}{V * P_d} * \text{dias} A \quad (23)$$

Donde:

T_w potencia de paneles pico en un día.

V es el voltaje, en este caso son baterías es de 12V.

P_d es la profundidad de descarga que ronda entre un 60% en las baterías secas.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

diasA es el número de días de autonomía de las baterías, 2 días de autonomía en este caso.

La profundidad de descarga en las baterías es importante, de ello se ve reflejado la duración de su funcionamiento, ya que, si se deja descargar mucho la batería, esta podría sufrir daños irreparables reduciendo su vida útil y aumentando los costos por mantenimiento. De acuerdo al número de días de autonomía se hizo el dimensionamiento con 2 días de autonomía, ya que evita que las baterías tengan descargas profundas y el costo del banco de batería disminuye.

Se reemplaza los valores en la ecuación (23):

$$C = \frac{1816Wh}{12\text{ v} * 0,6} * 2\text{ dia} = 504,44\text{ Ah}$$

De acuerdo al anterior resultado se escoge 4 baterías de 12V a 125 Ah para suplir la demanda energética requerida.

Cálculo del inversor DC/AC

Para el cálculo del inversor no hay que tener en cuenta la potencia de los paneles, si no la potencia de las cargas en alternas que requieren mayor corriente al momento de encender en este caso es el ventilador, por lo que en este caso es de 65 W y va ligado al coeficiente de simultaneidad reflejado en la siguiente ecuación (24):

$$P_i = 1.25 * (P_{ac} * 4) \tag{24}$$

Donde:

P_i potencia del inversor

P_{ac} Potencia en alterna

25% es el margen de seguridad del inversor

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

$$P_i = 1.25 * (65 \text{ W} * 4)$$

$$P_i = 325 \text{ W}$$

Se multiplica por 4 por lo que, al momento de encender una carga inductiva, esta genera sobre picos de corrientes en un instante del arranque, lo cual es 4 veces la potencia nominal de la carga. Se escogió un inversor de 1500 W porque el cliente desea agregar más cargas y ampliar el sistema fotovoltaico en un futuro, para un mayor funcionamiento óptimo del sistema, reduciendo problemas por caída de tensión y pérdidas de funcionamiento del inversor que ronda en el 0,7%.

Para el cálculo del Controlador de Carga se tiene en cuenta varios factores, la corriente máxima en corto circuito del panel solar, el número de paneles y un factor de seguridad. Con esta ecuación se define el tipo de controlador solar y sus requerimientos técnicos para una buena optimización en el sistema.

$$I_{in} = 1,25 * I_{mod} * N_p \quad (25)$$

Donde;

1,25 es un factor de seguridad para evitar daños en el controlador de carga

I_{mod} es la corriente máxima en cortocircuito del módulo solar, que para el panel de 435 W es de 10,8 A.

N_p es el número de paneles.

I_{in} es la corriente de entrada al controlador de carga.

$$I_{in} = 1,25 * 10,8 \text{ A} * 2$$

$$I_{in} = 27 \text{ A}$$

La corriente de entrada calculada en la ecuación (25), es la que ingresa hacia el controlador de

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

carga debe soportar una intensidad de flujo de 27 A mínimo. Para la corriente de salida **I_{out}** es necesario tener en cuenta las cargas en alterna y en directa presentadas en (26).

$$Q_d = 12 \text{ W} + 30 \text{ W} + 60 \text{ W} + 20 \text{ W} + 6 \text{ W} \quad (26)$$

$$Q_d = 128 \text{ W}$$

$$Q_{ac} = 65 \text{ W}$$

$$I_{out} = \frac{1,25 * (Q_d + \frac{Q_{ac}}{0,95})}{24 \text{ V}} \quad (27)$$

$$I_{out} = \frac{1,25 * (128 \text{ W} + \frac{65 \text{ W}}{0,95})}{24 \text{ V}} = 10,23 \text{ A}$$

Donde:

1.25 es un factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador

95% de eficiencia del inversor

Q_d cargas en CD

Q_c cargas en alterna

En (27) se calculó la corriente de salida, se tiene 10,24 A. De acuerdo a la corriente de entrada que exige el sistema fotovoltaico al controlador, se seleccionó un dispositivo de carga de 40 A máximo de carga de 24 V de salida en DC.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Cálculo de corriente eléctrica nominal (calibre de los conductores) AC

Conductor fase

La instalación del área es monofásica, por lo que se hacen los cálculos para la selección del calibre de los conductores dependiendo de la carga, para calcular la corriente nominal se utiliza la siguiente ecuación (28):

$$I_{nominal} = \frac{P}{V * \cos\alpha} \quad (28)$$

Donde:

P es la potencia de las cargas

V es el voltaje nominal, en este caso es de 120 VAC

cosα es el factor de potencia, en este caso es de 0,9

Al reemplazar tenemos que:

$$I_{nominal} = \frac{1816W}{120V * 0,9} = 16,81 A$$

Los conductores no pueden tener una capacidad menor a la carga más el 125% de la carga en corriente continua o alterna (Artículo 210.19(A)(1)(a) de la norma NTC2050).

$$Inc = 16,81 A * 1,25 \quad (29)$$

$$Inc = 21,01 A$$

De acuerdo al resultado arrojado en (29), Inc es la corriente nominal para elegir el calibre del conductor según la tabla 310.15(B)(16) de la norma RETIE Y NTC2050. Como en la tabla no hay un calibre específico para la corriente de 21,01 A escogemos el que se aproxima, en este caso es de 25 A, por lo que se elige un calibre de 12 AWG de cobre con temperatura de 75°C.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Luego se elige el factor de corrección de temperatura para asegurar que el calibre escogido es el indicado para soportar las cargas exigidas, en la tabla 310.15(B)(2)(a) de la norma RETIE Y NTC2050 se elige el factor de corrección de temperatura de acuerdo a la temperatura ambiente del área, en la zona de la instalación hay una temperatura ambiente de 37°C, por lo que el factor de corrección es de 0,88.

Para el factor de ajuste en una canalización donde se agrupan los conductores, en este caso son 3 conductores (fase, neutro y tierra) según la tabla 310.15(B)(3)(a) de la norma RETIE Y NTC2050 para 3 conductores el valor del factor de ajuste es del 80%. Al tener los valores especificados se procede a calcular la corriente nominal ajustada.

$$I_{\text{nominal ajustada}} = (25 \text{ A}) * (0,88) * (0,80) \quad (30)$$

$$I_{\text{nominal ajustada}} = 17,6 \text{ A}$$

Donde el resultado de (30) es llamado la ampacidad corregida que indica que la ampacidad debe ser mayor a la corriente de la carga, si es así, el conductor escogido anteriormente es adecuado para soportar la corriente que atraviesa por el conductor.

Cálculo conductor neutro

Para el cálculo del conductor neutro hay que tener en cuenta la norma RETIE Y NTC2050 esta menciona que el conductor neutro debe soportar la máxima corriente de equilibrio de los conductores portadores de corriente por lo que:

$$I_{\text{neutro}} = I_{\text{fase}} = 16,81 \text{ A} \quad (31)$$

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

De acuerdo a (31), indica que el calibre para el conductor neutro es igual al calibre del conductor fase calculado anteriormente (calibre 12 AWG)

Cálculo conductor tierra

Según el artículo 210.20 de la normativa RETIE Y NETC2050 especifica las condiciones para la protección eléctrica contra sobre corrientes. Para escoger el conductor hay que tener en cuenta que debe soportar el 125% de las corrientes nominales de los conductores, Para eso se le da una protección asignada de 20 A. De acuerdo al valor anterior nos dirigimos a la tabla 250.122 de la normativa RETIE Y NTC2050 llamado (calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalización y equipos). Donde indica que el calibre para la puesta a tierra es de 10 AWG.

Para un buen funcionamiento de los equipos, se escogen los conductores con los anteriores calibres calculados, con un tipo de revestimiento THHN el cual es un tipo de revestimiento termoplástico resistente al calor y se puede aplicar en zonas secas o húmedas.

3.1.3. Diseñar el esquema de conexión y posicionamiento de los equipos

Para el diseño del esquema de conexión es necesario hacer una breve medición del área, lo cual se realizó el siguiente plano en el software **AUTOCAD VERSIÓN ESTUDIANTE**.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

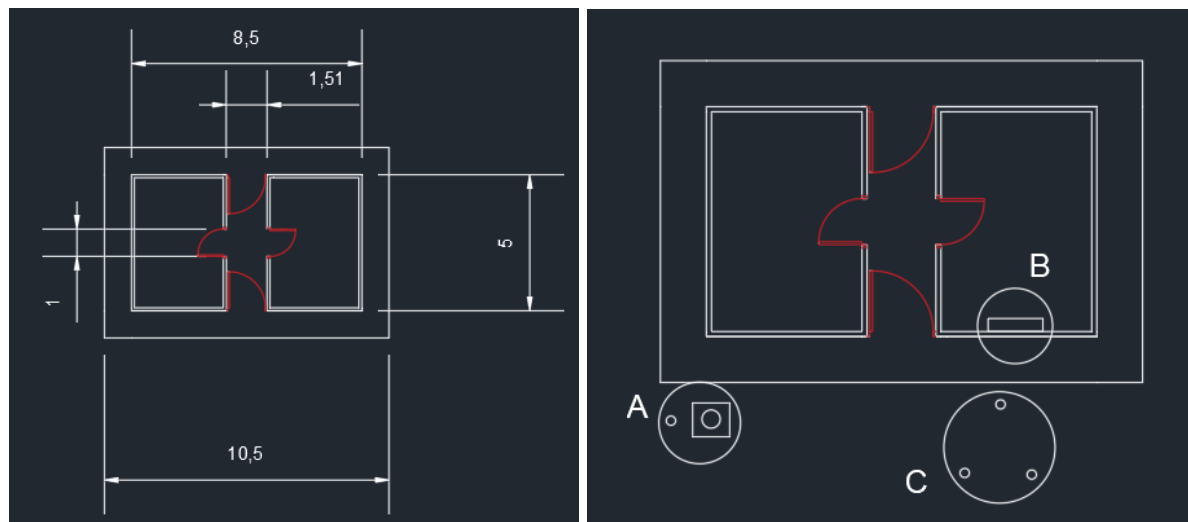


Fig. 30 Plano del área de trabajo. (Autor)

El plano de la figura (30), indica la vista superior especificando el área de trabajo y las medidas en metros, donde indica el punto está la posición de los paneles solares junto con la estructura y a 55 cm de la estructura está posicionada la puesta a tierra del sistema fotovoltaico y del impulsor de pulsos eléctricos.

La puesta a tierra del impulsor como se identifica en el círculo C de la figura (30), va de acuerdo a la norma RETIE y NTC2050, donde son 3 puntos a tierra en forma de triángulo cuya separación entre punto es de 2,40 m y en cada punto va un electrodo de cobre coperwed con una longitud de 2,40 m para evitar daños en el sistema fotovoltaico por descargas eléctricas.

En la figura. (30) se identifican 3 detalles, detalle A está ubicada la estructura que conlleva los paneles solares, con una altura de 6 m y de profundidad de 1 m que su longitud total es de 7 m. a 55 cm de la estructura se va a perforar el suelo para la puesta a tierra de los módulos solares con un electrodo de cobre coperwed de 2,40 m de longitud.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Detalle B donde se ubica el panel de mando (inversor, controlador de carga solar, breaker y el impulsor) junto a el banco de baterías con una altura del nivel del suelo de 1,30 m (por problemas de inundación) y el panel de mando esta del nivel del suelo a 1,80 m (para evitar manipulación de niños con equipos electrónicos). Detalle C, el sistema puesto a tierra (SPT) especificado anteriormente.

A continuación, se muestra el CAD del área de trabajo con las posiciones de los dispositivos electrónicos principales en 3D en la figura (31).

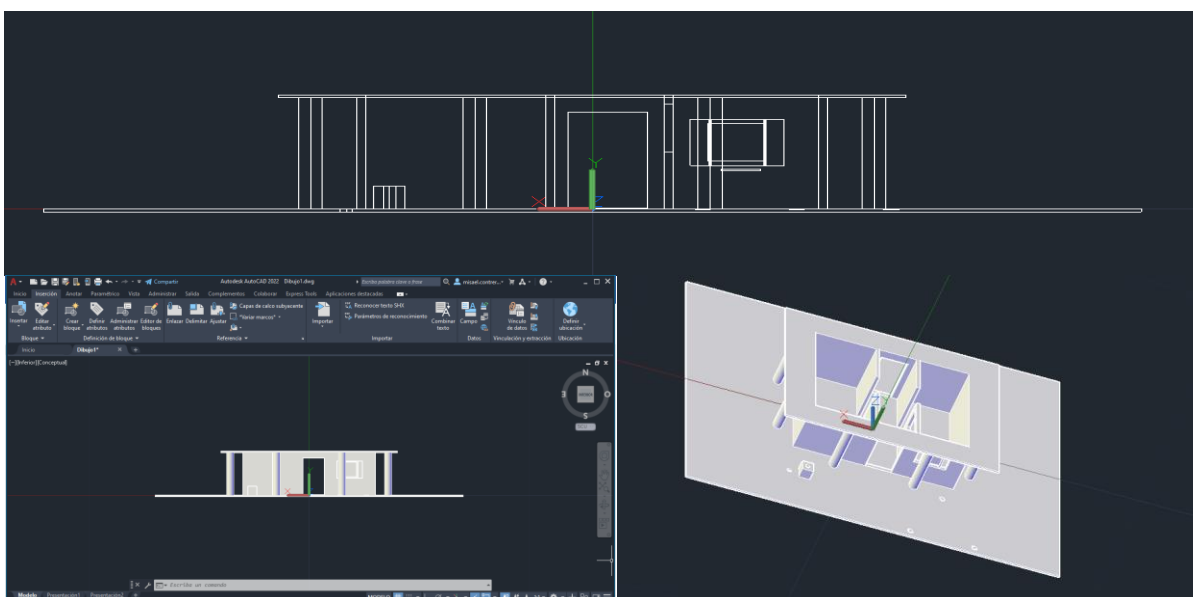


Fig. 31 CAD del área de trabajo. (Autor)

3.1.3.1. Diseño de la estructura del sistema fotovoltaico de acuerdo a los requerimientos del cliente

Una vez evaluado los materiales necesarios, se hace el diseño de la estructura en el software AUTOCAD versión estudiante, como se observa en la figura (32).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

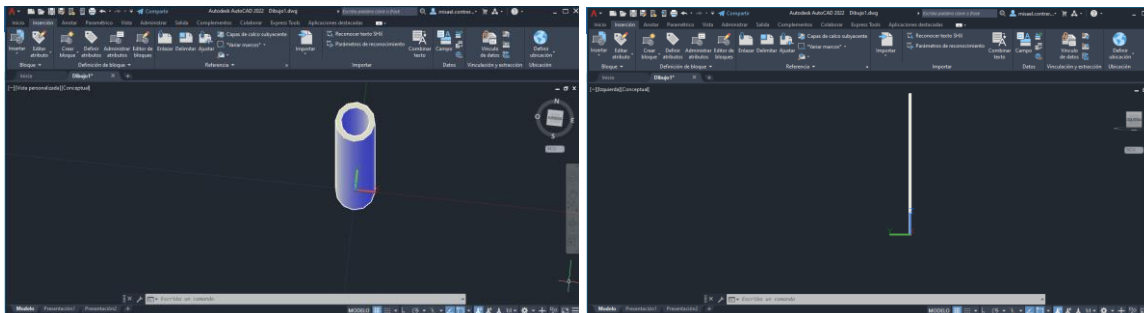


Fig. 32 *Tubo columna.* (Autor)

Para conseguir la mayor absorción de radiación solar, se escogió una estructura de longitud de 7 metros de altura, con la finalidad de aumentar el rendimiento y absorber la mayor radiación posible.

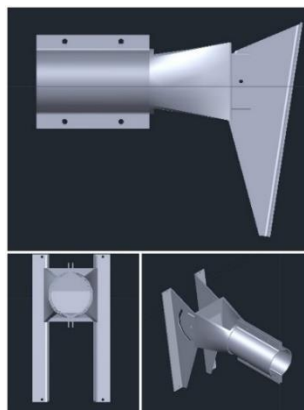


Fig. 33 *Cabezote gradual (Canister).* (Autor)

En la figura (33) se muestra el diseño de un canister, el cual tiene la funcionalidad de ajustar el tubo columna y graduar el ángulo de inclinación de los paneles solares.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

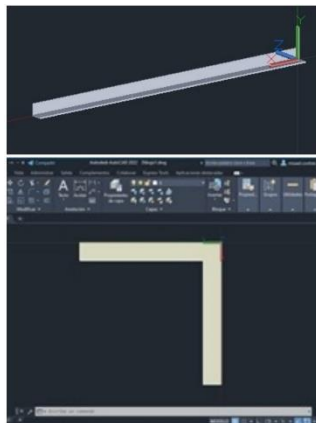


Fig. 34 *Diseño Ángulos galvanizados. (Autor)*

En la figura (34) se muestran los diseños de ángulos galvanizados. Estos ángulos metálicos tienen la funcionalidad de soportar el peso de los paneles solares y tener un buen ajuste con la estructura. Al tener el diseño completo, se hace el ensamble de todos los componentes para tener una visualización más clara de la estructura en general presentada en la figura 31.

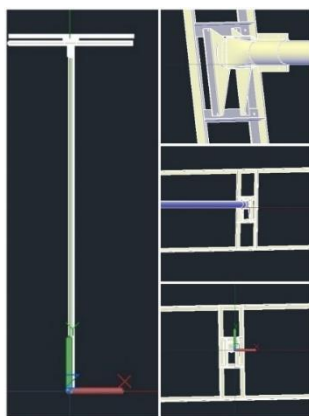


Fig. 35 *Ensamble de la estructura. (Autor)*

En la figura (35), se observa el ensamble completo con el tubo columna, se denota que el sistema queda a una distancia con respecto a la superficie del suelo considerable, con la finalidad de obtener mayor radiación solar, reducir las sombras y por seguridad.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

A continuación, se presenta los materiales cortados y perforados a la medida para hacer un ensamble efectivo.

- Se le da un acabado de pintura anticorrosiva a la estructura, para aumentar la vida útil de material.



Fig. 36 Estructura pintada con anticorrosivo. (Autor)

Como se observa en la figura (36), la estructura es de una longitud extensa. El tubo tiene un diámetro de 3 pulgadas y este compuesto de hierro, por ello primero se le echa un revestimiento de pintura anticorrosiva, para una mayor duración de la estructura en la intemperie.

Para la fijación de los paneles, se usó 3 pares de ángulos de hierro de una longitud de 0.30, 1, 2.50 metros cada par como se muestra en la figura (37).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 37 *Ángulos de sujeción.* (Autor)

Estas dos partes van ensambladas a un cabezote de metal graduable, con el fin de posicionar la inclinación correcta de los paneles. A continuación, se muestra en la siguiente figura (38):



Fig. 38 *Canister (graduable).* (Autor)

Como se observa en la figura (38), hay una ranura curvada la cual especifica el ángulo de inclinación del cabezote, haciendo más sencillo la posición correcta de los paneles solares, la cual está en los 15 grados de inclinación hacia el Sur.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 39 *Ensamble de la estructura base sin los paneles. (Autor)*

El ensamble de la estructura base se hace de forma horizontal como se muestra en la figura (39), ya que facilita el armado de los componentes y permite ordenar de forma correcta la posición de los paneles en la estructura base. La puesta de los paneles solares en la estructura está a la medida, por lo que todos los huecos de agarre de los paneles y la estructura encajan correctamente.

3.1.4. Identificación de ubicación de los paneles solares.

De acuerdo a la inspección planeada realizada, se identificó la posición de los paneles solares para un alto rendimiento en la captación de la radiación solar de la zona. Anteriormente en el diseño se hizo la identificación de cada dispositivo eléctrico por lo que se hace un análisis de las conexiones de los paneles a continuación.

3.1.4.1. Seleccionar el modelo de conexión de los paneles, de acuerdo al tipo de controlador solar PWM.

De acuerdo a los cálculos realizados, se determinó que se necesita un controlador de carga solar de 40 A, por lo que a continuación estas son algunas de sus especificaciones.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).


- Corriente nominal: 40 A
- Voltaje del sistema de reconocimiento automático: 12V / 24V
- Máximo Voltaje de entrada de energía solar: <55
- Máximo voltaje al final de la batería: <34V

De acuerdo a las anteriores especificaciones, nos centramos en el voltaje de entrada y la corriente de entrada del controlador, donde tiene un voltaje de entrada de 55 V y una corriente nominal de 40 A, por lo que se concreta la conexión de los paneles solares de forma paralela, tal que nos da como resultado un voltaje VOC de salida de los paneles de 49,7 V y una corriente de corto circuito máxima potencia de los paneles de 22,52 A.

Para la conexión de los paneles solares, se realizó una simulación en el software PSIM versión DEMO, donde se hizo el esquemático de la conexión de los módulos solares. Primeramente, se realiza una revisión detallada de la ficha técnica de los módulos solares escogidos, para la configuración en el software PSIM como se muestra en la figura (40).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

ZXM6-NH144 Series Znshinesolar 9BB HALF-CELL monocrystalline PV Module



ELECTRICAL PROPERTIES | STC*

Module Type	ZXM6-NH144-420/M	ZXM6-NH144-425/M	ZXM6-NH144-430/M	ZXM6-NH144-435/M	ZXM6-NH144-440/M	ZXM6-NH144-445/M
Nominal Power Watt Pmax(W)	420	425	430	435	440	445
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current Imp(A)	9.96	10.03	10.10	10.17	10.24	10.31
Open Circuit Voltage Voc(V)	50.6	50.8	51.0	51.2	51.4	51.6
Short Circuit Current Isc(A)	10.45	10.50	10.55	10.60	10.66	10.72
Module Efficiency (%)	19.32	19.55	19.78	20.01	20.24	20.47

*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, AM 1.5
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

ELECTRICAL PROPERTIES | NMOT*

Maximum Power Pmax(Wp)	312.4	316.0	319.6	323.4	327.2	330.9
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	39.3	39.5	39.8	40.0	40.2	40.5
Maximum Power Current Imp(A)	7.95	7.99	8.04	8.09	8.14	8.17
Open Circuit Voltage Voc(V)	47.1	47.2	47.4	47.6	47.8	47.9
Short Circuit Current Isc(A)	8.44	8.48	8.52	8.56	8.61	8.65

*NMOT(Nominal module operating temperature):Irradiance 800W/m²,Ambient Temperature 20°C,AM 1.5,Wind Speed 1m/s
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

TEMPERATURE RATINGS

NMOT	44°C ±2°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C

*Do not connect fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection

WORKING CONDITIONS

Maximum system voltage	1500 VDC
Operating temperature	-40°C~+85°C
Maximum series fuse	20 A
Maximum load (snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

MECHANICAL DATA

Solar cells	166×83 mm
Cells orientation	144 (6×24)
Module dimension	2094×1038×35 mm
Weight	24 kg
Glass	High transparency,low iron,tempered
	Glass 3.2 mm (AR-coating)
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm ² ,350 mm
Connectors	MC4-compatible

Fig. 40 Especificaciones técnicas de los módulos solares. [24]

Con la ficha técnica mostrada en la figura (40), se visualiza los parámetros de funcionamiento y las dimensiones del módulo solar, con estos datos se hace las siguientes graficas en el software PSIM para observar el comportamiento de los módulos solares en funcionamiento.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

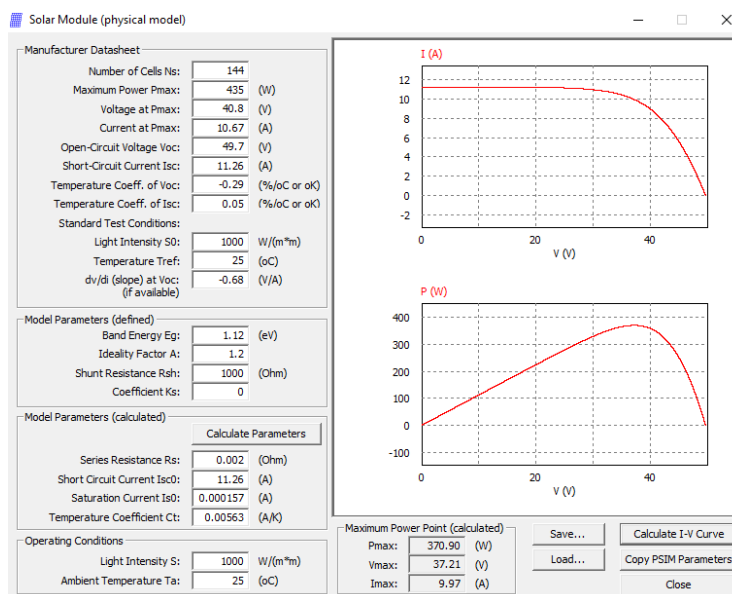


Fig. 41 Configuración de parámetros de los módulos solares. (Autor)

De acuerdo a la figura (41), con los parámetros introducidos nos da como resultado 2 curvas, la primera grafica es I-V la cual es el comportamiento de la corriente con respecto al voltaje. La segunda grafica es P-V es la potencia con respecto al voltaje, donde el punto máximo de la curva indica la potencia máxima del panel solar en funcionamiento, estas se visualizan detalladamente en la figura (42).

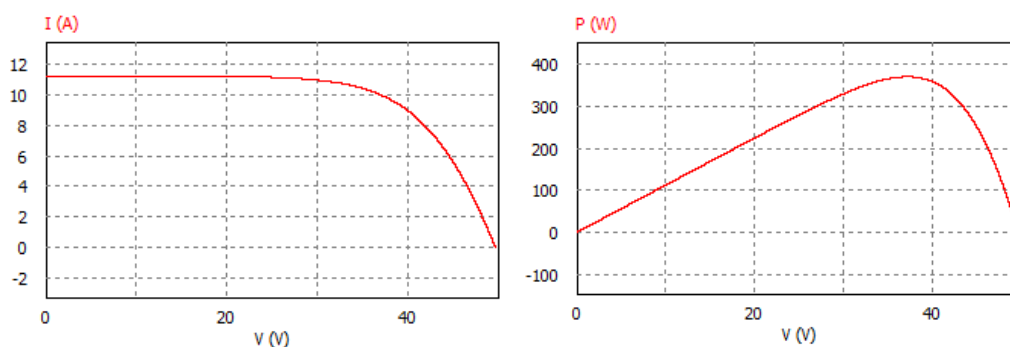


Fig. 42 I-V y P-V. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

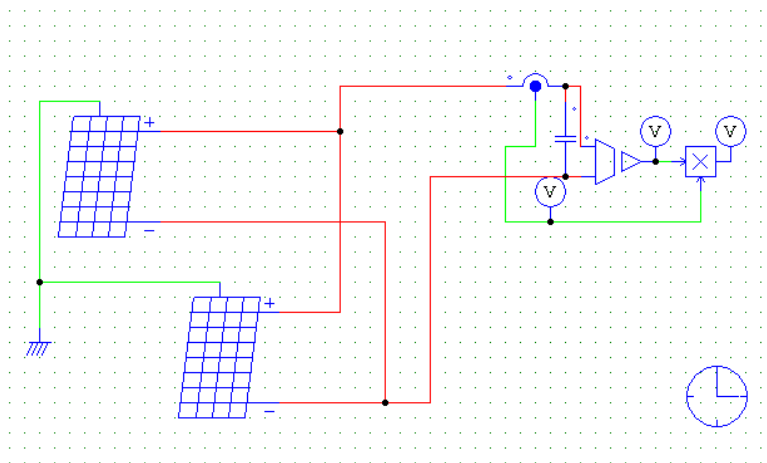


Fig. 43 Esquemático de conexión (Paralelo) módulos solares. (Autor)

De acuerdo al esquemático de la figura (43), se observó que los paneles se conectan de forma paralela de forma que corresponda con los valores calculados de corriente y voltaje hacia el controlador de carga.

Solar Module (functional model)		Display
Name	SCN1	<input type="checkbox"/>
Open Circuit Voltage Voc	49.7	<input type="checkbox"/> ▼
Short Circuit Current Isc	11.26	<input type="checkbox"/> ▼
Maximum Power Voltage Vm	40.8	<input type="checkbox"/> ▼
Maximum Power Current Im	10.67	<input type="checkbox"/> ▼

Fig. 44 Parámetros de funcionamiento de los módulos solares. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

En la figura (44) se observan la configuración de los valores técnicos de los paneles solares, se hace la simulación para la visualización de las curvas de funcionamiento.

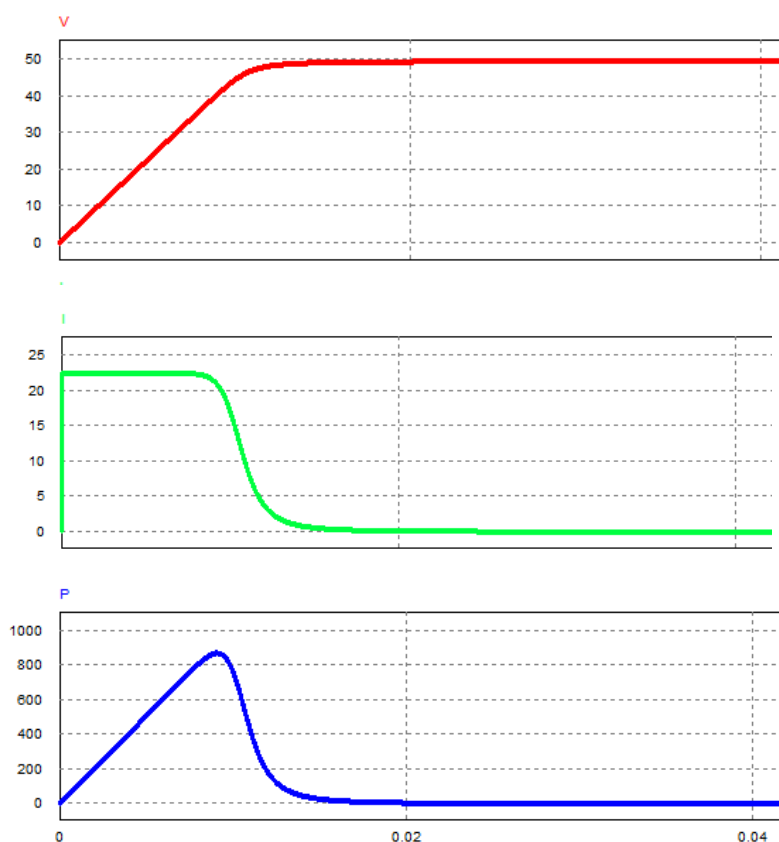


Fig. 45 *Respuesta de funcionamiento de los módulos solares. (Autor)*

En la figura (45) se observa el comportamiento del voltaje, corriente y potencia, donde el voltaje y la corriente tiene una respuesta positiva, de acuerdo a los parámetros y la potencia este alrededor de los 870 W dentro de condiciones de laboratorio, hay que tener en cuenta las pérdidas planteadas anteriormente que disminuyen la potencia de los módulos solares.

De la siguiente manera va conexasión el sistema fotovoltaico, módulos solares, controlador de carga, baterías y por último el inversor, luego va distribuida la energía hacia el hogar como se muestra en la figura. (46).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

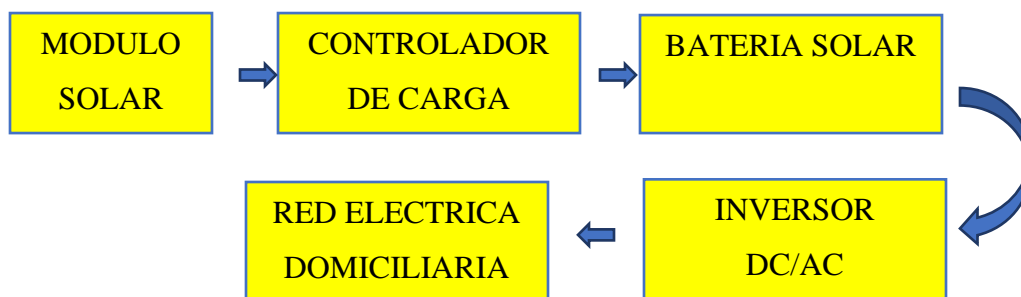


Fig. 46 *Proceso de funcionamiento del sistema fotovoltaico. (Autor)*

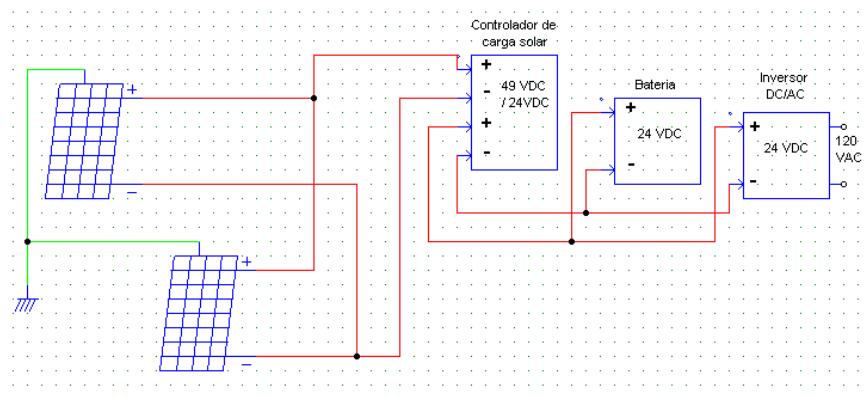


Fig. 47 *Esquema de funcionamiento del sistema fotovoltaico PSIM. (Autor)*

De acuerdo a la figura (47), se muestra la descripción del proceso de funcionamiento del sistema fotovoltaico con los datos calculados y la ficha técnica de los módulos solares. Se tiene que, el voltaje entregado por los paneles es de 49,7 V, con una intensidad de 23 A aproximadamente y una potencia de 870 W. Estos parámetros llegan al controlador de carga, donde el funcionamiento de este es garantizar el voltaje y la corriente a las baterías cuando estas las necesiten para su recuperación de carga. Luego los acumuladores le entregan energía al inversor para tener una salida de 120 VAC para la distribución energética del área.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

3.1.4.2. Trazo de un esquema de la distribución energética del área.

Para realizar un buen cableado y reducir errores en la distribución energética en el área de trabajo, se hace el diseño de un plano eléctrico en el software AUTOCAD versión estudiante, el cual muestra las conexiones de las luminarias y los interruptores con su cableado (fase, neutro, retorno) según RETIE y NTC2050 con sus simbologías técnica para la correcta interpretación por parte del cuerpo técnico.

De acuerdo a la simbología de la normativa RETIE y NTC2050 el símbolo de cada cableado se especifica de la siguiente manera:



Este símbolo representa el neutro



este símbolo representa el retorno



este símbolo representa la fase.

La figura (48) muestra la configuración triangular del STP, el cual los puntos de conexión representan el sistema puesto a tierra (SPT), se instala de forma triangular para la protección del sistema fotovoltaico y la red eléctrica de la casa, ya que el impulsor de pulsos eléctricos requiere este tipo de protección de acuerdo a la normativa RETIE y NTC2050. De esta forma la descarga eléctrica se aterriza mejor y reduce el riesgo de daños a los dispositivos que componen el sistema fotovoltaico. El diámetro de la tubería eléctrica es de ½ pulgada, donde máximo se puede introducir 6 cables eléctricos.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

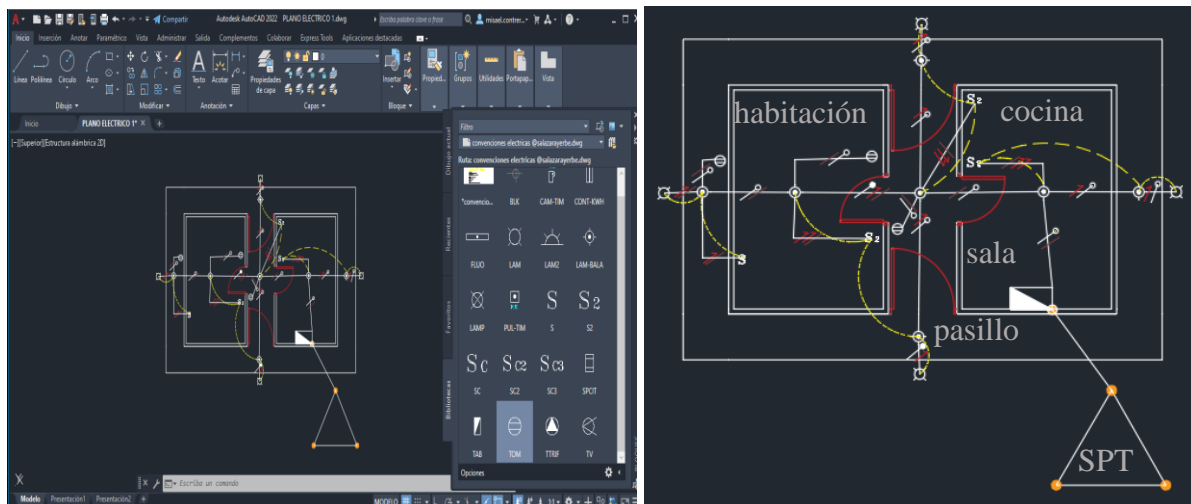


Fig. 48 Plano de distribución del cableado eléctrico. (Autor)

3.1.5. Ejecutar la instalación de sistemas fotovoltaicos

Para la ejecución de este sistema hay que tener en cuenta las herramientas que se van a utilizar y los materiales para el armado del sistema fotovoltaico y se muestran en la siguiente tabla (3):

HERRAMIENTA	CANTIDAD
Pinza Voltiamperimetrica	1
Multímetro digital	1
Brújula	1
Sunchadora	1
Pinzas pela cables	2
Alicate	2
martillo	1
Pala	1
Paladraga	1
Barretón	1

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Destornilladores	4
Arnés	2
Escalera	1
Brocha de pintura	2
Segueta	1
Marco de segueta	1
Ponchadora hidráulica	1
Corta frio	1
Llave boca estría 9/16 * ½	2
Llaves N° 10, 13	2
Rachi pequeño	1
Dados	4
Extensión de rachee	1
Taladro pulidor	1
Corta tubo PVC	1
Cuchilla	3
Soga	2
Bolso de herramienta	1

Tabla 3. Inventario de herramientas. (Autor)

MATERIALES	CANTIDAD
Panel solar 435 W doble celda 24 V	2
Controlados de carga solar de 40 A 12/24 V DC	1
Regulador inversor DC – AC 1500 W 24 V	1
Mesa para banco de baterías 0,605 m x 1,25 m	1

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Angulo galvanizado 2,5 pulg x ¼ pulg, 1,04 m	2
Angulo galvanizado 2,5 pulg x ¼ pulg, 1,19 m	2
Angulo galvanizado 2,5 x ¼ pulg, 0,35 m	2
Canister	1
Tubo galvanizado ¼ pulg, 7,50 m	1
Cable solar 2x10	12 m
Cable solar 2/0 puesta a tierra	14 m
Tubo EMT 1 pulg, 3 m	2
Unión EMT 1 pulg	2
Curva EMT 1 pulg	2
Capacete 1 pulg	3
Tornillo 5/8 cabeza hexagonal	20
Tornillo inoxidable 6mm x 25 mm	15
Tornillo drawall autoperforante	15
Terminal N° 60 de ojo bimetálico	4
Impulsor para cerca eléctrica	1
Varilla puesta a tierra de cobre coperwed 2,40 m	4
Cable #12 color café (fase)	14 m
Cable #12 color blanco (neutro)	14 m
Cable #12 color rojo (retorno)	9 m
Cable # 12 color verde (tierra)	9 m
Toma corriente	3
Sócalo	7

Tabla 4. Materiales para instalación. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

En la tabla (4), se muestra los materiales utilizados para la instalación del sistema fotovoltaico, con sus referencias y cantidades.

3.1.5.1. Instalación de cada elemento eléctrico en su correcto posicionamiento

Al momento de la ejecución, cada cuerpo técnico y profesional se encarga de una tarea específica de forma paralela a las demás actividades, de forma que una actividad no interfiere con las demás tareas. Sin embargo, anunciare una serie de pasos para la respectiva instalación y son los siguientes:

- Ubicar el panel de mando, este va ligado a la cercanía entre el posicionamiento de los paneles solares para disminuir costos en materiales conductivos y reducir la caída de tensión por parte de la resistencia de los conductores. Entre más distancia tenga que recorrer el fluido eléctrico, va haber una caída de tensión considerable que baja el rendimiento óptimo del sistema fotovoltaico, como se muestra en la figura (49).



Fig. 49 Posicionamiento del panel de mando con sus accesorios eléctricos. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

3.1.5.2. Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Inversor DC a AC, Controlador PWM, Breaker e impulsor)

- Se establece la ubicación de la estructura base de los paneles solares, posiblemente cerca al panel de mando, como se muestra en la figura (50).



Fig. 50 Posicionamiento de la estructura base de los paneles. (Autor)

- Se hace la zanja para incrustar el tubo dentro del terreno, para tener un mayor soporte y fijación hacia los paneles solares, como se muestra en la figura (51).



Fig. 51 Cavidad para incrustar la estructura. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

- Luego se ubica la estructura de forma horizontal, esta estructura se sube en una orqueta a una distancia de la superficie del suelo de 1,50 Mt, con una inclinación de 35 grados para el ensamble de los paneles solares en ella, como se muestra en la figura (52).



Fig. 52 *Ubicación de la estructura de forma horizontal inclinada. (Autor)*

- Se ensambla los paneles solares con sus respectivas conexiones eléctricas, tornillos y tuercas de presión para garantizar la durabilidad y prevenir caídas de estos módulos por fuertes vientos, las cuales se deja una distancia de 5 cm entre modulo para cortar el viento, como se muestra en la figura (53).

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**



Fig. 53 *Conexiones eléctricas de los paneles (Paralelo). (Autor)*



Fig. 54 *Ensamble de los paneles a la estructura. (Autor)*

- Una vez ensamblado los paneles con la estructura, se verifica que la distancia entre cada panel solar sea de 5 cm para cortar el viento y evitar perjuicio en la estructura, como se muestra en la figura (54). Se prosigue a hacer el levantamiento del sistema, este levantamiento se hace de forma empírica a fuerza bruta por parte de la totalidad del equipo de trabajo.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 55 Estructura de forma vertical con paneles ensamblados. (Autor)

- Con el sistema ubicado de forma ortogonal entre la superficie del terreno como se ilustra en la figura (55), se prosigue a ubicarla de forma que los paneles queden observando hacia el sur, esta ubicación se garantiza y se corrobora por medio de una brújula.



Fig. 56 Brújula para la correcta ubicación de los paneles. (Autor)

Para tener una buena posición y ángulo de inclinación de los módulos, hay que tener en cuenta la latitud del lugar y la orientación de acuerdo a la línea del ecuador, la cual nos indica el recorrido del sol. De acuerdo a nuestra posición estamos a una latitud de 10° Norte, lo que corresponde a un ángulo de inclinación de 15° a 20° sobre la horizontal, en este caso se ubicó la inclinación de 15° con respecto a la horizontal. Nuestra orientación es en el lado Norte, lo que significa que los módulos solares se ubican mirando hacia el sur, como se ilustra en la figura (56).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Se deja fijo la posición de la estructura con los módulos solares agregándole concreto en la zanja donde esta incrustado el tubo, esta tiene soportes de amarres que ayudan a que no se mueva y permite que el concreto haga su trabajo, como se muestra en la figura (57).



Fig. 57 *Vaciado de concreto en la cavidad de incrustación de la estructura. (Autor)*

- La conexión de las baterías es serie-paralelo, estas baterías son secas a 12 v con una corriente de 150 Ah cada una.



Fig. 58 *Conexión de las baterías (serie-paralelo). (Autor)*

Las baterías se conexionan de forma seria-paralelo ya que son baterías de 12 VDC y para que el inversor funcione correctamente necesitamos un voltaje de entrada al inversor de 24 VDC, de

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

acuerdo a la figura (58) se muestra 4 baterías, se seleccionan 2 pareja de baterías y cada pareja va conectada de forma serie para que el voltaje sea de 24 VDC, luego se conectan las 2 parejas de baterías en paralelo para tener mayor capacidad de tensión y evitar déficit a la hora de entregar energía al inversor, como se muestra en la figura (58) y (59).



Fig. 59 *Conexionando las baterías con el inversor. (Autor)*

3.1.5.3. Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Inversor DC a AC, Controlador PWM, Breaker)

- Se hace la conexión entre las terminales eléctricas de los paneles hacia el tablero de mando, el cual está conformado por el inversor, controlador solar, el breaker y el impulsor. Las conexiones empiezan desde la entrada de voltaje de los paneles hacia el breaker, esta hace la funcionalidad de permitir o no el paso de la energía recolectada por los módulos solares. Luego sigue la conexión hacia el controlador de carga solar, el cual su funcionalidad es automatizar la carga de los acumuladores de energía y no permitir que se descarguen incorrectamente. Por consiguiente, del controlador de carga se dirige hacia las baterías, donde estas son las que dan constancia de energía en el lugar por

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

medio de un inversor DC/AC para la energía eléctrica domiciliaria 120VAC. A continuación, se muestra las posiciones y el cableado de los dispositivos electrónicos en la caja de mando del sistema fotovoltaico, como se muestra en la figura (60).



Fig. 60 *Conexión de los componentes del panel demanda con los paneles solares. (Autor)*

3.1.5.4. Efectuar la instalación de los polos a tierra, para prevenir cualquier daño por causa de descarga eléctrica.

A 30 cm de la zanja del tubo, se hace la zanja para la puesta a tierra del sistema fotovoltaico, esta garantiza la seguridad y previene daños al sistema por altas descargas eléctrica de la naturaleza. El electrodo de cobre tiene una longitud de 2,40 Mt, este electrodo va incrustado en la zanja y conectado con los paneles solares, como se ilustra en la figura (61).

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**



Fig. 60 Zanja para puesta a tierra con su electrodo incrustado. (Autor)

Para el sistema de puesta a tierra del impulsor con el tablero de mando, se realizó de acuerdo al diseño eléctrico de forma triangular con varillas de coperwed de 2.4 metros incrustadas y conectadas entre sí, como se muestra en la figura (62).



Fig. 62 Elaboración de zanja para el SPT del tablero de mando y el impulsor. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

El ancho de la zanja es de 20 cm aproximadamente con una profundidad de 50 cm, esto hace que la descarga sea más efectiva y evita el contacto con los habitantes del lugar, protegiendo el sistema de manera correcta y funcional.

3.1.5.5. Realizar el cableado interno y puntos eléctricos del área, de acuerdo a las normas de la RETIE.

Se realiza las conexiones eléctricas del lugar y las distribuciones de los puntos eléctricos. Para ello se instalaron los sócalos, interruptores dobles, simples y toma corrientes, de acuerdo a la normativa RETIE y NTC2050. El material aislante para la distribución de los conductores es de un tubo PVC de ½ pulgada, como se muestra en la figura (63).



Fig. 63 *Distribución de las conexiones eléctricas del lugar. (Autor)*

3.1.6. Validar el buen funcionamiento del sistema con pruebas de medición energética.

3.1.6.1. Examinación de cada punto eléctrico (paneles, baterías, cableado del área) con su posible corrección.

- Se verifica si está llegando la carga correcta al controlador para posteriormente enviársela a las baterías, y se conecta el inversor con las baterías, como se muestra en la figura (64).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 64 Controlador solar con la carga de los paneles solares en buen funcionamiento. (Autor)

Para el correcto funcionamiento del controlador, se verifica si está entrando la energía proveniente de los módulos solares hacia el controlador de carga solar. La entrada de voltaje es de aproximadamente de 47 VDC y se observa el símbolo que muestra el controlador al recibir la energía de los paneles, esta figura asemeja al sol. En la salida se denota que expulsa una energía de 26 V aproximadamente para el cargue de los acumuladores de energía y al inversor. De acuerdo a esto se debió hacer la programación para que el controlador tenga un rango de profundidad de descarga de las baterías, este rango se empleó del 10% para alargar la vida útil de este, como se muestra en la figura (65).



Fig. 65 Inversor en buen funcionamiento, arrojando 117 VAC. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Para la verificación del funcionamiento del inversor, se visualiza en la figura (60) la entrada y la salida, está la denota el dispositivo por medio de indicadores numéricos, el cual la entrada proviene de las baterías es de 26.7 VDC y la salida es de 117 VAC, indicando un funcionamiento óptimo para el sistema.

3.1.6.2. Evaluación del sistema fotovoltaico con las cargas

Para la evaluación del sistema fotovoltaico, se hicieron medidas de energía mediante un instrumento de medición (Multímetro y Amperímetro) el cual nos mostró el buen estado de las conexiones, distribución e instalación del sistema. También se verificó el funcionamiento con las cargas, se encendieron cada una de los instrumentos electrónicos del hogar para establecer el rendimiento óptimo de la instalación, el cual hubo un resultado positivo y esperado, como se muestra en la figura (66).



Fig. 66 Iluminación con el sistema funcionando correctamente. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4. Instalación de Sistema Fotovoltaico en Pinillos, Sur de Bolívar

4.1. Metodología

4.1.1. Realizar una inspección planeada en la zona de la futura instalación

4.1.1.1.Verificación del lugar donde hay mayor radiación solar.

En este apartado se demuestra los estudios pertinentes que se elaboraron en las zonas de instalaciones de sistemas fotovoltaicos dependiendo de su uso. El método conveniente para este tipo de estudios es el siguiente:

- Visita en el lugar de la instalación, sea comercial, industrial o campo rural.
- Desplazamiento en las posibles áreas de instalación del lugar.
- Inspección del terreno de forma empírica.
- Priorizar áreas con mayor radiación solar.

4.1.1.2.Detallar el área de trabajo

Para realizar un detalle del área de instalación, es necesario hacer un recorrido de inspección planeada, para hacer un correcto posicionamiento de los equipos, así se garantiza un óptimo rendimiento en el sistema fotovoltaico.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.2. Calcular el consumo energético requerido, para una correcta Selección de materiales.

Para el cálculo del consumo energético se hizo necesario hacer los siguientes pasos:

- Numero de cargas.
- Verificar los vatios de cada carga.
- Tiempo de activación energética por cada carga.

4.1.2.1. Plantear las ecuaciones necesarias para un correcto cálculo del consumo energético

Luego de los pasos anteriores se hace los respectivos cálculos para cuantificar el total de vatios.

Las especificaciones dadas por el cliente son las siguientes tablas (5):

CANTIDAD	CARGAS	VATIOS (W)	TIEMPO (h)	TOTAL (Wh)
7	Bombillos led	12	3	252
2	Ventilador	65	6	780
2	Reflector	30	6	360
1	Laptop	45	3	135
1	TV	60	4	240
2	Telefono celular	20	2	800
TOTAL				2567

Tabla 5. dimensionamiento de cargas

De acuerdo con la información de la tabla (5) se hacen los siguientes cálculos para obtener la energía promedio diaria, necesaria para la selección de los materiales.

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Bombillos led: $7 * 12 \text{ W} * 3 \text{ h} = 252 \text{ Wh}$

Ventilador: $2 * 65 \text{ W} * 6 \text{ h} = 780 \text{ Wh}$

Reflectors led: $2 * 30 \text{ W} * 6 \text{ h} = 360 \text{ Wh}$

Laptop: $1 * 45 \text{ W} * 3 \text{ h} = 135 \text{ Wh}$

TV: $1 * 60 \text{ W} * 4 \text{ h} = 240 \text{ Wh}$

Teléfono celular: $2 * 20 \text{ W} * 2 \text{ h} = 800 \text{ Wh}$

Luego se hace la suma de todos los vatios:

$$\text{Total vatios} = 252 \text{ Wh} + 780 \text{ Wh} + 360 \text{ Wh} + 135 \text{ Wh} + 240 \text{ Wh} + 800$$

$$\text{Total vatios} = 2992 \text{ Wh}$$

En (18) se hace las sumatorias de las potencias de cada una de las cargas, esto nos sirve para dimensionar de forma correcta la cantidad de módulos que se necesitan para suplir la demanda energética.

El paso siguiente es sumar los vatios de las cargas individuales, esto nos facilita el cálculo de la potencia del inversor más adelante.

$$W_d = 12\text{W} + 65\text{W} + 30\text{W} + 45 \text{ W} + 60 \text{ W} + 20 \text{ W}$$

$$W_d = 234 \text{ W}$$

En (19) se hace la sumatoria de las potencias sin tener en cuenta la cantidad de tiempo en uso, solamente la potencia de las cargas como tal.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.2.2. Obtener la cantidad de paneles necesarios para el correcto funcionamiento del sistema

Para la obtención de la cantidad de paneles, hay que tener en cuenta ciertos datos y especificaciones de los módulos fotovoltaicos las cuales son:

- Cantidad de vatios producidos
- Dimensión del modulo
- Hora solar pico.

Una vez tenido en cuenta los datos anteriores se procede a identificar el módulo correcto para el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Hay que tener en cuenta que cada panel en hora pico produce 1000 W por metro cuadrado eso considerando que la temperatura del panel este a unos 25°C, lo que en esta parte del caribe colombiano la temperatura es mayor.

Para el primer paso, se divide el total de Wh entre un factor de seguridad para el funcionamiento del panel que equivale al 0.539 en la ecuación (20).

$$f_s = \frac{2567 \text{ Wh}}{0.539} = 4763 \text{ Wh}$$

Con la siguiente ecuación (21) se calcula la potencia de paneles pico requeridos.

$$P_w = \frac{T_w}{h_{sp}}$$

Donde:

P_w es el total de demanda de energía

h_{sp} es la hora de sol de pico del lugar, en la zona sur de Bolívar está en 5.0 hsp

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Se reemplazan los valores en la ecuación (21):

$$P_w = \frac{4763 W}{5 HSP} = 953 Wh$$

La HSP indica cuanto tiempo los módulos solares están operando a su máxima potencia, por lo que es un factor importante para la cuantía del sistema y la cantidad de paneles solares a utilizar. Al hacer inventario en la bodega de materiales, se seleccionó paneles de 435 W. Por lo cual se escogieron 3 paneles para sobrepasar los 963Wh. Sin embargo, hay que sumarle las pérdidas del sistema fotovoltaico que equivale al 20% las cuales son las siguientes:

- Temperatura, 4% por cada aumento de 10°C teniendo en cuenta la temperatura ambiente de estas zonas del sur de Bolívar es de 40°C, por lo que sería un 16% de pérdidas por temperatura.
- Resistencia en el material conductor, 0,8%
- Pérdidas angulares y espectrales, 0,5 %
- Pérdidas por rendimiento inversor DC/AC, 0,7%
- Pérdidas por sombreado del generador fotovoltaico, 0,4%

Al sumar las pérdidas el resultado total es de un 18,4% aproximadamente 20%, este factor de pérdidas se le suma a la demanda de potencia P_w en la siguiente ecuación (22).

$$N_p = \frac{963 W * 1.20}{435 W}$$

$$N_p = 2.65 \approx 3 \text{ paneles de } 435 W$$

Donde:

1.20 es el 20% de las pérdidas en el sistema fotovoltaico

435 W es la potencia de paneles escogidos

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Al comparar la demanda de energía con la eficiencia de los paneles, se puede concluir que con los dos paneles de 435 W hay un rendimiento óptimo para el sistema fotovoltaico requerido.

4.1.2.3. Establecer la cantidad de baterías para un óptimo rendimiento del sistema

Para el cálculo del número de baterías necesarios, hay que tener en cuenta la cantidad de demanda energética diaria, el voltaje y la cantidad de días de autonomía, esto se ve reflejado en la siguiente ecuación (23):

$$C = \frac{Tw}{V * Pd} * diasA$$

Donde:

Tw potencia de paneles pico en un día

V es el voltaje, que en las baterías es de 12V

Pd es la profundidad de descarga que ronda entre un 60% en las baterías secas

diasA es el número de días de autonomía de las baterías, 2 días de autonomía.

La profundidad de descarga en las baterías es importante, de ello se ve reflejado la duración de su funcionamiento, ya que, si se deja descargar mucho la batería, esta podría sufrir daños irreparables reduciendo su vida útil y aumentando los costos por mantenimiento. De acuerdo al número de días de autonomía se hizo el dimensionamiento con 2 días de autonomía, ya que evita que las baterías tengan descargas profundas y el costo del banco de batería disminuye.

Se reemplaza los valores en la ecuación (23):

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

$$C = \frac{2567Wh}{12 v * 0,6} * 2 dia$$

$$C = 713 Ah$$

De acuerdo al anterior resultado se escoge 6 baterías de 12V a 125 Ah para suplir la demanda energética requerida.

Para el cálculo del inversor no hay que tener en cuenta la potencia de los paneles, si no la potencia de las cargas en alternas que requieren mayor corriente al momento de encender en este caso es el ventilador, por lo que en este caso es de 65 W multiplicado por la cantidad y va ligado al coeficiente de simultaneidad reflejado en la siguiente ecuación (24):

$$P_i = 1.25 * (P_{ac} * 4) \quad (24)$$

Donde:

P_i es potencia del inversor

P_{ac} potencia en alterna

25% es el margen de seguridad del inversor

$$P_i = 1.25 * (130 * 4)$$

$$P_i = 650 W \quad (25)$$

Se multiplica por 4 por lo que, al momento de encender una carga inductiva, esta genera sobre picos de corrientes en un instante del arranque, lo cual es 4 veces la potencia nominal de la carga.

Se escogió un inversor de 1500 W porque el cliente desea agregar más cargas y ampliar el sistema fotovoltaico en un futuro, para un mayor funcionamiento óptimo del sistema, reduciendo problemas por caída de tensión y pérdidas de funcionamiento del inversor que ronda en el 0,7%.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Para el cálculo del Controlador de Carga se tiene en cuenta varios factores, la corriente máxima en corto circuito del panel solar, el número de paneles y un factor de seguridad. Con esta ecuación se define el tipo de controlador solar y sus requerimientos técnicos para una buena optimización en el sistema.

$$I_{in} = 1,25 * I_{mod} * N_p \quad (26)$$

Donde;

1,25 es un factor de seguridad para evitar daños en el controlador de carga

I_{mod} es la corriente máxima en cortocircuito del módulo solar, que para el panel de 435 W es de 10,8 A.

N_p es el número de paneles.

I_{in} es la corriente de entrada al controlador de carga.

$$I_{in} = 1,25 * 10,8 A * 3$$

$$I_{in} = 38,88 A$$

La corriente de entrada calculada en la ecuación (25), es la que ingresa hacia el controlador de carga debe soportar una intensidad de flujo de 27 A mínimo. Para la corriente de salida **I_{out}** es necesario tener en cuenta las cargas en alterna y en directa presentadas en (26).

$$Q_d = 12 W + 30 W + 45 W + 60 W + 20 = 167 W$$

$$Q_{ac} = 65 W$$

$$I_{out} = \frac{1,25 * (Q_d + \frac{Q_{ac}}{0,95})}{24 V} \quad (27)$$

$$I_{out} = \frac{1,25 * (167 W + \frac{65 W}{0,95})}{24 V}$$

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

$$I_{out} = 12,26 \text{ A}$$

Donde:

1.25 es un factor de seguridad para evitar daños ocasionales al regulador

95% de eficiencia del inversor

Qd cargas en CD

Qc cargas en alterna

En (27) se calculó la corriente de salida, se tiene 10,24 A. De acuerdo a la corriente de entrada que exige el sistema fotovoltaico al controlador, se seleccionó un dispositivo de carga de 40 A máximo de carga de 24 V de salida en DC.

Cálculo de corriente eléctrica nominal (calibre de los conductores) AC

Conductor fase

La instalación del área es monofásica, por lo que se hacen los cálculos para la selección del calibre de los conductores dependiendo de la carga, para calcular la corriente nominal se utiliza la siguiente ecuación (28):

$$I_{nominal} = \frac{P}{V * \cos\alpha}$$

Donde:

P es la potencia de las cargas

V es el voltaje nominal, en este caso es de 120 VAC

$\cos\alpha$ es el factor de potencia, en este caso es de 0,9

Al reemplazar tenemos que:

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

$$I_{nominal} = \frac{2567W}{120V * 0,9} = 23,76 A$$

Los conductores no pueden tener una capacidad menor a la carga más el 25% de la carga en corriente continua o alterna (Artículo 210.19(A)(1)(a) de la norma NTC2050).

$$Inc = 23,76 A * 1,25$$

$$Inc = 35,65 A$$

De acuerdo al resultado arrojado en (29), Inc es la corriente nominal para elegir el calibre del conductor según la tabla 310.15(B)(16) de la norma RETIE Y NTC2050. Como en la tabla no hay un calibre específico para la corriente de 21,01 A escogemos el que se aproxima, en este caso es de 25 A, por lo que se elige un calibre de 12 AWG de cobre con temperatura de 75°C.

Luego se elige el factor de corrección de temperatura para asegurar que el calibre escogido es el indicado para soportar las cargas exigidas, en la tabla 310.15(B)(2)(a) de la norma RETIE Y NTC2050 se elige el factor de corrección de temperatura de acuerdo a la temperatura ambiente del área, en la zona de la instalación hay una temperatura ambiente de 37°C, por lo que el factor de corrección es de 0,88.

Para el factor de ajuste en una canalización donde se agrupan los conductores, en este caso son 3 conductores (fase, neutro y tierra) según la tabla 310.15(B)(3)(a) de la norma RETIE Y NTC2050 para 3 conductores el valor del factor de ajuste es del 80%. Al tener los valores especificados se procede a calcular la corriente nominal ajustada.

$$I_{nominal_ajustada} = (35 A) * (0,88) * (0,80) = 24,64 A$$

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Donde el resultado de (30) es llamado la ampacidad corregida que indica que la ampacidad debe ser mayor a la corriente de la carga, si es así, el conductor escogido anteriormente es adecuado para soportar la corriente que atraviesa por el conductor.

Cálculo conductor neutro

Para el cálculo del conductor neutro hay que tener en cuenta la norma RETIE Y NETC2050 esta menciona que el conductor neutro debe soportar la máxima corriente de equilibrio de los conductores portadores de corriente por lo que:

$$I_{\text{neutro}} = I_{\text{fase}} = 23,76 \text{ A}$$

De acuerdo a (31), indica que el calibre para el conductor neutro es igual al calibre del conductor fase calculado anteriormente (calibre 12 AWG).

Cálculo conductor tierra

Según el artículo 210.20 de la normativa RETIE Y NETC2050 especifica las condiciones para la protección eléctrica contra sobrecorrientes. Para escoger el conductor hay que tener en cuenta que debe soportar el 125% de las corrientes nominales de los conductores, Para eso se le da una protección asignada de 20 A. De acuerdo al valor anterior nos dirigimos a la tabla 250.122 de la normativa RETIE Y NTC2050 llamado (calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalización y equipos). Donde indica que el calibre para la puesta a tierra es de 10 AWG.

Para un buen funcionamiento de los equipos, se escogen los conductores con los anteriores calibres calculados, con un tipo de revestimiento THHN el cual es un tipo de revestimiento termoplástico resistente al calor y se puede aplicar en zonas secas o húmedas.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.3. Diseñar el esquema de conexión y posicionamiento de los equipos

Para el diseño del esquema de conexión es necesario hacer una breve medición del área, lo cual se realizó el siguiente plano en el Software AutoCAD **versión estudiante**.

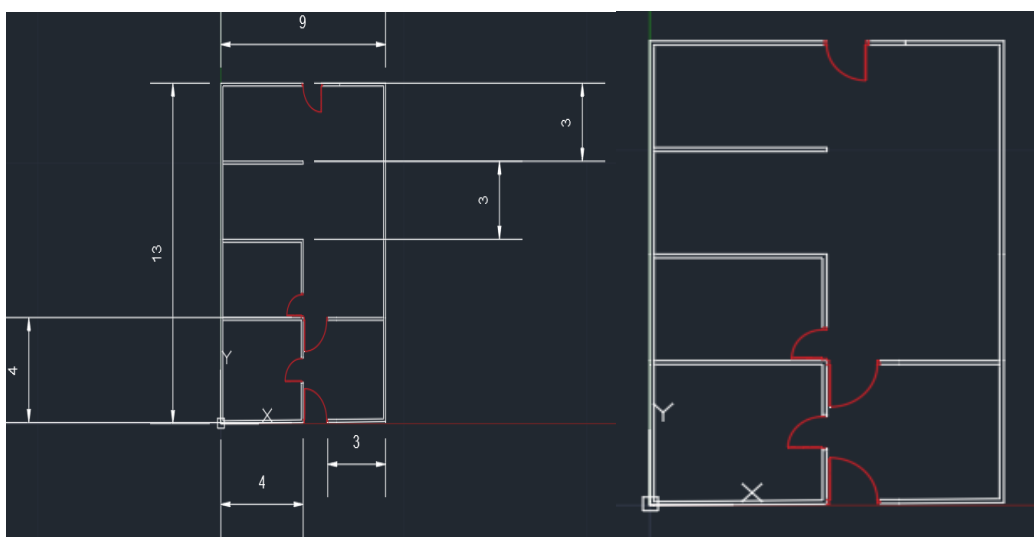


Fig. 67 Plano del área de trabajo. (Autor)

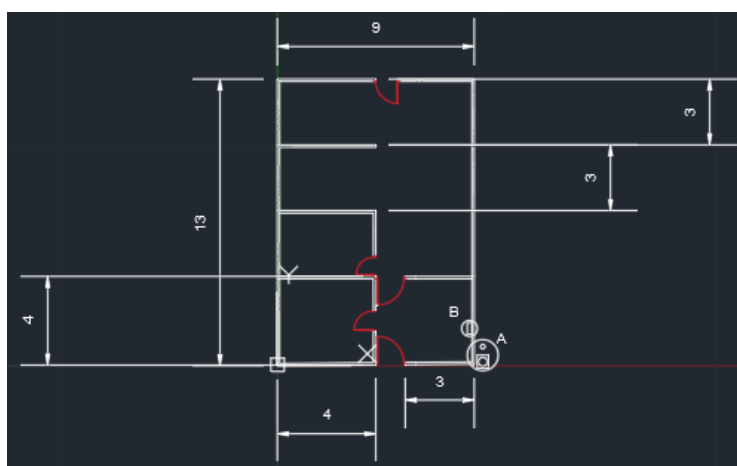


Fig. 68 Plano ubicación de los paneles solares y el panel de mando. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

El plano de la figura (67), indica la vista superior especificando el área de trabajo y las medidas en metros, donde indica el punto está la posición de los paneles solares junto con la estructura y a 75 cm de la estructura está posicionada la puesta a tierra del sistema fotovoltaico.

En La figura (68) se identifican 2 detalles, detalle A está ubicada la estructura que conlleva los paneles solares, con una altura de 6 m y de profundidad de 1 m que su longitud total es de 7 m. a 55 cm de la estructura se va a perforar el suelo para la puesta a tierra de los módulos solares con un electrodo de cobre coperwed de 2,40 m de longitud.

Detalle B donde se ubica el panel de mando (inversor, controlador de carga solar, breaker y el impulsor) junto a el banco de baterías con una altura del nivel del suelo de 1,30 m (por problemas de inundación) y el panel de mando esta del nivel del suelo a 1,80 m (para evitar manipulación de niños con equipos electrónicos).

A continuación, se muestra el CAD del área de trabajo, para una correcta visualización de los espacios laborales para la ejecución del sistema fotovoltaico en la figura (69).

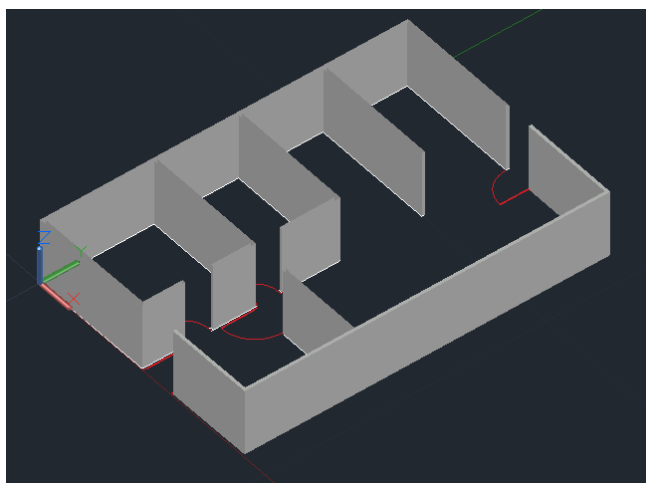


Fig. 69 CAD del área de trabajo. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.3.1. Diseño de la estructura del sistema fotovoltaico de acuerdo a los requerimientos del cliente

Una vez evaluado los materiales necesarios, se hace el diseño de la estructura en el software AUTOCAD versión estudiante, como se observa en la figura (70).

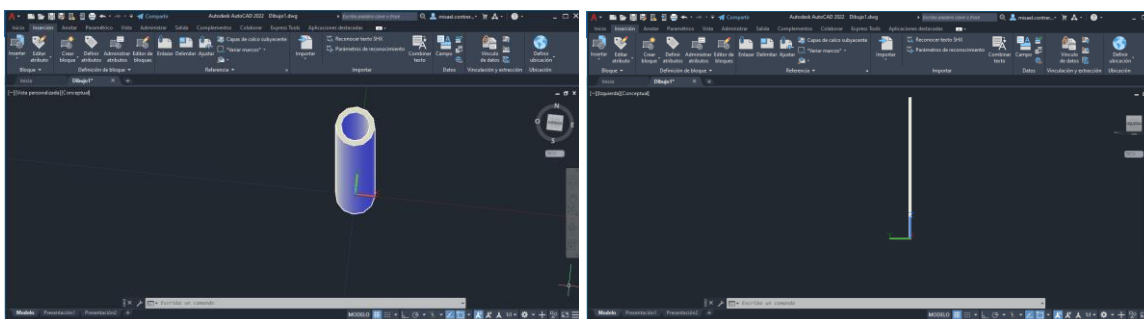


Fig. 70 *Tubo columna. (Autor)*

Para conseguir la mayor absorción de radiación solar, se escogió una estructura de longitud de 7 metros de altura, con la finalidad de aumentar el rendimiento y absorber la mayor radiación posible.

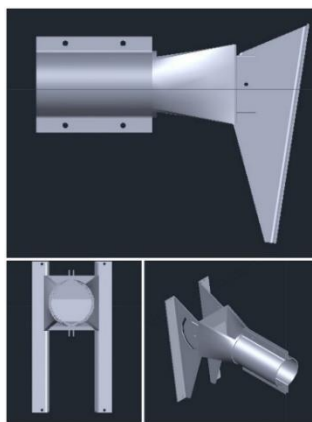


Fig. 71 *Cabezote gradual (Canister). (Autor)*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

En la figura (71) se muestra el diseño de un canister, el cual tiene la funcionalidad de ajustar el tubo columna y graduar el ángulo de inclinación de los paneles solares.

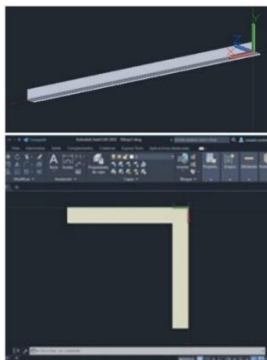


Fig. 72 *Diseño Ángulos galvanizados. (Autor)*

En la figura (72) se muestran los diseños de ángulos galvanizados. Estos ángulos metálicos tienen la funcionalidad de soportar el peso de los paneles solares y tener un buen ajuste con la estructura. Al tener el diseño completo, se hace el ensamble de todos los componentes para tener una visualización más clara de la estructura en general presentada en la figura (73).

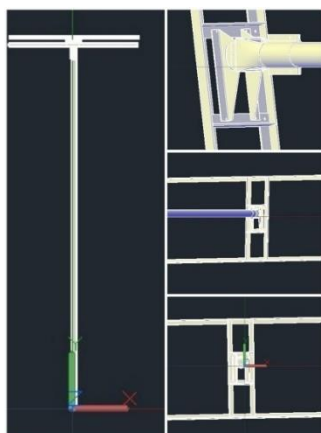


Fig. 73 *Ensamble de la estructura. (Autor)*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

En la figura (73), se observa el ensamble completo con el tubo columna, se denota que el sistema queda a una distancia con respecto a la superficie del suelo considerable, con la finalidad de obtener mayor radiación solar, reducir las sombras y por seguridad.

A continuación, se presenta los materiales cortados y perforados a la medida para hacer un ensamble efectivo.

- Se le da un acabado de pintura anticorrosiva a la estructura, para aumentar la vida útil de material como se muestra en la figura (74).



Fig. 74 *Aplicación de pintura anticorrosiva a la estructura. (Autor)*

4.1.3.2. Identificación de ubicación de los paneles solares.

De acuerdo a la inspección planeada realizada, se identificó la posición de los paneles solares para un alto rendimiento en la captación de la radiación solar de la zona. Anteriormente en el diseño se hizo la identificación de cada dispositivo eléctrico por lo que se hace un análisis de las conexiones de los paneles a continuación.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.3.3. Seleccionar el modelo de conexión de los paneles, de acuerdo al tipo de controlador solar PWM.


De acuerdo a los cálculos realizados, se determinó que se necesita un controlador de carga solar de 40 A, por lo que a continuación estas son algunas de sus especificaciones.

- Corriente nominal 40 A
- Voltaje del sistema reconocimiento automático de 12V / 24V
- Máx. Voltaje de entrada de energía solar <55
- Máx. voltaje al final de la batería <34V

De acuerdo a las anteriores especificaciones, nos centramos en el voltaje de entrada y la corriente de entrada del controlador, donde tiene un voltaje de entrada de 55 V y una corriente nominal de 40 A, por lo que se concreta la conexión de los paneles solares de forma paralela, tal que nos da como resultado un voltaje VOC de salida de los paneles de 49,7 V y una corriente de corto circuito máxima potencia de los paneles de 22,52 A.

Para la conexión de los paneles solares, se realizó una simulación en el software PSIM versión DEMO, donde se hizo el esquemático de la conexión de los módulos solares. Primeramente, se realiza una revisión detallada de la ficha técnica de los módulos solares escogidos, para la configuración en el software PSIM como se muestra en la figura (75).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

ZXM6-NH144 Series Znshinesolar 9BB HALF-CELL monocrystalline PV Module 

ELECTRICAL PROPERTIES | STC*

Module Type	ZXM6-NH144-420/M	ZXM6-NH144-425/M	ZXM6-NH144-430/M	ZXM6-NH144-435/M	ZXM6-NH144-440/M	ZXM6-NH144-445/M
Nominal Power Watt Pmax(W)	420	425	430	435	440	445
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current Imp(A)	9.96	10.03	10.10	10.17	10.24	10.31
Open Circuit Voltage Voc(V)	50.6	50.8	51.0	51.2	51.4	51.6
Short Circuit Current Isc(A)	10.45	10.50	10.55	10.60	10.66	10.72
Module Efficiency (%)	19.32	19.55	19.78	20.01	20.24	20.47

*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, AM 1.5
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

ELECTRICAL PROPERTIES | NMOT*

Maximum Power Pmax(Wp)	312.4	316.0	319.6	323.4	327.2	330.9
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	39.3	39.5	39.8	40.0	40.2	40.5
Maximum Power Current Impp(A)	7.95	7.99	8.04	8.09	8.14	8.17
Open Circuit Voltage Voc(V)	47.1	47.2	47.4	47.6	47.8	47.9
Short Circuit Current Isc(A)	8.44	8.48	8.52	8.56	8.61	8.65

*NMOT(Nominal module operating temperature):Irradiance 800W/m²,Ambient Temperature 20°C,AM 1.5,Wind Speed 1m/s
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

TEMPERATURE RATINGS

NMOT	44°C ±2°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C

*Do not connect fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection

WORKING CONDITIONS

Maximum system voltage	1500 VDC
Operating temperature	-40°C~+85°C
Maximum series fuse	20 A
Maximum load (snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

MECHANICAL DATA

Solar cells	166×83 mm
Cells orientation	144 (6×24)
Module dimension	2094×1038×35 mm
Weight	24 kg
Glass	High transparency,low iron,tempered
	Glass 3.2 mm (AR-coating)
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm ² ,350 mm
Connectors	MC4-compatible

Fig.75 Especificaciones técnicas de los módulos solares. [26]

Con la ficha técnica mostrada en la figura (75), se visualiza los parámetros de funcionamiento y las dimensiones del módulo solar, con estos datos se hace las siguientes graficas en el software PSIM para observar el comportamiento de los módulos solares en funcionamiento.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

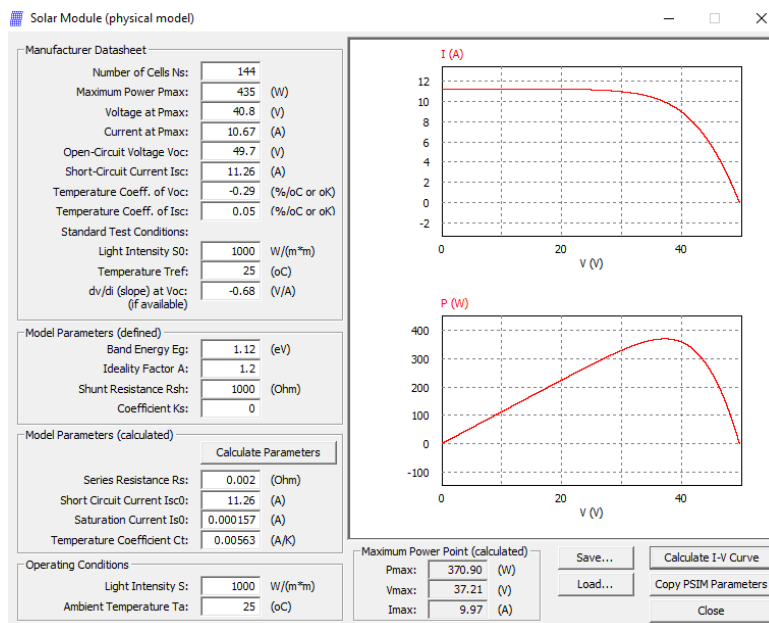


Fig.76 Configuración de parámetros de los módulos solares. (Autor)

De acuerdo a la figura (76), con los parámetros introducidos nos da como resultado 2 curvas, la primera grafica es I-V la cual es el comportamiento de la corriente con respecto al voltaje. La segunda grafica es P-V es la potencia con respecto al voltaje, donde el punto máximo de la curva indica la potencia máxima del panel solar en funcionamiento, estas se visualizan detalladamente en la figura (77).

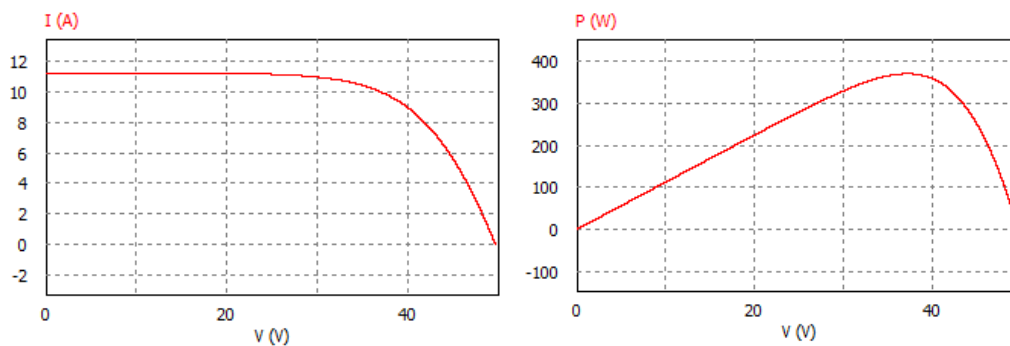


Fig. 77 I-V y P-V. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

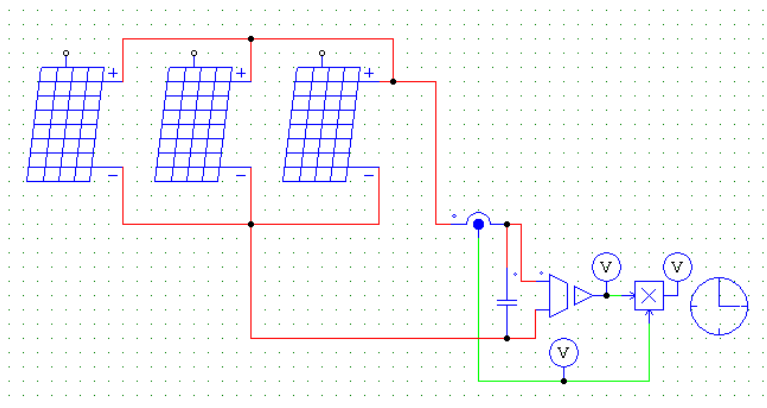


Fig.78 Esquemático de conexión módulos solares. (Autor)

De acuerdo al esquemático de la figura (78), se visualiza que los paneles se conectan de forma paralela de forma que corresponda con los valores calculados de corriente y voltaje hacia el controlador de carga.

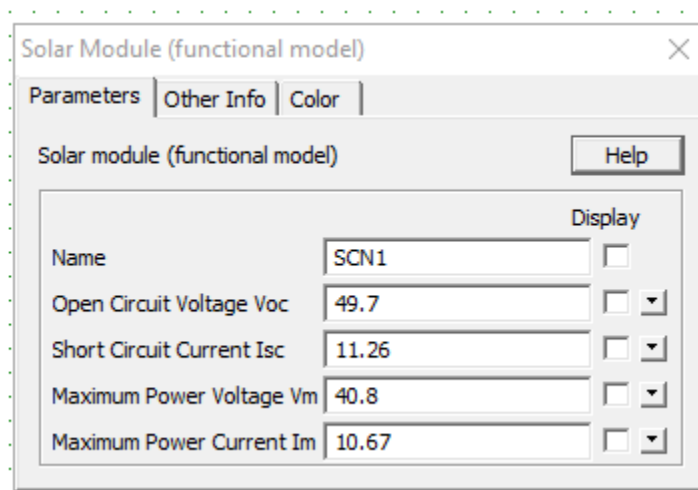


Fig. 79 Parámetros de funcionamiento de los módulos solares. (Autor)

En la figura (79) se observan la configuración de los valores técnicos de los paneles solares, se hace la simulación para la visualización de las curvas de funcionamiento.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

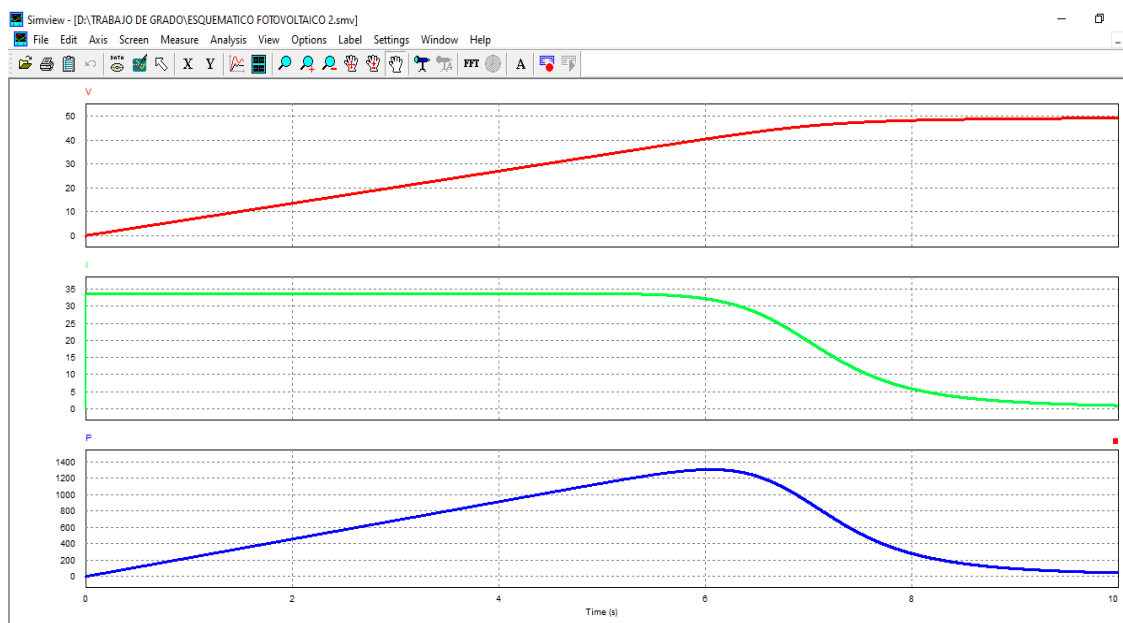


Fig. 80 Respuesta de funcionamiento de los módulos solares. (Autor)

En la figura (80) se observa el comportamiento del voltaje, corriente y potencia, donde el voltaje y la corriente tiene una respuesta positiva de acuerdo a los parámetros y la potencia este alrededor de los 1300 W dentro de condiciones de laboratorio, hay que tener en cuenta las pérdidas planteadas anteriormente disminuyen la potencia de los módulos solares en un 20%.

De la siguiente manera va conexasión el sistema fotovoltaico, módulos solares, controlador de carga, baterías y por último el inversor, luego va distribuida la energía hacia el hogar como se muestra en la figura (81).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

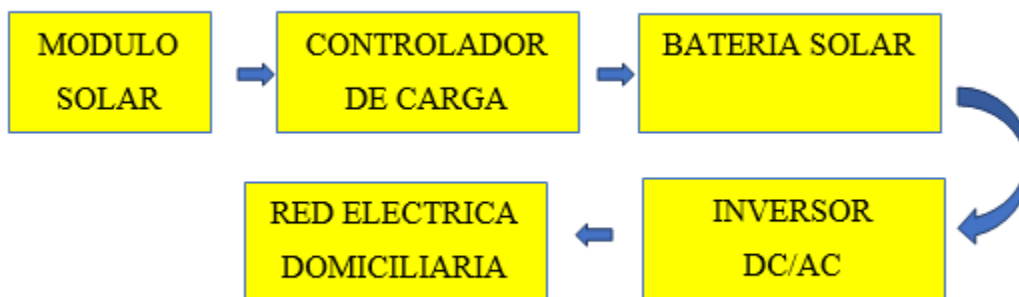


Fig. 81 *Proceso de funcionamiento del sistema fotovoltaico. (Autor)*

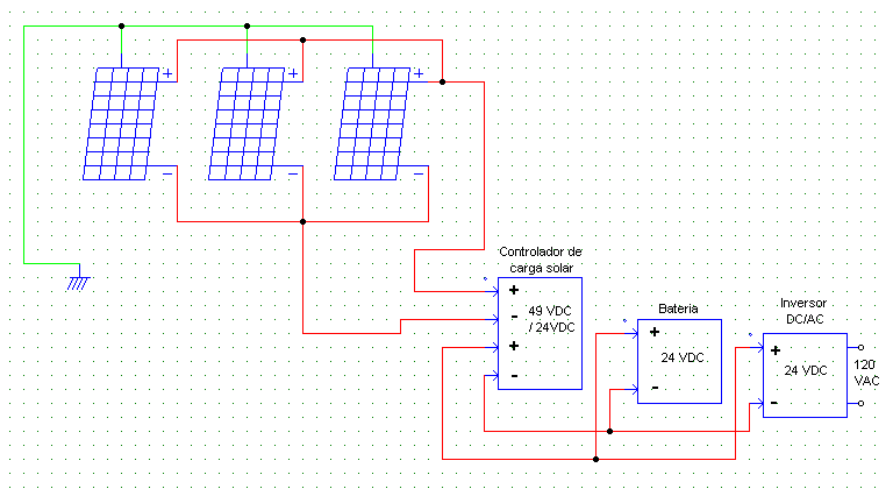


Fig. 82 *Esquema de funcionamiento del sistema fotovoltaico PSIM. (Autor)*

De acuerdo a la figura (82), se muestra la descripción del proceso de funcionamiento del sistema fotovoltaico con los datos calculados y la ficha técnica de los módulos solares, se tiene que el voltaje entregado por los paneles es de 49,7 V, con una intensidad de 32,4 A aproximadamente y una potencia de 1044 W. Estos parámetros llegan al controlador de carga, donde el funcionamiento de este es garantizar el voltaje y la corriente a las baterías cuando estas las necesiten para su recuperación de carga. Luego los acumuladores le entregan energía al inversor para tener una salida de 120 VAC para la distribución energética del área.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.3.4. Trazo de un esquema de la distribución energética del área.

Para realizar un buen cableado y reducir errores en la distribución energética en el área de trabajo, se hace el diseño de un plano eléctrico en el software AUTOCAD versión estudiante, el cual muestra las conexiones de las luminarias y los interruptores con su cableado (fase, neutro, retorno) según RETIE y NTC2050 con sus simbologías técnica para la correcta interpretación por parte del cuerpo técnico.

De acuerdo a la simbología de la normativa RETIE y NTC2050 el símbolo de cada cableado se especifica de la siguiente manera:



Este símbolo representa el neutro



Este símbolo representa el retorno



Este símbolo representa la fase.

El diámetro de la tubería eléctrica es de $\frac{1}{2}$ pulgada, donde máximo se puede introducir 6 cables eléctricos. La figura (83) muestra la distribución energética en el área, con los símbolos y color del cableado respecto a la normativa.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

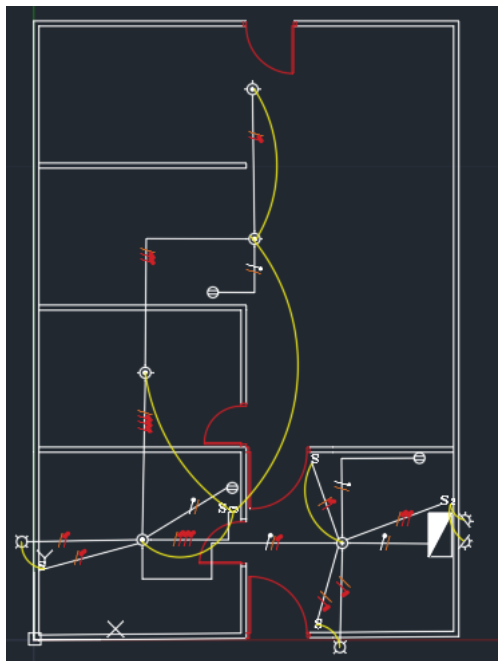


Fig. 83 Plano de distribución del cableado eléctrico. (Autor)

5.2.3 Ejecutar la instalación de sistemas fotovoltaicos

Para la ejecución de este sistema hay que tener en cuenta las herramientas que se van a utilizar y los materiales para el armado del sistema fotovoltaico y se muestran en la siguiente tabla (6):

HERRAMIENTA	CANTIDAD
Pinza Voltiamperimetrica	1
Multímetro digital	1
Brújula	1
Sunchadora	1
Pinzas pela cables	2
Alicate	2
martillo	1
Pala	1

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Paladraga	1
Barretón	1
Destornilladores	4
Arnés	2
Escalera	1
Brocha de pintura	2
Segueta	1
Marco de segueta	1
Ponchadora hidráulica	1
Corta frio	1
Llave boca estría 9/16 * ½	2
Llaves N° 10, 13	2
Rachi pequeño	1
Dados	4
Extensión de rachee	1
Taladro pulidor	1
Corta tubo PVC	1
Cuchilla	3
Soga	2
Bolso de herramienta	1

Tabla 6. Inventario de herramientas

MATERIALES	CANTIDAD
Panel solar 435 W doble celda 24 V	3
Controlados de carga solar de 40 A 12/24 V DC	1
Regulador inversor DC – AC 1500 W 24 V	1

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Mesa para banco de baterías 0,605 m x 1,25 m	1
Angulo galvanizado 2,5 pulg x ¼ pulg, 1,04 m	2
Angulo galvanizado 2,5 pulg x ¼ pulg, 1,19 m	2
Angulo galvanizado 2,5 x ¼ pulg, 0,35 m	2
Canister	1
Tubo galvanizado ¼ pulg, 7,50 m	1
Cable solar 2x10	12 m
Cable solar 2/0 puesta a tierra	14 m
Tubo EMT 1 pulg, 3 m	2
Unión EMT 1 pulg	2
Curva EMT 1 pulg	2
Capacete 1 pulg	3
Tornillo 5/8 cabeza hexagonal	20
Tornillo inoxidable 6mm x 25 mm	15
Tornillo drawall autoperforante	15
Terminal N° 60 de ojo bimetálico	4
Impulsor para cerca eléctrica	1
Varilla puesta a tierra de cobre coperwed 2,40 m	1
Cable #12 color café (fase)	14 m
Cable #12 color blanco (neutro)	14 m
Cable #12 color rojo (retorno)	9 m
Cable # 12 color verde (tierra)	9 m
Toma corriente	3

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Sócalo	7
--------	---

Tabla 7. Materiales para instalación. (Autor)

En la tabla (7) se muestra los materiales para la instalación del sistema fotovoltaico, con sus referencias y cantidades.

4.1.4. Ejecutar la instalación del sistema fotovoltaico con su respectiva protección eléctrica

Al momento de la ejecución, cada cuerpo técnico y profesional se encarga de una tarea específica de forma paralela a las demás actividades, de forma que una actividad no interfiere con las demás tareas. Sin embargo, anunciare una serie de pasos para la respectiva instalación y son los siguientes:

4.1.4.1.Efectuar la instalación de los polos a tierra, para prevenir cualquier daño por causa de descarga eléctrica.

- Se hace la zanja para incrustar el tubo dentro del terreno, para tener un mayor soporte y fijación hacia los paneles solares. A 30 cm de la zanja del tubo, se hace la zanja para la puesta a tierra del sistema fotovoltaico, esta garantiza la seguridad y previene daños al sistema por altas descargas eléctrica de la naturaleza. El electrodo de cobre tiene una longitud de 2, 40 Mt, este electrodo va incrustado en la zanja y conectado con los paneles solares, como se muestra en la figura (84).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 84 a). Apertura de la zanja del tubo columna (circulo azul). b). la zanja del SPT (circulo naranja). (Autor)

- Luego se ubica la estructura de forma horizontal, esta estructura se sube en una orqueta a una distancia de la superficie del suelo de 1,50 Mt, con una inclinación de 25 grados para el ensamble de los paneles solares en ella, como se muestra en la figura (85).



Fig. 85 Ensamble de los paneles con la estructura. (Autor)

- Se ensambla los paneles solares con sus respectivas conexiones eléctricas, tornillos y tuercas de presión para garantizar la durabilidad y prevenir caídas de estos módulos por fuertes vientos, las cuales se deja una distancia de 5 cm entre modulo para cortar el viento, esto se ilustra en la figura (86)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 86 Conexiones eléctricas de los paneles solares (Paralelo). (Autor)

Se conectan los paneles solares en paralelo al esquemático realizado en PSIM, de forma que disminuyen el riesgo de un déficit de tensión para el sistema fotovoltaico, como se muestra en la figura (86).



Fig. 87 ensamble total de los paneles solares en la estructura. (Autor)

Una vez ensamblado los paneles con la estructura como se muestra en la figura, se verifica que la distancia entre cada panel solar sea de 5 cm para cortar el viento y evitar perjuicio en la estructura, como se muestra en la figura (87). Se prosigue a hacer el levantamiento del sistema,

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

este levantamiento se hace de forma empírica a fuerza bruta por parte de la totalidad, como se muestra en la figura (88).



Fig. 88 *levantamiento del sistema fotovoltaico. (Autor)*



Fig. 89 *sistema fotovoltaico totalmente perpendicular a la superficie. (Autor)*

- Con el sistema ubicado de forma ortogonal entre la superficie del terreno como se ilustra en la figura (89), se prosigue a ubicarla de forma que los paneles queden observando hacia el sur, esta ubicación se garantiza y se corrobora por medio de una brújula.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 90 sistema de paneles con ubicación hacia el sur. (Autor)

Para tener una buena posición y ángulo de inclinación de los módulos, hay que tener en cuenta la latitud del lugar y la orientación de acuerdo a la línea del ecuador, la cual nos indica el recorrido del sol. De acuerdo a nuestra posición estamos a una latitud de 10° Norte, lo que corresponde a un ángulo de inclinación de 15° a 20° sobre la horizontal, en este caso se ubicó la inclinación de 15° con respecto a la horizontal. Nuestra orientación es en el lado Norte, lo que significa que los módulos solares se ubican mirando hacia el sur, como se ilustra en la figura (90).

Se deja fijo la posición de la estructura con los módulos solares agregándole concreto en la zanja donde esta incrustado el tubo, esta tiene soportes de amarres que ayudan a que no se mueva y permite que el concreto haga su trabajo, como se muestra en la figura (91).



Fig. 91 aplicación de concreto en la base del tubo columna. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.4.2. Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Inversor DC a AC, Controlador PWM, Breaker)

- Se hace la conexión entre las terminales eléctricas de los paneles hacia el tablero de mando, el cual está conformado por el inversor, controlador solar y el breaker, figura (92).
- Las baterías se conexionan de forma seria-paralelo ya que son baterías de 12 VDC y para que el inversor funcione correctamente necesitamos un voltaje de entrada al inversor de 24 VDC, de acuerdo a los cálculos del banco de baterías se seleccionaron 6 baterías, se seleccionan 3 pareja de baterías y cada pareja va conectada de forma serie para que el voltaje sea de 24 VDC, luego se conectan las 3 parejas de baterías en paralelo para tener mayor capacidad de tensión y evitar déficit a la hora de entregar energía al inversor.



Fig. 92 conexión del tablero de mando, paneles solares, controlador de carga, inversor y breaker. (Autor)

- Se hace la conexión entre las terminales eléctricas de los paneles hacia el tablero de mando, el cual está conformado por el inversor, controlador solar, el breaker y el

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

impulsor. Las conexiones empiezan desde la entrada de voltaje de los paneles hacia el breaker, esta hace la funcionalidad de permitir o no el paso de la energía recolectada por los módulos solares. Luego sigue la conexión hacia el controlador de carga solar, el cual su funcionalidad es automatizar la carga de los acumuladores de energía y no permitir que se descarguen incorrectamente. Por consiguiente, del controlador de carga se dirige hacia las baterías, donde estas son las que dan constancia de energía en el lugar por medio de un inversor DC/AC para la energía eléctrica domiciliaria 120VAC. A continuación, se muestra las posiciones y el cableado de los dispositivos electrónicos en la caja de mando del sistema fotovoltaico, como se muestra en la figura (92).

4.1.5. Validar el buen funcionamiento del sistema con pruebas de medición energética

- Se verifica si está llegando la carga correcta al controlador para posteriormente enviársela a las baterías, y se conecta el inversor con las baterías. La conexión de las baterías es serie-paralelo, estas baterías son secas a 12 v con una corriente de 125 Ah cada una.



Fig. 93 verificación de la energía producida por los paneles hacia el controlador de carga solar.

(Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Para el correcto funcionamiento del controlador, se verifica si está entrando la energía proveniente de los módulos solares hacia el controlador de carga solar. La entrada de voltaje es de aproximadamente de 47 VDC y se observa el símbolo que muestra el controlador al recibir la energía de los paneles, esta figura asemeja al sol. En la salida se denota que expulsa una energía de 26 V aproximadamente para el cargue de los acumuladores de energía y al inversor. De acuerdo a esto se debió hacer la programación para que el controlador tenga un rango de profundidad de descarga de las baterías, este rango se empleó del 10% para alargar la vida útil de este, como se muestra en la figura (93).



Fig. 94 voltaje de salida correcto por parte del inversor. (Autor)

Para la verificación del funcionamiento del inversor, se visualiza en la figura (94) la entrada y la salida, está la denota el dispositivo por medio de indicadores numéricos, el cual la entrada proviene de las baterías es de 26.7 VDC y la salida es de 117 VAC, indicando un funcionamiento óptimo para el sistema.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

4.1.5.1. Evaluación del sistema fotovoltaico con las cargas

Para la evaluación del sistema fotovoltaico, se hicieron medidas de energía mediante un instrumento de medición (Multímetro y Amperímetro) el cual nos mostró el buen estado de las conexiones, distribución e instalación del sistema. También se verificó el funcionamiento con las cargas, se encendieron cada una de los instrumentos electrónicos del hogar para establecer el rendimiento óptimo de la instalación, el cual hubo un resultado positivo y esperado, como se muestra en la figura (95).

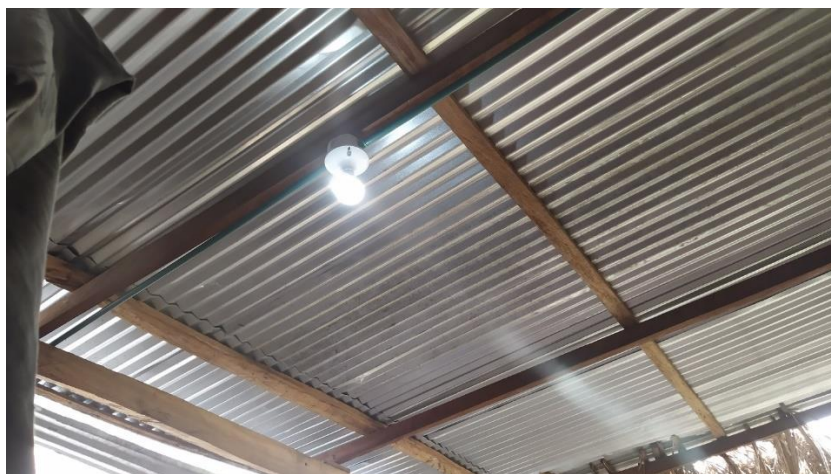


Fig. 95 sistema fotovoltaico funcionando con las cargas eléctricas del lugar. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

5. Instalación de Sistema Fotovoltaico para Extracción de Agua, Sur de Bolívar

5.1. Metodología

5.1.1. realizar una inspección planeada en la zona de la futura instalación.

En este apartado se demuestra los estudios pertinentes que se elaboraron en las zonas de instalaciones de sistemas fotovoltaicos dependiendo de su uso. El método conveniente para este tipo de estudios es el siguiente:

- Visita en el lugar de la instalación, sea comercial, industrial o campo rural.
- Desplazamiento en las posibles áreas de instalación del lugar.
- Inspección del terreno de forma empírica.
- Priorizar áreas con mayor radiación solar.

5.1.1.1. Detallar el área de trabajo

Para realizar un detalle del área de instalación, es necesario hacer un recorrido de inspección planeada, para hacer un correcto posicionamiento de los equipos, así se garantiza un óptimo rendimiento en el sistema fotovoltaico.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 96 Recorrido en el área de instalación. (Autor)

En la anterior figura (96), se muestra una panorámica de cómo está compuesto el terreno, lugares despejados y cercanos a la vivienda.

5.1.1.2. Verificación del lugar donde hay mayor radiación solar.

Este apartado va de la mano con la figura (96), ya que en ella se muestra los lugares despejados, para una correcta absorción de energía solar hacia los paneles, esto ayuda a aumentar el porcentaje de optimización del sistema fotovoltaico.



Fig. 97 Áreas despejadas en zona de instalación. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Como se puede evidenciar en la figura (97), hay mayor parte de zonas despejadas que no obstruyen el paso de la radiación solar al sistema fotovoltaico. Cabe destacar que estas zonas mayormente son llanos, no hay montaña que pueda infringir en la energía solar hacia los paneles solares.

5.1.2. Calcular el consumo energético requerido, para una correcta Selección de materiales.

Para el cálculo del consumo energético se hizo necesario hacer los siguientes pasos:

- Numero de cargas.
- Verificar los vatios de cada carga.

5.1.2.1. Plantear las ecuaciones necesarias para un correcto cálculo del consumo energético

Luego de los pasos anteriores se hace los respectivos cálculos para cuantificar el total de vatios. Las especificaciones dadas por el cliente, se muestra en la tabla (8):

CANTIDAD	CARGAS	VATIOS (W)	TOTAL (Wh)
1	ELECTROBOMBA SUMERGIBLE AQUAPAK	1.5HP (1104 W)	1104
TOTAL			1104

Tabla 8. *dimensionamiento de cargas. (Autor)*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

5.1.2.2. Obtener la cantidad de paneles necesarios para el correcto funcionamiento del sistema

Para la obtención de la cantidad de paneles, hay que tener en cuenta ciertos datos y especificaciones de los módulos fotovoltaicos las cuales son:

- Cantidad de vatios producidos
- Dimensión del modulo
- Hora solar pico.

Una vez tenido en cuenta los datos anteriores se procede a identificar el módulo correcto para el funcionamiento del sistema fotovoltaico. Hay que tener en cuenta que cada panel en hora pico produce 1000 W por metro cuadrado eso considerando que la temperatura del panel este a unos 25°C, lo que en esta parte del caribe colombiano la temperatura es mayor.

En (32) se calcula la potencia de la electrobomba sumergible, esto nos sirve para dimensionar de forma correcta la cantidad de módulos que se necesitan para suplir la demanda energética.

$$F_s = 1.5 \text{ HP} * 736 \text{ W} \quad (32)$$

$$F_s = 1104 \text{ W}$$

Donde:

F_s es la potencia de la electrobomba

736 W es lo que equivale 1 HP

Con la siguiente ecuación (33) se calcula la potencia al momento del arranque de la electrobomba sumergible, en el arranque se triplica la potencia nominal de la carga.

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

$$P_w = f_s * 3 \quad (33)$$

Donde:

P_w es el total de demanda de energía

3 es el pico de potencia de arranque en un motor trifásico

Se reemplazan los valores en la ecuación (33):

$$P_w = 1104 \text{ W} * 3 = 3312 \text{ Wh}$$

- Temperatura, 4% por cada aumento de 10°C teniendo en cuenta la temperatura ambiente de estas zonas del sur de Bolívar es de 40°C, por lo que sería un 16% de pérdidas por temperatura.
- Resistencia en el material conductor, 0,8%
- Pérdidas angulares y espectrales, 0,5 %
- Pérdidas por sombreado del generador fotovoltaico, 0,4%

Al sumar las pérdidas el resultado total es de un 18,4% aproximadamente 20%, este factor de pérdidas se le suma a la demanda de potencia P_w en la siguiente ecuación (22).

$$N_p = \frac{3312 \text{ W} * 1.20}{435 \text{ W}} = 9,1 \approx 9 \text{ paneles de } 435 \text{ W}$$

Al comparar la demanda de energía con la eficiencia de los paneles, se puede concluir que con los 9 paneles de 435 W hay un rendimiento óptimo para el sistema fotovoltaico requerido.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Cálculo de corriente eléctrica nominal (calibre de los conductores) AC

Conductor fase

La instalación del área es trifásica, por lo que se hacen los cálculos para la selección del calibre de los conductores dependiendo de la carga, para calcular la corriente nominal se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_{nominal} = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\alpha} \quad (34)$$

Donde:

P es la potencia activa

V es el voltaje nominal, en este caso es de 120 VAC

COS α es el factor de potencia, en este caso es de 0,9

Se reemplazan los valores en la ecuación (34) para obtener la corriente nominal del sistema:

$$I_{nominal} = \frac{3974 \text{ W}}{\sqrt{3} * 380 \text{ V} * 0,9}$$

$$I_{nominal} = 6,70 \text{ A}$$

Los conductores no pueden tener una capacidad menor a la carga más el 125% de la carga en corriente continua o alterna (Artículo 210.19(A)(1)(a) de la norma NTC2050), esto se calcula en la ecuación (29).

$$Inc = 6,70 \text{ A} * 1,25 \quad (29)$$

$$Inc = 8,38 \text{ A}$$

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

De acuerdo al resultado arrojado en (29), I_{nc} es la corriente nominal para elegir el calibre del conductor según la tabla 310.15(B)(16) de la norma RETIE Y NTC2050. Como en la tabla no hay un calibre específico para la corriente de 8,28 A escogemos el que se aproxima, en este caso es de 150 A, por lo que se elige un calibre de 4x10 AWG de cobre con temperatura de 75°C.

Luego se elige el factor de corrección de temperatura para asegurar que el calibre escogido es el indicado para soportar las cargas exigidas, en la tabla 310.15(B)(2)(a) de la norma RETIE Y NTC2050 se elige el factor de corrección de temperatura de acuerdo a la temperatura ambiente del área, en la zona de la instalación hay una temperatura ambiente de 37°C, por lo que el factor de corrección es de 0,88.

Para el factor de ajuste en una canalización donde se agrupan los conductores, en este caso son 3 conductores (fase, neutro y tierra) según la tabla 310.15(B)(3)(a) de la norma RETIE Y NTC2050 para 4 conductores el valor del factor de ajuste es del 80%. Al tener los valores especificados se procede a calcular la corriente nominal ajustada.

$$I_{nominal_{ajustada}} = (150 \text{ A}) * (0,88) * (0,80) \quad (30)$$

$$I_{nominal_{ajustada}} = 105,6 \text{ A}$$

Donde el resultado de (30) es llamado la ampacidad corregida que indica que la ampacidad debe ser mayor a la corriente de la carga, si es así, el conductor escogido anteriormente es adecuado para soportar la corriente que atraviesa por el conductor.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Cálculo conductor neutro

Para el cálculo del conductor neutro hay que tener en cuenta la norma RETIE Y NETC2050 esta menciona que el conductor neutro debe soportar la máxima corriente de equilibrio de los conductores portadores de corriente por lo que:

$$I_{neutro} = I_{fase} = 16,81 A \quad (31)$$

De acuerdo a (31), indica que el calibre para el conductor neutro es igual al calibre del conductor fase calculado anteriormente (calibre 12 AWG)

Cálculo conductor tierra

Según el artículo 210.20 de la normativa RETIE Y NETC2050 especifica las condiciones para la protección eléctrica contra sobre corrientes. Para escoger el conductor hay que tener en cuenta que debe soportar el 125% de las corrientes nominales de los conductores, Para eso se le da una protección asignada de 20 A. De acuerdo al valor anterior nos dirigimos a la tabla 250.122 de la normativa RETIE Y NTC2050 llamado (calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalización y equipos). Donde indica que el calibre para la puesta a tierra es de 4/0 AWG. Para un buen funcionamiento de los equipos, se escogen los conductores con los anteriores calibres calculados, con un tipo de revestimiento THHN el cual es un tipo de revestimiento termoplástico resistente al calor y se puede aplicar en zonas secas o húmedas.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

5.1.3. Diseñar el esquema de conexión y posicionamiento de los equipos

Para el diseño del esquema de conexión es necesario hacer una breve medición del área, lo cual se realizó el siguiente plano.

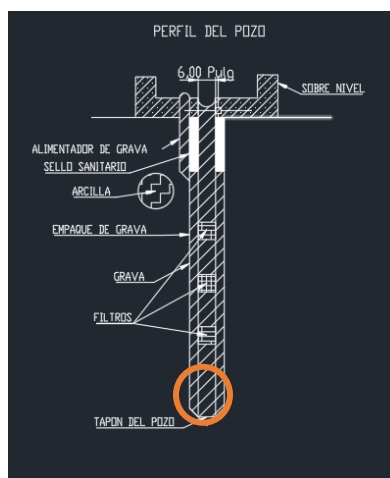


Fig. 98 Plano del pozo. (Autor)

El plano de la figura (98), indica la vista perfil especificando el área de trabajo, donde en el círculo naranja está la posición de la electrobomba, a 2 mt está posicionada la estructura junto al puesta a tierra del sistema fotovoltaico.

A continuación, se muestra el CAD del área de trabajo con las posiciones de los dispositivos electrónicos principales en 3D en la figura (99).

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

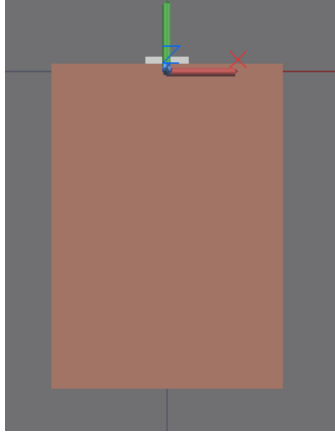


Fig. 99 CAD del área de trabajo. (Autor)

5.1.3.1. Diseño de la estructura del sistema fotovoltaico de acuerdo a los requerimientos del cliente

Una vez evaluado los materiales necesarios, se hace el diseño de la estructura en el software AUTOCAD versión estudiante, como se observa en la figura (100).

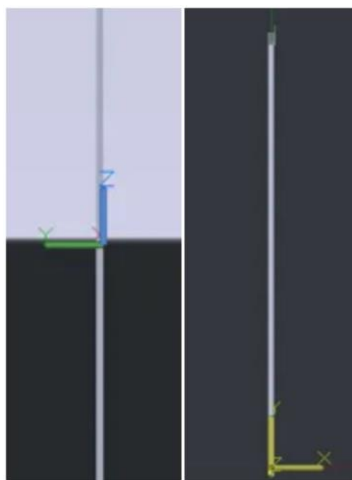


Fig. 100 Tubo columna. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Para conseguir la mayor absorción de radiación solar, se escogió una estructura de longitud de 5,25 metros de altura, con la finalidad de aumentar el rendimiento y absorber la mayor radiación posible. En la figura (100) se muestran los diseños de los parales de sujeción. Estos parales metálicos tienen la funcionalidad de soportar el peso de los paneles solares y tener un buen ajuste con la estructura. Al tener el diseño completo, se hace el ensamble de todos los componentes para tener una visualización más clara de la estructura en general presentada en la figura (101).

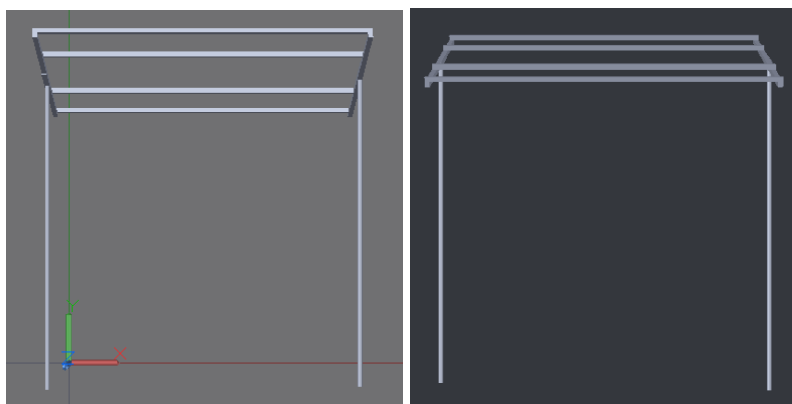


Fig. 101 *Ensamble de la estructura. (Autor)*

En la figura (101), se observa el ensamble completo con el tubo columna, se denota que el sistema queda a una distancia con respecto a la superficie del suelo considerable, con la finalidad de obtener mayor radiación solar, reducir las sombras y por seguridad.

A continuación, se presenta los materiales cortados y perforados a la medida para hacer un ensamble efectivo.

- Se le da un acabado de pintura anticorrosiva a la estructura, para aumentar la vida útil de material.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 102 Estructura pintada con anticorrosivo. (Autor)

Como se observa en la figura (102), la estructura es de una longitud extensa. El tubo tiene un diámetro de 3 pulgadas y este compuesto de metal galvanizado, por ello primero se le echa un revestimiento de pintura anticorrosiva, para una mayor duración de la estructura en la intemperie.

Para la fijación de los paneles, se usó 2 pares de parales horizontal y 1 vertical de metal galvanizado de una longitud de 5.40, 4.50 metros cada par como se muestra en la figura (103).



Fig. 103 parales de sujeción. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Como se observa en la figura (103), especifica el ángulo de inclinación de los paneles, haciendo más sencillo la posición correcta de los paneles solares, la cual está en los 15 grados de inclinación hacia el Sur.



Fig. 104 *Ensamble de la estructura base sin los paneles. (Autor)*

El ensamble de la estructura base se hace de forma vertical como se muestra en la figura (104), ya que facilita el armado de los componentes y permite ordenar de forma correcta la posición de los paneles en la estructura base. La puesta de los paneles solares en la estructura está a la medida, por lo que todos los huecos de agarre de los paneles y la estructura encajan correctamente.


5.1.4. Identificación de ubicación de los paneles solares.

De acuerdo a la inspección planeada realizada, se identificó la posición de los paneles solares para un alto rendimiento en la captación de la radiación solar de la zona. Anteriormente en el diseño se hizo la identificación de cada dispositivo eléctrico por lo que se hace un análisis de las conexiones de los paneles a continuación.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

5.1.4.1. Seleccionar el modelo de conexión de los paneles.

Para la conexión de los paneles solares, se realizó una simulación en el software PSIM versión DEMO, donde se hizo el esquemático de la conexión de los módulos solares. Primeramente, se realiza una revisión detallada de la ficha técnica de los módulos solares escogidos, para la configuración en el software PSIM como se muestra en la figura (105).

ZXM6-NH144 Series Znshinesolar 9BB HALF-CELL monocrystalline PV Module 

ELECTRICAL PROPERTIES | STC*

Module Type	ZXM6-NH144-420/M	ZXM6-NH144-425/M	ZXM6-NH144-430/M	ZXM6-NH144-435/M	ZXM6-NH144-440/M	ZXM6-NH144-445/M
Nominal Power Watt Pmax(W)	420	425	430	435	440	445
Power Output Tolerance Pmax(%)	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3	0~+3
Maximum Power Voltage Vmp(V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current Imp(A)	9.96	10.03	10.10	10.17	10.24	10.31
Open Circuit Voltage Voc(V)	50.6	50.8	51.0	51.2	51.4	51.6
Short Circuit Current Isc(A)	10.45	10.50	10.55	10.60	10.66	10.72
Module Efficiency (%)	19.32	19.55	19.78	20.01	20.24	20.47

*STC (Standard Test Condition): Irradiance 1000W/m², Module Temperature 25°C, AM 1.5
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

ELECTRICAL PROPERTIES | NMOT*

Maximum Power Pmax(Wp)	312.4	316.0	319.6	323.4	327.2	330.9
Maximum Power Voltage Vmpp(V)	39.3	39.5	39.8	40.0	40.2	40.5
Maximum Power Current Imp(A)	7.95	7.99	8.04	8.09	8.14	8.17
Open Circuit Voltage Voc(V)	47.1	47.2	47.4	47.6	47.8	47.9
Short Circuit Current Isc(A)	8.44	8.48	8.52	8.56	8.61	8.65

*NMOT(Nominal module operating temperature):Irradiance 800W/m²;Ambient Temperature 20°C,AM 1.5,Wind Speed 1m/s
*The data above is for reference only and the actual data is in accordance with the practical testing

TEMPERATURE RATINGS

NMOT	44°C ±2°C
Temperature coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature coefficient of Isc	0.05%/°C

*Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection

WORKING CONDITIONS

Maximum system voltage	1500 VDC
Operating temperature	-40°C~+85°C
Maximum series fuse	20 A
Maximum load(snow/wind)	5400 Pa / 2400 Pa

MECHANICAL DATA

Solar cells	166×83 mm
Cells orientation	144 (6×24)
Module dimension	2094×1038×35 mm
Weight	24 kg
Glass	High transparency,low iron,tempered
	Glass 3.2 mm (AR-coating)
Junction box	IP 68, 3 diodes
Cables	4 mm ² ,350 mm
Connectors	MC4-compatible

Fig. 105 Especificaciones técnicas de los módulos solares. [24]

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Con la ficha técnica mostrada en la figura (105), se visualiza los parámetros de funcionamiento y las dimensiones del módulo solar, con estos datos se hace las siguientes graficas en el software PSIM para observar el comportamiento de los módulos solares en funcionamiento.

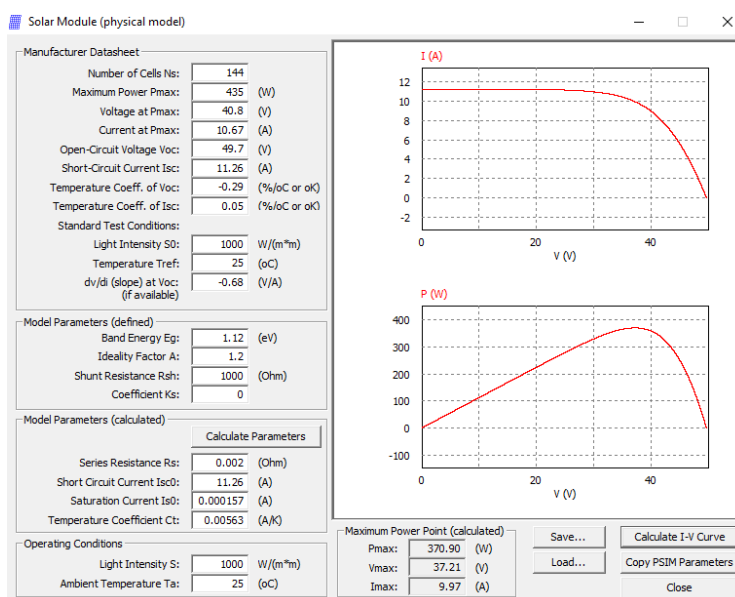


Fig. 106 Configuración de parámetros de los módulos solares. (Autor)

De acuerdo a la figura (106), con los parámetros introducidos nos da como resultado 2 curvas, la primera grafica es I-V la cual es el comportamiento de la corriente con respecto al voltaje. La segunda grafica es P-V es la potencia con respecto al voltaje, donde el punto máximo de la curva indica la potencia máxima del panel solar en funcionamiento, estas se visualizan detalladamente en la figura (107).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

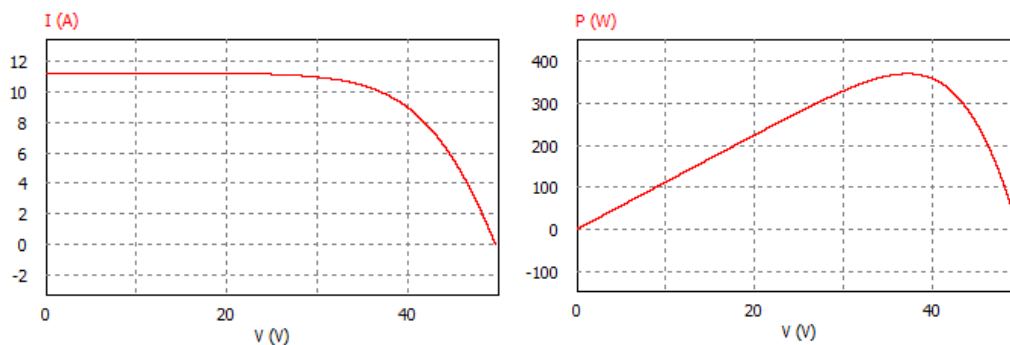


Fig. 107 I-V y P-V. (Autor)

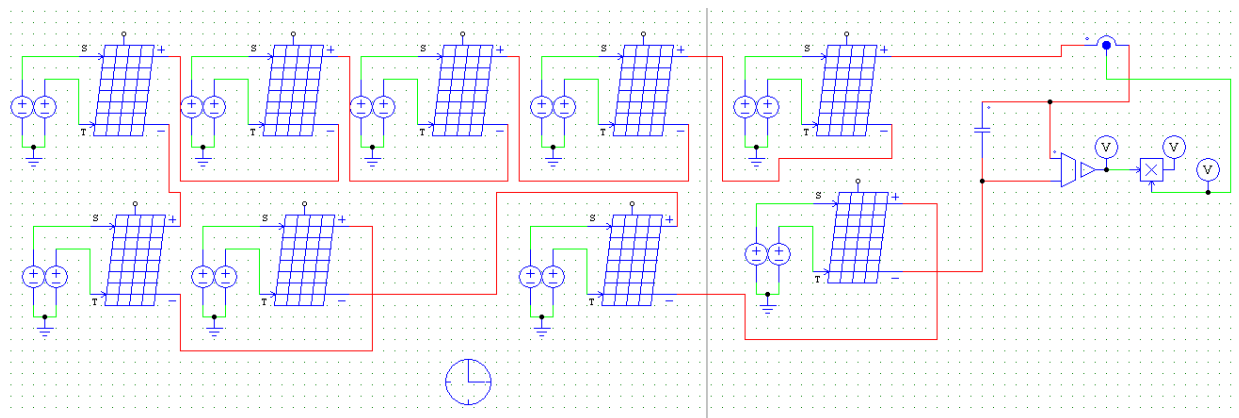


Fig. 108 Esquemático de conexión (Serie) módulos solares. (Autor)

De acuerdo al esquemático de la figura (108), se observó que los paneles se conectan en serie de forma que corresponda con los valores calculados de corriente y voltaje hacia el variador de frecuencia.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

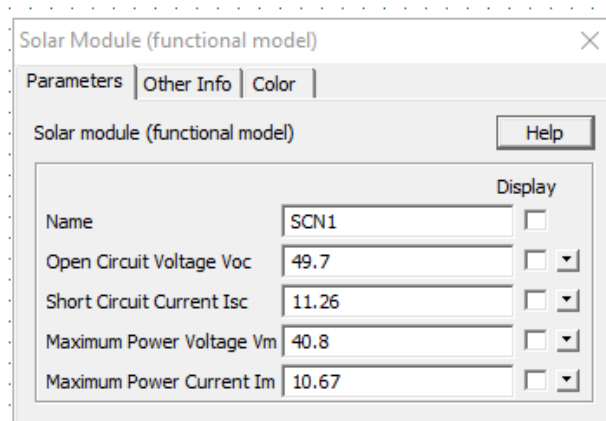


Fig. 109 *Parámetros de funcionamiento de los módulos solares. (Autor)*

En la figura (109) se observan la configuración de los valores técnicos de los paneles solares, se hace la simulación para la visualización de las curvas de funcionamiento.

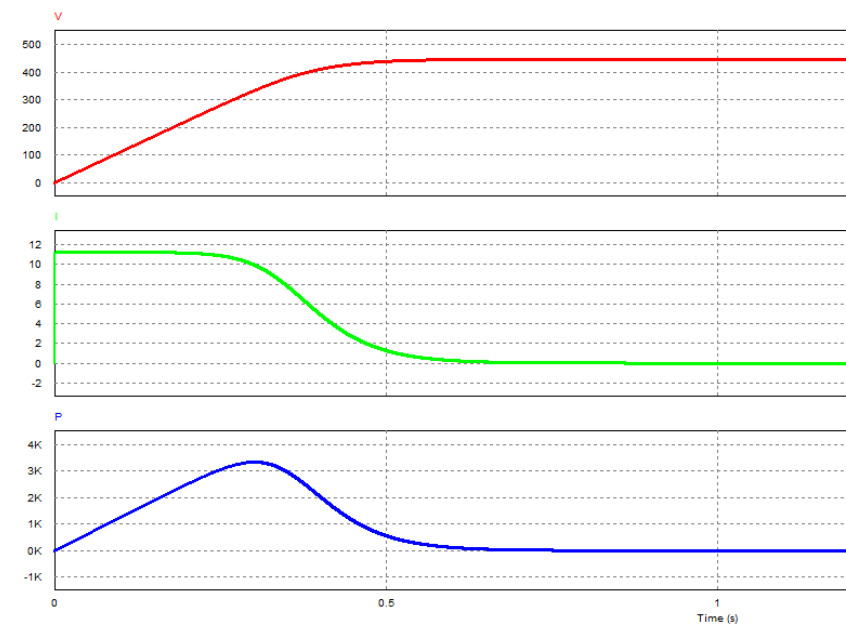


Fig. 110 *Respuesta de funcionamiento de los módulos solares. (Autor)*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

En la figura (110) se observa el comportamiento del voltaje, corriente y potencia, donde el voltaje y la corriente tiene una respuesta positiva, de acuerdo a los parámetros y la potencia este alrededor de los 3500 W dentro de condiciones de laboratorio, hay que tener en cuenta las pérdidas planteadas anteriormente que disminuyen la potencia de los módulos solares.

De la siguiente manera va conexaso el sistema fotovoltaico, módulos solares, controlador de carga, baterías y por último el inversor, luego va distribuida la energía hacia el hogar como se muestra en la figura (111).

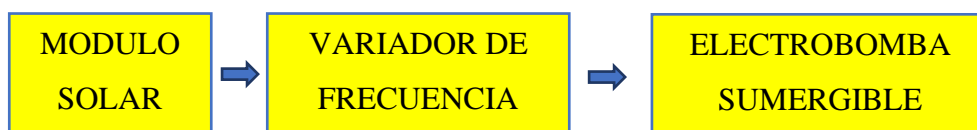


Fig. 111 *Proceso de funcionamiento del sistema fotovoltaico. (Autor)*

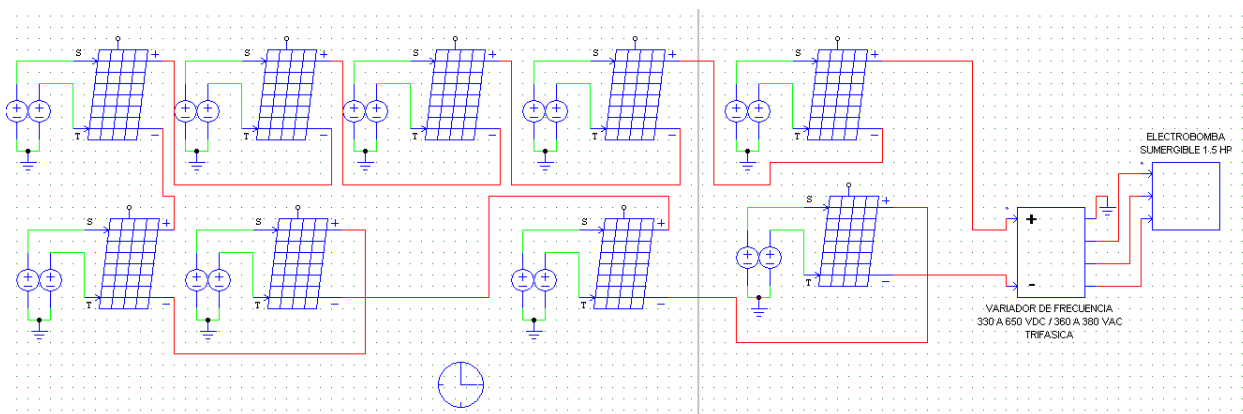


Fig. 112 *Esquema de funcionamiento del sistema fotovoltaico PSIM. (Autor)*

De acuerdo a la figura (112), se muestra la descripción del proceso de funcionamiento del sistema fotovoltaico con los datos calculados y la ficha técnica de los módulos solares. Se tiene que, el voltaje entregado por los paneles es de 447,3 V, con una intensidad de 10,8 A aproximadamente y una potencia de 3500 W. Estos parámetros llegan al variador de frecuencia,

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

donde el funcionamiento de este es garantizar el voltaje y la corriente a la electrobomba cuando este las necesite para su respectivo funcionamiento de extraer agua del pozo.

5.1.4.2. Trazo de un esquema de la distribución energética del área.

Para realizar un buen cableado y reducir errores en la distribución energética en el área de trabajo, se hace el diseño de un plano eléctrico en el software AUTOCAD versión estudiante, el cual muestra las conexiones de las luminarias y los interruptores con su cableado (fase, neutro, retorno) según RETIE y NTC2050 con sus simbologías técnica para la correcta interpretación por parte del cuerpo técnico.

De acuerdo a la simbología de la normativa RETIE y NTC2050 el símbolo de cada cableado se especifica de la siguiente manera:

/ Este símbolo representa la tierra del sistema



este símbolo representa la fase.

La figura (113) muestra la configuración triangular del STP, el cableado y eléctrico trifásico. De esta forma la descarga eléctrica se aterriza mejor y reduce el riesgo de daños a los dispositivos que componen el sistema fotovoltaico. El diámetro de la tubería eléctrica es de ½ pulgada, donde máximo se puede introducir 6 cables eléctricos.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

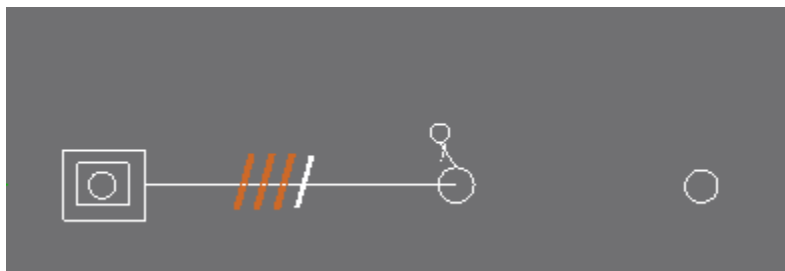


Fig. 113 Plano de distribución del cableado eléctrico. (Autor)

5.1.5. Ejecutar la instalación de sistemas fotovoltaicos

Para la ejecución de este sistema hay que tener en cuenta las herramientas que se van a utilizar y los materiales para el armado del sistema fotovoltaico y se muestran en la siguiente tabla (9):

HERRAMIENTA	CANTIDAD
Pinza Voltiamperimetrica	1
Multímetro digital	1
Brújula	1
Sunchadora	1
Pinzas pela cables	2
Alicate	2
martillo	1
Pala	1
Paladraga	1
Barretón	1
Destornilladores	4
Arnés	2
Escalera	1
Brocha de pintura	2
Segueta	1

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Marco de segueta	1
Ponchadora hidráulica	1
Corta frio	1
Llave boca estría 9/16 * ½	2
Llaves N° 10, 13	2
Rachi pequeño	1
Dados	4
Extensión de rachee	1
Taladro pulidor	1
Corta tubo PVC	1
Cuchilla	3
Soga	2
Bolso de herramienta	1

Tabla 9. Inventario de herramientas. (Autor)

MATERIALES	CANTIDAD
Panel solar 435 W doble celda 24 V	9
VARIADOR DE FRECUENCIA INVERSOR	1
paral galvanizado 2,5 pulg x ¼ pulg, 4,08 m	2
paral galvanizado 2,5 pulg x ¼ pulg, 5,50 m	4
Angulo galvanizado 2,5 x ¼ pulg, 0,35 m	2
Tubo galvanizado ¼ pulg, 5,25 m	2
Cable solar 4x10	55 mt
Cable solar 2/0 puesta a tierra	14 m
Tubo EMT 1 pulg, 3 m	2
Unión EMT 1 pulg	2

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

Curva EMT 1 pulg	2
Capacete 1 pulg	3
Tornillo 5/8 cabeza hexagonal	20
Tornillo inoxidable 6mm x 25 mm	15
Tornillo drawall autoperforante	15
Terminal N° 60 de ojo bimetálico	4
Varilla puesta a tierra de cobre coperwed 2,40 m	1

Tabla 10. Materiales para instalación. (Autor)

En la tabla (10), se muestra los materiales utilizados para la instalación del sistema fotovoltaico, con sus referencias y cantidades.

5.1.5.1. Instalación de cada elemento eléctrico en su correcto posicionamiento

Al momento de la ejecución, cada cuerpo técnico y profesional se encarga de una tarea específica de forma paralela a las demás actividades, de forma que una actividad no interfiere con las demás tareas. Sin embargo, anunciare una serie de pasos para la respectiva instalación y son los siguientes:

- Ubicar el panel demandado, este va ligado a la cercanía entre el posicionamiento de los paneles solares para disminuir costos en materiales conductivos y reducir la caída de tensión por parte de la resistencia de los conductores. Entre más distancia tenga que recorrer el fluido eléctrico, va haber una caída de tensión considerable que baja el rendimiento óptimo del sistema fotovoltaico, como se muestra en la figura (114).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 114 Posicionamiento del panel de mando con sus accesorios eléctricos. (Autor)

5.1.5.2. Situar los paneles solares

Se establece la ubicación de la estructura base de los paneles solares, como se muestra en la figura (115). Se dejó fijo la posición de la estructura con los módulos solares agregándole concreto en la zanja donde esta incrustado el tubo, esta tiene soportes de amarres que ayudan a que no se mueva y permite que el concreto haga su trabajo.



Fig. 115 Posicionamiento de la estructura base de los paneles. (Autor)

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

Con el sistema ubicado de forma ortogonal entre la superficie del terreno como se ilustra en la figura (115), se prosigue a ubicarla de forma que los paneles queden observando hacia el sur, esta ubicación se garantiza y se corrobora por medio de una brújula. Para tener una buena posición y ángulo de inclinación de los módulos, hay que tener en cuenta la latitud del lugar y la orientación de acuerdo a la línea del ecuador, la cual nos indica el recorrido del sol. De acuerdo a nuestra posición estamos a una latitud de 10° Norte, lo que corresponde a un ángulo de inclinación de 15° a 20° sobre la horizontal, en este caso se ubicó la inclinación de 15° con respecto a la horizontal. Nuestra orientación es en el lado Norte, lo que significa que los módulos solares se ubican mirando hacia el sur, como se ilustra en la figura (115).

- Se hace la zanja para incrustar el tubo dentro del terreno, para tener un mayor soporte y fijación hacia los paneles solares, como se muestra en la figura (116).



Fig. 116 Cavidad para incrustar la estructura. (Autor)

- Se ensambla los paneles solares con sus respectivas conexiones eléctricas, tornillos y tuercas de presión para garantizar la durabilidad y prevenir caídas de estos módulos por fuertes vientos, las cuales se deja una distancia de 5 cm entre modulo para cortar el viento, como se muestra en la figura (117).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 117 *Ensamble de los paneles a la estructura. (Autor)*

- Una vez ensamblado los paneles con la estructura, se verifica que la distancia entre cada panel solar sea de 5 cm para cortar el viento y evitar perjuicio en la estructura, como se muestra en la figura (117).

5.1.5.3. Situar el panel de control con sus dispositivos eléctricos instalados (Variador de frecuencia, DPS, breaker trifásico)

- Se hace la conexión entre las terminales eléctricas de los paneles hacia el tablero de mando, el cual está conformado por el variador de frecuencia, dispositivo protector de sobre corrientes (DPS) y breaker trifásico. Las conexiones empiezan desde la entrada de voltaje de los paneles hacia el DPS, esta hace la funcionalidad de proteger al variador de frecuencia y no permite que haya sobre picos de corrientes en el sistema. Luego sigue la conexión hacia el variador de frecuencia, el cual su funcionalidad es automatizar la energía necesaria para el funcionamiento de la electrobomba sumergible. Por consiguiente, va al breaker trifásico que protege la electrobomba y de ahí a la

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

electrobomba, como se muestra en la figura (118).



Fig. 118 *Conexión de los componentes del panel demanda con los paneles solares. (Autor)*

5.1.5.4. Efectuar la instalación de los polos a tierra, para prevenir cualquier daño por causa de descarga eléctrica.

A 30 cm de la zanja del tubo, se hace la zanja para la puesta a tierra del sistema fotovoltaico, esta garantiza la seguridad y previene daños al sistema por altas descargas eléctrica de la naturaleza. El electrodo de cobre tiene una longitud de 2,40 Mt, este electrodo va incrustado en la zanja y conectado con los paneles solares, como se ilustra en la figura (119).



Fig. 119 *Zanja para puesta a tierra con su electrodo incrustado. (Autor)*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

5.1.5.5. Realizar el cableado interno y puntos eléctricos del área, de acuerdo a las normas de la RETIE.

Se realiza las conexiones eléctricas del lugar y las distribuciones de los puntos eléctricos. Para ello se instalaron los sócalos, interruptores dobles, simples y toma corrientes, de acuerdo a la normativa RETIE y NTC2050. El material aislante para la distribución de los conductores es de un tubo PVC de ½ pulgada, como se muestra en la figura (120).



Fig. 120 *Distribución de las conexiones eléctricas del lugar. (Autor)*

5.1.6. Validar el buen funcionamiento del sistema con pruebas de medición energética.

5.1.6.1. Examinación de cada punto eléctrico (paneles, cableado del área) con su posible corrección.

- Se verifica si está llegando la carga correcta al variador de frecuencia para posteriormente enviársela a la electrobomba, como se muestra en la figura (121).

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).



Fig. 121 *Medición del voltaje al variador. (Autor)*

Para el correcto funcionamiento del controlador, se verifica si está entrando la energía proveniente de los módulos solares hacia el variador de frecuencia. La entrada de voltaje es de aproximadamente de 387 VDC. En la salida se denota que la frecuencia está al máximo, por lo que la electrobomba opera en su capacidad máxima. De acuerdo a esto se debió hacer la programación para que el variador de frecuencia opere a la potencia requerida. (121).

5.1.6.2. Evaluación del sistema fotovoltaico con las cargas

Para la evaluación del sistema fotovoltaico, se hicieron medidas de energía mediante un instrumento de medición (Multímetro y Amperímetro) el cual nos mostró el buen estado de las conexiones, distribución e instalación del sistema. También se verificó el funcionamiento con las cargas, se encendió el variador de frecuencia para establecer el rendimiento óptimo de la instalación, el cual hubo un resultado positivo y esperado, como se muestra en la figura (122).



Fig. 122 *extracción de agua. (Autor)*

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

6. CONCLUSIONES

- La energía solar últimamente ha sido muy apetecida por los sectores rurales de la zona sur del departamento de Bolívar, ya que con este sistema pueden acceder a energía eléctrica sin contaminación hacia el medio ambiente, haciendo uso de la radiación solar como energía libre para llevar luz a lugares olvidados por las empresas prestadoras de servicio eléctrico convencional.
- Un correcto dimensionamiento, selección de materiales de buena calidad y el buen posicionamiento de los dispositivos eléctricos certificaron un óptimo rendimiento en los sistemas fotovoltaicos, ya que con estas medidas se verificó el funcionamiento de todos los sistemas fotovoltaicos instalados.
- Para la instalación de los sistemas fotovoltaicos se hizo necesario el diseño, esquema y protección energética de acuerdo a la normativa RETIE y NTC2050, elaborando planos eléctricos, selección de conductores eléctricos y la simbología para una correcta interpretación por parte del cuerpo técnico y profesional.
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos presentados se hace de forma paralela, ya que un procedimiento no interrumpe los demás procesos, por lo que se puede empezar por cualquier proceso. Para la protección de los módulos solares se utilizaron varillas de cobre de 2.40 m para así evitar daños irreparables en los sistemas, en la protección de las baterías solares se modifica la programación establecida por default en los controladores de carga solar, esto se deja de una descarga profunda del 60% de la carga de la batería.
- Los inversores DC/AC se seleccionaron de mayor capacidad, esto porque los propietarios indicaron que las cargas van a aumentar, por lo que se hizo el dimensionamiento del inversor mucho mayor a la capacidad de carga exigidas. Sin embargo, es correcto de

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

aplicar ya que las cargas inductivas al energizarlas se multiplica la potencia 4 veces de la nominal, así se asegura que los dispositivos eléctricos funcionan correctamente sin deficiencia de carga energética.

- En la validación del funcionamiento del sistema fotovoltaico se hizo necesario hacer mediciones por medio de un instrumento de medición energética (multímetro), Para cerciorarnos que la energía llegue a cada punto eléctrico y cada dispositivo esté funcionando correctamente. También se hicieron pruebas energéticas con las cargas en funcionamiento, bombillos y demás para validar el trabajo realizado.

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gonzales Velazco, J. *Energías Renovables* (Revisado ed., Vol. 1). Editorial Reverté. (2009).
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bl6L8E_9t1kC&oi=fnd&pg=PA4&dq=energías+renovables&ots=r9hukl0aMj&sig=7PI0HE2X4M6kU_BP4uIz0Lz9mhI#v=onepage&q=energías%20renovables&f=false
- [2] Méndez Muñis, J. M., & Cuervo García, R. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica* (2.^a ed., Vol. 1). FUNDACIÓN CONFEMETAL.
<https://books.google.com.co/books?id=GZh1DGUQoOUC&printsec=frontcover&dq=energía+solar+autonoma+libro+gratis&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiP4O3GmcbxAhUikW0FHdhnDb4Q6AEwB3oECAMQA#v=onepage&q&f=false>
- [3] SDE.mx. *¿Que es un sistema Fotovoltaico ?* (2020). <http://www.sde.mx/que-es-un-sistema-fotovoltaico/>
- [4] DamiaSolar. *¿Qué es y como funciona un panel solar?* (2018).
https://www.damiasolar.com/actualidad/prova/prova-1-cas_1_3
- [5] Rao, S., Sameeksha, K., Vivek, N., Gowtham, M., Cihan, T., Andreas, S., Pavan, T., Raja, A., & Devarajan, S. *Machine Learning for Solar Array Monitoring, Optimization, and Control*. (2020). (Jerry Hudgins, University of Nebraska, Lincoln ed., Vol. 1) [Libro electrónico]. Morgan & Claypool Publishers series.
<https://doi.org/10.2200/S01027ED1V01Y202006PEL013>

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

- [6] Mahinda, V., Dulika, N., & Shantha, G. *Power Electronics for Photovoltaic Power Systems* (Jerry Hudgins ed., Vol. 1). MORGAN&CLAYPOOL PUBLISHERS. (2015).
<https://doi.org/10.2200/S00638ED1V01Y201504PEL008>
- [7] Construyendo.co. *Polo a Tierra*. (s. f.). Recuperado 27 de mayo de 2021, de
<https://construyendo.co/electricidad/polo-a-tierra.php>
- [8] Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia. *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE* (Oscar Javier Riaño Orozco ed., Vol. 5). SPT INGENIERIA LTDA. (2008).
- [9] MPPTSOLAR. *Cómo funciona un inversor: esquema y funcionamiento*. (2021).
<https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>
- [10] Jdelectricos. *¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA UN BREAKER ELÉCTRICO O DISYUNTOR?* (2020, 25 mayo). <https://jdelectricos.com.co/como-funciona-un-breaker-electrico/>
- [11] Topcable. *Cables para instalaciones eléctricas domésticas*. (2015, junio).
<https://www.topcable.com/blog-electric-cable/cables-para-instalaciones-electricas-domesticas/>

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

[12] Top Cable. *Cables y Consejos Eléctricos*. (2015). <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/cables-para-instalaciones-electricas-domesticas/>

[13] Damia Solar. *Baterías Solares: Funcionamiento*. (2019, 12 abril). https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/baterias-solares-funcionamiento_1#:~:text=Qué%20es%20una%20batería%20solar&text=Las%20baterías%20solares%20son%20ese,noche%20o%20los%20días%20nublados.

[14] S&P. *¿Qué es y para qué sirve un variador de frecuencia?* 07 enero 2020 <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/variador-de-frecuencia/>

[15] C.E.. *BOMBAS SOLARES SUMERGIBLES*. CambioEnergetico. <https://www.cambioenergetico.com/190-bombas-solares-sumergibles#mas-info>

[16] ICONTEC. *NORMA NTC2050*. (1998, 25 noviembre). IDR.D.gov.co. <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc%2020500.pdf>

INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).

- [17] AGUILERA, J., & HONTORIA, L. *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. (2016). DOCPLAYER. <https://docplayer.es/15934998-Dimensionado-de-sistemas-fotovoltaicos-autonomos.html>
- [18] Style, O. *Energía Solar Autónoma* (1.^a ed., Vol. 1). ITACA. (2012). <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cNJB5tdbcJ0C&oi=fnd&pg=PP1&dq=sistema+fotovoltaico&ots=MUFXtcXdvD&sig=mBM3Aj4sh3ZxoX8XTeK953a4Jao#v=onepage&q&f=false>
- [19] Escobar Mejía, A., Torres, A., & Hincapié Isaza, R. (2010, abril). *CONEXIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO A LA RED ELÉCTRICA*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917310006.pdf>
- [20] Rocabert Delgado, J., Busquets Monge, S., & Bordonau Farrerons, J. *Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable*. JCEE. (2006). http://www.jcee.upc.es/JCEE2006/pdf_ponencies/PDFs/JCEE06_23_11_M1.pdf
- [21] RCN, & Sánchez Pico, L. M. *Planta de Energía Solar en Bolívar - Colombia* [Comunicado de prensa]. (2018, 29 noviembre). <https://www.rcnradio.com/estilo-de-vida/medio-ambiente/planta-de-energia-solar-empieza-operar-en-el-bolivar>

**INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA ZONAS RURALES
EN EL SUR DE BOLÍVAR – COLOMBIA, CON LA EMPRESA ASOTEMS (-).**

- [22] El Universal, & Domínguez Gómez, L. P. *Acueducto con Energía Solar en el Corregimiento El Cuatro* [Comunicado de prensa]. (2019, 16 septiembre). <https://www.eluniversal.com.co/regional/bolivar/el-cuatro-un-poblado-que-tiene-acueducto-con-energia-solar-HK1729779>
- [23] La República. *Proyecto Energía Solar Bayunca1* [Comunicado de prensa]. (2020, 10 noviembre). <https://www.larepublica.co/economia/en-bolivar-fue-inaugurada-oficialmente-la-planta-de-energia-solar-proyecto-bayunca-1-3087453>
- [24] ZNSHINESOLAR. *ZXM6-NH144 Series*. SOLARTEX.CO.(2020). <https://www.solartex.co/tienda/wp-content/uploads/2020/09/435-ZXM6-NH144.pdf>