



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA  
RENOVABLE DE PROPULSIÓN HUMANA Y SOLAR CON BATERÍAS, PARA EL CASERÍO  
EL ESPINAL, CHUARRANCHO, GUATEMALA**

**Marco Antonio Tepeu Coc**

Asesorado por el Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA  
RENOVABLE DE PROPULSIÓN HUMANA Y SOLAR CON BATERÍAS, PARA EL CASERIO  
EL ESPINAL, CHUARRANCHO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARCO ANTONIO TEPEU COC**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS EDUARDO GUZMÁN SALAZAR

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, MAYO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADOR	Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA  
RENOVABLE DE PROPULSIÓN HUMANA Y SOLAR CON BATERÍAS, PARA EL CASERIO  
EL ESPINAL, CHUARRANCHO, GUATEMALA.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 26 de julio de 2019.

**Marco Antonio Tepeu Coc**

Guatemala, 20 de marzo de 2021

Ingeniero  
Fernando Moscoso  
Coordinador Área de Potencia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

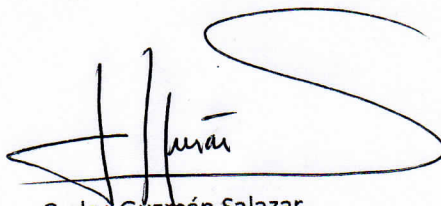
Estimado ingeniero Moscoso:

Hago de su conocimiento que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante **MARCO ANTONIO TEPEU COC**, titulado:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE DE PROPULSIÓN HUMANA Y SOLAR CON BATERÍAS, PARA EL CASERIO EL ESPINAL, CHUARRANCHO, GUATEMALA**

El cual cumple con los propósitos planteados para su elaboración. Por lo que, doy mi aprobación al mismo. Pudiendo el estudiante Tepeu Coc continuar con el proceso establecido por la Facultad de Ingeniería.

Quedo en la mejor disposición de ampliar lo dicho en los párrafos precedentes.  
Reciba un cordial saludo.



Carlos Guzmán Salazar  
ASESOR

**CARLOS GUZMAN SALAZAR**  
Ingeniero Electricista  
Col. No. 2762



REF. EIME 110.2021.  
13 DE JULIO 2021.

Señor Director  
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE DE PROPULSIÓN HUMANA Y SOLAR CON BATERÍAS, PARA EL CASERÍO EL ESPINAL, CHUARRANCHO, GUATEMALA, del estudiante, Marco Antonio Tepeu Coc, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

Ing. José Anibal Silva de los Angeles  
Coordinador de Electrotécnica



sro



REF. EIME 172. 2021.

**El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; MARCO ANTONIO TEPEU COC titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE DE PROPULSIÓN HUMANA Y SOLAR CON BATERÍAS, PARA EL CASERÍO EL ESPINAL, CHUARRANCHO, GUATEMALA, procede a la autorización del mismo.**

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo





GUATEMALA, 23 DE NOVIEMBRE 2021.

LNG.DECANATO.OI.449.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN HÍBRIDO UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE DE PROPULSIÓN HUMANA Y SOLAR CON BATERÍAS, PARA EL CASERÍO EL ESPINAL, CHUARRANCHO, GUATEMALA**, presentado por: **Marco Antonio Tepeu Coc**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, mayo de 2023

AACE/gaoc



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por cada detalle a lo largo de la realización de mi tesis, por ser la base moral, porque cada día me permitió despertar con vida, salud y fuerzas para seguir adelante, gracias a ti esta meta está cumplida.

### **Mis padres**

Ezequiel Tepeu Locón y María Marta Coc Toxcón, por ser los promotores de mis sueños, gracias a ellos por confiar, por creer en mí cada día, por su apoyo incondicional, gracias por cada consejo, por cada una de sus palabras que me motivaron para seguir adelante.

### **Mis hermanos**

Enmanuel, María Filomena, Patricia, Angélica, José David, Elida, Hernán, Miriam Amelia y Ezequiel Tepeu, por su comprensión, apoyo emocional y apoyo económico para culminar mi proyecto.

### **Mis sobrinos**

Pérsida y Eliezer Camey, Esdras y Keila Boror, Ángela Quelex, Amelia, Madaí y Caleb Tepeu, personas que siempre han llenado de alegría mi vida, y son mi motivación para seguir adelante.

**Mi asesor**

Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar, por su tiempo, atención, por su gran apoyo incondicional y su aporte profesional en el desarrollo de mi actual proyecto de investigación.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios, gracias por haberme permitido formarme en ella académicamente, y brindarme sus grandes conocimientos que han contribuido para continuar superándome profesionalmente.

**Facultad de Ingeniería**

Por darme la oportunidad de ser parte de tan reconocida Facultad, por compartirme conocimientos y experiencias que son pilares fundamentales en mi formación como profesional.

**Mi padre**

Por ser una persona que siempre deseaba y anhelaba lo mejor para mi vida, gracias por cada uno de sus consejos, gracias por el apoyo económico que siempre me brindó.

**Mi madre**

Por el amor recibido, por su paciencia, por su comprensión, porque siempre estuvo dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio.

**Mis amigos de la Facultad**

Por brindarme su amistad, apoyo y consejos durante el desarrollo de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. ENERGÍAS RENOVABLES Y EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....	1
1.1. Energías renovables.....	1
1.1.1. Tipos de energías renovables.....	2
1.2. El calentamiento global y cambio climático .....	10
1.2.1. Sequías y variabilidad climática.....	13
1.3. Energía solar térmica.....	16
2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA DE LA RED ELÉCTRICA .....	23
2.1. Energía solar .....	23
2.2. Energía solar fotovoltaica .....	24
2.3. Sistemas aislados de la red eléctrica .....	27
2.3.1. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados .....	33
2.3.2. Componentes de sistema fotovoltaico aislado.....	38
2.3.2.1. Sistema de paneles fotovoltaicos .....	38
2.3.2.2. Sistema de acumulación.....	43

	2.3.2.3.	Sistema de regulación de carga .....	49
	2.3.2.4.	Sistema inversor.....	53
	2.3.2.5.	Cableado del sistema fotovoltaico.....	57
2.4.		Sistemas de seguimiento solar .....	60
	2.4.1.	Sistemas de un eje.....	61
	2.4.2.	Sistema de doble eje.....	63
3.		ENERGÍA DE PROPULSIÓN HUMANA.....	67
3.1.		Conceptualización de procesos de transformación energética .....	69
	3.1.1.	La bici generadora.....	71
		3.1.1.1. Tipos de bicigeneradores .....	74
	3.1.2.	Conceptualización del cuerpo humano .....	76
		3.1.2.1. Proceso energético en el cuerpo humano .....	78
	3.1.3.	Como convertir energía mecánica en eléctrica .....	80
3.2.		Definición y funciones de los elementos que componen el sistema.....	81
	3.2.1.	Elementos mecánicos en una bici generadora.....	81
	3.2.2.	Elementos eléctricos en una bici generadora.....	85
4.		FACTORES POR TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA AISLADO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	93
4.1.		Problemática energética para los usuarios aislados .....	93
	4.1.1.	Población.....	100
	4.1.2.	Infraestructura .....	100
	4.1.3.	Clima y temperatura .....	101
	4.1.4.	Profesiones u oficios .....	102

4.1.5.	Educación.....	103
4.1.6.	Organización.....	104
4.2.	Las energías renovables y su impacto en el desarrollo de Guatemala.....	104
4.3.	Perfil energético de Guatemala .....	106
4.3.1.	Panorama energético en Guatemala .....	107
4.3.2.	Recursos energéticos renovables.....	114
4.3.2.1.	Sistemas solares térmicos .....	119
4.3.2.2.	Potencial solar en Guatemala.....	121
4.3.2.3.	Generación de electricidad con energía solar.....	122
5.	DISEÑO DE LOS SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....	127
5.1.	Sistema de generación eléctrica fotovoltaica.....	127
5.1.1.	Definición de un sistema fotovoltaico aislado .....	127
5.1.1.1.	Estimación del consumo real de las cargas.....	128
5.1.2.	Promedio de la radiación diaria disponible .....	130
5.1.2.1.	Peor mes o mes desfavorable .....	133
5.1.3.	Dimensionamiento del sistema de captación de energía .....	135
5.1.3.1.	Ubicación de los paneles fotovoltaicos.....	136
5.1.3.2.	Elección del tipo y número de paneles fotovoltaicos.....	138
5.1.3.3.	Características técnicas de los paneles fotovoltaicos .....	140
5.1.4.	Dimensionamiento del sistema de acumulación ...	146

5.1.5.	Dimensionamiento del sistema de regulación de carga .....	155
5.1.6.	Dimensionamiento del sistema inversor .....	162
5.1.7.	Conexión y cableado del sistema fotovoltaico.....	167
5.2.	Sistema de generación eléctrica por medio de bicicleta estática.....	180
5.2.1.	Descripción de un sistema bici generadora.....	180
5.2.2.	Mecánica del sistema de generación .....	181
5.2.2.1.	Desempeño tipo de un tripulante.....	185
5.2.2.2.	Características de desempeño del acople-generator .....	187
5.2.3.	Selección de los componentes del sistema Bici generadora.....	189
5.2.3.1.	Selección del tipo de bicicleta estática.....	189
5.2.3.2.	Selección del sistema de transmisión de potencia.....	190
5.2.3.3.	Selección del generador y sistema de acumulación .....	206
5.2.3.4.	Selección de tipo de sistema de transmisión .....	210
5.2.3.5.	Diseño del soporte trasero de la bicicleta estática.....	212
5.2.3.6.	Cableado del sistema bicigeneradora	215
5.2.4.	Tiempo para cargar el sistema de acumulación ....	219
5.3.	Diseño y conexiones del sistema híbrido fotovoltaico- bici generadora.....	227
5.3.1.	Descripción del sistema híbrido diseñado .....	227

5.3.1.1.	Diagramas y conexiones del sistema híbrido.....	228
5.3.1.2.	Protecciones del sistema híbrido .....	231
5.3.1.3.	Seguridad industrial del sistema híbrido.....	234
5.3.2.	Presupuesto del sistema híbrido.....	238
5.3.3.	Factibilidad del sistema híbrido.....	242
CONCLUSIONES .....		245
RECOMENDACIONES.....		247
BIBLIOGRAFÍA.....		249
APÉNDICES .....		255





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Energías renovables .....	1
2.	Causas del calentamiento global y cambio climático .....	13
3.	Corredor seco en Guatemala .....	14
4.	Tipos de radiación solar .....	18
5.	Partes de un colector solar.....	20
6.	Sistema fotovoltaico autónomo para cargas DC .....	28
7.	Sistema fotovoltaico autónomo para cargas AC .....	30
8.	Sistema fotovoltaico aislado centralizado.....	32
9.	Estación Espacial Internacional .....	33
10.	Electrificación en área rural.....	34
11.	Sistemas solares para telecomunicaciones .....	35
12.	Sistema de bombeo de agua solar.....	36
13.	Alumbrado público solar.....	36
14.	Faro alimentado por paneles fotovoltaicos.....	37
15.	Estación meteorológica solar .....	38
16.	Estructura de la célula fotovoltaica.....	40
17.	Constitución de un panel solar .....	41
18.	Regulador tipo paralelo .....	51
19.	Regulador tipo serie .....	52
20.	Regulador MPPT.....	53
21.	Esquema de una instalación autónoma con inversor .....	55
22.	Forma de onda según el tipo de inversor .....	57
23.	Tipos de seguidores solares de un eje.....	63

24.	Seguidor solar de doble eje tipo monoposte .....	64
25.	Seguidor solar de doble eje tipo carrusel.....	65
26.	Licadora a base de pedaleo fabricado por maya pedal .....	69
27.	Carbohidratos, proteínas y grasas .....	70
28.	Esquema de una bici generadora .....	73
29.	Bicigeneradora con faja de transmisión .....	74
30.	Bicigeneradora con rodillo de fricción .....	75
31.	Bicigeneradora con volante de inercia .....	76
32.	Partes de una bicicleta.....	84
33.	Partes de un motor DC de imanes permanentes .....	89
34.	Regulador de carga solar PWM.....	90
35.	Interruptor universal .....	91
36.	Regiones de Guatemala .....	95
37.	Mapa del municipio de Chuarrancho, Guatemala en el globo terrestre .....	97
38.	Croquis del municipio de Chuarrancho, caserío El Espinal .....	99
39.	Fotografías del caserío El Espinal: escuela provista (izquierda), escuela en construcción (derecha) y tipo de vivienda (centro) .....	101
40.	Suministro de energía primaria (KBEP) en Guatemala del 2001- 2016.....	108
41.	Consumo de combustible por sector (KBEP) en Guatemala a lo largo del año 2016 .....	110
42.	Producción y consumo energético per cápita (BEP/hab) para el país de Guatemala a lo largo del periodo 2001-2016.....	111
43.	Consumo de electricidad por habitante (kWh/hab) en Guatemala para los años del 2001 al 2016 .....	112
44.	Gráfico de la potencia instalada de placa en MW para la generación de energía eléctrica en Guatemala a partir de 2001 hasta 2017 .....	113

45.	Mapa de irradiación solar global anual, en kWh/m <sup>2</sup> /día, para Guatemala, desarrollado por el programa Solargis.....	125
46.	Gráfica de irradiancia y horas sol pico .....	130
47.	Pantalla del software METEONORM 7 versión 7.3.3 (los resultados se obtienen al seguir 5 pasos) .....	132
48.	Ejemplo de ubicación de los paneles fotovoltaicos en áreas rurales ...	136
49.	Trayectoria del sol (hora solar) en el caserío El Espinal, Chuarrancho, Guatemala.....	137
50.	Panel fotovoltaico policristalino ATERSA modelo A-150P .....	142
51.	Curva característica de tensión e intensidad.....	143
52.	Curva característica de tensión e intensidad, a 25 °C y distintos valores de irradiación .....	143
53.	Curva característica de tensión e intensidad, irradiación de 1 kW/m <sup>2</sup> y distintos valores de temperatura .....	144
54.	Ejemplo de instalación de los paneles fotovoltaicos .....	145
55.	Profundidad de descarga frente a número de ciclos .....	153
56.	Porcentaje de capacidad frente a temperatura .....	153
57.	Tiempo de almacenamiento en semanas frente a porcentaje de inicio de carga .....	154
58.	Batería Solar Trojan Signature SSIG 12V, 255Ah.....	154
59.	Regulador de carga BlueSolar PWM-LCD&USB 12/24V Victron Energy.....	161
60.	Inversor de onda sinusoidal modificada de 250 watts marca SamlexAmerica .....	166
61.	Consideraciones por tomar en cuenta para un pedaleo perfecto.....	182
62.	Histograma de velocidad del volante de inercia de la bicicleta estática durante las pruebas realizadas .....	186
63.	Acople-generator de la bicicleta estática.....	188
64.	Bicicleta común seleccionada para el diseño.....	190

65.	Sistema de transmisión de potencia de bicicleta estática .....	191
66.	Sistema de transmisión piñón-cadena .....	193
67.	Sistema de transmisión por ruedas de fricción .....	194
68.	Sistema de transmisión de rodillo de fricción al tren de poleas .....	198
69.	Sistema de transmisión de potencia por poleas .....	198
70.	Sistemas de transmisión del tren de poleas .....	200
71.	Vista del sistema de generación por medio de un tren de poleas y motor DC imanes permanentes .....	207
72.	Motor DC de imanes permanentes .....	208
73.	Batería SUNLIGHT .....	209
74.	Sistema de regulación de carga de la batería.....	210
75.	Sistemas de transmisión de la bici generadora .....	212
76.	Pasos para la elaboración del soporte de la bici generadora .....	214
77.	Cableado del sistema bicigeneradora.....	216
78.	Diagrama de conexión de la bicigeneradora.....	217
79.	Funcionamiento del circuito de control de la bici generadora .....	218
80.	Voltaje promedio generado por la bicigeneradora .....	221
81.	Corriente promedio generada por la bicigeneradora .....	222
82.	Potencia promedio generada por la bicigeneradora .....	222
83.	Determinación de energía generada en Wh durante la prueba .....	223
84.	Ejercicios de estiramiento previos a utilizar la bicigeneradora .....	226
85.	Postura correcta para ir en bicicleta.....	227
86.	Diagrama esquemático del sistema hibrido solar fotovoltaico y bici generadora .....	229
87.	Diagrama unifilar del sistema hibrido .....	230

## TABLAS

I.	Diferencias entre los paneles según su fabricación .....	42
II.	Características de los principales tipos de baterías .....	48
III.	Baterías utilizadas en instalaciones fotovoltaicas .....	48
IV.	Radiación solar promedio anual sobre una superficie horizontal (kWh/m <sup>2</sup> por día) en el caserío El Espinal del municipio de Chuarrancho, Guatemala .....	124
V.	Consumo teórico de energía eléctrica para los usuarios del caserío El Espinal .....	128
VI.	Irradiación media de la radiación global de una superficie a diferentes ángulos de inclinación .....	132
VII.	Cálculo del cociente $Y_T$ para todos meses del año y diferentes ángulos de inclinación, análisis del mes desfavorable del año .....	134
VIII.	Especificaciones del panel A-150P, proporcionadas por el fabricante ATERSA.....	140
IX.	Parámetros del panel fotovoltaico marca ATERSA conforme a las especificaciones del fabricante .....	146
X.	Especificaciones de la batería a utilizar en el sistema fotovoltaico diseñado, Batería Solar Trojan Signatur e SSIG 12V- 255 .....	151
XI.	Estado de carga medida de voltaje en circuito abierto .....	152
XII.	Especificaciones del regulador por utilizarse en el sistema fotovoltaico diseñado.....	159
XIII.	Especificaciones técnicas del inversor seleccionado para el sistema fotovoltaico .....	164
XIV.	Intensidades admisibles (A) al aire a 40 °C. N.º de conductores con carga y naturaleza de aislamiento.....	175
XV.	Cableado del sistema solar fotovoltaico .....	179

XVI.	Sección y tipo de cable para los distintos circuitos del sistema solar fotovoltaico.....	180
XVII.	Datos muestrales de las pruebas realizadas .....	187
XVIII.	Valores promedios de voltaje, corriente y potencia de las pruebas en la bicigeneradora .....	220
XIX.	Presupuesto del sistema híbrido en valores de quetzales (Q).....	239

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperio
<b>Ah</b>	Amperio-hora
<b>DC</b>	Corriente directa
<b>AC</b>	Corriente alterna
<b>GWh</b>	Gigavatio hora
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>Hz</b>	Hercio
<b>H</b>	Hora
<b>H.S.P.</b>	Hora sol pico
<b>J</b>	Julios
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>kWh/m<sup>2</sup>/día</b>	Kilovatio-hora por metro cuadrado por día
<b>Lb</b>	Libra
<b>MW</b>	Megavatio
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>N</b>	Newton
<b>Nm</b>	Newton-metro
<b>Ω</b>	Ohmio
<b>rad/s</b>	Radianes por segundo



<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>V</b>	Voltio
<b>Wh</b>	Vatio hora
<b>Wh/día</b>	Vatio-hora por día
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Vatio por metro cuadrado
<b>Wp</b>	Vatio pico
<b>W</b>	Watt o vatio

## GLOSARIO

<b>Brecha</b>	Abertura o rotura irregular en una superficie.
<b>Caserío</b>	Conjunto de casas en el campo que no constituyen un pueblo.
<b>Ciclón</b>	Viento extremadamente fuerte producido por una depresión atmosférica pequeña y muy brusca que avanza en grandes círculos girando sobre sí mismo, el cual se origina en zonas tropicales.
<b>Corriente alterna</b>	Corriente eléctrica variable en la que las cargas eléctricas cambian el sentido del movimiento de manera periódica.
<b>Corriente directa</b>	Corriente de intensidad constante en la que el movimiento de las cargas siempre es en el mismo sentido.
<b>Convección</b>	Es una de las tres formas de transferencia de calor que transporta el calor entre zonas con diferente temperatura, por medio de materiales, la evaporación del agua o fluidos.

<b>Desigual</b>	Que no tiene la misma naturaleza, cantidad, calidad, valor o forma que otra u otras personas o cosas, o que se diferencia de ellas en uno o más aspectos.
<b>Difusa</b>	Que carece de claridad o precisión o se percibe de esta forma, generalmente por estar lejos o por ser muy extenso.
<b>Dique</b>	Muro grueso construido para contener la fuerza del agua, embalsarla o reconducirla.
<b>Efecto invernadero</b>	Subida de la temperatura de la atmósfera que se produce como resultado de la concentración en la atmósfera de gases, principalmente dióxido de carbono.
<b>Fatiga</b>	Cansancio que se experimenta después de un intenso y continuado esfuerzo físico o mental.
<b>Géiser</b>	Abertura de origen volcánico en la corteza de la tierra de la cual brotan vapor, gases y agua muy caliente de manera intermitente y generalmente turbulenta.
<b>Generador</b>	Máquina eléctrica rotativa que transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
<b>Hídrico</b>	Del agua o relacionada con ella.

<b>Mitigar</b>	Reducción de la vulnerabilidad, en otras palabras, la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento geológico.
<b>Reservorio</b>	Recipiente grande, generalmente cerrado, que sirve para contener líquidos o gases.
<b>Semiárida</b>	Dícese del clima propio de las regiones próximas a un desierto. Se trata de un clima seco donde las lluvias anuales están entre los 500 y 800 mm.
<b>Semiconductor</b>	Cuerpo no metálico que conduce imperfectamente la electricidad y en la cual la resistividad disminuye al aumentar la temperatura, tales como el germanio, el selenio, el silicio, y otros.
<b>Terracería</b>	Camino acondicionado por el hombre, normalmente en áreas rurales, para la circulación de cualquier clase de vehículo de transporte terrestre. El suelo está aplanado y carece de cualquier revestimiento (arena, grava, asfalto o cemento).
<b>Ubicua</b>	Que está presente en todas partes al mismo tiempo.
<b>Volante de inercia</b>	Es un elemento totalmente pasivo que únicamente aporta al sistema una inercia adicional de modo que le permite almacenar energía cinética.



## RESUMEN

Debido a los altos niveles de contaminación por las emisiones de dióxido de carbono al igual que otros contaminantes, la vulnerabilidad ante el cambio climático es cada vez mayor en el mundo. Es por esa razón que, Guatemala tiene el deber y obligación de promover e impulsar la utilización de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica, de tal manera que la cantidad de recursos naturales que posee, sean aprovechados de manera eficiente.

En Guatemala, la energía renovable más abundante es la energía hidroeléctrica, de acuerdo con el informe del Ministerio de Energía y Minas para 2020 fue de un 52,30 % de la energía total generada, esto debido a la cantidad de ríos que posee, también por su excelente orografía para realizar proyectos de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas.

Sin embargo, de acuerdo con los avances tecnológicos existe otro recurso renovable apto para la generación de energía eléctrica, la energía solar.

Conforme al mapa de potencial solar en el informe del Ministerio de Energía y Minas, juntamente con la colaboración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, desarrollaron el proyecto SWERA, en el cual han establecido que Guatemala cuenta con una excelente y aprovechable radiación solar para la generación de proyectos de energía eléctrica, el cual posee un valor promedio anual de radiación solar global de 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/día; la forma más práctica para generar energía eléctrica es aprovechando los rayos del sol a través de paneles solares fotovoltaicos.

La energía solar fotovoltaica conforme al avance tecnológico, está siendo cada vez más utilizada en Guatemala para la generación de energía eléctrica, conforme a los datos de Ministerio de Energía y Minas para 2020 fue de 1,99 % del total de energía generada, además recientemente se está empleando en áreas rurales; en este proyecto de investigación se diseñó un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, utilizando energías renovables para suministrarle energía eléctrica a un caserío del municipio de Chuarrancho, perteneciente al departamento de Guatemala, llamado El Espinal.

Con este diseño por implementarse, se consigue promover la utilización de energías renovables y además dar solución al problema del suministro de energía eléctrica en áreas rurales aisladas de la red eléctrica.

Por medio del análisis sobre los recursos que se disponen en el municipio de Chuarrancho, se diseñó un sistema híbrido con la capacidad de aprovechar al máximo la radiación solar utilizando paneles fotovoltaicos y en conjunto con un sistema de respaldo a través de una bici generadora de electricidad. Para este diseño se utilizó un sistema aislado individual, en el cual se da a conocer los consumos eléctricos establecidos por los usuarios del caserío, de tal forma que el respectivo dimensionamiento sea eficiente.

El sistema híbrido está conformado por, un sistema de captación de energía solar utilizando paneles fotovoltaicos, sistema de respaldo utilizando una bici generadora de electricidad, sistema de almacenamiento de energía producida por los sistemas de generación anteriores, el sistema de regulación de carga, un sistema inversor de potencia, el cableado, las protecciones, el transporte de energía entre cada sistema y los respectivos consumos de los usuarios.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Proponer el diseño de un sistema híbrido para la generación de energía eléctrica utilizando fuentes renovables, para la implantación en un caserío rural del país, con la ayuda de la tecnología actual y disponible en Guatemala.

### **Específicos**

1. Utilizar fuentes de energías renovables para generar electricidad, con energía solar fotovoltaica.
2. Utilizar fuentes alternas para generar electricidad, con energía de propulsión humana.
3. Diseñar un sistema de generación híbrido para suministrar electricidad en una vivienda rural de Guatemala, caserío El Espinal, municipio de Chuarrancho.
4. Presentar una guía de diseño de un sistema de generación híbrido utilizando energía de propulsión humana y solar, integrando la energía generada a una etapa de almacenamiento mediante el uso de baterías.
5. Determinar la factibilidad técnica del sistema híbrido para la generación de energía eléctrica.





## INTRODUCCIÓN

La problemática que actualmente se vive en el mundo respecto de la contaminación del ambiente, el calentamiento global, los fuertes cambios climáticos es debido al aumento de temperatura observado cada año, el cual ocasiona sequías, incendios, entre otros, lo cual implica que se desarrollen nuevas fuentes de energía, energías verdes. Estas fuentes de energía limpia no contaminan al ambiente y no gastan los recursos del planeta para generar energía eléctrica.

De acuerdo con el informe general del Ministerio de Energía y Minas, respecto de la matriz de generación de energía eléctrica a diciembre de 2020, las energías renovables tuvieron una aportación del 75,28 % del total de la energía que se generó en el año correspondiente, esto indica un incremento del uso de las fuentes renovables en Guatemala.

La energía solar en Guatemala ha tenido un crecimiento en los últimos años, dado que es una de las tecnologías adecuadas para el desarrollo de proyectos utilizando energía renovable, esto se debe a que Guatemala es un país que posee un enorme potencial solar, gracias a su ubicación geográfica; según los informes del Ministerio de Energía y Minas respecto de 2017 esta tecnología aportó 1,73 % a la matriz de generación eléctrica, en cambio para el año 2020 su aporte incrementó a 1,99 %.

Las bicicletas permiten cómodamente el transporte de un lugar a otro gracias a la propulsión humana. Además, son muchos sus beneficios para la salud y para el ambiente. La bicicleta es un instrumento para hacer ejercicios, en

la que se crea un movimiento cinético iniciando desde las piernas, de tal forma que se le aplique una fuerza hacia los pedales, en el cual se ejerce un par de torsión, por consiguiente, la energía mecánica se transfiere hacia las ruedas, de manera que no se pierda la oportunidad de aprovechar la energía mecánica que se ejerce al pedalear, existen varias formas para aprovecharla, por ejemplo, para iluminación, bombeo de agua, moler granos, entre otros.

El Ministerio de Energía y Minas ha determinado que la cobertura eléctrica nacional en Guatemala aumentó 0,76 % a partir de 2018 hasta agosto de 2020, logrando así alcanzar el 88,90 %. Sin embargo, existen muchas comunidades rurales, caseríos o aldeas que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, esto debido al difícil acceso o por el costo elevado de una red de distribución, por estas razones es necesario emplear sistemas de energías autónomos utilizando energías renovables.

Desde la problemática que se relaciona con la energía eléctrica, se propone el desarrollo de la utilización de energías renovables en Guatemala, mediante un sistema híbrido de generación eléctrica, utilizando energía solar y de propulsión humana, que pueda cubrir la demanda energética de un caserío aislado de la red eléctrica. Teniendo en cuenta todos los factores relacionados con esta región, como la infraestructura, la población, el clima, la temperatura, entre otros.

El propósito del proyecto como tal, es de implementar el uso de fuentes de energías renovables en Guatemala, utilizando los recursos y tecnología disponible, promoviendo así su utilización en áreas aisladas de la red eléctrica.

En el primer capítulo se presenta el tema de las energías renovables y el impacto del cambio climático. En el segundo capítulo se desarrolla el tema de la energía solar fotovoltaica aislada de la red eléctrica.

En el tercer capítulo se presenta el tema relacionado con la energía de propulsión humana. El cuarto capítulo se da a conocer los factores por tomar en cuenta en el diseño de un sistema aislado para la generación de energía eléctrica.

Seguidamente, el quinto capítulo se presenta el diseño de un sistema híbrido de generación de energía eléctrica, utilizando energía solar fotovoltaica y energía de propulsión humana.



# 1. ENERGÍAS RENOVABLES Y EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

## 1.1. Energías renovables

Las energías renovables se definen como aquellas que permiten obtener energía; por ejemplo, el sol, el viento, el agua de los ríos, el mar, el interior de la tierra, y los residuos. En la actualidad, forman parte del complemento para las energías convencionales fósiles (carbón, petróleo, gas natural) en donde el consumo actual de los seres humanos cada vez es más alto, están ocasionando que los recursos se agoten, y por ende, graves problemas ambientales.

Figura 1. Energías renovables



Fuente: *Energías renovables*. [www.buapenergias.blogspot.com/2014/04/collage.html](http://www.buapenergias.blogspot.com/2014/04/collage.html). Consulta:

18 de agosto de 2019.

Aquel tipo de energía que se obtiene de forma continua y que para el uso de los seres humanos es inagotable, además se utilizan para el suministro energético, de tal forma que no deterioren el ambiente, se le define como energías renovables. Para la generación de energía eléctrica se emplean las fuentes de energías renovables, los cuales depende de los recursos naturales que existen en el lugar por desarrollarse.

### **1.1.1. Tipos de energías renovables**

Se entiende como energía hidráulica, a la utilización de la energía potencial que dispone una corriente de agua por diferencia de alturas, a causa de que la gravedad hace que fluya de un terreno más elevado a uno más bajo; de tal manera que esa energía se convierte en mecánica a través de una turbina, que acoplado a un generador produce energía eléctrica.<sup>1</sup>

Para un óptimo aprovechamiento de la fuerza del agua se construyen infraestructuras que sean capaces de utilizar al máximo dicha fuerza, la cuales corresponden a las centrales hidroeléctricas. Tanto la potencia como la energía que se produce en un río está en función de dos variables, una es la diferencia de altura y la otra es el caudal.

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en 3 principales categorías, la primera son las centrales de paso, son aquellas en el cual no existe una acumulación considerable de agua corriente arriba de las turbinas, estas se filtran por las rejillas que protegen a la turbina, las cuales giran al recibir el agua, de tal forma que esta rotación se transmite al generador a través del eje. Este tipo de central debe aceptar todo el caudal del río, dicho de otra manera, cuando el caudal del río es mayor básicamente en la época lluviosa producen su máxima potencia y el agua excedente pasa de largo, caso contrario cuando el caudal del

---

<sup>1</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Las energías renovables en la generación eléctrica en Guatemala*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2019/01/Energ%C3%ADas-Renovables-en-Guatemala.pdf>. Consulta: 18 de agosto de 2019.

río es menor principalmente en el verano la potencia desarrollada tiende a disminuir.

La segunda categoría corresponde a las centrales que utilizan un embalse, este tipo aprovechan la diferencia de elevación entre un embalse y una central hidroeléctrica que se ubica por debajo, de tal forma que el agua fluye por medio de túneles o tuberías hasta llegar a las tuberías centrales. Su utilización es principalmente para cubrir de manera eficiente las horas pico de la demanda de energía eléctrica, esto se debe a la característica de regular la cantidad de agua que pasa por las tuberías.

La última categoría corresponde a las centrales de bombeo, básicamente tiene 2 funciones el bombear y almacenar, la característica particular de este tipo es que son las únicas que pueden almacenar el agua, esto se debe a que pueden impulsar el agua de un embalse inferior a un embalse superior, de igual forma de manera inversa. En otras palabras, en las horas en donde el consumo sea menor, la capacidad producida se utiliza para impulsar bombas del embalse inferior al superior, caso contrario cuando el consumo es superior se deja fluir libremente el agua del embalse superior a las turbinas que terminan en el embalse inferior.

Por otra parte, las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar conforme a su tamaño en: pico hidroeléctricas, cuando la energía que produce es menor de 5 kW. Micro hidroeléctricas, cuando la energía que producen varía entre 5-100 kW y son ideales para zonas alejadas o áreas rurales. Pequeñas hidroeléctricas, si la energía que producen varía entre 1-20 MW y son adecuadas para pequeñas industrias o para comunidades completas. Por último, las grandes hidroeléctricas, si la energía que producen varía entre 20-300 MW.



Los componentes de una central hidroeléctrica son: la infraestructura de obra civil (presa), el área donde se acumula el agua (embalse), la tubería forzada, aliviaderos, el área donde se encuentran localizados los equipos de producción de la energía eléctrica (casa de máquinas), transformadores y líneas de transmisión de energía eléctrica.

Entre los beneficios de la energía hidráulica está que no requiere combustibles fósiles, no contaminan el aire ni el agua, sus costos de mantenimientos son bajos, no generan residuos tóxicos en el proceso de producción de energía eléctrica y respecto a su funcionamiento son muy estables.

La energía de la biomasa se define como la energía de la naturaleza, en otras palabras, es la que aprovecha todo lo que la naturaleza proporcione, utiliza los desechos orgánicos, los cuales pueden ser de procedencia vegetal o animal, y se utilizan para fines energéticos.

Dependiendo de la procedencia existen varios tipos, por ejemplo, las biomásas agrícolas se derivan tanto de las cosechas como de los cultivos, las biomásas forestales conformadas por los residuos de las podas de los árboles, las biomásas ganaderas corresponden a los residuos de los ganados (estiércol y purines). Las biomásas industriales corresponden a los residuos procedentes de las industrias alimentarias y fábricas de aceite de oliva, las biomásas que provienen de los basureros que corresponden a los residuos sólidos urbanos, entre otros.

Para fines energéticos las biomásas se convierten por medio de procesos mecánicos, termoquímicos y biológicos, con el propósito de obtener productos

como los pellets de madera para producir calor, biogás para la generación de energía eléctrica, por último, para combustible como por ejemplo el biodiésel.

En Guatemala un ejemplo de las industrias que utilizan la biomasa con fines energéticos, son las industrias azucareras que emplean el proceso de cogeneración por medio del cual obtienen energía eléctrica y energía térmica. Para la producción de esta se recurre al bagazo de caña, de igual forma para la energía térmica utilizan los residuos agroindustriales.<sup>2</sup>

La energía eólica se define como aquella que se obtiene de forma directa de la fuerza del viento, el viento se origina por un calentamiento desigual de las masas de aire por el sol, a distintos cambios de temperatura se generan diferentes presiones atmosféricas, y estas, a su vez, circulan a partir de las regiones de alta presión hacia las regiones de baja presión. Esto genera corrientes de aire que pueden ser aprovechados por distintos medios.<sup>3</sup>

Se emplean medios principales para la producción de energía eólica, tales como los aerogeneradores o molinos de viento, que son los encargados de convertir la energía cinética que se produce por el movimiento del viento en electricidad. Puesto que es una fuente de energía ubicua, respecto de la matriz de energías renovables, continuamente la energía eólica toma mayor relevancia.

Las formas de aprovechar la intensidad del viento en aquellas regiones con mayor potencial eólico, se instalan los molinos de viento en el mar o en la tierra.

En la actualidad se puede clasificar a los aerogeneradores en dos grupos, el primero corresponde a los de eje vertical, el cual consiste en varias velas unidas a un eje vertical, de tal manera que el viento incida en ellas de manera que pueda hacer girar el sistema, tales como el aerogenerador Savanius, Darrieus, Giromill, Windside y sin pala.

---

<sup>2</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Las energías renovables en la generación eléctrica en Guatemala*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2019/01/Energ%C3%ADas-Renovables-en-Guatemala.pdf>. Consulta: 18 de agosto de 2019.

<sup>3</sup> *Ibíd.*

El otro grupo corresponde a los de eje horizontal, posee rotores tipo hélice que giran a una velocidad mayor que los de eje vertical, están formados por una, dos o tres palas para conseguir una velocidad aproximada de 6 a 10 veces la velocidad del viento, esto hace que sean las óptimas para la producción de energía eléctrica, podemos encontrarlos en sus tres modelos, Monopala, Bipala y Tripala.

La energía geotérmica es una de las fuentes de energía menos conocida pero más eficiente, se refiere a la energía que se puede aprovechar del calor que se produce en el interior de la tierra, energía almacenada en forma de calor en rocas, suelos y aguas subterráneas; la temperatura depende de la profundidad a la que se encuentre.

Los recursos geotérmicos se pueden clasificar de acuerdo con su nivel térmico en, alta temperatura, media temperatura, baja temperatura y muy baja temperatura. Respecto de las aplicaciones de la geotérmica van a depender de las características de cada fuente, primero la temperatura que es el factor fundamental que va a condicionar su forma de aprovechamiento.

Respecto del nivel de altas temperaturas, son superiores a 150 °C, estas permiten convertir de forma directa el vapor de agua en energía eléctrica y el proceso de obtención es semejante al de extracción del petróleo.

En caso de que las temperaturas se encuentran entre los 90 °C a 100 °C, corresponde al nivel de media temperatura y su principal aprovechamiento es para la generación de energía eléctrica, por medio de un fluido de intercambio el cual va a alimentar a las centrales en donde se lleva a cabo la conversión de vapor a electricidad.

En el momento que el nivel de temperatura se encuentra entre los 30 °C a 90 °C, en este nivel la temperatura es insuficiente para producir electricidad, sin embargo, se puede emplear en otras aplicaciones tales como la calefacción en edificios, procesos industriales y agrícolas.

Cuando la temperatura es menor que los 25 °C, corresponde al nivel de muy baja temperatura, únicamente se pueden utilizar para la climatización y obtención de agua caliente para satisfacer las necesidades, tanto domésticas como urbanas.

Entre las ventajas de la energía geotérmica están que, bien manejados en el campo, pueden tener un tiempo de vida muy largo, su huella ambiental es mínima, no emite emisiones dañinas al ambiente y su rango de aplicaciones es muy amplio.

La energía solar se obtiene de la energía del sol que por medio de su radiación produce calor e iluminación. Esta energía requiere de sistemas de captación y de concentración.

Las aplicaciones más comunes son para paneles solares, los cuales captan la energía del sol con una superficie oscura y se usa para calentar agua, también se utiliza para convertir la energía solar en eléctrica por medio de células fotovoltaicas.

Según el Ministerio de Energía y Minas, Guatemala es un país que, a causa de su ubicación geográfica, presenta valores representativos de radiación a lo largo de casi todo el año, por este motivo convierte al país apto para el aprovechamiento de este recurso energético.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Las energías renovables en la generación eléctrica en Guatemala*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2019/01/Energ%C3%ADas-Renovables-en-Guatemala.pdf>. Consulta: 18 de agosto de 2019.

Entre los beneficios que ofrece la energía solar se menciona que, no contamina al ambiente, ahorros considerables de los usuarios auto productores, permite llevar energía a lugares alejados de la red eléctrica y es una fuente de generación de empleos.

La energía de propulsión humana se considera como un tipo de energía alterna para la generación de energía eléctrica, definiéndose como la energía que posee el ser humano en forma química, de acuerdo con los alimentos que consume, y que puede ser transformada en energía mecánica útil, de tal forma que se aproveche para realizar una diversidad de trabajos. Está fundamentado por los impulsos de una persona para producir movimientos rotacionales.

Los niveles de potencia que un ser humano da en una prueba física dependen de la fortaleza muscular, el tiempo que se asigne al ejercicio (tiempos cortos o largos), las condiciones a que esté sujeto y la disponibilidad de líquidos en su cuerpo.

Se ha dado a conocer como una opción factible en aquellos países en desarrollo, buscando formas para generar energía eléctrica, que no requieran de ningún consumo eléctrico. Por ejemplo, en la India el inventor Manoj Bhargava con la bicicleta generadora de electricidad Free electric, una persona pedaleando una hora puede generar energía para satisfacer las necesidades energéticas en un hogar humilde a lo largo de un día.<sup>5</sup>

En otros países, se han implementado formas de generación con diversas personas, por ejemplo, el gimnasio Eco Gym en Rochester Nueva York, es un gimnasio ecológico equipado con 21 máquinas cardiovasculares con la capacidad de generar más de 160 vatios por hora de electricidad en una sola sesión de entrenamiento.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> EcolInventos. *Con sólo una hora de pedaleo, Free electric puede generar 24 horas de energía para una casa en comunidades sin suministro eléctrico.* <https://ecoinventos.com/free-electric/>. Consulta: 24 de agosto de 2019.

<sup>6</sup> AMOR, Tessa. *Este gimnasio obtiene su poder de tu entrenamiento.* <https://www.weforum.org/agenda/2018/03/this-new-eco-gym-is-powered-by-your-workout>. Consulta: 25 de agosto de 2019.

Se define como energía mareomotriz a la energía que es transportada por medio de las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperaturas conforme a la profundidad del océano.

El mar como fuente de energía continua, que en la actualidad el ser humano no la está aprovechando, sin embargo, se ha trabajado por largos años para descubrir la tecnología que permita transformar el mar en una fuente de abastecimiento energético factible, técnica y económica.

La energía mareomotriz se refiere al aprovechamiento del cambio de marea para almacenar agua mediante estanques, colocación de turbinas tanto en las entradas como en las salidas de agua, de tal forma que la energía potencial sea transformada en energía eléctrica, además son proyectos de poca altura y mucha agua, semejante a los ríos en una central hidroeléctrica.

Se requiere una carrera de marea mayor a 5 metros para que esta tecnología sea factible, en donde la carrera de marea corresponde a la diferencia entre la marea baja y la marea alta.

Entre las plantas de energía mareomotriz a gran escala se puede mencionar, Sihwa Lake ubicada en Corea del Sur, con una capacidad de generación de 254 MW; La Rance ubicada en Francia, con una capacidad de generación de 240 MW; Tidal Lagoon ubicada en el Reino Unido, con una capacidad de generación de 240 MW; MeyGen ubicada en Escocia, con una capacidad de generación de 86 MW; Annapolis Royal ubicada en Canadá, con una capacidad de generación de 20 MW.<sup>7</sup>

Descrito los tipos de energías renovables, se concluye que para generar energía eléctrica se emplea cualquiera de las anteriores, siempre que se cumpla con los requisitos establecidos por cada fuente energética. Ante todo, es importante realizar estudios de la región o zona en donde vaya a implementarse.

---

<sup>7</sup> MiningPress. *Las plantas de energía mareomotriz más grandes*. <http://miningpress.com/289211/las-plantas-de-energia-mareomotriz-mas-grandes>. Consulta: 30 de agosto de 2019.

Además, es importante que en Guatemala se fomente a través de las instituciones u organizaciones a utilizar energías renovables para la generación de energía eléctrica en aquellos lugares que presentan mayor índice de pobreza.

## **1.2. El calentamiento global y cambio climático**

A lo largo de estos últimos años los científicos han estudiado la temperatura de la superficie terrestre, esta va en aumento de forma gradual más de lo establecido, este aumento de la temperatura promedio en la superficie terrestre es debido al aumento de los niveles de gases de efecto invernadero. A este aumento de temperatura se le conoce como calentamiento global.

El calentamiento ha provocado que el hielo se derrita, principalmente en la región de Antártida, debido a eso el nivel del mar está aumentando cada vez más. Como resultado, las poblaciones ubicadas cerca de las costas se encuentran ante peligros de inundaciones.

En el momento en que el calor del Sol ingresa a la Tierra, una parte del calor es absorbida por la superficie, por esta razón queda retenida para que la temperatura sea constante. Los gases de efecto invernadero son aquellos que se encuentran en la atmósfera, además se utilizan como un obstáculo que no dejan salir el calor. Algunos ejemplos más comunes de los gases con efecto invernadero son, el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el metano (CH<sub>4</sub>) y el ozono (O<sub>3</sub>). A todo este proceso se le conoce como efecto invernadero, por otra parte, en ausencia de ello el planeta sería demasiado frío, de tal forma que no sería apto para que la humanidad viviera en ella.

“Una parte del calor sí regresa al espacio, de lo contrario el planeta sería excesivamente caliente y de la misma forma la humanidad no lograría vivir en ella”.<sup>8</sup>

Por otra parte, cuando se refiere al cambio climático no es al cambio de las estaciones durante el año, debido a que estos son los climas que se esperan y que el planeta necesita para que funcione de manera eficiente.

Muchas veces igualamos el calentamiento global con el cambio climático, hasta cierto punto tiene semejanza porque ambos aumentan la temperatura del planeta, sin embargo, existe una diferencia y es que normalmente el cambio climático se le culpa al ser humano, pero no solo la humanidad contribuye a un cambio climático, sino que también existen otros factores externos e internos que contribuyen.

Cuando se refiere a factores externos se puede mencionar a aquellos que se dan fueran del planeta, por ejemplo el sol, los meteoritos, las variaciones orbitales, estos factores no afectan a corto plazo sino que su efecto es a largo plazo, esto se debe a que son constantes e impredecibles, un ejemplo claro es la radiación solar la cual se da de manera constante a lo largo del año, sin embargo, las manchas solares y fluctuaciones en su campo magnético e irradiación solar afectan en cualquier momento. Estos factores contribuyen de manera mínima al cambio climático.

Respecto de los factores internos se puede mencionar los movimientos tectónicos, la composición de la atmósfera, las corrientes del océano y los

---

<sup>8</sup> Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID. *Afrontando el cambio climático en el altiplano occidental de Guatemala*. [https://nexoslocales.com/wp-content/uploads/2018/01/HerramientasMunicipales/1\)%20Afrontando%20Cambio%20Climatico.pdf](https://nexoslocales.com/wp-content/uploads/2018/01/HerramientasMunicipales/1)%20Afrontando%20Cambio%20Climatico.pdf). Consulta: 30 de agosto de 2019.



volcanes, todo lo anterior ha cambiado el clima desde muchos años atrás, pero estos lo han realizado de manera lenta, esto se debe a que son factores que cambian a largo plazo, los cuales contribuyen en gran manera al cambio climático del planeta.

Hoy día se observa que el planeta está experimentando variaciones más fuertes y rápidas, que duran largos periodos de tiempo, por tal motivo se le culpa al ser humano por la excesiva contaminación del planeta, de tal forma que todo esto ha modificado la composición de la atmósfera. A esto se le define como cambio climático. Sus efectos son mundiales, pero muchas veces afecta a regiones específicas a largo plazo.

Tanto el calentamiento global como el cambio climático son provocados por la misma humanidad, principalmente por la quema de combustibles, quema de leña, quema de basura (papel, cartón, plásticos, entre otros), el incremento de los incendios forestales, la destrucción parcial o total de los bosques, la degradación de basura, la prolongada crianza de animales (bovinos, porcinos, gallinas, entre otros), el uso de aerosoles, el excesivo uso de fertilizantes, pesticidas, entre otras cosas.

Figura 2. **Causas del calentamiento global y cambio climático**



Fuente: QUINTANILLA, César. *Más caliente que el calentamiento global*.  
[www.latribuna.hn/2019/01/26/mas-caliente-que-el-calentamiento-global/](http://www.latribuna.hn/2019/01/26/mas-caliente-que-el-calentamiento-global/). Consulta: 28 de agosto de 2019.

### **1.2.1. Sequías y variabilidad climática**

A nivel general define la sequía como un fenómeno natural que se describe como un periodo de falta de humedad normal en una determinada región debido a la variabilidad del clima, la sequía es ocasionada por causas naturales, por tal motivo existen varios tipos de sequias entre las que se menciona la sequía meteorológica la cual corresponde a un periodo en el que la cantidad de lluvia es significativamente menor que la normal o en otros casos es nula.

La sequía agrícola se refiere a la falta de precipitación, este comienza a tener afectaciones en el sector agrícola, de tal forma que la humedad del suelo se reduce y eso repercute en los cultivos los cuales necesitan del agua contenida en el suelo para que puedan crecer sanos.

La sequía hidrológica se da cuando existe una disminución de los caudales naturales, por ejemplo, cuando en un río fluye menos agua de lo normal o cuando el nivel de lagos o lagunas disminuye. La sequía hidrogeológica se refiere a una disminución del agua almacenada en los acuíferos que se localizan en el subsuelo.

En Guatemala la sequía ha perjudicado primeramente la zona semiárida del país, que se conoce como corredor seco, pero esta región en los próximos años se extenderá hacia la meseta del país, a causa del aumento del calentamiento global y el cambio climático.

Figura 3. **Corredor seco en Guatemala**



Fuente: OROZCO, Andrea. *Maga reconoce incapacidad para atender inseguridad alimentaria este año*. [www.prensalibre.com/guatemala/politica/maga-no-tiene-dinero-para-atender-la-crisis-alimentaria-este-ano/](http://www.prensalibre.com/guatemala/politica/maga-no-tiene-dinero-para-atender-la-crisis-alimentaria-este-ano/). Consulta: 30 de agosto de 2019.

En los informes del Insivumeh se muestra que en Guatemala se han producido canículas extensas en los años de sequía, también en ocasiones en años clasificados como año Niño o condiciones neutras. Entre los ejemplos de sequías se puede mencionar, las que se desarrollaron en 1982, 1986, 1997, 2001, 2002, 2006, 2009, 2012 y 2014.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Definición de sequía*. <http://historico.insivumeh.gob.gt/sequia/>. Consulta: 2 de septiembre de 2019.

Por otra parte, la canícula se refiere al fenómeno meteorológico-climático que es determinada por la falta de agua en las épocas lluviosas. En otras palabras, corresponde a una disminución de lluvia dentro de la época lluviosa, usualmente en el lapso de 10 a 20 días en donde la lluvia es disminuida o incluso sin lluvia. Actualmente en Guatemala los períodos cálidos y sin lluvia han sido más extensos, esto debido al cambio climático.

El futuro que le espera a Guatemala, a causa del cambio climático es de sequías y canículas que se incrementen en magnitud, sequedad, prolongación, entre otros.

Guatemala es un país que, debido a su alta vulnerabilidad, su escaso desarrollo ambiental está sufriendo las consecuencias de esta problemática. Juntamente con las erupciones volcánicas, quema de combustibles fósiles, deforestación y actividad industrial local en el país, no solo contaminan el ambiente, sino que apresuran los efectos de degradación ambiental para el país.

Los cambios a las condiciones climáticas medias, que pueden ocurrir en cualquier instante y en cualquier parte del mundo, se les definen como variabilidad climática, debido a estas variaciones climáticas en ocasiones tenemos años con mucha lluvia que otros, al contrario, en ocasiones se tiene años más calurosos que otros.

“El aumento de las temperaturas en torno al mundo ha cambiado los patrones climáticos de la Tierra, lo cual ha provocado un incremento de acontecimientos climáticos intensos, como tormentas tropicales y sequías”.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> LÓPEZ SELVA, María Mercedes. *Cambio y variabilidad climática*. p. 6.

Este incremento de temperatura ha ocasionado una disminución mundial del hielo glacial, una reducción de la cobertura de nieve en muchas áreas del hemisferio norte, incremento de la temperatura de los océanos del mundo, de igual forma el aumento de los niveles del mar, aumento tanto de huracanes como tormentas tropicales en el océano Atlántico y el mar Caribe.

El clima ha cambiado y la característica que más se hace evidente es su variabilidad, en otras palabras, el clima cambia con mayor frecuencia presentándose cada vez más fuerte, lo cual impide su estabilidad.

Según expertos reportan que los agricultores en Guatemala, se les hace más difícil hoy en día determinar el inicio y el final de la época lluviosa, esto debido a todos los factores descritos anteriormente.

### **1.3. Energía solar térmica**

Es muy importante hablar acerca del sol como fuente de energía, antes de mencionar la energía solar térmica, el sol es el centro del sistema solar, de tal forma que todos los planetas giran alrededor de él a diferentes velocidades formando órbitas elípticas de acuerdo con la distancia a que se encuentren. Para ello es necesario que se entienda que la tierra necesita del sol (afecta la presión atmosférica, genera los vientos, derrite los hielos, evapora el agua, entre otros). Además, tiene dos movimientos uno es la rotación el cual da lugar al día y la noche, el otro es la traslación el cual se refiere al movimiento alrededor del sol, dando lugar a las estaciones del año. Seguidamente se menciona que la radiación solar es el combustible para que se desarrolle la energía solar térmica.

El sol emite una cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, pero no toda la energía que ingresa a la atmósfera del planeta llega a la superficie de la tierra, esto quiere decir que debido a la distancia a la que se encuentra, una parte es reflejada por las nubes, otra parte es reflejada por la atmósfera, otra parte es

absorbida por las nubes y la otra parte llega a la superficie terrestre de manera directa; esta última es la que se utiliza para fines energéticos.<sup>11</sup>

La radiación solar que proviene del sol llega a la superficie terrestre de tres maneras diferentes las cuales se mencionan a continuación:

La primera corresponde a la radiación que se puede observar en un día soleado y es la que proviene directamente del sol sin haber chocado con nada en su trayecto, de tal forma que no se desvía ni cambia de dirección, a esto se le denomina radiación directa.

La segunda corresponde a la radiación que se puede observar en un día nublado, y es la que proviene después de haber chocado con cualquier elemento de la atmósfera (partículas de agua, contaminación, nubes, entre otros), de manera que cambia su dirección, a esto se le conoce como radiación difusa.

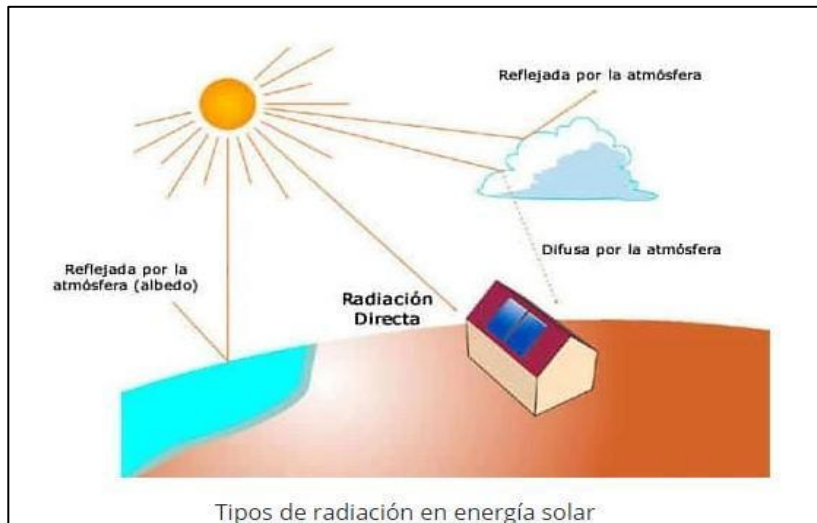
La última corresponde a aquellas regiones de la tierra en las que sobresalen con mucha nieve, con bastante agua o cualquier otro elemento de la superficie que sirva de reflexión, a esto se le conoce como radiación reflejada o albedo.

En la siguiente figura se muestra los tipos de radiación solar que llegan a la superficie del planeta.

---

<sup>11</sup> Instituto Tecnológico de Canarias S.A. *Energías renovables y eficiencia energética*. p. 21.

Figura 4. Tipos de radiación solar



Fuente: Ingeniería-E4e Soluciones. *Ángulo de incidencia e irradiación solar. Claves para generar electricidad.* [www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/angulo-de-incidencia-e-irradiacion-solar-claves-para-generar-electricidad](http://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/angulo-de-incidencia-e-irradiacion-solar-claves-para-generar-electricidad). Consulta: 10 de mayo de 2020.

Los instrumentos que se utilizan para medir la radiación solar son los siguientes, el piranómetro mide la cantidad de radiación que se recibe en un lugar determinado, utilizando sensores para captar el flujo de radiación solar y la unidad de medida es vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ).

El otro instrumento es el heliógrafo, mide tanto la concentración como la cantidad de horas de rayos solares durante un día, utilizan una esfera fabricada de vidrio que tiene la función igual a una lupa, concentrando la luz en un punto que se va desplazando a medida que pasan las horas. Además, este haz de luz quema una cinta de papel especial con las horas del día.

Existen otros dispositivos automáticos como por ejemplo un seguidor solar, estos dispositivos son más eficientes debido a que poseen sensores para medir la radiación directa, difusa y reflejada.

La energía que proviene del sol se ha empleado en forma directa o en forma indirecta desde muchos años atrás y en una diversidad de trabajos, por ejemplo, en la agricultura se utilizan para sistemas de riego de hortalizas, en la ganadería se emplean para sistemas de bombeo de agua, en la arquitectura se utilizan para electrificar edificios, en la industria se utilizan para generación de vapor o lavado industrial, y otros.

El sol como fuente de energía renovable, da la oportunidad de aprovecharla específicamente en dos formas, la primera es el calor o energía solar térmica que se logra mediante colectores térmicos y la otra es la electricidad o energía solar fotovoltaica en la que se utilizan los módulos fotovoltaicos. El principio fundamental del funcionamiento de un sistema solar térmico es fácil de entender, anteriormente se dio a conocer que la radiación solar viaja desde el sol hasta la superficie terrestre.

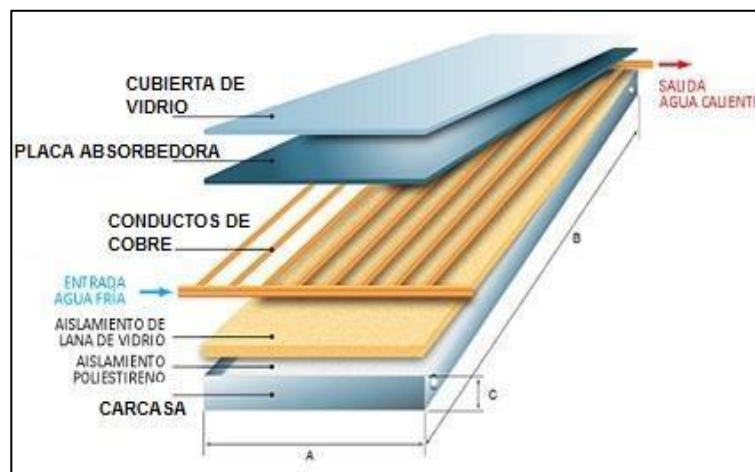
De acuerdo con el Instituto Tecnológico de Canarias esta radiación se capta por medio de un colector o placa solar, además el calor que se produce en ella se transmite a un fluido (agua o aire). Posteriormente el fluido es calentado y se puede emplear de forma directa, por ejemplo, para condicionar la temperatura en una piscina o se puede emplear de forma indirecta utilizando intercambiadores de calor, por ejemplo, en un edificio se utiliza para la calefacción de las habitaciones.

Las partes que conforman un captador solar térmico son, la carcasa que tiene la función de proteger y soportar los elementos del colector, el aislamiento



térmico tiene la función de reducir las pérdidas térmicas del equipo, las tuberías internas tienen la función de medio de transporte del fluido, el absorbedor que es el elemento donde se produce la conversión de energía solar en energía térmica, una cubierta de cristal que tiene la función de retener el calor.

Figura 5. Partes de un colector solar



Fuente: AulaFacil. *Colectores Solares-Generalidades*. [www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica/colectores-solares-generalidades-l36746](http://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica/colectores-solares-generalidades-l36746). Consulta: 5 de enero de 2021.

El funcionamiento básico de un colector solar está fundamentado por el efecto invernadero, esto quiere decir que primero recibe la radiación directa del sol básicamente en radiación de onda corta, una parte es reflejada por la cubierta del colector y una parte mínima se refleja por el absorbedor. El resto ingresa de forma directa atravesando la cubierta del cristal de tal forma que se convierta en radiación de onda larga, dicho en otras, palabras el cristal permite ingresar radiación de onda corta pero no deja salir la radiación de onda larga.

Por este efecto las ondas cortas quedan atrapadas dentro del captador, de manera que el líquido que ingresa al colector se va calentando a través de la parrilla de tuberías recibiendo el calor atrapado por el absorbedor, posteriormente sale caliente del colector.

Una forma para comprender mejor el efecto invernadero de un colector solar es, por ejemplo, cuando el vehículo queda a la intemperie expuesto a los rayos del sol, la radiación solar atraviesa el vidrio del automóvil, de tal forma que queda atrapada y no encuentra la forma de salir, esto provoca que aumente la temperatura adentro del vehículo.

El uso principal de la energía solar térmica es para calentar fluidos, comúnmente agua. De acuerdo con la temperatura final obtenida por el fluido a la salida, se pueden dividir las instalaciones en:

- Baja temperatura, son las más utilizadas mundialmente en aplicaciones en donde la temperatura del agua es igual o menor a los 90 °C, como ejemplos se nombran los sistemas de calentamiento de invernaderos, producción de calor para secadores de frutos, precalentamiento de fluidos en los procesos industriales y agua caliente para viviendas.
- Media temperatura, para aquellos usos donde la temperatura del agua varía entre 80 °C y 250 °C, como ejemplo está el calentamiento de fluidos para procesos industriales, producción de energía eléctrica de menor escala, entre otros.
- Alta temperatura, designada a esas aplicaciones que necesitan temperaturas del agua mayores a los 250 °C, como ejemplo está la generación de vapor para la producción de energía eléctrica.



## **2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA DE LA RED ELÉCTRICA**

### **2.1. Energía solar**

La energía que se incluye en la radiación solar y que es convertida por medio de instrumentos, ya sea en forma térmica o eléctrica, se define como energía solar.

Según el Instituto Tecnológico de Canarias define el panel solar como “el dispositivo que se encarga de captar la radiación solar y transformarla en energía que se pueda aprovechar de acuerdo con las necesidades energéticas, para ello se utilizan los captadores solares juntamente con los módulos fotovoltaicos”.<sup>12</sup>

El uso de las energías convencionales fósiles tales como el carbón, el gas, y el petróleo no son energías renovables, por esta razón es que el planeta tierra tarda muchos años en producirlos, además son los que generan inmensas cantidades de contaminación al medio ambiente, aumentando tanto el cambio climático como el calentamiento global. Por estas causas la energía solar es una de las fuentes de energía renovable que actualmente presenta un mayor desarrollo en el sector energético, se espera que en un futuro tenga la posibilidad de expandirse a nivel mundial.

La energía solar es un recurso renovable, el cual está presente en la mayoría de días en la superficie terrestre, y para determinarla es necesario utilizar la cantidad

---

<sup>12</sup> Instituto Tecnológico de Canarias S.A. *Energías renovables y eficiencia energética*. p. 64.

de energía al día que se obtiene por cada metro cuadrado de superficie horizontal, normalmente se expresa en kWh/m<sup>2</sup>/día.<sup>13</sup>

## **2.2. Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica es una de las energías renovables que se utiliza para generar energía eléctrica, para este proceso necesita de la radiación solar que proviene del sol, la cual llega de forma directa a los paneles fotovoltaicos para producir electricidad, para ello se necesita de paneles conformados por células fotovoltaicas, en el panel solar la energía de los fotones se transmite a los átomos de silicio de las células fotovoltaicas, los electrones reciben la energía que los excita y este movimiento da origen a la electricidad.

La historia de la energía solar fotovoltaica inicia a mediados del siglo XIX exactamente en 1839, con el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, quien descubrió el efecto fotovoltaico, al realizar experimentos con una pila electrolítica, en el que percibió el aumento de la corriente debido a la exposición de la luz solar.

Seguidamente el ingeniero mecánico Willoughby Smith en 1873 comprobó el efecto fotovoltaico en materiales sólidos, juntamente con el físico Philipp Lenard en 1890, gracias a sus investigaciones descubrió que los rayos catódicos tenían la capacidad de atravesar la materia y además verificó que se generaba una cantidad de electrones en un determinado metal a causa del aumento de la densidad lumínica. Pero fue en 1905 que Albert Einstein aportó las bases teóricas del efecto fotoeléctrico establecido por Lenard, ganando así el premio Nobel de física. En 1920 el físico Robert Millikan, comprobó las bases teóricas por Einstein.

---

<sup>13</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Energía solar en Guatemala*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>. Consulta: 12 de septiembre de 2019.

A pesar de ello, el uso práctico de esta conversión de energía no inició hasta 1954, cuando la NASA fabricó el primer panel solar para aplicación espacial, con la función de alimentar los circuitos eléctricos de comunicación de manera automática, sin utilizar combustibles.

En 1972 iniciaron las primeras aplicaciones utilizando la energía solar fotovoltaica, de acuerdo con esto se manifiestan una serie de procesos industriales, de igual forma creció el mercado fotovoltaico, por esta razón los paneles fotovoltaicos redujeron sus costos. No obstante, en las regiones a nivel mundial que no están electrificadas el recurso solar no ha tenido mayor auge y esto se le atribuye a los bajos ingresos, la falta de crédito por parte de las instituciones bancarias juntamente con la falta de conocimiento acerca de esta tecnología por parte de los usuarios consumidores.

Entre 1973 a 1979, inicia el uso de las bombas para extraer agua que eran alimentados eléctricamente por medio de paneles fotovoltaicos, específicamente en aquellas áreas aisladas de la red eléctrica o rurales, de tal forma que era factible la obtención de agua en pozos, manantiales, ríos, entre otros.

La implementación de las bombas de extracción de agua empleando paneles ha beneficiado a muchas regiones que presentan mayor índice de pobreza a nivel mundial, además las áreas electrificadas lo están utilizando para ayudar a contrarrestar el cambio climático.

Con la iniciativa del uso de las bombas para extraer agua, entre 1980 a 1989 surgió otra iniciativa pero esta vez para electrificar los hogares de los países más empobrecidos, pero esta idea estaba fundamentada con un modelo que se utilizaba en aquellos países desarrollados en los que tenían grandes centrales para suministrar energía eléctrica y su costo era muy elevado; este modelo no se

ajustaba para aquellas regiones rurales en donde las viviendas se encontraban de manera dispersa, por esta razón se prefirió utilizar sistemas fotovoltaicos aislados o de autoconsumo.

A partir de 1990 y principios de 2001, los paneles fotovoltaicos han experimentado una reducción constante en su coste, sin embargo, respecto de su eficiencia ha mejorado de manera rápida. Esto ha impulsado a que los gobiernos de muchos países dicten leyes o iniciativas para utilizar energías renovables para la generación de energía eléctrica.

En la actualidad la implementación de la energía solar fotovoltaica ha provocado un extraordinario desarrollo en la generación de energía eléctrica y se espera que siga en aumento en los próximos años a nivel mundial.

La energía solar fotovoltaica puede ser utilizada de diferentes maneras, debido al amplio campo de aplicaciones donde se necesite generar electricidad, dependiendo de las necesidades de los consumidores, la disposición de los equipos y el costo.

Básicamente existen 3 grupos:

- Sistemas autónomos o aislados, los cuales dependen únicamente de la radiación solar para su funcionamiento, esto quiere decir que no requiere del servicio eléctrico de la red de distribución, utilizan un sistema de generación, regulación, almacenaje y conversión.
- Sistemas híbridos, incorporan otras fuentes que generan energía, ya sean renovables o no renovables; un ejemplo de combinación no renovable es cuando se añade un generador que funciona con diésel o con gas; un

ejemplo de combinación de energía renovable, cuando utilizan aerogeneradores, estos sistemas son especialmente utilizados cuando se necesite suministrar energía eléctrica a grandes cargas como refrigeradoras, neveras, máquinas y herramientas, entre otros.

- Conectados a la red eléctrica, en estos la energía generada por los paneles fotovoltaicos es para su propio consumo. En situaciones cuando la generación es mayor que el consumo, este excedente es inyectado a la red de distribución eléctrica, caso contrario cuando la producción del sistema fotovoltaico es menor que el consumo, se utiliza la red eléctrica para abastecer el sistema.

### **2.3. Sistemas aislados de la red eléctrica**

Según Pareja define a los sistemas fotovoltaicos aislados o autónomos, como:

Aquellas instalaciones fuera de la red eléctrica (por ejemplo, una vivienda rural, un sistema de riego, un sistema de telecomunicación, entre otros) esto quiere decir que no recibirá energía de ningún otro medio que no sean los paneles fotovoltaicos, por tal motivo se les denomina sistemas autoabastecedores.<sup>14</sup>

Es importante la implementación de un sistema de acumulación formado por baterías solares, con el fin de solventar los periodos de poca o nula generación por parte de los paneles fotovoltaicos, y para tener un control del nivel de carga en las baterías se utiliza un controlador o regulador de carga.

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica operan básicamente en áreas rurales, esto se debe a que los lugares se localizan muy alejados de la

---

<sup>14</sup> PAREJA, Miguel. *Energía solar fotovoltaica*. p. 11.

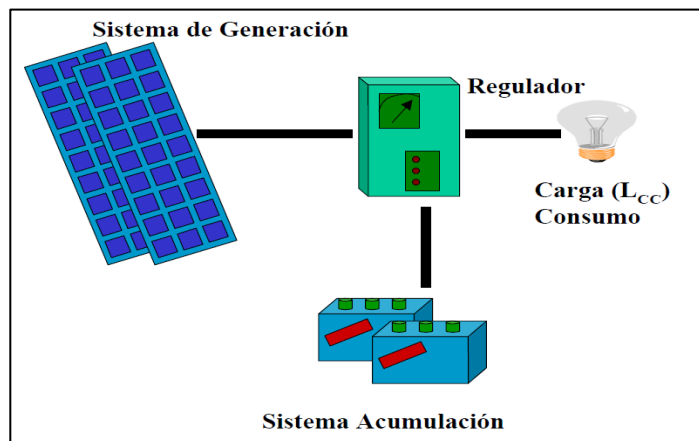


red eléctrica o debido al difícil acceso para poder llevar el tendido eléctrico al lugar establecido. Dentro de los sistemas fotovoltaicos aislados de la red eléctrica se encuentran:

Los sistemas fotovoltaicos aislados para cargas en corriente directa DC, son utilizados para suministrar energía eléctrica a las cargas de corriente directa a lo largo de la noche, incorporan un sistema de almacenamiento (baterías) las cuales son cargadas durante el día. Las cargas establecidas en estos sistemas pueden ser alimentadas directamente de las baterías durante el día o en la noche. Para que las baterías no sufran una descarga profunda o una sobrecarga se utiliza un regulador de carga.<sup>15</sup>

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento de estos sistemas, en el cual la radiación solar incide en los paneles fotovoltaicos, de tal forma que estos lo convierten en energía eléctrica de corriente continua, el controlador estará monitoreando constantemente el nivel de carga de las baterías y de igual forma a las cargas que se conecten al sistema.

Figura 6. **Sistema fotovoltaico autónomo para cargas DC**



Fuente: LEOCADIO, Jorge. *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. p 4.

<sup>15</sup> UZQUIANO, Camilo; SULLIVAN, Mike; SANDY, Ximena. *Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani*. p. 11.

Las características más relevantes respecto a este sistema son los siguientes:

- El voltaje de operación para estos sistemas es de 12 V de corriente directa, esto conlleva a que exclusivamente se puede utilizar lámparas que trabajen con 12 V.

La ventaja de utilizar aparatos que trabajen en DC es que normalmente son más eficientes en la producción de energía (por ejemplo, lámparas, TV, computadoras portátiles o congeladores), el inconveniente es que en Centroamérica es complicado conseguir este tipo de aparatos, por otra parte, representan un costo más elevado que sus equivalentes en corriente alterna.

- Respecto del presupuesto, para este tipo de sistema es más fácil de adquirirlos respecto a su bajo costo inicial, esto se debe a que se usan para satisfacer las necesidades principales de electrificación en las viviendas, utilizando equipos de baja demanda, además no requieren usos de inversores y son muy utilizados para áreas rurales.

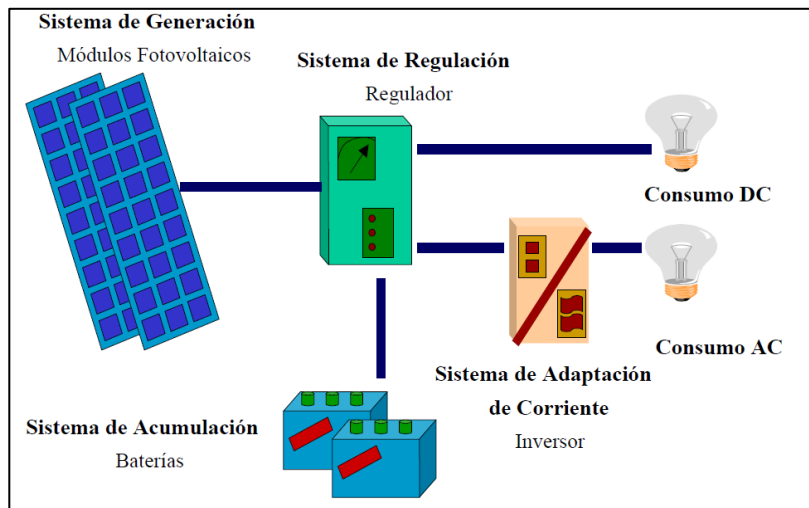
Los sistemas fotovoltaicos aislados para cargas en corriente alterna AC, son sistemas de corriente directa que alimentan cargas de corriente alterna. Los paneles fotovoltaicos como el sistema generador produce energía eléctrica de corriente continua (DC), sin embargo existen muchos aparatos que funcionan con corriente eléctrica alterna (AC); para que estos aparatos funcionen de manera correcta, es necesario incorporar un dispositivo que convierta la corriente continua en corriente alterna, y esta tarea lo cumple el inversor.<sup>16</sup>

En la siguiente figura se puede observar el funcionamiento de este tipo de instalación, semejante al funcionamiento de los sistemas para cargas (DC), con la única diferencia que se incluye un inversor para alimentar las cargas (AC).

---

<sup>16</sup> UZQUIANO, Camilo; SULLIVAN, Mike; SANDY, Ximena. *Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani*. p. 11.

Figura 7. **Sistema fotovoltaico autónomo para cargas AC**



Fuente: LEOCADIO, Jorge. *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. p 5.

Las características más relevantes respecto de este sistema son los siguientes:

- El voltaje de operación para este sistema es que puede suministrar energía eléctrica 110 o 220 V de corriente alterna (AC), como también 12 V de corriente directa (DC). Lo importante de este tipo de sistema es que se pueden utilizar focos de bajo consumo, electrodomésticos que trabajan a 110 o 220 V (AC), que son económicos y fáciles de conseguir en Centroamérica. La característica más importante de estos sistemas es el uso de aparatos que funcionan tanto con DC como en AC.
- El costo para adquirir este sistema es relativamente más elevado, debido a que los paneles fotovoltaicos a utilizarse deben ser de mayor capacidad en comparación con el sistema para cargas DC, además debemos agregar un elemento más que es el inversor al sistema elemental DC, esto hace

que los costos aumenten. A pesar de ello, es importante tener en cuenta que el costo de los focos y electrodomésticos que operan a 110 V (AC) es relativamente bajo respecto a los aparatos que funcionan a 12 V (DC). Por ejemplo, un televisor de 32" LED que trabaja a 110 V (AC) tiene un precio de Q1 286,61, por el contrario, un televisor de 32" LED que trabaja a 12 V (DC) tiene un precio de Q2 644,75.

- Es más fácil en la actualidad comprar o reemplazar aparatos que trabajen a 110 V (AC), que reemplazar un aparato que trabaja a 12 V (DC).

Los sistemas fotovoltaicos centralizados aislados o microredes, son sistemas que disponen de un conjunto de viviendas aproximadamente agrupadas, en varias ocasiones en vez de instalar un sistema fotovoltaico individual, es aconsejable realizar la electrificación utilizando únicamente una instalación centralizada y suministrar la energía eléctrica a las viviendas por medio de una red eléctrica local.<sup>17</sup>

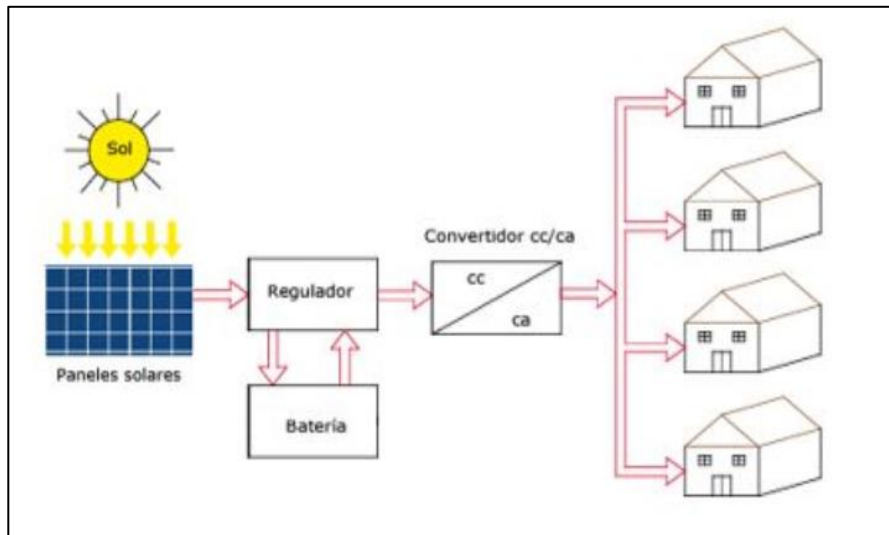
Estos sistemas se conocen como Micro redes, los cuales presentan varias ventajas respecto de la electrificación fotovoltaica individual, sin embargo, para llevar a cabo estos proyectos es importante tener una previa planificación, organización social o el acuerdo entre vecinos para realizar las respectivas gestiones y participar en su ejecución.

Estos sistemas tienen la capacidad para satisfacer la demanda energética de una aldea o caserío cuando no hay posibilidades económicas para llevar el servicio eléctrico convencional a cada una de las respectivas viviendas y cuando las familias consuman cantidades excesivas de energía.

---

<sup>17</sup> RED. *Sistemas Centralizados - Microredes*. [http://www.redar.com.ar/sistemas/autonomos/sistemas\\_off\\_grid-173/Sistemas-Centralizados-Microredes.html](http://www.redar.com.ar/sistemas/autonomos/sistemas_off_grid-173/Sistemas-Centralizados-Microredes.html). Consulta: 11 de octubre de 2019.

Figura 8. **Sistema fotovoltaico aislado centralizado**



Fuente: CARDOZO, Darwin. SÁNCHEZ, Karla. *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica en escuelas rurales de Norte de Santander*. p. 53.

Algunas características de estos sistemas fotovoltaicos aislados centralizados son los siguientes:

- Mejor calidad para el suministro de energía eléctrica, esto se debe a que los sistemas utilizan inversores de mejor calidad, para que los consumidores puedan usar aparatos eléctricos que necesiten energía eléctrica estable y segura.
- Mayor resistencia del sistema, debido al aumento breve, pero intenso de la demanda energética, también poseen protecciones para descargas atmosféricas, alarmas contra sobre descargas y protecciones contra cortocircuitos.

- Desde el punto de vista económico, la inversión y costos del sistema es relativamente menor respecto a los sistemas fotovoltaicos individuales.
- Facilidad para incorporar al sistema otras fuentes de energía renovable y además para darle mantenimiento al sistema.

### **2.3.1. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados**

La clasificación de las aplicaciones de los sistemas solares fotovoltaicos aislados, están determinados conforme a la utilización, básicamente existen dos bloques de aplicaciones:

Aplicaciones espaciales: formado por el primer bloque de aplicaciones, se utilizan para suministrar energía eléctrica a equipos ubicados en el espacio, tales como la Estación Espacial Internacional.

Figura 9. **Estación Espacial Internacional**



Fuente: TecReview. *10 datos que no sabías sobre la Estación Espacial Internacional.*  
<https://tecreview.tec.mx/2018/08/03/ciencia/10-datos-sabias-la-estacion-espacial-internacional/>.

Consulta: 15 de octubre de 2019.

Aplicaciones terrestres, corresponden al segundo bloque entre las que mencionamos:

- Aplicaciones de electrificación: especialmente para zonas rurales, que están aisladas de la red de distribución eléctrica, teniendo mayor uso en los países en vías de desarrollo, en otros casos se emplean en locales comunitarios (clínicas médicas, centros de salud y escuelas), de igual forma otros lo utilizan para distribuir energía eléctrica a un determinado grupo de habitantes (un pueblo, una comunidad o una aldea).

Figura 10. **Electrificación en área rural**



Fuente: Radio Altura. *Carabaya: beneficiarios de paneles solares pagarán obligatoriamente cada mes a Electro puno.* [www.radioaltura.com/carabaya-beneficiarios-de-paneles-solares-pagaran-obligatoriamente-cada-mes-a-electro-puno/](http://www.radioaltura.com/carabaya-beneficiarios-de-paneles-solares-pagaran-obligatoriamente-cada-mes-a-electro-puno/). Consulta: 18 de octubre de 2019.

- Aplicaciones en telecomunicación: las señales que necesitan los sistemas de comunicación requieren una amplificación después de intervalos de distancia. Muchas torres de transmisión se colocan para aumentar señales de teléfono, televisión y radio. Dichas torres en muchos casos se encuentran lejos de líneas eléctricas. Para reducir tanto los problemas

como los costos asociados con los generadores, ante esta situación se están instalando sistemas fotovoltaicos como una alternativa factible.

Figura 11. **Sistemas solares para telecomunicaciones**



Fuente: Solarweb.net. *Voltaje de paneles solares*. [www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/43642-consulta-voltaje-paneles-solares.html](http://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-aislados-la-red/43642-consulta-voltaje-paneles-solares.html). Consulta: 22 de octubre de 2019.

- Aplicaciones agrícolas y de ganado: se emplean debido a la necesidad de agua durante los días soleados. Por ejemplo, un sistema de bombeo puede suministrar agua directamente a los campos de vegetación o el llenado de recipientes de agua para el ganado, o bien pueden almacenar agua en depósitos durante el tiempo de necesidad. De igual forma estos sistemas pueden ser utilizados incluso para suministrar agua a zonas remotas o pueblos.



Figura 12. **Sistema de bombeo de agua solar**



Fuente: *¿Qué es un sistema de bombeo de agua solar?* [www.autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-sistema-de-bombeo-de-agua-solar](http://www.autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-sistema-de-bombeo-de-agua-solar). Consulta: 22 de octubre de 2019.

- Aplicaciones de alumbrado público: con la creación de la tecnología led (diodo de emisión de luz) como fuentes de iluminación de bajo consumo, ante esta situación se emplean los sistemas fotovoltaicos como una aplicación ideal en sistemas de iluminación remota o móvil. Por ejemplo, iluminación de calles, parada de autobuses, iluminación para los trenes, vallas publicitarias, entre otros.

Figura 13. **Alumbrado público solar**



Fuente: E-Solar. *Beneficios de usar postes solares en el alumbrado público.* [www.esolarhidalgo.com/beneficios-usar-postes-solares-alumbrado-publico/](http://www.esolarhidalgo.com/beneficios-usar-postes-solares-alumbrado-publico/). Consulta: 24 de octubre de 2019.

- Aplicaciones de señalización: faros, carreteras, señales de advertencia para aviones, pueden estar ubicados lejos de la red eléctrica. Esto conlleva a utilizar los sistemas fotovoltaicos como una fuente de energía factible para estas aplicaciones.

Figura 14. **Faro alimentado por paneles fotovoltaicos**



Fuente: Sitiosolar.com. *Del espacio a la tierra, aplicación de los paneles solares fotovoltaicos en actividades terrestres.* <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>.

Consulta: 26 de octubre de 2019.

- Aplicaciones en telemetría: en ciertos casos, experimentos científicos se instalan en zonas alejadas de la red de distribución eléctrica. Esto implica utilizar sistemas fotovoltaicos eficazmente para llevar a cabo actividades científicas en áreas remotas. Por ejemplo, sistemas de monitoreo de las actividades sísmicas, volcánicas, los niveles de los ríos e información meteorológica.

Figura 15. **Estación meteorológica solar**



Fuente: Radio Belgrano Suardi. *Freyre: instalaron una estación meteorológica.*  
<http://radiobelgranosuardi.com.ar/noticiasinterior.php?id=6334>. Consulta: 26 de octubre de 2019.

### **2.3.2. Componentes de sistema fotovoltaico aislado**

Un sistema fotovoltaico aislado en base a la transformación fotovoltaica de la energía solar está integrado por diferentes equipos destinados para producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica.

Sus componentes esenciales son: paneles fotovoltaicos, soportes, regulador de carga, baterías, inversor, sistemas de protección y el cableado del sistema fotovoltaico.

#### **2.3.2.1. Sistema de paneles fotovoltaicos**

El generador es el elemento fundamental para cualquier tipo de instalación de energía solar, que se le denomina célula fotovoltaica. Se define por transformar la energía lumínica en energía eléctrica. Su funcionamiento se

fundamenta en el proceso del efecto fotovoltaico, en donde los fotones viajan en la radiación solar hacia la superficie terrestre, estos fotones inciden sobre la célula fotovoltaica, los cuales pueden ser reflejados o absorbidos, de tal forma que los fotones absorbidos ingresan por la célula, cediendo su energía a un electrón el cual al ser energizado rompe la inercia y fluye creando corriente eléctrica.

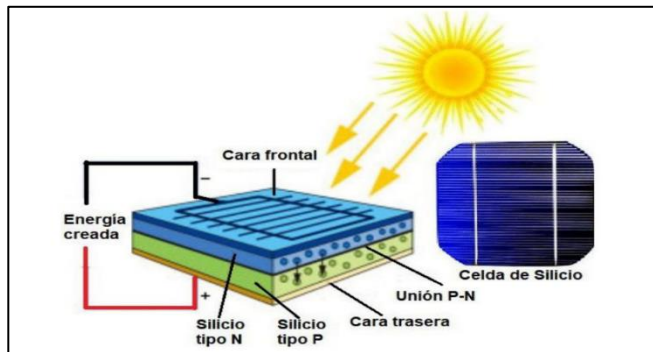
De acuerdo con Salvador Escoda<sup>18</sup> una célula fotovoltaica está compuesta por un determinado tipo de material, denominados semiconductores, que tienen el comportamiento similar a un diodo de superficie amplia, la parte que se expone a la radiación solar es la región tipo N, y la parte no expuesta corresponde la región tipo P.

Todo lo anterior con la finalidad de crear un campo eléctrico, ambos lados de la célula se conectan por un cable eléctrico con una parte positiva y una parte negativa, de tal forma que los electrones puedan desplazarse, creando así la corriente eléctrica. En la siguiente figura se muestra la estructura de una célula fotovoltaica.

---

<sup>18</sup> SALVADOR ESCODA S.A. *Libro Blanco de las Energías Renovables*. p. 55.

Figura 16. Estructura de la célula fotovoltaica



Fuente: REYES, Jorge. Paneles Solares o Módulos Fotovoltaicos.

<https://voltaika.net/category/blog-voltaika-peru-sa/>. Consulta: 25 de mayo de 2020.

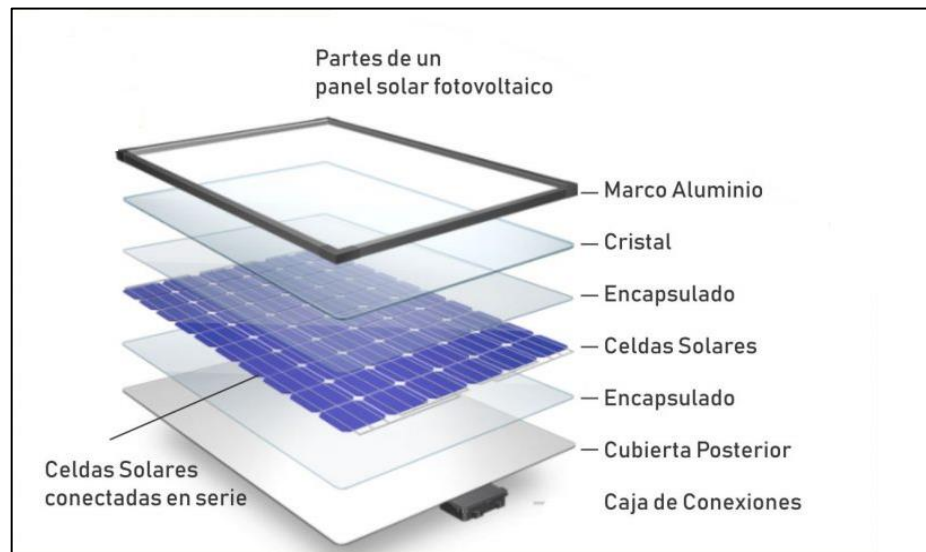
Los paneles o módulos fotovoltaicos están conformados por un grupo de células fotovoltaicas conectadas eléctricamente unas con otras, encapsuladas por un recubrimiento de vidrio y un respaldo impermeable. Los paneles fotovoltaicos están contruidos con un marco apropiado para su posterior ensamble.

En un panel solar las células fotovoltaicas pueden conectarse en serie o en paralelo de tal manera que los niveles de tensión y corriente que finalmente produce el panel se ajusten al valor deseado.

Cada célula fotovoltaica que conforma el panel solar normalmente tiene un grosor de 0,25 a 0,35 mm, usualmente su forma es cuadrada con un área cerca a los 100 cm<sup>2</sup> y una radiación de 1 000 W/m<sup>2</sup> a una temperatura correspondiente a 25 °C, con la capacidad de entregar una tensión aproximadamente de 0,5 voltios, una corriente eléctrica entre 3 a 4 amperios de corriente continua, de tal manera que la potencia eléctrica que genera varía de 1.5 a 2 vatios-pico (Wp), sin embargo, este valor dependerá del área que mida la célula.

La potencia que pueda entregar un panel fotovoltaico dependerá de lo siguiente, el número de células, la tensión a la que va a funcionar el sistema fotovoltaico (12 V, 24 V y 48 V) en corriente continua.

Figura 17. **Constitución de un panel solar**



Fuente: PAZ, Carlos. *Energía solar fotovoltaica*. <https://www.carlospazsolar.com.ar/energia-solar-fotovoltaica/>. Consulta: 12 de febrero de 2020.

Las células fotovoltaicas de mayor uso en la actualidad son las formadas por una unión P-N y fabricadas con silicio monocristalino.

La fabricación de las células se realiza por medio de la cristalización del silicio, de manera que las podemos clasificar en tres tipos principales, silicio monocristalino, silicio policristalino y silicio amorfo, en la siguiente tabla podemos observar las diferencias que existen entre cada uno de ellos.

Tabla I. **Diferencias entre los paneles según su fabricación**

CÉLULAS		RENDIMIENTO LABORATORIO	RENDIMIENTO DIRECTO	CARACTERÍSTICAS	FABRICACIÓN
	MONOCRISTALINO	24 %	15 - 18 %	Es típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralsky).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	POLICRISTALINO	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	AMORFO	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Cursolar. *Tecnología de fabricación de la célula solar.*

[http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/03\\_celula/01\\_basico/3\\_celula\\_05.htm](http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/03_celula/01_basico/3_celula_05.htm). Consulta: 12 de febrero de 2020.

De acuerdo con Pareja las características eléctricas de los paneles fotovoltaicos al momento de un diseño sobresalen los siguientes:

- Intensidad de cortocircuito: se refiere a la corriente máxima que se puede obtener en un panel fotovoltaico y se representa como ( $I_{sc}$ ). Para calcularlo se mide la corriente entre los bornes del panel al momento que se provoque un cortocircuito.
- Voltaje de circuito abierto: corresponde al máximo voltaje que se puede medir en un panel solar al momento que no existe un paso de corriente entre sus bornes y se representa como ( $V_{oc}$ ).
- Voltaje nominal: corresponde al voltaje de operación del panel fotovoltaico, normalmente con los valores de 12 V, 24 V o 48 V, y se representa como ( $V_n$ ).
- Potencia máxima: se define como valor máximo de potencia que se puede obtener del producto de la corriente por el voltaje de salida del panel fotovoltaico y se representa como ( $P_{max}$ ).

- Voltaje máximo: se consigue cuando el panel está trabajando en su punto de máxima potencia y se representa como ( $V_{mp}$ ).
- Corriente máxima: se refiere a la máxima corriente que puede proporcionar un panel solar y se representa como ( $I_{mp}$ ).<sup>19</sup>

Respecto del soporte del panel solar fotovoltaico, el cual corresponde a la estructura de sujeción del panel solar, va a depender primeramente del ángulo de inclinación de la instalación del panel, existen estructuras a una inclinación de 30 °C, 60 °C, también regulables, además dependen de la cantidad de paneles, la potencia y el lugar donde serán instalados. De tal forma que se aproveche de una mejor manera la radiación solar.

Por lo general estas estructuras se fabrican de aluminio, presentando un alto grado de resistencia, también son livianos, esto se refiere a que son resistentes a los cambios repentinos de temperatura, la corrosión y del mismo modo a cualquier situación que pueda presentarse al estar en la intemperie.

Básicamente en las instalaciones fotovoltaicas que utilizan los soportes, existen dos formas de colocar los paneles fotovoltaicos, la primera es sobre techos inclinados y la segunda es en terrazas planas o sobre el suelo.

### **2.3.2.2. Sistema de acumulación**

En instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica, la radiación solar captada por los paneles fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, esto debido a variaciones que se presentan por diversos motivos. Algunos ejemplos de estas variaciones son predecibles, tales como las estaciones del año y la duración de la noche, sin embargo, debido a que existen otras causas que pueden producir variaciones de la energía recibida de manera impredecible,

---

<sup>19</sup> PAREJA, Miguel. *Energía solar fotovoltaica*. p. 14.



como puede ser el caso de un incremento de la nubosidad en un momento determinado.

Debido a estas circunstancias es indispensable incorporar elementos de almacenamiento de energía o acumulación para aquellos instantes en que la radiación solar recibida por el panel fotovoltaico no tenga la capacidad de hacer funcionar la instalación en los valores establecidos por el sistema. Con ese fin se emplearán las baterías o acumuladores.

Las baterías las podemos definir como dispositivos que tienen la capacidad de convertir la energía química en eléctrica, a través de procesos electroquímicos, son recargadas desde la energía eléctrica producida por los paneles fotovoltaicos, por medio de un regulador de carga, y tienen la capacidad de proporcionar energía eléctrica a la salida de la instalación, para su posterior consumo.

Antes de definir el tipo y modelo de la batería, es de vital importancia tomar en cuenta los siguientes parámetros característicos de las baterías:

- Capacidad: se refiere a la cantidad de energía eléctrica que puede obtenerse por medio de la descarga total de una batería en el momento en que estaba inicialmente cargada al máximo. La capacidad de la batería es el resultado del producto de la intensidad de descarga por el tiempo que se tarda, se mide en amperios-hora (Ah), por ejemplo, una batería de 300 Ah, puede suministrar 30A en 10 h o 15A en 20 h. Las baterías poseen un voltaje nominal comprendido entre 2 V, 6 V, 12 V o 24 V, dependiendo de su aplicación.

- Eficiencia de carga: se define como el cociente entre la energía utilizada para cargar la batería y la energía almacenada efectivamente. Es importante que sea un valor cercano al 100 %, lo que significaría que la totalidad de la energía utilizada para cargarse puede ser reemplazada en la siguiente descarga. Si el valor de la eficiencia es relativamente bajo, habrá que realizar una modificación en la instalación adicionando un número mayor de paneles fotovoltaicos, de tal manera que se obtenga los resultados deseados.
  
- Autodescarga: se define como el proceso por medio del cual la batería tiende a descargarse, cuando no se esté utilizando.
  
- Profundidad de descarga: se define como la cantidad de energía, en porcentajes que se obtiene de la batería a lo largo de una determinada descarga, tomando en cuenta que la batería esté completamente cargada. Depende mucho del tipo de batería por emplearse, según qué condiciones se utilizará y su vida útil. Según estos parámetros se les clasifica en:
  - Batería de descarga profunda: donde los ciclos de descarga están comprendidos entre el 20-25 %, logrando alcanzar el 80 %.
  
  - Baterías de descarga superficial: Donde los ciclos de descarga están comprendidos entre el 15-20 %, logrando alcanzar el 40 %.

Para aquellas instalaciones en donde se emplean las baterías de descarga profunda, es aconsejable no llegar a los límites de descarga de la batería, debido a que pueden ser dañados internamente, perdiendo así gran parte de la capacidad de carga.

- Vida útil: se mide en ciclos, en donde un ciclo es un proceso de carga y descarga, en otras palabras, con cada ciclo que sufra la batería va perdiendo sus características, de tal manera que mientras mayor sea la descarga, el número de ciclos será menor por consiguiente la vida útil de la batería se acorte.
- Temperatura: es otro parámetro importante en la batería, esto se debe por ejemplo cuando sufre un leve aumento de temperatura provoca un incremento de los procesos químicos y por consiguiente la capacidad de la batería aumenta.

Al contrario, si la temperatura disminuye, los procesos químicos son menores y por consiguiente la capacidad disminuye respectivamente.

De acuerdo con estas circunstancias, la temperatura afecta la vida útil de la batería, si es excesivamente alta la reacción química se acelera, provocando así que la vida útil se acorte, por otro lado, si la temperatura es baja la vida útil se prolonga, pero si baja excesivamente se corre el riesgo de congelarse y dañar la batería. Por estos motivos es aconsejable que la batería permanezca en niveles altos de carga, evitando de esta manera al congelamiento de la batería.

- Conexión entre baterías: en la mayor parte de las instalaciones fotovoltaicas, dependiendo tanto de la tensión como de la capacidad de la instalación, será necesario asociar baterías en serie, paralelo o mixto para obtener los niveles de tensión y capacidad requeridos.

Antes de una conexión entre baterías, es importante tomar en cuenta los siguientes criterios, solamente podrán conectarse baterías con las mismas características, del mismo fabricante y del mismo tamaño.

Existen tres configuraciones para la conexión entre baterías:

- Serie: para esta configuración primeramente se conecta el terminal positivo de una batería con el negativo de la siguiente batería y así sucesivamente. Con ello se logra aumentar la tensión, el valor de la capacidad permanece constante. La tensión total es igual a la suma de todas las tensiones por cada batería.
- Paralelo: para esta configuración se conectan separadamente todos los polos positivos, de igual forma todos los polos negativos. Con ello se logra aumentar la capacidad y el valor de la tensión es la misma. La capacidad total es igual a la suma de todas las capacidades por cada batería.
- Mixto: para esta configuración se asocian baterías tanto en serie como en paralelo, con ello aumentamos la tensión y su capacidad.

En la siguiente tabla se muestra la comparación de los principales tipos de baterías que existen actualmente en el mercado fotovoltaico, en el cual se muestra sus características tales como la tensión por vaso, tiempo de descarga, auto descarga, el número de ciclos, la capacidad y el precio.



Tabla II. **Características de los principales tipos de baterías**

Tipo de batería	Tensión por vaso [V]	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (niquel-cadmio)	1,2	1 hora	20 %	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (niquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20 %	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6 %	Medio - bajo	110-160 Wh/kg	Alto

Fuente: Componentes de una instalación fotovoltaica. *Introducción a la energía solar*.  
[www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf](http://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf). Consulta: 13 de febrero de 2020.

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica, las baterías que se emplean con mayor frecuencia son las de plomo-ácido, debido a sus propiedades sobresalientes, encontrando distintos modelos, los cuales se muestran en la siguiente tabla, en el cual se incluyen sus ventajas, inconvenientes y su aspecto físico.

Tabla III. **Baterías utilizadas en instalaciones fotovoltaicas**

TIPO	VENTAJAS	INCONVENIENTES	ASPECTO
Tubular estacionaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ciclado profundo.</li> <li>• Tiempos de vida largos.</li> <li>• Reserva de sedimentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio elevado.</li> <li>• Disponibilidad escasa en determinados lugares.</li> </ul>	
Arranque (SU, automóvil)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precio.</li> <li>• Disponibilidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes.</li> <li>• Tiempo de vida corto.</li> <li>• Escasa reserva de electrolito.</li> </ul>	
Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fabricación similar a SU.</li> <li>• Amplia reserva de electrolito.</li> <li>• Buen funcionamiento en ciclados medios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de vida medios.</li> <li>• No recomendada para ciclados profundos y prolongados.</li> </ul>	
Gel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escaso mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro rápido en condiciones de funcionamiento extremas de VL.</li> </ul>	

Fuente: Componentes de una instalación fotovoltaica. *Introducción a la energía solar*.  
[www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf](http://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf). Consulta: 13 de febrero de 2020.

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica, por ejemplo, en una vivienda en donde se vaya a producir descargas profundas, para estos casos vamos a elegir baterías tubulares estacionarias.

En instalaciones de pequeña dimensión, como por ejemplo un sistema para alimentar un pequeño repetidor ubicado en la cima de una montaña, elegiremos baterías de gel, siempre y cuando se supervise para que no se produzcan ciclos de descargas profundas.

### **2.3.2.3. Sistema de regulación de carga**

En una instalación fotovoltaica autónoma o aislada, para que funcione correctamente es necesario incorporar un sistema de regulación de carga que controle y regule el paso de corriente eléctrica desde los paneles fotovoltaicos hacia las baterías.

El elemento indicado para esta tarea recibe el nombre de regulador, el cual es el encargado de controlar constantemente los procesos de tanto de carga como de descarga de la batería, al incorporar este elemento prolongamos la vida útil de la batería.

De acuerdo con Pareja las principales funciones que realiza el regulador de carga en una instalación fotovoltaica son las siguientes:

- Impedir que los paneles fotovoltaicos sobrecarguen la batería, constantemente estará monitoreando el voltaje de la batería y, cuando la batería esté cargada completamente, el regulador va a interrumpir el paso de la corriente que circula a partir de los paneles hacia la batería.
- Proteger que la batería sea descargada demasiado por las cargas a alimentar, cuando el consumo sea mayor que la demanda, esto provocará que la batería se descargue a un nivel muy bajo, para evitar que siga

descargándose, se desconectará la corriente que fluye desde la batería hacia los equipos conectados.

- Garantizar el funcionamiento del sistema fotovoltaico en el punto de su máxima capacidad.<sup>20</sup>

Existen dos tipos de reguladores en el campo fotovoltaico los primeros son los reguladores PWM (*Pulse Width Module*) y los otros son los reguladores MPPT (*Maximun Power Point Tracking*), los cuales se especifican a continuación:

- Reguladores PWM: son reguladores sencillos, de bajo precio y principalmente utilizados en pequeñas instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica. El modo de operación de un regulador PWM es semejante al funcionamiento de un interruptor, de tal forma que pueda conectar los paneles fotovoltaicos con las baterías. Estos reguladores se clasifican en 2 tipos:

- Tipo paralelo (shunt): este tipo de regulador son aptos para instalaciones de baja potencia y sobresalen porque su tecnología es la más sencilla actualmente en el mercado fotovoltaico.

El modo de operación de estos reguladores se fundamenta en instalar un transistor en paralelo entre el panel fotovoltaico y la batería. De tal forma que pueda regular la corriente que proviene del panel fotovoltaico hacia la batería, cuando se aproxime al límite de carga máxima de la batería, el dispositivo regulador reduce la corriente que llega a la batería, manteniendo así la tensión a un valor igual a la carga de flotación. En cambio, cuando se alcanza el límite máximo de descarga el regulador se encarga de interrumpir las líneas que conecta las baterías con los consumos.<sup>21</sup>

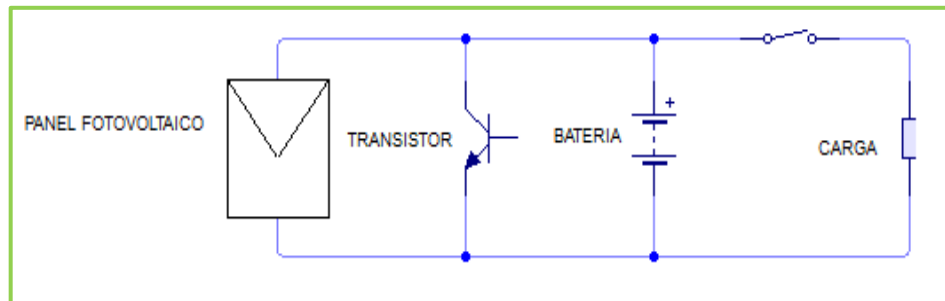
El inconveniente que presenta este tipo de regulador es que, por cada vez que se llega al voltaje de regulación de carga máxima, el panel fotovoltaico se cortocircuita por medio del dispositivo de regulación, provocando problemas de disipación de energía y calentamiento.

---

<sup>20</sup> PAREJA, Miguel. *Energía solar fotovoltaica*. p. 35.

<sup>21</sup> *Ibíd.* p. 36.

Figura 18. **Regulador tipo paralelo**



Fuente: elaboración propia, utilizando Live Wire versión 1.2.

- Tipo serie: este regulador funciona de manera semejante al tipo paralelo, pero en vez de cortocircuitar la salida del panel fotovoltaico abren el circuito impidiendo que circule la corriente a las baterías, estos reguladores normalmente utilizan dispositivos de interrupción como relés o interruptores.<sup>22</sup>

Esto quiere decir que inmediatamente cuando las baterías alcanzan el estado máximo de carga el panel fotovoltaico se desconecta de las baterías, mientras que, cuando las baterías alcanzan el estado mínimo de carga el interruptor restablece la conexión con el panel fotovoltaico de tal forma que vuelva a cargar las baterías.

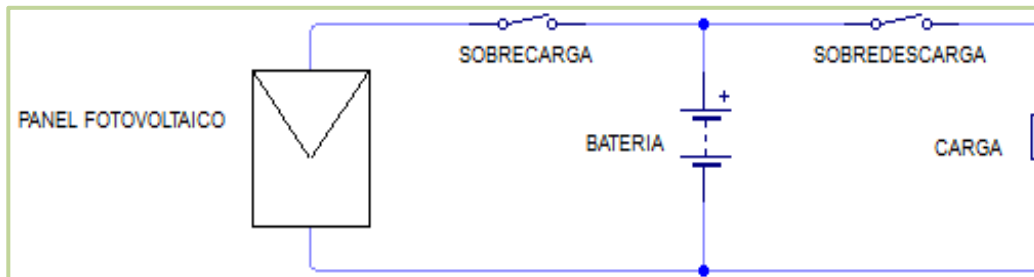
Debido a que estos reguladores en vez de disipar la energía abren el circuito de comunicación entre el panel y la batería, son adecuados para instalaciones fotovoltaicas de mayor potencia.

---

<sup>22</sup> PAREJA, Miguel. *Energía solar fotovoltaica*. p. 36.



Figura 19. Regulador tipo serie



Fuente: elaboración propia, utilizando Live Wire versión 1.2.

- Reguladores MPPT: Se caracterizan por incluir un seguidor del punto de potencia máxima, de ahí se deriva sus siglas (*Maximun Power Point Tracking*), son convertidores más complejos que funcionan como convertidores DC-DC, encargados de convertir la corriente continua de alta tensión en corriente continua de una tensión inferior para cargar la batería.<sup>23</sup>

El objetivo principal de los reguladores MPPT es ajustar la salida del panel fotovoltaico para transferir la máxima energía generada en cada instante a las baterías, consiguiendo de esta manera una mayor eficiencia en los puntos de funcionamiento y evitando así pérdidas en el sistema. Dicho en otras palabras, la corriente continua que proviene de los paneles fotovoltaicos cambia a corriente alterna, este proceso lo realiza un transformador comúnmente un toroide, posteriormente esa corriente alterna pasa por un proceso de rectificación a corriente continua, de tal manera que esta tensión es la que requiere la batería.

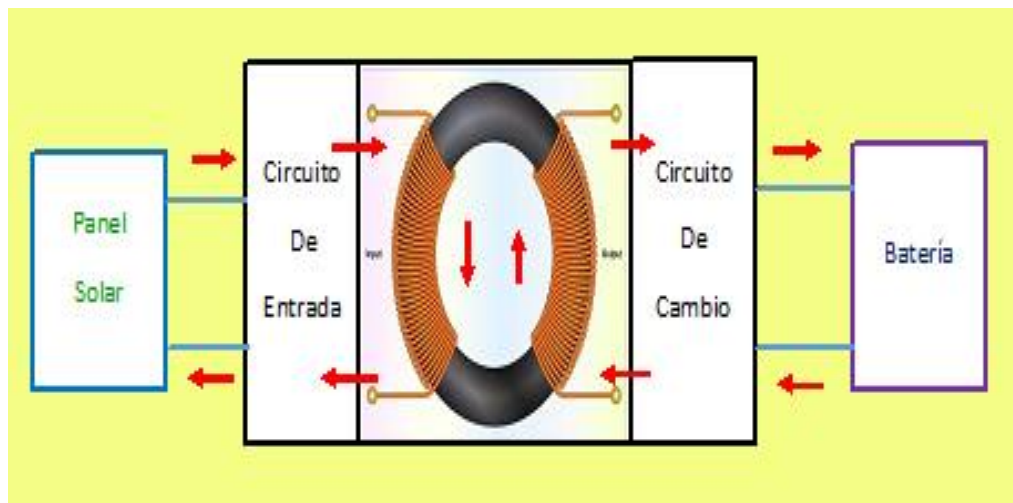
Respecto de sus especificaciones eléctricas existen 4 parámetros de vital importancia que se han de considerar, estos son los siguientes: el voltaje nominal

<sup>23</sup> Viento y Sol del Norte de Arizona. *¿Qué es el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT)?*. <https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>. Consulta: 15 de febrero de 2020.

de las baterías, entradas del regulador MPPT, el voltaje de entrada y la flexibilidad a las sombras en los puntos de máxima potencia.

Las ventajas de estos reguladores MPPT podemos mencionar: son más eficientes, pueden trabajar con baterías de baja tensión y de alta tensión, en la actualidad son los más usados en casi todas las instalaciones fotovoltaicas, obtienen un aumento de la producción energética del 30% respecto a los reguladores PWM. El único inconveniente que presenta es su costo elevado.

Figura 20. **Regulador MPPT**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft office Word 2013.

#### 2.3.2.4. **Sistema inversor**

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas, como por ejemplo una vivienda rural la cual este lejos de la red de distribución, la energía generada por los paneles fotovoltaicos se utilizará únicamente para alimentar cargas eléctricas. Estas cargas normalmente se alimentan de corriente alterna, por tal motivo es

necesario incorporar un sistema de conversión de corriente, y el dispositivo encargado para solventar esta tarea se le denomina inversor.

El inversor es un dispositivo electrónico que tiene la función principal de convertir la corriente continua que proviene del panel fotovoltaico y las baterías en una corriente alterna, con el fin de que los usuarios puedan conectar electrodomésticos utilizados comúnmente en una vivienda como por ejemplo lámparas, televisores, radios, cargadores de teléfonos celulares, entre otros.

Estos dispositivos se emplean de acuerdo con la frecuencia y el voltaje que operan los equipos a conectarse al sistema fotovoltaico.

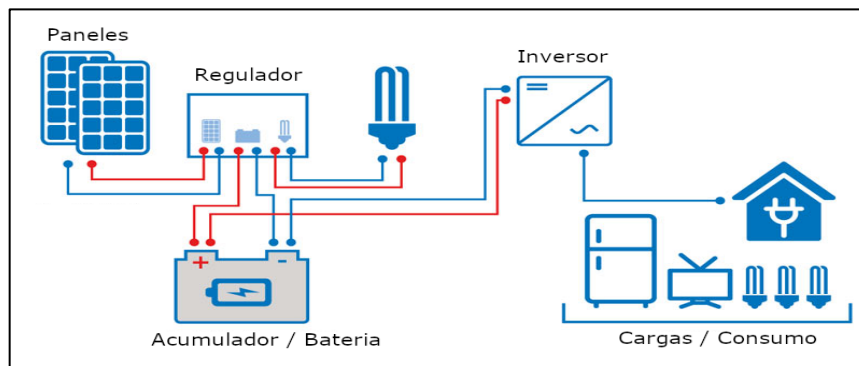
En el mercado fotovoltaico existen inversores que pueden ser trifásicos o monofásicos dependiendo de las necesidades de cada instalación. Estos dispositivos internamente están formados por circuitos electrónicos alimentados por corriente continua y además generan en su salida un voltaje de corriente alterna, con la frecuencia establecida por las cargas en la instalación. En casi todos los casos presentan una tensión de salida de 230 V en monofásica o 400 V para trifásica con una frecuencia de 50 Hz, en Centroamérica normalmente se utilizan inversores con una tensión de salida de 120 V con una frecuencia de 60 Hz.

Estos dispositivos internamente tienen incorporados protecciones contra sobrecarga y sobre descarga de la batería, cortocircuitos o la detección cuando no exista consumo.

En la siguiente figura se muestra un esquema de una instalación solar fotovoltaica aislada de la red eléctrica formada por los paneles solares, el regulador, las baterías y el inversor, de tal forma que el usuario pueda conectar

las respectivas cargas o consumos, tanto en corriente alterna como en corriente directa.

Figura 21. **Esquema de una instalación autónoma con inversor**



Fuente: HelioEsfera. *Instalación fotovoltaica aislada*. [www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/](http://www.helioesfera.com/instalacion-fotovoltaica-aislada/). Consulta: 19 de febrero de 2020.

Previo a elegir un inversor para un sistema fotovoltaico aislado, es necesario asegurarse de que cumpla con las siguientes características:

- Debe tener la capacidad de suministrar una corriente alterna con una forma senoidal, tensión y frecuencia estable.
- Debe de funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- Integrar su autoprotección contra sobrecargas, cortocircuitos y cambio de polaridad.
- Compatibilidad electromagnética.
- Disponer de sistema de medición y monitoreo.
- Proporcionar una baja distorsión armónica.
- Bajo consumo en vacío, esto quiere decir que cuando no existan cargas conectadas.

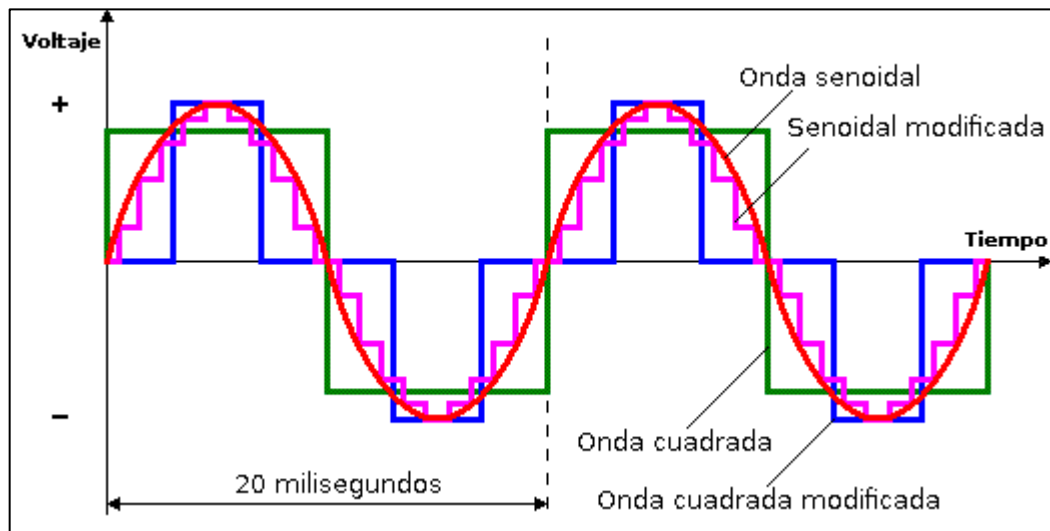
- Ofrecer una eficiencia la más alta posible de tal manera que minimice las pérdidas.

Los inversores utilizados en instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica se pueden clasificar según la forma de onda en:

- Inversores de onda cuadrada: son económicos, de baja potencia, producen muchos armónicos, mucha pérdida de potencia, y son adecuados solo para alimentar aparatos puramente resistivos.
- Inversores de onda modulada: de baja potencia, pero con un rango más amplio para conectar elementos de carga que los de onda cuadrada, entre los que mencionamos la iluminación, motores de pequeña capacidad y dispositivos electrónicos que dispongan de una mínima sensibilidad respecto a la señal de alimentación.
- Inversores de onda senoidal modificada: son más caros, pero muy buenos a la hora de transformar la corriente continua en alterna aproximándose a la corriente alterna que tenemos en casa, la cantidad de armónicos es menor que los de onda cuadrada y son utilizados para alimentar la mayoría de electrodomésticos que ofrece el mercado.
- Inversores de onda senoidal pura: tienen un precio más elevado que los de onda modificada. Esto se debe a que producen una corriente alterna exactamente igual a la que tenemos en casa, lo cual permite alimentar a cualquier aparato de consumo, mejoran el rendimiento del sistema. En los últimos años ha crecido gracias al desarrollo de nuevos inversores senoidales de onda pura con rendimiento muy cerca del 90% dependiendo

de la potencia y a la incorporación de los microprocesadores de última generación.

Figura 22. **Forma de onda según el tipo de inversor**



Fuente: SERRANO, José. *Práctica 5.4 Inversores de aislada*.

[www.calculosolar.com/curso/5.4\\_teoría.html](http://www.calculosolar.com/curso/5.4_teoría.html). Consulta: 20 de febrero de 2020.

### 2.3.2.5. **Cableado del sistema fotovoltaico**

Para transportar la energía eléctrica a través de cada uno de los componentes que conforman un sistema fotovoltaico se utilizan cables eléctricos. Los cables utilizados para alimentar los componentes que trabajan con voltaje directo son diferentes a los que trabajan con voltaje alterno, esta condición es muy importante a tener en cuenta.

Por tal razón se debe considerar los siguientes criterios al momento de diseñar una instalación fotovoltaica:

- Tipo de cable: determinar el tipo de material con el que está fabricado el conductor, si es rígido, flexible, si es unipolar o multiconductor, el tipo de aislamiento y el tipo de recubrimiento.
- La forma de instalación del cable: se explicará si los cables son aéreos, subterráneas o interiores, si irán en canales o entubado, o bajo tubos de protección.
- Para la sección de los conductores se debe considerar los siguientes criterios:
  - Capacidad de corriente: se refiere a la capacidad que tiene el conductor para transportar corriente. De acuerdo con el calibre tiene una relación proporcional, de tal forma que mientras más grueso es el conductor, mayor capacidad para transportar la corriente eléctrica. El uso de cables de menor capacidad puede ocasionar el sobrecalentamiento, lo que significaría pérdida de energía, provocando que el material aislante se derrita y llegar al límite de provocar un cortocircuito.
  - Caída de voltaje o de tensión: se refiere a la pérdida de tensión a causa de la longitud y la resistencia que presenta el cable. Está en función de las siguientes variables: el calibre, la longitud y la corriente que fluye por el conductor.

Mientras mayor sea la longitud del alambre habrá mayor resistencia al flujo de la corriente. Si la longitud del alambre es demasiado largo esto provocará pérdidas de energía y una reducción de la eficiencia del sistema. Por lo que se recomienda utilizar un cable más grueso

de tal forma que su longitud se reduzca, esto evitará la caída de voltaje.

Para calcular la sección de un cable en corriente continua se debe conocer lo siguiente: el material que lo compone ya sea de cobre o aluminio, la longitud del cable expresada en metros, la corriente que conducirá el cable en amperios y la caída de tensión en sus extremos expresado en voltios.

Los cables exteriores de la instalación fotovoltaica, esto se refiere a los que se exponen a la intemperie, es decir, a los cables que van del panel fotovoltaico al sistema de regulación, el aislamiento que recubre el conductor debe proteger el cable contra el calor, la humedad, rayos ultravioleta y los agentes químicos. Además deberán estar identificados como resistentes al sol, juntamente con su respectivo código de colores dependiendo de la función en el sistema fotovoltaico.<sup>24</sup>

En instalaciones de corriente continua, tanto los positivos como los negativos se conducirán por separado, protegidos y con su respectiva señalización.

Para calcular la sección de un cable en corriente alterna, se basa en normas eléctricas de baja tensión en el que se establece una caída de tensión del 3% para viviendas. Una vez calculada la sección del cable, se escogerá un valor normalizado, elegida la sección y conociendo la corriente que conducirá el conductor, se procede a comprobar que la corriente sea aceptada por dicha sección utilizando tablas juntamente con normas eléctricas del Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC.

---

<sup>24</sup> UZQUIANO, Camilo; SULLIVAN, Mike; SANDY, Ximena. *Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani*. p. 19.



## **2.4. Sistemas de seguimiento solar**

Hoy por hoy podemos observar que el campo de las fuentes de energías renovables ha adquirido importancia para el desarrollo sustentable. Comparando la energía solar fotovoltaica con las energías convencionales fósiles para la generación de energía eléctrica, la energía solar se da a conocer como una opción económica y efectiva. Debido a esto surge la necesidad de aprovechar al máximo la energía solar.

Para aquellas instalaciones solares fotovoltaicas en donde el objetivo es aprovechar al máximo la energía solar, la condición principal que deben cumplir es, recibir la mayor cantidad posible de energía solar disponible en el lugar a implementarse el sistema. Para ello existen dos métodos para alcanzar la optimización de la cantidad de energía obtenida en una instalación fotovoltaica.

El primer método consiste en, un mejoramiento de los componentes internos que conforman el panel fotovoltaico de tal manera que aumente su rendimiento. El segundo método consiste en, incrementar la cantidad de radiación solar captada por el panel solar; para ello se requiere que el área del panel fotovoltaico se mantenga en una posición perpendicular a las radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol.

Ante estas circunstancias, las instalaciones fotovoltaicas tienen la opción de poner en funcionamiento un dispositivo extra con el objetivo de incrementar la captación de radiación solar, de tal manera que aumente la energía suministrada por la instalación fotovoltaica, el dispositivo encargado de realizar esta tarea se le denomina seguidor solar.

Un seguidor solar es una máquina autónoma que tiene la capacidad de buscar la ubicación del sol en cualquier instante del día, siguiendo al sol desde el este hasta

el oeste. Está formado por una parte fija y una parte móvil, la cual cuenta con una superficie de captación esta debe mantenerse perpendicular a los rayos que emite el sol a lo largo del día, con el propósito de captar la máxima radiación solar durante el mayor tiempo posible.<sup>25</sup>

Su movimiento es de tipo rotacional, esta idea fue tomada debido a la naturaleza de muchas plantas, como por ejemplo el girasol, se orientan hacia el sol durante el transcurso del día. Es un principio sencillo pero muy excelente aplicado perfectamente en los sistemas fotovoltaicos para optimizar su eficiencia. Existen dos tipos de movimientos que deben ser controlados por el seguidor solar, el movimiento del recorrido del sol en el transcurso del día y el cambio de dicho recorrido a lo largo del año.

Hoy en día, los seguidores solares se pueden clasificar de acuerdo a su número de ejes, cada uno de ellos está asociado a un grado de libertad, dicho de otra manera, representa los movimientos independientes que puede ejecutar el seguidor solar ya sea lineal o rotacional. Los seguidores solares pueden ser tanto de uno o dos ejes.

#### **2.4.1. Sistemas de un eje**

Estos tipos de seguidores se les denomina así debido a que gozan de un solo grado de libertad en su movimiento, en otras palabras, se refieren a los que se mueven en un solo eje de rotación, este puede ser vertical, horizontal u oblicuo. Existen varios tipos de seguidores de un solo eje los cuales se describen a continuación:

- Seguidor solar de un eje polar: es un seguidor de eje inclinado, la superficie del seguidor solar gira con respecto a un eje orientado al sur e inclinado a

---

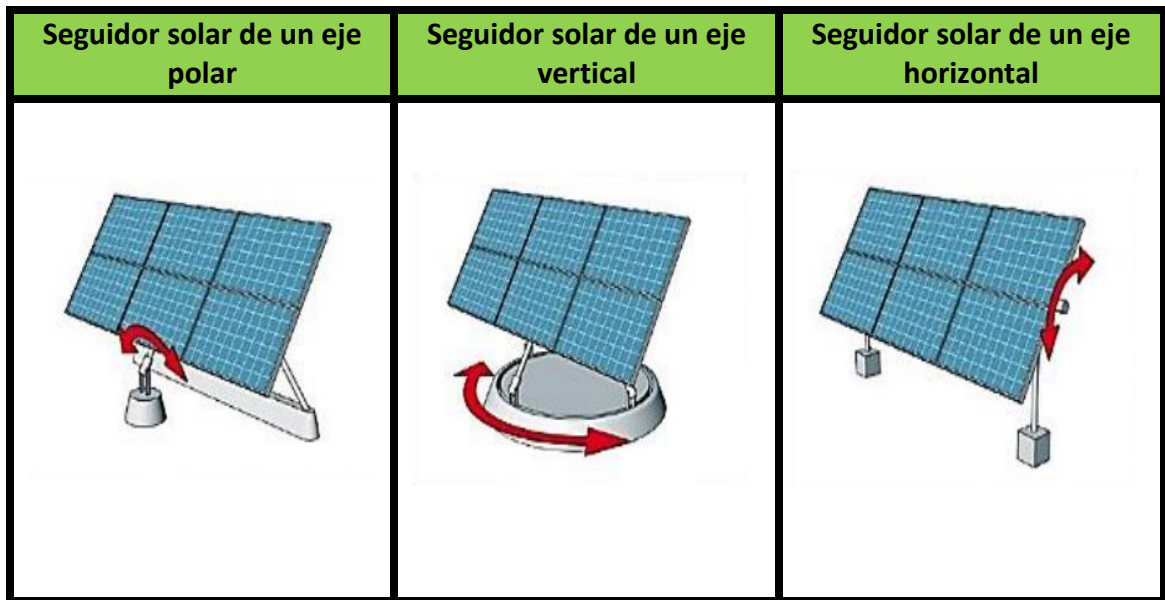
<sup>25</sup> MACHADO TORANZO, Noel; LUSSÓN CERVANTES, Ania y LEYSDIAN ORO CARRALERO, Leandro. *Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar*. p. 191.

un ángulo igual a la latitud. La velocidad de giro del seguidor solar es de  $15^{\circ}$  por hora.

- Seguidor solar de un eje vertical: la superficie de este tipo de seguidor solar gira sobre un eje vertical, el ángulo que se forma con la superficie es constante e idéntico a la latitud. La velocidad de giro de este seguidor es variable durante el día. Este tipo de seguidor solar es aconsejable para latitudes lejanas al ecuador.
- Seguidor solar de un eje horizontal: la superficie de este tipo de seguidor solar gira sobre un eje horizontal y con la orientación en la dirección nortesur. Este tipo de seguidor solar es recomendable para latitudes cercanas al ecuador.

Las ventajas que caracterizan al seguidor solar de un eje son los siguientes: su bajo costo, su sencillez, la posibilidad de acomodarse a cubiertas y una captación de energía solar entre el 10 % al 20 % más que las superficies fijas. Respecto de sus desventajas se menciona: la imprecisión del seguimiento solar, menor captación de la energía solar respecto a un seguidor solar de doble eje.

Figura 23. Tipos de seguidores solares de un eje



Fuente: elaboración propia utilizando Microsoft Office Word 2013, según ZEA, Alejandro. *Diseño y construcción de un prototipo a escala de seguidor solar.* p 8.

#### 2.4.2. Sistema de doble eje

Se trata de seguidores solares que gozan de dos grados de libertad, dicho de otra manera, son los que tienen dos ejes de rotación, estos ejes están típicamente perpendiculares uno respecto del otro. El eje que está fijo sobre la tierra se le denomina eje primario y el eje que está referenciado al eje primario se le denomina eje secundario. Tienen la capacidad de realizar un seguimiento solar más preciso, su rendimiento es superior en comparación con los seguidores de un solo eje.

Existen varios tipos de seguidores solares de doble eje, los más comunes se describen a continuación:

- Seguidor solar tipo monoposte: este tipo de seguidor de doble eje está formado con un único apoyo central, dentro de esta categoría se integran las llamadas flores solares, las cuales tienen una capacidad de giro de  $360^{\circ}$ .

Figura 24. **Seguidor solar de doble eje tipo monoposte**



Fuente: Viatec.do. *Esta flor inteligente saca máximo provecho al sol.* [www.viatec.do/esta-flor-inteligente-saca-maximo-provecho-al-sol/](http://www.viatec.do/esta-flor-inteligente-saca-maximo-provecho-al-sol/). Consulta: 27 de febrero de 2020.

- Seguidor solar tipo carrusel: este tipo de seguidor de doble eje está formado por varios apoyos distribuidos a lo largo de una superficie circular. De tal manera que toda la estructura que soporta los paneles fotovoltaicos gira en un círculo de  $360^{\circ}$ .

Figura 25. **Seguidor solar de doble eje tipo carrusel**



Fuente: SOLARFIRST. *Sistema de seguimiento solar de doble eje de alta calidad.*  
[http://es.pvsolarfirst.com/high-quality-dual-axis-solar-tracker-system\\_p19.html](http://es.pvsolarfirst.com/high-quality-dual-axis-solar-tracker-system_p19.html). Consulta: 27 de febrero de 2020.

Dentro de las ventajas que poseen los seguidores solares de doble eje podemos mencionar: un seguimiento solar más preciso, un aumento de la producción en alrededor del 30 % al 45 % respecto a las instalaciones fijas. Las desventajas que presentan este tipo de seguidores solares son: su elevado costo de inversión y su elevado costo de mantenimiento.

La mejor manera de elegir un tipo de seguidor solar es analizar su desempeño individual y tomar en cuenta los siguientes parámetros, el cual permite decidir qué tipos de seguimientos se adecua más a las necesidades del usuario:

- La cantidad de aumento en la producción de energía en nuestra instalación.
- El costo del equipo y su respectiva instalación.
- Debe ser resistente a los vientos.
- La disposición del equipo en el lugar a implementarse.

- La facilidad para su mantenimiento.

### 3. ENERGÍA DE PROPULSIÓN HUMANA

Actualmente los problemas asociados con el calentamiento global y la emisión de gases que contaminan el ambiente han provocado que el ser humano implemente energías limpias (eólica, solar, hidráulica, mareomotriz, etc.), como una opción para la generación de energía eléctrica. Pero el ser humano ha descuidado una forma alterna para la generación de energía eléctrica, como es el caso de la propulsión humana. Esta energía es aprovechada por la potencia que se ejerce en los pedales incluidos en las máquinas como dinamo de pie o para trabajos mecánicos accionados a pedales.

La bicicleta es una de las mejores máquinas individuales que se ha inventado a lo largo de la historia, el alemán Karl Freiherr von Drais es el inventor de la primera bicicleta en el año de 1817, esta máquina se fabricó de madera, no contaba con pedales y la forma para trasladarse tenía que impulsarse con la ayuda de los pies respecto al suelo.

Posteriormente surgieron varios inventores que presentaron diferentes diseños, sin embargo, fue hasta 1885 que se comercializó las bicicletas modernas su modelo era semejante a las que se conoce hoy en día, disponían de frenos, llantas, como medio de transmisión utilizaba una cadena, eran muy cómodas y se le atribuye este diseño a John Kemp Starley.

Las bicicletas como medio de transporte ayudan a la movilización de un lugar a otro gracias a la energía de propulsión humana. Además, son muchos sus beneficios para la salud como por ejemplo ayuda a tonificar los músculos, incrementa la condición pulmonar, ayuda en la oxigenación del cerebro, combate



el estrés, fortalecimiento del sistema circulatorio, entre otros. De igual forma respecto al medio ambiente podemos mencionar que son amigables con el ambiente debido a que no contaminan y no producen gases de efecto invernadero.

En la sección 1.1.1. se dio a conocer algunos ejemplos empleando la bicicleta como una alternativa tanto ecológica, como sostenible para la generación de electricidad considerando que permiten aprovechar la energía de propulsión humana y convertirla en energía eléctrica, de tal forma que pueda emplearse para iluminación, bombeo de agua, mover maquinas como pulidoras, entre otros.

Guatemala cuenta con una ONG que promueve la salud, fomenta la protección del medio ambiente, el apoyo a la economía rural sostenible a través del aprovechamiento de la energía humana que se obtiene con la ayuda de los pedales de las bicicletas, esta Organización No Gubernamental se fundó en Chimaltenango, Guatemala en el año de 1997, y el inventor de las bicimáquinas es Carlos Marroquín.<sup>26</sup>

La Organización no Gubernamental primeramente inició recolectando piezas de bicicletas usadas para fabricar máquinas impulsadas por los pedales de una bicicleta que satisficieran las necesidades de la gente del campo. Las máquinas impulsadas por pedales de bicicletas, Maya Pedal los vendían a las personas que tuvieran interés en comprar las bicimáquinas, sin embargo, ofrecía un descuento especial para aquellas comunidades que deseaban crear proyectos de desarrollo sostenible.<sup>27</sup>

Una agrupación de mujeres encargó una licuadora impulsada a pedal de bicicleta para fabricar un champú hecho de aloe vera, que cultivaban en sus huertos. Con el dinero que obtenían en la venta del champú, las mujeres mantienen a sus familias y apoyaban su propio proyecto de reforestación del pueblo. Otra agrupación solicitó un molino impulsado a pedal de bicicleta para moler maíz, gracias al cual muelen maíz para animales que comercian a bajo precio a las comunidades locales.<sup>28</sup>

---

<sup>26</sup> CONANT, Jeff y FADEM, Pam. *Guía comunitaria para la salud ambiental*. p. 543.

<sup>27</sup> *Ibíd.*

<sup>28</sup> *Ibíd.*

Existen numerosas bici máquinas que emplean la energía de propulsión humana como técnicas ingeniosas para aprovechar la energía a pedal de bicicleta, por ejemplo, la bicilicuada, la bicilavadora, bicimolinos, bicibomba, bicigenerador de electricidad, entre otros.

Figura 26. **Licuada a base de pedaleo fabricado por maya pedal**



Fuente: Terra. *Energía de propulsión humana en bicicleta.*

[www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta](http://www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta). Consulta: 17 de marzo de 2020.

### 3.1. **Conceptualización de procesos de transformación energética**

El principio de conservación de la energía establece que, la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma, de acuerdo con esta transformación ya sea a otro tipo de energía o en su momento para desarrollar un trabajo. La energía puede presentarse de distintas formas o en diferentes tipos de energía (eléctrica, química, térmica, nuclear, radiante, y otros).

Gracias a los aportes energéticos que los alimentos producen cada día, la energía generada por el ser humano permite llevar a cabo diversas actividades tales como, moverse, levantarse, bañarse, trabajar, estudiar, entre otras. La principal fuente energética que permite generar movimientos en los músculos del ser humano, aportando un buen desarrollo metabólico y que son fundamentales en la vida, se debe a los alimentos que consume.

Figura 27. **Carbohidratos, proteínas y grasas**



Fuente: RAMÍREZ, Javier. *Macronutrientes*.

[www.entrenadorpersonaljavierramirez.blogspot.com/2016/04/macronutrientes.html](http://www.entrenadorpersonaljavierramirez.blogspot.com/2016/04/macronutrientes.html). Consulta: 16 de marzo de 2020.

La combustión de los alimentos con el oxígeno da como resultado la producción de energía en el ser humano. Básicamente existen tres tipos de alimentos los cuales se muestran en la figura 27, los carbohidratos, las grasas y las proteínas.

Los carbohidratos corresponden a los mayores proveedores de energía en términos tanto de actividad mental como física, son ricos en minerales y proporcionan una sólida dosis de fibra. En la salud intestinal tienen un efecto positivo, de tal forma que con su ayuda logran regular los niveles de colesterol.

Las grasas también son mayores proveedores energéticos, debido a que son acumuladores de energía que funcionan para mantener el cuerpo, estos acumuladores tienen la función de proteger, mantener en su lugar a varios órganos como el corazón, riñones e hígado; ayudan a regular el metabolismo, el flujo sanguíneo y regeneración de células.

Las proteínas cumplen varias funciones en el cuerpo, tales como hormonas, enzimas y anticuerpos para el sistema inmune, además forman parte de las estructuras corporales, tales como la piel, el pelo, la fibra muscular.

Las proteínas se almacenan en la musculatura y sus reservas no son fuentes directas de energía, por el contrario, trabajan construyendo bloques para otras estructuras en el organismo.

Para mantener una buena salud, es importante tener una dieta equilibrada acompañada de una buena relación de los carbohidratos, las grasas y las proteínas; además es importante realizar actividades físicas.

### **3.1.1. La bici generadora**

La bici generadora o bici máquina es un sistema de generación de energía eléctrica a partir del pedaleo de una persona en una bicicleta estacionaria, consiste en una bicicleta común y corriente, con la rueda trasera en el aire, sostenida por una estructura normalmente de forma triangular.

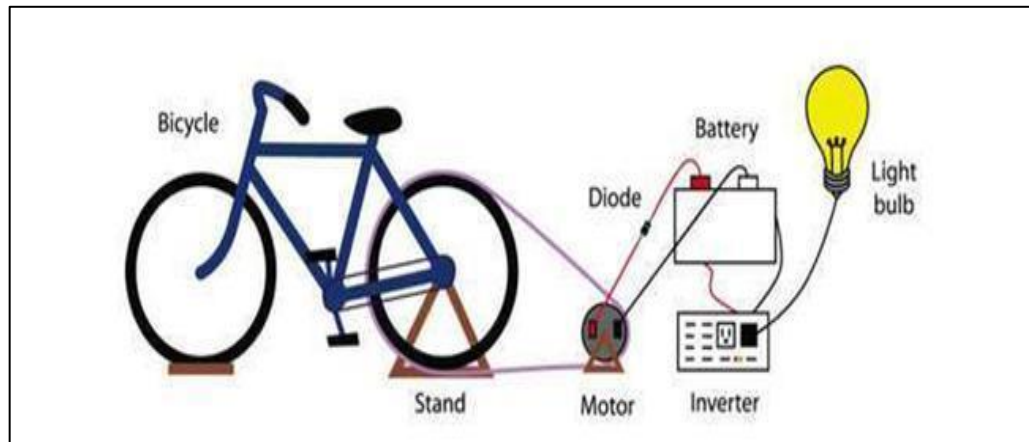
Para el diseño del sistema utilizamos la llanta trasera de la bicicleta estacionaria, debe estar alineada con un rodillo de fricción, además por medio de fajas se transmite a un tren de poleas con el objetivo de aumentar la velocidad en el eje del motor DC de imanes permanentes, al momento de pedalear el sistema transmite potencia a la llanta trasera y esta al tren de poleas, hasta llegar al eje del motor, posteriormente esta energía que se genera se almacena en baterías de 12 V DC.

Finalmente, con un inversor de corriente se logra convertir la corriente directa en corriente alterna y posteriormente alimentar cargas eléctricas (televisores, radios, computadoras, celulares, iluminación, y otros)

Con la bici generadora no solo obtenemos energía limpia con la propulsión humana, sino que además hacemos ejercicio, no es necesario ser un ciclista profesional para realizar la prueba física. Con la implementación de la bici generadora ayudamos al medio ambiente, este tipo de máquina pueden ser el motor de una mejor vida para muchas personas que viven en situaciones críticas y de igual forma optimizar la producción por parte de las familias que viven en áreas rurales en vías de desarrollo.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo del diseño de una bici generadora de electricidad, con sus respectivos elementos que lo conforman.

Figura 28. Esquema de una bici generadora



Fuente: *Bicicleta generador de energía*. [www.mariaproyectodefisica.blogspot.com/2018/08/](http://www.mariaproyectodefisica.blogspot.com/2018/08/).

Consulta: 18 de marzo de 2020.

Entre las ventajas al emplear una bici generadora podemos mencionar lo siguiente:

- Útil en casos de emergencia debido a que dispone de un sistema de recarga independiente, dicho de otra manera, cuando el suministro de energía eléctrica se encuentra suspendido, esto no limitaría el uso de dispositivos móviles a utilizarse en la instalación.
- Impulsa a las personas a hacer ejercicio en una bicicleta para tener una buena salud, mejorando así su ritmo cardiovascular, de tal forma que pueda quemar calorías y además obtener energía eléctrica en sus hogares.
- Contribuye a la no contaminación del planeta.

- Apropiado para emplearse en zonas pobres, donde la energía eléctrica no llegue.

Las únicas desventajas que podemos mencionar son su elevado costo y el largo plazo para su elaboración.

### 3.1.1.1. Tipos de bicigeneradores

El primer tipo es la bici generadora con faja de transmisión: la característica principal es que la llanta metálica y el motor se unen por medio de una faja de transmisión, que al momento de pedalear hacemos girar también el eje del motor, de tal manera que obtenemos energía eléctrica.

Figura 29. **Bicigeneradora con faja de transmisión**



Fuente: Askix. *Cómo construir un generador de bicicleta*. [www.askix.com/como-construir-un-generador-de-bicicleta.html](http://www.askix.com/como-construir-un-generador-de-bicicleta.html). Consulta: 18 de marzo de 2020.

El otro tipo es la bici generadora con rodillo de fricción: este tipo de sistema está formado por un soporte triangular, en el cual se fija la bicicleta por el eje de la llanta trasera, además lleva un rodillo móvil por donde friccionará la rueda. Algunos soportes tienen posiciones de mayor o menor fricción. El eje del rodillo se acopla al eje del motor, de tal manera que cuando pedaleamos haremos girar la rueda trasera en conjunto con el rodillo y esta a su vez hará girar el eje del motor generando así electricidad. Este tipo de sistema se utilizará para el diseño del prototipo.

Figura 30. **Bicigeneradora con rodillo de fricción**



Fuente: Terra. *Energía renovable pedaleando paso a paso*. [www.terra.org/categorias/blog-de-un-ecologista/energia-renovable-pedaleando-paso-paso](http://www.terra.org/categorias/blog-de-un-ecologista/energia-renovable-pedaleando-paso-paso). Consulta: 18 de marzo de 2020.

La bicigeneradora con volante de inercia: en este caso usamos una bicicleta tipo spinning en el cual la llanta delantera y el motor se unen por medio de una faja de transmisión, que al instante de pedalear haremos girar el eje del motor, produciendo de esta manera electricidad.



Figura 31. **Bicigeneradora con volante de inercia**



Fuente: Terra. *Energía de propulsión humana en bicicleta.*

[www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta](http://www.terra.org/categorias/articulos/energia-de-propulsion-humana-en-bicicleta). Consulta: 18 de marzo de 2020.

### **3.1.2. Conceptualización del cuerpo humano**

La composición del cuerpo depende mucho de los alimentos que se consume, para el correcto funcionamiento es necesario una cierta cantidad de elementos químicos tales como agua, hidratos de carbono, proteínas, grasas, sales minerales y las vitaminas, los cuáles se encuentran en los alimentos que consumimos diariamente.

Los alimentos que se consumen ayudan al desarrollo del cuerpo, la producción de energía para realizar nuestras actividades, a recuperar el organismo y protección ante las enfermedades.

Comer y beber es uno de los placeres cotidianos en la vida, para expresar el valor energético que ofrecen los alimentos se utilizan las calorías, que corresponde a la cantidad de calor que es requerido para incrementar en un grado la temperatura de un gramo de agua. Esta unidad resulta ser muy pequeña, por lo cual la aportación energética de los alimentos se mide en kilocalorías.

Respecto del párrafo anterior surge una duda, como se puede determinar la cantidad de calorías como nutrientes que necesita el cuerpo para tener una mejor salud. Básicamente no existe una tabla que indique la cantidad de calorías y los nutrientes que se necesitan diariamente, sin embargo, una ayuda es la orientación de personal calificado en el área de la nutrición. Ellos, a su vez, utilizan varias fórmulas para determinar la cantidad de calorías que necesitamos de acuerdo a la condición física, edad, sexo, estatura, peso, entre otros; de tal forma que puedan recomendar la cantidad de alimentos que se deba consumir, como por ejemplo, las frutas, verduras, proteínas, y otros.

Existe un método no tan habitual para determinar la cantidad de calorías que se necesitan diariamente, la cual consiste en realizar una lista de los alimentos y bebidas que se consume cada día, verificando la cantidad de calorías que contienen cada uno, utilizando las etiquetas de información nutricional, de tal forma que se realice un diario de los alimentos que cada quien consume, esto ayudará a estar informados del promedio de calorías de consumo diario, adicional se puede incluir los días que se realiza actividad física juntamente con el tiempo para realizar dicha actividad.

De acuerdo con Arias y Jhonatanla energía que el cuerpo gasta se puede determinar de la siguiente manera:

- “Gasto energético: 60 al 75 %

- Ejercicio físico: 15 al 30 %
- Digerir alimentos y absorber nutrientes: 10 %”<sup>29</sup>

El gasto energético corresponde a la cantidad mínima de calorías que el cuerpo necesita por día para sobrevivir, esto quiere decir que el cuerpo está en reposo, pero tiene un gasto calórico para que los órganos del cuerpo puedan funcionar y sobrevivir ese día, por ejemplo, para que funcione el corazón, el hígado, el riñón, el pulmón, entre otros, requieren de un gasto calórico.

El ejercicio físico corresponde al conjunto de movimientos intencionales, de tal forma que estos movimientos son producidos por los músculos esqueléticos y conllevan un gasto energético mayor o superior al que se tiene en reposo, por ejemplo un deporte organizado (natación, ciclismo, encuentros deportivos, etc.), las actividades recreativas (caminar, recreación turística, y otros), juegos (ajedrez, juegos de mesa, y otros), prácticas de rutinas de ejercicios (estiramientos, sentadillas, saltar la cuerda, y otros.), los oficios domésticos (barrer, planchar, cocinar, y otros).

Digerir alimentos y absorber nutrientes corresponden al proceso más lento y complejo que se desarrolla en el cuerpo, el cual consiste en descomponer los alimentos consumidos, además absorber los nutrientes necesarios para dar una estabilidad adecuada a una saludable alimentación.

### **3.1.2.1. Proceso energético en el cuerpo humano**

Actualmente se observa alrededor diversas tecnologías empleadas para la generación de energía, por ejemplo molinos de viento, turbinas, generadores

---

<sup>29</sup> ARIAS, Angela y GARCÍA, Jhonatan. *Análisis de variables eléctricas para una bicicleta generadora de energía eléctrica (Tesis de grado de Tecnología Eléctrica)*. p. 36.

eléctricos, entre otros, sin embargo todo lo anterior no se compara con el cuerpo humano el cual es una máquina perfecta y compleja, por tal motivo se le puede definir como una máquina generadora de energía con la capacidad en su interior para convertir de manera eficiente diversas representaciones de la misma de modo que, se represente de una forma sencilla el proceso energético que se lleva a cabo por ejemplo para montar bicicleta.

Cada momento que el ser humano ingiera alimentos, estos llegan a su estómago y a través de una fusión de líquidos gástricos estos se transforman en tiamina, que es la vitamina que abastece de energía al cuerpo humano para realizar actividades; tomando en cuenta el criterio anterior, esta energía se distribuye con el fin de transformarse en pequeñas cargas de energía eléctrica, además es la vía de comunicación entre los órganos del cuerpo, de tal manera que permita que estos realicen sus actividades normales.

“Únicamente el 40 % de la energía almacenada en el cuerpo puede ser transformada en energía mecánica, presentada en las diversas actividades físicas que para el estudio es montar en bicicleta”.<sup>30</sup>

El ser humano con una excelente alimentación puede llegar a alcanzar una potencia media energética de 150 vatios sobre una máquina que aproveche esta energía, por ejemplo, las bicicletas estacionarias. En una bicicleta los niveles de potencia que se pueden generar pedaleando, estarán condicionados por la fuerza muscular y el tiempo. Un ciclista profesional en una competición puede generar hasta los 400 vatios en un sprint en breves intervalos de tiempo.

---

<sup>30</sup> ARIAS, Angela y GARCÍA, Jhonatan. *Análisis de variables eléctricas para una bicicleta generadora de energía eléctrica (Tesis de grado de Tecnología Eléctrica)*. p. 18.

La potencia real que se genera a través del pedaleo en una bicicleta dependerá de la relación entre la velocidad de rotación expresada en revoluciones por minuto y el rendimiento del sistema de transmisión, además este último dependerá mucho del diseño de la bicicleta para aprovechar al máximo la energía.

### **3.1.3. Como convertir energía mecánica en eléctrica**

La energía mecánica se genera cuando una fuente de energía se utiliza para crear el movimiento físico de un determinado objeto. Por ejemplo, el ser humano cuando ingiere alimentos, primero debe masticarlos, luego son ingeridos, seguidamente son llevados por medio del esófago hacia el estómago, de tal forma que el sistema digestivo es el encargado en remover los alimentos, mezclarlos con jugos digestivos que incluyen tanto los ácidos como enzimas, permitiendo partirlos en trozos más pequeños para poder digerirlos sin ningún problema.

Así, el cuerpo pueda absorber los nutrientes que necesite, los cuales se utilizan para realizar diversas actividades como por ejemplo pedalear en una bicicleta; en este caso los productos químicos que se obtienen de los nutrientes se transforman en la fuerza física y mecánica para impulsar por medio de las piernas los pedales de la bicicleta.

Para convertir la energía mecánica en eléctrica, necesitamos de un dispositivo de conversión, este dispositivo recibe el nombre de generador, en el cual los imanes y bobinas puedan transformar el movimiento en fuerza electromotriz, que normalmente se utiliza como unidad de medida los voltios.

El proceso de conversión de energía se fundamenta por medio del principio de la inducción magnética, el cual establece que los campos magnéticos, generan campos eléctricos.

Para que el sistema de generación esté en funcionamiento, primero el tripulante debe de imprimir una fuerza en sus piernas, seguidamente esta fuerza hacia los pedales de la bicicleta, de tal forma que se logre transmitir potencia a través de la cadena y el volante de inercia hasta el eje del motor.

### **3.2. Definición y funciones de los elementos que componen el sistema**

En este apartado damos a conocer las funciones realizadas por los dispositivos que forman parte de los elementos mecánicos y eléctricos en el sistema de generación por medio de energía de propulsión humana.

#### **3.2.1. Elementos mecánicos en una bici generadora**

El sistema mecánico en primer lugar está formado por el chasis de una bicicleta estática común, la cual cuenta con los mecanismos y elementos fundamentales para la transmisión de potencia; estos se describen a continuación:

- Chasis o marco de bicicleta: pieza fundamental en la bicicleta, en ella se fijan varios componentes como las ruedas, sillín, horquilla, manillar, etc.
- Pedales: corresponden a la superficie de apoyo al pie del ciclista; elemento esencial para aquellas máquinas que necesiten propulsión a base de pedales, los cuales pueden ser fabricados en polímeros de alta densidad como es el caso del pedal de la bicicleta estática utilizada en el desarrollo

de esta investigación, normalmente de aluminio o materiales compuestos. Además, tienen la función de transmitir la energía cinética a la rueda trasera utilizando una cadena.

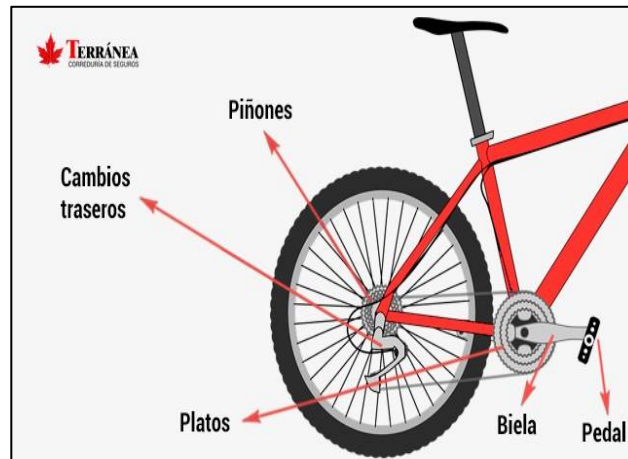
- **Platos:** se colocan en el eje del pedal y están formados por ruedas dentadas que engranan todos los eslabones de la cadena de la bicicleta para una óptima transmisión de potencia a la rueda trasera. Este elemento, en conjunto con los piñones, establecerá la exigencia del ritmo de pedaleo, de tal modo que de acuerdo con el número de dientes multiplicará o disminuirá el par inicial.
- **Biela:** se refiere a la estructura que une el pedal con el eje de los platos de la bicicleta. Provee una alta flexibilidad y amplitud de movimientos en el pedaleo, además es un elemento impulsor de transmisión de potencia de la bicicleta, de tal manera que transforma el movimiento de las piernas del tripulante en el movimiento rotacional empleado para mover la cadena de la bicicleta, que al mismo tiempo hace que gire la rueda trasera.
- **Piñón:** es el mecanismo que permite que un determinado eje pueda girar con libertad en una dirección y ser engranado en la dirección opuesta, la velocidad de giro dependerá de la relación que existe en el sistema.
- **Cadena:** es una estructura fabricada normalmente de acero, conformada por eslabones, los cuales tienen la función de transmitir la fuerza del pedaleo a la rueda trasera.
- **Rodamientos:** son componentes esenciales para el correcto funcionamiento de la bicicleta, considerando que de ellos dependen el rendimiento de la bicicleta, son utilizados en varias partes, por ejemplo, en

el eje de las ruedas, en el eje del plato, en el eje de dirección. Su función principal es, permitir el movimiento de giro entre dos piezas unidas por medio de la rodadura, generando así un giro más suave y con menor fricción de tal manera que pueden girar a mayor velocidad. Existen dos tipos de rodamiento:

- Rodamiento rígido de bolas: son utilizados en muchas aplicaciones. Sencillos de diseñar, no separables, además poseen la capacidad de operar tanto en altas como muy altas velocidades, y necesitan poco mantenimiento en servicio.
- Rodamiento de agujas: rodamiento con un rodillo cilíndrico largo y delgado. Pese a su pequeña sección, tienen una excelente capacidad de carga, además son muy aptos para las aplicaciones donde el espacio radial es estrecho. Generalmente esta clase de rodamientos son usados en los pedales para bicicletas.
- Ruedas: está formado por diversos elementos que agrupados harán rodar una bicicleta. Entre estos elementos podemos mencionar: una maza, varios rayos o radios, un aro y una llanta.



Figura 32. Partes de una bicicleta



Fuente: SÁNCHEZ, Víctor. *Partes de una bicicleta y funciones que un ciclista debe saber*.  
<https://blog.terranea.es/partes-bicicleta/>. Consulta: 28 de marzo de 2020.

Además de los elementos mecánicos que conforman la bicicleta, podemos mencionar elementos utilizados en el tren de poleas, los cuales se describen a continuación:

- Chumaceras: son llamadas también horquillas, las cuales son fabricadas de metal con un hueco estrecho y alargado, de tal forma que permita en su centro la rotación de un eje en una maquinaria, este tipo de cojinete se sitúa normalmente sobre una línea paralela respecto al eje del árbol, las chumaceras se utilizan en varios sistemas mecánicos de transporte y son auto lubricantes.
- Poleas: son elementos utilizados en sistemas de transmisión de potencia, utilizando como medio de transmisión una faja o correa, son fabricados de fierro, aluminio, u otro. Las poleas se pueden clasificar de acuerdo con su ranura en tipo "A" ( $1/2$ " del grosor de la ranura), tipo "B" ( $5/8$ " del grosor de

la ranura). Se pueden utilizar en varias aplicaciones entre las que mencionamos la industria, comercios, maquinarias, entre otros. Las poleas se pueden utilizar para aumentar o disminuir la velocidad de un sistema de transmisión.

- Eje: es una barra cilíndrica que cruzan un cuerpo rotativo y le sirve como centro para girar.
- Rodillo de fricción: son elementos en los que aseguramos nuestra bicicleta a través del eje de la rueda trasera, de tal forma que quede en contacto directo con el rodillo que gira sobre sí mismo, pueden ser fabricadas de metal, madera, caucho, entre otros.

### **3.2.2. Elementos eléctricos en una bici generadora**

Los elementos eléctricos que se necesitan para el diseño de un sistema de generación por medio de una bici generadora de electricidad son los siguientes:

- Motor DC: denominada como una máquina, con la capacidad de convertir energía eléctrica en mecánica, produciendo de tal forma un movimiento giratorio, esto debido a la interacción de un campo magnético.

Estas máquinas se fundamentan de acuerdo con la repulsión que realizan los polos magnéticos de un elemento llamado imán permanente conforme a la Ley de Lorentz, los cuales ejercen una acción con los polos magnéticos de un electroimán que se localiza montado en el rotor.

La fuerza de Lorentz aparece cuando tenemos una situación en la que existe un campo magnético formado por imanes, en medio de dichos

imanes se coloca un alambre conductor por el cual circula una corriente, en estas circunstancias el conductor sentirá una fuerza debido a la interacción de la corriente con el campo magnético, y la dirección de la fuerza dependerá tanto de la dirección del campo como de la dirección de la corriente, la forma de conocer la dirección de fuerza de Lorentz utilizamos la regla de la mano derecha.

La regla de la mano derecha indica que, el dedo índice señala la dirección de la corriente, el dedo de en medio la dirección del campo magnético y el dedo pulgar indica la dirección de la Fuerza de Lorentz.

Al momento que la corriente eléctrica pasa por la bobina del electroimán giratorio, el campo electromagnético que se produce va a interactuar con el campo magnético que produce el imán permanente, de tal forma que si los polos tanto del imán permanente como del electroimán giratorio concuerdan, se genera un rechazo y un torque magnético (par de fuerza que produce que el rotor venza la inercia y empiece a girar sobre su eje) en dirección a la forma que se encuentre conectado el motor al circuito o fuente.

Las partes que componen un motor DC son los siguientes:

- Carcasa protectora de metal: Corresponde al marco magnético, el cual está fabricado de metal, acero o hierro fundido, además forma parte del estator, dicho de otra manera, corresponde a la parte estática del motor.
- Eje: corresponde a una varilla que sobresale de un extremo de la carcasa del motor, en la que podemos acoplar engranajes, rasps

de ventilador o poleas. El eje se utiliza para transferir energía mecánica.

- Estator: está formado por la carcasa protectora de metal y 2 imanes, los cuales corresponden a imanes permanentes que forman los polos tanto norte como sur.
- Rotor: está unido al eje, el rotor está hecho de un número de discos que están laminados juntos, cada disco tiene unos brazos en forma de “t” cortados en ellos. Alrededor de los brazos en forma de “t” del rotor, se encuentran las bobinas que llevan la corriente eléctrica de la batería o fuente de alimentación.

A medida que la corriente pasa a través de las bobinas produce un campo electromagnético, por medio del cual se controla el tiempo y la polaridad de este campo magnético para crear la rotación, los extremos de las bobinas están conectados al conmutador.

- Conmutador: es un anillo que ha sido segmentado en un determinado número de placas, los cuales se sitúan concéntricamente alrededor del eje, las placas están separadas y aisladas eléctricamente entre sí y del eje.

Los extremos de cada bobina se conectan a distintas placas del conmutador, con el objetivo de crear un circuito.

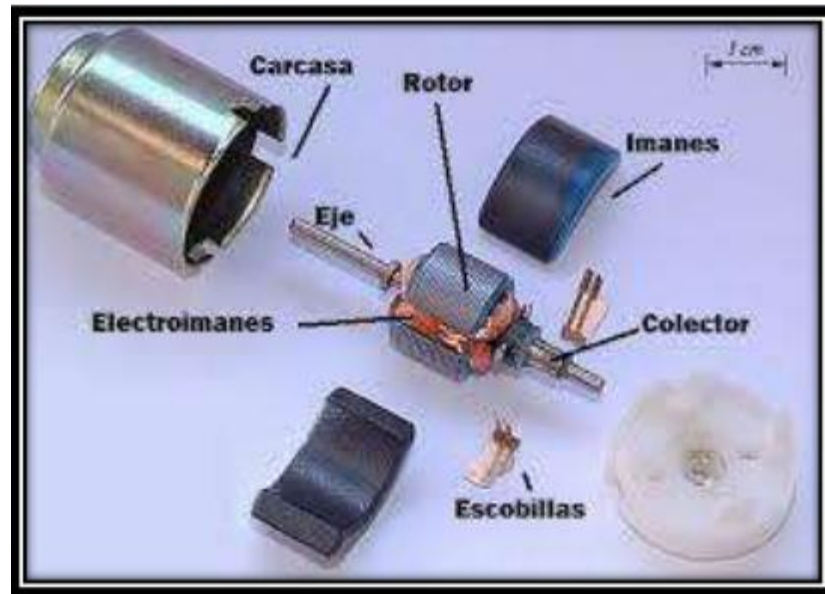
- Cubierta trasera de plástico: corresponde a la parte trasera del motor donde se localizan las escobillas, los brazos de las escobillas y las terminales de las placas.

- Porta escobillas: se localizan en la cubierta trasera de plástico del motor, con el objetivo de proporcionar seguridad y estabilidad a las escobillas de carbón.
- Escobillas: son bloques de carbón, que mediante unos resortes hacen presión sobre ellos para establecer el contacto eléctrico requerido, las escobillas rozan los segmentos del conmutador para completar el circuito.

Entonces la electricidad puede fluir a través del terminal, seguidamente por el brazo y por último en la escobilla por medio de una parte del conmutador en una bobina, luego a otra parte del conmutador, en la escobilla contraria y el brazo nuevamente a la otra terminal.

- Brazos de escobillas: tienen la función de mantener en su respectivo lugar a las escobillas cuando completamos el circuito, la electricidad fluirá a los segmentos del conmutador a través de las escobillas y posteriormente fluirá a una o dos bobinas a medida que se disponga de un camino.

Figura 33. Partes de un motor DC de imanes permanentes



Fuente: RETAMA, Celso. *Motores eléctricos que mueven al mundo*.

[https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Presentaciones/prepa3/2019/motores-electricos-que-mueven-al-mundo.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/prepa3/2019/motores-electricos-que-mueven-al-mundo.pdf). Consulta: 28 de marzo de 2020

- **Baterías:** la batería o acumulador, es un dispositivo que está formado por una o varias celdas electroquímicas que pueden transformar la energía química almacenada en electricidad. En una batería para que genere corriente eléctrica, se requiere de dos metales distintos separados por un líquido conductor, de tal forma que los metales se encuentren conectados entre sí sobre el líquido conductor, por esta razón la corriente puede fluir por medio de la conexión, los metales utilizados reciben el nombre de electrodos, uno positivo (ánodo) y otro negativo (cátodo).
- **Controlador de carga PWM:** es un dispositivo que administra la energía de un sistema de generación, entre sus principales funciones mencionamos, evitar la sobrecarga de la batería, evitar que la sobre descarga de la

batería, evitar que la energía almacenada en la batería retorne al sistema de generación. La tensión generada por el motor DC es un voltaje mayor a 12 V, esto debido a la velocidad de rotación, dicho de otra manera, mientras se incrementa la RPM, aumentará el valor de tensión.

Figura 34. **Regulador de carga solar PWM**



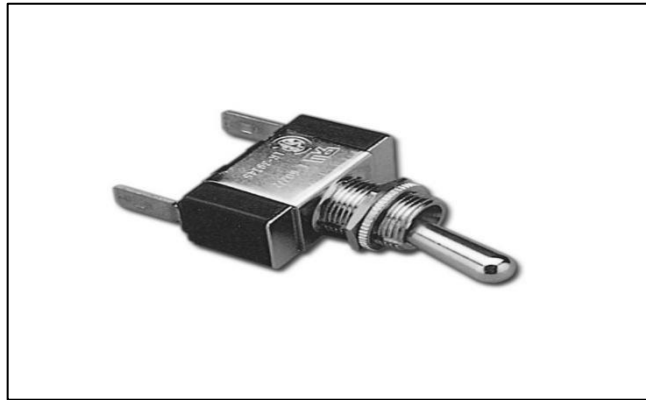
Fuente: Noticias de la ciencia. *El importante regulador de carga para los paneles solares.*  
<https://noticiasdela ciencia.com/art/35909/el-importante-regulador-de-carga-para-los-paneles-solares>. Consulta 28 de marzo de 2020.

- Inversor de voltaje: su función es transformar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje igual de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia requerida por el usuario.

Los inversores se emplean en una inmensidad de aplicaciones, iniciando con aparatos electrónicos domésticos, hasta aplicaciones como motores eléctricos, equipos industriales, entre otros, con el objetivo de controlar alta potencia. Los inversores de igual forma se usan para transformar la corriente continua generada en sistemas solares fotovoltaicos, en corriente alterna y de esta manera poder ser conectados a la red de distribución eléctrica o utilizados en instalaciones aisladas de la red eléctrica.

- Interruptor: un interruptor es el dispositivo encargado de interrumpir el paso de corriente eléctrica hacia un determinado punto del circuito eléctrico.

Figura 35. **Interruptor universal**



Fuente: Spaciobiker. *Interruptor universal toggle 6-12 voltios.*

<https://www.spaciobiker.com/es/conexiones-moto/35755-interruptor-universal-toggle-6-12-voltios.html>. Consulta 28 de marzo 2020.





## 4. FACTORES POR TENER EN CUENTA EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA AISLADO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

### 4.1. Problemática energética para los usuarios aislados

Según informes del Ministerio de Energía y Minas, la cobertura de electrificación nacional en Guatemala para 2020 fue de 88,90 %, pero el resto todavía no tienen acceso al servicio de energía eléctrica, sin embargo, se espera que en un futuro se logre llegar a la meta del 100 %.<sup>31</sup>

De acuerdo con informes del Censo Nacional 2018, en Guatemala existen aún hogares que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, un aproximado de 287,438 viviendas, siendo Alta Verapaz el departamento de mayor concentración con un 35,39 %, seguidamente Chiquimula, Baja Verapaz, Petén, Izabal, Quiché, entre otros.<sup>32</sup>

Las poblaciones aisladas que no tienen electricidad actualmente son comunidades que quizás tampoco tienen agua potable, carreteras, de tal manera que para realizar estos proyectos hay que pensarlo en forma global, por ejemplo, si en una comunidad se construye una mini hidroeléctrica, que en la fase de la construcción de esta se vayan haciendo los caminos, arreglando el acceso hacia la comunidad, planificar también el bombeo para agua, mejores servicios de salud y de educación.

---

<sup>31</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Informe General 2020 Ministerio de Energía y Minas*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>. Consulta: 30 de marzo de 2020.

<sup>32</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Plan de expansión del sistema de generación y transporte 2020-2034*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/01/Plan%20de%20Expansio%CC%81n%20del%20Sistema%20de%20Generacio%CC%81n%20y%20Transporte%202020-2034.pdf>. Consulta: 30 de marzo de 2020.

Un ejemplo exitoso es la mini hidroeléctrica de la aldea Chel de San Gaspar Chajul, Quiché. Es un proyecto comunitario que genera electricidad a bajo costo y suministra energía eléctrica a tres aldeas con 440 familias.

Este proyecto se empezó a mediados de la década de 1990, posteriormente se instaló en 2004, claro ejemplo de cómo antes las carreteras solo llegaban hasta la finca La Joya por Chajul (Quiché), tiempo después de haber instalado la planta de generación las viviendas ya tienen agua potable y accesos a la comunidad.

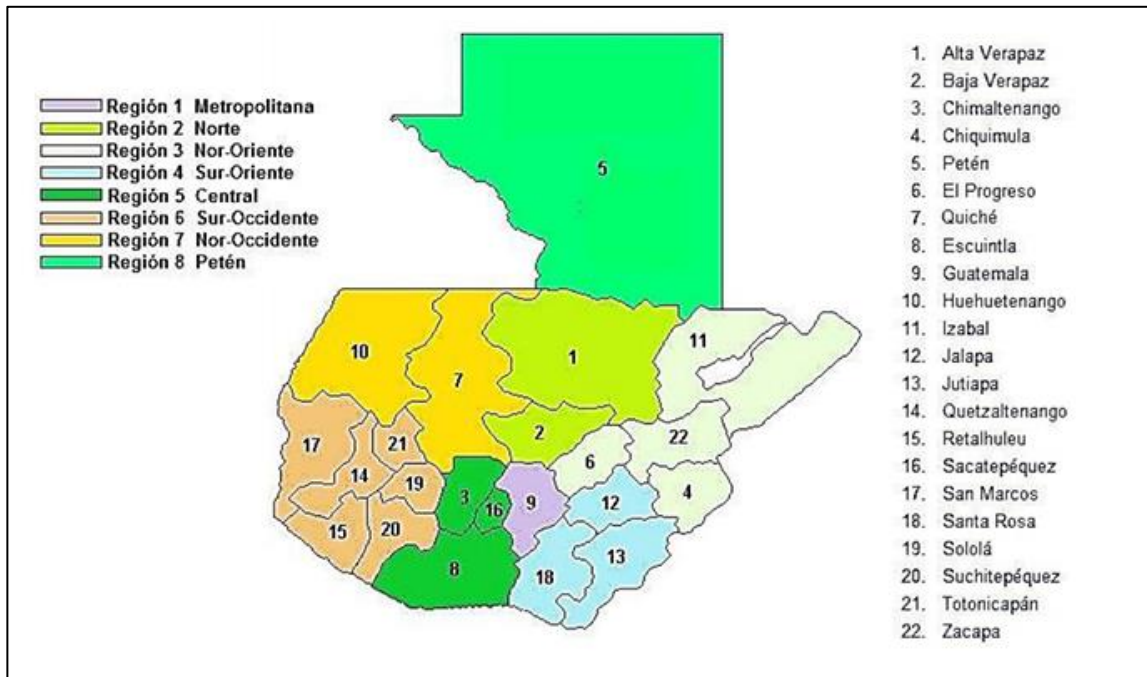
Dependerá mucho de cómo esté la conformación de la comunidad. Si son viviendas con mucha distancia entre una y otra, con baja densidad, de preferencia implementar un sistema domiciliario.

Si hay otra comunidad con una alta concentración de viviendas podría ser conveniente un sistema de generación comunitario, pero también dependerá de cómo esté la comunidad, cuál es la relación que existe entre ellos, cómo trabajarían en equipo y la respectiva organización para pagar una tarifa conjunta de mantenimiento, entre otros.

En Guatemala contamos con muchos recursos naturales, tanto renovables, como no renovables, es un país rico en recursos y es de mucha importancia que los guatemaltecos valoren estos recursos, de tal forma que puedan aprovecharlo de la mejor manera.

Guatemala se divide en ocho regiones en total. Cada una de ellas se diferencia una respecto a la otra, de acuerdo con su posición territorial, cultura, el clima y los recursos naturales que cada una posee.

Figura 36. **Regiones de Guatemala**



Fuente: KWEI, Ivon. *Las 8 regiones de Guatemala*.

<https://aprende.guatemala.com/historia/geografia/regiones-de-guatemala/>. Consulta: 1 de abril de 2020.

La región metropolitana lo conforma solamente el departamento de Guatemala. Con un clima comúnmente templado, posee 17 municipios y predominan los idiomas, español, kaqchikel, entre otros.

En la región norte se localizan los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz, posee un clima lluvioso, se destaca por su diversidad de bosques húmedos, predomina el idioma español, q'eqchi', pocomchi, y otros.

En la región nororiente se localizan los departamentos de Izabal, Chiquimula, Zacapa y El Progreso.

Esta región sobresale por ser semiárida en el que se encuentran bosques de gran tamaño, selvas tropicales lluviosas. Se compone de cultura garífuna, mestiza y ladina.

En la región suroriente se localizan los departamentos de Jutiapa, Jalapa y Santa Rosa. Se localizan en zonas semiáridas, posee playas de arena negra debido al origen volcánico que existe en esta región, además dispone de bosques tropicales.

En la región central se localizan los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Escuintla.

Elas contienen gran parte de la región volcánica del país, es una de las regiones más productivas con puertos marítimos, hoteles y refugios naturales.

En la región suroccidente se localizan los siguientes departamentos: Totonicapán, Sololá, San Marcos, Retalhuleu, Quetzaltenango y Suchitepéquez. Según su orografía tiene altas montañas verdes, tierra apta para cultivos, además en ella se encuentran los volcanes más altos de Centroamérica.

En la región noroccidente se localizan los departamentos de Huehuetenango y Quiché. Es una región sobresaliente por el sector turístico.

La región de Petén lo forma solamente el departamento del Petén, es el departamento con mayor extensión territorial y posee grandes patrimonios de cultura maya clásica. Las comunidades aisladas de la red eléctrica o que no cuentan con servicio de energía eléctrica dentro del territorio nacional, serán beneficiadas con la implementación de sistemas de generación eléctrica utilizando energías renovables. Por tal motivo se desarrolla un proyecto de un sistema de generación híbrido, utilizando energías renovables, en el departamento de Guatemala.

El departamento se localiza en la región Metropolitana del país, siendo su cabecera departamental La ciudad de Guatemala, que se encuentra a una altura de 1 500 (msnm), tiene con una extensión territorial de 2 253 Km<sup>2</sup>, latitud 14° 38' 29" y longitud 90° 30' 47".

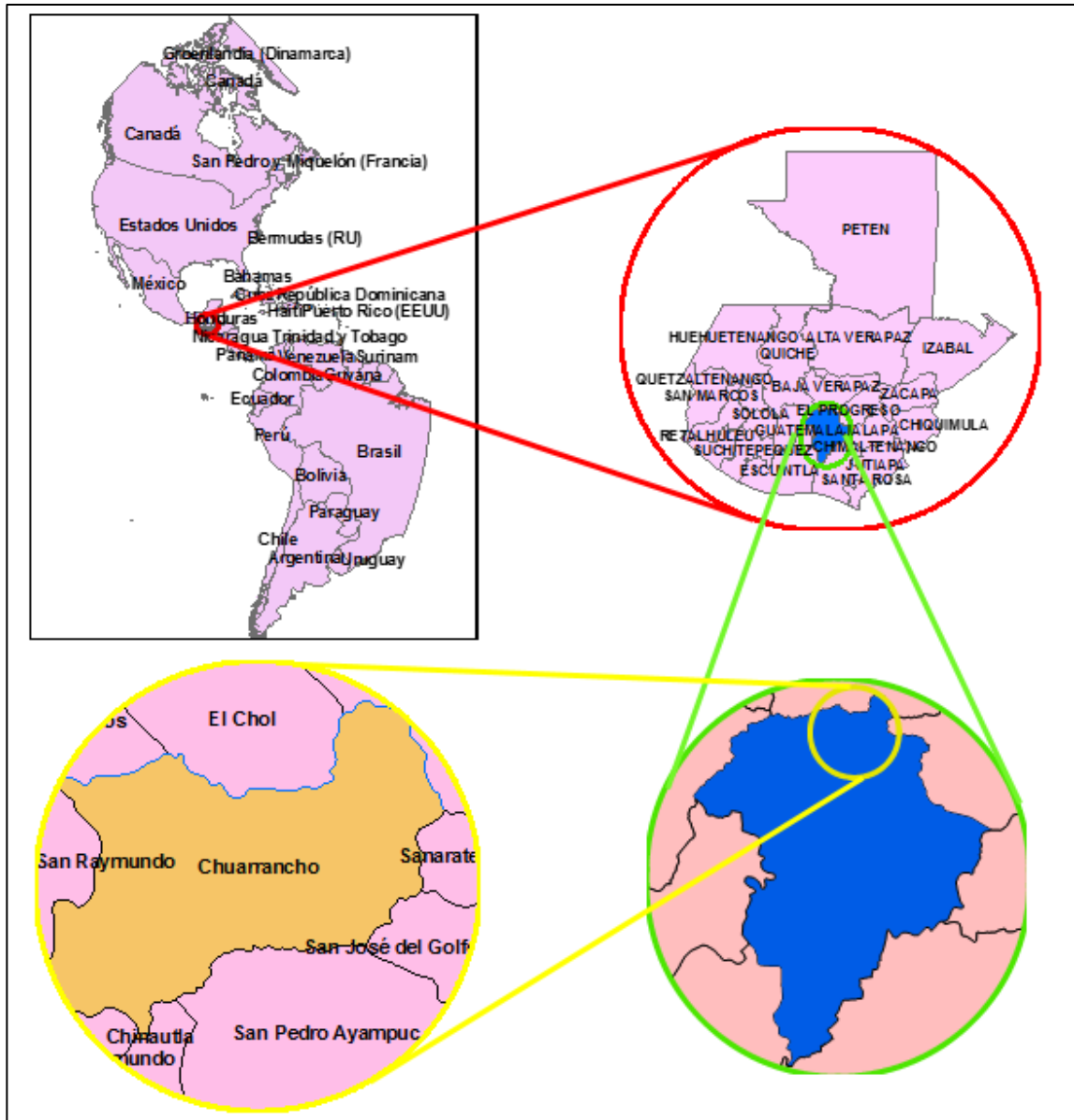
Sus límites departamentales son: al norte con Baja Verapaz, al sur con Escuintla, en dirección este con los siguientes: El Progreso, Jalapa y Santa Rosa; por último, en dirección oeste Sacatepéquez juntamente con Chimaltenango.

Su población es aproximadamente de 3 015 081 habitantes según datos del Censo Nacional de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística, cuenta con 17 municipios lo cual hace que sea el departamento con mayor población en el país.<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> Instituto Nacional de Estadística. *Población total por pueblos, cuadro A5*. <https://www.censopoblacion.gt/explorador>. Consulta: 5 de abril de 2020.

Figura 37. **Mapa del municipio de Chuarrancho, Guatemala en el globo terrestre**



Fuente: elaboración propia, utilizando ArcMap 10.3.

Los municipios que conforman el departamento de Guatemala, mencionamos los siguientes: Guatemala, Amatitlán, Chinautla, Chuarrancho, Fraijanes, Mixco, Palencia, Petapa, San José del Golfo, San Juan Sacatepéquez, San Pedro Ayampuc, San Pedro Sacatepéquez, San Raymundo, Santa Catarina Pinula, Villa Canales y Villa Nueva.

Guatemala cuenta con 340 municipios, de los cuales aún existen personas que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, en general son comunidades rurales o aisladas; como es el caso del caserío El Espinal del municipio de Chuarrancho.

El municipio de Chuarrancho se ubica en la parte norte del departamento de Guatemala, de acuerdo con la figura 29 corresponde a la Región Metropolitana. Se ubica en la latitud 14° 49' 08" y en la longitud 90° 30' 43".

Dispone de una extensión territorial de 105 kilómetros cuadrados. Topográficamente el terreno del municipio presenta alturas en donde la elevación y las pendientes hacen que sea de difícil acceso. Su altura sobre el nivel del mar es de 1,350 metros, el clima es templado.<sup>34</sup>

Sus límites son: al Norte con el municipio de El Chol y Salamá del departamento de Baja Verapaz.

Al Sur con el municipio de San Pedro Ayampuc y Chinautla del departamento de Guatemala; al Este con el municipio de San José del Golfo del departamento de Guatemala y al Oeste con el municipio de San Raymundo del departamento de Guatemala.<sup>35</sup>

El municipio de Chuarrancho cuenta con una población de 12 638 habitantes aproximadamente según datos del Instituto Nacional de estadista.<sup>36</sup>

El desarrollo de este proyecto de investigación está constituido por la respectiva planificación y el diseño de un sistema de generación híbrido, utilizando energías renovables para proporcionar energía eléctrica al caserío El Espinal que pertenece a Chuarrancho, del departamento de Guatemala.

---

<sup>34</sup> Chuarrancho, Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de; Presidencia, Secretaría de Planificación y Programación de la; Territorial, Dirección de Planificación. *Plan de desarrollo Chuarrancho Guatemala*. p. 10.

<sup>35</sup> *Ibid.* p. 10.

<sup>36</sup> Instituto Nacional de Estadística. *Población total por pueblos, cuadro A5*. <https://www.censo.poblacion.gt/explorador>. Consulta: 5 de abril de 2020.

Figura 38. **Croquis del municipio de Chuarrancho, caserío El Espinal**



Fuente: CAMACHO NASSAR, Carlos. *Bases para la gobernanza territorial en las tierras comunales de la comunidad indígena de Chuarrancho*. p. 19.

El caserío El Espinal no cuenta con el servicio de energía eléctrica, por los siguientes motivos, primeramente por la gran distancia que existe entre la comunidad y la red de distribución eléctrica lo cual implica un elevado costo para su transporte, la falta de apoyo por parte de las autoridades, la falta de infraestructura, por la alta dispersión de las viviendas, el difícil acceso al caserío, por último la baja capacidad de pago del servicio eléctrico por parte de la población, considerando que las personas son de escasos recursos económicos.

El Espinal se localiza a 6,4 Km de la carretera principal que comunica con la cabecera municipal de Chuarrancho, la carretera que comunica al caserío con la carretera principal del municipio es de terracería.



#### **4.1.1. Población**

El Espinal tiene una población de 68 habitantes, más o menos unos 20 hombres y 18 mujeres, en edad adulta; el resto de la población lo integran tanto niños como jóvenes. Las familias del caserío generalmente están constituidas de 3 a 4 integrantes aproximadamente.

#### **4.1.2. Infraestructura**

Cuentan con una escuela provista que tiene un salón grande, una pequeña cocina y un sanitario, debido a que la escuela está en construcción.

La comunidad posee agua entubada no clorada, la cual se distribuye por caída de presión por un nacimiento de agua localizado cerca de la entrada del caserío; además no disponen de sistemas de drenaje, sino que cada vivienda tiene su propio sanitario, utilizando pozos negros o llamados también pozos ciegos.

Las viviendas están ubicadas en forma dispersa, esto quiere decir que están alejadas una respecto a la otra, a causa de que es una región montañosa donde está ubicado el caserío. Las viviendas están construidas con materiales como block, adobe, madera, ladrillo, caña, láminas o tejado de arcilla; de igual forma la mayoría tienen pisos de tierra y algunas viviendas tienen piso de cemento.

Figura 39. **Fotografías del caserío El Espinal: escuela provista (izquierda), escuela en construcción (derecha) y tipo de vivienda (centro)**



Fuente: elaboración propia, cámara Nikon COOLPIX S9900 tomadas en el caserío El Espinal, Chuarrancho.

#### **4.1.3. Clima y temperatura**

En Guatemala solo se presentan dos estaciones durante el año: el verano que corresponde a los meses de noviembre hasta abril y el invierno que corresponde a los meses de mayo a octubre.

El clima de la cabecera municipal es templado, en otros lados en dirección hacia el municipio de Baja Verapaz es cálido siendo la parte más baja y otras que se cuenta con el clima frío.

Según datos del Plan de Desarrollo Chuarrancho Guatemala el régimen de lluvias se diferencia por presentar precipitaciones que cada año oscilan en el centro del municipio de 800 hasta 899 mm de lluvia que caen en el territorio y en la zona nororiente se registra una precipitación menor que va desde los 500 hasta 599 mm de lluvia.<sup>37</sup>

El periodo de menor pluviosidad en otras palabras la época seca lo comprende los meses de noviembre hasta abril. La época lluviosa comienza en el mes de mayo y finaliza en octubre.

Conforme al historial de datos meteorológicos por parte del Insivumeh respecto a la estación más próxima, localizada en San Pedro Ayampuc tiene una temperatura máxima promedio de 27,8 °C y una temperatura mínima promedio de 15,0 °C, rara vez baja a menos de 11 °C o sube a más de 29 °C<sup>38</sup>.

Además, presenta las temperaturas más bajas durante noviembre a enero y las más altas en de febrero a abril.

#### **4.1.4. Profesiones u oficios**

Para el sostenimiento económico familiar según las costumbres propias del caserío, el padre de familia es el que se dedica a trabajar fuera del hogar. Por otra parte, la madre es la encargada de realizar las actividades domésticas y el cuidado de sus hijos.

---

<sup>37</sup> Chuarrancho, Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de; Presidencia, Secretaría de Planificación y Programación de la; Territorial, Dirección de Planificación. *Plan de desarrollo Chuarrancho Guatemala*. p. 39.

<sup>38</sup> Insivumeh. *Normales climáticas*. <http://historico.insivumeh.gob.gt/normas-climaticas/>. Consulta: 8 de abril de 2020.

Agricultores: aproximadamente el 65 % de la población activa se dedica a la agricultura, ya sea en su tierra o en tierras ajenas; ellos cultivan verduras que produce la tierra conforme a la topografía del terreno, la humedad del suelo, la época y el clima; entre los productos que cultivan podemos mencionar, maíz, frijol, maicillo, tomate, café, berro, güisquil, loroco, tamarindo, rosa de Jamaica, entre otros.

Pastor ganadero: en segundo lugar está la ganadería, las personas laboran cuidando animales bovinos de otras personas que no viven en el caserío.

Artesanos: algunas personas se dedican a elaborar productos de barro, entre ellos están, los comales y alcántaras.

Ayudantes de albañilería: un pequeño grupo de personas se dedican a trabajar como ayudantes de albañil, trabajando en proyectos de salud o educación y otros en casas particulares en el centro del municipio.

Profesiones: en lo que corresponde a personas profesionales, el caserío no cuenta con profesionales, esto se debe a la falta de recursos económicos, falta de educación, falta de apoyo emocional, social y falta de oportunidades.

#### **4.1.5. Educación**

El Espinal cuenta con una escuela por parte del Ministerio de Educación, la cual se llama “Escuela Oficial Rural Mixta Caserío El espinal”. Se imparten clases de primero hasta sexto primario, aunque disponen únicamente de un maestro, el cual es contratado por el Ministerio de Educación. En 2019 se inscribieron 7 niños, los cuales 2 están en primero primaria, 2 en segundo primaria, 1 en cuarto

primaria y 2 en quinto primaria. El nombre el profesor a cargo de impartir las clases es Gilberto Manolo Figueroa Salazar.

#### **4.1.6. Organización**

El caserío El Espinal está conformado por su respectivo Consejo Comunitario de Desarrollo Urbano y Rural, entre los que mencionamos: Santos Adolfo Tocay, presidente; Eulogio Bix, vicepresidente; Eusebio Xuya, secretario; Rigoberto Bix, vocal 1ero; Victoriano Bix, vocal 2do; Ebaristo Boch, vocal 3ro.

#### **4.2. Las energías renovables y su impacto en el desarrollo de Guatemala**

A nivel mundial la generación de energía eléctrica va enfocada al uso de los recursos renovables. De tal manera que Guatemala debe estar inmersa en este cambio, de acuerdo a los estudios el potencial renovable que cuenta es enorme, se estima que en la actualidad se cuenta alrededor de 9 000 MW distribuido en energía hídrica, vapor de la tierra, viento, sol y biomasa, sin embargo, únicamente del total se está utilizando cerca del 23 %.

También respecto al enorme potencial de Guatemala, la generación de energía eléctrica utilizando fuentes renovables ofrece muchos beneficios tanto al ambiente como a la economía, por ejemplo, mantener el precio de la energía eléctrica a un nivel competitivo y brindando estabilidad en la tarifa al usuario final a largo plazo. Logrando de esta manera una mayor independencia de los combustibles fósiles, de tal forma que se reduzca su utilidad en la generación de energía eléctrica.

La implementación de proyectos de generación de energía eléctrica empleando fuentes de energías renovables, primeramente, para su ejecución requiere un

financiamiento, además generan fuentes de trabajo y lo más importante el desarrollo rural a las poblaciones cercanas al proyecto, ayudando al desarrollo sostenible de las áreas más empobrecidas del país. Por estos motivos se debe a que el sector eléctrico es esencial para el desarrollo de cualquier otra actividad económica. Guatemala tiene como objetivo en la matriz energética que, para el año 2025 el 80 % de la energía eléctrica que se genere provenga de energías renovables, establecido en su Política Energética 2014- 2027.<sup>39</sup>

Guatemala es un país que posee una importante cantidad de recursos renovables para la generación de energía eléctrica, sin embargo, actualmente su aprovechamiento ha sido muy poco, por ejemplo, las hidroeléctricas las cuales representan al recurso más copioso en el país, a causa de la cantidad de ríos, su excelente orografía para la implementación de pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas; seguidamente la geotérmica, solar, eólica juntamente con la biomasa.

Según informes del Ministerio de Energía y Minas en el mes de septiembre de 2020 presenta un listado de las centrales hidroeléctricas mayores a 5 MW en Guatemala, de las cuales 36 están en operación, 9 en proceso de construcción, 13 que no han empezado su construcción y 6 se encuentran en procesos de trámites para autorización, para un total de 64 centrales hidroeléctricas, se espera que puedan generar en total 2 310,13 MW.<sup>40</sup>

De igual forma de acuerdo con informes del Ministerio de Energía y Minas en el mes de septiembre de 2020 presenta un listado de las centrales hidroeléctricas menores o iguales a 5 MW en Guatemala, de los cuales 49 están en operación, 28 pendientes para entrar en operación, para un total de 77 y se espera que en conjunto generen 161,34 MW.<sup>41</sup>

---

<sup>39</sup> Asociación de Generadores con Energía Renovable. *las energías renovables y su impacto en el desarrollo de Guatemala*. <https://ager.org.gt/las-energias-renovables-y-su-impacto-en-el-desarrollo-de-guatemala/>. Consulta: 12 de abril de 2020.

<sup>40</sup> Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. *Autorizaciones de Centrales Hidroeléctricas Otorgadas y en Trámite*. [https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/1.\\_-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Mayores-a-5-MW.pdf](https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/1._-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Mayores-a-5-MW.pdf). Consulta: 15 de abril de 2020.

<sup>41</sup> Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. *Registro de Centrales Hidroeléctricas Menores o Iguales a 5 MW, Vigentes y en Trámite*. [https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/2.\\_-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Menores-o-Iguales-a-5-MW.pdf](https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/2._-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Menores-o-Iguales-a-5-MW.pdf). Consulta: 15 de abril de 2020.

Esto da a entender que Guatemala es un país apto para la generación de energía eléctrica utilizando energías renovables, siendo la energía hidroeléctrica la que mayor concentración presenta respecto a la matriz energética total.

### **4.3. Perfil energético de Guatemala**

Con la finalidad de afrontar los desafíos de seguridad energética en el desarrollo energético sostenible de Guatemala, el Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología (Incyt), realizaron el perfil energético de Guatemala (Pegua), para su respectiva elaboración utilizaron la recopilación de información de fuentes primarias del sector energético de Guatemala, para su análisis establecieron el periodo de 2001 a 2016, reportes estadísticos anuales del MEM, CNEE, AMM; de tal forma que se muestra el análisis juntamente con la interpretación del estado actual e histórico de la energía en Guatemala.

Cuando se refiere al perfil energético de Guatemala, estamos indicando el análisis del estado actual de la materia en el país. Para este análisis es importante utilizar datos estadísticos anuales e indicadores del desempeño ambiental respecto al sector energético, con el objetivo de proporcionar a los representantes del sector tanto académico, público como privado, una herramienta que permita apoyar la realización de políticas públicas, de tal forma que fomenten la sostenibilidad energética en sus tres aspectos (social, económico y ambiental). De igual forma impulsar el acceso a la energía limpia, de manera eficiente como sustentable, representado así a uno de los ejes fundamentales del desarrollo sostenible.

Como resultado del análisis de la información de Pegua, se puede mencionar algunos resultados sobresalientes tales como, el consumo energético de Guatemala en 2001 a 2016 ha aumentado un 38 %; el consumo per cápita es mucho mayor que la producción per cápita, lo que representa a Guatemala como un país importador de energía; además el consumo del producto interno bruto (PIB) ha presentado una ligera disminución, esto indica que las actividades productivas no son aptos para un desarrollo industrial en el país.<sup>42</sup>

Guatemala cuenta con 7 contratos petroleros, que en su mayor parte se exporta a otros países, la producción petrolera del país en los últimos años ha presentado una baja. Esto se debe a que en Guatemala no existen los equipos para destilar hidrocarburos (diésel y gasolina), la falta de interés e inversión en proyectos petroleros, juntamente con la utilización del carbón a gran escala para

---

<sup>42</sup> Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad. *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. p. 15.

la generación de energía eléctrica, han transformado a Guatemala en un importador neto de combustibles fósiles.

A pesar de ello en Guatemala existen depósitos con gran capacidad que almacenan carbón y gas natural, pero debido a que no existe el avance tecnológico apto para aprovechar de manera eficiente este recurso, se exporta a otros países.

El análisis de sostenibilidad ambiental proporciona una línea de varios indicadores de impacto ambiental que se utilizan para evaluar el desempeño de los sistemas energéticos. Estos permiten trazarse objetivos para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y con ello ayudar al cambio climático.

Aunque existe un gran potencial en Guatemala para aprovechar fuentes energéticas renovables (eólica, solar, biomasa, geotermia e hidráulica), el gobierno muestra una falta de interés, no le presta atención a la inversión de proyectos empleando energías renovables.

#### **4.3.1. Panorama energético en Guatemala**

En la República de Guatemala, las instituciones que se encargan tanto de regular como gestionar los recursos energéticos son el Ministerio de Energía y Minas (MEM) juntamente con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

En lo que corresponde al sector tanto energético como minero, el MEM es la institución rectora que se encarga de fomentar el aprovechamiento de los recursos naturales en el país, dicho de otra manera, está conformado por dos sub sectores, el eléctrico y el de hidrocarburos.

El subsector eléctrico de Guatemala está regulado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), juntamente con el Administrador del Mercado Mayorista (AMM). Por su parte el MARN es la institución que se encarga tanto de la gestión ambiental como de promover el desarrollo de los recursos naturales del país.

Se entiende como energía primaria, la que se obtiene de forma directa de las fuentes naturales, sin sufrir ningún tipo de transformación; mencionamos como ejemplo, la energía solar, eólica, hidráulica y leña, del mismo modo la que se obtiene posterior



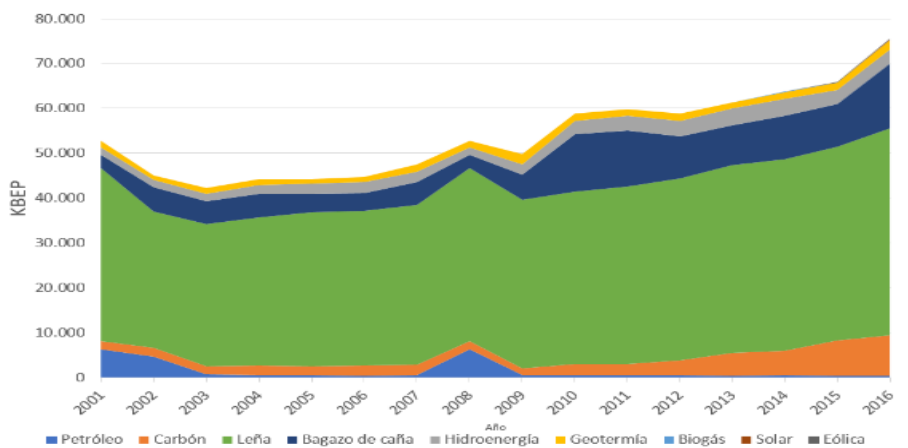
a un proceso de extracción, por ejemplo, carbón mineral, petróleo, geotermia, de otros. De igual forma la que se obtiene posterior a un proceso de extracción mencionamos el carbón mineral, petróleo, entre otros.

En la figura 40 se muestra el panorama del suministro de energía primaria en Guatemala, de 2001 a 2016 en valores de barriles equivalentes de petróleo, en el gráfico se muestra que la leña representa a la fuente energética principal en el país.

Además, se observa que el suministro de petróleo, es muy bajo, a causa de que más del 80 % se exporta a otros países. Respecto al petróleo, la mayoría que se queda en el territorio nacional se aprovecha para la fabricación de asfalto. El suministro de carbón en el territorio nacional se importa en su totalidad y presenta un aumento durante los últimos cinco años.

Otras fuentes energéticas como el biogás, la energía solar y la eólica se comenzaron a aprovechar a partir de 2013, pero su suministro es tan bajo que no se logra visualizar en la figura 40. Añadiendo a todo lo anterior, se observa que de 2012 a 2015, el suministro de energía primaria aumentó un promedio del 3, 5 %.<sup>43</sup>

Figura 40. **Suministro de energía primaria (KBEP) en Guatemala del 2001-2016**



Fuente: Incyt URL (Instituto de investigación y Proyección sobre ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar). *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>. Consulta: 8 de mayo de 2020.

<sup>43</sup> Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad. *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. p. 46.

En 2015 al 2016, el aumento fue de un 15 % por causa del mayor uso de carbón y bagazo de caña como fuentes energéticas para generación de energía eléctrica. A nivel general el aumento en el suministro de energía primaria desde 2001 a 2016 representó un 43 %.

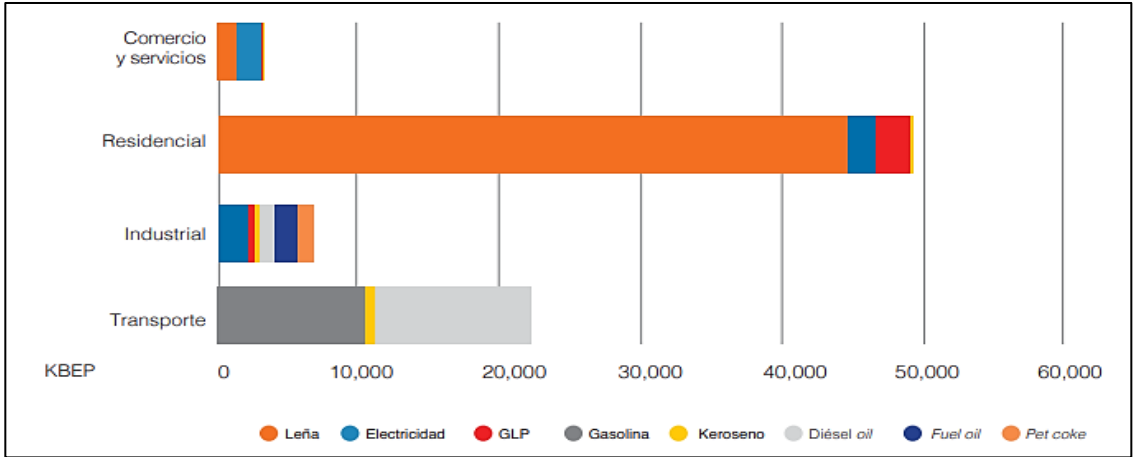
La demanda energética de acuerdo con la graficas que se observan en el perfil energético de Guatemala, respecto a cada sector referente a la figura 41, el cual representa el consumo de combustible en valores de barriles equivalente de petróleo respecto de 2016, en dicha figura se puede observar que el sector residencial es el que tiene la mayor demanda energética en el país, también observamos que el sector transporte ocupa un segundo lugar. El tercer lugar lo ocupa el sector industrial, por último, los sectores de comercios y servicios, los cuales representan una baja demanda. Esto se puede determinar como un bajo desarrollo industrial, considerando que la energía es utilizada en su mayoría para satisfacer las necesidades domésticas.<sup>44</sup>

De igual forma se puede notar que el sector residencial satisface más sus necesidades energéticas con leña, además en una proporción menor tanto con electricidad como gas licuado de petróleo. El sector transporte tiene una mayor demanda tanto de gasolina como diésel, una pequeña porción de keroseno. Mientras que el sector industria juntamente con el sector de comercios y servicios usan fuentes energéticas variadas.

---

<sup>44</sup> Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad. *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. p. 49.

Figura 41. **Consumo de combustible por sector (KBEP) en Guatemala a lo largo del año 2016**



Fuente: Incyt URL (Instituto de investigación y Proyección sobre ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar). *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>. Consulta: 9 de mayo de 2020.

El rendimiento energético ha sido establecido como un índice de la productividad económica de la energía, de tal manera que se necesita de indicadores de rendimiento energético para relacionar la utilización de la energía por parte de la sociedad y la economía del país.

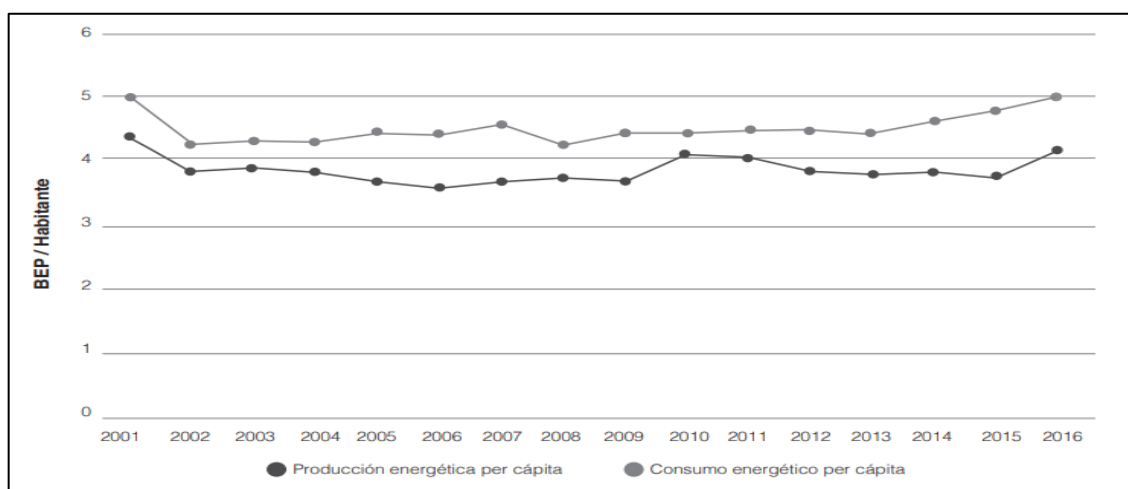
El primer indicador es la producción y consumo energético per cápita, tiene la función de medir el nivel de aprovechamiento de la energía por parte de la población. De acuerdo con este indicador se comprueba que la población guatemalteca es un importador neto de energía, a causa de que el consumo energético por habitante es superior que la producción, esto se debe principalmente a la dependencia de los combustibles fósiles que deben ser importados tanto para el sector de la industria, comercio y transporte. En promedio la producción energética per cápita es de 3,87 barriles equivalentes de petróleo por habitante (BEP/hab), en cambio que el consumo energético per cápita es de 4,51 BEP/hab.

El segundo indicador corresponde a la utilización energética por unidad de producto interno bruto (PIB), se conoce también como intensidad energética, el cual se utiliza para medir la cantidad de energía que se emplea para aumentar el crecimiento

económico. Un decrecimiento en el índice representa un incremento en la eficiencia energética, lo cual se conoce como un desacoplamiento. En 2001 a 2016 la intensidad energética ha tenido un decrecimiento muy leve.<sup>45</sup>

En la siguiente figura se puede observar ese pequeño decrecimiento de la intensidad energética.

Figura 42. **Producción y consumo energético per cápita (BEP/hab) para el país de Guatemala a lo largo del periodo 2001-2016**



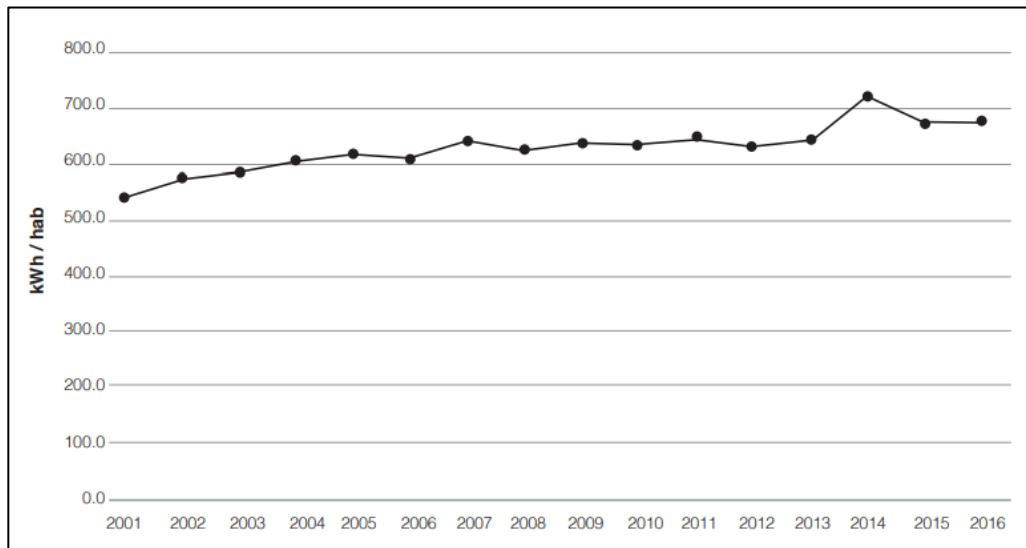
Fuente: Incyt URL (Instituto de investigación y Proyección sobre ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar). *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>. Consulta: 10 de mayo de 2020.

El tercer indicador corresponde al consumo de electricidad por habitante, este proporciona una medida relativa tanto del desarrollo como de la calidad de vida, debido a que un aumento puede interpretarse como mejor acceso a servicios y productos que la electricidad provee. En la figura 43 se observa que a lo largo de

<sup>45</sup> Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad. *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. p. 50.

los años 2001 al 2016 el consumo de electricidad por habitante se aumentó, hasta alcanzar los 675 kWh por habitante en el año 2016.<sup>46</sup>

Figura 43. **Consumo de electricidad por habitante (kWh/hab) en Guatemala para los años del 2001 al 2016**



Fuente: Incyt URL (Instituto de investigación y Proyección sobre ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar). *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>. Consulta: 10 de mayo de 2020

En Guatemala, El Sistema Nacional Interconectado (SNI) representa al grupo de instalaciones, centrales generadoras, las líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, entre otros; que generan, transmiten y distribuyen la energía eléctrica que se produce en el país.

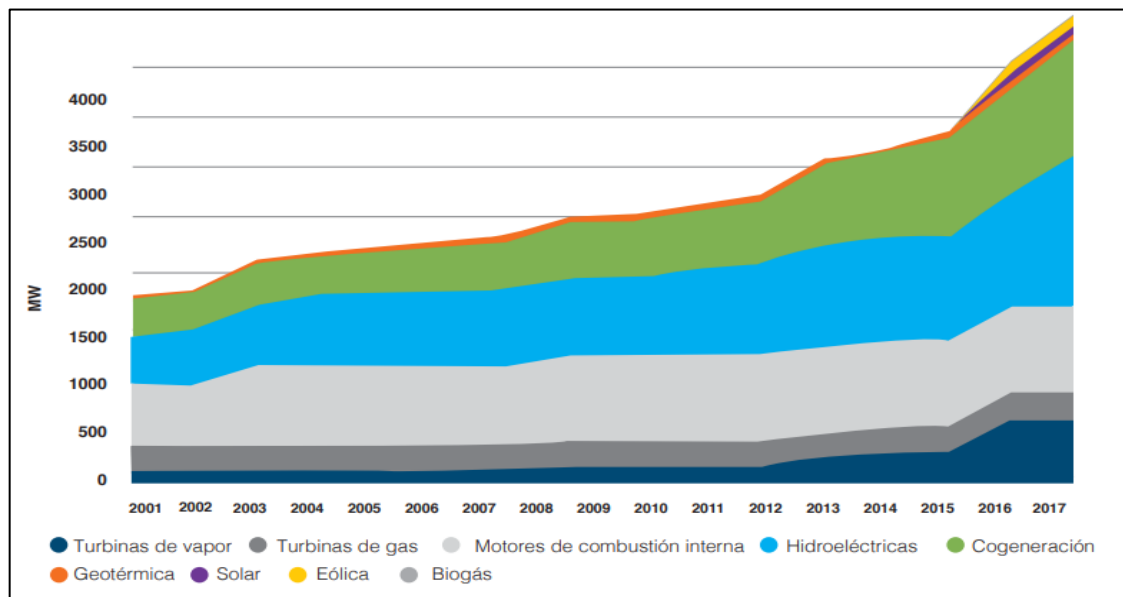
Respecto al año 2016, conforme al perfil energético de Guatemala, la potencia instalada logró los 4 122 MW. Además, las turbinas de gas y los motores reciprocantes permanecieron constantes. Aunque con el inicio de operaciones de Jaguar Energy en el año 2015, se aportaron 300 MW complementarios en la potencia instalada de turbinas de vapor (calderas).<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad. *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. p. 52.

<sup>47</sup> *Ibíd.* p. 58.

Con lo descrito anteriormente, la potencia instalada para combustibles fósiles llegó a los 1 550 MW. Las hidroeléctricas incrementaron, mientras que los generadores eólicos, solares y con biogás iniciaron operaciones en 2014. Esto aumentó la potencia de placa de sistemas renovables a un 62 % en 2016. En la siguiente figura se muestra cómo ha ido evolucionado la potencia instalada a partir de 2001 a 2017.

Figura 44. **Gráfico de la potencia instalada de placa en MW para la generación de energía eléctrica en Guatemala a partir de 2001 hasta 2017**



Fuente: Incyt URL (Instituto de investigación y Proyección sobre ciencia y Tecnología de la Universidad Rafael Landívar). *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-Energetico-de-Guatemala.pdf>. Consulta: 11 de mayo de 2020.

#### **4.3.2. Recursos energéticos renovables**

Tal y como se explicó en el capítulo 1, son aquellas que se obtienen por medio de fuentes naturales e inagotables a escala humana, de tal forma que los servicios que se obtienen a partir de ellas se consideran como herramientas utilizadas para el desarrollo sostenible, debido a que se regeneran a través de medios naturales.

De igual forma contribuyen a disminuir los efectos del cambio climático, debido a que no producen gases de efecto invernadero. Guatemala es considerada como un país con demasiada vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático.

La implementación de sistemas de generación de energía eléctrica utilizando fuentes de energía renovable disminuye la necesidad de continuar con el uso de fuentes de energía que son ineficientes, tales como la leña. En el área económica, impulsa la creación de empleo, motivando así a que las microempresas locales generen nuevos servicios. Además, facilita el acceso a servicios tales como la iluminación, educación, salud, agua potable, entre otros.

En Guatemala las fuentes de energía renovable que más se utilizan son, la energía solar, biomasa, eólica, hidráulica y geotérmica, los cuales se presentan continuación.

El potencial de biomasa en Guatemala, de forma forestal es la leña que representa a la fuente energética primaria con mayor demanda, según lo demuestran los balances energéticos del Ministerio de Energía y Minas. Esto se debe al alto consumo doméstico en el interior del país, el acceso a otras fuentes de energía renovable es limitado. Además, la mayoría de los hogares

guatemaltecos utilizan la leña en forma ineficiente, principalmente el uso de la leña en fogones abiertos.

Según los informes de Instituto Nacional de Bosques (INAB), la población guatemalteca utiliza la leña en grandes porcentajes, específicamente en el área rural, de acuerdo con la demanda de recursos energéticos a nivel nacional muestra que la leña es la fuente que más se utiliza representado por un 57 %, la mayoría la utiliza para la cocción de alimentos y como combustible.<sup>48</sup>

Anualmente la oferta de leña representa un valor de 17,96 millones de metros cúbicos, los cuales están conformados de la siguiente manera, el 85 % corresponde a bosques naturales, el 14 % a plantaciones forestales, el 1 % únicamente a residuos industriales. También se estima que la demanda anual es de 27,98 millones de metros cúbicos, de los cuales la demanda doméstica rural representa el 85%, doméstica urbana el 13 % y la industrial el 2 %.<sup>49</sup>

En la actualidad en Guatemala se extraen la cantidad de 10,02 millones de metros cúbicos de leña, cuando mucho de lo que crece en el bosque, es por esta razón que el consumo de leña a nivel nacional no es sustentable.

Respecto de la cogeneración en Guatemala, actualmente existen 14 ingenios que cogeneran electricidad con biomasa de bagazo de caña. Para el proceso de cogeneración el bagazo de la caña es el principal combustible, este suministra tanto la energía térmica como la eléctrica para la operación de la planta, donde se procesa la caña y esta a su vez vuelve a proveer de bagazo.

Luego de que el bagazo de caña sale de los molinos al habersele extraído el jugo para el proceso de fabricación de azúcar, este se traslada por medio de bandas conductoras, que son transportadas hacia las calderas para que el mismo con una mezcla con aire produzca una reacción de combustión dentro del hogar de la caldera, la energía térmica que se produce de la reacción química de la

---

<sup>48</sup> Instituto Nacional de Bosques. *Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024, Serie Institucional ES-002 (2015)*. p. 43.

<sup>49</sup> *Ibíd.* p. 43.



combustión es luego transferida al agua contenida dentro de los tubos de la caldera por convección y radiación.

Además del bagazo como combustible principal, utiliza otros combustibles alternativos como otras biomásas, biogás, carbón bituminoso, fuel oil, entre otros. La energía transferida al agua provoca que la misma cambie el estado del agua de líquido a gaseoso o vapor, el cual es llevado a condiciones de temperatura, por consiguiente, la presión específica se utiliza como fuerza motriz de las turbinas de vapor provocando a su vez una conversión de energía térmica de vapor en mecánica transferida al eje de la turbina, en donde se utiliza para el proceso de fabricación de azúcar y para la generación de electricidad.

“Según el informe del Ministerio de Energía y Minas a diciembre del año 2020, en la composición de la matriz energética, la generación del recurso biomasa fue de 1 717,96 GWh anuales”.<sup>50</sup>

Respecto de la producción de etanol en Guatemala, únicamente lo conforman 5 destilerías, las cuales usan como materia prima la melaza, que corresponde a un subproducto de la industria que produce azúcar. A nivel centroamericano el productor más eficiente y dominante en la industria azucarera es Guatemala.

Según datos de la Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala, el país posee una capacidad instalada de 65 millones de galones de etanol anuales, añadiendo que más del 90 % del alcohol que se produce lo exportan a países de Europa, Estados Unidos y México. Únicamente el 10% se utiliza básicamente para la industria de bebidas.<sup>51</sup>

---

<sup>50</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Informe General 2020 Ministerio de Energía y Minas*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>. Consulta: 11 de mayo de 2020.

<sup>51</sup> Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala. *Etanol conduciendo a un mundo más verde*. <http://acrguatemala.com/etanol/>. Consulta 11 de mayo de 2020.

Respecto a lo anterior Guatemala es uno de los pocos países a nivel mundial que produce etanol, pero no es utilizado en la producción de gasolina localmente, esto se debe a que no dispone de un marco legal para la elaboración de dicha mezcla en el país.

Respecto a la producción de biodiésel en Guatemala, es muy baja, por tal motivo no existe la producción a escala industrial. Uno de los motivos es que los costos de fabricación de biodiésel no son competitivos respecto a los precios del diésel, debido a lo cual, no es rentable. Solamente existen dos empresas que fabrican biodiésel a partir de aceite reciclado de frituras pero a muy pequeña escala.

Respecto a la producción de biogás, a partir de desechos orgánicos provenientes tanto en rellenos sanitarios como de industrias pecuarias en Guatemala. Las plantas industriales de producción de energía a partir de biogás en Guatemala son muy escasas, según el AMM se reporta tres plantas industriales que generan electricidad utilizando el metano que se produce en el vertedero municipal de la ciudad de Guatemala.

La primera es la planta generadora Inbio ubicado en la ciudad de Guatemala, utiliza metano y tiene una capacidad instalada de 4,24 MW; la segunda es la planta Gabiosa ubicada en la Gomera, Escuintla que genera electricidad a partir de desechos residuales de la extracción de aceite de palma africana, con una capacidad instalada de 1 MW; la última corresponde a la destilería Mag Alcoholes utilizando la vinaza para producir un aproximado de 500 000 m<sup>3</sup> de biogás.<sup>52</sup>

Se ha estimado que el potencial eólico de Guatemala es de 7 000 MW; aunque el potencial económicamente viable es más convencional: entre 400 y 700 MW. Las regiones con excelentes condiciones para la generación de energía eólica, son las regiones que presentan grupos de montañas pequeñas que se derivan de cordilleras o sierras, las cuales están ubicadas entre Escuintla y Jutiapa. La región este del departamento de Zacapa, representa otra de las regiones con mayor potencial eólico, todo lo anterior ha provocado que en Guatemala se fomente el uso de la energía que proviene del viento.

Según datos del Ministerio de Energía y Minas al mes de septiembre del año 2018, se tienen instalados 3 parques de generación con energía eólica conectados al SNI, con una capacidad de potencia efectiva instalada de 107,40 MW. El primero es parque eólico San Antonio, el cual está formado por 16 turbinas eólicas, las cuales tienen una capacidad de 3,3 MW, en total aportan una potencia de 52,8 MW; el segundo es el parque eólico Viento Blanco, el cual está formado por 7 turbinas, las cuales tienen una capacidad de 3,3 MW, en total aportan una potencia de 23,1 MW; el tercero corresponde al más reciente, que es el parque eólico Las Cumbres, el cual está formado por 15 turbinas, las cuales tienen una capacidad de 2,1 MW, en total aportan una potencia de 31,5 MW.<sup>53</sup>

---

<sup>52</sup> Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad. *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. p. 105.

<sup>53</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Energía eólica en Guatemala*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Energ%C3%ADa-E%C3%B3lica-en-Guatemala.pdf>. Consulta: 12 de mayo de 2020.

Existe un proyecto en construcción, tal es el caso del parque eólico Comapa, que tendrá una potencia total de 57,0 MW, el cual estará conformado por 19 turbinas eólicas, con una capacidad 3,0 MW. Al incorporar este proyecto en construcción, se espera que la capacidad de energía eólica aumente a 164,4 MW.

De acuerdo con el informe del Ministerio de Energía y Minas, a diciembre de 2020 la generación eólica presenta una participación en la matriz energética un total de 312,68 GWh, el cual representa el 2,81 % de la energía total generada.<sup>54</sup>

Guatemala empezó su explotación geotérmica en los años cincuenta y a principios de los sesenta, según la ley los recursos geotérmicos corresponden al Estado, además son considerados áreas de reserva natural.

Entre las áreas que poseen recursos geotérmicos mencionamos Amatitlán, Zunil, San Marcos y Moyuta.

Según datos del MEM Guatemala dispone de un potencial aprovechable de 1 000 MW, sin embargo, únicamente se está utilizando 3,927 % (39,27 MW) de la potencia efectiva instalada.<sup>55</sup>

Actualmente existen 2 centrales generadoras con una capacidad instalada total de 49,2 MW, que aprovechan el recurso geotérmico para la generación eléctrica. La primera es Planta Geotérmica Zunil 1 se ubica en el municipio de Zunil del departamento de Quetzaltenango, cuenta con 5 pozos de producción y 2 pozos de reinyección, con una capacidad instalada de 24,0 MW. La segunda es Ortitlán se localiza en el municipio de Amatitlán del departamento de Guatemala, en las faldas del volcán de Pacaya, cuenta con 5 pozos de producción juntamente con 2 pozos de reinyección, que en total dan una potencia instalada de 25, 2 MW.<sup>56</sup>

De igual forma existen otros proyectos geotérmicos futuros tales como Planta Geotérmica El Ceibillo, que tendrá una potencia de 25 MW; Cerro Blanco, que tendrá una potencia de 50 MW y el Porvenir, que tendrá una potencia de 20 MW. Al incorporar estos proyectos futuros, se espera que la capacidad de energía geotérmica incremente a 144,2 MW.

El potencial hidroeléctrico en Guatemala es de 6 000 MW de acuerdo con los informes de Ministerio de Energía y Minas, esto se debe a que es un país que posee una cantidad considerable de recursos energéticos renovables que hasta la fecha han sido aprovechados en cantidades pequeñas.

---

<sup>54</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Informe General 2020 Ministerio de Energía y Minas*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>. Consulta 2 de febrero de 2021.

<sup>55</sup> Ministerio de energía y minas. *Plan de expansión del sistema de generación y transporte 2020-2034*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/01/Plan%20de%20Expansio%CC%81n%20del%20Sistema%20de%20Generacio%CC%81n%20y%20Transporte%202020-2034.pdf>. Consulta: 12 de mayo de 2020.

<sup>56</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Energía Geotérmica*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/09/Energ%C3%ADa-Geot%C3%A9rmica.pdf>. Consulta: 13 de mayo de 2020.

La generación hidroeléctrica a diciembre de 2020, se presentó con una participación respecto a la energía total en la matriz energética de 5 816,54 GWh, lo que representa un 52,30 %, de igual forma respecto al total de la energía renovable se presentó con un valor de 69,47 %.<sup>57</sup>

Actualmente la energía hidroeléctrica conectada al SNI, dispone en total una potencia instalada efectiva de 1 491,89 MW, lo que representa el 24,86 % del potencial hidroeléctrico. La generación hidroeléctrica está conformada por 96 plantas, siendo el departamento de Alta Verapaz con mayor concentración de la potencia efectiva instalada.<sup>58</sup>

En Guatemala la primera hidroeléctrica se construyó en la finca El Zapote, ubicada al norte de la ciudad capital en 1884, con una capacidad generada para poder encender 135 lámparas.

#### **4.3.2.1. Sistemas solares térmicos**

Se entiende como energía solar, la que incide en la superficie terrestre, de tal forma que pueda ser aprovechada de varias maneras utilizando una variedad de tecnologías. Por ejemplo, en un edificio en el cual se ha implementado un sistema solar térmico, puede emplearse de dos formas, la primera utiliza el diseño estructural del edificio, de tal manera que permita regular la temperatura, alumbrar áreas o para agua caliente; la siguiente forma utiliza dispositivos ubicados en el exterior para recolectar la radiación solar y posteriormente ser utilizada en sistemas de calefacción de agua o aire.

Actualmente en Guatemala en el mercado fotovoltaico existen dos tipos de tecnologías utilizando sistemas con calentadores solares. El primer tipo son los

---

<sup>57</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Informe General 2020 Ministerio de Energía y Minas*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>. Consulta: 2 de febrero de 2021.

<sup>58</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Plan de expansión del sistema de generación y transporte 2020-2034*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/01/Plan%20de%20Expansio%CC%81n%20del%20Sistema%20de%20Generacio%CC%81n%20y%20Transporte%202020-2034.pdf>. Consulta: 12 de mayo de 2020.

calentadores presurizados, estos son utilizados a nivel residencial debido a que requieren poca presión, su instalación se realiza de manera fácil; los siguientes son los calentadores no presurizados que son utilizados a nivel industrial y en servicios. El potencial de energía solar térmica es muy bajo, pero se espera que en los próximos años pueda desarrollar un importante crecimiento en el mercado.

En Guatemala se ha determinado que a lo largo de todo el año existe bastante radiación solar para solventar las necesidades de agua caliente, representado en un 95 %. Son pocas las experiencias de hogares que han implementado la energía solar térmica, los cuales han observado una pequeña reducción en el importe de sus facturas eléctricas, más o menos el 40 %, del mismo modo la inversión realizada se recupera en un periodo menor a los 3 años.

La industria de los calentadores solares tanto para aire como para agua están bien desarrolladas, además su aplicación es bastante popular para usos residenciales.

En Guatemala, muchas empresas ofrecen el servicio de instalación de calentadores de agua. Esta popularidad radica en los beneficios económicos debido a la reducción de la factura de electricidad o del gas. Respecto al sector industrial, los sistemas de calefacción también son utilizados, tal y como se explica en el siguiente ejemplo.

Alimentos Campestres S.A. es una de las empresas guatemaltecas que utiliza energía solar para una planta de deshidratación de frutas y legumbres, utilizando los principios de convección de calor.

Esta planta se localiza en el departamento de El Progreso, una de las regiones más áridas de Guatemala, además es una de las empresas con mayor

experiencia y con una excelente trayectoria como procesador de productos alimenticios secos en general.

#### 4.3.2.2. Potencial solar en Guatemala

El potencial de energía solar de un día promedio en Guatemala ha sido estimado en 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/día, de acuerdo con informe del Ministerio de Energía y Minas, esto debido a su posicionamiento geográfico. Guatemala es un país que dispone de un excelente potencial solar, mucho mejor en comparación con aquellos países que tienen programas de aprovechamiento de energía solar de manera exitosa.<sup>59</sup>

El potencial de generación de energía solar total aún no ha sido estimado, pero se espera que en un futuro logre superar los 10 GWh.

Existen mapas de potencial solar en Guatemala, lo cuales fueron estimados por medio de modelos de energía solar desarrollados por el Laboratorio de Energía Renovable de Estados Unidos (NREL), juntamente con el proyecto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*). Estas agencias utilizaron información tanto de satélites como de modelos climáticos globales de varios años y de esta manera lograron estimar así el potencial solar para Guatemala.<sup>60</sup>

El modelo de energía solar considera variables como irradiación visible, vapor de agua, gases atmosféricos y la respectiva concentración de aerosoles en la atmosfera; de igual forma usa datos promedio de irradiación directa normal, irradiación global horizontal e irradiación difusa.

Para corroborar los datos se usaron otras estaciones meteorológicas como: La Aurora, Huehuetenango y Flores. De tal manera que, se llegó a establecer un porcentaje de error del 12 %.

---

<sup>59</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Energía solar en Guatemala*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>. Consulta: 30 de mayo de 2020.

<sup>60</sup> Ibid.

Los mapas de potencial solar de Guatemala presentan la irradiación solar directa, global horizontal y difusa, para un año típico, además puede ser empleado para el diseño tanto de sistemas solares fotovoltaicos como sistemas solares térmicos.

#### **4.3.2.3. Generación de electricidad con energía solar**

En Guatemala, todas las plantas solares que generan energía eléctrica arriba de los 5 MW se definen como Plantas Generadoras dentro del Administrador del Mercado Mayorista (AMM). Las plantas generadoras con una capacidad menor o igual a los 5 MW, son definidas como Generación Distribuida Renovable (GDR). Las dos plantas generadoras suministran energía eléctrica a la red del Sistema Nacional Interconectado (SIN). Aunque existe un tercer grupo el cual corresponde a los Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía (UAEE), el cual está formado por usuarios domésticos e industriales con paneles solares integrados en edificios y fábricas.<sup>61</sup>

Guatemala cuenta con Plantas Generadoras entre las que mencionamos: La planta solar Horus 1, el cual tiene una potencia efectiva de 50 MW; La planta Horus 2 tiene una potencia de efectiva de 30 MW. Ambas plantas están localizadas en el municipio de Chiquimulilla del departamento de Santa Rosa, e iniciaron operación en 2015.

Guatemala cuenta con plantas solares GDR, entre los que mencionamos: el parque fotovoltaico SIBO localizado en el municipio de Estanzuela, departamento de Zacapa, con la capacidad total de generar 5 MW; la Granja Solar La Avellana con 1 MW de potencia instalada, la Granja Solar Taxisco, con 1,5 MW de potencia instalada y la Granja Solar El Jobo, con 1 MW de potencia instalada, las tres son localizadas en el municipio de Taxisco, departamento de Santa Rosa.

---

<sup>61</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Energía solar en Guatemala*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>. Consulta: 30 de mayo de 2020.

También la Granja Solar Pedro de Alvarado localizado en el municipio de Moyuta, departamento de Jutiapa, con 1,5 MW de potencia instalada; la Granja Solar Buena Vista, se localiza en el municipio de Jutiapa, departamento de Jutiapa, con 1,5 MW de potencia.

Los proyectos de generación solar fotovoltaica que se encuentran en operación actualmente en Guatemala suman una capacidad total efectiva de 91,5 MW de potencia. Existen proyectos futuros de generación solar fotovoltaica, entre los que mencionamos: Planta Solar *Medax Energy*, S.A. la cual se localizará en el municipio de Taxisco, departamento de Santa Rosa, con una potencia de 1,7 MW; Planta Solar Solaris 1 la cual se localizará en el municipio de Jutiapa, departamento de Jutiapa, con una potencia de 2,5 MW. Al incorporar estos proyectos futuros se esperará alcanzar una potencia total efectiva de 95,7 MW.

“Según informes del Ministerio de Energía y Minas, la generación eléctrica utilizando energía solar en el Sistema Nacional Interconectado, se presentó con una participación en la matriz energética a diciembre del 2020 un 1,99 % (221,51 GWh)”.<sup>62</sup>

Para llevar a cabo el diseño de este proyecto contamos con la siguiente información del caserío El Espinal ubicado en el municipio de Chuarrancho del departamento de Guatemala, respecto del promedio anual de la radiación solar global y el respectivo mapa solar de Guatemala, desarrollado por el programa Solargis.

---

<sup>62</sup> Ministerio de Energía y Minas. *Informe General 2020 Ministerio de Energía y Minas*. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>. Consulta: 2 de febrero de 2021.

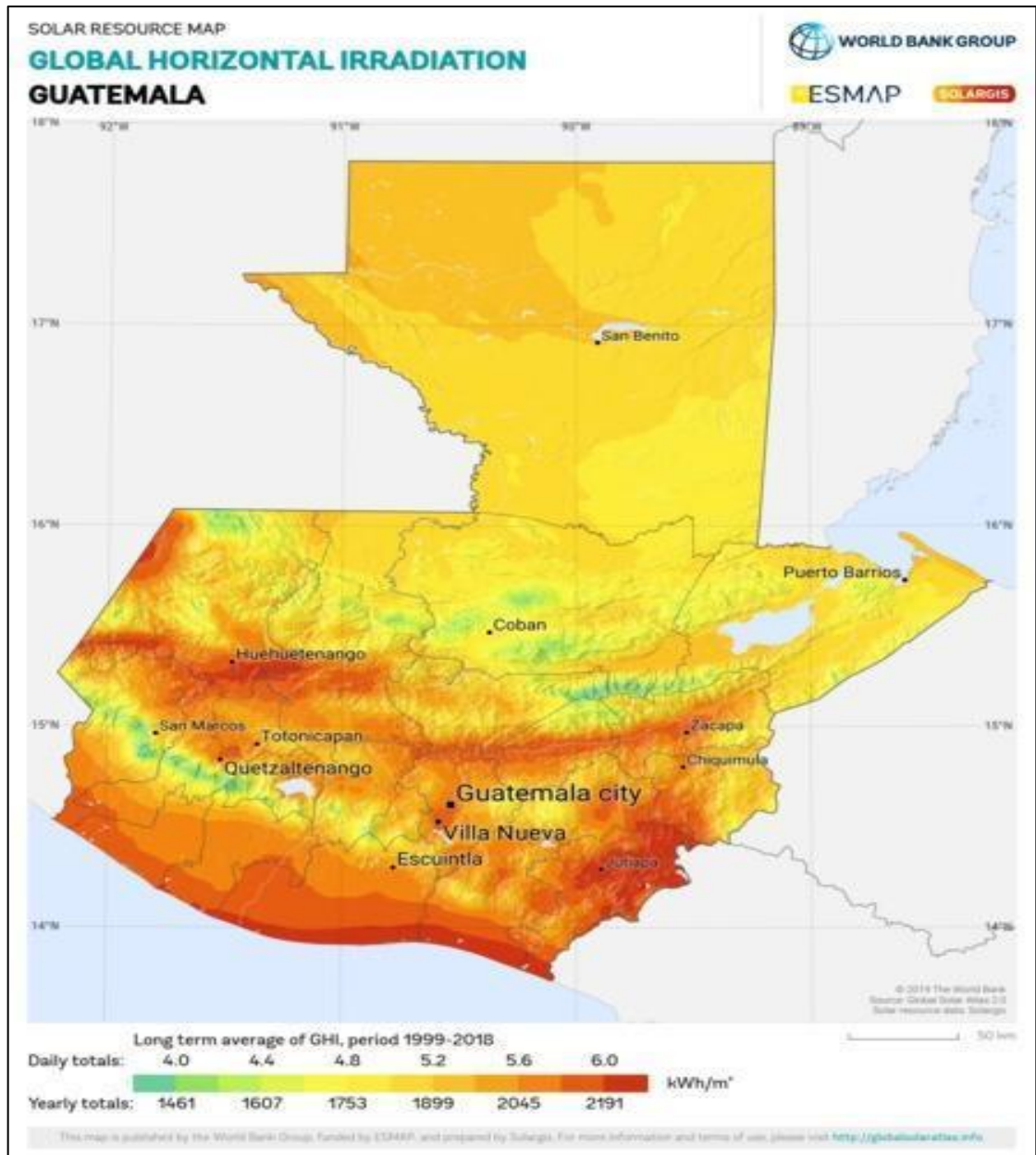


Tabla IV. **Radiación solar promedio anual sobre una superficie horizontal (kWh/m<sup>2</sup> por día) en el caserío El Espinal del municipio de Chuarrancho, Guatemala**

Mes	Radiación promedio anual
Enero	5,08
Febrero	5,89
Marzo	6,39
Abril	6,60
Mayo	6,07
Junio	5,90
Julio	6,27
Agosto	6,25
Septiembre	5,58
Octubre	5,30
Noviembre	5,13
Diciembre	4,96
Anual Global	5.78

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word con base en el programa PVGIS NSRDB.

Figura 45. **Mapa de irradiación solar global anual, en kWh/m<sup>2</sup>/día, para Guatemala, desarrollado por el programa Solargis**



Fuente: Solargis. *Mapas de recursos solares de Guatemala*. [www.solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/guatemala](http://www.solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/guatemala). Consulta: 12 de julio de 2020.



## **5. DISEÑO DE LOS SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **5.1. Sistema de generación eléctrica fotovoltaica**

El primer sistema de generación de energía eléctrica corresponde a la energía solar fotovoltaica, a continuación, se detalla su definición.

#### **5.1.1. Definición de un sistema fotovoltaico aislado**

El sistema de energía solar fotovoltaico aislado se implantará en el caserío El Espinal, que pertenece al municipio de Chuarrancho del departamento de Guatemala, el cual se localiza en la latitud  $14^{\circ} 50' 51''$  y en la longitud  $90^{\circ} 31' 05.52''$  en el capítulo 4 se detallaron los aspectos más sobresalientes del caserío.

Para el diseño del sistema se describe un tipo de usuario a nivel general del caserío, según la situación económica de los habitantes, por lo tanto, se utilizará un sistema individual, esto debido a que las viviendas se encuentran ubicadas en forma dispersa.

Este sistema de energía solar fotovoltaica está diseñado para que sea utilizado por los habitantes del caserío El Espinal en el transcurso de todo el año.

El sistema para los usuarios del caserío El Espinal, se describe en la siguiente tabla, consiste básicamente en una televisión, una radio, lámparas de bajo consumo y cargadores de celulares.

Tabla V. **Consumo teórico de energía eléctrica para los usuarios del caserío El Espinal**

Estructura de la vivienda	Cantidad	Equipo	Consumo (W)	Horas/día de uso	Consumo Wh/día
Cocina	1	Focos ahorradores con bajo consumo	15	3	45
Dormitorio	1	Focos ahorradores con bajo consumo	15	4	60
Baño y Corredor	1	Focos ahorradores con bajo consumo	15	3	45
	2	Celulares	5	4	20
	1	Radiograbadora	30	3	90
	1	Televisor CTR o de tubo	60	3	180
<b>Potencia cargas total (W)</b>			140		
<b>Energía diaria total <math>E_D</math> (Wh/día)</b>					440

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

#### 5.1.1.1. Estimación del consumo real de las cargas

La energía diaria total teórica necesitada (consumos diarios) se calculó de la siguiente manera, sumando el producto entre la potencia de cada equipo por el tiempo medio diario en funcionamiento. En base a la tabla V la energía diaria total tiene un valor de 440 Wh/día. Se acostumbra a dividir los consumos de corriente directa de los consumos de corriente alterna, los cuales están afectados por diferentes factores de pérdida.

La energía real requerida,  $E_T$ , se calcula teniendo en consideración las eficiencias de la batería y del inversor, los cuales influyen en el cálculo de la energía real necesaria. De tal manera que la expresión para su cálculo es la siguiente:

Ec.1<sup>63</sup>

$$E_T = \frac{E_{DC}}{\eta_{BAT}} + \frac{E_{AC}}{(\eta_{BAT} * \eta_{INV})}$$

Donde:

$E_{DC}$ : energía diaria en corriente directa

$E_{AC}$ : energía diaria en corriente alterna

$\eta_{BAT}$  : eficiencia de la batería

$\eta_{INV}$  : eficiencia del inversor

Debido a que en este sistema únicamente se utilizarán consumos de corriente alterna, por esta razón la ecuación queda simplificada de la siguiente forma:

Ec.2

$$E_T = \frac{E_{AC}}{(\eta_{BAT} * \eta_{INV})}$$

Para el diseño del sistema solar fotovoltaico aislado, se utilizan los valores de  $\eta_{BAT} = 0,95$  y  $\eta_{INV} = 0,90$ , para calcular el consumo real de del sistema por diseñarse.

$E_T$  : Energía real que requiere el sistema = 440 Wh/día

Utilizando la ecuación 2, se obtiene lo siguiente:

$$E_T = \frac{E_{AC}}{\eta_{BAT} * \eta_{INV}} = \frac{440 \text{ Wh/día}}{0,95 * 0,90} = 514,62 \text{ Wh/día}$$

---

<sup>63</sup> HONTORIA, Leocadio y AGUILERA, Jorge. *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. p. 8.

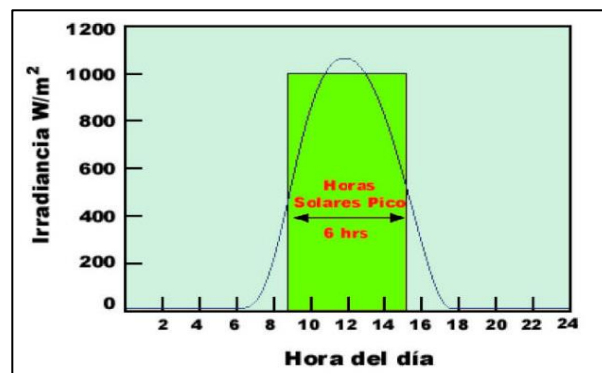
Realizando este cálculo, se puede comprobar que en vez de necesitar 440 Wh/día se precisan a 514,62 Wh/día.

### 5.1.2. Promedio de la radiación diaria disponible

Se debe evaluar, para cada mes, el valor de “Hs”, el cual representa la energía promedio de la irradiación solar que llega a lo largo de un día en unidades de (kWh/m<sup>2</sup>\*día) sobre un metro cuadrado de una superficie, con la misma orientación e inclinación de los paneles solares que se van a instalar en el sistema fotovoltaico.

Para facilitar el cálculo en las instalaciones solares fotovoltaicas, se emplea un concepto relacionado con la radiación solar, el cual hace referencia a las horas sol pico o en su representación como (HSP), para entender este concepto hay que definirlo como la cantidad de horas de sol con una irradiancia supuesta de 1 000 W/m<sup>2</sup>, que sumando cada uno de los puntos de la curva va a dar la irradiación total a lo largo de un día o la cantidad de horas de sol.

Figura 46. **Gráfica de irradiancia y horas sol pico**



Fuente: *Introducción a la energía solar, paneles fotovoltaicos.*

[www.ecoefecto.com/tecnologia\\_fv.htm](http://www.ecoefecto.com/tecnologia_fv.htm). Consulta: 13 de julio de 2020.

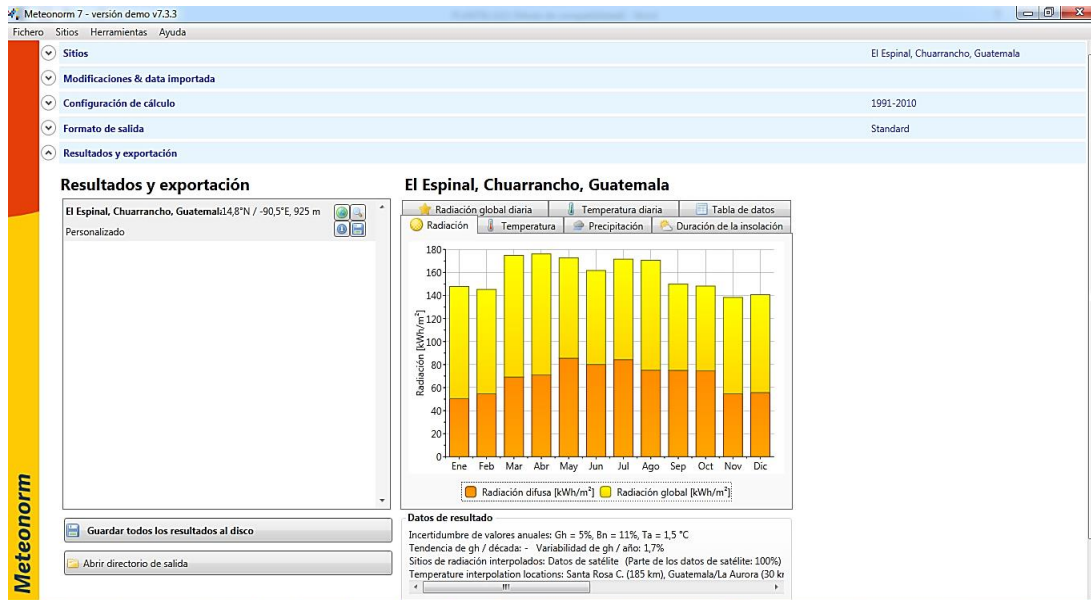
Por ejemplo, en la gráfica de la figura 46, suponiendo que vamos a instalar un panel solar de 100 W, la línea de la curva nos indica el valor de la irradiancia que va a depender de cada hora en el día, imaginemos que a las 9 de la mañana de acuerdo a la curva nos da un valor de irradiancia de 400 W/m<sup>2</sup>, como no está al valor de 1 000 W/m<sup>2</sup> esto no quiere decir que el panel no esté generando energía, al contrario si está generando pero en un 40 % de la capacidad del panel, por otro lado imaginemos que empieza a incrementar el valor de la irradiancia llegando a las 12 del día y se tiene inclusive más de 1 000 W/m<sup>2</sup>, de tal forma que el panel este generando aproximadamente unos 103 W. Este proceso sería para cada hora a lo largo del día, que al sumarlos da el total de horas de sol recordando que una hora de sol corresponde a un valor de irradiancia de 1 000 W/m<sup>2</sup>.

Las horas sol pico, ayudan a conocer la energía disponible, del tal forma que se pueda calcular el campo fotovoltaico que se necesite, teniendo en cuenta los consumos y las pérdidas del sistema. Los datos de irradiación se obtuvieron al emplear el software METEONORM 7 – versión demo 7.3.3. Los registros que proporciona el software METEONORM 7 del caserío El Espinal, en Chuarrancho, Guatemala son los siguientes:

- Sitio: El Espinal, Chuarrancho, Guatemala
- Coordenadas: Latitud 14.8475, Longitud -90.5182
- Altitud: 925 msnm
- Incertidumbre de valores anuales: Gh = 5 %
- Radiación: 1991-2010
- Formato de salida: Meteonorm Standard
- Modelo irradiación inclinada: Pérez
- Modelo irradiación: Hora
- Azimut: 0<sup>0</sup>



Figura 47. Pantalla del software METEONORM 7 versión 7.3.3 (los resultados se obtienen al seguir 5 pasos)



Fuente: elaboración propia, utilizando Programa METEONORM 7, versión 7.3.3

Tabla VI. Irradiación media de la radiación global de una superficie a diferentes ángulos de inclinación

Mes	G <sub>h</sub>	G <sub>k</sub> <sup>0</sup>	G <sub>k</sub> <sup>10°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>15°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>20°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>25°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>30°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>35°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>40°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>45°</sup>	G <sub>k</sub> <sup>50°</sup>
Enero	4,77	4,77	5,29	5,48	5,68	5,81	5,90	5,97	6,00	6,00	5,94
Febrero	5,00	5,00	5,38	5,52	5,62	5,69	5,72	5,72	5,66	5,59	5,48
Marzo	5,65	5,65	5,84	5,90	5,90	5,90	5,84	5,74	5,61	5,45	5,26
Abril	5,87	5,87	5,83	5,77	5,67	5,53	5,37	5,17	4,93	4,67	4,40
Mayo	5,58	5,58	5,39	5,26	5,10	4,94	4,71	4,45	4,19	3,94	3,61
Junio	5,40	5,40	5,17	5,00	4,80	4,60	4,37	4,10	3,83	3,53	3,23
Julio	5,55	5,55	5,32	5,16	5,00	4,77	4,55	4,29	4,03	3,74	3,42
Agosto	5,52	5,52	5,42	5,32	5,19	5,06	4,87	4,68	4,42	4,16	3,90
Septiembre	5,00	5,00	5,07	5,07	5,03	4,97	4,87	4,73	4,60	4,40	4,20
Octubre	4,77	4,77	5,03	5,10	5,16	5,19	5,16	5,13	5,06	4,94	4,81
Noviembre	4,60	4,60	5,03	5,23	5,37	5,47	5,53	5,57	5,57	5,53	5,47
Diciembre	4,55	4,55	5,06	5,29	5,48	5,65	5,77	5,84	5,90	5,90	5,87
Anual	5,19	5,19	5,32	5,34	5,33	5,30	5,21	5,12	4,98	4,82	4,63

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el Programa METEONORM 7, versión 7.3.3

- Gh: irradiancia media respecto a la radiación global horizontal
- Gk: irradiancia media respecto a la radiación global de una superficie inclinada
- Radiación: kWh/m<sup>2</sup>\*día
- Amarrillo: representa los meses de verano
- Celeste: representa los meses de invierno

#### **5.1.2.1. Peor mes o mes desfavorable**

En este apartado se utilizará la técnica del mes desfavorable, de tal forma que la instalación fotovoltaica tendrá la capacidad de garantizar el suministro eléctrico en el periodo en el cual la relación entre la radiación que se dispone y el consumo de energía es más crítico, de tal forma que para el resto de los meses del año el suministro eléctrico no presentará ningún inconveniente. Para ello, se utilizará los valores de irradiación para los diferentes ángulos de inclinación que proporcione el software, hay que tener presente que en el país únicamente se presenta dos estaciones verano e invierno.

En la tabla VI, se observa que la irradiancia media es menor a lo largo del mes de junio, para los ángulos de inclinación a partir de los 15<sup>0</sup> hasta los 50<sup>0</sup>; caso contrario para los meses de noviembre a diciembre en los cuales los ángulos de inclinación de 0<sup>0</sup> y 10<sup>0</sup> respectivamente, representan una menor irradiancia. Teniendo en cuenta lo anterior, surge la siguiente interrogante, a que ángulo es conveniente colocar los paneles fotovoltaicos si la irradiancia es menor a lo largo del mes de junio, como respuesta procedemos a elegir el ángulo de inclinación que presente mayor irradiancia a lo largo del mes de junio.

Al observar los datos de la tabla VI, el ángulo de inclinación conveniente para los paneles fotovoltaicos a lo largo de junio corresponde a 15<sup>0</sup>, este ángulo

de inclinación se utilizará para efectuar todos los cálculos del diseño del sistema solar fotovoltaico aislado. Tomado en cuenta que el promedio anual de irradiancia es de 5,34 kWh/m<sup>2</sup>\*día.

Seguidamente para verificar el mes desfavorable del año, referente a la metodología para este diseño, debemos de conocer los consumos del sistema, posteriormente se elabora una nueva tabla en las que se incluye el cociente (consumo/radiación), para cada uno de los meses del año con sus respectivos ángulos de inclinación en la tabla VII, la cual se muestra a continuación:

Tabla VII. **Cálculo del cociente  $Y_T$  para todos meses del año y diferentes ángulos de inclinación, análisis del mes desfavorable del año**

Mes	$E_T/G_d (m^2 \cdot 10^{-3})$									
	Gk <sup>0</sup>	Gk10 <sup>0</sup>	Gk15 <sup>0</sup>	Gk20 <sup>0</sup>	Gk25 <sup>0</sup>	Gk30 <sup>0</sup>	Gk35 <sup>0</sup>	Gk40 <sup>0</sup>	Gk45 <sup>0</sup>	Gk50 <sup>0</sup>
Enero	107,89	97,28	93,91	90,6	88,57	87,22	86,2	85,77	85,77	86,64
Febrero	102,92	95,65	93,23	91,57	90,44	89,97	89,97	90,92	92,06	93,91
Marzo	91,08	88,12	87,22	87,22	87,22	88,12	89,66	91,73	94,43	97,84
Abril	87,67	88,27	89,19	90,76	93,06	95,83	99,54	104,39	110,2	116,96
Mayo	92,23	95,48	97,84	100,91	104,17	109,26	115,64	122,82	130,61	142,55
Junio	95,3	99,54	<b>102,92</b>	<b>107,21</b>	<b>111,87</b>	<b>117,76</b>	<b>125,52</b>	<b>134,37</b>	<b>145,78</b>	<b>159,33</b>
Julio	92,72	96,73	99,73	102,92	107,89	113,1	119,96	127,7	137,6	150,47
Agosto	93,23	94,95	96,73	99,16	101,7	105,67	109,96	116,43	123,71	131,95
Septiembre	102,92	101,5	101,5	102,31	103,55	105,67	108,8	111,87	116,96	122,53
Octubre	107,89	102,31	100,91	99,73	99,16	99,73	100,32	101,7	104,17	106,99
Noviembre	111,87	<b>102,31</b>	98,4	95,83	94,08	93,06	92,39	92,39	93,06	94,08
Diciembre	<b>113,1</b>	101,7	97,28	93,91	91,08	89,19	88,12	87,22	87,22	87,67
Anual	99,16	96,73	96,37	96,55	97,1	98,78	100,51	103,34	106,77	111,15

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el Programa METEONORM 7, versión 7.3.3

Respecto de cada inclinación se ubica el máximo valor de los cocientes para cada columna, los cuales están señalados en color verde y además se puede observar que a partir del ángulo de inclinación de 15<sup>0</sup> hasta los 50<sup>0</sup> el máximo

valor de los cocientes para cada columna permanece constante, estos valores corresponden al mes de junio.

Inmediatamente después de identificar cada uno de los valores máximos en cada columna y observando que en el mes de junio los valores máximos permanecen constantes, se escoge el menor de ellos, en este caso hace referencia al ángulo de inclinación de  $15^{\circ}$ , por esta razón el mes desfavorable es junio.

### **5.1.3. Dimensionamiento del sistema de captación de energía**

Básicamente está formado por el panel fotovoltaico, que es el encargado de aprovechar la irradiación solar para generar energía eléctrica. En el capítulo dos se ha explicado el funcionamiento principal de los paneles fotovoltaicos.

Es muy importante hacer mención que la fuente de energía renovable que se utiliza en un sistema solar fotovoltaico es la radiación solar que se dispone en el lugar donde se implementará el sistema, de tal forma que sea transformada en energía eléctrica para su posterior consumo.

Por lo general, aún no existen datos tabulados precisos de la radiación solar por parte del Insivumeh en el lugar específico de la instalación fotovoltaica, ante ello es muy importante tomar en cuenta que, al momento de emplear un software se debe tener la ubicación lo más cercana posible, para que el análisis sea de forma efectiva.

Además, es fundamental prestar mucha atención a los datos de radiación utilizados, deben corresponder la superficie de los paneles fotovoltaicos con la misma orientación e inclinación. En este caso, para que los cálculos sean

precisos, los datos de energía solar diaria disponible estarán expresados en kWh/m<sup>2</sup>.

### 5.1.3.1. Ubicación de los paneles fotovoltaicos

Para el diseño del sistema fotovoltaico, los paneles estarán ubicados lo más cercano posible a las viviendas, de igual forma serán instalados en el lugar donde su exposición sea la mejor a los rayos del sol, de tal manera que se pueda obtener la mayor radiación solar durante el día. Por lo tanto, una vez instalados los paneles fotovoltaicos, se ubicarán de tal manera que la inclinación y la orientación sean las adecuadas.

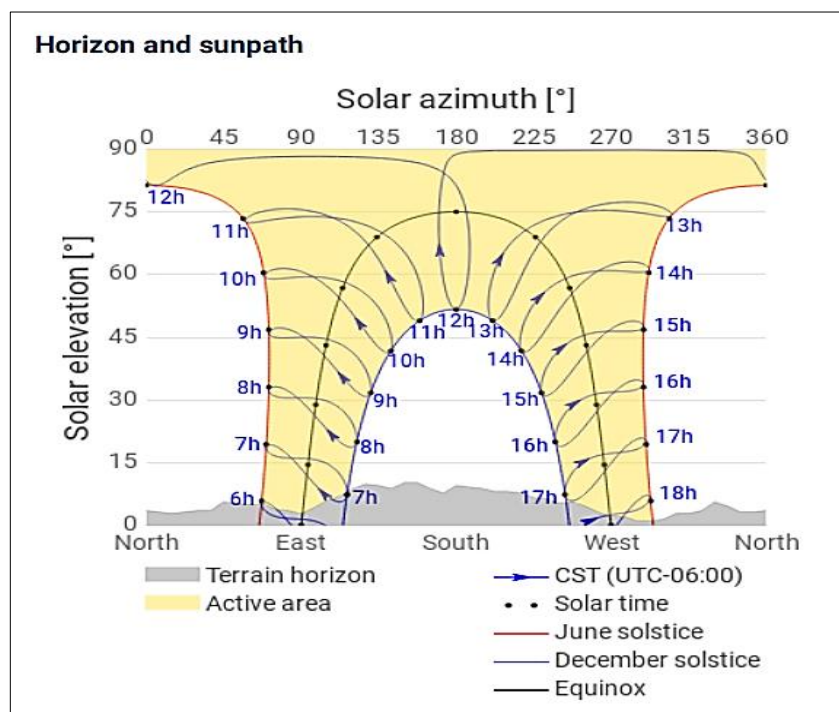
Figura 48. **Ejemplo de ubicación de los paneles fotovoltaicos en áreas rurales**



Fuente: Libertad digital. *Instalaron 210 paneles solares para familias que habitan El Impenetrable.* [www.libertaddigital.com.ar/Notas/Nota/765789082-instalaron-210-paneles-solares-para-familias-que-habitan-el-impenetrable](http://www.libertaddigital.com.ar/Notas/Nota/765789082-instalaron-210-paneles-solares-para-familias-que-habitan-el-impenetrable). Consulta: 15 de julio de 2020.

En la figura 48 se puede observar la forma que se utilizará para asegurar los paneles fotovoltaicos, el cual será encima del suelo, muy próximo a las viviendas con el fin de que la distancia sea mínima entre los paneles fotovoltaicos y el regulador de carga, juntamente con las baterías, de tal manera que las pérdidas que se produzca en el transporte de energía eléctrica a través del cableado sean mínimas, logrando así que el sistema sea eficiente.

Figura 49. **Trayectoria del sol (hora solar) en el caserío El Espinal, Chuarrancho, Guatemala**



Fuente: Chuarrancho. *Global solar atlas*. [www.globalsolaratlas.info/detail?c=14.8475,-90.518889,11&m=site&s=14.8475,-90.518889](http://www.globalsolaratlas.info/detail?c=14.8475,-90.518889,11&m=site&s=14.8475,-90.518889). Consulta: 17 de julio de 2020.

Los valores de la irradiancia obtenidos empleando el programa METEONORM 7 versión 7.3.3, se determinó que el ángulo óptimo de inclinación

para instalar los paneles fotovoltaicos es de,  $15^{\circ}$  respecto a la horizontal, ubicados de manera fija, esto quiere decir que serán utilizados durante todo el año.

Utilizando la irradiancia que se obtiene con el ángulo óptimo inclinación de  $15^{\circ}$ , se realizaron los cálculos para diseñar y dimensionar el sistema fotovoltaico, empleando la técnica del mes desfavorable; o sea, aquel que tenía el menor valor de irradiancia respecto de todos los meses del año.

Actualmente en el mercado solar, existen muchos paneles fotovoltaicos de diferentes potencias máximas, que van desde los 5 W hasta los 405 W, esto dependerá de la demanda de energía que se necesite. De igual forma existen paneles fotovoltaicos de diferentes calidades, los cuales pueden ser: monocristalinos, policristalinos y los de película delgada.

#### **5.1.3.2. Elección del tipo y número de paneles fotovoltaicos**

En esta sección se efectúan los cálculos del respectivo dimensionamiento tomando como referencia mes desfavorable y se realizan con los datos que corresponden, en este caso, junio. Es importante tener realizada la elección del tipo de panel fotovoltaico específico a instalarse en el sistema, al menos la potencia pico del panel seleccionado, " $P_p$ ", que se expresa en (Wp), vatio-pico. Para esto, hay que recordar que la potencia pico de un panel fotovoltaico corresponde a la potencia que produce el panel medido en condiciones ideales para una radiación hipotética que llega con un valor  $1\ 000\ \text{W/m}^2$ .

Después de que la demanda energética de la carga es conocida, y la potencia pico del panel fotovoltaico, ya estamos en condiciones de dimensionar el generador fotovoltaico.

El número total de paneles fotovoltaicos que se debe instalar en el sistema se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

Ec.3<sup>64</sup>

$$N_T = \frac{E_T}{(P_P * G_{m\beta} * P_G)}$$

Donde:

$E_T$  : energía real requerida (Wh)

$P_P$  : potencia pico del panel fotovoltaico (W)

$G_{m\beta}$  : radiación global sobre una superficie inclinada a un ángulo  $\beta$  (kWh/m<sup>2</sup>)

$P_G$  : factor global de pérdidas (suele variar entre 0,65 y 0,90)

Para el sistema fotovoltaico, se utilizarán los siguientes datos,  $E_T$  tiene un valor de 514,62 Wh/día, se empleará un panel fotovoltaico con una potencia pico de 150 W, el valor de radiación global sobre una superficie inclinada a un ángulo de 15° en junio corresponde a 5,0 kWh/m<sup>2</sup>\*día y un factor de pérdidas de 0,75.

De la ecuación 3, se obtiene lo siguiente:

$$N_T = \frac{E_T}{(P_P * G_{m\beta} * P_G)} = \frac{514,62}{(150 * 5,0 * 0,75)} = 0,91 \cong 1$$

---

<sup>64</sup> HONTORIA, Leocadio; AGUILERA, Jorge. *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. p. 12.



Para el diseño del sistema fotovoltaico aislado en el caserío El Espinal, tomando en cuenta las necesidades energéticas y el resultado de la ecuación 3, se utilizará 1 panel fotovoltaico con una potencia máxima (pico) de 150 W.

Además, en el diseño no se realizará cálculos para conectar los paneles fotovoltaicos en serie o en paralelo, debido a que el sistema trabajará únicamente con un panel fotovoltaico de 150 W. Por esta razón el montaje será mucho más sencillo.

### 5.1.3.3. Características técnicas de los paneles fotovoltaicos

El panel solar fotovoltaico que se va a utilizar en el sistema, son de silicio policristalino, con una potencia pico mayor-igual a 150 Wp. Este panel solar es el más potente de la gama de 12 V, el más utilizado tanto en viviendas como en casas de uso diario, para alimentar consumos típicos como iluminación de vivienda, radios, TV, y otros. El panel solar fotovoltaico fue seleccionado de acuerdo con el precio, la potencia, calidad y la ficha técnica que proporcione el fabricante. A continuación, se presentan las especificaciones del panel fotovoltaico que se empleará en el diseño del sistema solar fotovoltaico.

Tabla VIII. **Especificaciones del panel A-150P, proporcionadas por el fabricante ATERSA**

<b>Especificaciones del panel A-150P*</b>	
<b>Características eléctricas</b>	
A 1000 W/m <sup>2</sup>	
Potencia Nominal ( $\pm 5\%$ )	150 W
Eficiencia del modulo	15,42 %
Corriente punto de máxima potencia ( $I_{mp}$ )	8,41 A
Tensión punto de máxima potencia ( $V_{mp}$ )	17,84 V
Corriente en cortocircuito ( $I_{sc}$ )	8,69 A
Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ )	22,60 V

Continuación de la tabla VIII.

<b>Parámetros térmicos</b>	
Coeficiente de temperatura de $I_{sc}$ ( $\alpha$ )	0,04% / °C
Continuación Tabla VIII	
Coeficiente de temperatura de $V_{oc}$ ( $\beta$ )	-0,32% / °C
Coeficiente de temperatura de P ( $\gamma$ )	-0,43% / °C
<b>Características físicas</b>	
Dimensiones ( $mm \pm 2mm$ )	1 476 x 659 x 35
Peso (kg)	11,9
Área ( $m^2$ )	0,97
Tipo de célula	Policristalina 156 x 156mm (6 pulgadas)
Células en serie	36 (4x9)
Cristal delantero	Cristal templado ultra claro de 3,2mm
Marco	Aleación de aluminio pintado de poliéster
Caja de conexiones/opcional	QUAD IP54 / QUAD IP65
Corriente Inversa Max.	15,1 A
<b>Rango de funcionamiento</b>	
Temperatura	-40 °C a + 85 °C
Máxima tensión del sistema / protección	1 000V / CLASS II
Carga máxima viento	2 400 Pa (130km/h)
Carga máxima nieve	5 400 Pa (551 kg/m <sup>2</sup> )

\* Características eléctricas STC:

irradiación de 1 kW/m<sup>2</sup>,

temperatura celular 25 °C  $\pm$  2 °C

masa de aire AM 1,5

especificaciones eléctricas medidas en STC. NOCT: 47  $\pm$  2 °C

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el catálogo de ATERSA. [www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf](http://www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf).

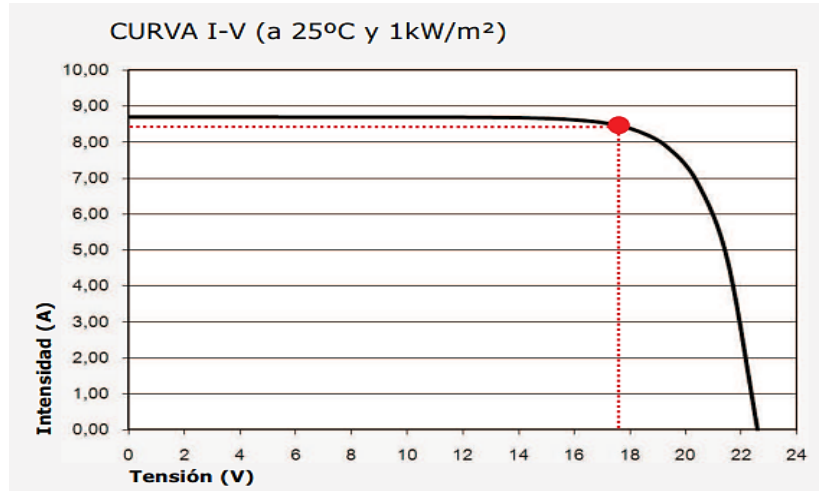
Figura 50. **Panel fotovoltaico policristalino ATERSA modelo A-150P**



Fuente: Autosolar. *Catálogo ATERSA*. [www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf](http://www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf). Consulta: 20 de julio de 2020.

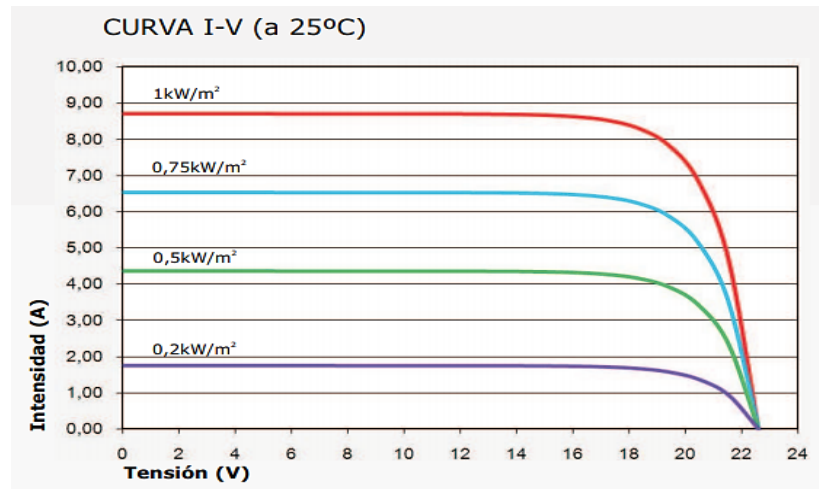
Es muy importante observar siempre la curva I-V que proporcione el fabricante en sus hojas técnicas, mostrando la influencia que tiene la temperatura, la corriente y el voltaje del panel fotovoltaico. En las siguientes figuras se muestran las curvas características del panel solar ATERSA.

Figura 51. **Curva característica de tensión e intensidad**



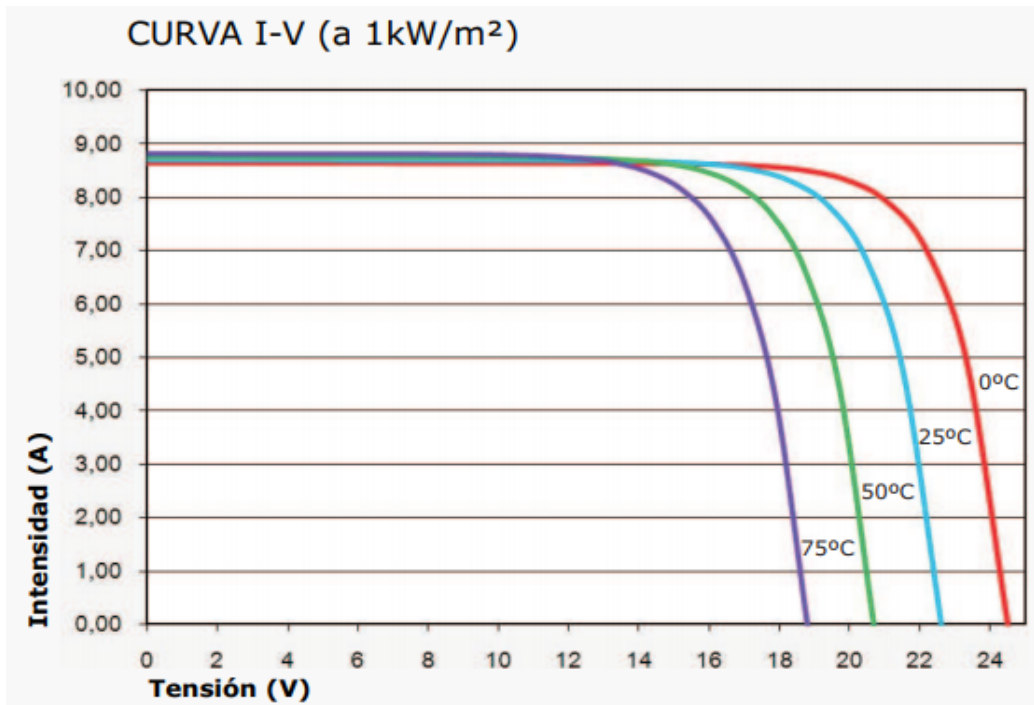
Fuente: Autosolar. *Catálogo ATERSA*. [www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf](http://www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf). Consulta: 20 de julio de 2020.

Figura 52. **Curva característica de tensión e intensidad, a 25 °C y distintos valores de irradiación**



Fuente: Autosolar. *Catálogo ATERSA*. [www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf](http://www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf). Consulta: 20 de julio de 2020.

Figura 53. **Curva característica de tensión e intensidad, irradiación de 1 kW/m<sup>2</sup> y distintos valores de temperatura**



Fuente: Autosolar. *Catálogo ATERSA*. [www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf](http://www.autosolar.es/pdf/A150P.pdf). Consulta: 20 de julio de 2020.

Antes de realizar la conexión del panel fotovoltaico al sistema solar, se establece la tensión de trabajo del sistema de acumulación " $V_{bat}$ ". Para este caso el sistema fotovoltaico a diseñar trabajará con una tensión de 12 V (DC). Respecto del montaje de los paneles fotovoltaicos, la estructura es aconsejable realizarla con aluminio o madera, deben fijarse de manera correcta y segura al suelo, de tal forma que tengan la capacidad de soportar tanto las lluvias como los fuertes vientos. Tal como se observa en la figura 54.

Figura 54. **Ejemplo de instalación de los paneles fotovoltaicos**



Fuente: Página16. *Alumnos de ingeniería de Buenos Aires donaron e instalaron paneles solares en aldeas guaraníes.* [www.pagina16.com.ar/misiones-alumnos-de-ingenieria-de-buenos-aires-donaron-e-instalaron-paneles-solares-en-aldeas-guaranies/](http://www.pagina16.com.ar/misiones-alumnos-de-ingenieria-de-buenos-aires-donaron-e-instalaron-paneles-solares-en-aldeas-guaranies/). Consulta: 22 de julio de 2020.

Una vez determinado el número de paneles fotovoltaicos del sistema, se va a elaborar una tabla con los parámetros del panel fotovoltaico, los cuales se utilizarán en los apartados siguientes para el cálculo de los dispositivos restantes del sistema, tales como la batería, el inversor, regulador y el cableado.

Los parámetros están establecidos por el fabricante de los paneles fotovoltaicos; los cuales cambian proporcionalmente de acuerdo con la potencia pico del panel fotovoltaico y el fabricante. Para el cálculo del sistema, se utilizan los parámetros establecidos por las hojas técnicas proporcionadas por el fabricante ATERSA, para el panel fotovoltaico policristalino de 150 W:

Tabla IX. **Parámetros del panel fotovoltaico marca ATERSA conforme a las especificaciones del fabricante**

<b>Parámetros</b>	<b>Panel A-150P</b>
$P_p$	150W
$I_{max}$	8,41 A
$I_{sc}$	8,69 A
$V$	12 V
$V_{max}$	17,84 V
$V_{oc}$	22,60 V

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el catálogo ATERSA.

#### **5.1.4. Dimensionamiento del sistema de acumulación**

Para que el sistema fotovoltaico funcione de manera efectiva, las baterías deben conectarse correctamente para obtener los requerimientos eléctricos de conexión con el resto de elementos que conforman el sistema. Hay que tomar en cuenta que las baterías que se vayan a conectar deben ser del mismo tipo, mismo fabricante, disponer características semejantes (misma tensión, capacidad, entre otros.) y trabajar en las mismas condiciones.

Se evitará la conexión de baterías en paralelo, esto debido a que en un sistema en paralelo no se cargan todas las baterías por igual, es por esta razón que siempre habrá una mínima transferencia de energía entre una batería y otra por lo que las baterías conectadas en paralelo nunca van a llegar al 100 % de carga, dicho de otra manera, este tipo de conexión acelera grandemente el desgaste, la carga no es uniforme, la capacidad que se aprecia por su

funcionamiento es inferior a la que debería de ser, provocando problemas al sistema fotovoltaico a corto plazo.

El sistema de acumulación, conformado por las baterías debe ubicarse lo más próximo al sistema de captación de energía, evitando así las posibles pérdidas de tensión que puedan originarse. De igual forma el sistema de acumulación debe ir aislado del suelo por medio de cajones de madera o cualquier otro material que sea resistente al ácido, también se debe tomar en cuenta otros factores que afectan a las baterías como la corrosión, la sulfatación, estratificación del electrolito y el gaseó excesivo.

Otro punto por tomar en cuenta son los cambios bruscos de temperatura, las baterías se diseñan para trabajar de manera óptima a temperaturas moderadas entre 20 °C y 25 °C. Salir de este rango ocasiona problemas, específicamente si la temperatura sobrepasa los 30 °C o 35 °C, en estos casos se produce un incremento de la eficiencia de la batería, con ello una reducción en su vida útil.

Si las temperaturas son inferiores a las moderadas entre 10 °C y 15 °C, el problema es diferente, en este caso el frío produce un incremento en la resistencia interna de la batería, lo cual hace que el voltaje de salida disminuya.

En vista que en Guatemala la red de distribución de energía eléctrica es de 110 V de corriente alterna con una frecuencia de 60 Hz, es más fácil y económicos conseguir equipos que operen a 110 V de corriente alterna, que equipos que operen a 12 V de corriente continua. Por tal motivo el sistema trabajará únicamente con equipos de corriente alterna.



Antes de proceder a elegir el sistema de acumulación, es fundamental determinar la capacidad (Ah) y la tensión de trabajo (V) del sistema de acumulación. El parámetro de tensión para el sistema de acumulación es de 12 V (DC).

Para llevar a cabo el dimensionamiento del sistema de acumulación, se utilizarán los siguientes parámetros:

- $P_d$ : se refiere al máximo valor de descarga que se le concede a la batería previa a desconectarse del regulador, con el objetivo de proteger su tiempo. Para baterías de plomo-ácido está comprendido entre 60 % y 80 %, en cambio que, para baterías de níquel-cadmio es igual a 100 %.
- $P_{d, \text{diaria}}$ : corresponde la profundidad de descarga máxima diaria, el valor recomendable es del 15 %.
- $V_{\text{Bat}}$ : corresponde a la tensión de trabajo del sistema de acumulación en función de la instalación fotovoltaica. En el caso de instalaciones rurales, las tensiones más utilizadas son de 6 V, 12 V y 48 V.
- Capacidad de la batería ( $C_n$ ): se mide en Wh (vatios-hora) o Ah (amperios-hora) y corresponde la cantidad de energía que puede almacenar la batería.
- Número de días de autonomía (N): corresponde al periodo que la instalación fotovoltaica pueda funcionar en ausencia de la radiación solar, el sistema de acumulación es capaz de compensar el consumo, sin sobrepasar la profundidad máxima de descarga de la batería. Este

parámetro depende del tipo de instalación y de las condiciones climáticas del lugar.

Para calcular la capacidad de la batería, empleamos las siguientes expresiones tanto para Wh como en Ah:

$$C_n(Wh) = \frac{E_T * N}{P_d} \quad \text{Ec.4}^{65}$$

$$C_n(Ah) = \frac{C_n(Wh)}{V_{bat}} \quad \text{Ec.5}^{66}$$

Donde:

$C_n$ : capacidad nominal del sistema de acumulación (Wh o Ah)

$E_T$ : energía real requerida por el sistema (Wh)

$P_d$ : máximo valor de la descarga de la batería

$V_{bat}$ : voltaje de la batería (V)

Es importante destacar que los periodos de autonomía cortos alargan la vida útil de las baterías y dan una mayor fiabilidad al sistema fotovoltaico.

La batería se elegirá de acuerdo con el valor que se aproxime a la capacidad nominal  $C_n$  calculado utilizando las ecuaciones anteriores. De igual forma se elegirá la batería redondeando el valor calculado de  $C_n$ , para obtener un mejor margen de seguridad.

---

<sup>65</sup> HONTORIA, Leocadio; AGUILERA, Jorge. *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. p. 13.

<sup>66</sup> *Ibíd.*

Se establecieron 3 días de autonomía, considerando que el uso del sistema fotovoltaico será diario, además en la época de lluvia en Guatemala por lo general se mantiene nublado, en periodos de lluvia que van desde 2 hasta los 3 días, específicamente en los meses de junio a septiembre, época donde se registran huracanes y tormentas tropicales.

El valor del nivel máximo de descarga se determinó como 0,6, porque queremos que el sistema no se descargue más del 60 %, además se van a utilizar baterías de plomo-ácido, los cuales permiten profundidades de descarga entre 60 % y 80 %.

Cálculo del sistema de acumulación o baterías en Wh y Ah:

Para ello, se va a utilizar las ecuaciones 4 y 5, con los siguientes dat:

$N = 3$  días de autonomía

$P_d = 0,6$

$E_T = 514,62$  Wh

$V_{bat} = 12$  V

De las ecuaciones 4 y 5, obtenemos lo siguiente:

$$C_n(Wh) = \frac{E_T * N}{P_d} = \frac{514,62 \text{ Wh} * 3}{0,6} = 2\,573,10 \text{ Wh}$$

$$C_n(Ah) = \frac{C_n(Wh)}{V_{bat}} = \frac{2\,573,10 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 214,43 \text{ Ah}$$

La capacidad nominal de la batería que se obtiene se multiplica por un factor de seguridad de 1,1, esto debido a pérdidas que se ocasionan en los

conductores, de tal forma que el valor de la capacidad de la batería corregida es la siguiente:

$$C_n(Ah)' = 1,1 * C_n(Ah) = 1,1 * 214,43 Ah = 235,87 Ah$$

En el mercado fotovoltaico existe una variedad de baterías, por tal razón, la elección de las baterías debe realizarse de acuerdo con la capacidad y tensión de trabajo que necesitan los sistemas fotovoltaicos a diseñarse.

Tabla X. **Especificaciones de la batería a utilizar en el sistema fotovoltaico diseñado, Batería Solar Trojan Signatur e SSIG 12V- 255**

<b>Características generales</b>	
Modelo	SSIG 12 255
Voltaje	12
Capacidad	255 Ah a 100 Hr
Material	Polipropileno
Batería	Ciclo-profundo inundado / Batería de plomo ácido avanzado
Color	Marrón
Regado	Kit de riego de un solo punto (opcional)
<b>Especificaciones físicas</b>	
Nombre del modelo	SSIG 12 255
Tipo de terminal	6
Dimensiones	Largo: 14,97 plg (380 mm) Ancho: 6,91 plg (176 mm) Altura: 14,67 plg (373 mm)
Peso	123 Lb (56 Kg)
Manejo	Cuerdas trenzadas
<b>Especificaciones eléctricas</b>	
Voltaje	12

Continuación de la tabla X

Capacidad (Ah)	10-Hr = 211 20-Hr = 229 48-Hr = 237 72-Hr = 247 100-Hr = 255
Energía	100-Hr = 3,06 kWh
Instrucciones de carga a 25 °C	
Corriente de carga máxima (% de rango C <sub>20</sub> )	13%
Tiempo máximo de fase de absorción (horas)	4
Voltaje de absorción	14,70 V
Voltaje de flotación	13,50 V
Voltaje de ecualización	16,20 V
<b>Compensación de temperatura de carga</b>	
Añadir	0,005 voltios por celda por cada 1 °C por debajo de 25 °C
Sustraer	0,005 voltios por celda por cada 1 °C por encima de 25 °C
<b>Datos operacionales</b>	
Temperatura de operación	(-20 °C a +45 °C) a temperatura inferior a temperatura inferior a 0 °C mantener un estado de carga superior a 60 %
Auto descarga	5-15% por mes dependiendo de las condiciones de temperatura de almacenamiento

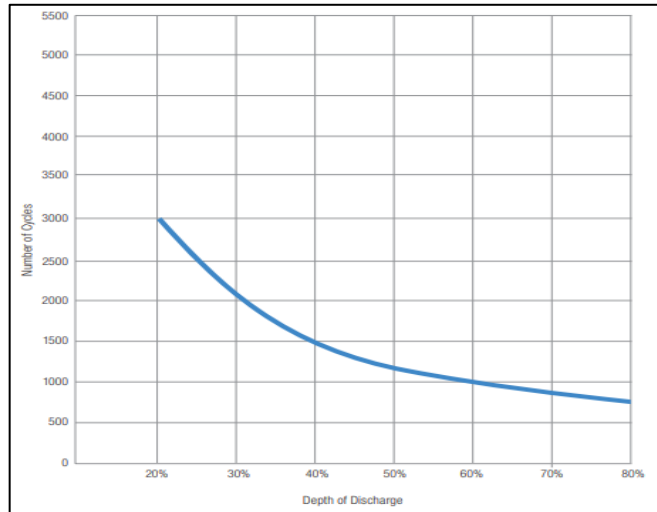
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el Catálogo Trojan.

Tabla XI. **Estado de carga medida de voltaje en circuito abierto**

Porcentaje de carga	Gravedad específica	Celda	12 Voltios
100	1,277	2,122	12,73
90	1,258	2,103	12,62
80	1,238	2,083	12,50
70	1,217	2,062	12,37
60	1,195	2,040	12,24
50	1,172	2,017	12,10
40	1,148	1,993	11,96
30	1,124	1,969	11,81
20	1,098	1,943	11,66
10	1,073	1,918	11,51

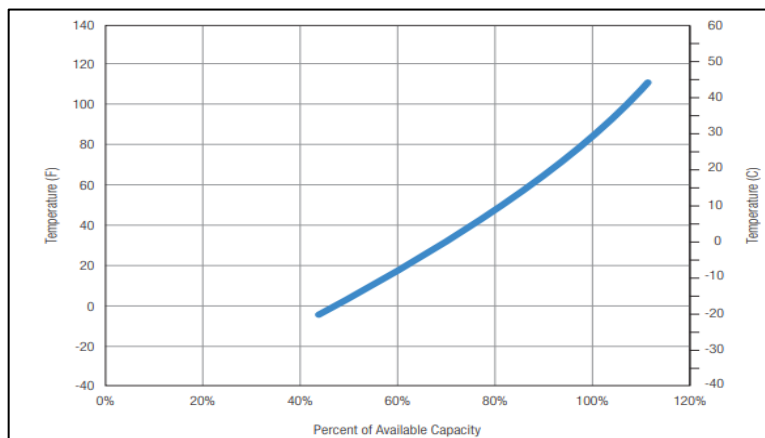
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el Catálogo Trojan.

Figura 55. **Profundidad de descarga frente a número de ciclos**



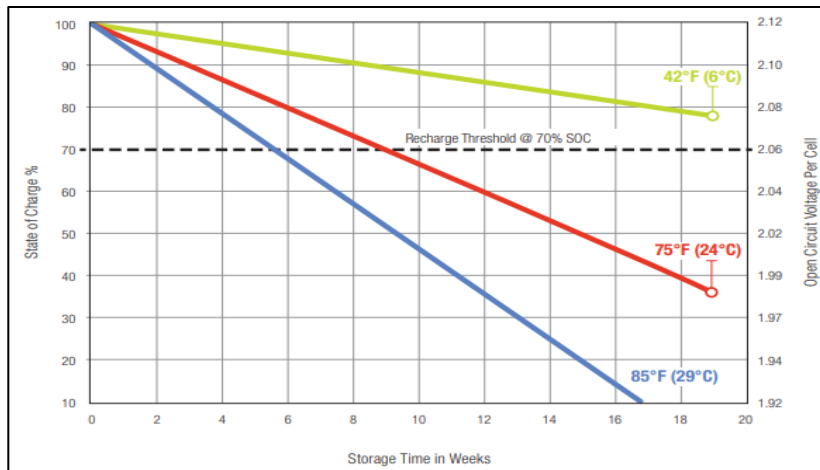
Fuente: Trojanbattery. *Baterías Solar Trojan Signature SSIG 12 V 255A*.  
[https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG\\_12\\_255\\_DS.pdf](https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG_12_255_DS.pdf) Consulta: 8 de agosto de 2020.

Figura 56. **Porcentaje de capacidad frente a temperatura**



Fuente: Trojanbattery. *Baterías Solar Trojan Signature SSIG 12 V 255A*.  
[https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG\\_12\\_255\\_DS.pdf](https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG_12_255_DS.pdf) Consulta: 8 de agosto de 2020.

Figura 57. **Tiempo de almacenamiento en semanas frente a porcentaje de inicio de carga**



Fuente: Trojanbattery. *Baterías Solar Trojan Signature SSIG 12 V 255A.*  
[https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG\\_12\\_255\\_DS.pdf](https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG_12_255_DS.pdf) Consulta: 8 de agosto de 2020.

Figura 58. **Batería Solar Trojan Signature SSIG 12V, 255Ah**



Fuente: Trojanbattery. *Baterías Solar Trojan Signature SSIG 12 V 255A.*  
[https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG\\_12\\_255\\_DS.pdf](https://www.trojanbattery.com/pdf/datasheets/SSIG_12_255_DS.pdf) Consulta: 8 de agosto de 2020.

Para el sistema utilizará una batería solar monoblock de plomo-ácido abierta de la marca *Trojan Signature*, son baterías inundadas de ciclo profundo que proporcionan un rendimiento sobresaliente día tras días. Están diseñadas para ofrecer el máximo rendimiento sostenido una larga vida útil y una mayor energía. Las baterías Trojan son adecuados tanto para sistemas aislados como conectados a la red eléctrica.

La compañía de baterías Trojan es uno de los líderes respecto a la fabricación a nivel mundial de baterías de ciclo profundo, con más de 85 años de experiencia en fabricación, sobresalientes por su liderazgo e innovación, lo cual hace que actualmente en los mercados mundiales de baterías de ciclo profundo comprende muchas aplicaciones tales como vehículos marinos, energía renovable, entre otros.

#### **5.1.5. Dimensionamiento del sistema de regulación de carga**

Para un correcto funcionamiento del sistema solar fotovoltaico, entre los paneles fotovoltaicos y las baterías se debe instalar un sistema de regulación de carga (regulador), teniendo como función principal impedir que la batería siga recibiendo energía una vez alcanzada su carga máxima, como segunda función evitar la sobre descarga de la batería.

Las características importantes de un regulador de carga a considerarse en el diseño fotovoltaico son los siguientes: la tensión de trabajo, la cual se refiere a la tensión que hemos fijado para la instalación fotovoltaica; la intensidad máxima de entrada (que es la proporcionada por los paneles fotovoltaicos); y la intensidad máxima de salida, que es la que necesita la entrada del siguiente elemento, en este caso el inversor.



El voltaje de operación de regulador se establece por medio de parámetros de funcionamiento. Debido a que en Guatemala aún no existan normas técnicas para instalaciones solares fotovoltaicas, se utilizara como referencia las condiciones de trabajo aceptadas internacionalmente, conocidas como condiciones estándar de medida (CEM o STC, del inglés, *Standard Test Conditions*), la cual corresponde a una intensidad de luz radiante de 1 000 W/m<sup>2</sup>, masa de aire AM 1,5 y una temperatura de celular de 25 °C.

En este apartado se mide la potencia máxima ( $P_p$ ) que puede suministrar el panel, la corriente de corto circuito ( $I_{sc}$ ) y el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ). Para efectuar el cálculo de estas tensiones de trabajo utilizaremos ecuaciones que relacionen la temperatura y la irradiancia, tomando en cuenta las especificaciones del panel fotovoltaico a utilizarse.

Para calcular la máxima corriente que debe soportar el regulador de carga representado por  $I_{entrada}$  debe ser equivalente a la máxima intensidad de corriente que es capaz de suministrar el sistema fotovoltaico. Debido a los aumentos de las corrientes y voltajes que proporcionan los paneles fotovoltaicos en condiciones medioambientales, la corriente de línea de generador debe tener un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico, de igual forma superior a la corriente en la línea de consumo, por esta razón la corriente de cortocircuito debe multiplicarse por 1,25, como factor de seguridad para evitar así daños ocasionales en el regulador, para ello utilizamos la siguiente expresión:

Ec. 6<sup>67</sup>

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{MOD,SC} * N_p$$

---

<sup>67</sup> ALONSO, José. *Boletín solar fotovoltaica autónoma*. p. 13.

Donde:

$I_{entrada}$  : máxima corriente que el regulador debe soportar

$I_{MOD,SC}$  : corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico

$N_p$  : número de ramas conectadas en paralelo

- Datos del panel fotovoltaico policristalino de 150 W marca ATERSA
  - Tensión máxima de potencia ( $V_{mp}$ ) : 17,84 V
  - Tensión de circuito abierto ( $V_{OC}$ ) : 22,60 V
  - Coeficiente de temperatura de tensión de circuito abierto ( $V_{OC}$ ) ( $\beta$ )- 0,32 % / °C.
  - Corriente de cortocircuito ( $I_{SC,mod}$ ) : 8,69 A.
  - Número de paneles fotovoltaicos ( $N_{p,mod}$ ): 1 panel fotovoltaico.

Para el cálculo de la intensidad de corriente de entrada del regulador utilizamos la ecuación 6 y obtenemos el siguiente valor:

$$I_{entrada} = 1,25 (I_{MOD,SC} * N_p) = 1,25 (8,69 * 1) = 10,86 A$$

Se debe elegir un regulador con valor comercializado inmediatamente superior a 10,86 A.

Ahora se procede a calcular la corriente de salida del regulador de carga, para ello se utilizan las potencias de las cargas del sistema, tanto en corriente directa como en corriente alterna, además se aplicará un factor de seguridad de 1,25 con el objetivo de prevenir daños que pueda sufrir el regulador, empleando la siguiente expresión:

Ec.7<sup>68</sup>

$$I_{salida} = \frac{1,25 * \left( P_{DC} + \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{BAT}}$$

Donde:

$I_{salida}$ : corriente de salida del regulador

$P_{DC}$ : potencia de las cargas en corriente continúa

$P_{AC}$ : potencia de las cargas en corriente alterna

$\eta_{inv}$ : eficiencia del inversor

$V_{BAT}$ : voltaje de la batería

Dado que el sistema solar por diseñarse solo alimentará cargas en corriente alterna, la ecuación 7 se simplifica de la siguiente manera:

Ec.8

$$I_{salida} = \frac{1,25 * \left( \frac{P_{AC}}{\eta_{inv}} \right)}{V_{BAT}}$$

Para calcular la corriente de salida del regulador de carga, en base a la tabla de consumos, las cargas en corriente alterna tienen un valor de 140 W, la eficiencia del inversor es del 90 % y el voltaje de la batería corresponde a 12 V DC, con estos datos procedemos a calcular la corriente empleando la ecuación 8 y se obtiene lo siguiente:

$$I_{salida} = \frac{1,25 * \left( \frac{140 \text{ W}}{0.90} \right)}{12 \text{ V}} = 16,20 \text{ A}$$

---

<sup>68</sup> ALONSO, José. *Boletín solar fotovoltaica autónoma*. p. 13.

Conociendo el valor de la corriente de entrada y salida del regulador de carga, obtenidos de los respectivos cálculos anteriormente, se procede a seleccionar el regulador de carga para el sistema solar fotovoltaico, el cual se presenta a continuación:

Tabla XII. **Especificaciones del regulador por utilizarse en el sistema fotovoltaico diseñado**

<b>Controlador de carga BlueSolar PWM-LCD&amp;USB 12/24-20 Victron Energy</b>	
<b>BlueSolar PWM controlador de carga</b>	<b>12/24-20</b>
Tensión de la batería:	12/24 V, con detección automática de la tensión de entrada
Corriente de carga nominal	20 A
Desconexión automática de las cargas consumidoras	Si
Tensión solar máxima	28V / 55V <sup>(1)</sup>
Autoconsumo	< 10 mA
Salida de carga	control manual + desconexión por baja tensión + temporizador
Protección	Inversión de la polaridad de la batería (fusible), cortocircuito de salida y sobre temperatura
Protección contra sobre descarga	Desconexión tras 60 segundos en caso de alcanzar el 130 % de carga
	Desconexión tras 5 segundos en caso de alcanzar el 160 % de carga
	Desconexión inmediata en caso de cortocircuito
Puesta a tierra	Positivo común
Rango de temperatura de funcionamiento	-35 a + 60 °C (carga completa)
Humedad sin condensación	Max. 95%
<b>BATERÍA</b>	
Tensión de carga de absorción	Ajuste de fábrica: 14,4 V / 28,8 V
Tensión de carga de flotación <sup>(2)</sup>	Ajuste de fábrica: 13,7 V / 27,4 V
Desconexión de carga por baja tensión	Ajuste de fábrica: 11,2 V / 22,4 V
Reconexión de carga por baja tensión	Ajuste de fábrica: 12,6 v / 25,2 V
<b>USB</b>	
Tensión	5 V

Continuación de la tabla XII.

Corriente	2 A (total de 2 salidas)
<b>CARCASA</b>	
Clase de protección	IP20
Tamaño de los terminales	6mm <sup>2</sup> / AWG <sub>10</sub>
Peso	0,15 Kg
Dimensiones (al x an x p)	96 x 169 x 36 mm (3,8 x 6,7 x 1,4 pulgadas)
<b>NORMAS</b>	
Seguridad	EN 60335-1, IEC 62109-1
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-3, ISO 7637-2
Para 12 v utilice paneles solares de 36 celdas. Para 24 v utilice paneles solares de 72 celdas, o 2 de 36 celdas en serie. Para 48 v utilice 2 paneles solares de 72 celdas o 4 de 36 celdas en serie.	(2) El controlador conmuta al nivel de tensión de flotación 2 horas después de alcanzada la tensión de absorción. Siempre que la tensión de la batería caiga por debajo de 13 V, se inicia un nuevo ciclo de carga.

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el Catálogo Victron Energy.

Figura 59. **Regulador de carga BlueSolar PWM-LCD&USB 12/24V**  
**Victron Energy**



Fuente: Catálogo Victron Energy. *Controlador de carga BlueSolar PWM-LCD&USB 12/24V y 48V*. [www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-Charge-Controllers-12-24V-LCD&USB-ES.pdf](http://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-Charge-Controllers-12-24V-LCD&USB-ES.pdf). Consulta: 16 de agosto de 2020.

El regulador de carga solar Victron, dispone de una pantalla de cristal líquido que permite una mejor observación, su configuración es de forma segura y rápida, además es un regulador compatible tanto para baterías AGM, GEL, litio, como para baterías de plomo ácido abierto. También dispone de puertos USB de carga para cualquier dispositivo móvil.

Otra característica importante de este tipo de regulador es que podemos programarlo tanto de día como de noche, las cargas conectadas a la salida del regulador, de tal forma que permita llevar cabo un reajuste al ON-time luego del crepúsculo, de tal manera que el funcionamiento del sistema solar sea optimizado.

Es aconsejable que la instalación del regulador sea realizada por un profesional o alguien con conocimientos básicos al respecto, sin embargo la configuración es sencilla se deben seguir las indicaciones y los parámetros de programación del regulador para que sea compatible con el resto de elementos del sistema solar fotovoltaico.

También se recomienda que la instalación del regulador se realice sobre una superficie plana horizontal, localizada en el interior de la vivienda o en un lugar protegido de las temperaturas altas, luz solar directa y humedad, los cuales afectan su funcionamiento correcto.

#### **5.1.6. Dimensionamiento del sistema inversor**

Para el dimensionamiento de este sistema, se especifican las siguientes características de operación más destacables de los inversores:

- Tipo de forma de onda (cuadrada, onda modificada o senoidal).
- El voltaje de entrada.
- El voltaje de salida.
- La potencia de salida. Referida como potencia continua de operación ( $P_{inv}$ ).
- La capacidad de sobrecarga.
- La regulación de tensión de salida.
- Frecuencia de operación.
- El rango de voltaje de entrada
- La eficiencia del inversor.

Al igual que el dimensionamiento del sistema de captación de energía y el sistema de acumulación, los cuales se diseñan para satisfacer la demanda diaria

de los consumos, el dimensionamiento del inversor es para satisfacer la demanda de potencia (en régimen estable) máxima de los consumos, potencia del inversor en servicio continuo,  $P_{inv}$ , que es equivalente al valor máximo de la sumatoria de las potencias de todos los equipos de la instalación, que pueden funcionar al mismo tiempo.

Para situaciones no previstas de funcionamiento simultáneo en los consumos de gran magnitud, es aconsejable algún sobredimensionamiento de la potencia del inversor en servicio continuo, empleando un factor de seguridad de un 20 %.

Los inversores de potencia se dimensionan primeramente calculando la potencia en servicio continuo  $P_{inv}$ , seguidamente se calcula la corriente de entrada del inversor, en este caso sería la corriente de salida del regulador de carga.

Para calcular la potencia en servicio continuo, se utiliza la siguiente expresión:

Ec.9<sup>69</sup>

$$P_{inv} = 1,20 * P_{AC}$$

Donde:

$P_{AC}$  : potencia de cargas totales (W)

1,20: factor de seguridad

Utilizando la ecuación 9 obtenemos el valor de la potencia en servicio continuo para el sistema.

---

<sup>69</sup> ALONSO, José. *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*. p. 14.



$$P_{inv} = 1,20 * 140 W = 168 W$$

La corriente de entrada del inversor se calculó en la sección 5.1.5, el cual hace referencia a la corriente de salida del regulador de carga, el valor que se obtuvo fue de 16,20 A. Con estos datos se procede a dimensionar el inversor que vamos a emplear en el sistema solar fotovoltaico aislado, el cual se muestra en la siguiente tabla con los datos de la ficha técnica que proporcione el fabricante.

Tabla XIII. **Especificaciones técnicas del inversor seleccionado para el sistema fotovoltaico**

Marca	Samlex America 250 W
Modelo	SAM-250-12
<b>ENTRADA</b>	
Voltaje de la batería del sistema	12 VDC
Voltaje nominal de entrada	12,5 VDC
Rango del voltaje de entrada	10,5 a 15,0 ( $\pm 0,5$ ) VDC
Corriente de entrada en energía continua	22,3 – 24,2 A
Corriente de entrada sin energía	0,2 – 0,3 A
<b>SALIDA</b>	
Salida del voltaje en forma de onda	Onda sinusoidal modificada
Voltaje de salida	115 VCA
Regulación de voltaje de salida	+10% / -2 %
Frecuencia de salida	60 Hz $\pm$ 5%
Salida de corriente continua (carga resistiva)	250 W
Salida de corriente para picos (<1 seg, carga resistiva)	500 W
Punto más alto de eficiencia (A 50% de energía continua)	90 %
Puerto de carga usb	5 VCD, 2,1 Amps
<b>PROTECCIONES</b>	
Alarma de baja entrada de voltaje	Si (10,8 $\pm$ 0,3 VCD)
Sobre voltaje	Regulado por un controlador PWM
Apagado de baja entrada de voltaje	10,5 $\pm$ 0,3 VCD
Apagado de alta entrada de voltaje	Si (>15,5 VCD)
Apagado de sobrecarga	Se cierra en condiciones de apagado. Reinicio manual al presionar el botón ON/OFF (Encendido/Apagado)
Apagado de alta temperatura	Si (auto-reinicio)
Ventilador de enfriamiento, a carga controlada, encendido a	8 a 12 W
Protección de fuga	Si (apagado)

Continuación de la tabla XIII.

<b>CONEXIONES</b>	
Fusible de entrada interna, 32 V	30 A
Conexión de entrada	Tuerca y tornillo
Conexión de salida- No. De recipientes NEMA5-15R	1
Puerto de control remoto	No
<b>GENERAL</b>	
Rango de temperatura de operación	0 °C a 25 °C a 100 % de carga; 26 °C a 35 °C a 80% de carga. 32°F a 77°F a 100 % de carga; 78.8°F a 95°F a 80% de carga.
Humedad de operación	< 80%
Unión del chasis neutral	No. El neutral es flotante
Dimensiones, mm (LxAnchxAlt)	150x114,4x46
Dimensiones, pulgadas (LxAnchxAlt)	5,9x4,5x1,8
Peso, Kg	0,42
Peso, Lb	92

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013 con base en el catálogo SamlexAmerica.

Figura 60. **Inversor de onda sinusoidal modificada de 250 watts marca SamlexAmerica**



Fuente: Samlexamérica. *Inversor de onda sinusoidal modificada de 250 watts.*  
[www.samlexamerica.com/products/ProductDetail.aspx?pid=143](http://www.samlexamerica.com/products/ProductDetail.aspx?pid=143). Consulta: 08 de septiembre de 2020.

Los inversores de DC a AC de onda sinusoidal modificada de alta eficiencia y baja interferencia de la serie SAM convierten los 12 V DC en 115 V AC a una frecuencia de salida de 60 Hz.

Estos inversores de potencia de onda sinusoidal modificada son ideales para alimentar equipos de oficina, televisores, herramientas eléctricas, sistemas de iluminación para automóviles, camiones, botes y sistema solar o batería.

Son inversores fiables y efectivos. La serie SAM cuentan con un puerto de carga USB, su diseño es compacto, ventilador de enfriamiento controlado por carga, alarma de entrada de batería baja, circuito de protección universal

(térmico, batería, sobrecarga, cortocircuito, falla a tierra), tecnología de arranque suave, modo de ahorro de energía, su tecnología es de baja interferencia.

Además, el tipo de inversor seleccionado debe tener la capacidad de soportar los picos de potencia o en servicio discontinuo, y los picos de potencia transitoria, la cuales se presentan al conectar equipos de alto consumo, como las herramientas eléctricas.

### **5.1.7. Conexión y cableado del sistema fotovoltaico**

En los apartados anteriores se han dimensionado los componentes del sistema solar fotovoltaico aislado, tales como el número de paneles fotovoltaicos, el número de baterías, el tipo de regulador de carga y el inversor. En este punto se dimensionará tanto el cableado como la conexión que comunica a todos los componentes de la instalación a diseñarse.

Es muy importante elegir una sección adecuada del conductor, debido a que una mala elección puede implicar una caída de tensión más elevada en el conductor, lo cual se interpreta en un aumento de corriente y su respectivo aumento en la temperatura. Un incremento de temperatura puede influir tanto en un peligro de incendio, como también en el deterioro del material aislante que recubre al conductor, aumentando la posibilidad de un cortocircuito.

Es fundamental separar el voltaje que alimenta a los circuitos de corriente directa (panel fotovoltaico, batería, regulador e inversor) y el voltaje que alimenta al circuito de corriente alterna, establecidos bajo normas eléctricas.

En el sistema de captación de energía, conformada por los paneles fotovoltaicos, la intensidad de corto circuito ( $I_{MOD,SC}$ ), proporcionada por la ficha

técnica de los fabricantes, se incrementa al aumentar la irradiancia y la temperatura. Por tal motivo, la intensidad máxima generada por los paneles fotovoltaicos debe estar sobredimensionada en relación con la intensidad de cortocircuito, por esta razón se aconseja que el diseño tenga un sobredimensionamiento del 25 %.

Por este motivo, la intensidad máxima generada por los paneles fotovoltaicos se calcula multiplicando la corriente de corto circuito por un factor de seguridad de 1,25. Para el sistema fotovoltaico el cual transporta corriente eléctrica que provienen de los paneles fotovoltaicos, deben permitir el paso de una intensidad mínima o igual a 10,86 A.

Por otra parte, la tensión en circuito abierto ( $V_{oc}$ ) de los paneles fotovoltaicos, va a aumentar si la temperatura desciende, ante ello, la tensión de circuito abierto puede sobrepasar el valor proporcionado por el fabricante.

Teniendo en cuenta lo anterior, la tensión máxima de los paneles fotovoltaicos en circuito abierto debe multiplicarse por un factor de seguridad, por lo general 1,25. Para el sistema empleando el panel fotovoltaico (ATERSA 150W), la tensión máxima del panel corresponde al valor de 28,25 V. Tomando como referencia el valor anterior, se procede a seleccionar el tipo de aislamiento de los conductores.

Los conductores que transportan la energía entre el sistema de acumulación y el sistema inversor se diseñan para soportar la intensidad máxima que puede absorber el inversor, por esta razón también se emplea un sobredimensionamiento utilizando un factor de seguridad de 1,25, con la capacidad de soportar los picos de intensidad que se presentan al conectar las cargas.

Al dimensionar el sistema fotovoltaico aislado, es muy importante tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Circuitos eléctricos: es muy importante conocer los diferentes circuitos eléctricos que conforman el sistema fotovoltaico, de igual forma tomar en consideración las caídas de tensión, entre los que mencionamos:
  - El sistema panel-regulador de carga: la tensión de trabajo es de 12 V de corriente continua, el cableado a utilizarse en este tramo puede ser bipolar bajo tubo o a la intemperie, la caída de tensión permitida es del 3 % máximo y 1,5 % recomendado.
  - El sistema de regulador de carga-baterías: la tensión de trabajo es de 12 V de corriente continua, el cableado por utilizarse en este tramo son unipolares al aire, la caída de tensión permitida es del 1,5 %.
  - El sistema de baterías-inversor: la tensión de trabajo es de 12 V de corriente continua, el cableado para este tramo se puede utilizar cables unipolares al aire o bajo canaletas, la caída de tensión permitida es del 1,5 %.
  - La carga en AC: tensión de trabajo es de 120 V de corriente alterna, por cada línea se utiliza cable bipolar empotrado o bajo canaleta y la caída de tensión permitida es del 3 %.
  - Protección: los conductores que transportan la energía en el sistema fotovoltaico, deben cumplir con normas o reglamentos electrotécnicos en baja tensión, para este sistema fotovoltaico

habrá que regirse por el reglamento español electrotécnico Real Decreto 842/2002 edición actualizada para 2021.

Después de que se hayan identificado los circuitos eléctricos principales en el sistema fotovoltaico, el siguiente paso es tomar en consideración los dispositivos de desconexión y protección correspondientemente a cada circuito eléctrico mencionado. Para esto se utiliza fusibles e interruptores como protección tanto para los equipos como para el usuario.

Un fusible es un alambre que se quema cuando pasa una corriente eléctrica que sobrepasa el valor máximo permitido, por tal motivo se abre el circuito, protegiendo tanto a los conductores como a los dispositivos contra sobrecargas y cortocircuitos.

Es aconsejable situar un fusible entre el circuito del sistema de captación de energía-sistema de regulación de carga, otro entre el sistema de regulación de carga-sistema de acumulación, otro entre el sistema de acumulación y el sistema inversor.

Los interruptores solares son diseñados específicamente para interrumpir la corriente directa (DC) como máximo 1 000 voltios. En el sistema fotovoltaico los interruptores deben ser robustos, tener la capacidad de interrumpir dichos voltajes y corrientes, esto lo hace ser un dispositivo ideal para la conmutación en el sistema fotovoltaico.

Cableado: las conexiones deben realizarse de la mejor manera y seguras, para que el sistema fotovoltaico funcione correctamente, de tal manera que el sistema tenga una larga vida útil, empleando los dispositivos de protección para que el mantenimiento pueda realizarse de manera segura.

Una correcta selección tanto de los conductores como de los calibres aumenta el rendimiento y confiabilidad del sistema fotovoltaico, de tal manera que las caídas de tensión sean menores al 3 % en todos los circuitos del sistema.

Hay que tener presente que, el cableado de los paneles fotovoltaicos con el regulador de carga, comúnmente se localiza en la intemperie. Por tal motivo el cable debe de ser resistente a la humedad y a la radiación ultravioleta. Se recomienda realizar el tendido del cableado sujeto a muros o paredes existentes (grapas o canaletas), de igual forma pueden ir enterrados (bajo tubos) cuando no existan elementos en la vivienda para facilitar la sujeción.

Otro aspecto por tomar en cuenta es la respectiva identificación de la polaridad tanto del conductor como de la terminal a conectarse. Para circuitos que operen con corriente directa utilizaremos para la polaridad positiva (rojo), para la polaridad negativa (negro). Para circuitos de corriente alterna podemos utilizar los siguientes, para la fase (negro, marrón o gris), para neutro (azul) y para la toma de tierra (amarillo o verde).

El lugar donde se instalará el sistema solar fotovoltaico, la temperatura ambiente no supera los 40 °C, por tal motivo no es necesario considerar el factor de corrección por temperatura, para el cableado del sistema.

Las normas de los cables eléctricos para su respectiva elección se emplean la CENELEC HD-21 juntamente con la UNE-21031, tanto los cables como los conductores eléctricos se representan por medio de un formato de siglas, establecido una parte por letras y otra por números, cada uno con un significado específico que contienen la siguiente información:



Letra inicial: la representación inicia con una letra para dar a entender lo siguiente:

- H: indica que el cable está bajo las condiciones de la norma europea
- A: indica que el cable corresponde un tipo nacional reconocido

Tensión: seguidamente se incluye un número para indicar la tensión del cable.

- “03: El voltaje nominal del cable es de 300 V
- 05: El voltaje nominal del cable es de 300/500 V.
- 07: El voltaje nominal del cable es de 450/750 V”<sup>70</sup>

Material de aislamiento y cubierta: enseguida se coloca una letra que representa tanto el aislamiento como la cubierta del conductor.

- B: aislante termoestable de etileno propileno (EPR)
- N: aislante termoestable de neopreno (PCP)
- V: aislante termoplástico de policloruro de vinilo (PVC)
- X: aislante termoestable de polietileno reticulado (XLPE)

Forma del cable:

- H: se coloca al final de la representación del cable, para indicar que son cables planos de tal forma que los conductores pueden separarse.
- H2: letra colocada al final de la representación de cable, para indicar que son cables planos de tal forma que los conductores no pueden separarse.

---

<sup>70</sup> Ingemecanica. *Normas de Designación de los Cables Eléctricos*. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn124.html>. Consulta: 15 de septiembre de 2020.

Conductor: en esta parte se indica el tipo de conductor se incluye separada por un guion del resto de la representación del cable, pueden ser la siguiente manera:

- U: Para instalación Unipolar con conductor rígido
- R: Para instalación de diversos alambres cableados con conductor rígido
- K: Para instalación fija con conductor flexible de Clase 5
- F: Para instalación móvil con conductor flexible de Clase 5
- H: Para instalación móvil con conductor flexible de Clase 6<sup>71</sup>

Respecto de la sección de los conductores en corriente continua, se debe conocer lo siguiente: el material que lo constituye (cobre o aluminio), la conductividad del material, la longitud del cable a utilizarse, la corriente que atravesará el conductor y la caída de tensión en sus extremos.

Para el cálculo de la sección de los conductores para corriente directa, emplearemos la siguiente expresión:

Ec.10<sup>72</sup>

$$S = \frac{2LI}{\sigma (V_a - V_b)}$$

Donde:

$L$ : longitud de la conducción

$I$ : la intensidad

$\sigma$ : conductividad eléctrica, para el cobre a 90°C es de 45,49 m/Ω\*mm<sup>2</sup>

$V_a - V_b$ : caída máxima de tensión

---

<sup>71</sup> Ingemecanica. *Normas de Designación de los Cables Eléctricos*. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn124.html>. Consulta: 15 de septiembre de 2020.

<sup>72</sup> JOACHÍN, Carmencita de Los Ángeles. *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural de Buena Vista, San Marcos*. p. 199.

Se debe incluir el factor de potencia ( $\cos \varphi$ ), para cálculo de corriente alterna, de tal manera que la expresión por utilizar es la siguiente:

Ec.11<sup>73</sup>

$$S = \frac{2LI\cos\varphi}{\sigma (V_a - V_b)}$$

Cálculo de la sección de los conductores para el sistema solar fotovoltaico, se considera el valor de la caída máxima de tensión para todas las líneas ( $V_a - V_b = 1,5 \%$ ).

Una vez calculada la sección del cable, hay que seleccionar un valor normalizado de corriente que pasará por el conductor, utilizando tablas del Reglamento electrotécnico para baja tensión, luego se comprueba el valor de la corriente que será admitida por dicho cable.

Siempre se seleccionará los cables comerciales que se aproximen más a las secciones obtenidas, utilizando siempre el diámetro superior al calculado.

---

<sup>73</sup> JOACHÍN, Carmencita de Los Ángeles. *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural de Buena Vista, San Marcos*. p. 200.

Tabla XIV. Intensidades admisibles (A) al aire a 40 °C. N.º de conductores con carga y naturaleza de aislamiento

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>A</b>		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
<b>A2</b>		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>B</b>		Conductores aislados en tubos <sup>9)</sup> en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>B2</b>		Cables multiconductores en tubos <sup>9)</sup> en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR			
<b>C</b>		Cables multiconductores directamente sobre la pared <sup>9)</sup>					3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>E</b>		Cables multiconductores al aire libre <sup>9)</sup> . Distancia a la pared no inferior a 0,3D <sup>9)</sup>					3x PVC			2x XLPE o EPR	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR	
<b>F</b>		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>9)</sup> . Distancia a la pared no inferior a D <sup>9)</sup>						3x PVC				3x XLPE o EPR <sup>1)</sup>	
<b>G</b>		Cables unipolares separados mínimo D <sup>9)</sup>									3x PVC <sup>9)</sup>		3x XLPE o EPR
		<b>mm<sup>2</sup></b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
		240				315	350	374	419	455	490	552	711
		300				360	404	423	484	524	565	640	821

Fuente: Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC*. [https://www.boe.es/biblioteca\\_juridica/codigos/codigo.php?id=326\\_Reglamento\\_electrotecnico\\_para\\_baja\\_tension\\_e\\_ITC&tipo=C&modo=2](https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/codigo.php?id=326_Reglamento_electrotecnico_para_baja_tension_e_ITC&tipo=C&modo=2). Consulta: 28 de abril de 2021.

El primer paso para consultar la tabla XIV, es seleccionar el tipo de instalación en la primera columna designada por la letra A – G.

El segundo paso es seleccionar un número del 1-11, en función del sistema, si es trifásica o tripolar con la designación “3x”, monofásica o bipolar con la designación “2x”, además es necesario elegir el tipo de aislamiento del conductor ya sea PVC o XLPE.

El último paso es verificar en la tabla el valor de la corriente máxima que soporta el cable en función de la sección calculada teóricamente, de esta manera encontramos el valor correcto para el conductor.

Cálculo de circuitos de corriente continua:

- Panel fotovoltaico-regulador de carga

Datos:

$$V_{panel,bateria} = 12 V$$

$$L = 8 m$$

$$I_{máx} = 10,86 A$$

$$V_a - V_b = 0,015 * 12 = 0,18 V$$

- Utilizando la ecuación 10, se obtiene el siguiente valor:

$$S = \frac{2 * 8 m * 10,86 A}{45,49 \frac{m}{\Omega * mm^2} (0,18 V)} = 21,22 mm^2 \cong 21 mm^2$$

Esta sería la sección mínima del conductor para cumplir la caída de tensión máxima. Según la tabla XIV el valor obtenido no tiene relación con ninguna sección. Por lo tanto, la sección determinada es de 25 mm<sup>2</sup>.

- Regulador de carga-sistema de acumulación

Datos:

$$V_{regulador,bateria} = 12 V$$

$$L = 3 m$$

$$I_{max} = 10,86 A$$

$$V_a - V_b = 0,015 * 12 = 0,18 \text{ V}$$

Utilizando la ecuación 10, se obtiene el siguiente valor:

$$S = \frac{2 * 3 \text{ m} * 10,86 \text{ A}}{45,49 \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} (0,18 \text{ V})} = 7,96 \text{ mm}^2 \cong 8 \text{ mm}^2$$

Esta sería la sección mínima del conductor para cumplir la caída de tensión máxima. Según la tabla XIV el valor obtenido no tiene relación con ninguna sección. Por lo tanto, la sección determinada es de 10 mm<sup>2</sup>.

- Sistema de acumulación – sistema inversor

Datos:

$$V_{\text{regulador, batería}} = 12 \text{ V}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

$$I_{\text{max}} = 14,26 \text{ A}$$

$$V_a - V_b = 0,015 * 12 = 0,18 \text{ V}$$

Utilizando la ecuación 10, se obtiene el siguiente valor:

$$S = \frac{2 * 3 \text{ m} * 14,26 \text{ A}}{45,49 \frac{\text{m}}{\Omega * \text{mm}^2} (0,18 \text{ V})} = 10,45 \text{ mm}^2 \cong 11 \text{ mm}^2$$

Esta sería la sección mínima del conductor para cumplir la caída de tensión máxima. Según la tabla XIV el valor obtenido no tiene relación con ninguna sección. Por lo tanto, la sección determinada es de 16 mm<sup>2</sup>.

- Cálculo de la sección de los conductores de corriente alterna (cargas)

Iluminación

Datos:

$$V_{inversor,cargas} = 110V$$

$$L = 20 \text{ m}$$

$$I_{max} = 20 \text{ A}$$

$$V_a - V_b = 0,015 * 110 = 1,65 \text{ V}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,9$$

Utilizando la ecuación 11, se obtiene el siguiente resultado:

$$S = \frac{2 * 20m * 20A * 0,9}{45,49 \frac{m}{\Omega * mm^2} * 1,65 V} = 9,59mm^2 \cong 10 mm^2$$

Esta sería la sección mínima del conductor para cumplir la caída de tensión máxima. Según la tabla XIV el valor obtenido tiene relación con la sección de 10 mm<sup>2</sup>.

Tomacorrientes e interruptores

Datos:

$$V_{inversor,cargas} = 110V$$

$$L = 30 \text{ m}$$

$$I_{max} = 20 \text{ A}$$

$$V_a - V_b = 0,015 * 110 = 1,65 \text{ V}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,9$$

Utilizando la ecuación 11, obtenemos el siguiente resultado:

$$S = \frac{2 * 30m * 20A * 0,9}{45,49 \frac{m}{\Omega * mm^2} * 1,65 V} = 14,39 mm^2 \cong 14 mm^2$$

Esta sería la sección mínima del conductor para cumplir la caída de tensión máxima. Según la tabla XIV el valor obtenido no tiene relación con ninguna sección. Por lo tanto, la sección determinada es de 16 mm<sup>2</sup>.

En la tabla XV se muestra la sección del conductor calculado para cada uno de los circuitos que conforman el sistema solar fotovoltaico aislado.

Tabla XV. **Cableado del sistema solar fotovoltaico**

Cableado	Voltaje del sistema (V)	Corriente máxima (A)	Longitud (m)	Caída de tensión admitida (%)	Sección del conductor (mm <sup>2</sup> )
Circuitos en DC					
Panel – Regulador	12	10,86	8	1,5	25
Regulador – Batería	12	10,86	3	1,5	10
Batería – Inversor	12	15,28	3	1,5	16
Circuitos en AC					
Iluminación	110	20	20	1,5	10
Tomacorrientes e interruptores	110	20	30	1,5	16

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

Para un mejor diseño del sistema fotovoltaico aislado, se procede a agrupar el uso del tamaño del cableado para la línea del sistema panel-regulador se empleará la sección del cable 25 mm<sup>2</sup>, para las líneas que corresponde al sistema de regulador-batería y batería-inversor de 10 mm<sup>2</sup>, para las líneas que corresponden a corriente alterna, tanto para iluminación como tomacorrientes 16 mm<sup>2</sup>. Los cuales se especifican en la siguiente tabla.



Tabla XVI. **Sección y tipo de cable para los distintos circuitos del sistema solar fotovoltaico**

Cableado del circuito	Sección (mm <sup>2</sup> )	Tipo de cable
Circuitos de DC		
Panel – Regulador	25	A03VV-F
Regulador - Batería	10	A03VV-F
Batería – Inversor	10	A03VV-F
Circuitos de AC		
Iluminación	16	A03VV
Tomacorrientes	16	A03VV

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

## **5.2. Sistema de generación eléctrica por medio de bicicleta estática**

El segundo sistema de generación eléctrica, corresponde a la bicigeneradora de electricidad, el cual se detalla a continuación.

### **5.2.1. Descripción de un sistema bici generadora**

Una alternativa para un sistema de generación de energía eléctrica, es la implementación de una bici generadora, puesto que utiliza la energía de propulsión humana, a través de un sistema mecánico de pedaleo. Para este sistema se utiliza una bicicleta estática común y corriente, que al conectarse con un generador eléctrico de corriente continua por medio de una correa de transmisión, la energía mecánica producida por el sistema de pedaleo se convierte en energía eléctrica. La corriente debe ser estabilizada por un controlador de carga para que sea almacenada en baterías, seguidamente con la ayuda de un inversor obtenemos corriente alterna para alimentar cargas en AC.

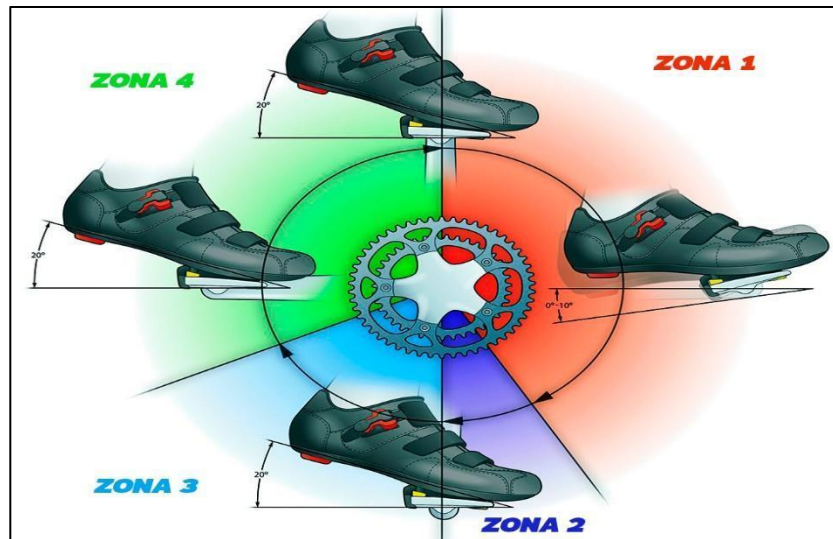
Antes de realizar el diseño de una bici generadora, es importante conocer la mecánica del sistema de generación, el comportamiento del tripulante-generador, y la respectiva selección tanto de los componentes mecánicos como eléctricos que conforman el sistema. Para ello, se explica detalladamente a continuación cada uno de los puntos mencionados.

### **5.2.2. Mecánica del sistema de generación**

El funcionamiento del sistema mecánico de la bicicleta estática, necesita un pequeño impulso en los pedales utilizando la fuerza de las piernas (corresponde a la parte muscular del cuerpo humano que posee mayor potencia).

La bicigeneradora al inicio es accionado por la fuerza que las piernas del tripulante le ejerce a los pedales, con ello se logra transmitir potencia por medio de la cadena y la rueda trasera de la bicicleta, posteriormente este sistema se conecta por medio de un rodillo de fricción a un tren de poleas conectadas al eje del motor DC.

Figura 61. **Consideraciones por tomar en cuenta para un pedaleo perfecto**



Fuente: MundoBici. *4 zonas para entender y lograr así un pedaleo perfecto.*  
[www.mundobici.co/blog/como-optimizar-el-pedaleo-sobre-la-bicicleta/](http://www.mundobici.co/blog/como-optimizar-el-pedaleo-sobre-la-bicicleta/). Consulta: 28 de septiembre de 2020.

Para optimizar el uso de la energía en el pedaleo es importante conocer y entender cada una de las zonas de la figura 61, para aprovechar la mayor cantidad de energía posible en cada revolución del pedaleo. En la zona 1 de la figura corresponde a la zona de mayor actividad del músculo, la clave es cuando el pedaleo se aproxima a la parte más alta del pie debe estar apuntando hacia abajo aproximadamente a  $20^{\circ}$  de inclinación, una vez pasemos debemos dejar caer el talón de tal manera que quede en paralelo al suelo, recomendable unos  $10^{\circ}$  por debajo.

En la zona 2 está la zona de transición, al acercarse a la parte más baja del pedaleo, los dedos deben estar apuntando hacia abajo aproximadamente a uno  $20^{\circ}$  de inclinación, de tal manera que la energía que se desarrolla en la zona 1

se transfiera a los pedales. En la zona 3 se pierde la potencia a causa de que el pedal este empujando el peso de la pierna hacia arriba, la clave en esta zona es hacer que la pierna no interfiera en el movimiento circular del pedal.

En la última zona la clave es, que cuando ya se vaya llegando a la parte más alta del pedaleo se debe iniciar un empuje de rodilla hacia adelante, de esta manera la técnica de pedaleo será aprovechado de la mejor manera.

La fuerza máxima promedio que los adultos pueden generar pedaleando, sin excepción de sexo es aproximadamente de 294,3 N, sin embargo, dicha fuerza se puede emplear por pocos segundos, por esta razón en base a los cálculos se utilizará el valor de la fuerza media promedio que los adultos pueden generar, dicha fuerza es de 205,8 N, con este valor se procede a calcular la potencia que se genera, empleando la siguiente expresión:

Ec.12<sup>74</sup>

$$T = F * L$$

Donde:

*T*: representa al torque

*F*: representa a la fuerza aplicada

*L*: longitud de la biela. Para el sistema es de 18 cm

Sustituyendo los valores en la ecuación 12, se obtiene el siguiente resultado:

$$T = F * L = 205,8 N * 0,18m = 37,04 Nm$$

---

<sup>74</sup> TAPIA, Jhon. *Innovación del diseño de una bicicleta estacionaria como tecnología apropiada para la generación de energía alternativa*. p. 36.

Considerando que la potencia generada por una persona se refiere al trabajo que desarrolla un elemento para poder rotar o desplazar un cuerpo respecto al tiempo. Esta potencia se puede transferir por medio del accionamiento ya sea por un mecanismo o por esfuerzo físico propio, el cual se le efectúa a un cuerpo. La potencia generada la podemos calcular utilizando la siguiente expresión:

Ec.13<sup>75</sup>

$$\dot{W}_M = T * \omega$$

Donde:

$\dot{W}_M$ : Representa a la potencia mecánica

$T$ : par generado por el sistema

$\omega$  : Velocidad angular

De modo que, si el sistema produce una velocidad promedio de pedaleo de 64,04 RPM de acuerdo con las pruebas realizadas, que equivale a 6,706 rad/s y utilizando la ecuación 13, la potencia promedio generada por una persona es la siguiente:

$$\dot{W}_M = 37,04 \text{ Nm} * 6,706 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 248,39 \text{ W}$$

---

<sup>75</sup> LÓPEZ, Robinson. *Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática*. p. 17.

### **87.1.1. Comportamiento tipo tripulante-generador**

Para el sistema es importante determinar el comportamiento que tendrá nuestra variable de análisis, la potencia eléctrica que se genera va a depender de la velocidad que el tripulante pueda desarrollar, para ello se deben conocer:

- Los datos técnicos respecto al generador.
- La relación existente de las velocidades tanto del eje del generador como del volante de inercia.

Los datos técnicos del generador se obtiene por medio de la ficha de información que proporciona el fabricante del generador, en caso contrario si no se cuenta con la ficha técnica, se puede llevar a un taller eléctrico o electromecánico para realizarle pruebas, para verificar a qué velocidad puede cargar las baterías.

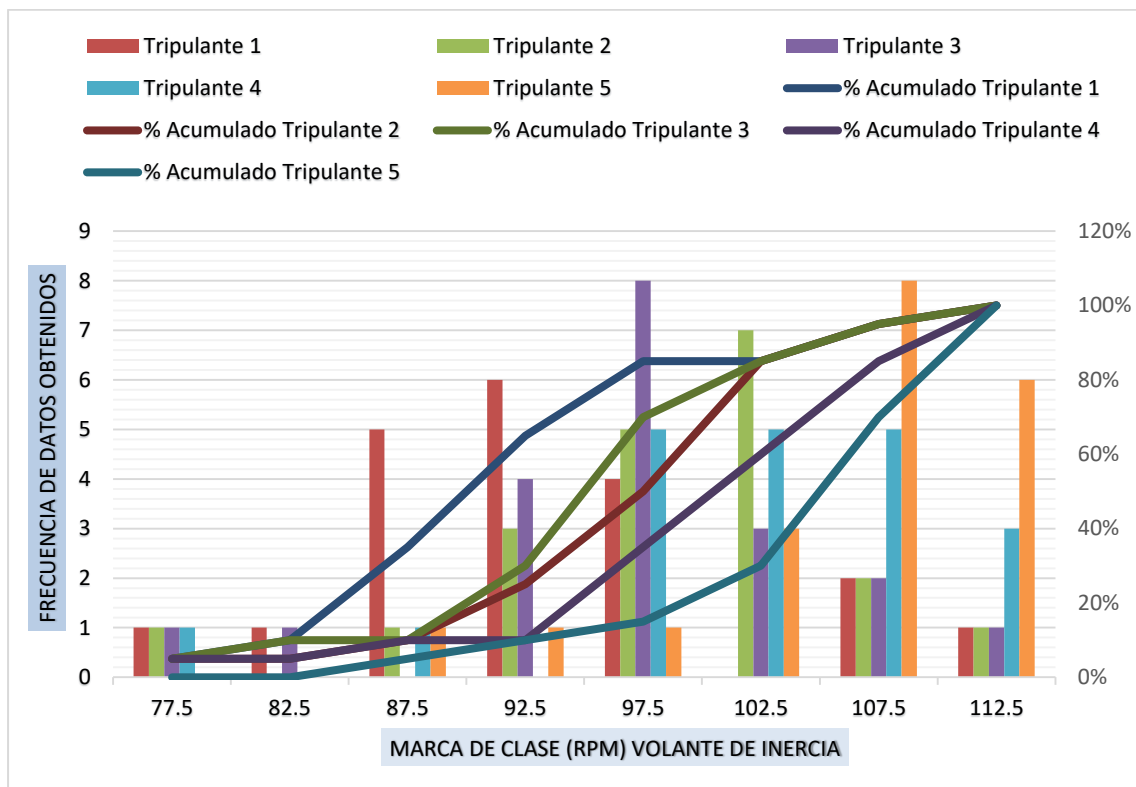
Mientras que, respecto a la relación que existe de acuerdo a las velocidades tanto del generador como del volante de inercia, es necesario conocer los diámetros de los elementos involucrados; para determinar la velocidad de pedaleo se llevó a cabo una prueba de campo con varios tripulantes, en el cual se puede observar el comportamiento de la misma.

#### **5.2.2.1. Desempeño tipo de un tripulante**

La prueba de campo se realizó utilizando el prototipo de la bicicleta estática en una prueba de pedaleo durante 5 minutos. Se contó con la participación de 5 personas en distintas condiciones físicas, la información detallada se muestra en el apéndice 1.

En la figura 62, se muestra el histograma por intervalos y acumulado de la velocidad del volante de inercia de la bicicleta estática para las 5 pruebas realizadas.

Figura 62. **Histograma de velocidad del volante de inercia de la bicicleta estática durante las pruebas realizadas**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Excel 2013.

En el figura 62 se observa que para los tripulantes 1 al 4 inician con una velocidad de 77,5 RPM, el tripulante 5 inicia con una velocidad de 87,5 RPM.

También se puede observar que para el tripulante 1 la mayoría de datos se mantuvo en el rango de 87,5 a 97,5 RPM; para los tripulantes 2 y 3 se

mantuvieron en el rango de 92,5 a 102,5 RPM; el tripulante 4 se mantuvo en el rango de 97,5 a 107,5 RPM; mientras que para el tripulante 5 se mantuvo en el rango de 102,5 a 112,5 RPM. Los datos estadísticos experimentales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla XVII. **Datos muestrales de las pruebas realizadas**

Tripulante	Datos obtenidos	Media	Desviación Estándar
1	20	93,81 RPM (10,61 Km/h)	8,22 RPM (0,93 Km/h)
2	20	98,94 RPM (11,19 Km/h)	8,28 RPM ( 0,94Km/h)
3	20	97,57 RPM (11,01 Km/h)	7,83 RPM (0,93 Km/h)
4	20	101,77 RPM (11,51 Km/h)	7,93 RPM (0,90 Km/h)
5	20	105,97 RPM (11,99 Km/h)	7,15 RPM ( 0,81 Km/h)

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Excel 2013.

De acuerdo a las pruebas realizadas se establece que en una sesión de 5 minutos utilizando la bici generadora de electricidad, la velocidad promedio del volante de inercia de un tripulante esta alrededor de 99,61 RPM.

#### **5.2.2.2. Características de desempeño del acople- generador**

Otro aspecto a considerar en el sistema de generación de energía eléctrica por medio de bici generadora es el desempeño del grupo, acople-generador.



Figura 63. **Acople-generator de la bicicleta estática**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

En la figura 63 se muestra el proceso de transmisión de velocidad que va desde los pedales de la bicicleta hasta el eje del generador, para el prototipo utilizamos un motor de DC de imanes permanentes. Las velocidades tanto del eje del motor DC como del volante de inercia, están relacionadas por los diámetros y los medios de transmisión, en este caso utilizamos un rodillo de fricción como medio de transmisión entre el volante de inercia y el eje del tren de poleas, seguidamente esta potencia se transmite al eje del motor por medio de un tren de poleas utilizando fajas como medios de transmisión.

Mientras que, para las velocidades del volante de inercia y de los pedales de la bicicleta estática están relacionadas a partir del número de dientes de los engranajes, por esta razón el medio de transmisión que se utilizará para esta parte corresponde a una cadena. Para ello utilizamos ecuaciones, los cuales se determinarán en el apartado 5.2.4.2.

### **5.2.3. Selección de los componentes del sistema Bici generadora**

Una vez descritas las respectivas generalidades del sistema de generación por medio de la bicicleta estática, se especifican los aspectos considerados para seleccionar cada uno de los componentes tales como: la bicicleta estática, el sistema de transmisión, el generador, sistema de acumulación, tipo de faja de transmisión, soporte trasero de la bicicleta y cableado del sistema.

#### **5.2.3.1. Selección del tipo de bicicleta estática**

El sistema bici generadora de electricidad está formado por, una bicicleta fija o estática, igual que una bicicleta normal que tiene la misma función de ser utilizada como un medio de transporte sano, ecológico y sostenible.

En el caso de la bicicleta estática, lo que transporta es la fuerza y el esfuerzo que realizamos al recorrer una distancia determinada, del mismo modo como si se recorriera en una bicicleta normal.

La mayoría de las bicicletas estáticas se componen de consolas, sillín, sensores, volante o rueda, pedales, correas, rueda para desplazamiento. Para el diseño se utiliza una bicicleta común, no sufrirá modificaciones a su estructura, el neumático trasero quedará suspendido en el aire por medio de un soporte, de tal forma que se convierta en un sistema estático, el neumático trasero se acopla a un sistema de transmisión de potencia, un sistema de generación y, por último, un sistema de acumulación, los cuales se describen más adelante.

Se optó por utilizar una bicicleta común y corriente, debido a varios factores, entre los que mencionamos el factor precio, considerando que una bicicleta de

spinning usada tiene un precio que va desde los Q2 500,00 hasta los Q8 000, 00 en cambio que una bicicleta común tiene un precio que va desde los Q400,00 hasta los Q1 000,00. Otro factor por tomar en consideración es el mantenimiento, debido a que para una bicicleta de spinning el mantenimiento es elevado en comparación con una bicicleta común, además en lo que corresponde a repuestos, es más fácil adquirir repuestos para una bicicleta común, que para una bicicleta de spinning.

Figura 64. **Bicicleta común seleccionada para el diseño**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

#### **5.2.3.2. Selección del sistema de transmisión de potencia**

Con el propósito de aprovechar de manera eficiente el espacio y la potencia disponible, se establece un sistema de transmisión de potencia que no requiere de ajustes ni transformaciones complejas a la estructura de cualquier bicicleta

común. El diseño del sistema de transmisión planteado se observa en la siguiente figura.

Figura 65. **Sistema de transmisión de potencia de bicicleta estática**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

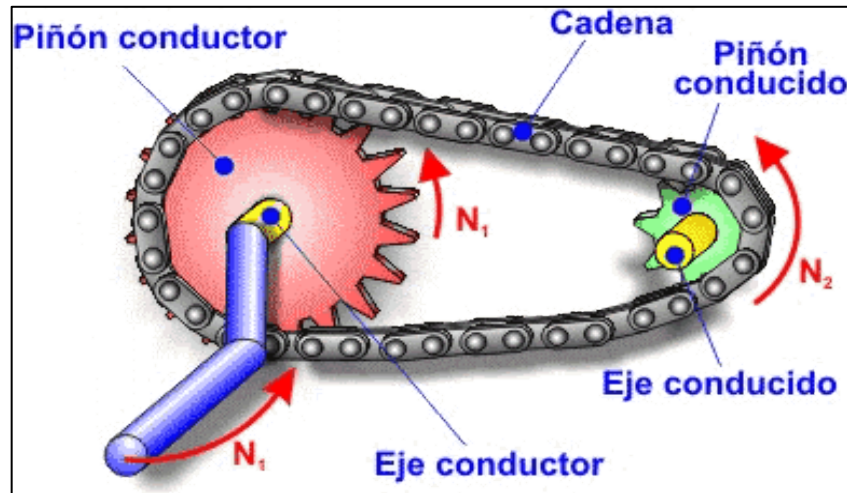
En la figura 65 se muestra el proceso de transmisión de potencia de la bici generadora de electricidad, el cual inicia a partir de los pedales hasta llegar al eje del motor DC, a través de una relación de transmisión que está formado por un piñón de entrada de 28 dientes y un piñón de salida de 18 dientes, en esta parte el medio de transmisión que se utiliza, corresponde a una cadena de rodillos, de tal forma que logre entregar la potencia en la rueda trasera de la bicicleta, el cual tendrá la función de volante de inercia, con un diámetro de 60 cm.

La rueda trasera transmite velocidad angular y torque al rodillo de fricción, en el eje del rodillo se acopla un piñón de 16 dientes que por medio de una cadena transmite potencia a otro piñón de 16 dientes acoplado al eje del tren de poleas, utilizando correas como medios de transmisión, la polea acoplada al eje del motor DC tiene un diámetro de 10,5 cm.

Para implementar la bicicleta estática como sistema de generación de electricidad se requiere las características de funcionamiento del motor DC, el cual genera corriente eléctrica a partir de un determinado número de revoluciones por minuto como mínimo, por otro lado, cuando se logra superar estas revoluciones el valor de la corriente incrementará. En las pruebas realizadas mostraron que las corrientes se generan una vez que se supere las 100 RPM.

Esto obliga a establecer que la relación de transmisión pueda alcanzar dicha velocidad a partir de velocidades bajas. Las velocidades percibidas en las pruebas de cada tripulante, son bases para calcular la velocidad del eje del motor DC, de tal manera que podamos determinar la relación de transmisión y el cálculo de las revoluciones, de manera que se pueda concluir si se encuentra dentro del rango de generación de energía eléctrica.

Figura 66. Sistema de transmisión piñón-cadena



Fuente: S.A. Cadena-piñón. [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_cadena-pinion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cadena-pinion.htm). Consulta: 20 de octubre de 2021.

En la figura 66 podemos observar el sistema de transmisión piñón-cadena, este sistema permite transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes paralelos, de tal manera que se pueda modificar la velocidad, pero no el sentido de giro, En este caso el sistema utilizará una cadena de rodillos.

Las revoluciones alcanzadas en los pedales aumentarán o disminuirán, de acuerdo a la relación de transmisión establecida en el sistema, las cuales se determinan utilizando la siguiente ecuación:

Ec.14<sup>76</sup>

$$N_1 * Z_1 = N_2 * Z_2$$

<sup>76</sup> TAPIA, Jhon. *Innovación del diseño de una bicicleta estacionaria como tecnología apropiada para la generación de energía alternativa*. p. 37.

Donde:

$N_1$ : número de revoluciones del piñón conductor

$Z_1$ : número de dientes del piñón conductor

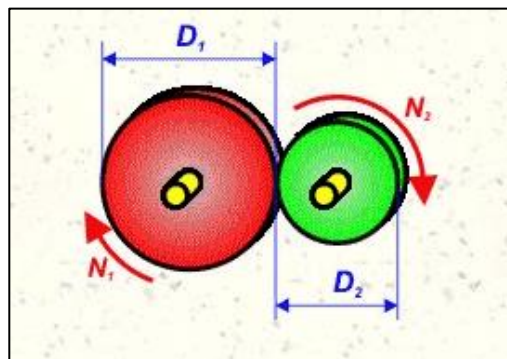
$N_2$ : número de revoluciones del piñón conducido

$Z_2$ : número de dientes del piñón conducido

La norma ANSI estandarizó las cadenas de rodillos con respecto a sus tamaños. Las dimensiones de las cadenas han sido establecidas por dos series, la serie americana y la serie europea.

Las revoluciones se transmiten del piñón conductor al piñón conducido por medio de una cadena de transmisión, esta energía se transmite al volante de inercia, la cual puede ser transformada en otro tipo de energía por medio de alguna máquina o elemento con la capacidad de aprovechar dicha energía, tal es el caso de un generador el cual aprovecha la energía mecánica del sistema y lo convierte en energía eléctrica.

Figura 67. **Sistema de transmisión por ruedas de fricción**



Fuente: S.A. *Ruedas de fricción*. [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec\\_rueda\\_friccion.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_rueda_friccion.htm). Consulta: 21 de octubre de 2021.

En la figura 67 se observa el sistema de transmisión utilizando ruedas de fricción, estos sistemas están conformados por dos ruedas con sus respectivos ejes, de tal manera que se encuentren en contacto directo, por esta razón el movimiento se transmite de una rueda a otra por medio de la fricción o rozamiento, para el sistema la rueda de mayor tamaño corresponde al volante de inercia el cual tiene un valor de 60 cm y el rueda de menor tamaño corresponde al rodillo de fricción con un valor de 6,05 cm.

La persona que se encuentra realizando la actividad física en la bici generadora, puede observar variables como el voltaje y la corriente generados respectivamente, los cuales se miden instantáneamente a través de la implementación de los elementos de medición.

Por otra parte, al momento de terminar la actividad física se puede observar la velocidad del volante de inercia, la velocidad máxima del volante de inercia, las calorías quemadas y la distancia recorrida, esto debido a que el elemento de medición se encuentra ubicado en la parte trasera de la bicicleta estática.

Para la determinación de las RPM del volante de inercia del sistema, se utiliza un elemento de medición, que corresponde a un velocímetro inalámbrico marca JING YI, en el anexo B se muestra su instalación, el cual proporcionara la velocidad (Km/h) del tripulante, posteriormente se realizara la conversión para obtener la velocidad en RPM, utilizando la siguiente ecuación:

Recordando que el movimiento rotacional se representa como:  $V = \omega R$ , de tal manera que la velocidad angular en términos de RPM se determina entonces como:



Ec.15<sup>77</sup>

$$N = \frac{30 V}{3,6 \pi R}$$

Donde:

*N*: RPM

*V*: velocidad tangencial en (Km/h)

*R*: radio del volante de inercia (m)

Para la medición de la corriente y el voltaje que se está generando, utilizamos un voltímetro-amperímetro digital, este dispositivo opera en un rango de 0 a 100 V DC, con una escala de 0 a 10 A DC.

Con este dispositivo logramos monitorear el voltaje y corriente generada instantáneamente por el motor DC hacia el sistema de acumulación formado por una batería solar. De tal manera que el tripulante al momento de utilizar la bici generadora podrá observar los valores tanto de voltaje como de corriente mientras realiza la actividad física.

Por otra parte, conociendo las RPM del volante de inercia procedemos a calcular las RPM del rodillo de fricción utilizando la siguiente ecuación:

Ec.16<sup>78</sup>

$$N_1 * \emptyset_1 = N_2 * \emptyset_2$$

---

<sup>77</sup> LÓPEZ, Robinson. *Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática*. p. 36.

<sup>78</sup> *Ibíd.* p. 23.

Tomando como referencia la ecuación 16, se modificara los subíndices para no crear contradicciones con los subíndices de la ecuación 14, de tal forma que la ecuación a utilizar para las RPM del rodillo de fricción es la siguiente:

Ec. 17

$$N_3 * \phi_3 = N_4 * \phi_4$$

Donde:

$N_3$ : Revoluciones alcanzadas en el volante de inercia

$\phi_3$ : Diámetro del volante de inercia

$N_4$ : Revoluciones alcanzadas por el rodillo de fricción

$\phi_4$ : Diámetro del rodillo de fricción

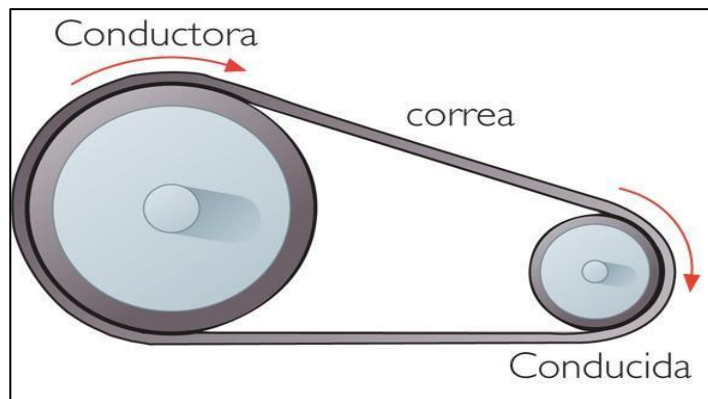
Es importante hacer mención que en el eje del rodillo de fricción esta acoplado un piñón de 16 dientes, de igual forma en el primer eje del tren de poleas se acopla otro piñón de 16 dientes, con ello se logra transmitir potencia del rodillo de fricción al tren de poleas por medio de una cadena de rodillos, tal y como se observa en la figura 68.

Figura 68. **Sistema de transmisión de rodillo de fricción al tren de poleas**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

Figura 69. **Sistema de transmisión de potencia por poleas**



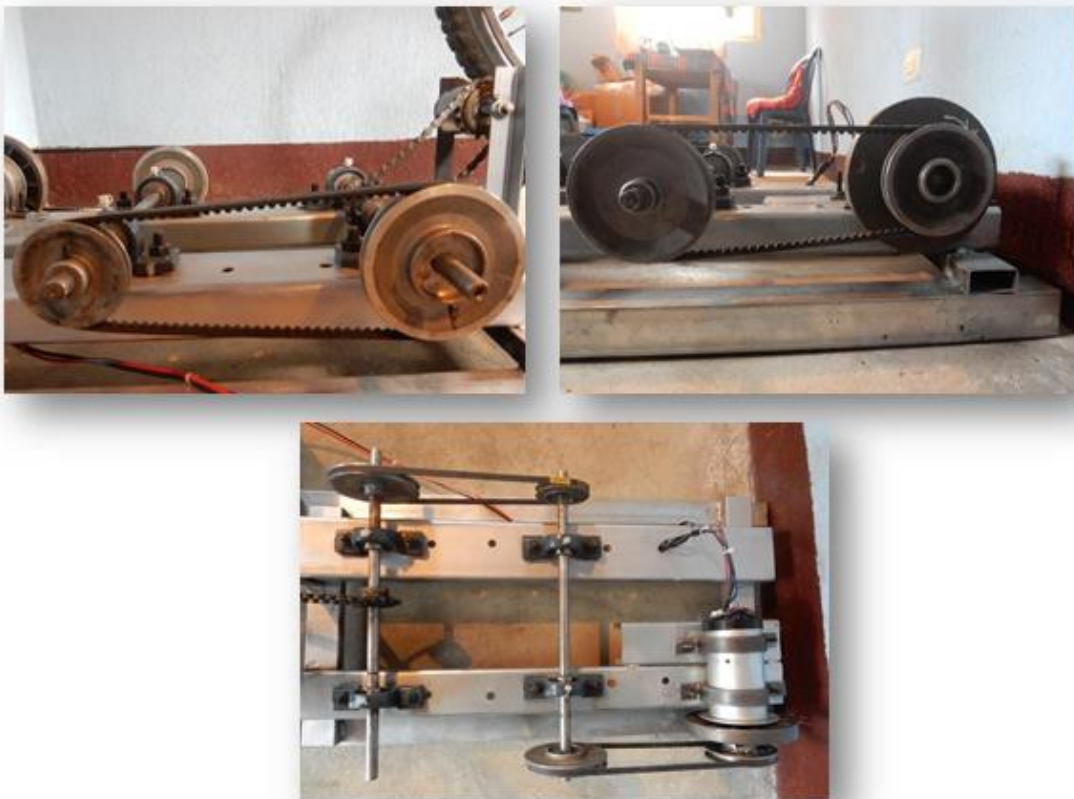
Fuente: Liceo. *Conjunto polea-correa*. [www.liceoedoballe.blogspot.com/p/conjunto-polea-correa.html](http://www.liceoedoballe.blogspot.com/p/conjunto-polea-correa.html). Consulta: 22 de octubre de 2021.

En la figura 69 se muestra un ejemplo del sistema de transmisión de potencia por poleas, en el cual la polea de mayor diámetro corresponde a la conductora y la polea de menor diámetro corresponde a conducida, con este tipo de sistema logramos aumentar las RPM del sistema.

El prototipo del diseño del sistema de generación está conformado por un tren de poleas, el cual se divide en 2 sistemas de transmisión; el primer sistema lo conforma una polea conductora de 12,45 cm y una polea conducida de 8,30 cm, utilizando como medio de transmisión una faja; la relación de transmisión en este sistema es de 1,5.

El segundo sistema de transmisión lo conforma una polea conductora de 12,45 cm y una polea conducida de 10,50 cm, utilizando como medio de transmisión una faja; la relación de transmisión en este sistema es de 1,19; en este sistema la polea conducida va acoplada al eje del motor DC.

Figura 70. **Sistemas de transmisión del tren de poleas**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

En la figura 70 observamos los sistemas de transmisión que conforman al tren de poleas del diseño, en la figura superior izquierda corresponde al primer sistema de transmisión, la figura superior derecha corresponde al segundo sistema de transmisión y en la parte inferior corresponde al tren de poleas.

Para el diseño del tren de poleas utilizamos 4 chumaceras de 5/8 de pulgada y 2 ejes de 5/8 de pulgada, montados sobre una estructura metálica, con ello logramos que el sistema sea lo más estable posible.

Conociendo cada uno de los elementos que conforman los sistemas de transmisión del diseño, procedemos a calcular las RPM de ambos sistemas de transmisión, utilizando como referencia la ecuación 16, que se muestra a continuación:

Ec.16

$$N_1 * \phi_1 = N_2 * \phi_2$$

Tomando como referencia la ecuación 16, se modificaron los subíndices para no crear contradicciones con los subíndices de la ecuación 14, de tal forma que la ecuación a utilizar para las RPM del primer sistema de transmisión del tren de poleas, es la siguiente:

Ec. 18

$$N_5 * \phi_5 = N_6 * \phi_6$$

Donde:

$N_5$ : Revoluciones de la polea conductora 1

$\phi_5$ : Diámetro de la polea conductora 1

$N_6$ : Revoluciones de la polea conducida 1

$\phi_6$ : Diámetro de la polea conducida 1

Tomando como referencia la ecuación 16, se modificaron los subíndices para no crear contradicciones con los subíndices de la ecuación 14, de tal forma que la ecuación a utilizar para las RPM del segundo sistema de transmisión del tren de poleas, es la siguiente:

Ec.19

$$N_7 * \phi_7 = N_8 * \phi_8$$

Donde:

$N_7$ : revoluciones de la polea conductora 2

$\phi_7$ : diámetro de la polea conductora 2

$N_8$ : revoluciones de la polea conducida 2 (eje del motor DC)

$\phi_8$ : diámetro de la polea conducida 2 (eje del motor DC)

Para aprovechar de una mejor manera la energía cinética rotacional que se genera en la bicicleta estática, se adapta un generador eléctrico (Motor DC) el cual entregará una potencia eléctrica al sistema de acumulación, el cual se obtiene utilizando la siguiente expresión:

Ec.20<sup>79</sup>

$$\dot{W}_E = V * I$$

Donde:

$P_e$  : potencia eléctrica (watts)

$V$  : voltaje (voltios DC)

$I$  : corriente (amperios DC)

Toda transmisión de potencia genera pérdidas. Para determinarla se calcula la eficiencia del sistema, utilizando la siguiente expresión:

Ec.21<sup>80</sup>

$$\eta = \frac{\dot{W}_E}{\dot{W}_M}$$

---

<sup>79</sup> LÓPEZ, Robinson. *Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática*. p. 18.

<sup>80</sup> Ibid.

Al conocer los parámetros descritos del sistema de transmisión de potencia de la bici generadora, y utilizando las respectivas ecuaciones, se procede a calcular cada uno de estos parámetros.

La velocidad promedio del volante de inercia de acuerdo a las pruebas realizadas por los tripulantes es de 99,61 RPM, recordando que la velocidad angular del volante de inercia es la misma que la del piñón conducido al estar acoplado a mismo eje, por esta razón el piñón conducido ( $N_2$ ) es de 99,61 RPM, además que el número de dientes del piñón conducido ( $Z_2$ ) es de 18 y el número de dientes del piñón conductor ( $Z_1$ ) es de 28, procedemos a calcular la velocidad del piñón conductor utilizando la ecuación 14, despejando  $N_1$ , obtenemos el siguiente valor:

$$N_1 * Z_1 = N_2 * Z_2$$

$$N_1 = \frac{N_2 * Z_2}{Z_1} = \frac{99,61 \text{ RPM} * 18}{28} = 64,04 \text{ RPM}$$

La velocidad  $N_1$  corresponde al piñón conductor del sistema piñón-cadena de la bicicleta estacionaria, dicho de otra manera, corresponde a la velocidad de pedaleo del sistema.

Conociendo las RPM del volante de inercia, procedemos a calcular las RPM del rodillo de fricción, recordando que ( $N_3$ ) corresponde a la velocidad del volante de inercia, ( $\emptyset_3$ ) corresponde al diámetro del volante de inercia con un valor de 60 cm; además ( $\emptyset_4$ ) corresponde al diámetro del rodillo de fricción con un valor de 6,05 cm y utilizando la ecuación 17, despejando ( $N_4$ ), obtenemos el siguiente valor:



$$N_3 * \varnothing_3 = N_4 * \varnothing_4$$

$$N_4 = \frac{N_3 * \varnothing_3}{\varnothing_4} = \frac{99,61 \text{ RPM} * 60}{6,05} = 987,87 \text{ RPM}$$

Al determinar las RPM del rodillo de fricción y recordando que dicho eje tiene acoplado un piñón de 16 dientes; además el primer eje del tren de poleas tiene acoplado un piñón con la misma cantidad de dientes, concluimos que la velocidad del rodillo es la misma que el eje del primer sistema de transmisión por poleas.

Recordando que ( $N_5$ ) corresponde a la velocidad de la polea conductora “1” con un valor de 987,87 RPM, ( $\varnothing_5$ ) es el diámetro de la polea conductora “1” con un valor de 12,45 cm; además ( $\varnothing_6$ ) corresponde al diámetro de la polea conducida “1” con un valor de 8,30 cm y utilizando la ecuación 18, despejando ( $N_6$ ), obtenemos el siguiente resultado:

$$N_5 * \varnothing_5 = N_6 * \varnothing_6$$

$$N_6 = \frac{N_5 * \varnothing_5}{\varnothing_6} = \frac{987,87 \text{ RPM} * 12,45}{8,30} = 1481,80 \text{ RPM}$$

Con la velocidad de la polea conducida “1”, procedemos a calcular la velocidad de la polea conducida “2” (acoplada al eje del motor DC). Recordando que ( $N_7$ ) corresponde a la velocidad de la polea conductora “2” con un valor de 1481,80 RPM, ( $\varnothing_7$ ) es el diámetro de la polea conductora “2” con un valor de 12,45 cm; además ( $\varnothing_8$ ) corresponde al diámetro de la polea conducida “2” con un valor de 10,5 cm y utilizando la ecuación 19, despejando ( $N_8$ ), obtenemos el siguiente resultado:

$$N_7 * \phi_7 = N_8 * \phi_8$$

$$N_8 = \frac{N_7 * \phi_7}{\phi_8} = \frac{1481,80 \text{ RPM} * 12,45}{10,5} = 1756,99 \text{ RPM}$$

La velocidad promedio de la polea conducida "2" tiene un valor de 1756,99 RPM, la cual corresponde a la velocidad del eje del motor DC de imanes permanentes que utiliza en el prototipo del diseño. De esta manera se concluye que el sistema bici generadora se encuentra dentro del rango de generación de energía eléctrica, debido a que superando las 100 RPM, el motor DC empieza a generar energía eléctrica.

Por último se procede a calcular la potencia eléctrica promedio del sistema bici generadora las cuales se obtuvieron de las pruebas realizadas por cada uno de los tripulantes, el promedio del voltaje es de 15,34 V (DC) y la corriente es de 4,89 A (DC). Para calcular la potencia del sistema se utiliza la ecuación 20, obteniendo el siguiente resultado:

$$\dot{W}_E = V * I = 15,34 \text{ V} * 4,89 \text{ A} = 75,01 \text{ Watts}$$

Conociendo la potencia mecánica y la potencia eléctrica del sistema, podemos calcular la eficiencia del sistema, utilizando la ecuación 21, obtenemos el siguiente resultado:

$$\eta = \frac{\dot{W}_E}{\dot{W}_M} = \frac{75,01}{248,39} * 100 = 30,20 \%$$

Esto representa a las pérdidas debido a la fricción y a los diversos factores eléctricos que intervienen en la generación de electricidad a través del motor DC de imanes permanentes.

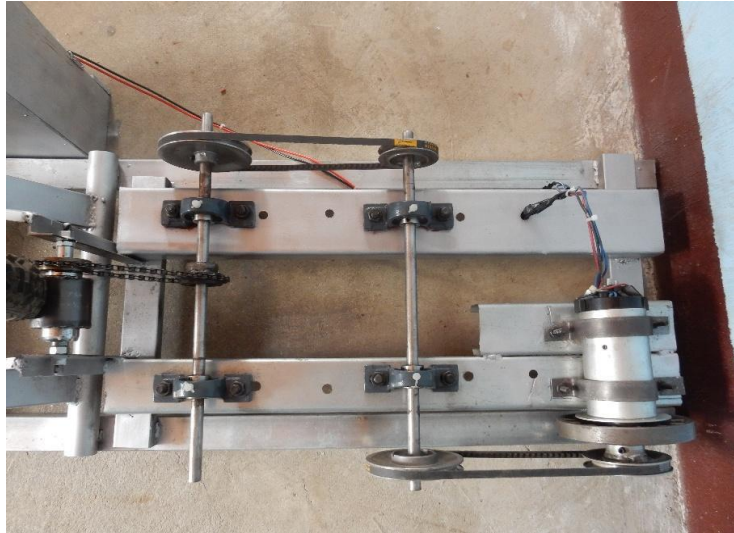
En el apartado 5.2.5, se muestra las gráficas del comportamiento de las variables de análisis para el diseño del sistema de generación, en la cual se puede observar la corriente generada, el voltaje generado y la potencia generada en la prueba física que tiene una duración de 5 minutos.

### **5.2.3.3. Selección del generador y sistema de acumulación**

Para el desarrollo del sistema bici generadora, se utilizó un motor DC de imanes permanentes modelo A17225N003 con las siguientes características: 95 V DC, 18 A y 2,25 HP. Este tipo de motor opera a través de corriente continua y está conformado por 4 cables, uno de color negro que indica la polaridad negativa, uno de color rojo que indica la polaridad positiva, además 2 cables de color azul los cuales van a la conexión del control de velocidad por parte de la máquina caminadora.

Para el diseño se utiliza únicamente el cable de color rojo indicando la polaridad positiva del sistema y el cable de color negro indicando la polaridad negativa, en la figura 71 se muestra el motor DC de imanes permanentes empleado en el prototipo.

Figura 71. **Vista del sistema de generación por medio de un tren de poleas y motor DC imanes permanentes**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

El motor DC implementado se instaló sobre una estructura metálica, el cual permite que el motor se encuentre estable en todo momento a toda la estructura, por medio de unas abrazaderas de metal en ambos extremos de la carcasa del motor, además se le acoplo una polea de 10,50 cm de diámetro a su eje y por medio de una correa de transmisión al tren de poleas, de tal forma que su montaje no modifica ni altera en gran medida la estructura de la bicicleta estática del sistema como se observa en la siguiente figura.

Figura 72. **Motor DC de imanes permanentes**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

En la figura 72 se muestra el motor DC que se utilizó en el sistema de la bici generadora. Este motor en su estructura interna como tal no sufrió ninguna modificación, sin embargo, lo único que se modificó a su estructura externa fue la polea acoplada al eje del motor.

Por otra parte, respecto al sistema de almacenamiento de energía, para el sistema por diseñarse se utilizó una batería solar tipo gel de 30 Ah, tal y como se muestra en la figura 73, esta batería presenta características que brindan una exigencia de pedaleo cómodo para el tripulante, puesto que la corriente de carga recomendada para una batería debe ser la décima parte de su capacidad.

De tal forma que la batería por utilizarse debe tener una corriente recomendada alrededor de 3,0 A, también de acuerdo a las pruebas físicas realizadas, se determinó que la corriente promedio que se genera es de 4,89 A,

de esta forma comprobamos una correcta selección del sistema de acumulación del diseño.

Figura 73. **Batería SUNLIGHT**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

La corriente que genera el motor DC es de corriente continua, por tal razón es importante incorporar un sistema de regulación de carga al sistema de acumulación de energía, el dispositivo utilizado en el prototipo es un controlador de carga solar de 12/24 V y 10 A.

Con este dispositivo logramos monitorear el flujo de energía que proviene del motor DC hacia la batería, de tal forma que la carga sea efectiva logrando alargar su vida útil, al incorporar este dispositivo en el diseño, se tendrá un sistema de protección de la batería contra sobrecargas y sobre descargas, como puede observar en la siguiente figura.

Figura 74. **Sistema de regulación de carga de la batería**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

#### **5.2.3.4. Selección de tipo de sistema de transmisión**

Respecto al sistema de transmisión de potencia entre el volante de inercia de la bici generadora (llanta trasera de la bicicleta estática) y la polea de acople del eje del motor DC, utilizamos varios sistemas de transmisión para obtener de manera eficiente más RPM en el motor.

Primeramente se utilizó un sistema de transmisión de potencia entre los pedales de la bicicleta y el volante de inercia, empleando en este caso una cadena de rodillos.

Seguidamente utilizamos otro sistema de transmisión de potencia por ruedas de fricción, conformado por el volante de inercia y un rodillo metálico, además en el eje del rodillo se acoplo un piñón de 16 dientes, juntamente con otro piñón con la misma cantidad de dientes en el primer eje del tren de poleas,

utilizando como medio de transmisión una cadena de rodillos, con el objetivo de transferir la potencia del volante de inercia al sistema de poleas.

El tren de polea está conformado por 2 sistemas de transmisión de potencia, utilizando poleas de aluminio tipo "A" de ½ pulgada de canal de diferentes diámetros y fajas tipo "A" de ½ pulgada de grosor como medio de transmisión entre cada bloque, con el objetivo de aumentar las RPM en el motor DC del diseño.

En la figura 75 se muestra cada uno de los sistemas de transmisión de potencia que conforman la bici generadora de electricidad, iniciando con la transmisión de piñón-cadena, volante de inercia-rodillo de fricción, rodillo de fricción con eje del tren de poleas, sistema de polea "1" y sistema de polea "2", estos sistemas en conjunto aumentan la RPM del sistema de generación.



Figura 75. **Sistemas de transmisión de la bici generadora**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

#### **5.2.3.5. Diseño del soporte trasero de la bicicleta estática**

Respecto del soporte de la bicicleta estática, el cual es un soporte tanto para suspender como para estabilizar la rueda trasera, en la actualidad existen varios tipos de soportes, unos se fabrican de metal, de madera, de tubos PVC y otras utilizan una base de madera con rodillos.

Para el sistema bici generadora, se utiliza metal para la fabricación del soporte de la bicicleta estática, se eligió este material por la razón que en muchos talleres de herrería lo utilizan como material reciclado a bajo precio; la otra razón fue respecto a la sencillez de conseguir las piezas de metal en dichos talleres, dado que en cualquier lugar podemos encontrar algún taller de herrería.

Lo más importante para la elaboración del soporte de la bici generadora, es que, una vez tengamos todas las piezas solo es cuestión de medirlas, cortarlas y unir las por soldadura, el ensamble se realiza en la base metálica por medio de tornillos con sus tuercas.

Los equipos utilizados para la fabricación fueron, sierra, cinta métrica, martillo, limas, pulidoras, barreno y equipo de soldadura.

Primero se utilizan dos caños de metal de diámetro de 1 ½" y una longitud de 18", los cuales se utilizaran como base del soporte, a un caño se le soldara 2 varillas rectangulares (1" por 2" y una longitud de 13 ½") con una distancia de 8" entre cada varilla; el otro caño se le soldara 2 varillas rectangulares (1" por 2" y una longitud de 17") con una distancia de 8" entre cada varilla; luego se formara un triángulo con las estructuras ya mencionadas con una distancia de 10 ½" entre caños para unir las varillas rectangulares por soldadura utilizando 4 pedazos de metal de 3" por 1 ½".

Las varillas rectangulares de mayor longitud se les perforara a una distancia de 3 cm de la parte superior hacia abajo, en el cual se soldara una tuerca de 5/8", para colocar una varilla roscada de 5/8" con una longitud de 6", con el objetivo de formar una manecilla, en un extremo de la varilla se le colocara un copa de 5/8" para sostener el eje de la bicicleta.

Seguidamente el soporte de la bici generadora ya fabricada, se colocara sobre 2 varillas cuadradas (2" por 2" y una longitud de 47") con el objetivo de sujetar el soporte de la bicicleta estática con la base de la estructura del tren de poleas.

La base del tren de poleas está conformado por 2 varillas rectangulares (2" por 1" y una longitud de 17"), 2 varillas rectangulares (3" por 2" y una longitud de 31") y 4 varilla angulares (1" por 1" y una longitud de 9") esta última es para sujetar el rodillo de fricción con la base del tren de poleas; lo descrito anteriormente se observa en la siguiente figura.

Figura 76. **Pasos para la elaboración del soporte de la bici generadora**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

### **5.2.3.6. Cableado del sistema bicigeneradora**

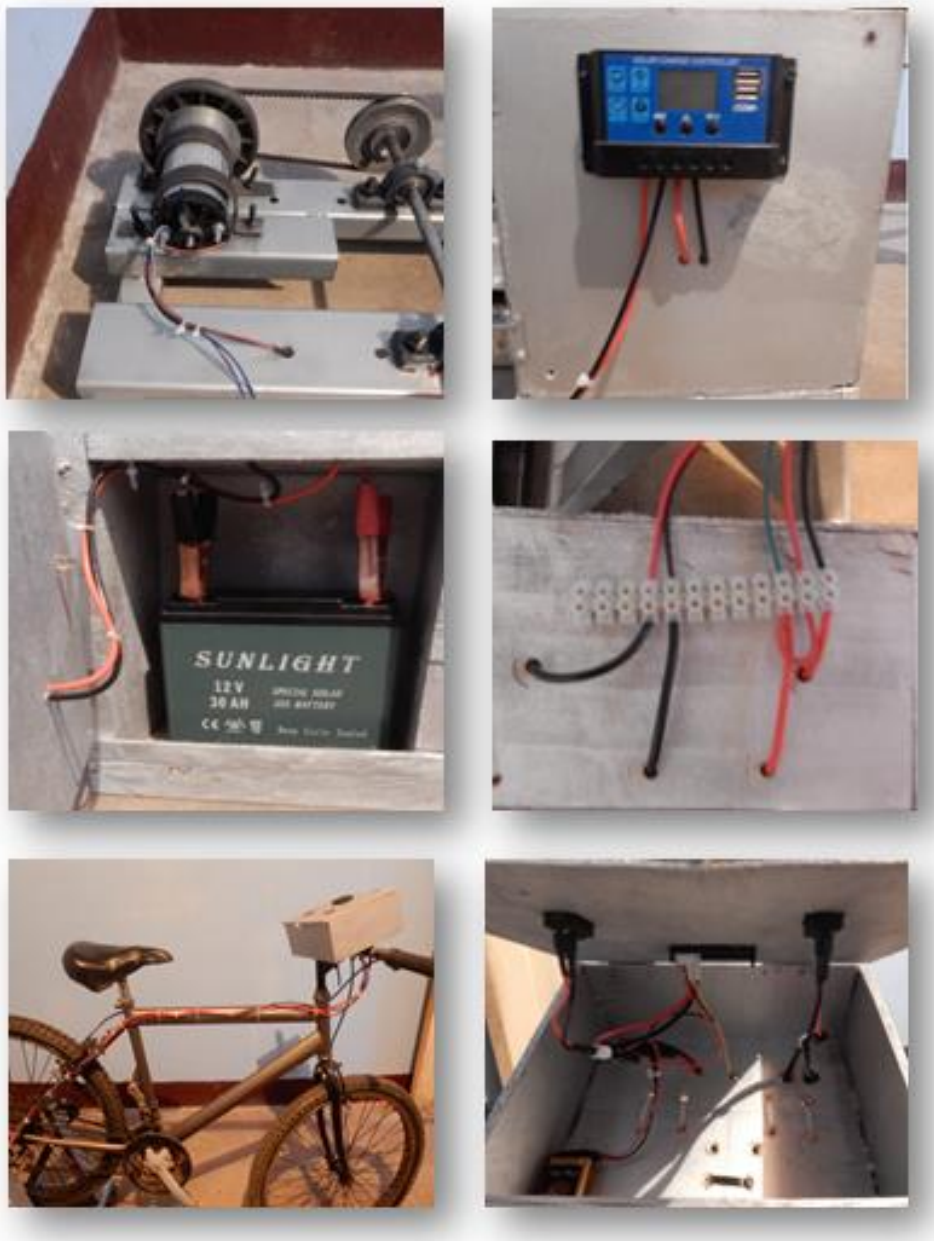
Para la realización del cableado del sistema bici generadora de electricidad, el cual está formado por 3 circuitos, un circuito de mando, un circuito de control de carga y un circuito de generación de energía.

Se utilizó cable automotriz calibre 12 para las conexiones del motor DC de imanes permanentes al controlador de carga, para las conexiones del voltímetro-amperímetro digital se utilizó calibre 14, para el interruptor de encendido se utilizó calibre 12 y para las conexiones del controlador de carga a la batería calibre 12.

Además, se colocó un diodo unidireccional entre la terminal positiva del motor DC y el controlador de carga, para que la corriente fluya hacia esta, con el ánodo conectado al terminal positivo del motor y el cátodo conectado al terminal positivo del controlador de carga solar en el símbolo de panel solar positivo, esto permitirá que la corriente fluya en un solo sentido, de tal manera que el sistema no pueda descargarse cuando esté inactivo.

En la figura 77 se observan las respectivas conexiones de los circuitos del sistema bicigeneradora, entre los que se menciona, el cableado del motor DC con el controlador de carga, las conexiones del circuito de control y el cableado del controlador de carga con el sistema de almacenamiento de energía.

Figura 77. Cableado del sistema bicigeneradora

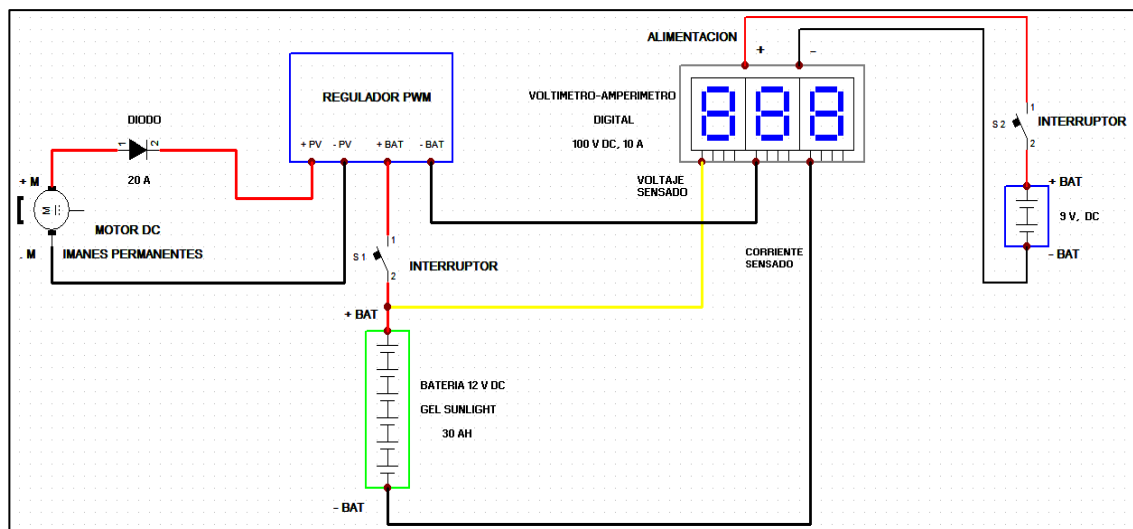


Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

En la figura 78 se muestra el diagrama de conexión del sistema bici generadora de electricidad, en el cual para que el sistema funcione es necesario activar primeramente el interruptor de alimentación del voltímetro-amperímetro digital (S<sub>2</sub> en el diagrama), al estar activo este dispositivo de medición se procede a activar el interruptor de encendido del sistema (S<sub>1</sub> en el diagrama), esto nos indica que el sistema está listo para funcionar.

El diseño del sistema incorpora un regulador de carga solar, el cual tiene la función de controlar la carga que proviene del sistema de generación al sistema de acumulación, con el objetivo de proteger la batería contra sobrecargas y sobre descargas.

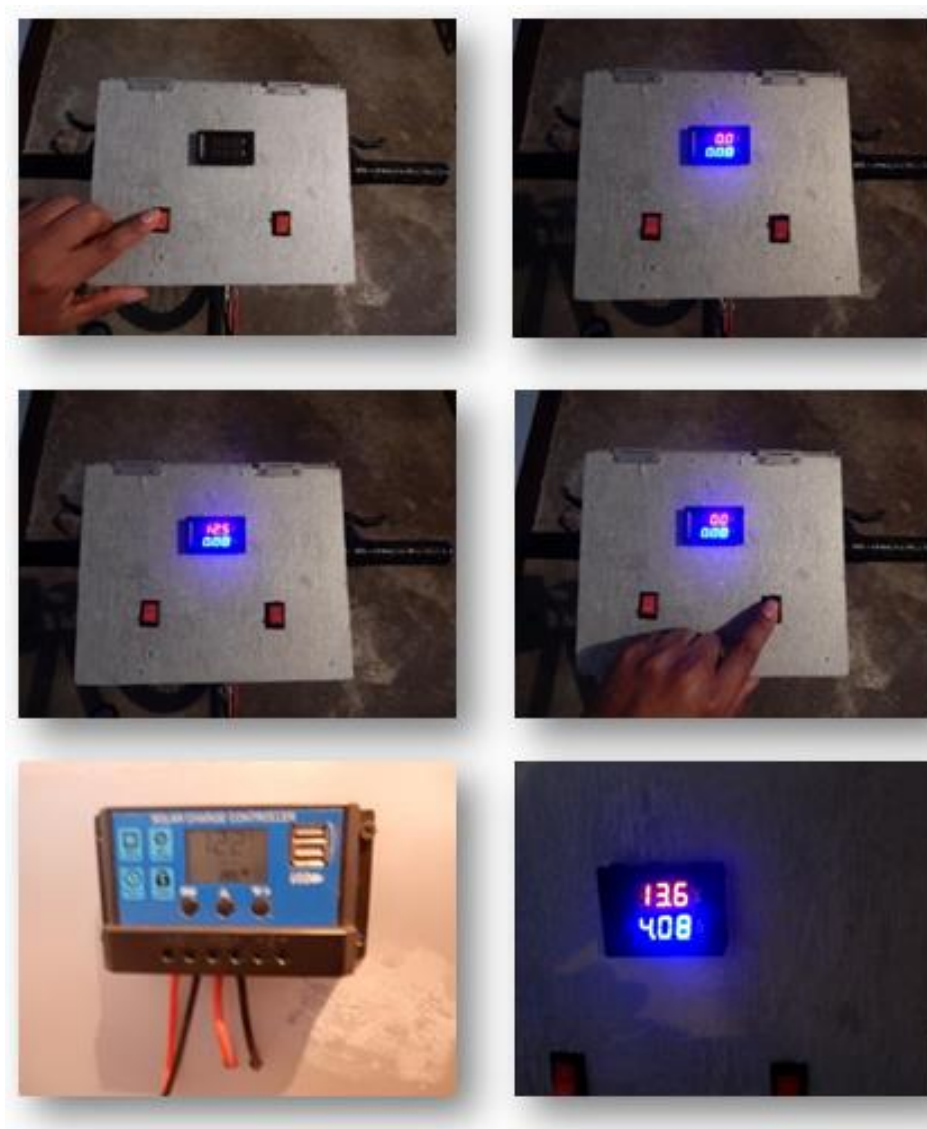
Figura 78. Diagrama de conexión de la bicigeneradora



Fuente: elaboración propia, utilizando CADe\_SIMU versión 3.0.

En la figura 79 se muestra el circuito de control de la bicigeneradora de electricidad, el cual está formado por un voltímetro-amperímetro digital de corriente directa y dos interruptores de 20 A.

Figura 79. **Funcionamiento del circuito de control de la bici generadora**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900 con base en el trabajo de campo.

El funcionamiento del circuito de control de la bici generadora de acuerdo a la figura 79, iniciamos presionando el interruptor del lado izquierdo, el cual alimentara al dispositivo de medición, en este caso un voltímetro-amperímetro digital, al estar activo nos muestra en el *display* el estado actual del sistema de acumulación; seguidamente presionamos el segundo interruptor, localizado al lado derecho del mando, este tiene la función de encendido y apagado del sistema de generación, al estar activo este interruptor podremos observar que se enciende el *display* del controlador de carga, indicando que la bici generadora esta lista para operar.

Al momento que el tripulante este pedaleando, podrá observar en el mando de control la corriente y el voltaje generado por el sistema.

#### **5.2.4. Tiempo para cargar el sistema de acumulación**

Para la implementación del sistema de la bici generadora de electricidad, es importante estimar cual será la energía que puede generar el sistema en determinados intervalos de tiempo, de acuerdo a las pruebas realizadas por los 5 tripulantes presentan un valor promedio de generación de 75,01 Watts, la duración de la prueba es de 5 minutos, los cuales se tomaron datos cada 15 segundos, utilizando el velocímetro y el voltímetro-amperímetro digital.

La prueba realizada requiere de un esfuerzo físico de nivel intermedio, dicho con otras palabras a lo largo de la prueba el tripulante no llegará al límite de la fatiga, de tal manera que la energía eléctrica suministrada en la prueba sea de manera eficiente.

Por tal motivo es importante conocer la tendencia del voltaje, la corriente y la potencia que el sistema pueda generar durante la realización de la prueba



física, las siguientes gráficas están en función de los valores promedios de la tabla XVIII, que se muestra a continuación.

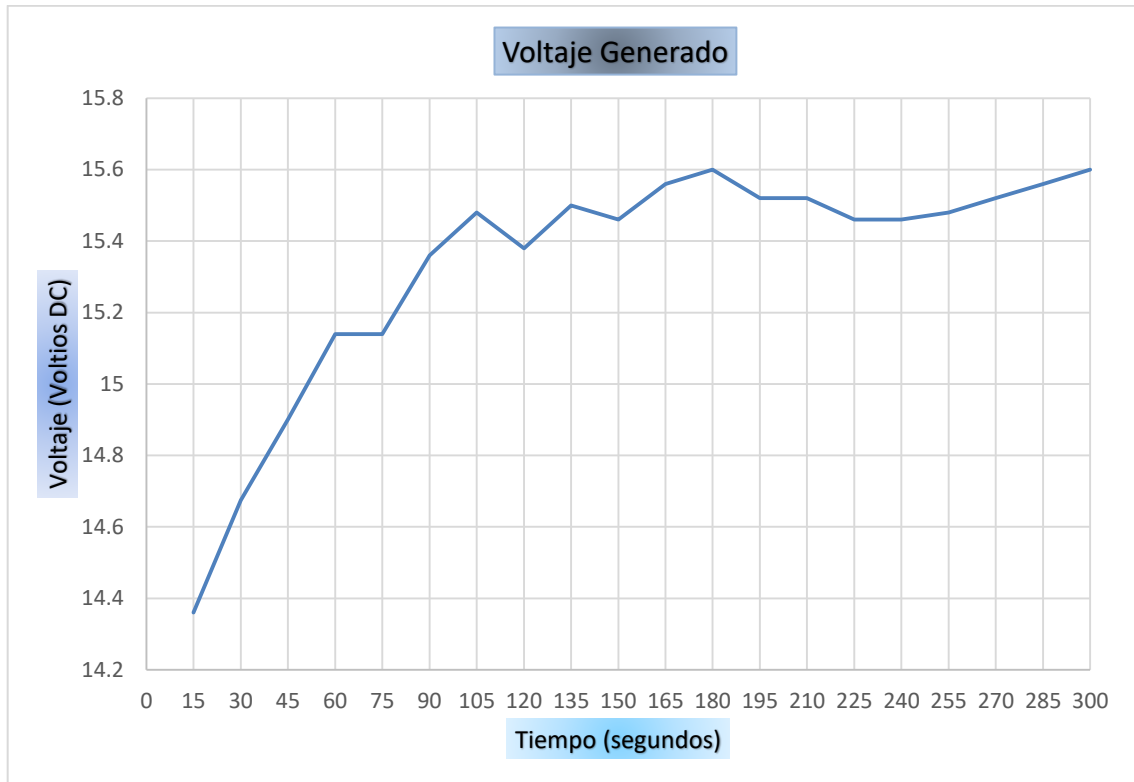
**Tabla XVIII. Valores promedios de voltaje, corriente y potencia de las pruebas en la bicigeneradora**

<b>Tiempo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Corriente</b>	<b>Potencias</b>
<b>15</b>	14,36	3,538	50,776
<b>30</b>	14,675	3,778	55,394
<b>45</b>	14,9	3,988	59,426
<b>60</b>	15,14	4,312	65,284
<b>75</b>	15,14	4,678	70,86
<b>90</b>	15,36	4,754	73,034
<b>105</b>	15,48	4,922	76,218
<b>120</b>	15,38	5,06	77,914
<b>135</b>	15,5	5,002	77,562
<b>150</b>	15,46	5,15	79,648
<b>165</b>	15,56	5,132	79,874
<b>180</b>	15,6	5,196	81,058
<b>195</b>	15,52	5,224	81,078
<b>210</b>	15,52	5,226	81,092
<b>225</b>	15,46	5,406	83,58
<b>240</b>	15,46	5,296	81,898
<b>255</b>	15,48	5,294	81,96
<b>270</b>	15,52	5,3	82,262
<b>285</b>	15,56	5,27	82,034
<b>300</b>	15,6	5,304	82,742

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

En la figura 80 se puede observar la gráfica del voltaje promedio generado por los 5 tripulantes, es importante notar que conforme va transcurriendo la prueba el voltaje aumenta, a partir de los 90 segundos el voltaje se mantiene en un rango máximo de 15,4 a 15,6 voltios de corriente directa hasta terminar la prueba.

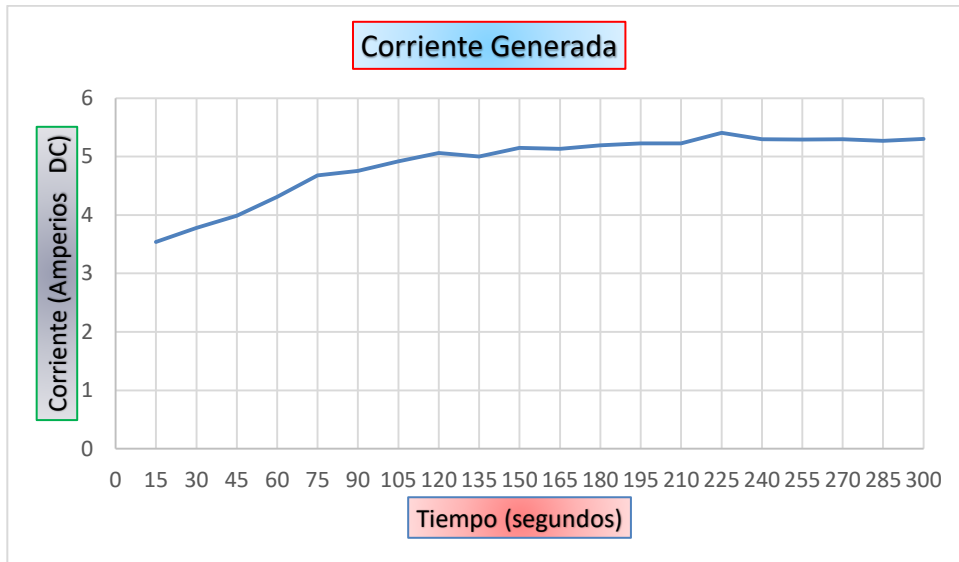
Figura 80. Voltaje promedio generado por la bicigeneradora



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

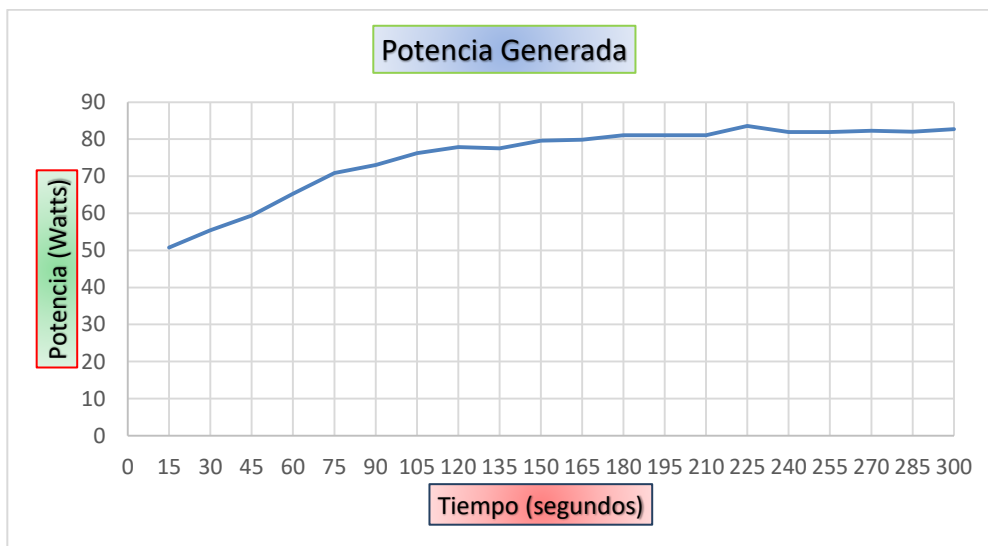
En la figura 81 se observa la tendencia de la corriente promedio generada por la bici generadora, al igual que el voltaje la corriente va en aumento conforme transcurre el tiempo, a partir de los 120 segundos la corriente se estabiliza en el rango de 5 a 5,3 amperios de corriente directa.

Figura 81. **Corriente promedio generada por la bicigeneradora**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

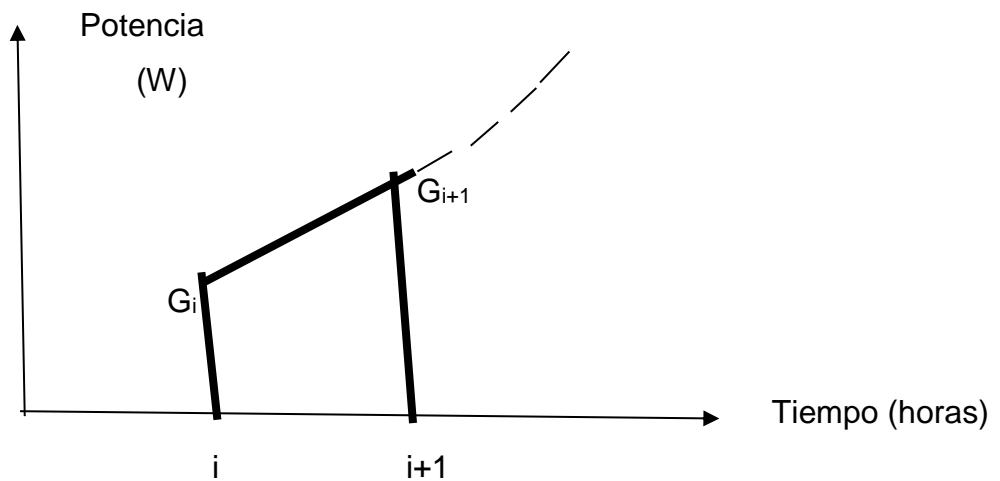
Figura 82. **Potencia promedio generada por la bicigeneradora**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

La tendencia de los valores de potencia promedio en la figura 82 presentan pequeñas variaciones, por la razón de que la cadencia de pedaleo es variable por parte de los tripulantes en la prueba; para obtener el valor generado en Wh durante la prueba es necesario calcular el área bajo la curva, de la gráfica de potencia utilizando aproximaciones de áreas trapezoidales punto a punto como se observa en la siguiente figura.

Figura 83. **Determinación de energía generada en Wh durante la prueba**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

Seguidamente utilizamos la siguiente ecuación para calcular el valor de la energía generada durante la prueba:

Ec.22

$$H = \sum_1^{n-1} \left( \frac{G_i + G_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Donde:

H: valor en Wh durante la prueba

$G_i$  : valor de la potencia en el instante  $i$

$G_{i+1}$  : valor de potencia en el instante  $i+1$

Los datos de las pruebas se registraron cada 15 segundos de acuerdo a la tabla XVIII con una duración de 5 minutos por sesión, aplicando la ecuación 22 respecto a la potencia, obtenemos como resultado un valor promedio de generación de 6 Wh.

Conociendo que en 5 minutos se puede generar 6 vatios hora (Wh), por lo tanto, la energía eléctrica que se genera en una hora de pedaleo es la siguiente:

$$\text{Energía generada en 1 hora} = \frac{6 \text{ Wh} * 60 \text{ minutos}}{5 \text{ minutos}} = 72,0 \text{ Wh}$$

Para determinar el tiempo para cargar completamente el sistema de acumulación, necesitamos conocer cuál es la potencia, en este caso la batería es de 12 voltios y 30 amperios-hora, dando como resultado 360 Wh. Además, conocemos que en una hora de pedaleo se genera 72,0 Wh. Por lo tanto, el tiempo para cargar el sistema completamente es el siguiente:

$$\text{Tiempo en horas} = \frac{360 \text{ Wh}}{72,0 \text{ Wh}} = 5 \text{ horas}$$

El tiempo de carga se puede acortar, si el tripulante supera las RPM promedio establecidas en este diseño. Se recomienda que el tripulante utilice la bici generadora de electricidad en periodos, como mínimo 30 minutos y máximo

45 minutos, esto evitará lesiones musculares, fatiga o cansancio en la prueba física.

Además, es aconsejable que el tripulante realice 5 o 10 minutos de ejercicios de calentamiento muscular antes del inicio como después de utilizar la bici generadora de electricidad, puesto que mantienen los músculos ágiles y flexibles, de igual forma ayudan a llevar a cabo la actividad física sin excesivo estrés, esto evitará cualquier molestia durante la prueba física.

Es importante realizar los ejercicios de manera correcta, principiando por los hombros, seguidamente por los brazos, y terminando por las piernas, exactamente como se muestra en la figura 84.

Figura 84. Ejercicios de estiramiento previos a utilizar la bicigeneradora



Fuente: Bicicletas eléctricas Barcelona. *Si no quieres lesionarte haz 6 minutos de estiramiento antes de salir con tu MTB.* [www.bicicletaselectricasbarcelona.es/si-no-quieres-lesionarte-haz-6-de-estiramientos-antes-de-salir-con-tu-mtb/](http://www.bicicletaselectricasbarcelona.es/si-no-quieres-lesionarte-haz-6-de-estiramientos-antes-de-salir-con-tu-mtb/). Consulta: 30 de octubre de 2021.

Otro factor importante a tomar en cuenta, es la correcta postura al realizar la prueba física en la bici generadora, esto evitará problemas en la espalda, caderas, rodillas o muñecas; tal y como se muestra en la figura 85.

Figura 85. **Postura correcta para ir en bicicleta**



Fuente: S.A. *Postura adecuada para ir en bicicleta y evitar dolores de rodilla, muñecas y espalda.* [www.drlopezheras.com/2015/05/postura-adecuada-bicicleta.html](http://www.drlopezheras.com/2015/05/postura-adecuada-bicicleta.html). Consulta: 30 de octubre de 2021.

### **5.3. Diseño y conexiones del sistema híbrido fotovoltaico- bici generadora**

En este apartado se presenta el diseño y las conexiones respectivas del sistema híbrido, conformado por el sistema fotovoltaico y el sistema bici generadora de electricidad.

#### **5.3.1. Descripción del sistema híbrido diseñado**

El sistema híbrido a diseñarse será 100 % renovable con su respectivo sistema de acumulación de energía, debido a que será un sistema conformado por una fuente de energía renovable juntamente con una fuente alterna para



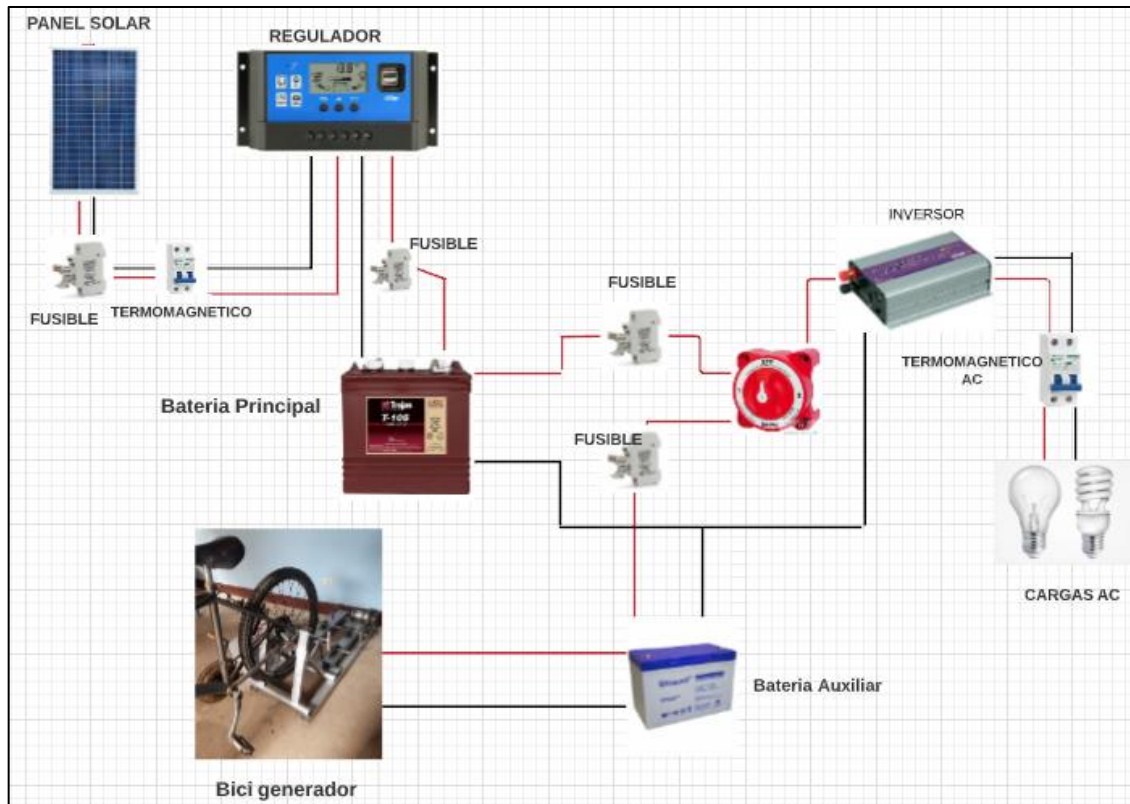
generar energía eléctrica; como fuente principal utilizará la energía solar fotovoltaica, el cual está explicado en el apartado 5.1 y como energía alterna de respaldo utilizará energía de propulsión humana empleando una bici generadora de electricidad, de acuerdo a lo explicado en el apartado 5.2, de tal manera que los usuarios siempre tendrán el servicio de energía eléctrica en sus hogares, haciendo referencia al objetivo de este proyecto.

Este sistema utiliza como fuente principal la energía solar, esto debido a que el lugar posee un excelente potencial solar, el cual cubre la demanda de los consumos de los usuarios, no obstante recordamos que en el invierno habrá días o momentos en el que la radiación solar será poca o nula, por tal motivo no tendrá la capacidad para suplir la energía necesaria al sistema; para evitar que el usuario tenga un servicio eléctrico discontinuo, se hará uso de un sistema de respaldo conformado por una bici generadora de electricidad, en el cual el usuario deberá de pedalear en una bicicleta estática para generar así electricidad y posteriormente ser utilizado.

#### **5.3.1.1. Diagramas y conexiones del sistema híbrido**

En la figura 86 se muestra el diagrama esquemático del sistema híbrido, formado por un sistema solar fotovoltaico aislado de la red eléctrica y sus respectivas protecciones, este sistema corresponde al sistema principal, considerando que este sistema será el que proporcione energía eléctrica a lo largo del año, sin embargo debido a los cambios climáticos, habrá días en los cuales la radiación solar no cubrirá la demanda eléctrica, por tal situación se incorpora un sistema de respaldo de energía, formado por un sistema bici generadora de electricidad, el cual tendrá la función de compensar la energía restante al sistema.

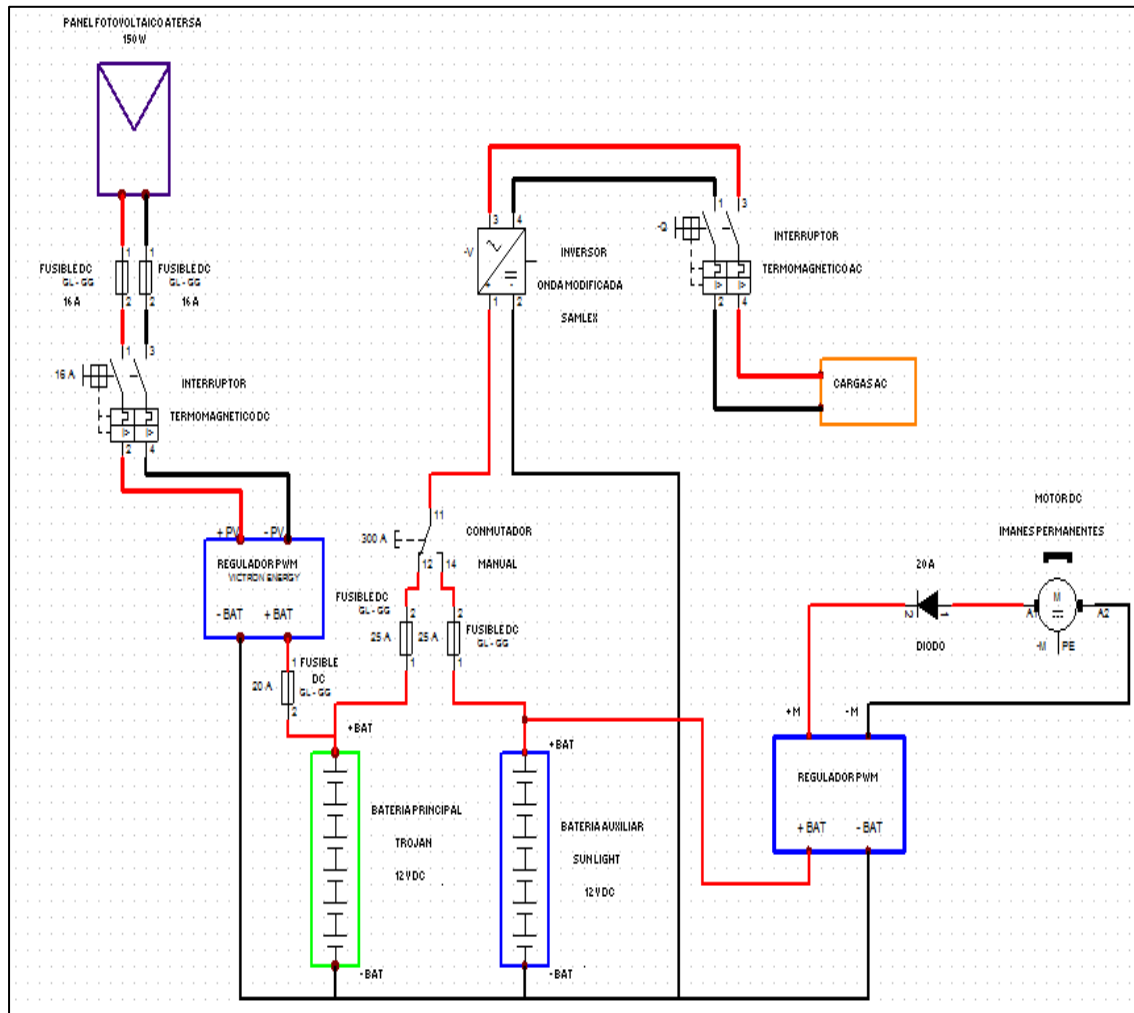
Figura 86. Diagrama esquemático del sistema híbrido solar fotovoltaico y bici generadora



Fuente: elaboración propia, utilizando SmartDraw 2020.

Este sistema se puede maniobrar por medio de un conmutador o separador de baterías, donde el usuario puede utilizar la batería principal o la batería de respaldo, de tal manera que el servicio eléctrico sea continuo y 100 % renovable.

Figura 87. Diagrama unifilar del sistema híbrido



Fuente: elaboración propia, utilizando CADe\_SIMU Versión 3.0.

En la figura 87 se muestra el diagrama unifilar del sistema híbrido a diseñarse, donde se puede observar los elementos que conforman el sistema solar fotovoltaico, tales como el panel solar, el regulador, batería e inversor, con sus respectivos sistemas de protecciones; respecto al sistema bici generadora, se observa el sistema de generación formado por el motor DC y su respectivo diodo unidireccional; también se puede observar el sistema manual de

transferencia utilizando un conmutador de energía, el cual tiene la función principal de seleccionar ya sea el sistema principal o el sistema auxiliar, de tal manera que el sistema híbrido pueda satisfacer la demanda eléctrica del usuario.

#### **5.3.1.2. Protecciones del sistema híbrido**

Respecto a las protecciones del sistema híbrido a diseñarse, estará conformado por 2 bloques; el primer bloque corresponde a las protecciones del sistema solar fotovoltaico, además este bloque se divide en 2 tipos de protecciones, las que corresponde tanto a la corriente continua como a la de corriente alterna; y el segundo bloque corresponde a las protecciones del sistema bici generadora, los cuales son de corriente continua.

Haciendo referencia al primer bloque, procedemos a determinar primeramente el valor de las protecciones que corresponden a la parte de corriente continua, los dos elementos principales de protección son el interruptor termo magnético y el fusible, los cuales tienen la función como disparo de protección tanto para cortocircuitos como sobre intensidades.

Los fusibles que se utilizarán en la parte de corriente continua, se llaman fusibles de fusión lenta, la función principal es de proteger el cableado, regulador, las baterías e inversor. Para una mejor protección del sistema, se conectará un fusible entre el bloque panel fotovoltaico-regulador, otro entre el bloque regulador-batería, y por último uno entre el bloque batería-inversor. Los fusibles irán conectados al conductor positivo, con su respectiva porta fusible.

Los valores de los fusibles y porta fusibles son los siguientes:

- Entre panel fotovoltaico y regulador: se utiliza la corriente de cortocircuito del panel, el cual tiene un valor de 8,41 A se multiplica por un factor de seguridad de 1,25, dando como resultado una corriente de 10,51 A. Se colocará un fusible Bussmann 10x38 mm de 16 A, con un voltaje de 500 V, con su respectivo porta fusible CMS 101 10x38.
- Entre regulador y batería: se utiliza la corriente máxima del regulador, el cual tiene un valor de 20 A, por esta razón se colocará un fusible Bussmann 10x38 mm de 20 A, con un voltaje de 500 V, con su respectivo porta fusible CMS 101 10x38.
- Entre batería e inversor: se utiliza la potencia del inversor dividido entre el voltaje de las baterías, para este caso la potencia del inversor es de 250 W y el voltaje de la batería es de 12 V, al realizar el cociente se obtiene como resultado una corriente de 20,83 A, de tal forma que se colocará un fusible df 14x51 mm de 25 A, con un voltaje de 500 V, con su respectivo porta fusible CMS 141 14x51

Para el cálculo del interruptor termo magnético en corriente continua, utilizamos la corriente de corto circuito del panel fotovoltaico, se multiplica por un factor de seguridad de 1,25, además por la cantidad de paneles fotovoltaicos, para nuestro sistema la corriente de cortocircuito es de 8,41 A, multiplicado por 1,25 y por 1 debido a que se va a emplear un solo panel fotovoltaico, da como resultado 10,51 A. Con el dato obtenido, se colocará un interruptor termo magnético DC marca Suntree de 16 A, 550 V DC Máx., 2 polos, modelos SL7-63C16.

Respecto de la protección de corriente alterna del sistema fotovoltaico, el cual se ubica entre la salida del inversor y las cargas, se calcula utilizando la potencia del inversor entre el voltaje AC, para el sistema el voltaje de corriente alterna es de 120 V, la potencia del inversor es de 250 W, de modo que, el resultado es de 2,08 A, no obstante, se debe multiplicar por norma por un factor de seguridad de 1,25, de tal manera que el valor de la corriente es de 2,60 A. Se colocará un interruptor termo magnético ABB 2 polos, con una corriente de 4 A, modelo SH202-C4.

Referente al segundo bloque de protecciones, el cual corresponde al sistema bici generadora de electricidad, únicamente se colocará un fusible entre la batería auxiliar-inversor, utilizando el voltaje de la batería y la potencia del inversor, dando como resultado una corriente de 20,83 A, por lo tanto, se colocará un fusible de 14X51 mm de 25 A, 500 V juntamente con un portafusible CMS 141 14X51.

Además, como medio de protección de descarga de la batería auxiliar, se colocará un diodo unidireccional de 20 A, ubicado entre la terminal positiva del motor DC de imanes permanentes y la terminal positiva (+PV) del controlador de carga, de tal manera que evitará que la batería se descargue cuando el sistema no esté en funcionamiento.

De igual forma se colocará un conmutador de baterías, el cual tendrá la función de separar un sistema del otro de forma manual, dicho en otras palabras cuando el sistema principal formado por el panel fotovoltaico no genere electricidad al sistema debido a factores ambientales, se activará el sistema de respaldo conformado por el sistema bicigeneradora, de tal manera que el usuario tenga un servicio continuo de electricidad, además esto evitará que la batería principal se descargue completamente y así aumentar su vida útil; caso contrario,

cuando genere nuevamente el panel fotovoltaico se desconectará el sistema de respaldo, de tal forma que funcione únicamente el sistema principal. El conmutador nos dará la opción de seleccionar ya sea el sistema principal o el sistema de respaldo.

### **5.3.1.3. Seguridad industrial del sistema híbrido**

La seguridad industrial es un elemento fundamental que debe considerarse en el proceso de instalación de cualquier tipo de sistema de generación eléctrica, a partir de un punto de vista tanto personal como material. Al agrupar todas las medidas de seguridad podemos clasificarlos en dos grupos, el primero corresponde a la seguridad a lo largo del montaje del sistema, el segundo corresponde a la seguridad durante su funcionamiento y utilización.

Haciendo referencia a la seguridad respecto al montaje del sistema, se considerará los aspectos que a continuación se describen:

- A lo largo del montaje se evitará cualquier daño de los equipos que conforman la instalación fotovoltaica, de igual forma los equipos del sistema bici generadora, incluyendo también daños personales.
- Se debe tener mucho cuidado al manipular los elementos del sistema híbrido (panel, inversor, baterías, y otros), evitando daños en el transporte, almacenamiento y montaje de los equipos.
  - Las baterías siempre se colocarán en posición vertical.
  - Mucho cuidado con los paneles fotovoltaicos, a causa de que son muy frágiles.

- Evitar movimientos bruscos en el transporte de los equipos, golpes o caídas.
- Almacenar en un lugar seguro.
- Las baterías deben mantenerse fuera de la exposición del sol y colocarlas en cajones de madera preferiblemente.
- El montaje debe realizarse de forma ordenada y precisa.
- El motor DC de imanes permanentes debe de fijarse correctamente sobre la base de la estructura metálica del tren de poleas, utilizando abrazaderas, tornillos y tuercas, evitando así el desalineamiento entre cada sistema de transmisión mecánica.
- Las chumaceras utilizadas en el sistema mecánico deben de lubricarse de manera correcta, de igual forma el rodillo de fricción.
- El sistema bici generadora debe de cubrirse con una manta para evitar que el polvo dañe los elementos del sistema (motor DC, dispositivos de control, mecanismos, y otros.).
- Seguridad del personal, para evitar daños durante la instalación del sistema.
  - El personal de trabajo, cuando se exponga al sol, debe tener paradas periódicas para evitar fatiga, mareos y deshidratación.



- Debe utilizar su equipo de seguridad (casco, gafas, cuerdas, arneses, botas industriales, y otros).
- Debe desplazarse con mucho cuidado en la zona de trabajo.
- Se recomienda que el transporte de las baterías se realice con ayuda de otra persona, evitando así lesiones musculares.
- Trabajar en equipo.
- Usar siempre las dos manos para subir escaleras, y se evitará subir en los techos mojados.
- Los paneles fotovoltaicos se colocarán boca abajo para evitar que esté expuesto a la radiación y generar tensión en sus terminales.
- El cableado de las baterías deber realizarse con mucho cuidado, a consecuencia de que pueden generar altas corrientes.
- Es importante utilizar herramientas aisladas que no permitan contacto accidental en los bornes y es aconsejable que no se lleven objetos metálicos personales cuando se instalen las baterías.
- Respecto de la conexión del motor DC de imanes permanentes, primero se conecta la terminal positiva y la terminal negativa al controlador de carga, posteriormente se conectan las terminales de la batería al controlador de carga, evitando así posibles cortos en su montaje.

- Los usuarios o dueños de las casas deben estar alejados de la instalación, estar avisados de los riegos y zonas de peligro.

Respecto de la seguridad durante el funcionamiento y su utilización, una vez que se haya puesto en marcha la instalación, puede haber situaciones de riegos tanto personales como materiales.

En lo que respecta a la parte material, se debe diferenciar la parte eléctrica y la parte no eléctrica.

La seguridad del material está formada por las medidas de protección, las cuales pueden ser:

- Sobretensiones
- Cortocircuitos
- Sobrecarga

Las protecciones más utilizadas comúnmente, son los fusibles, interruptores y descargadores de tensión.

Respecto del sistema de acumulación de energía, se considera lo siguiente:

- Correcta ventilación
- Debe estar alejado de cualquier material inflamable

En lo que corresponde a la parte no eléctrica de la instalación, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El anclaje y la sujeción de los paneles fotovoltaicos debe ser la adecuada.

- No caminar sobre los paneles fotovoltaicos.
- La bicicleta estática debe posicionarse en una forma adecuada evitando así el desbalance de los sistemas mecánicos.

Por último, respecto de la seguridad personal, se considera algunos aspectos importantes cuando la instalación esté en funcionamiento, los cuales se mencionan a continuación:

- Se debe tomar medidas para evitar cualquier choque eléctrico, ya sea por contacto directo o indirecto.
- Es recomendable que los lugares de riesgo están señalizados.
- Cuando se manipule el sistema bici generadora, debe restringirse el acceso a los niños.
- En el banco de baterías aparte de los riesgos eléctricos, también se consideran los riesgos por quemaduras tanto por ácido como por alguna explosión por ignición, ante ello las medidas a tomarse son las siguientes.
  - Correcta ventilación
  - Acceso restringido a niños
  - No llevar puesta ropa que ayude a la carga electrostática
  - No fumar
  - Señalizar como zona de riesgo

### **5.3.2. Presupuesto del sistema híbrido**

En relación con el presupuesto del sistema híbrido, se presenta a continuación una tabla de los dispositivos y equipos por utilizarse para su respectivo diseño, los costos están en quetzales (Q).

Respecto de los dispositivos y equipos utilizados en el sistema fotovoltaico los precios a estos estaban en moneda nacional europea, incluyendo el IVA; además se estimó un 27 % (IVA + DAI) del valor de cada producto, con la finalidad de tener un presupuesto más específico.

El presupuesto para la parte de la bici generadora de electricidad, el precio de cada uno de los componentes fue en moneda nacional de Guatemala, debido a que estos productos si se logran conseguir en Guatemala, por lo tanto, no se les aplico las estimaciones al precio final del producto.

Tabla XIX. **Presupuesto del sistema híbrido en valores de quetzales (Q)**

Equipo	Costo por unidad	Cantidad	Costo total
Sistema solar fotovoltaico			
Panel solar policristalino 150 W marca ATERSA	Q2 367,34	1	Q2 367,34
Regulador Victron Energy PWM-LCD&USB 12/24V, 20 A	Q624,37	1	Q624,37
Batería solar Trojan Signature 12V, 255Ah	Q5 959,60	1	Q5 959,60

Continuación de la tabla XIX.

Inversor de onda modificada de 250W SamlexAmerica	Q246,56	1	Q246,56
<b>Cableado</b>	<b>Costo por metro</b>	<b>Metros</b>	
Panel fotovoltaico-Regulador de 25 mm <sup>2</sup>	Q54,18	8	Q433,43
Regulador- Batería de 10 mm <sup>2</sup>	Q22,15	3	Q66,45
Batería-Inversor de 10 mm <sup>2</sup>	Q22,15	3	Q66,45
Iluminación en AC de 16 mm <sup>2</sup>	Q34,07	20	Q681,48
Tomacorrientes en AC de 16 mm <sup>2</sup>	Q34,07	30	Q1 022,22
<b>Protecciones</b>	<b>Costo por unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
Fusible y portafusible entre panel-regulador	Q119,19	1	Q119,19
Fusible y portafusible entre regulador-batería	Q122,81	1	Q122,81
Fusible y portafusible entre batería-inversor	Q244,16	1	Q244,16
Interruptor termo magnético DC	Q118,77	1	Q118,77
Interruptor termo magnético AC	Q81,72	1	Q81,72
Fusible y portafusible entre batería-inversor	Q244,16	1	Q244,16
Conmutador de baterías	Q426,09	1	Q426,09
<b>Sistema bici generadora</b>			
Bicicleta shimano usada	Q550,00	1	Q550,00
Soporte de metálico	Q250,00	1	Q250,00
Faja SuperBelt #33	Q30,00	2	Q60,00

Continuación de la tabla XIX.

Motor DC de imanes permanentes	Q500,00	1	Q500,00
Batería gel de 30 Ah	Q445,00	1	Q445,00
Cronometro	Q50,00	1	Q50,00
Voltímetro-Amperímetro Digital	Q59,00	1	Q59,00
Chumacera de 5/8"	Q100,00	4	Q400,00
Eje de 5/8"	Q100,00	1	Q100,00
Poleas de aluminio de 12.45 cm, tipo A	Q175,00	2	Q350,00
Polea de aluminio de 8.05 cm, tipo A	Q100,00	1	Q100,00
Polea de aluminio de 10.50 cm, tipo A	Q150,00	1	Q150,00
Cable automotriz calibre 12	Q4,50	8	Q36,00
Cable automotriz calibre 14	Q2,50	8	Q20,00
Juego de lagartos	Q6,00	1	Q6,00
Juego de batería y terminal de 9 V DC	Q18,00	1	Q18,00
Interruptor de 20 A	Q5,00	2	Q10,00
Presinto multiusos	Q8,00	1	Q8,00
Controlador de carga solar 10 A	Q100,00	1	Q100,00
Rodillo metálico	Q60,00	1	Q60,00
Total			Q16 096,80

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.

Había algunos equipos cuyo su precio estaba en dólares, por lo que se utilizó la conversión de \$1 = Q7,80. Otros equipos su precio estaba en euros, por lo que se utilizó la conversión de €1 = Q9,48, de esta manera el presupuesto quedo quetzales (Q).

### **5.3.3. Factibilidad del sistema híbrido**

Para el éxito de todo proyecto o diseño, es muy importante realizar un estudio de factibilidad, incluyendo las tres fases que lo conforman, la fase técnica, económica y ambiental.

Respecto del estudio de factibilidad del sistema híbrido a diseñarse, determinamos que la fase técnica del sistema es factible debido a que, el sistema está diseñado de acuerdo con los requerimientos de la demanda eléctrica por los usuarios, de igual forma se cuenta con equipos específicos para su correcto funcionamiento, tomando en cuenta que para su implementación y puesta en funcionamiento lo realizaría personal capacitado en el área.

Para el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico se utilizó valores reales de demanda de energía eléctrica para los consumos establecidos, la radiación solar, las horas de empleo de energía eléctrica, de igual forma se incluyen las especificaciones técnicas con sus respectivos parámetros eléctricos detallados de cada dispositivo a ser utilizado, diseño de conexión, cableado de los elementos, las caídas de voltaje, las protecciones, los cuales dan seguridad y fiabilidad al sistema solar fotovoltaico.

Para el sistema de respaldo conformado por la bici generadora de electricidad, se realizó las pruebas físicas por personas, los cuales utilizaron la bici generadora y a partir de ello se obtuvieron resultados para determinar los dispositivos adecuados para su correcto funcionamiento, datos estadísticos, se utilizó herramientas de medición, para establecer el promedio de energía eléctrica que puede generar un tripulante.

Por último, se incluye un apartado de seguridad industrial del sistema, el cual tiene como misión prever cualquier accidente o problema que pueda presentarse en la ejecución del diseño.

Se incluye un presupuesto del sistema híbrido, sin embargo, para algunas familias aisladas de la red eléctrica, los costos iniciales puede ser un obstáculo para su ejecución, debido a que son personas de escasos recursos, pero esta barrera se puede superar con el apoyo de Organizaciones no Gubernamentales o con Instituciones Internacionales, los cuales puedan financiar los costos del sistema, y esto a su vez incentivar a otros países a utilizar energía solar fotovoltaica juntamente con la energía de propulsión humana, como soluciones a sistemas de generación de energía eléctrica.

Económicamente concluimos que el sistema es factible, siempre y cuando se realicen las gestiones correspondientes para obtener apoyo económico, de manera que puedan solventar los costos del sistema.

Respecto de la fase ambiental, el sistema de generación híbrido es 100 % renovable, mediante la implementación del sistema solar fotovoltaico y la bici generadora, de tal manera que se cumpla con el objetivo de cuidar el medio ambiente, con esta implementación se dejará de emitir toneladas de dióxido de carbono hacia la atmósfera.

Otro aspecto importante respecto a la fase ambiental es que este sistema híbrido no generan desperdicios, emisión de gases tóxicos, ruidos u otros factores que ataquen al medio ambiente, brindando el bienestar de los usuarios de la comunidad aislada, de igual forma al personal que vaya a realizar el respectivo mantenimiento. En relación con el sistema de respaldo, el cual corresponde al sistema bici generadora, es que en muchos otros sistemas



híbridos utilizan como sistema de respaldo generadores diésel y otros la red eléctrica, pero en este diseño se utilizará un sistema de generación de propulsión humana, de tal manera que el sistema sea factible en la fase ambiental.

Concluimos que el sistema híbrido es factible en los ámbitos descritos anteriormente, siempre y cuando se solvete el costo del proyecto, de tal manera que esto conlleva a ser un proyecto exitoso en su implementación.

## CONCLUSIONES

1. Guatemala cuenta con un gran potencial solar, apto para proyectos de generación eléctrica, según informes del Ministerio de Energía y Minas tiene un valor promedio anual de radiación solar global de  $5,3 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ , esto se debe a su posición geográfica, en la figura 45 se puede observar el mapa solar del país.
2. Se diseñó un sistema de generación híbrido para cada vivienda en el caserío El Espinal, en vista de que, las viviendas se encontraban en forma dispersa, con la capacidad para cubrir las necesidades eléctricas de los usuarios, con un valor estimado total de energía diaria de  $440 \text{ Wh/día}$ , tal y como se observa en la tabla V referente a los consumos.
3. En el presente diseño de generación híbrido utilizando energía solar fotovoltaica en el caserío el Espinal, dispone de un promedio anual de  $5,34$  horas de sol pico a un ángulo óptimo de inclinación de  $15^\circ$ , en base al software Meteonorm 7 versión 7.3.3, indicando que el lugar a es apto para la generación de energía eléctrica, haciendo referencia a la tabla VI.
4. En una instalación solar fotovoltaica aislada, es importante incorporar un sistema de acumulación de energía formado por baterías, el diseño está formado por dos bloques de acumulación, el primero con una capacidad de  $255 \text{ Ah}$  y el segundo con una capacidad de  $30 \text{ Ah}$ , con la finalidad de solventar el consumo por parte de los usuarios, como se observa en la figura 86.

5. Dentro del análisis de factibilidad del sistema de generación híbrido, se determinó que cumple con la fase técnica y ambiental, sin embargo, en la fase económica no cumple debido a su alto costo, con un valor de Q16 096,80, lo cual implica un obstáculo para los habitantes del caserío el Espinal, esto de acuerdo con el presupuesto especificado en la tabla XIX.
  
6. En las áreas rurales de Guatemala se puede emplear como alternativa para la generación de energía eléctrica, la propulsión humana por medio de una bici generadora de electricidad; en base al apéndice 1 en una prueba de 5 minutos se obtiene como resultado un potencia promedio de 6,0 Wh, adecuado para pequeños consumos.

## RECOMENDACIONES

1. Disponer de un atlas solar para obtener datos de radiación más específicos en aldeas o departamentos, considerando su respectivo ángulo óptimo de inclinación, esto ayudará a realizar mejores diseños en lugares donde se realicen proyectos futuros utilizando energía solar fotovoltaica.
2. Aconsejar a las facultades de Ingeniería de las diversas Universidades en Guatemala, que realicen las gestiones con instituciones que ofrecen servicios de generación de energía eléctrica utilizando energías renovables, para realizar capacitaciones a estudiantes y docentes.
3. Conseguir que la Universidad de San Carlos de Guatemala, a través de la Facultad de Ingeniería, incluya temas acerca del potencial de las energías renovables en el país y el impacto del cambio climático, implementando laboratorios en donde el estudiante interactúe con equipos utilizados en sistemas solares, eólicos, entre otros.
4. Incorporar un sistema de acumulación de energía, considerando que esta parte es importante para que el diseño sea eficiente y así solventar la demanda eléctrica por parte del usuario. En este tema pueden colaborar las personas interesadas en realizar diseños de sistemas de generación de energía eléctrica utilizando fuentes renovables.
5. Instar a las personas que realicen diseños de proyectos de generación de energía eléctrica empleando fuentes renovables, realizar un estudio de

factibilidad, esto ayudará a determinar qué tan exitoso será el diseño antes de implementarse.

6. Invitar a las personas a hacer conciencia en cuanto a la energía eléctrica que consumimos, una forma de realizarlo es mediante el uso de la bici generadora de electricidad, el cual es una energía que ayuda al medio ambiente y a las personas mantener una mejor condición física.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. USAID. *Afrontando el cambio climático en el altiplano occidental de Guatemala*. [en línea]. <[https://nexuslocales.com/wp-content/uploads/2018/01/HerramientasMunicipales/1\)%20Afrontando%20Cambio%20Climatico.pdf](https://nexuslocales.com/wp-content/uploads/2018/01/HerramientasMunicipales/1)%20Afrontando%20Cambio%20Climatico.pdf)>. [Consulta: 30 de agosto de 2019].
2. ALONSO, José. *Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma*. A Coruña, España: FEUGA, 2014. 15 p.
3. ARIAS, Angela y GARCÍA, Jhonatan. *Análisis de variables eléctricas para una bicicleta generadora de energía eléctrica*. Pereira-Risalda Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, s.n., 2017. 186 p.
4. Asociación de Combustibles Renovables de Guatemala. *Etanol conduciendo a un mundo más verde*. [en línea]. <<http://acrguatemala.com/etanol/>>. [Consulta: 11 de mayo de 2020].
5. Asociación de Generadores con Energía Renovable. *Las energías renovables y su impacto en el desarrollo de Guatemala*. [en línea]. <<https://ager.org.gt/las-energias-renovables-y-su-impacto-en-el-desarrollo-de-guatemala/>>. [Consulta: 12 de abril de 2020].

6. CONANT, Jeff y FADEM, Pam. *Guía comunitaria para la salud ambiental*. Berkeley, California, EE.UU. : Hesperian, 2008. 55 p.
7. EcoInventos. *Con sólo una hora de pedaleo, Free electric puede generar 24 horas de energía para una casa en comunidades sin suministro eléctrico*. [en línea]. <<https://ecoinventos.com/free-electric/>>. [Consulta: 24 de agosto de 2019].
8. ESCODA, Salvador. *Libro Blanco de las Energías Renovables*. Barcelona: SALVADOR ESCODA, 2017. 155 p.
9. HONTORIA, Leocadio y AGUILERA, Jorge. *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos*. España: Universidad de Jaén, 2004. 132 p
10. Ingemecanica. *Normas de designación de los cables eléctricos*. [en línea]. <<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn124.html>>. [Consulta: 15 de septiembre de 2020].
11. INSIVUMEH. *Normales Climáticas*. [en línea]. <<http://historico.insivumeh.gob.gt/normas-climaticas/>>. [Consulta: 8 de abril de 2020].
12. Instituto de Investigación y Proyección sobre Ciencia y Tecnología de la Universidad. *Perfil energético de Guatemala, Bases para el entendimiento del estado actual y tendencias de la energía*. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2018. 105 p.

13. Instituto Nacional de Bosques. *Estrategia Nacional de Producción Sostenible y Uso Eficiente de Leña 2013-2024, Serie Institucional ES-002 (2015)*. Guatemala: INAB, 2015. 43 p.
14. Instituto Nacional de Estadística. *Población total por pueblos, cuadro A5*. [en línea]. <<https://www.censopoblacion.gt/explorador>>. [Consulta: 5 de abril de 2020].
15. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Definición de sequía*. [en línea]. <<http://historico.insivumeh.gob.gt/sequia/>>. [Consulta: 2 de septiembre de 2019].
16. Instituto Tecnológico de Canarias S.A. *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias: ISBN, 2008, 64 p.
17. JOACHÍN, Carmencita de Los Ángeles. *Diseño de un sistema fotovoltaico aislado, para el suministro de energía eléctrica a la comunidad rural de Buena Vista, San Marcos*. Trabajo de graduación de ing. Eléctrica. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 188 p.
18. LÓPEZ, Robinson. *Desarrollo de un sistema de generación eléctrica eficiente a partir de propulsión humana con base en una bicicleta estática*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2015. 205 p.
19. LÓPEZ, Mercedes. *Cambio y variabilidad climática*. Guatemala: Cara Parens de la Universidad Rafael Landívar, 2015. 86 p.



20. MACHADO TORANZO, Noel; LUSSÓN CERVANTES, Ania y LEYSDIAN ORO CARRALERO, Leandro. *Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar*. Santiago de Cuba: Energía Energética, 2015. 191 p.
21. MiningPress. *Las plantas de Energía Mareomotriz más grandes*. [en línea]. <<http://miningpress.com/289211/las-plantas-de-energia-mareomotriz-mas-grandes>>. [Consulta: 30 de agosto de 2019].
22. Ministerio de Energía Y Minas. *Energía Geotérmica*. [en línea]. <<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/09/Energ%C3%ADa-Geot%C3%A9rmica.pdf>>. [Consulta: 13 de mayo de 2020].
23. \_\_\_\_\_. *Energía eólica en Guatemala*. [en línea]. <<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Energ%C3%ADa-E%C3%B3lica-en-Guatemala.pdf>>. [Consulta: 12 de mayo de 2020].
24. \_\_\_\_\_. *Energía Solar en Guatemala*. [en línea]. <<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/11/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>>. [Citado el: 22 de agosto de 2019].
25. \_\_\_\_\_. *Informe General 2020 Ministerio de Energía y Minas*. [en línea]. <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Informe-MEM-2020.pdf>. [Consulta: 2 de febrero de 2021].
26. \_\_\_\_\_. *Las energías renovables en la generación eléctrica en Guatemala*. [en línea]. <<https://www.mem.gob.gt/wp-content/up>

loads/2019/01/Energ%C3%ADas-Renovables-en-Guatemala.pdf>.  
[Consulta: 18 de agosto de 2019].

27. \_\_\_\_\_. *Plan de expansión del sistema de generación y transporte 2020-2034*. [en línea]. <<https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/01/Plan%20de%20Expansio%CC%81n%20del%20Sistema%20de%20Generacio%CC%81n%20y%20Transp%202020-2034.pdf>>. [Consulta: 12 de mayo de 2020].
28. \_\_\_\_\_. *Autorizaciones de Centrales Hidroeléctricas Otorgadas y en Trámite*. [en línea]. <[https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/1.\\_-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Mayores-a-5-MW.pdf](https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/1._-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Mayores-a-5-MW.pdf)>. [Consulta: 15 de abril de 2020].
29. \_\_\_\_\_. *Registro de Centrales Hidroeléctricas Menores o Iguales a 5 MW, Vigentes y en Trámite*. [en línea]. <[https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/2.\\_-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Menores-o-Iguales-a-5-MW.pdf](https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2020/10/2._-Listado-de-Hidroel%C3%A9ctricas-Menores-o-Iguales-a-5-MW.pdf)>. [Consulta: 15 de abril de 2020].
30. PAREJA, Miguel. *Energía solar fotovoltaica. Cálculo de una instalación aislada*. España: Marcombo, 2008. 1136 p.
31. Presidencia, Secretaría de Planificación y Programación de la y Territorial, Dirección de Planificación. *Plan de desarrollo Chuarrancho Guatemala*. Chuarrancho, Guatemala: Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Chuarrancho, 2010. 39 p.
32. RED. *Sistemas Centralizados - Microredes*. [en línea]. <[http://www.redar.com.ar/sistemas/autonomos/sistemas\\_off\\_grid-](http://www.redar.com.ar/sistemas/autonomos/sistemas_off_grid-)

173/Sistemas-Centralizados-Microredes.html>. [Consulta: 11 de octubre de 2019].

33. TAPIA, Jhon. *Innovación del diseño de una bicicleta estacionaria como tecnología apropiada para la generación de energía alternativa*. Perú: Universidad Nacional de Trujillo, 2017. 187 p.
34. TESSA, Amor. 2018. *Este gimnasio obtiene su poder de tu entrenamiento*. [en línea]. <<https://www.weforum.org/agenda/2018/03/this-new-eco-gym-is-powered-by-your-workout>>. [Consulta: 25 de agosto de 2019].
35. UZQUIANO, Camilo; SULLIVAN, Mike y SANDY, Ximena. *Capacitación e instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades de Carmen del Emero y Yolosani*. Bolivia: Wildlife Conservation Society (WCS), 2015. 119 p.
36. Viento y Sol del Norte de Arizona. *¿Qué es el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT)?* [en línea]. <<https://www.solar-electric.com/learning-center/mppt-solar-charge-controllers.html/>>. [Consulta: 15 de febrero de 2020].

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Información de los tripulantes que realizaron la prueba del sistema bici generadora

Tripulante 1					Voltaje de inicio: 12,30 V				
Edad: 31 años					Voltaje de parada: 12,62 V				
Sexo: Masculino					Voltaje efectivo (después de 1 hora): 12,42 V				
Peso: 176 lb					Voltaje efectivo (estabilizado en un tiempo mayor a 2 horas): 12,35 V				
Calorías: 85									
Datos	Tiempo (s)	Velocidad (Km/h) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Rodillo de fricción	Velocidad (RPM) Polea 2	Velocidad (RPM) Eje Motor	Voltaje (V DC)	Corriente (A DC)	Potencia (W)
1	15	8,8	77,81	771,67	1157,51	1372,48	14,4	3,32	47,81
2	30	9,2	81,35	806,78	1210,17	1434,92	14,5	3,45	50,03
3	45	10	88,42	876,89	1315,34	1559,62	14,8	3,75	55,5
4	60	10,1	89,3	885,62	1328,43	1575,14	14,9	3,98	59,3
5	75	10,2	90,19	894,45	1341,68	1590,85	14,9	4,05	60,35
6	90	10,5	92,84	920,73	1381,1	1637,59	15,2	4,29	65,21
7	105	10,9	96,38	955,83	1433,75	1700,02	15,3	4,56	69,77
8	120	10,1	89,3	885,62	1328,43	1575,14	15,2	4,58	69,92
9	135	10,1	89,3	885,62	1328,43	1575,14	15,2	4,6	69,92
10	150	10,6	93,72	929,45	1394,18	1653,1	15,3	4,75	72,68
11	165	10,7	94,61	938,28	1407,42	1668,8	15,4	4,61	70,99
12	180	12,8	113,18	1122,45	1683,68	1996,36	15,4	5,03	77,46
13	195	10,5	92,84	920,73	1381,1	1637,59	15,3	5,04	77,11
14	210	11,3	99,91	990,84	1486,26	1762,28	15,3	5,12	78,34
15	225	10,1	89,3	885,62	1328,43	1575,14	15,4	5,2	80,08
16	240	10,8	95,49	947,01	1420,52	1684,33	15	5,05	75,75
17	255	12,1	106,99	1061,06	1591,59	1887,17	15,4	5,25	80,85
18	270	11,1	98,15	973,39	1460,09	1731,25	15,1	5,22	78,82
19	285	10,4	91,96	912	1368	1622,06	15,3	5,18	79,25
20	300	11,9	105,22	1043,5	1565,25	1855,94	15,5	5,35	82,93
<b>Promedio</b>		<b>10,61</b>	<b>93,81</b>	<b>930,38</b>	<b>1395,57</b>	<b>1654,75</b>	<b>15,14</b>	<b>4,62</b>	<b>70,10</b>

Continuación del apéndice 1.

Tripulante 2					Voltaje de inicio: 12,40 V				
Edad: 35 años					Voltaje de parada: 12,72V				
Sexo: Masculino					Voltaje efectivo (después de 1 hora): 12,47 V				
Peso: 169 lb					Voltaje efectivo (estabilizado en un tiempo mayor a 2 horas): 12,45 V				
Calorías: 92									
Datos	Tiempo (s)	Velocidad (Km/h) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Rodillo de fricción	Velocidad (RPM) Polea 2	Velocidad (RPM) Eje Motor	Voltaje (V DC)	Corriente (A DC)	Potencia (W)
1	15	8,5	75,16	745,39	1118,09	1325,74	14,5	3,56	51,62
2	30	9,8	86,65	859,34	1289,01	1528,4	14,9	3,65	54,39
3	45	10,5	92,84	920,73	1381,1	1637,59	15	3,8	57
4	60	10,7	94,61	938,28	1407,42	1668,8	15,2	4,06	61,71
5	75	10,9	96,38	955,83	1433,75	1700,02	15,2	4,25	64,6
6	90	11,5	101,68	1008,4	1512,6	1793,51	15,4	4,56	70,22
7	105	11,6	102,57	1017,22	1525,83	1809,2	15,6	4,86	75,82
8	120	11,6	102,57	1017,22	1525,83	1809,2	15,5	4,96	76,88
9	135	11,8	104,33	1034,68	1552,02	1840,25	15,5	5,32	82,46
10	150	11,4	100,8	999,67	1499,51	1777,99	15,6	5,28	82,37
11	165	12,3	108,76	1078,61	1617,92	1918,39	15,8	5,45	86,11
12	180	11,2	99,03	982,12	1473,18	1746,77	15,6	5,16	80,5
13	195	11	97,26	964,56	1446,84	1715,54	15,4	5,3	81,62
14	210	11,3	99,91	990,84	1486,26	1762,28	15,5	5,45	84,48
15	225	10,6	93,72	929,45	1394,18	1653,1	15,4	5,52	85,01
16	240	11	97,26	964,56	1446,84	1715,54	15,5	5,34	82,77
17	255	11,5	101,68	1008,4	1512,6	1793,51	15,4	5,29	81,47
18	270	12,4	109,64	1087,34	1631,01	1933,91	15,6	5,28	82,37
19	285	12,8	113,18	1122,45	1683,68	1996,36	15,6	5,35	83,46
20	300	11,4	100,8	999,67	1499,51	1777,99	15,6	5,34	83,3
Promedio		11,19	98,94	981,24	1471,86	1745,20	15,39	4,89	75,41

Continuación del apéndice 1.

Tripulante 3				Voltaje de inicio: 12,30 V				
Edad: 36 años				Voltaje de parada: 12,62V				
Sexo: Femenino				Voltaje efectivo (después de 1 hora): 12,42 V				
Peso: 156 lb				Voltaje efectivo (estabilizado en un tiempo mayor a 2 horas): 12,36 V				
Calorías: 98								
Tiempo (s)	Velocidad (Km/h) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Rodillo de fricción	Velocidad (RPM) Polea 2	Velocidad (RPM) Eje Motor	Voltaje (V DC)	Corriente (A DC)	Potencia (W)
15	9	79,58	789,22	1183,83	1403,68	14,3	3,22	46,05
30	9,4	83,11	824,23	1236,35	1465,96	14,6	3,57	52,12
45	10,2	90,19	894,45	1341,68	1590,85	14,8	4,25	62,9
60	10,5	92,84	920,73	1381,1	1637,59	14,9	4,76	70,92
75	10,6	93,72	929,45	1394,18	1653,1	14,9	5,06	75,39
90	11	97,26	964,56	1446,84	1715,54	15,2	5,08	77,22
105	11,3	99,91	990,84	1486,26	1762,28	15,3	4,89	74,82
120	10,5	92,84	920,73	1381,1	1637,59	15,2	5,12	77,82
135	10,8	95,49	947,01	1420,52	1684,33	15,4	4,82	74,23
150	11,2	99,03	982,12	1473,18	1746,77	15,3	5,04	77,11
165	11,3	99,91	990,84	1486,26	1762,28	15,4	5,09	78,39
180	12,8	113,18	1122,45	1683,68	1996,36	15,7	5,32	83,52
195	11,5	101,68	1008,4	1512,6	1793,51	15,6	5,35	83,46
210	11,3	99,91	990,84	1486,26	1762,28	15,4	5,45	83,93
225	10,9	96,38	955,83	1433,75	1700,02	15,5	5,36	83,08
240	11,4	100,8	999,67	1499,51	1777,99	15,4	5,41	83,31
255	12,4	109,64	1087,34	1631,01	1933,91	15,7	5,45	85,57
270	11,5	101,68	1008,4	1512,6	1793,51	15,6	5,31	82,84
285	11,2	99,03	982,12	1473,18	1746,77	15,4	4,99	76,85
300	11,9	105,22	1043,5	1565,25	1855,94	15,6	5,06	78,94
<b>Promedio</b>	<b>11,01</b>	<b>97,57</b>	<b>967,64</b>	<b>1451,46</b>	<b>1721,01</b>	<b>15,29</b>	<b>4,93</b>	<b>75,42</b>

Continuación del apéndice 1.

Tripulante 4					Voltaje de inicio: 12,40 V				
Edad: 28 años					Voltaje de parada: 12,78V				
Sexo: Masculino					Voltaje efectivo (después de 1 hora): 12,52 V				
Peso: 160 lb					Voltaje efectivo (estabilizado en un tiempo mayor a 2 horas): 12,46 V				
Calorías: 105									
Datos	Tiempo (s)	Velocidad (Km/h) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Rodillo de fricción	Velocidad (RPM) Polea 2	Velocidad (RPM) Eje Motor	Voltaje (V DC)	Corriente (A DC)	Potencia (W)
1	15	8,8	77,81	771,67	1157,51	1372,48	14,6	3,56	51,98
2	30	10,1	89,3	885,62	1328,43	1575,14	14,8	4,12	60,98
3	45	10,9	96,38	955,83	1433,75	1700,02	14,9	3,75	55,88
4	60	11,1	98,15	973,39	1460,09	1731,25	15,3	4,22	64,57
5	75	11,3	99,91	990,84	1486,26	1762,28	15,4	4,98	76,69
6	90	11,8	104,33	1034,68	1552,02	1840,25	15,5	4,68	72,54
7	105	11,9	105,22	1043,5	1565,25	1855,94	15,6	5,02	78,31
8	120	12	106,1	1052,23	1578,35	1871,47	15,4	5,18	79,77
9	135	12,1	106,99	1061,06	1591,59	1887,17	15,6	5,29	82,52
10	150	11,9	105,22	1043,5	1565,25	1855,94	15,5	5,32	82,46
11	165	12,6	111,41	1104,89	1657,34	1965,13	15,4	5,45	83,93
12	180	11,5	101,68	1008,4	1512,6	1793,51	15,8	5,08	80,26
13	195	11,4	100,8	999,67	1499,51	1777,99	15,7	4,99	78,34
14	210	11,9	105,22	1043,5	1565,25	1855,94	15,6	5,12	79,87
15	225	11	97,26	964,56	1446,84	1715,54	15,5	5,49	85,1
16	240	11,3	99,91	990,84	1486,26	1762,28	15,6	5,46	85,18
17	255	11,5	101,68	1008,4	1512,6	1793,51	15,4	5,39	83,01
18	270	12,5	110,52	1096,07	1644,11	1949,44	15,5	5,41	83,86
19	285	12,8	113,18	1122,45	1683,68	1996,36	15,6	5,27	82,21
20	300	11,8	104,33	1034,68	1552,02	1840,25	15,8	5,35	84,53
<b>Promedio</b>		<b>11,51</b>	<b>101,77</b>	<b>1009,29</b>	<b>1513,94</b>	<b>1795,09</b>	<b>15,43</b>	<b>4,96</b>	<b>76,60</b>

Continuación del apéndice 1.

Tripulante 5					Voltaje de inicio: 12,50 V				
Edad: 40 años					Voltaje de parada: 12,94 V				
Sexo: Masculino					Voltaje efectivo (después de 1 hora): 12,62 V				
Peso: 180 lb					Voltaje efectivo (estabilizado en un tiempo mayor a 2 horas): 12,56 V				
Calorías: 115									
Datos	Tiempo (s)	Velocidad (Km/h) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Volante de Inercia	Velocidad (RPM) Rodillo de fricción	Velocidad (RPM) Polea 2	Velocidad (RPM) Eje Motor	Voltaje (V DC)	Corriente (A DC)	Potencia (W)
1	15	9,8	86,65	859,34	1289,01	1528,4	14	4,03	56,42
2	30	10,5	92,84	920,73	1381,1	1637,59	14,5	4,1	59,45
3	45	11	97,26	964,56	1446,84	1715,54	15	4,39	65,85
4	60	11,4	100,8	999,67	1499,51	1777,99	15,4	4,54	69,92
5	75	11,8	104,33	1034,68	1552,02	1840,25	15,3	5,05	77,27
6	90	12	106,1	1052,23	1578,35	1871,47	15,5	5,16	79,98
7	105	12,3	108,76	1078,61	1617,92	1918,39	15,6	5,28	82,37
8	120	12,5	110,52	1096,07	1644,11	1949,44	15,6	5,46	85,18
9	135	12,6	111,41	1104,89	1657,34	1965,13	15,8	4,98	78,68
10	150	12,4	109,64	1087,34	1631,01	1933,91	15,6	5,36	83,62
11	165	12,9	114,06	1131,17	1696,76	2011,87	15,8	5,06	79,95
12	180	12	106,1	1052,23	1578,35	1871,47	15,5	5,39	83,55
13	195	11,9	105,22	1043,5	1565,25	1855,94	15,6	5,44	84,86
14	210	12,3	108,76	1078,61	1617,92	1918,39	15,8	4,99	78,84
15	225	11,9	105,22	1043,5	1565,25	1855,94	15,5	5,46	84,63
16	240	11,8	104,33	1034,68	1552,02	1840,25	15,8	5,22	82,48
17	255	12,2	107,87	1069,79	1604,69	1902,7	15,5	5,09	78,9
18	270	12,9	114,06	1131,17	1696,76	2011,87	15,8	5,28	83,42
19	285	13	114,95	1140	1710	2027,57	15,9	5,56	88,4
20	300	12,5	110,52	1096,07	1644,11	1949,44	15,5	5,42	84,01
<b>Promedio</b>		<b>11,99</b>	<b>105,97</b>	<b>1050,94</b>	<b>1576,42</b>	<b>1869,18</b>	<b>15,45</b>	<b>5,06</b>	<b>78,39</b>

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Office Word 2013.



## Apéndice 2. **Estado actual del caserío el espinal**

Al finalizar el proceso de investigación se determinó que el caserío el Espinal en el municipio de Chuarrancho del departamento de Guatemala, ya cuenta con el servicio de energía eléctrica, por tal motivo para el ambiente actual que ya es un ambiente híbrido, se recomienda conectarse a la Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima (EEGSA).

De tal forma que, mientras el sistema fotovoltaico esté produciendo energía durante el día, en la noche cuando se oculta el sol o en la madrugada antes de que aparezca el sol, esa energía que se va a consumir la tenemos que conseguir de algún lado, en el ambiente actual esa energía se obtiene de la red de distribución por parte de la Empresa Eléctrica; por otro lado cuando llegue el momento de la ventana solar que el sistema esté produciendo es cuando los consumos son alimentados por el sistema fotovoltaico, si llegamos a tener excedentes durante el día o que el consumo haya bajado en la curva de producción de energía fotovoltaica, este excedente se inyecta a la red de distribución local de la Empresa Eléctrica en base al Marco Legal, debido que actualmente la Ley tiene contemplado que nosotros le podemos vender la energía a la Empresa Eléctrica.

Otro factor importante por mencionar en el ambiente actual es la sustitución de la bici generadora de electricidad como respaldo por el suministro eléctrico por parte de la Empresa, al realizar este nuevo cambio en el sistema los costos tendrán una disminución, por esta razón el sistema tendrá más viabilidad económicamente.

Continuación del apéndice 2.

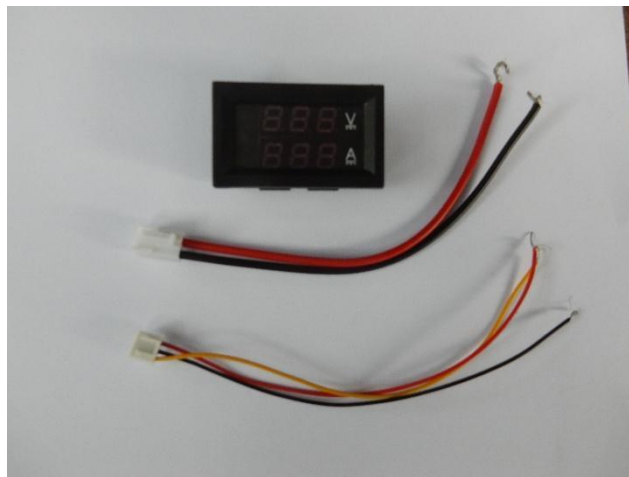
Al conectarse a la Empresa Eléctrica los costos de la batería disminuirán, de tal forma que el sistema para el ambiente actual será más rentable para los usuarios del caserío El Espinal.

<b>PRESUPUESTO PARA EL ESTADO ACTUAL</b>	
<b>EQUIPO</b>	<b>PRECIO</b>
Panel solar policristalino 150 W marca ATERSA	Q2,367.34
Inversor-Regulador 1000 W 12 V	Q2,326.17
Total	Q4,693.51

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word 2013.

Apéndice 3. **Fotografías complementarias para la elaboración de la bici generadora de electricidad**

**Voltímetro-amperímetro digital**

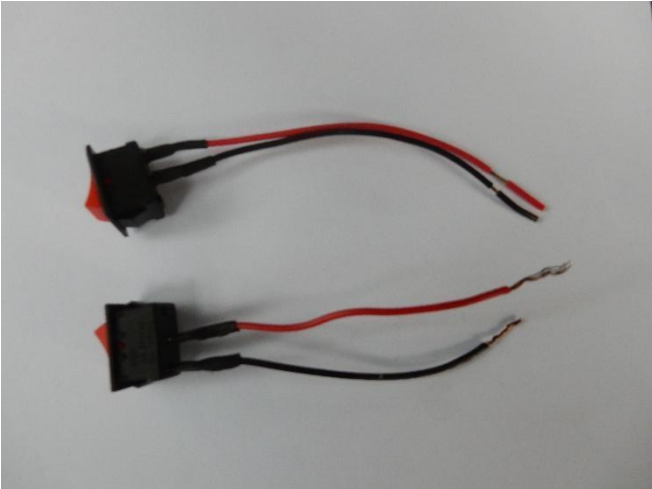


Continuación del apéndice 3.

**Batería de 9 V DC**



**Interruptores para el mando de control de la bici generadora**

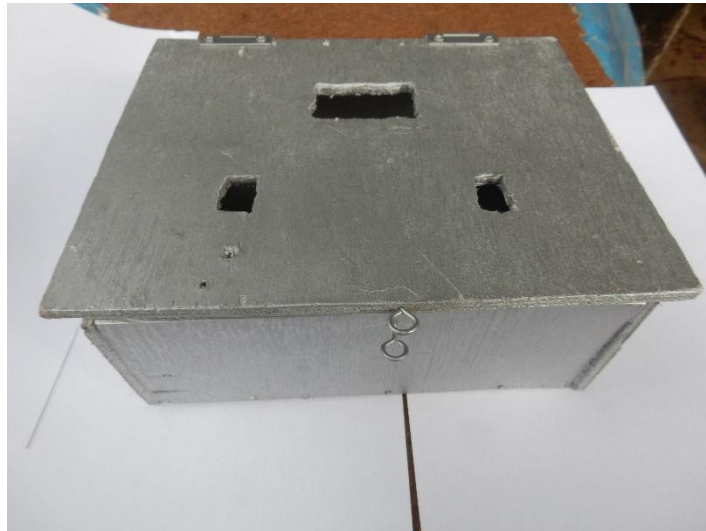


Continuación del apéndice 3.

**Cable automotriz calibre #12 y #14**



**Base de madera para el mando de control de la bici generadora**



Continuación del apéndice 3.

**Velocímetro JING YI**



**La bici generadora de electricidad**



Continuación del apéndice 3.

### **Tren de poleas de la bici generadora de electricidad**



Fuente: elaboración propia, utilizando cámara Nikon COOLPIX S9900.