



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA  
FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA DE  
RESPALDO DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES  
EN EL MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO  
CARABOBO**

**Autores:**  
Maduro, Eliezer  
Rodríguez, Eduardo

Urb. Yuma II. Calle N° 3. Municipio San Diego  
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA**

**SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA COMO  
ALTERNATIVA DE RESPALDO DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA  
ELÉCTRICA EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN EL MUNICIPIO SAN  
DIEGO, ESTADO CARABOBO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de**

**INGENIERO ELECTRÓNICO.**

**Autores:**

Maduro Eliezer

CI 27.167.242

Rodríguez Eduardo

CI 27.754.846

**Tutor:** Ing. José Pérez

San Diego, octubre 2020



FI-E -003-2020-2CR (TG)

Valencia, 13 de octubre de 2020

Ciudadanos:

Maduro R., Eliezer F.

27.167.242

Rodriguez R., Eduardo A.

27.754.846

Presente-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 02-2020 de fecha 28-07-2020 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA DE RESPALDO DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN EL MUNICIPIO SAN DIEGO , ESTADO CARABOBO** presentado por usted (es) como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico.

Se ratifica la designación del Ing. José Pérez C.I: 8.829.908 como Tutor Académico que lo asesorara en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

**Dra. Zaida Osto**  
**Decana ( E )**

e.e. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (1).

Ll/a.a.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

### CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quien suscribe, Ingeniero José Ramón Pérez Colón, portador(a) de la cédula de identidad N° 8.829.908, en mi carácter de tutor (a) del trabajo de grado presentado por el ciudadano Eliezer Fernando Maduro Rojas, portador de la cédula de identidad N° 27.167.242 y el ciudadano Eduardo Andrés Rodríguez Rivas portador de la cedula de identidad N° 27.754.846, titulado **SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA DE RESPALDO DEL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN EL MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO** presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los veinticinco días del mes de octubre del año dos mil veinte.

José Ramón Pérez Colón  
C.I. 8.829.908

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero empezar agradeciéndole a Dios y a mis padres Pedro Maduro e Ysabel Rojas de Maduro, por ser mis apoyos incondicionales incluso desde antes que tuviera uso de razón, les agradezco su amor, su comprensión, su ayuda y cada uno de los consejos que me dieron a lo largo de toda mi vida, a mi hermana Christinne Maduro por siempre querer lo mejor para mí, a ellos le atribuyo la mayor parte de mi éxito.

A Eduardo Villanueva quien fue mi profesor de matemática y física en mi etapa de liceo, mi amigo y mi mentor, a él le agradezco por cada minuto que dedico para aconsejarme y por creer en mí cuando muy pocas personas lo hacían, a él le atribuyo parte de mi éxito.

A mi abuela Petra Rodríguez de Rojas por ser el cimiento de la familia y amarnos a todos y a cada uno por igual. A mi abuela Gladys Cedeño de Maduro, quien me recibió con amor en su hogar y me dio su atención y su apoyo durante los años de mi carrera, a mi tía Eylin Maduro quien me ayudó en los momentos de la carrera que lo necesité, al igual a mis tíos Víctor Maduro y Eva Sánchez de Maduro quienes también me ayudaron y siempre estuvieron pendientes de mí, a todos ellos les atribuyo parte de mi éxito.

A mi compañero de trabajo de grado Eduardo Rodríguez quien personalmente es mi amigo y hermano, le agradezco por estar presente en mi vida, siempre estar dispuesto a ayudarme y por ser el mejor compañero de trabajo de grado que alguien puede tener, sus padres Eduardo Rodríguez y Aleida Rivas quienes con amor me abrieron las puertas de su hogar y me dieron su atención como a un hijo más, a ellos les atribuyo parte de mi éxito.

A William Cardona quien desde el momento que lo conocí fue un verdadero amigo y hermano para mí, a él le agradezco por estar presente en mi vida y por ayudarme cuando más lo necesité durante mis estudios de pregrado, a sus padres William Cardona y Paula Patiño de Cardona quienes con mucho amor me recibieron en su hogar y me hicieron sentir parte de su familia, a ellos les atribuyo parte de mi éxito.

A mis amigos Diego Montilla, Paul Ortiz, Daniel Dania y Erol Chacón con quienes compartí muchas experiencias inolvidables y gran parte de mi tiempo durante el transcurso de mi estadía en la universidad, les agradezco por su tiempo y por su apoyo en todo momento, a ellos le atribuyo parte de mi éxito

A mis compañeros Jimmy Tua y Enmanuel León quienes le agradezco por motivarme inconscientemente a ser un mejor estudiante y una mejor persona, a ellos les atribuyo parte de mi éxito.

A la Asociación Civil Global CYD quienes hicieron posible que pudiera culminar mi carrera universitaria a través de su beca.

Un agradecimiento especial a nuestro tutor de trabajo de grado José Pérez quien con paciencia y dedicación se encargó de guiarnos por el camino correcto para que todo este proyecto de investigación se llevara a cabo, le agradezco su atención y por regalarnos de su tiempo y a Jessika Bonan quien nos brindó su ayuda y nos dio sus consejos para estructurar la presente investigación.

**Eliezer Fernando Maduro Rojas**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres, por apoyarme incondicionalmente en todo el trayecto que he recorrido hasta este momento. Por cuidarme, ser atentos, celebrar junto a mí los logros que he alcanzado, aconsejarme, y darme la oportunidad de atravesar esta etapa universitaria y vivir todas las experiencias que he vivido con ella. A mi hermana, por ofrecerme su apoyo y cariño incluso estando en otro país.

A Jessika Bonan, quien ha sido un pilar fundamental de mi vida en el tiempo que hemos estado juntos, por darme su cariño y amor de forma incondicional, por su ayuda en áreas de conocimiento que no son de mi dominio, por su apoyo en aquellos días donde dudé de mí mismo, por permitirme compartir tantas experiencias nuevas a su lado, por estar a mi lado en muchas situaciones difíciles, y muchas otras cosas más. No encuentro palabras para agradecer el hecho de que esté en mi vida.

A mis compañeros de clase; Eliezer, Jimmy, Dania, Paul. Los agradezco por ser parte de esta etapa que estamos culminando juntos a pesar de las adversidades y dificultades que hemos atravesado, por ofrecerme su amistad y poder aprender de ustedes y junto a ustedes. No ha sido fácil llegar a este punto, pero hemos logrado mucho y sé que seguiremos logrando grandes cosas en el futuro.

A todas las amistades que he adquirido en la universidad, y con quienes he compartido tanto tiempo de calidad juntos; David, Mónica, Tavo, Pedro, Dani, Gus, Shaki, Male, Laura, César, Sonya. Gracias por darle tanto color y alegría a varios días de mi vida, tanto en la universidad como fuera de ella.

A aquellos amigos que he conservado desde mis momentos en bachillerato, y con quienes he podido compartir momentos felices incluso después de todo este tiempo; Fannel, María, Tere, Néstor, Diego, García, Ross. Me alegra que podamos seguir celebrando nuestros logros y apoyándonos en nuestros fracasos sin importar el tiempo ni la distancia.

A mis profesores, por hacer el esfuerzo de enseñarnos y formarnos como profesionales sin importar las adversidades que la situación nos presente, y por reinventarse cada vez más para reforzar nuestro entendimiento de los temas de la carrera. En particular, quiero agradecer a nuestro tutor, José Pérez, por orientarnos durante estos últimos meses para poder mejorar nuestro trabajo de grado, por su paciencia, y por su dedicación hacia nosotros.

A la Asociación Civil Global CyD, por su beca y por ofrecer tan gran ayuda económica a muchos alumnos brillantes que se encuentran dentro de la universidad, a pesar de las dificultades. En verdad ha sido un privilegio, y ha sido un gran impulso para dar lo mejor de mí incluso en la adversidad.

Y finalmente, un agradecimiento a todos aquellos, conocidos y desconocidos, que he podido ayudar y con quienes he podido compartir mis conocimientos adquiridos durante este tiempo. Ha sido un privilegio poder ayudar a cada uno de ellos a acercarse a sus metas y ser mejores cada día.

**Eduardo Andrés Rodríguez Rivas**

## **DEDICATORIA**

A Dios,

A mis padres Pedro Maduro e Ysabel Rojas de Maduro,

A mi hermana Christinne Maduro.

Por su amor, atención y apoyo soy todo lo que soy.

**Eliezer Fernando Maduro Rojas**

## **DEDICATORIA**

A mi familia, quien me ha apoyado para llegar hasta acá.

A mis amigos y seres queridos, quienes han alegrado mis días y mi vida.

A mis profesores, por el esfuerzo que ponen para que seamos mejores.

A todos los estudiantes y profesionales que se esfuerzan por ser mejores cada día, a pesar de las dificultades que se puedan presentar.

A todos aquellos en el mundo que trabajan a diario para asegurar un futuro mejor para todas las generaciones.

*“Si hubiera seguido el camino predeterminado, no habría llegado tan lejos. Aunque lo tengamos todo en contra, aunque no pueda ver el futuro, seguiré adelante. Por mi propio camino. Esa es mi decisión.”*

*“No importa si podemos ver el futuro o no. ¡Lo que importa es la voluntad de poder elegir y la fuerza para forjar tu destino!”*

**Eduardo Andrés Rodríguez Rivas**

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO</b>	
<b>I EL PROBLEMA .....</b>	<b>3</b>
1.1. Planteamiento del Problema .....	3
1.2. Formulación del Problema .....	7
1.3. Objetivos de la Investigación .....	7
1.3.1. Objetivo General .....	7
1.3.2. Objetivos Específicos .....	7
1.4. Justificación de la investigación.....	8
1.5. Alcance .....	9
1.6.- Limitaciones.....	9
<b>II MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 Antecedentes de la investigación.....	10
2.2. Bases teóricas .....	13
2.2.1. Radiación solar .....	13
2.2.2. Efecto fotovoltaico .....	17
2.2.3. Celda fotovoltaica.....	18
2.2.4. Posicionamiento solar.....	21
2.2.5. Baterías .....	24
2.2.6. Controladores de carga.....	27
2.2.7. Inversores .....	30
2.3. Bases legales.....	33
2.3.1. Ley de uso racional y eficiente de la energía .....	33
2.3.2. Ley orgánica del sistema y servicio eléctrico.....	34

2.3.3 Fondonorma 200:2009.....	35
2.4. Definición de términos básicos .....	35
<b>III MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>37</b>
3.1. Tipo de investigación .....	37
3.2. Diseño de la investigación.....	38
3.3. Nivel de investigación .....	38
3.4. Población y muestra .....	39
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	39
3.5.1 Técnicas de recolección de datos .....	39
3.5.2 Instrumentos de recolección de datos.....	40
3.6. Fases de la investigación .....	42
<b>IV RESULTADOS.....</b>	<b>44</b>
4.1. Fase I: “Diagnóstico de las características del consumo eléctrico actual en viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo” .....	44
4.1.1. Aplicación de encuesta .....	44
4.1.2. Resultados de la encuesta .....	45
4.1.3. Definición de perfiles .....	49
4.2 Fase II: “Modelado de los elementos del sistema de generación eléctrica fotovoltaica, simulando su comportamiento bajo las condiciones ambientales promedio del municipio San Diego, Estado Carabobo” .....	53
4.2.1. Modelado matemático de los elementos del sistema FV.....	53
4.2.2 Condiciones ambientales del municipio San Diego, estado Carabobo.....	65
4.2.3. Simulación del sistema FV .....	69
4.2.3.3. Simulación del panel fotovoltaico bajo STC (Standard Test Conditions) .....	73
4.2.3.3. Simulación del panel fotovoltaico bajo las condiciones ambientales del municipio San Diego, estado Carabobo .....	75
4.3. Fase III: “Diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, como sistema de respaldo energético adaptable a las viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo” .....	76

4.3.1. Criterios de selección .....	77
4.3.2. Dimensionamiento del sistema.....	80
4.4. Fase IV: “Realización de un estudio de factibilidad técnica, económica, social y ambiental para la implementación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica como respaldo energético de viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo”.....	86
4.4.1. Estimación de gastos .....	86
4.4.2. Análisis de factibilidad económica.....	90
4.4.3. Ventajas y desventajas ambientales en el municipio San Diego del sistema FV propuesto .....	104
4.4.4. Ventajas y desventajas del sistema FV propuesto frente a un generador por combustión fósil estándar.....	105
4.4.5. Impacto social.....	105
4.4.6. Análisis FODA del sistema FV propuesto .....	106
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>107</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>109</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>110</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	CONTENIDO	Pág.
1.	Resultados obtenidos de la encuesta .....	48
2.	Tabla de datos de consumo eléctrico diario en las viviendas unifamiliares en Wh/día.....	50
3.	Tabla de frecuencia del consumo eléctrico diario en las viviendas unifamiliares .....	51
4.	Factor de idealidad del diodo según tecnología de fabricación del panel .....	55
5.	Irradiación y temperatura por hora en el municipio San Diego para el mes de enero de 2015 .....	68
6.	Características eléctricas (STC) y mecánicas del panel HiKu CS3W-410P .....	70
7.	Características eléctricas de la batería Giant Power 12V 300AH AGM Deep Cycle Battery de Aussie Batteries & Solar .....	81
8.	Características eléctricas del inversor M6000L-48SP de Sigineer .....	81
9.	Características eléctricas de la batería Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery de Aussie Batteries & Solar .....	83
10.	Características eléctricas del inversor LV5048 de MPP Solar ...	83
11.	Características eléctricas del inversor LV2424 de MPP Solar ....	85
12.	Mantenimiento preventivo y correctivo recomendado para los sistemas fotovoltaicos .....	87
13.	Costos de inversión para el dimensionamiento del perfil A .....	89
14.	Costos de inversión para el dimensionamiento del perfil B .....	89
15.	Costos de inversión para el dimensionamiento del perfil C .....	90

16.	Estimación del valor residual de los equipos del perfil A, a través del método de valor contable .....	93
17.	Estimación del valor residual de los equipos del perfil B, a través del método de valor contable .....	94
18.	Estimación del valor residual de los equipos del perfil C, a través del método de valor contable .....	94
19.	Flujos monetarios anuales para el perfil de dimensionamiento A	96
20.	Flujos monetarios anuales para el perfil de dimensionamiento B	96
21.	Flujos monetarios anuales para el perfil de dimensionamiento C	97
22.	Especificaciones técnicas del generador ATOBDG7000SE .....	98
23.	Especificaciones técnicas del generador RD01525ADAE .....	98
24.	Especificaciones técnicas del generador RD02025ADAL .....	99
25.	Plan de mantenimiento para los generadores Diesel .....	99
26.	Estimación del valor residual de los generadores Diesel, a través del método de valor contable .....	101
27.	Flujos monetarios anuales para el generador como alternativa del perfil A .....	102
28.	Flujos monetarios anuales para el generador como alternativa del perfil B .....	102
29.	Flujos monetarios anuales para el generador como alternativa del perfil C .....	103
30.	Análisis FODA del sistema fotovoltaico propuesto.....	106

## ÌNDICE DE FIGURAS/GRÁFICOS

FIGURA	CONTENIDO	Pág.
1.	Radiación solar y sus componentes .....	15
2.	Mapa de irradiación solar global en Venezuela .....	16
3.	Efecto fotovoltaico .....	18
4.	Celda solar .....	19
5.	Tipos de paneles solares y sus celdas .....	21
6.		

	2020.....	
24.	Ubicación geográfica del sol con respecto al municipio San Diego .....	67
25.	Irradiación solar incidente en el municipio San Diego durante el año 2015 .....	67
26.	Irradiación solar incidente por hora en el municipio San Diego para un día promedio en el mes de enero del 2015 ...	68
27.	Modelo de un panel fotovoltaico en Simulink .....	70
28.	Subsistema dedicado a la corriente fotogenerada .....	71
29.	Subsistema dedicado a la corriente de saturación inversa .....	72
30.	Subsistema dedicado a la corriente de saturación .....	72
31.	Subsistema dedicado a la corriente shunt .....	73
32.	Gráfica de voltaje vs corriente bajo STC .....	74
33.	Gráfica de voltaje vs potencia bajo STC .....	75
34.	Gráfica de voltaje vs corriente bajo distintas condiciones ambientales .....	76
35.	Gráfica de voltaje vs potencia bajo distintas condiciones ambientales .....	76
36.	Interacción entre los elementos del sistema fotovoltaico .....	85

GRÁFICAS	CONTENIDO	Pág.
1.	Histograma y polígono de frecuencia del consumo eléctrico por día de las viviendas encuestadas .....	51
2.	Comparación entre los distintos perfiles de consumo .....	52
3.	Gráfica de la distribución de probabilidad del consumo eléctrico por día de las viviendas encuestadas, junto al histograma de frecuencia .....	53

## ÌNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	CONTENIDO	Pág.
	Cuestionario para el diagnóstico de las características del	
A.	consumo eléctrico actual en viviendas unifamiliares en el Municipio San Diego, estado Carabobo .....	109
	Resultados de la encuesta para el diagnóstico de las	
B.	características del consumo eléctrico actual en viviendas unifamiliares en el Municipio San Diego, estado Carabobo .....	111
	Hoja de datos del panel fotovoltaico Canadian Solar HiKu	
C.	CS3W-410P .....	121
	Tabla de fórmulas y calibres de cable estimados para las	
D.	conexiones necesarias de cada perfil de consumo .....	122
	Hoja de datos de las baterías Giant Power 12V 300Ah AGM	
E1.	Deep Cycle Battery .....	124
	Hoja de datos del inversor Transformer Based Off Grid Solar	
E2.	Inverter M6000L-48SP .....	125
	Hoja de datos de las baterías Giant Power 12V 330Ah AGM	
F1.	Deep Cycle Battery .....	127
F2.	Hoja de datos del inversor Split Phase LV Series LV5048 .....	128
G.	Hoja de datos del inversor Split Phase LV Series LV2424 .....	129
H1.	Hoja de datos del generador ATO Modelo ATOBDG7000SE ....	130
H2.	Hoja de datos del generador Generac Modelo RD01525ADAE ...	131
H3.	Hoja de datos del generador Generac Modelo RD02025ADAL ...	125



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA  
FOTOVOLTAICA COMO ALTERNATIVA DE RESPALDO DE  
SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN VIVIENDAS  
UNIFAMILIARES EN EL MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO**

**Autores:** Maduro Eliezer, Rodríguez Eduardo

**Tutor:** Ing. José Pérez.

**Fecha:** Octubre 2020.

**RESUMEN**

Este proyecto tiene como objetivo proponer el diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaico como alternativa de respaldo de suministro de energía eléctrica, aplicado en viviendas unifamiliares del municipio San Diego, Estado Carabobo. Para llevarlo a cabo, se recopiló información del consumo eléctrico promedio en veinte (20) casas de la población y a partir de allí se seleccionaron tres (3) perfiles de consumo eléctrico para que, en base a esto se diseñaran 3 sistemas de generación fotovoltaicos, adaptándose a las diferentes necesidades de la localidad. Previo a la etapa de diseño del sistema, primero se caracterizó y se modeló matemáticamente cada uno de los elementos del sistema fotovoltaico, de manera individual, simulando las respuestas de los paneles solares con la herramienta Simulink de Matlab, para de esta forma, conocer los parámetros y condiciones operativas a las que estarían trabajando, permitiendo dimensionar y diseñar el sistema final para los tres (3) perfiles anteriormente mencionados. Por último, se realizó un estudio de factibilidad económica, técnica, social y ambiental para determinar cuál perfil tiene una mayor factibilidad de aplicación en el caso en estudio. La siguiente investigación corresponde a un proyecto factible, de tipo cuantitativo, con un diseño de campo a un nivel descriptivo.

**Descriptor:** Sistema fotovoltaico, Energías renovables, Simulación, Respaldo energético, Viviendas unifamiliares, Matlab, Simulink, Energía solar, Modelación.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se han venido tomando acciones para disminuir el cambio climático y la contaminación ambiental, entre las cuales se destaca el reemplazo de las fuentes de energías agotable por el uso de fuentes de energía renovable o energías limpias. En este sentido, en las últimas décadas, se han desarrollado múltiples tecnologías para aprovechar al máximo al sol como fuente de energía renovable, lo que dio origen a los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica, los cuales proyectan un gran auge y demanda en la actualidad.

En otro orden de ideas, en los últimos años tanto en el municipio San Diego, como en todo el territorio nacional, se han presentado múltiples fallas en el servicio de energía eléctrica, lo que en consecuencia hace que los pobladores pasen desde pocos minutos, hasta horas sin suministro de energía eléctrica en sus hogares. Este hecho representa un grave problema, debido a que esta inestabilidad de suministro, no solo puede ocasionar daños en los electrodomésticos conectados a la red de energía eléctrica, sino que también, afectan la calidad de vida de los venezolanos, ya que no pueden realizar actividades o tareas con su debida normalidad por la falta de este servicio básico. A pesar de ello, los venezolanos han tratado de buscar soluciones a este problema, adquiriendo generadores por combustión fósil, permitiéndoles tener un respaldo de energía eléctrica en sus hogares, en los momentos en el que no cuentan con el servicio eléctrico.

El uso de estos generadores por combustión fósil, no son precisamente la mejor solución ante el problema eléctrico de los venezolanos, gracias a que estos también son generadores de gases de efecto invernadero, los cuales son perjudiciales para el medio ambiente y para la salud de los individuos que tienen contacto directo con ellos. Por esa razón, este proyecto tiene como objetivo proponer el diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica como alternativa para solucionar el problema eléctrico al que están sometidos los venezolanos, causando una mejora su la calidad de vida, y beneficiando al medio ambiente.

Para el cumplimiento de este objetivo y siguiendo las líneas de la normativa de la Universidad José Antonio Páez para la presentación de trabajos de grado, la investigación se estructuró en cuatro (4) capítulos, tal como se describen a continuación:

**Capítulo I:** Plantea y formula la problemática, expone los objetivos a seguir para el desarrollo de la investigación, así como la justificación, alcance y limitaciones implicadas en la misma.

**Capítulo II:** Conformado por los antecedentes e investigaciones que tratan el mismo problema o se relacionan con la presente investigación. Se explican las bases teóricas y legales que son necesarias para la elaboración de esta investigación y en última instancia se definen los términos básicos.

**Capítulo III:** Contiene el marco metodológico, el cual comprende el tipo, el nivel y el diseño de la investigación. De igual forma define la población y muestra para el caso en estudio. Por último, especifica las tareas y actividades a realizar para cumplir cada fase de la investigación que están ligadas con el logro de los objetivos específicos.

**Capítulo IV:** Presenta los resultados obtenidos después de haber llevado a cabo cada una de las etapas de la presente investigación, de manera que establece la base para llegar a las conclusiones del objetivo planteado.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del Problema

El cambio climático es uno de los problemas más grandes a los que se enfrenta la humanidad actualmente, con consecuencias que pueden afectar al futuro de la Tierra y sus habitantes de manera drástica. Vitalis (2018), lo define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. Muchas de las actividades industriales realizadas a nivel mundial por las organizaciones contribuyen al cambio climático.

El crecimiento vertiginoso de la industrialización ha incidido de manera negativa sobre el medio ambiente, debido a la dependencia de materiales como el carbón y el petróleo, como fuentes de energía para los procesos que realizan. “El uso de combustibles fósiles como fuente de energía es el principal contribuyente al cambio climático, por medio de la liberación de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI’s), de los cuales, el más importante es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)”. (Arias, 2017)

Naciones Unidas (2020) resalta que, “los GEI’s impiden que parte del calor del sol se propague hacia el espacio y mantiene la temperatura del planeta en niveles que son aptos para los humanos y para los demás seres vivientes. Sin embargo, una alta cantidad de GEI’s puede ser perjudicial a largo plazo”. La criticidad de los GEI se mide por su PCG (potencial de calentamiento global) o su capacidad de absorción de la radiación. El problema surge cuando aumenta la concentración de estos GEI, si bien aparenta ser pocos grados, estos pequeños cambios en la temperatura implican modificaciones peligrosas en los ecosistemas (cambio climático), que provocan

sequías en algunos lugares y lluvias en otros; generando un incremento de la temperatura media global, superior a la que cabría esperar si no existieran dichos GEI producidos de manera antropogénica.

Por consiguiente, Total (2019) reporta que, “entre todos los tipos de gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono representa unos dos tercios de la cantidad total, principalmente por la quema de combustibles fósiles para el transporte y la producción de energía”. Se han desarrollado técnicas que utilizan energía renovable para sustituir aquellas que le hacen daño al medio ambiente, pero la transición del uso de esta fuente de energía a las renovables ha sido lenta. Además, el cambio climático puede llegar a complicar el desarrollo de fuentes de energía renovable como la hidráulica por cómo puede llegar a alterar el ciclo hidrológico.

Ahora bien, unos de los focos a nivel mundial en las últimas décadas ha sido la disminución de la emisión de GEI's, esto claramente puede verse reflejado en el Acuerdo de París acerca del cambio climático, adoptado el 12 de diciembre del 2015 en la COP21, luego de celebrarse La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), siendo Venezuela uno de los países participantes de este acuerdo, donde la Comisión Europea resume:

*Los gobiernos de 195 países acordaron para finales de este siglo: mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C sobre los niveles preindustriales; que las emisiones globales alcancen su nivel máximo cuanto antes, si bien reconocen que en los países en desarrollo el proceso será más largo, pero después aplicar rápidas reducciones basadas en los mejores criterios científicos disponibles. (Comisión Europea, 2019, p. 3)*

La región latinoamericana ha hecho el esfuerzo de seguir los pasos de sus homólogos, sin mayor éxito. La energía hidroeléctrica contribuye a una gran parte de la cuota total de energías renovables del sector, sin embargo, debido al efecto invernadero, muchas fuentes de agua se han visto afectadas con una disminución en sus afluentes lo que hace pensar que esta solución está también limitada en su uso y podría no ser viable si no se detiene el calentamiento global en los próximos años. A pesar de eso, la región cuenta con un gran potencial para el uso de estas energías:

*La región de Latinoamérica y el Caribe cuenta con un vasto potencial en cuanto a fuentes de energía renovable se refiere, que hasta el día de hoy ha sido pobremente aprovechado. A este hecho se le pueden atribuir varias causas, una de estas, es la falta de recorrido en su implementación, por parte de los miembros de la región y la poca disponibilidad de recursos financieros para desarrollar proyectos; la integración energética puede ser una solución a estas barreras, ya que puede disminuir los costos en grandes proyectos con fuentes renovables y aprovecharse como punto significativo en la transferencia de conocimiento, acelerar los avances tecnológicos de la región, ofrecer una mayor confiabilidad del sector eléctrico y aportar en la generación de empleos. (Muñoz, Güiza y Salazar, 2017, p. 5)*

Cabe resaltar que, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de Venezuela y su capacidad de generación eléctrica están en tela de juicio, en un reporte hecho por Giraldo (2019), destaca que, “según la Academia de Ingeniería y Hábitat, la nación puede generar 36.561 megavatios por segundo, pero la satisfacción de demanda es de apenas 14.000 megavatios en el mismo lapso”, lo que sustenta el argumento en la investigación de González (2019), donde reseña que, “desde 2009 los venezolanos viven sometidos a periódicos cortes eléctricos por la insuficiente potencia máxima instantánea para abastecer la demanda”. Demostrando así el hecho de discontinuidad en el servicio de suministro eléctrico en todo el territorio nacional, donde algunas localidades se han visto mucho más afectadas por este fenómeno que otras.

La incapacidad de cumplir la demanda eléctrica nacional ha sido consecuencia de diversos factores, entre los cuales resalta la falta de mantenimiento al SEN, así lo indica Analítica (2018), en una entrevista realizada a Ángel Navas, presidente de Fetraelec el cual aseveró que, “la cantidad de fallas eléctricas totales en el país para el año 2018 habían duplicado el número de fallas presentadas en el año 2017, afirmando que el deterioro en el SEN se debía a la falta de mantenimiento”. Todo este panorama generó lo que los autores y especialistas llaman una crisis energética en Venezuela.

Como consecuencia, los venezolanos se han convertido en víctimas del inestable suministro eléctrico. Esto es más evidente en lugares como el estado Zulia, donde Luengo (2020) reporta que, “muchos municipios del estado han tenido que

soportar cortes del suministro eléctrico que pueden alcanzar hasta 20 horas diarias, además de la inestabilidad del servicio eléctrico durante las pocas horas que poseen electricidad, lo cual ocasiona daños a los electrodomésticos y equipos que dependen del sistema eléctrico”.

Por esto, la población ha recurrido al generador de combustible fósil como respaldo ante las fallas del servicio eléctrico, tanto en las casas y residencias familiar, como en hospitales que requieren de energía eléctrica para ofrecer sus servicios, e incluso en industrias y empresas que dependen de la electricidad para seguir con su producción.

*Conforme se agrava la crisis en Venezuela, la venta de generadores eléctricos es uno de los pocos sectores que crecen en la otrora rica nación petrolera, cuyos residentes tratan de sobrevivir pese al colapso de los servicios públicos. Millones de personas pobres viven a merced de la inestable red eléctrica venezolana, pero los ciudadanos de clase media y alta capaces de reunir unos cientos de dólares (USD), están comprando generadores de emergencia en un intento de recuperar una vida corriente. Esta tampoco es una solución infalible. El desabastecimiento de gasolina se extiende en todo el país, complicando el acceso a combustible para las nuevas plantas eléctricas. (La Voz de América, 2019, p. 5)*

El uso doméstico de generadores por combustión fósil no es la mejor opción en cuanto a sistemas de respaldo energético se refiere, debido a que estos son perjudiciales para la salud del individuo o grupo de individuos que, al interactuar con ellos, absorben de manera directa o indirecta las emisiones de gases que estos producen. Concerniente a esto, en un artículo escrito por Nelson (2012), en base a la información suministrada por parte del Departamento de Protección Ambiental del Estado de Nueva Jersey, expresa que, “el escape Diesel contiene una mezcla de químicos tóxicos. Por otro lado, Los nuevos generadores Diesel contienen filtros de aire y catalizadores para limpiar sus emisiones, pero los modelos más antiguos pueden liberar de 200 a 400 veces más óxidos de nitrógeno”. Por lo que este tipo de generadores causan un impacto ambiental considerable y atentan contra la salud de la población.

Entendiendo lo anterior, se presenta un gran problema por la creciente demanda y uso de estos generadores por combustión fósil como sistema de respaldo energético en residencias, locales, industrias, hospitales, entre otras aplicaciones, de todo el territorio nacional. Porque si bien, el uso de un solo generador origina contaminación ambiental a niveles desdeñables, el uso masivo de estos y la falta de conciencia en las comunidades, acerca de la emisión de gases de efecto invernadero que estos producen, traerán grandes consecuencias al ecosistema de su localidad, como para el medio ambiente en el país y en el mundo entero.

Por tal motivo, se hace necesario realizar una investigación con el propósito de proponer el diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, como una alternativa para dar solución a los problemas de suministro eléctrico en viviendas unifamiliares y como una fuente de energía renovable para la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero y todos los efectos colaterales que estos implican en el municipio San Diego, Estado Carabobo.

## **1.2. Formulación del Problema**

De acuerdo a la problemática descrita anteriormente, los investigadores formulan la siguiente pregunta: ¿qué alternativas pueden ser implementadas como sistema de respaldo energético en viviendas unifamiliares en el Municipio San Diego, Estado Carabobo?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Proponer el diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica como alternativa de respaldo del suministro de energía eléctrica en viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Diagnosticar las características del consumo eléctrico actual en viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo.

Modelar los elementos del sistema de generación eléctrica fotovoltaica, simulando el comportamiento del panel solar bajo las condiciones ambientales promedio del municipio San Diego, Estado Carabobo.

Diseñar un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, como sistema de respaldo energético adaptable a las viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo.

Realizar un estudio de factibilidad técnica, económica, social y ambiental para la implementación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica como respaldo energético de viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

Sin duda alguna, las fuentes energéticas renovables irán desplazando a las fuentes energéticas agotables, como la combustión fósil en los próximos años a nivel global, esto como medida de reducción de emisión de GEI's y así disminuir las causas y efectos del cambio climático.

Ahora bien, es necesario que esta transición comience desde lo particular, es decir, en viviendas, comunidades, municipios, estados, hasta llegar a generar un impacto a nivel nacional en Venezuela. Uno de los grandes obstáculos que ha impedido esta transición es el alto costo que pueden tener los sistemas de generación eléctrica a partir de fuentes renovables, como lo son los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica, es ahí donde resalta la importancia de la presente investigación que tiene como objetivo proponer el diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, debido a que al diseñar un sistema suficientemente eficiente y más accesible económicamente para la población, esto puede dar paso a la sustitución del generador por combustión fósil y de esta manera, contribuir con los pobladores del municipio en la transición y concientización del uso de fuentes de energías renovables para la preservación del medio ambiente.

A pesar de que idealmente el sistema propuesto irá dirigido al uso en viviendas unifamiliares, esto no es limitante para su aplicación en locales, industrias, hospitales, entre otras instalaciones, que puedan presentar semejanzas en cargas eléctricas que deban ser conectadas a un sistema de respaldo energético, generando así un mayor alcance e impacto social.

A parte de los beneficios ambientales que el sistema de generación eléctrica fotovoltaica propuesto origina, éste también se convierte en una solución al problema del discontinuo e inestable suministro eléctrico que viven los venezolanos, presentándose como una de las mejores alternativas como sistemas de respaldo energético por los motivos expuestos.

Por último, cabe destacar que, al proponer el diseño del sistema de generación eléctrica fotovoltaica como opción de fuente de energía renovable, éste va alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la nación, en cuanto a energía asequible y no contaminante.

### **1.5. Alcance**

Con la presente investigación se pretende llegar al diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, que pueda atender a las necesidades operativas básicas de los usuarios de sistemas energéticos de respaldo en viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, estado Carabobo. Por último, estudiar la factibilidad económica para un posible desarrollo del diseño.

### **1.6.- Limitaciones**

Se debe considerar que esta alternativa va a depender de las características climatológicas de cada región del país donde tenga más influencia la energía solar. La eficiencia de estos sistemas depende de la irradiancia solar, la cual puede variar entre regiones, y lugares con baja irradiancia solar necesitarán una mayor cantidad de recursos para obtener los mismos niveles de potencia eléctrica que una región con alta irradiancia solar.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Toda investigación requiere una revisión minuciosa de algunos referentes teóricos y conceptuales para el desarrollo de una perspectiva teórica específica que permita al investigador llevar a cabo su actividad, que esté acorde con el planteamiento del problema. En este sentido, Hernández, Fernández-Collado y Baptista (2008, pg. 53) señalan que un Marco Teórico es “un compendio escrito de artículos, libros y otros documentos que describen el estado pasado y actual del conocimiento sobre el problema de estudio. Nos ayuda a documentar cómo nuestra investigación agrega valor a la literatura existente”.

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

Pérez (2009, pg. 64), define los antecedentes como: “una indagación bibliográfica en investigadores anteriores, tanto en el ámbito nacional como internacional. Consiste en el análisis de investigaciones iguales o similares realizadas en el campo de estudio”. De acuerdo a lo anterior, las investigaciones analizadas y que aportaron fundamentos a la presente fueron las siguientes:

Pérez, S (2019), elaboró un trabajo de grado para obtener el título de ingeniero electrónico en la Pontificia Universidad Católica de Perú, titulado: “**Factibilidad técnica, económica y social de instalaciones eléctricas solar fotoeléctricas para el consumo doméstico de la localidad de El Vallecito, Cusco**”, el cual se basó en la modelación matemática y caracterización de todos los elementos de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, simulando el comportamiento de dicho sistema bajo las condiciones ambientales y solares de la localidad en estudio, con el fin de dimensionar una instalación eléctrica solar capaz de cubrir las necesidades de suministro eléctrico en una vivienda de la comunidad, la cual no estaba anexada al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

Una vez obtenido los resultados de las simulaciones, con la cooperación de las empresas Waira: Energía y movilidad sostenible; Paralelamente, la empresa Q-Energy Perú, procedieron a realizar pruebas de campos con instalaciones solares fotoeléctricas, donde los valores obtenidos en el campo fueron bastante semejantes a los obtenidos en las simulaciones. De este modo, alcanza de forma exitosa los objetivos de la investigación, dimensionando una instalación eléctrica solar fotoeléctrica que cubría y supera la demanda de energía eléctrica de una vivienda de la comunidad, junto con un estudio de factibilidad económica y social.

Esta investigación aporta un gran fundamento teórico en cuanto al modelado matemático y caracterización de los elementos básicos de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, permitiendo la simulación del comportamiento de un sistema básico adaptado a las condiciones ambientales y solares del municipio San Diego, estado Carabobo. Además de criterios de selección de equipos para la conformación y dimensionamiento del sistema. Por otro lado, partiendo del sistema básico, la presente investigación se propone añadir otros elementos y características.

Por su parte, Peña, V. (2018) llevó a cabo un trabajo de grado, requisito para optar al título de Ingeniero en Tecnología Industriales, para la *Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona*, España, titulado: **“Optimización económica de un sistema doméstico de generación y almacenamiento de energía”**. El cual estudia y describe la factibilidad económica de una inversión en un sistema de autogeneración eléctrica fotovoltaico como respaldo energético, para 6 distintos perfiles de consumo doméstico en Barcelona, conectados a la red eléctrica nacional, tomando en cuenta factores como: autogeneración de energía, consumo de energía para cada perfil, potencia instalada, pago de suministro de energía eléctrica a empresas, dimensionamiento del sistema para cada perfil, entre otros criterios, dando como resultado que la mejor factibilidad económica la presentaba la inversión para el perfil que poseía una potencia instalada de 1,9kW, contado con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 5% para un periodo de 25 años, cuyo retorno de la inversión sucedía para el año número 15.

Se tomará un modelo similar al usado por Peña para realizar el estudio de la factibilidad económica de la presente investigación, con el fin de ser justificada como proyecto factible, a diferencia que se tomarán como factores de estudio los gastos que implican otras alternativas de respaldo energético en el país.

De igual forma, Franco, M. (2017) realizó un trabajo de grado que se tituló: **“Diseño e implementación de un sistema alternativo de suministro eléctrico mediante energía solar fotovoltaica en iluminación y térmica en calentamiento de agua en una casa rural en el municipio de Icononzo Tolima”**, presentado ante la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia, para optar al título de licenciado en electrónica. Dicho trabajo trata de el desarrollo de un sistema de generación fotoeléctrica para suministrar energía eléctrica en una casa rural con una carga un poco menor a 1kW, que era servida por parte de una empresa de la región, pero este suministro era muy inestable, además el sistema contaba con sensores sónicos y de presencia en bombillos que permitía un ahorro mayor de energía, ya que estas cargas eran desconectadas en caso de que no se estuvieran usando o fueran innecesarias.

También desarrolló un sistema de calentamiento de agua con energía solar. Para alcanzar los objetivos, se dimensionó todo el sistema de generación fotoeléctrica, proponiendo el diseño de un convertidor DC/AC y luego fue instalado en la respectiva casa. Los resultados de este trabajo fueron exitosos, mediante pruebas de campo se pudo evidenciar el cumplimiento de los objetivos del trabajo por parte de los sistemas.

El convertidor DC/AC propuesto por Franco se tomó como aporte a la investigación, además su sistema de generación fotoeléctrico desarrollado guarda relación con el diseño que se propondrá en la presente; se toma en cuenta su recomendación para trabajo futuros de realizar un sistema de autoposicionamiento solar para las fotoceldas, añadiendo el diseño de ello en el presente trabajo.

Por otro lado, Martínez, S. (2016) elaboró un trabajo de grado para obtener el máster en tecnología de la edificación en la Universidad Politécnica de Valencia,

titulado: “**Diseño de una cubierta fotovoltaica integrada: aplicación a vivienda aislada en el estado Falcón, Venezuela**”, en el cual se desarrolló una propuesta de integración arquitectónica para una instalación fotovoltaica doméstica mediante un sistema de cubierta integrado. La propuesta se aplicó a una vivienda unifamiliar ubicada en Falcón, Venezuela; emplazamiento elegido por su gran potencial de aprovechamiento de la energía solar, considerando las variables climáticas que afectaban el diseño de la instalación.

Por último, evaluó la rentabilidad de la instalación fotovoltaica con la finalidad de identificar las ventajas y desventajas económicas de su implementación. Como solución de integración arquitectónica se propuso un módulo integrado, basado en paneles sándwich existentes en el mercado con adición de la parte fotovoltaica, que puede ensamblarse lateral y longitudinalmente para crear un sistema de cubierta con gran valor estético y energético. Del estudio económico se obtuvo que la instalación fotovoltaica es rentable a largo plazo, con un índice de retorno de la inversión de un 95%.

El aporte que le da este trabajo a la investigación actual viene principalmente del análisis de los factores que se deben tomar en cuenta para poder crear un diseño apto para su uso en Venezuela. Además, posee unas bases teóricas bien documentadas que sirven como referencia para esta investigación; y el estudio económico, a pesar de ser orientado a un modelo español, funciona como guía para la elaboración de un estudio económico propio.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Radiación solar**

Según Planas (2020), la radiación solar es la energía radiante emitida en el espacio interplanetario del Sol, la cual se genera a partir de las reacciones nucleares de fusión que se producen en el núcleo solar. Las radiaciones nucleares producen radiación electromagnética en varias frecuencias o longitudes de onda, y esta se propaga en el espacio a la velocidad de la luz.

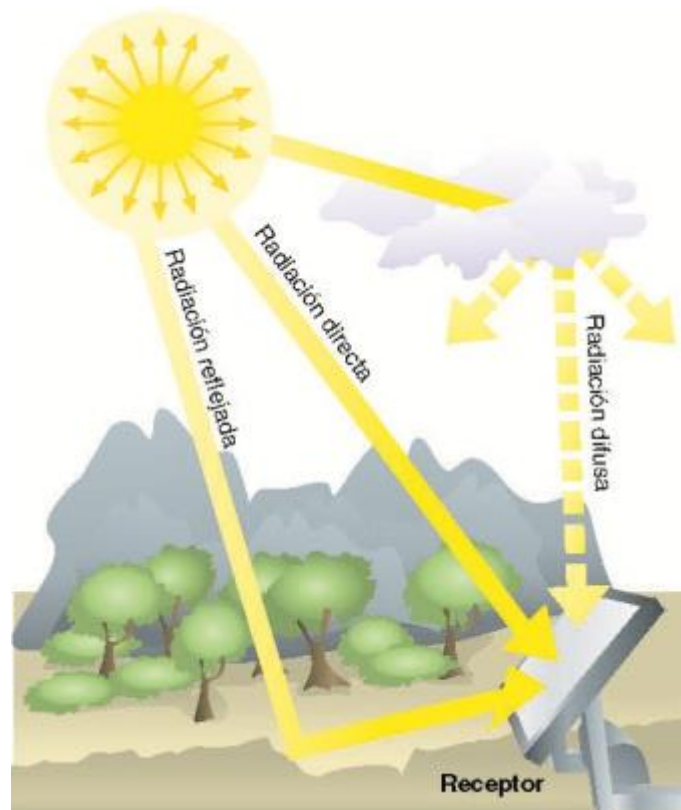
La energía solar es la principal fuente energética recibida por el planeta y, por lo tanto, el motor que mueve nuestro medio ambiente. La energía solar que recibimos mediante la radiación solar es responsable directamente o indirectamente de aspectos tan importantes para la vida como la fotosíntesis en las plantas, el mantenimiento de una temperatura del planeta compatible con la vida, y del viento. Sin embargo, por las características de la atmósfera terrestre la radiación solar sufre unas determinadas alteraciones para atravesarla y llegar a la superficie.

En promedio, la Tierra recibe  $1366 \text{ W/m}^2$  del Sol. Esto está relacionado con los umbrales de la atmósfera y el plano perpendicular a los rayos solares entrantes: es por lo tanto necesario tener en cuenta que la radiación solar en la Tierra golpea un casquete esférico durante 1440 minutos cada día, disminuyendo en un 75%. La atmósfera a su vez filtra los rayos del Sol hasta cierto punto, como lo hace cada cuerpo, causando una reflexión y una retrodispersión de los rayos, debido a su albedo, a las nubes y gases atmosféricos mismos; y además ocasiona una absorción que provoca un aumento de la temperatura, como resultado de lo cual emite radiación en cualquier dirección de acuerdo con la ley de Wien. Sin embargo, esta absorción es modesta en la banda de luz visible, por lo que es transparente a la radiación solar directa. Peña (2018) explica que la radiación solar recibida a nivel del suelo, conocida como radiación global, es la suma de tres componentes:

**Directa:** se recibe desde el sol en línea recta, sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. Es la mayor y la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

**Difusa:** alcanza la superficie después de sufrir múltiples desviaciones en su trayectoria al atravesar la atmósfera. La radiación difusa hace que un cuerpo siempre esté recibiendo una cierta cantidad de energía por todas sus partes. Esta radiación se vuelve muy relevante, más incluso que la directa, en días cubiertos (nublados) ya que no permiten que los rayos lleguen directamente a la superficie terrestre sin desviarse.

Reflejada: procede del suelo o de los cuerpos situados alrededor de la superficie debido a la reflexión de la radiación incidente en él. También se conoce con el nombre de radiación de albedo. Es tanto mayor cuanto más claro sea el color de dichos cuerpos.



**Figura 1.** Radiación solar y sus componentes

Fuente: Calculationsolar Blog (2013).

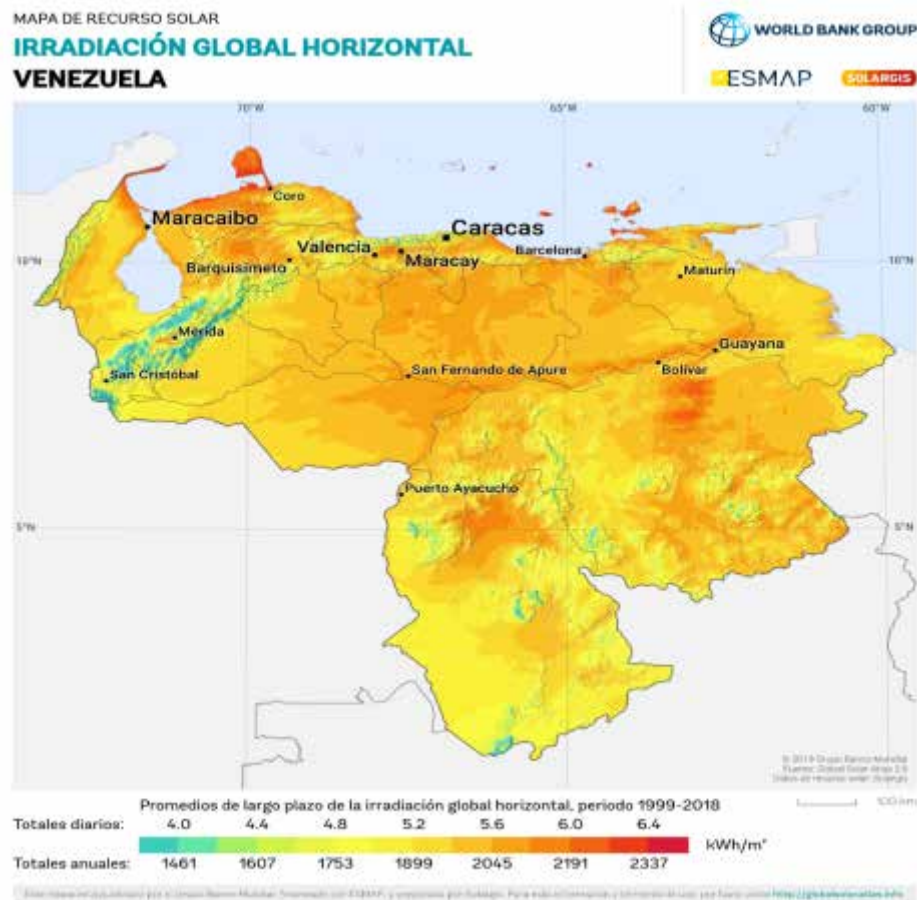
### **2.2.1.1. Irradiación solar**

La irradiación solar se define, según Planas (2019), como la magnitud que mide la energía por unidad de área de radiación solar incidente en una superficie colocada en un lugar y rango de tiempo bien especificados. Como no toda la radiación solar que genera el Sol llega la Tierra, la irradiancia se utiliza como la magnitud que describe la radiación solar que llega a la superficie terrestre.

Las cifras de irradiación solar son utilizadas para planificar el despliegue de los sistemas de energía solar. En muchos países, las cifras se pueden obtener de un

mapa de insolación o de tablas de insolación que reflejan datos de los 30 a 50 años anteriores. Hay distintas tecnologías de energía solar capaces de utilizar diferentes componentes de la irradiación total.

Si bien los paneles solares fotovoltaicos pueden convertir en electricidad tanto la irradiación directa como la irradiación difusa, la energía solar concentrada sólo puede funcionar de manera eficiente con la irradiación directa, por lo que estos sistemas son adecuados principalmente en lugares con una nubosidad relativamente baja.



**Figura 2.** Mapa de irradiación solar global en Venezuela

Fuente: Global Solar Atlas 2.0. (2019)

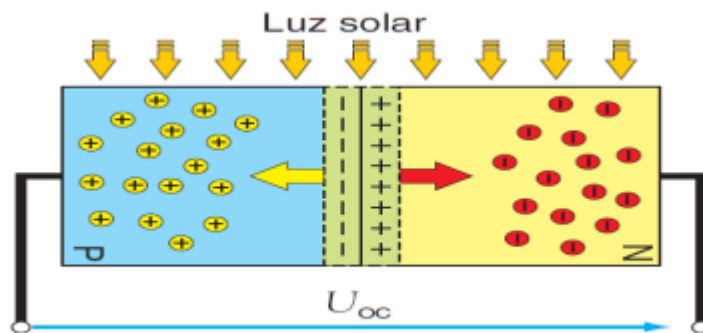
### **2.2.2. Efecto fotovoltaico**

Es el proceso por el cual se liberan electrones de ciertos materiales semiconductores, como el silicio, para generar energía eléctrica al ser expuesto a la irradiación solar. Este proceso inicia en el momento en el que un fotón impacta con un electrón de la última órbita de un átomo de silicio, este recibe la energía con el que viaja el fotón y si la fuerza de impacto es mayor a 1,2 electrón-voltio, este sale de su órbita, quedando libre del átomo y viaja a través del semiconductor. Cada electrón liberado deja atrás un agujero, o espacio libre en la capa de valencia del átomo hasta que otro electrón que haya sido liberado de otro átomo ocupe su lugar, este movimiento de electrones da lugar a una corriente eléctrica.

En otras palabras, Barbera (sf.) define el efecto fotovoltaico como: “proceso mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula, dando lugar a una corriente eléctrica”.

Para que este proceso ocurra continuamente el semiconductor de silicio debe tener un lado dopado por átomos con menos electrones de valencia que él (tipo P), para que exista más huecos que electrones en la capa de valencia de los átomos, y otro lado dopado por átomo con más electrones de valencia que el átomo de silicio (tipo N), caso contrario al anterior y ambos lados debe ser juntados para formar una unión PN.

“En la unión entre ambos materiales se produce de forma natural una barrera de potencial que aísla las cargas negativas en la región N y las positivas en la región P. Con ello se consigue una barrera de potencial PN en el interior del material que impide a los electrones e iones positivos recombinarse libremente”. (Redondo, 2015, pg. 133)



**Figura 3.** Efecto fotovoltaico.

Fuente: Ingelibre (2014).

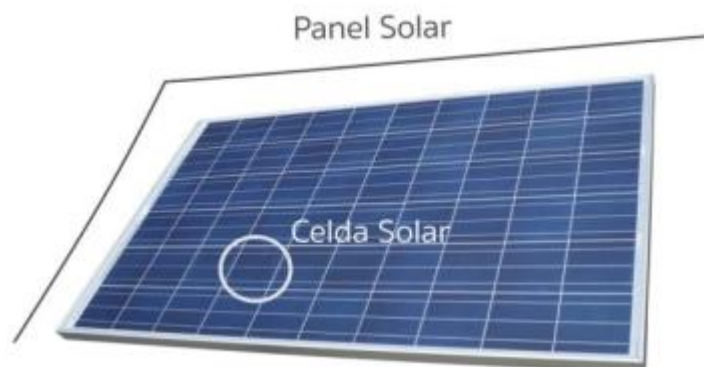
### 2.2.3. Celda fotovoltaica

Es la unidad básica y dispositivo principal donde ocurre el efecto fotovoltaico. La celda fotovoltaica posee un comportamiento similar al del diodo, debido a que la parte de la célula expuesta a la radiación está compuesta por silicio dopado tipo N, y la parte situada en la zona de oscuridad, metalizada por completo, se compone por silicio dopado tipo P.

Al exponerse el semiconductor N a la luz, éste absorberá los fotones de la luz y a su vez comenzará a emitir electrones libres, que “fuerzan” la barrera de potencial creada. Esta forma 2 zonas en la célula solar, separando las cargas diferentes, y con ello crea una diferencia de potencial o tensión entre ambos bordes conocida como Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ).

Gracias a la diferencia de potencial, los electrones fluirán de la zona N a la P creando una corriente que aumentará con la energía suministrada. Es lo que se conoce como intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) que es la máxima que puede ofrecer una célula fotovoltaica.

De esta manera, Martínez (2016) argumenta que, “En una célula solar la producción de corriente es proporcional a la Irradiancia de tal forma que a medida que ésta aumenta, aumenta la intensidad. La irradiancia describe la potencia incidente de radiación electromagnética por unidad de superficie”.



**Figura 4.** Celda solar

Fuente: iluminet (2016).

### **2.2.3.1. Panel solar**

Estas celdas conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco conforman un panel solar, lo anterior, con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico, permitiendo incrementar la corriente o el voltaje en el sistema. De esta manera la conexión en serie de las celdas permite aumentar el voltaje final ( $V_{oc}$ ) en los terminales del panel y la conexión en paralelo logra incrementar la corriente total ( $I_{sc}$ ) del conjunto, agrupados en grupos de 36 a 96 celdas fotovoltaicas (36/60/72/96). Los paneles están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (12 o 24 voltios), mientras que la corriente producida depende del nivel de irradiación solar.

### **2.2.3.2. Tipos de paneles**

Los paneles fotovoltaicos más utilizados en el mercado actual están hechos de silicio y en función del tipo de célula se dividen en: monocristalinos, policristalinos y amorfos. También se pueden usar otros tipos de materiales como el sulfuro y el arsénico, pero son mucho menos comunes. La eficiencia de un panel fotovoltaico está sujeta principalmente a la calidad del silicio que contiene. Cuanto más puro sea el silicio, mejor convierte la energía solar en energía eléctrica. Estos se describirán a continuación:

Paneles monocristalinos: Son los más eficientes del mercado, ya que están hechos de un silicio muy puro. Además, esta clase de paneles solares, son los que más vida útil poseen, hay garantías que llegan a más de 25 años. Por otro lado, Peña (2018) explica qué, “son los más costosos porque su fabricación tiene el llamado proceso Czochralski, con el que se consigue bloques cilíndricos de silicio muy puro. Este proceso desperdicia mucho silicio”.

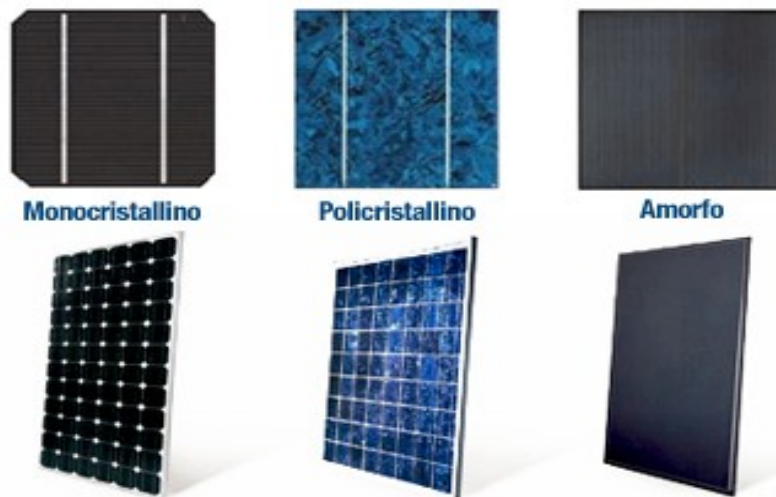
Se distinguen los paneles fotovoltaicos, que incorporan estas células por su color azul homogéneo, a diferencia de las distintas tonalidades de azul que presenta el policristalino.

Paneles policristalinos: Según Barbosa (2013), expone que “los paneles policristalinos se dejan solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas”

Estos paneles, pues, no están formados a partir de un silicio tan puro como el de los monocristalinos cosa que hace que sean unos paneles más baratos de obtener, pero a la vez tengan una menor eficiencia. Esta menor eficiencia hace que se necesite más superficie de captación solar (más espacio) para conseguir una potencia igual que la que se conseguiría con paneles monocristalinos.

Paneles de silicio amorfo: Utilizan un silicio poco puro cosa que hace que sean los paneles más baratos de entre los tres explicados. Por su parte, Redondo (2015), lo define como: “Células cuya tecnología de fabricación está basada en una o varias capas delgadas de material fotovoltaico sobre un soporte semirrígido.”

El hecho de utilizar silicio de peor calidad hace que el panel sea el menos eficiente de los 3 y que por lo tanto requiere de un gran espacio (bastante mayor que con los policristalinos) para que su potencia pueda competir equitativamente con los paneles fotovoltaicos monocristalinos.



**Figura 5.** Tipos de paneles solares y sus celdas.

Fuente: Marjoya (2016).

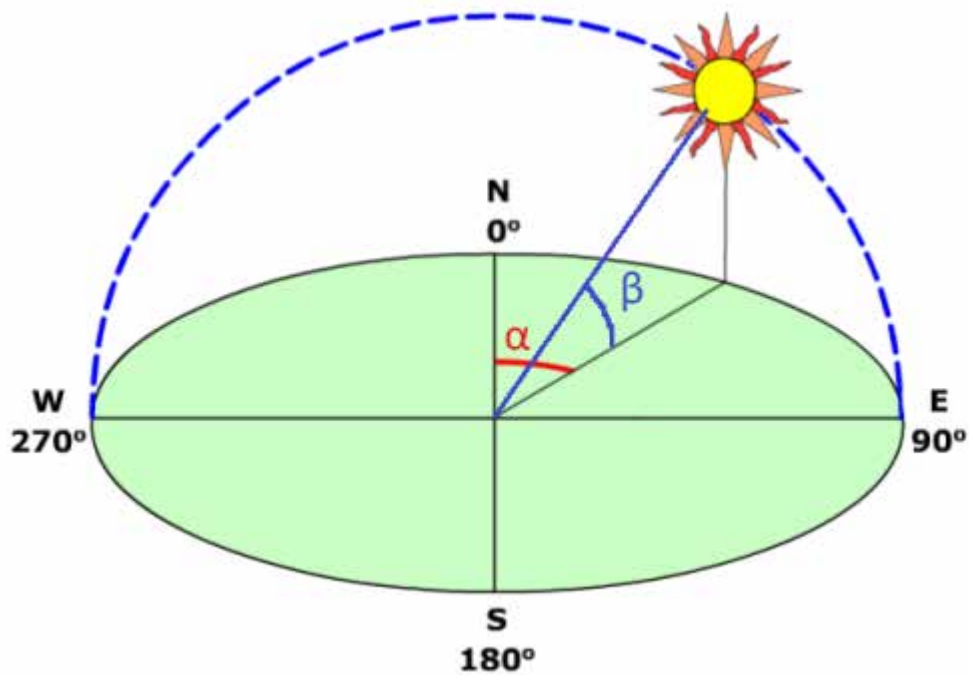
#### **2.2.4. Posicionamiento solar**

La inclinación y orientación que se le coloca al panel solar es tan importante como el tipo de panel solar seleccionado, especialmente en sistemas sin seguidores solares. Amin, Hanania, Stenhouse, Yyelland y Donev (2018) explican que un panel solar alcanza su mayor potencia cuando la luz solar incide sobre su superficie perpendicularmente, y asegurarse de la orientación e inclinación correcta de los paneles solares ayudará a asegurar que generen la mayor cantidad de energía posible ya que estarán expuestos a la mayor intensidad de luz solar durante la mayor cantidad de tiempo.

La orientación del panel fotovoltaico suele ser descrita como el ángulo azimut del mismo, y se refiere a la orientación horizontal (este-oeste) de los paneles solares; un ángulo de  $0^\circ$  se dice estar orientado hacia el ecuador,  $90^\circ$  hacia el este y  $-90^\circ$  hacia el oeste. La inclinación se refiere a la inclinación vertical de los paneles, y en el caso de paneles fotovoltaicos fijos, debe colocarse para que el mismo pueda aprovechar la mayor cantidad de energía en el transcurso del día.

En el hemisferio norte, la regla general para la orientación de los paneles solares es que deben orientarse hacia el sur geográfico (y en el hemisferio sur, hacia el

norte geográfico). Esta suele ser la mejor dirección ya que los paneles solares recibirán la mayor cantidad de energía solar durante el día. La inclinación también es un factor importante, y la inclinación óptima para producir la mayor cantidad de energía durante el año depende de la latitud geográfica. Una regla general para producción óptima anual es colocar el ángulo de inclinación del panel solar igual a la latitud geográfica; por ejemplo, si la ubicación del arreglo solar es en un lugar con una latitud de  $50^\circ$ , el ángulo de inclinación óptimo es de  $50^\circ$ . Esencialmente, mientras más cerca esté un panel solar del ecuador, más debería orientarse hacia arriba.



**Figura 6**

azimut

Fuente: HelioEsfera (2019).

#### **2.2.4.1. Seguidor solar**

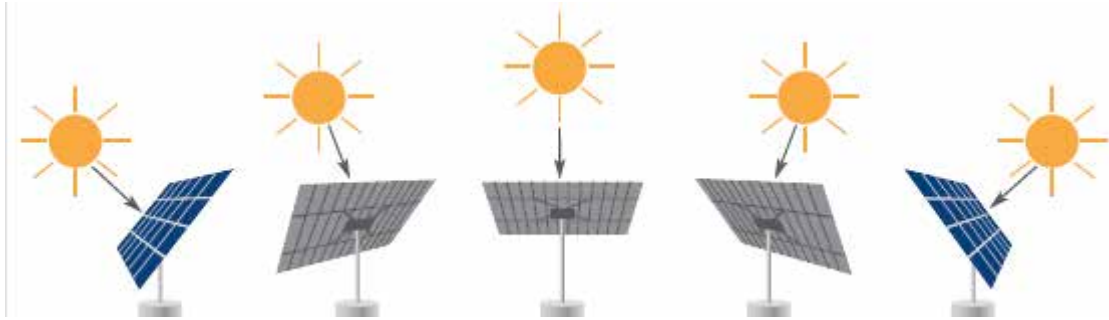
Un seguidor solar es un dispositivo mecánico-automático apto para orientar favorablemente con respecto a los rayos del Sol de un panel fotovoltaico. El seguidor solar provoca un aumento de la potencia de la energía solar capturada y, por lo tanto, el rendimiento real del dispositivo de energía renovable (Planas, 2019). Los seguidores solares se utilizan para minimizar el ángulo de incidencia entre la luz solar

y el panel fotovoltaico, lo cual lleva a un aumento en la eficiencia del dispositivo y mayor generación de energía eléctrica. Los seguidores solares se suelen clasificar de varias formas, y una de las principales es según sus grados de libertad:

Un grado de libertad: estos poseen un solo grado de libertad que sirve como eje de rotación. Su eje de rotación suele estar orientado con el meridiano del norte geográfico. Hay varias implementaciones comunes de rastreadores de un grado de libertad, como son: eje X, eje Y, eje Z, y eje polar.

Dos grados de libertad: poseen dos grados de libertad que sirven como ejes de rotación. Estos ejes suelen ser normales unos a otros. El eje que está fijo respecto a la tierra suele ser considerado como el eje principal. Las implementaciones más comunes son los *tip-tilt dual axis trackers* (TTDAT) y los *azimuth-altitude dual axis trackers* (AADAT).

A pesar de generar un aumento en la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, también posee sus desventajas. Además del gasto monetario adicional por instalación, también se les debe hacer mantenimiento, aumentando el costo de un sistema como este. Es necesario equipar al conjunto ante vientos moderados o fuertes ya que el sistema puede volverse inestable ante ellos. Es poco ideal para instalaciones en techos, ya que, al instalar los paneles fotovoltaicos junto a rastreadores solares, es necesario dejar un espacio prudente entre ellos para que puedan moverse sin obstrucciones y para que la sombra de un panel solar no llegue a incidir sobre otro durante el transcurso del día; esto genera mayor carga de viento y le da al techo una apariencia poco placentera, a diferencia de una instalación fotovoltaica sin rastreo.



**Figura 7.** Comportamiento de la posición del panel solar con sistema de rastreo solar

Fuente: Deger Canada (2019).

### **2.2.5. Baterías**

Son los elementos encargados de almacenar la energía captada durante la irradiación solar. Con respecto a lo anterior, Redondo (2015, pg. 174), la define como: “un dispositivo que permite transformar la energía eléctrica generada en energía química en un proceso reversible que posteriormente nos permitirá recuperar la mayor parte de la electricidad almacenada.”.

Las baterías suministran la potencia eléctrica a las cargas, en un proceso conocido como descarga de las baterías, siendo recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga. A parte del almacenamiento de energía, realizan las siguientes funciones: Fijan la tensión de trabajo de la instalación; inyectan una intensidad de corriente superior a lo que los propios paneles solares pueden entregar y permiten la operación de las cargas cuando el generador fotovoltaico por sí mismo no puede generar la potencia suficiente para abastecer el consumo.

#### **2.2.5.1. Parámetros**

**Capacidad:** Producto de la intensidad de descarga de la batería durante el tiempo en el que está operando. Martínez (2016) la define como “Cantidad de carga que es posible extraer de una batería en 20 horas, medida a una temperatura de 20 °C, hasta que la tensión entre sus terminales llegue a 1,8 V/vaso”. Viene dada en Amper-Hora (Ah).

Eficiencia de carga: Relación porcentual entre la energía empleada para recargar la batería y la energía realmente almacenada. Este valor debe ser próximo al 100 %, caso contrario será necesario aumentar el número de paneles solares para obtener los resultados deseados.

Autodescarga: Proceso en el cual la batería fuera de operación tiende a descargarse.

Profundidad de descarga: Cantidad de energía porcentual que se obtiene de la batería durante una descarga. Guarda relación con la vida útil de la batería.

Capacidad útil: es la capacidad disponible o utilizable de la batería. Se define como el producto de la capacidad nominal y la profundidad máxima de descarga permitida,  $PD_{m\acute{a}x}$ .

Además de estos parámetros, para una mayor eficiencia se requiere que tengan características como: Buena resistencia al ciclado (proceso de carga y descarga), bajo mantenimiento, buen funcionamiento con corrientes pequeñas, amplia reserva de electrolitos y vasos transparentes.

#### **2.2.5.2 Tipos de baterías**

El tipo de batería más utilizada en aplicaciones fotovoltaicas son las de plomo-ácido, debido principalmente a su coste con otros tipos, y estas a su vez se clasifican en: Baterías de arranque (para la automoción), baterías de tracción (usadas en vehículos eléctricos), baterías estacionarias (usadas en sistemas de alimentación ininterrumpida) además de ellas las más comunes son las siguientes:

Baterías de gel: El electrolito que contiene está en forma de gel, impidiendo que pierda líquido. “Entre sus ventajas destacan: Funcionan en cualquier posición, se reduce la corrosión, son resistentes a temperaturas bajas y su vida útil es mayor que la de las baterías líquidas. Algunas de sus desventajas son muy delicadas para cargar y su alto precio”. (Franco, 2017)



**Figura 8.** Ejemplo de batería de gel.

Fuente: TeleBaterías (s.f.).

Baterías tipo AGM: En inglés *Absorbed Glass Mat*, en español Separador de Vidrio Absorbente. Por su parte Alonso (2004) describe que, “el electrolito de estas baterías está en forma cristalina formando capas entre las placas y están especialmente diseñadas para minimizar la pérdida de agua en la sobrecarga”. Al igual que las de gel son resistentes a bajas temperaturas, cuentan con una eficiencia de 95% y pueden funcionar a alta corriente.



**Figura 9.** Ejemplo de batería tipo AGM

Fuente: dbaterías (s.f.).

Todas las baterías pueden clasificarse como de ciclo profundo o ciclo poco profundo. Las de ciclo poco profundo no deben ser descargadas más de 15% diariamente, y no se pueden descargar más de un 50% ya que es muy difícil volver a recargar después de una descarga de este tipo. Proporcionan en torno a 500 hasta 1000 ciclos al 15% de profundidad de descarga antes de perder demasiada capacidad nominal y tengan que ser reemplazadas.

“Mientras que las de ciclo profundo pueden soportar descargas durante largos periodos de tiempo, a pesar de esto no deben ser descargadas al 100%. Suministran 1500 a 1800 ciclos a 80% de profundidad de descarga antes de necesitar un reemplazo, este número puede aumentar de 3000 a 4000 ciclos si la descarga va en torno a 25% de profundidad”. (Alonso, 2004, pg. 23)

#### **2.2.6. Controladores de carga**

El controlador de carga, también conocido como regulador de carga, se encarga de regular el proceso de carga y descarga de las baterías. Se coloca entre los paneles fotovoltaicos y la batería, y controla el flujo de energía que circula entre ambos equipos. Carpio (2018) explica que el controlador de carga solar controla constantemente el estado de carga de las baterías para hacer el llenado óptimo y así alargar su vida útil. Además, menciona que existen tres estados de carga posibles:

Fase BULK: la batería está descargada y toda la corriente producida en el panel fotovoltaico es transferida a las baterías, incrementándose la tensión en la batería a medida que ésta se va llenando.

Fase ABSORCIÓN: cuando la tensión de la batería alcanza la tensión de absorción (en las baterías de plomo-ácido abiertas 14,4V y en las baterías AGM y en las baterías GEL 14,1V), el controlador de carga solar mantiene la tensión ligeramente por debajo de dicho valor y va reduciendo la corriente hasta que la batería está prácticamente llena.

Fase de FLOTACIÓN: en esta fase la tensión se reduce a la tensión de flotación (generalmente 13,5 V) y la corriente transferida se reduce hasta que la batería se llena por completo.

Por su lado, Rodríguez (s.f.) menciona que el controlador de carga cumple tres funciones esenciales. La primera es proteger la batería contra la sobrecarga o descarga profunda; en el caso que esté cargada completamente la batería, el controlador interrumpe la conexión con los paneles para evitar sobrecargar las baterías. Del mismo modo, cuando su carga desciende por debajo de cierto porcentaje, corta la conexión con la red de consumo para evitar que se descargue por debajo de la profundidad de descarga marcada en el diseño de la instalación.

La segunda función esencial del controlador es proteger a la batería contra las sobretensiones. A la entrada de las baterías pueden producirse sobretensiones, por ejemplo, cuando desciende mucho la temperatura de trabajo de las celdas solares. El controlador protege a las baterías de estas sobretensiones que podrían dañarlas. Además, los módulos solares suelen tener tensiones nominales mayores que las baterías para asegurar la carga correcta de la batería.

La tercera función de relevancia es evitar la descarga nocturna de las baterías sobre los paneles fotovoltaicos. Cuando detecta que es de noche, desconecta la entrada para evitar la circulación de corriente de la batería a las placas fotovoltaicas. Como solución básica, emplea un diodo que evita la circulación de corriente inversa.

#### **2.2.6.1. Tipos de controladores de carga**

Según Carpio (2018), existen dos tipos de controladores de carga para instalaciones fotovoltaicas: los reguladores PWM (Modulación por anchura de pulsos) y los reguladores MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia). Ambos se encargan de lo mismo, pero difieren en el voltaje de funcionamiento y en las aplicaciones en las que deben usarse.

El regulador PWM sólo posee en su interior de un diodo, y por ello los paneles solares funcionan a la misma tensión que las baterías. La energía a un lado y al otro del regulador es la misma, con los valores de tensión y corriente iguales también. Esto

hace que los módulos no trabajen en su punto de máxima potencia, sino en el que impone la batería según su estado de carga, produciendo una pérdida de potencia, que puede llegar hasta el 25-30%. El regulador PWM es capaz de llenar por completo la batería gracias a que introduce la carga de forma gradual (a pulsos de tensión) en la fase de flotación, fase de llenado último de la batería. Así, la corriente se va introduciendo poco a poco hasta que la batería se llena de manera óptima y estable.

El regulador MPPT posee, además del diodo de protección, de un convertidor de tensión CC-CC y de un seguidor del punto de máxima potencia. Esto le permite dos cosas: el convertidor de tensión CC-CC (de alta tensión en el panel fotovoltaico a baja tensión en las baterías) permite trabajar a tensiones diferentes en el panel fotovoltaico y en las baterías; y el seguidor del punto de máxima potencia adapta la tensión de funcionamiento en el campo fotovoltaico a la que genere la máxima potencia. Como se puede trabajar a tensiones más elevadas en el panel fotovoltaico, se reducen las pérdidas energéticas ocasionadas con bajas tensiones (como las pérdidas son proporcionales a la corriente, a menor corriente, menores pérdidas), haciendo que los reguladores MPPT sean especialmente indicados para potencias fotovoltaicas elevadas, donde se busque generar el máximo de energía.



**Figura 10.** Tipos de controladores de carga solar

Fuente: Área Tecnología (s.f.).

### 2.2.7. Inversores

Es un dispositivo electrónico de potencia encargado de convertir la corriente continua (CC), proveniente de los generadores fotovoltaicos, en una corriente alterna (CA) con características similares a las de la red pública (tensión y frecuencia), de tal manera que se evite perturbaciones en la distribución del suministro eléctrico en los domicilios.

El funcionamiento general de un inversor está basado en puentes de interruptores de semiconductores de potencia con un ciclo controlado de apertura y cierre generando ondas de pulsos variables. El inversor del tipo CC/CA puede ser modelado y caracterizado a través de la utilización de un puente H y un filtro pasivo LC. El puente H se convierte en una herramienta que, a través del empleo de switches y el control a través de un generador de pulsos que definirá la frecuencia en el ciclo de cambio, absorbe la tensión proveniente de la entrada DC y la invierte en intervalos de tiempo definidos por PWM.



**Figura 11.** Ejemplo de inversor

Fuente: Steren (s.f.).

Las características de operación más destacables de los inversores se pueden condensar en:

Voltaje y corriente de entrada/salida.

Tipo de forma de onda (Cuadrada, cuadrada modificada o sinusoidal)

Límites de voltaje de entrada. Los inversores se diseñan para un voltaje de entrada determinado (12, 24 V) con unos límites superior e inferior de variación del voltaje (Por ejemplo, para un inversor de 12V, puede estar entre 11 a 16 V).

Bajo autoconsumo y alto rendimiento.

Distorsión armónica total (THD). Cuanto menor THD, menor ruido e interferencias. Tener en cuenta el factor de potencia de operación con las cargas.

Potencia de salida. Referida como potencia continua de operación.

Capacidad de sobrecarga. Importante en el caso de arranque de motores con inversores de frecuencia fija, donde es necesaria una corriente de arranque de 3 a 7 veces la nominal.

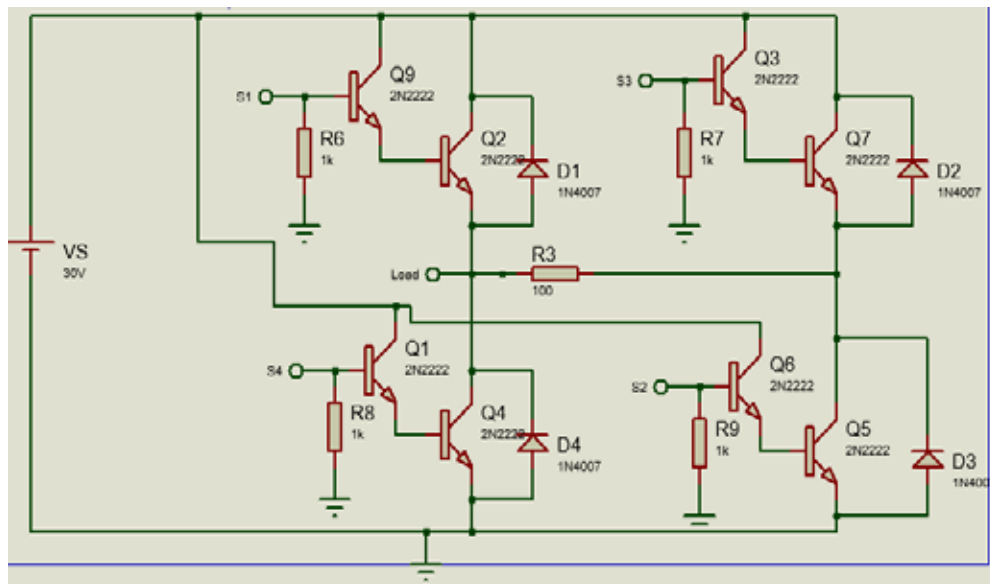
Regulación de tensión de salida, independiente de la tensión de entrada y del consumo

Regulación de la frecuencia de salida.

Facilidad de reparación y mantenimiento

Umbral de arranque ajustable (nivel mínimo de carga para que el inversor funcione).

Una característica deseable es la capacidad de operar en paralelo adaptándose a la modularidad de los sistemas fotovoltaicos o facilidad de aumentar la potencia disponible. La operación en paralelo en inversores autónomos requiere una operación en modo “maestro-esclavo” para sincronía de ondas de tensión generadas por los distintos inversores.



**Figura 12.** Circuito básico de un inversor de onda cuadrada

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

### 2.2.7.1. Clasificación de los inversores

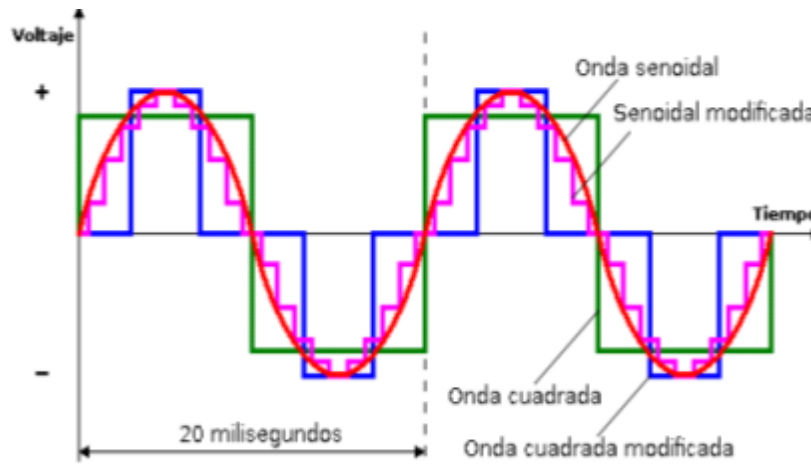
Los inversores pueden clasificarse en función de la forma de onda de la tensión de salida:

**Inversores de onda cuadrada:** Son los más económicos. Se basan en un simple “chopeado” de la potencia DC de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La onda resultante tiene un gran contenido en armónicos no deseados. La distorsión armónica total (THD) es bastante elevada, en torno al 40%, y su rendimiento está alrededor del 50 - 60%. La potencia de sobrecarga es baja, del 10 al 20% de la potencia nominal, Su regulación de voltaje también es muy baja. Se suelen utilizar con pequeñas cargas inductivas o resistivas, aunque algunos tipos de carga pueden no operar satisfactoriamente,

**Inversores de onda modificada o quasi-senoidal:** Presentan una THD del 20% y sus rendimientos son mayores del 90%. Son utilizados en electrificación rural para alimentar electrodomésticos habituales, incluyendo computadoras y equipos de sonido. Algunas cargas como las impresoras láser,

los microondas y los relojes (que pueden adelantar el factor de potencia) pueden presentar problemas de operación con este tipo de inversores.

**Inversores de onda senoidal:** Tienen un cuidadoso filtrado de la señal generada. En general son la mejor opción para la alimentación de cargas AC, no presentado ningún problema en relación con la THD o estabilidad de la tensión. Algunos tipos de consumos electrónicos como los equipos de telecomunicaciones o instrumentación delicada pueden requerir su implementación.



**Figura 13.** Tipos de ondas de salida de un inversor

Fuente: calculosolar (2018).

### 2.3. Bases legales

Según Pérez (2009) “Es el conjunto de leyes, reglamentos, normas, decretos, etc., que establecen el basamento jurídico sobre el cual se sustenta la investigación”. Por tal motivo, a continuación, se presenta las reglamentos, leyes y normas que rigen esta investigación.

#### 2.3.1. Ley de uso racional y eficiente de la energía

Decretada en gaceta oficial n°. 39.823 el 19 de diciembre del 2011 por la Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, cuyo objetivo es promover y orientar es uso racional y eficiente a fin de preservar los recursos naturales y minimizar el impacto social y ambiental. En ella contiene:

**Artículo 25 Investigación científica tecnológica y humanística:** “El Poder Público a través de sus órganos y entes, promoverán programas de investigación científica, tecnológica y humanística, por parte de sus propias instituciones o de particulares, que permitan desarrollar nuevas tecnologías y mejorar las existentes asociadas al uso racional y eficiente de la energía, así como al aprovechamiento de fuentes de energía renovable. El Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de ciencia, tecnología e industrias intermedias, otorgará carácter prioritario al financiamiento de los programas de investigación científica, tecnológica y humanística, referidos en este artículo”.

**Artículo 32 Integración de las energías renovables:** “El Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica y el Ministerio del Poder Popular con competencia en materia vivienda y hábitat, actuando de forma conjunta, promoverán la introducción de equipos diseñados para el aprovechamiento de energías renovables para uso térmico, tales como, servicio de agua caliente, climatización y para consumo eléctrico, tanto en los edificios nuevos como en los existentes, teniendo en cuenta los tipos de usos, la ubicación geográfica y condiciones climáticas, pudiendo establecer requisitos y medidas específicas de carácter divulgativo y económico”.

### **2.3.2. Ley orgánica del sistema y servicio eléctrico**

Decretada en gaceta oficial n°. 39.573 el 14 de diciembre del 2010 por la Asamblea Nacional de la República Bolivariana de Venezuela, cuyo objetivo establecer las disposiciones que regularán el sistema eléctrico y prestación de servicio eléctrico en el territorio nacional. En ella expone:

**Artículo 45.** “La autogeneración, entendida como la generación eléctrica destinada al consumo exclusivo de la persona natural o jurídica que la produce, opera independiente del Sistema Eléctrico Nacional y está sujeta a las limitaciones establecidas en esta Ley”.

**Artículo 100.** “Se aplicará multa desde cinco mil Unidades Tributarias (5.000 U.T.) hasta diez mil Unidades Tributarias (10.000 U.T.) a las personas naturales o

jurídicas que autogeneren más de dos megavatios (2 MW), sin la debida habilitación administrativa del Ministerio del Poder Popular con competencia en materia de energía eléctrica. La liquidación de la multa prevista en este artículo no exime al propietario de las instalaciones de autogeneración de la obligación de cumplir con el trámite para obtener la habilitación administrativa, de conformidad con esta Ley y las normas que la desarrollen”.

### **2.3.3 Fondonorma 200:2009**

Norma Venezolana Código Eléctrico Nacional (CEN), esta norma establece los requisitos que deben cumplir las instalaciones eléctricas para la salvaguarda y protección práctica tanto para las personas como bienes. Siendo la sección 690, de la 8va revisión realizada en 2009 de dicha norma, la que define los lineamientos y características necesarias para los Sistemas Fotovoltaicos Solares en Venezuela y las excepciones expuestas en otras secciones del código.

### **2.4. Definición de términos básicos**

**Albedo:** es la reflectividad de la superficie terrestre y se refiere a la energía reflejada desde la Tierra al universo. (Volkheimer, 2004)

**Azimut:** es el ángulo que forma un cuerpo celeste y el Norte, medido en sentido de rotación de las agujas de un reloj alrededor del horizonte del observador. (Pons, s.f.)

**Distorsión armónica total:** es el grado de distorsión respecto a la senoide perfecta con poco conocimiento sobre las implicaciones que van en detrimento del equipo conectado. (Prolyt, 2015)

**Electrón-voltio:** Energía cinética que adquiere un electrón al atravesar en el vacío una diferencia de potencial de un voltio. Equivale, aproximadamente, a  $1,602\ 19 \times 10^{-19}$  julios. (Sociedad Nuclear Española, s.f.)

**Energía solar:** es la energía que proviene del Sol y que podemos captar gracias a la radiación solar. Esta fuente de energía representa la principal

fuente energética en la Tierra. Debido a que es una fuente inagotable se la considera una energía renovable. (Planas, 2020)

**Filtro pasivo:** Un filtro es pasivo si consiste sólo de elementos pasivos R, L y C. (Sadiku, 2006)

**Ley de Wien:** Cuando aumenta la temperatura de un radiador de cuerpo negro, aumenta la energía radiada general, y el pico de la curva de radiación se mueve hacia longitudes de ondas más cortas. Cuando se evalúa el máximo a partir de la fórmula de radiación de Planck, se encuentra que el producto de la longitud de onda máxima y la temperatura es constante. (Olmo, 2017)

**Potencia eléctrica:** Representa la tasa a la cual la energía se convierte de, energía eléctrica del movimiento de cargas a alguna otra forma, tales como calor, energía mecánica o energía almacenada en campos magnéticos o campos eléctricos. (Olmo, 2017)

**Proceso Czochralski:** Es utilizado para la obtención de silicio monocristalino mediante un cristal semilla depositado por un baño de silicio. Es de amplio uso en la industria electrónica para la obtención de wafers u obleas, destinadas a la fabricación de transistores y circuitos integrados. (Esacademic, 2015)

**Radiación:** transferencia de energía por ondas electromagnéticas. La radiación se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol. (Planas, 2020)

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

El marco metodológico es el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluyen la observación y recolección de datos. Tamayo y Tamayo (2003) menciona que “es de gran importancia para la investigación, pues el planteamiento de una metodología adecuada garantiza que las relaciones que se establecen y los resultados o nuevos conocimientos obtenidos tengan el máximo grado de exactitud y confiabilidad” (p.175).

#### **3.1. Tipo de investigación**

“El enfoque cuantitativo refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos de investigación, se intenta generalizar los resultados encontrados en una muestra, a una colectividad mayor (población). También se busca que los estudios efectuados puedan replicarse”. (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014, p.5)

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que el sistema es propuesto en base a datos de consumo de potencia eléctrica extraídos de una muestra de la población, generalizando así el consumo de potencia promedio de una vivienda unifamiliar, tal que el sistema pueda ser aplicado en cualquier vivienda unifamiliar en el municipio San Diego, estado Carabobo.

Arias (2006, p.134) define un proyecto factible como “una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización”

Mencionado lo anterior, se destaca, que esta investigación corresponde a la modalidad de un proyecto factible, debido a que busca diseñar un sistema de

generación eléctrica de respaldo y de esta manera ser una alternativa para solucionar el problema del pésimo servicio de suministro de energía eléctrica y al mismo tiempo pueda sustituir a los generadores de combustión fósil.

### **3.2. Diseño de la investigación**

Según Arias (2012), “El diseño de investigación es la estrategia general que adopta el investigador para responder al problema planteado. En atención al diseño, la investigación se clasifica en: documental, de campo y experimental”.

Arias (2006) define la investigación de campo como: “Aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna”.

Teniendo estos conceptos presentes, se define que esta investigación se inclina a ser una investigación de campo ya que la información deseada para cumplir los objetivos de la misma se obtiene directamente de las viviendas unifamiliares del municipio San Diego, estado Carabobo, sin alterar alguna condición dentro de éstas

### **3.3. Nivel de investigación**

“El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. (Arias ,2012.)

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (Arias, 2012, p.26).

La presente investigación es de tipo descriptiva, debido a que se enfoca en la problemática que tiene lugar en la localidad de estudio, mencionada anteriormente, y se plantea describir una solución que pueda ser económica, técnica, social y ambientalmente factible sin interés alguno de profundizar en los fenómenos que causan el problema.

### **3.4. Población y muestra**

Se define la población como “conjunto finito o infinito de elementos con características comunes, para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda limitada por el problema y por los objetivos de estudio”. Arias (2012)

Por otro lado, se define muestra como “un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible” (Arias, 2012). El presente proyecto va dirigido o tiene como población, las viviendas unifamiliares del municipio San Diego, estado Carabobo y para efectos de estudio, se tomará arbitrariamente como muestra 20 viviendas unifamiliares del municipio anteriormente citado.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1 Técnicas de recolección de datos**

Según Arias (2012, p. 67) “las técnicas de recolección de datos son el procedimiento o formas particulares de obtener la información”. Teniendo en cuenta que las técnicas son los procedimientos, entonces para el desarrollo de la investigación se emplearán las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos.

##### **3.5.1.1 Encuesta**

En primer lugar, se hará uso de la encuesta, que Arias (2012, p. 72) define como “una técnica que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos acerca de sí mismos, o en relación con un tema particular”. Esta encuesta se emplea con el fin de conseguir información sobre el consumo eléctrico diario promedio de las viviendas unifamiliares del municipio San Diego, estado Carabobo

##### **3.5.1.2 Revisión documental**

De igual forma, se procederá a hacer una revisión documental, la cual Hernández, y otros (2014, p. 61) reseñan como “implica detectar, consultar y obtener la bibliografía (referencias) y otros materiales que sean útiles para los propósitos del estudio, de donde se tiene que extraer y recopilar la información relevante y necesaria para enmarcar el problema de investigación”, con el objetivo de obtener las

condiciones ambientales del municipio San Diego, estado Carabobo y las especificaciones técnicas de los elementos del sistema fotovoltaico que se desea diseñar.

### **3.5.2 Instrumentos de recolección de datos**

Es necesario hacer uso de instrumentos de recolección de datos que Arias (2012, p. 68), define como “cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información”.

#### **3.5.2.1 Cuestionario**

Hernández y otros (2014), lo describen como “conjunto de preguntas respecto de una o más variables que se van a medir”. El cuestionario será realizado bajo la modalidad de preguntas cerradas y su propósito principal será recolectar información con respecto al consumo eléctrico diario promedio en viviendas unifamiliares de la localidad en estudio.

#### **3.5.2.2. Validación del instrumento**

Hurtado I, y Toro, G (2000) explican que la validez “Se refiere al grado de que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir”. (p. 45)

Por consiguiente, la validez del instrumento para el presente estudio, queda a juicio de expertos. En relación con esto último, Sabino (2004), lo refiere “Al grado en que aparentemente un instrumento de medición mide la variable en cuestión, de acuerdo con expertos en el tema”. (p. 204). Es decir, con personas conocedores al área consubstancial al problema planteado, en la medida, que permita tales instrumentos ser sometidos a observaciones y corregirlos.

En tal sentido, la validez de los referidos instrumentos se presenta a través de determinados ítems o llamado Tabla de Especificaciones, los cuales se deberán responder dicotómicamente (Si o No). A tal efecto de seleccionar una sola, además, podrán incluir adecuadas observaciones en determinados espacios.

#### **3.5.2.3 Confiabilidad del instrumento**

*“La confiabilidad se calcula y evalúa para todo el instrumento de medición utilizado, o bien, si se administraron varios instrumentos, se*

*determina para cada uno de ellos. Asimismo, es común que el instrumento contenga varias escalas para diferentes variables, entonces la fiabilidad se establece para cada escala y para el total de escalas (si se pueden sumar, si son aditivas). Existen diversos procedimientos para calcular la confiabilidad de un instrumento de medición. Todos utilizan fórmulas que producen coeficientes de fiabilidad que pueden oscilar entre cero y uno, donde cero significa nula confiabilidad y uno representa un máximo de confiabilidad. Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la medición”.* (Hernández, R. Fernández C. y Batista P. 2014)

Con referencia a lo anterior, el método de confiabilidad a utilizar inherente al instrumento del presente estudio será dado, por la técnica de Kuder & Richardson (KR) de fórmula 20, “KR-20”, presentada en el año 1937.

Según Bavaresco, A. (2006), la confiabilidad KR es una técnica aplicable a cuestionarios de preguntas cerradas con opciones de respuestas dicotómicas a binarias (Si-No, tomando como uno para las respuestas “Si” y cero para las respuestas “No”), cuyo procedimiento se basa en la relación de aciertos y desaciertos y varianza del total de aciertos. A continuación, se presenta la fórmula para calcular la confiabilidad de un instrumento por medio del método KR-20.

$$\frac{K}{n} = \frac{\sum p_i^2}{n} \quad (3.5.1)$$

$$K = \frac{1}{n} \left( \sum p_i^2 - \frac{(\sum p_i)^2}{n} \right) ; q = 1 - p \quad (3.5.2)$$

Donde:

= Coeficiente de confiabilidad de toda la prueba.

= Número de ítems (preguntas) del instrumento.

= Varianza total del instrumento (desviación estándar de la puntuación total de prueba)

= Personas que responden “Si” (tomado como 1) a cada ítem.

= Puntaje total obtenido en respuestas “Si”.

= Número de encuestados

= Personas que responden “No” (tomado como 0) a cada ítem.

= Puntaje individual obtenido de cada encuestado.

#### **3.5.2.4 Instrumentos de registro**

Permite poseer un soporte de la información de tiempo relativamente largos de modo que el investigador pueda recuperar la información cuando la necesite. Para el presente proyecto se hará uso de computadoras y software de simulación para registrar los datos recolectados.

### **3.6. Fases de la investigación**

#### **Fase I: “Diagnóstico de las características del consumo eléctrico actual en viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo”.**

Para esta primera fase, se empezará por diagnosticar el consumo eléctrico diario de usuarios de viviendas unifamiliares en el municipio San Diego. Para llevar a cabo esta fase, se procederá a realizar una encuesta a una muestra de 20 usuarios de viviendas unifamiliares en el municipio San Diego.

Luego, se sacará un promedio de consumo diario y se escogerán 3 perfiles de consumos, para tener una base de datos de las condiciones generales a las que debería operar el sistema de generación eléctrica fotovoltaico en dicha localidad.

#### **Fase II: “Modelado de los elementos del sistema de generación eléctrica fotovoltaica, simulando su comportamiento bajo las condiciones ambientales promedio del municipio San Diego, Estado Carabobo”.**

Para esta fase, se realizarán las siguientes tareas:

Modelar matemáticamente cada elemento del sistema fotovoltaico, de manera individual.

A través de una revisión bibliografía, determinar las condiciones ambientales anuales a la que está expuesto el municipio San Diego

Simular el panel fotovoltaico bajo las condiciones ambientales del municipio San Diego, Estado Carabobo y condiciones de fabricantes de equipos generales, para observar su comportamiento, haciendo uso de la herramienta Simulink del software Matlab.

Con el propósito de tener datos de un comportamiento cercano al de la realidad,

para de esta manera proceder a un dimensionamiento del mismo.

**Fase III: “Diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, como sistema de respaldo energético adaptable a las viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo”.**

Posterior a conocer el comportamiento de cada uno de los elementos individuales del sistema fotovoltaico, en esta fase, se va a dimensionar o establecer las especificaciones técnicas de cada uno de los elementos del sistema, así como también, determinar la cantidad de elementos o requerimientos que debe tener el sistema como respaldo energético, para cubrir 3 diferentes perfiles de consumo eléctrico en las viviendas unifamiliares del municipio San Diego, Estado Carabobo.

**Fase IV: “Realización de un estudio de factibilidad técnica, económica, social y ambiental para la implementación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica como respaldo energético de viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo”.**

En esta última fase, se llevarán a cabo las siguientes tareas:

Elaboración de una estructura de costos básica para cada perfil del sistema fotovoltaico para determinar su factibilidad económica.

Analizar la factibilidad económica de cada perfil comparando con sistemas de generación eléctrica por combustión fósil de potencia comparable.

Analizar las ventajas y desventajas que tiene el sistema de generación eléctrica fotovoltaica frente al generador por combustión fósil

Realizar un análisis FODA del sistema de generación eléctrica fotovoltaico propuesto en viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo.

Realizar un análisis del impacto social de dicho sistema.

Analizar las ventajas ambientales que el sistema fotovoltaico causaría en el municipio San Diego, Estado Carabobo

Con la finalidad de justificar como proyecto factible la presente investigación.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Fase I: “Diagnóstico de las características del consumo eléctrico actual en viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo”.**

##### **4.1.1. Aplicación de encuesta**

Entre los días 12 de agosto y 23 de agosto de 2020 se aplicó una encuesta virtual a una muestra de 20 habitantes de distintos sectores del municipio San Diego, estado Carabobo, mediante la plataforma de Google Forms. Las personas encuestadas participaron bajo su propia voluntad y respondieron 36 preguntas relacionadas con el consumo eléctrico de las viviendas unifamiliares en las que habitaban. La encuesta se realizó con el fin de obtener un estimado del consumo eléctrico diario de las viviendas unifamiliares del municipio, la cual es información que no se encuentra abiertamente disponible en las redes y es necesaria para el diseño de la instalación fotovoltaica. Las preguntas de la encuesta aplicada fueron las siguientes:

Sector o urbanización de San Diego donde reside

Metros cuadrados (aproximados) de construcción de la vivienda

Cantidad de bombillos incandescentes que posee la vivienda

Cantidad de bombillos ahorradores que posee la vivienda

Cantidad de bombillos LED que posee la vivienda

Cantidad de televisores que posee la vivienda

Potencia aproximada de los televisores en vatios (W)

Fabricante de los televisores

Cantidad de aires acondicionados que posee la vivienda

Potencia aproximada de los aires acondicionados en BTU

Fabricante de los aires acondicionados

Cantidad de neveras que posee la vivienda

Potencia aproximada de las neveras en Wh

Fabricante de las neveras

Cantidad de congeladores que posee la vivienda

Potencia aproximada de los congeladores en Wh

Fabricante de los congeladores

Cantidad de microondas que posee la vivienda

Potencia aproximada de los microondas en vatios (W)

Fabricante de los microondas

Cantidad de cocinas eléctricas que posee la vivienda

Potencia aproximada de las cocinas eléctricas en Wh

Fabricante de las cocinas eléctricas

Cantidad de calentadores eléctricos que posee la vivienda

Potencia aproximada de los calentadores de agua en Wh

Fabricante de los calentadores de agua

Cantidad de lavadoras que posee la vivienda

Potencia aproximada de las lavadoras en Wh

Fabricante de las lavadoras

Cantidad de secadoras de ropa que posee la vivienda

Potencia aproximada de las secadoras de ropa en Wh

Fabricante de las secadoras de ropa

Cantidad de sistemas de hidroneumático que posee la vivienda

Potencia aproximada de los sistemas de hidroneumático en HP

Fabricante del hidroneumático

Si posee algún electrodoméstico que utilice con tanta frecuencia como los mencionados anteriormente, descríbalos acá junto a su consumo de potencia y/o marca

#### **4.1.2. Resultados de la encuesta**

A partir del día 23 de agosto de 2020 se contabilizaron todas las respuestas registradas en la encuesta. A través de preguntas como la cantidad exacta de potencia en vatios requerida por el electrodoméstico o potencia que consume en vatios/hora

(Wh), multiplicando ese valor por el número de electrodoméstico de ese tipo que poseían, se pudo obtener directamente la potencia instantánea que necesitaban ese tipo de electrodoméstico; de otra manera, si la persona no conocía el valor de potencia o consumo del artefacto, si respondía cuál era su fabricante, era posible revisar los catálogos de los fabricante y de esa manera encontrar o estimar la potencia o consumo de potencia del electrodoméstico. En el último de los casos que la persona no respondiera ni la potencia del equipo ni su fabricante, ese valor fue rellenado por los investigadores basándose en tablas de consumo estándares de dichos equipos, llamando a ello parámetros asumidos. Para más información, los resultados directos obtenidos de la encuesta están contenidos en el anexo B.

Luego la potencia total requerida o consumida por cada uno de los electrodomésticos fue sumada dando como resultado la potencia eléctrica instantánea total requerida por la vivienda; esto se refiere a la potencia eléctrica que necesitaría la vivienda si todos los electrodomésticos están encendidos y siendo usados a su potencia nominal. Todos los datos obtenidos de la encuesta de potencia en vatios (W) de los electrodomésticos fueron multiplicados por un tiempo de funcionamiento estándar para de esta manera obtener el consumo electro en Wh/día de cada vivienda unifamiliar. A continuación, se muestran todos los parámetros que fueron asumidos con su respectivo valor.

#### **4.1.2.1 Parámetros asumidos**

Para efectos de este estudio, se busca estimar el consumo eléctrico diario en una vivienda unifamiliar en la localidad de estudio, por tal motivo, fueron asumidos parámetros o datos restante necesarios para poder calcular un consumo eléctrico diario de cada vivienda unifamiliar encuestada y esto se debe a que el objetivo de esta fase no es estudiar estrictamente el comportamiento del consumo de energía eléctrica en las viviendas, sino diagnosticar o tener un aproximado de dicho valor lo más cercano posible a la realidad, por tanto los datos de consumo eléctricos obtenidos pueden no ser exactos pero si válidos para la presente investigación.

Potencia nominal de los bombillos:

Bombillo incandescente = 60W.

Bombillo Ahorrador = 14W.

Bombillo led = 8W.

Potencia de los Aires acondicionados:

6000 BTU = 0.63KW

8000 BTU = 0.8KW

9000 BTU = 0.9 KW

12000 BTU = 1.3KW

18000 BTU = 2KW

24000 BTU = 2.6 KW

36000 BTU = 3.6KW

Tiempo de consumo de los electrodomésticos:

Iluminación = 12 horas.

Neveras = 24 horas.

Congeladores = 24 horas.

Aires Acondicionado = 12 horas.

Cocina eléctrica = 4 horas.

Microondas = 0,5 horas.

Calentador = 2 horas.

Lavadora = 1 hora.

Secadora = 1 hora.

Hidroneumático = 1 hora.

Televisores = 8 horas.

Otros = 4 horas.

El siguiente cuadro contiene los datos obtenidos de la encuesta aplicada, mostrando los resultados en cinco (5) columnas: N# de Encuestado, Urb. donde Reside, m<sup>2</sup> de construcción de la vivienda, Potencia Instantánea total Requerida (W), Consumo estimado por día (Wh/día), cabe destacar que N/A se refiere a que ese dato no fue suministrado por parte de encuestado.

N# de Encuestado	Urb. donde Reside	m <sup>2</sup> de construcción	Potencia Instantánea total Requerida (W)	Consumo estimado por día (Wh/día)
1	La Esmeralda	87	8.630	87.090
2	Campo Solo	N/A	2.950	28.620
3	San Antonio	134	12.339,81	99.070
4	Morro I	200	12.547	101.065
5	Paso Real núcleo 3	79	1.316	15.912
6	El Morro I	183	14.073	144.061
7	Los Jarales	108	8.769,7	81.083,7
8	Valle Verde	200	12.055,7	77.715,7
9	Valle verde	80	9.597	71.984
10	Yuma I	N/A	17.005,7	152.265,7
11	Poblado de San Diego	26	8.438,7	63.585,3
12	San Sur	220	17.820,4	138.041.7
13	Valle Verde	150	2.056	23.232
14	La Cumaca	260	21.130	200.500

15	Valle de Oro	175	4.459,2	47.109,2
16	Pueblo de San Diego	110	10.056	55.462
17	Lomas de la Esmeralda	500	15.248	77.416
18	La Esmeralda	65	4.991	48.012
19	Yuma II	100	3.618	27.846
20	Paso Real núcleo 2	82	3.704,4	25.056,2

**Tabla 1.** Resultados obtenidos de la encuesta

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

#### 4.1.3. Definición de perfiles

Para poder desarrollar un estudio de factibilidad económica confiable y preciso es necesario definir perfiles de consumo eléctrico diario ya que el dimensionamiento de cada sistema de generación fotovoltaica dependerá de ello. Realizar un estudio de dimensionamiento exclusivo para el consumo eléctrico diario (Wh/d) de cada vivienda unifamiliar sería muy extenso y sale del alcance de la presente investigación por lo tanto se definirán 3 perfiles que puedan ser adaptados a las diferentes necesidades de consumo eléctrico de las viviendas unifamiliares encuestadas.

En el mismo orden de ideas, se debe aclarar que se utiliza como dato principal para dimensionar un sistema de generación eléctrica fotovoltaica la potencia consumida durante el día en vez de la potencia instantánea requerida, porque se desea que el sistema fotovoltaico sea capaz de suministrar energía no solo en un momento instantáneo, sino durante el transcurso de todo el día; es decir, el sistema fotovoltaico

diseñado, debe ser capaz de cubrir el consumo estimado por día de la vivienda en cuestión.

El método empleado para definir los perfiles de consumo es a través de la construcción de un histograma de frecuencia, el cual se define como:

*“El histograma es el resultado de un proceso de transnumeración (modelo) que convierte una masa de datos sobre una característica continua de un fenómeno, provenientes de una muestra (preferiblemente aleatoria) en una representación gráfica que pretende valorar la forma como están porcentualmente distribuidos los datos y observar algunas características que es imposible observar en la muestra cruda.” (Behar, 2018)*

Para construir el histograma se debe tener una tabla de datos, para este caso los datos corresponden al consumo eléctrico diario de las viviendas unifamiliares.

87.090	28.620	99.070	101.065	15.912
144.061	81.083,7	77.715,7	71.984	152.265,7
63.585,3	138.041,7	23.232	200.500	47.109,2
55.462	77.416	48.012	27.846	25.056,2

**Tabla 2.** Tabla de datos de consumo eléctrico diario en las viviendas unifamiliares en Wh/día

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

Ahora bien, distribuimos este conjunto de datos en 3 clases ya que se definirán 3 perfiles, aplicamos la siguiente ecuación para hallar el rango de valores de los datos:

$$(4.1.1)$$

En donde R es el rango, Xs es el dato con el valor más alto, Xi es el dato con el valor menor. Para este caso Xs = 200.500 y Xi = 15.912, entonces

Ahora definimos los intervalos de las clases con la siguiente ecuación:

$$- (4.1.2)$$

En donde i es el intervalo de clase y C es el número de clases. De esta manera, tenemos que:

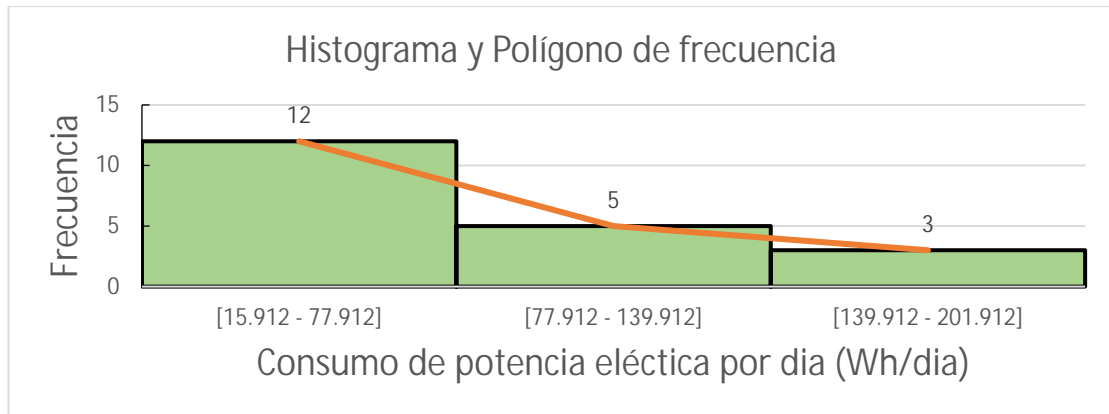
Con el intervalo se puede definir los límites de cada clase, luego se procede a hallar la marca de clase (punto medio de cada clase) y después se construye una tabla de frecuencias:

Clase	Frecuencia Absoluta	Marca de clase (Wh/día)	Freq. absoluta acumulada	Frecuencia relativa
[15.912 – 77.912)	12	46.912	12	0.6
(77.912 – 139.912)	5	108.912	17	0.25
(139.912 – 201.912]	3	170.912	20	0.15

**Tabla 3.** Tabla de frecuencia del consumo eléctrico diario en las viviendas unifamiliares

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

Una vez construida la tabla de frecuencia se puede hacer el histograma de frecuencia, en donde, en el eje horizontal se colocan las clases y en el eje vertical las frecuencias absolutas, resultando de la siguiente manera:



**Gráfica 1.** Histograma y polígono de frecuencia del consumo eléctrico por día de las viviendas encuestadas

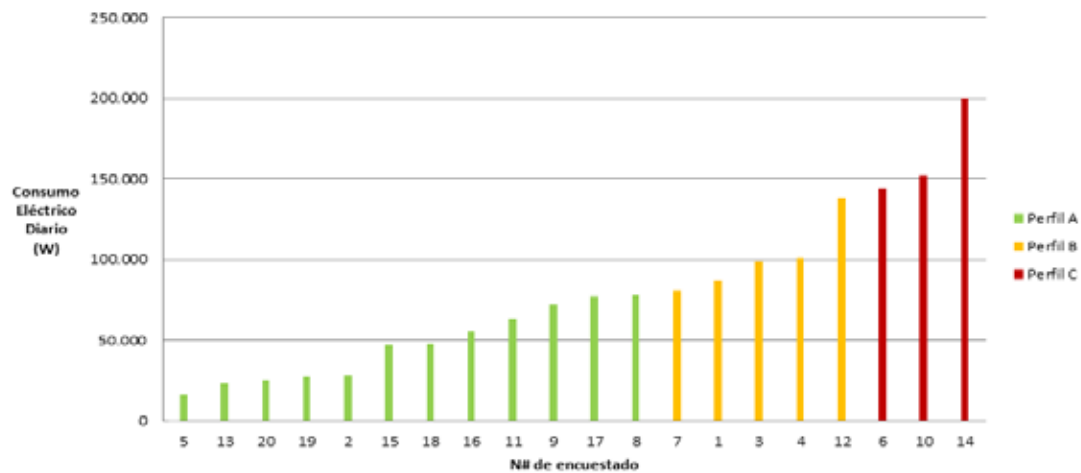
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

De esta manera se puede observar gráficamente la distribución de frecuencia con que se reparte el consumo de potencia eléctrica por día (Wh/día) en las viviendas unifamiliares encuestadas, en base a eso, se decide que el mejor valor que se puede adaptar al comportamiento de consumo eléctrico estimado de las viviendas unifamiliares encuestadas, es definiendo como perfil cada una de las marcas de clase, es decir:

Perfil de consumo eléctrico A = 46.912 Wh/día

Perfil de consumo eléctrico B = 108.912 Wh/día

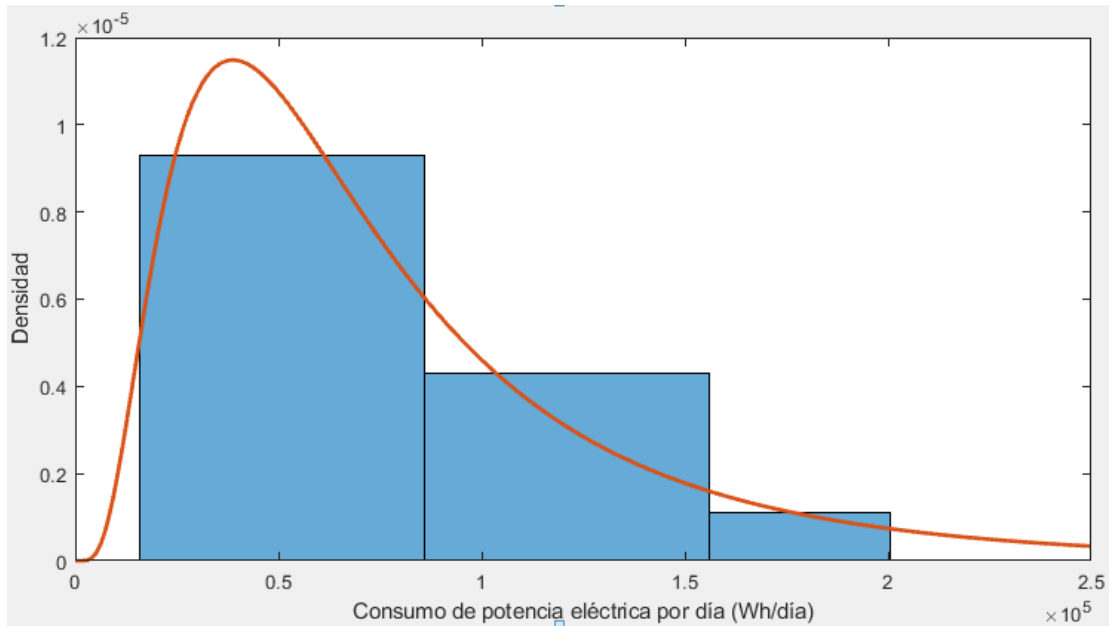
Perfil de consumo eléctrico C = 171.912 Wh/día



**Gráfica 2.** Comparación entre los distintos perfiles de consumo.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

Además, a partir de estos datos se puede determinar una distribución de probabilidad que represente adecuadamente la probabilidad de que una vivienda cualquiera en el municipio San Diego, estado Carabobo, posea un consumo eléctrico diario específico. Los datos se pueden representar mediante una distribución normal logarítmica de media  $\mu$  igual a 11,0569 y desviación estándar de 0,7 y se puede identificar que si se selecciona una vivienda unifamiliar del municipio al azar, tiene mayor probabilidad de ser parte del perfil A que de los otros perfiles.



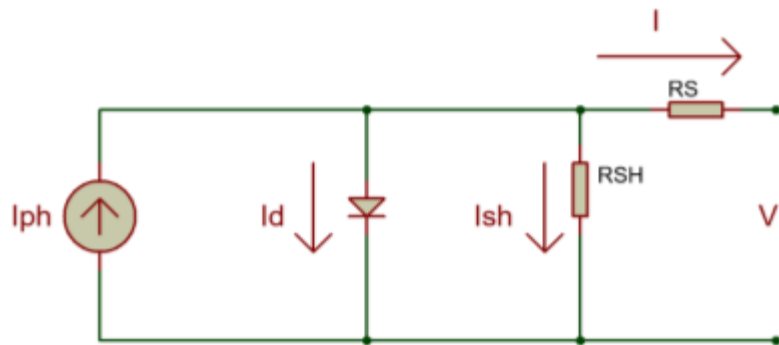
**Gráfica 3.** Gráfica de la distribución de probabilidad del consumo eléctrico por día de las viviendas encuestadas, junto al histograma de frecuencia.  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

## 4.2 Fase II: “Modelado de los elementos del sistema de generación eléctrica fotovoltaica, simulando su comportamiento bajo las condiciones ambientales promedio del municipio San Diego, Estado Carabobo”.

### 4.2.1. Modelado matemático de los elementos del sistema FV.

#### 4.2.1.1. Panel Solar.

El panel solar constituye la fuente de energía principal de un sistema de generación eléctrica fotovoltaico, es la conexión en serie y paralelo de múltiples celdas solares, las cuales, a su vez, se encargan de captar la energía solar. El circuito equivalente del modelo general de celda solar consiste en una fuente de Corriente Fotoeléctrica ( $I_{ph}$ ) dependiente de la irradiancia solar, un diodo real, caracterizado por una corriente de saturación ( $I_0$ ) resistencia en paralelo ( $R_{sh}$ ) que describe una corriente de fuga y una resistencia en serie ( $R_s$ ) que representa la resistencia interna de la celda. (Su, Tsai & Tu, 2008)



**Figura 14.** Modelo general de una celda fotovoltaica  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

De la figura 15, estableciendo la Ley de Corriente de Kirchhoff (LCK), resulta la siguiente formula:

$$(4.2.1)$$

Donde  $I_{ph}$  es la corriente fotogenerada, es decir, aquella se origina por la incidencia de los fotones sobre la celda fotovoltaica,  $I_d$  es la corriente del diodo, en otras palabras, corresponde a la corriente que circula a través del diodo, la cual es representada por la ecuación de la corriente de diodo y, por último,  $I_{sh}$  es la corriente de la rama en paralelo, represan un corriente de fuga en la celda fotovoltaica. Entiendo lo anterior, cada una de estas corrientes es descrita por su propia ecuación, por lo tanto, la corriente fotogenerada ( $I_{ph}$ ), es descrita por:

$$\text{—} \quad (4.2.2)$$

En donde,  $I_{sc}$  es la corriente en cortocircuito de la celda solar, esta corriente se halla haciendo pruebas de corto circuito a la celda solar y es un dato que suministran los fabricantes de paneles solares y se expresa en Amperio (A),  $k_i$  es el coeficiente de temperatura de la corriente de corto circuito, indica cuanto varía  $I_{sc}$  con respecto a la temperatura, está expresado en Amperio/Kelvin (A/K) y al igual que  $I_{sc}$  es un dato

que suministran algunos fabricantes de paneles solares,  $T_c$  es la temperatura de trabajo de la celda solar, es decir la temperatura a la cual estará sometida la celda cuando esté operando, se expresa en Kelvin (K), por otro lado, tenemos a  $T_{ref}$  o temperatura de referencia, es la temperatura a la que se realizó la prueba de cortocircuito de la celda, está expresado en kelvin (K), por lo general  $T_{ref}$  es 298 K.

$G$  es la irradiación solar de trabajo percibida por la celda, está expresada en  $Wh/m^2$ . Por último, tenemos a  $G_{ref}$  o irradiación solar de referencia, es la irradiación solar que percibía la celda al momento de hacer la prueba de cortocircuito, por lo general es igual a  $1000Wh/m^2$ . La siguiente corriente que encontramos en la ecuación (4.2.1) es  $I_d$ , la cual, atiende la ecuación de corriente de un diodo:

$$\text{-----} \quad (4.2.3)$$

En donde,  $I_0$  es la corriente de saturación del diodo y está expresado en Amper,  $q$  es la carga de un electrón y es igual a  $1,6 \times 10^{-6}$  Coulomb,  $V$  es el voltaje de salida de la celda, expresado en Voltios (V),  $I$  es la corriente de salida de la celda expresada en Amper (A),  $R_s$  es la resistencia en serie de la celda, la cual, representa  $K$  es la contante de Boltzmann y es igual a  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K,  $T_c$  es la temperatura de trabajo de la celda y es el factor de idealidad del diodo, es un numero escalar y depende de la tecnología de fabricación del panel solar (Su, Tsai & Tu, 2008).

Tecnología	
Silicio Monocristalino (Si-Mono)	1.2
Silicio Policristalino (Si-Poly)	1.3
Silicio Hidrogenado Amorfo (a Si:H)	1.8
Tandem Silicio Hidrogenado Amorfo (a Si:H Tandem)	3.3
Silicio Hidrogenado Amorfo Triple (a Si:H Triple)	5
Telururo de Cadmio (CdTe)	1.5
Cobre, Indio, Selenio (CIS)	1.5

Arsénico Galio (AsGa)	1.3
-----------------------	-----

**Tabla 4.** Factor de idealidad del diodo según tecnología de fabricación del panel  
Fuente: Su, Tsai y Tu (2008)

Io es descrito por la siguiente ecuación:

$$I = I_{rs} \left[ \exp\left(\frac{qV}{n k T_c}\right) - 1 \right] - I_{sc} \quad (4.2.4)$$

En donde, Irs es la corriente de saturación inversa del diodo y se expresa en Amper (A), Tc es la temperatura de trabajo de la celda, Tref es la temperatura de referencia, q es la carga de un electrón de idealidad del diodo y Eg es la energía de la banda Gap del semiconductor de la celda, para un semiconductor de silicio equivale a 1.14 eV (Sanjay & Streetman, 2015), mientras que por su lado, la corriente de saturación inversa del diodo Irs atiende a la siguiente ecuación:

$$I_{rs} = I_{sc} \exp\left(-\frac{E_g}{k T_c}\right) \quad (4.2.5)$$

En donde, Isc es la corriente de cortocircuito de la celda, q es la carga de un electrón, V es el voltaje de salida de la celda, I es la corriente de salida de la celda, Rs es la resistencia en serie de la celda, K es la constante de Boltzmann, Tc es la temperatura de trabajo de la celda, bien, la corriente de la rama en paralelo o Ish que aparece en la ecuación (4.2.1), es descrita por la siguiente ecuación:

$$I_{sh} = \frac{V}{R_{sh}} \quad (4.2.6)$$

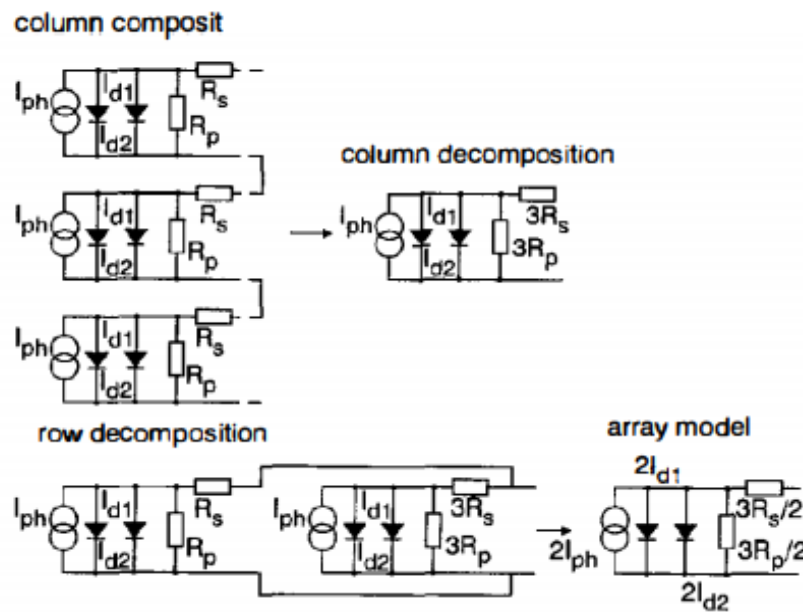
En donde, V es el voltaje de salida de la celda, I es la corriente de salida de la celda, Rs es la resistencia en serie de la celda y Rsh es la resistencia en la rama en

reescribimos la ecuación (4.2.1) sustituyendo con las ecuaciones (4.2.6) y (4.2.3), no resulta:

$$(4.2.7)$$

En donde la ecuación (4.2.7) corresponde a la ecuación Voltaje-Corriente característica del modelo general de una celda fotovoltaica.

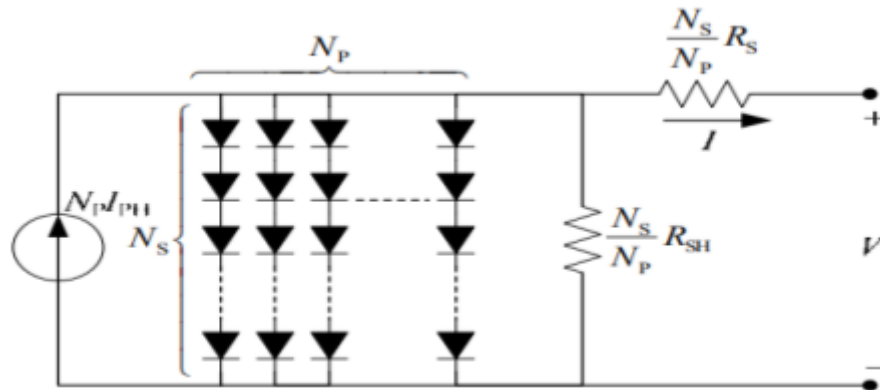
Bien sabemos que un panel solar es un arreglo en serie y/o paralelo de celdas solares.



**Figura 15.** Arreglo de celdas solares

Fuente: Gow & Manning (1999)

En el mismo orden de ideas, teniendo en cuenta la forma que se pueden producir los arreglos de las celdas solares, se puede representar mediante el circuito eléctrico equivalente mostrado en la siguiente figura



**Figura 16.** Modelo general de un panel solar  
Fuente: Su, Tsai & Tu (2008)

De esta forma, la ecuación Voltaje-Corriente característica del modelo general de un panel fotovoltaico resulta:

$$\frac{V}{N_s} = \frac{N_p I_{ph}}{N_s} - \frac{V}{N_p R_{sh}} - \frac{V}{N_p R_s} \exp\left(\frac{V}{N_s V_t}\right) \quad (4.2.8)$$

En donde,  $N_p$  es el número de celdas en paralelo del panel y  $N_s$  es el número de celdas en serie del panel. Pueden ocurrir 3 casos que pueden simplificar la ecuación (4.2.8), dependiendo del número de celdas en serie y el número de celdas en paralelo del módulo fotovoltaico, estos casos son:

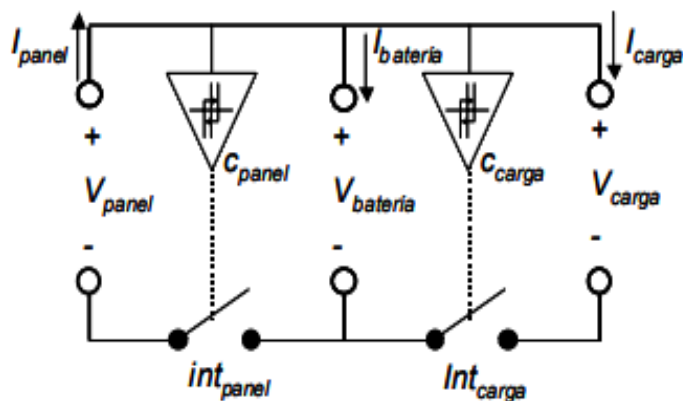
- Caso 1:  $N_p = 1$ ;  $N_s > 1$
- Caso 2:  $N_p > 1$ ;  $N_s = 1$
- Caso 3:  $N_p > 1$ ;  $N_s > 1$

Por lo general, el caso 1 es el más común o el tipo de filosofía de fabricación de paneles más utilizada, es por ello y por efectos de este estudio, considerando el caso 1 la ecuación 8 puede ser reescrita como:

$$\frac{V}{N_s} = I_{ph} - \frac{V}{R_{sh}} - \frac{V}{R_s} \exp\left(\frac{V}{N_s V_t}\right) \quad (4.2.9)$$

#### 4.2.1.2. Controlador de carga

El controlador de carga permite regular el paso de la corriente desde el panel fotovoltaico hasta la batería, esto sirve para proteger la batería de sobrecargas o grandes profundidades de descargas, para efectos de este estudio se modelará el regulador de carga por medio de algoritmos de cálculos del estado de carga. Un esquema eléctrico válido para este tipo de controlador consiste en dos relés o switches  $Int_{panel}$  e  $Int_{carga}$  que permiten desconectar o conectar los paneles solares y las cargas de las baterías. Estos relés son controlados a través de comparadores con histéresis  $C_{panel}$  y  $C_{carga}$ , los cuales, monitorean el voltaje en la batería  $V_{bateria}$ . Su funcionamiento se basa en que si la batería entra en sobrecarga, el controlador abre la conexión de la batería con el panel solar y de igual forma si la batería se encuentra muy descargada, el controlador abrirá la conexión de la batería con la carga, esto se puede representar por medio del siguiente circuito:



**Figura 17.** Modelo eléctrico básico de un regulador de carga de batería  
Fuente: Guasch (2003)

Cuando  $Int_{panel}$  está cerrado  $V_{panel}$  es igual a  $V_{bateria}$ , si esto sucede la batería está en proceso de carga por lo que su voltaje aumenta de acuerdo a su curva de descarga, este proceso debería ocurrir hasta que el voltaje de la batería llegue a  $V_{bmax}$  el cual, es el máximo valor de voltaje de carga recomendado para la batería, mientras que cuando  $Int_{panel}$  está abierto,  $V_{bateria}$  no es igual a  $V_{panel}$  y  $V_{panel}$  se vuelve igual al voltaje del panel en circuito abierto, para que se cierre nuevamente

Intpanel es necesario que el voltaje de la batería sea igual un voltaje  $V_{bseg}$  para que la batería pueda liberarse de parte de su carga y que además al desconectarse  $V_{panel}$ , no se conecte instantáneamente, esto se describe por la siguiente ecuación:

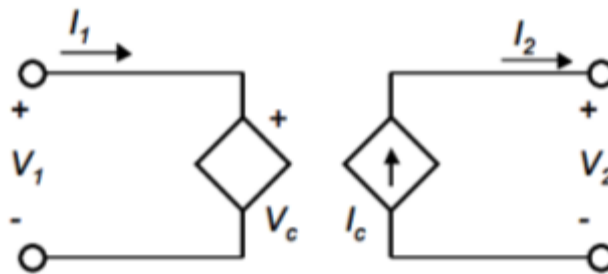
(4.2.10)

Por otro lado, para describir matemáticamente el comportamiento de Intcarga se debe tomar en cuenta que cuando Intcarga está cerrado la batería comienza a descargarse y el voltaje de la carga  $V_{carga}$  es igual al voltaje de la batería, este interruptor debe estar cerrado hasta que el voltaje de la batería llegue a un nivel  $V_{bmin}$ , el cual representa una determinada profundidad de descarga, y para volver a conectar la batería a la carga, se debe cargar la batería hasta que llegue a un voltaje de seguro de carga  $V_{bcseg}$ , esto puede ser descrito por:

(4.2.11)

#### **4.2.1.3. Convertidor DC/DC**

Un convertidor DC/DC puede mejorar el rendimiento de un sistema fotovoltaico y además permite aplicar técnicas de control sobre el sistema fotovoltaico, este debe ser conectado entre los paneles solares y las baterías. Gracias a que los paneles solares pueden modelarse como fuentes de corriente y las baterías como fuentes de voltaje, el convertidor DC/DC que conecta a ambos puede ser modelado como una fuente de voltaje controlada  $V_c$  en su entrada y como una fuente de corriente  $I_c$  en su salida.



**Figura 18.** Modelo equivalente del convertidor DC-DC  
Fuente: Guasch (2003)

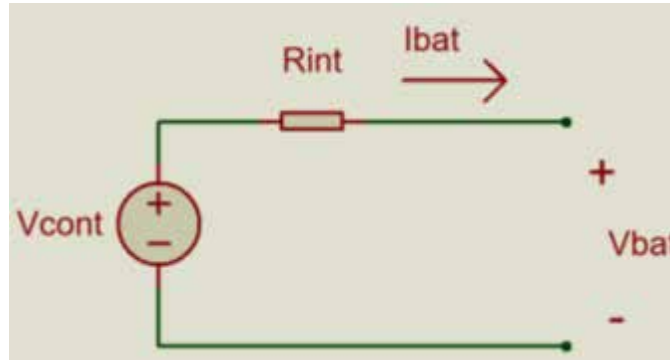
La corriente  $I_c$ , depende de la corriente suministrada por el panel solar y las técnicas de control aplicadas sobre el convertidor DC/DC, esta puede tomar valores de entre 0 A hasta la corriente en el punto de máxima potencia  $I_{mpp}$ , el voltaje a la entrada  $V_c$  se produce como consecuencia del control aplicado y puede tomar valores entre el voltaje en el punto de máxima potencia  $V_{mpp}$  y el voltaje de circuito abierto del panel solar  $V_{on}$ , descrito por:

$$\text{---} \tag{4.2.12}$$

$$\tag{4.2.13}$$

#### 4.2.1.4. Baterías

El modelado de batería presentado corresponde al modelo genérico dinámico de una batería, el cual, es descrito a través de un circuito eléctrico que contiene una fuente de voltaje DC controlada, en serie con una resistencia interna de la batería, en donde, si la corriente fluye en dirección a la fuente de voltaje DC controlada significa que la batería está siendo cargada y si fluye en sentido contrario significa que está siendo descargada. (Dekkiche, Dessaint & Tremblay, 2007)

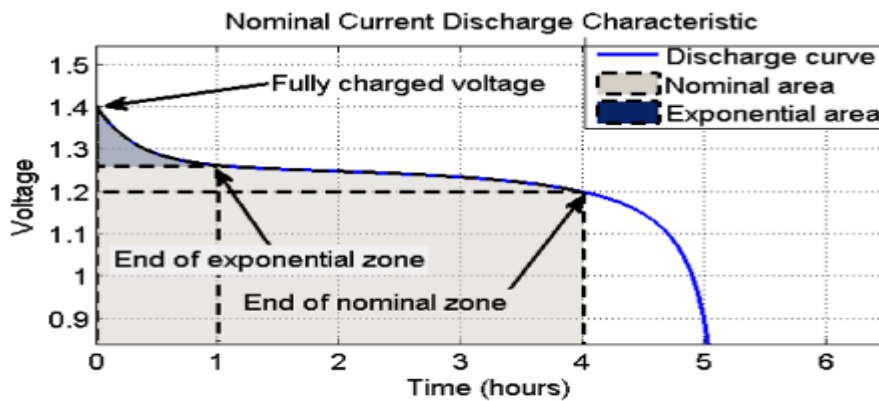


**Figura 19.** Circuito eléctrico equivalente de una batería  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

La fuente de voltaje DC controlada depende de los parámetros obtenidos de las 3 zonas de la curva característica de descarga de la batería, y puede ser descrita como:

$$\text{---} \quad (4.2.14)$$

En donde  $V_{cont}$  es el voltaje constante de la batería expresado en voltios (V),  $K$  es el voltaje de polarización expresado en voltios (V),  $Q$  es la capacidad de la batería expresado en Amperios hora (Ah),  $A$  es la amplitud de la zona exponencial expresada en voltios (V),  $B$  es la constante de tiempo inversa de la zona exponencial expresado en inversa de Amperios hora ( $Ah^{-1}$ ),  $i$  es la corriente de la batería expresado en Amperio (A) y  $t$  es el tiempo de descarga de la batería expresado en horas.



**Figura 20.** Curva característica de descarga de una batería  
Fuente: Dekkiche, Dessaint & Tremblay (2007)

#### 4.2.1.5. Inversor

El inversor es un elemento esencial para lograr que la energía generada por el panel fotovoltaico pueda ser aprovechada por la vivienda unifamiliar. Su función es cambiar la corriente continua (CC), proveniente de la batería y el panel fotovoltaico, a corriente alterna (CA), el tipo de energía eléctrica que se utiliza en instalaciones residenciales.

Una de las formas de diseñar un inversor es mediante el uso de un puente H, el cual es una configuración de interruptores accionados de tal forma que el voltaje de salida cambie de polaridad cada cierto tiempo. Mediante este accionamiento, uno puede alterar también el ciclo de trabajo para poder disminuir y controlar el voltaje de salida como uno desee.

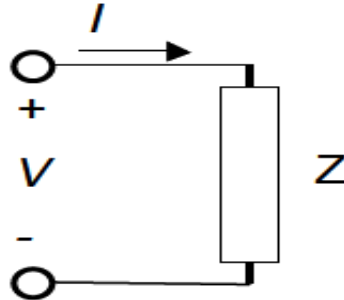
Asumiendo un ciclo de trabajo de 100% en cada semiciclo y que la carga sea resistiva, se puede calcular el valor RMS recibido por la misma:

$$\frac{\text{---}}{\text{-}} \quad \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (4.2.15)$$

Sin embargo, la salida del puente H viene siendo una onda cuadrada, debido a la naturaleza del mismo inversor. Debe evitarse utilizar ondas cuadradas para alimentar cargas residenciales ya que la onda cuadrada posee armónicos que impiden el funcionamiento correcto de la instalación eléctrica residencial. Para solucionar este problema, se puede colocar un filtro LC en la salida con una frecuencia de corte menor a la frecuencia de conmutación de los interruptores.

#### 4.2.1.6. Cargas

Las cargas para un sistema de generación eléctrica fotovoltaico representan todos aquellos equipos o electrodomésticos conectados a la salida del inversor del sistema fotovoltaico. Un modelo valido para describir las cargas puede ser a través de una impedancia Z, que responde a una determinada polarización V, absorbiendo una corriente I necesaria para trabajar, a su vez este modelo debe ser capaz de representar el perfil de consumo de la carga a través de tiempo, a partir del cual se genera Z(t). (Guasch, 2003).



**Figura 21.** Circuito eléctrico equivalente de la carga  
Fuente: Guasch (2003)

De esta manera, este modelo se puede describir como:

$$\text{—} \quad (4.2.16)$$

En donde,  $Z(t)$  representa la carga con respecto al tiempo,  $V(t)$  el voltaje en los terminales de la carga con respecto al tiempo expresado en voltios (V),  $I(t)$  la corriente absorbida por la carga con respecto al tiempo expresada en Amperios (A). Ahora bien, la carga depende de su temperatura de trabajo, es decir, a mayor temperatura la impedancia disminuye y a menor temperatura la impedancia aumenta, por lo que este comportamiento puede ser descrito como:

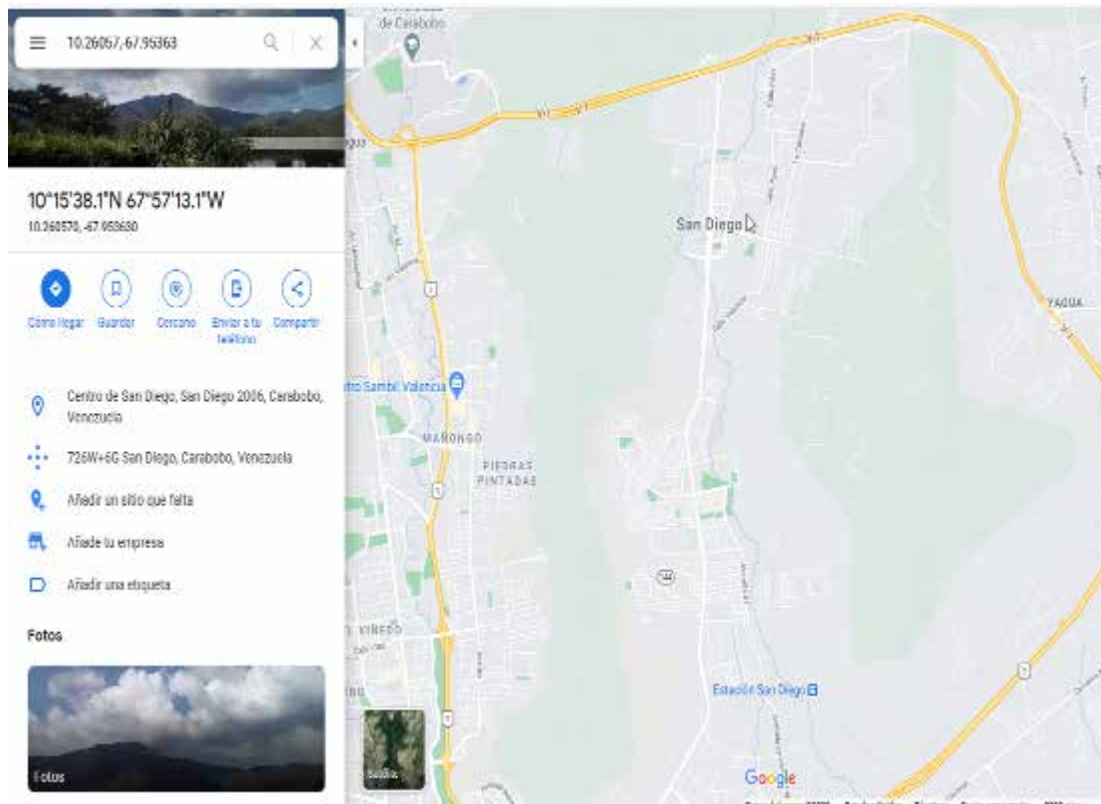
$$(4.2.17)$$

En donde,  $\alpha$  hace referencia al perfil característico de la impedancia,  $\beta$  es el coeficiente de variación de impedancia con respecto a la variación de temperatura y  $T_0$  corresponde a la variación de temperatura de trabajo de la impedancia con respecto a una temperatura inicial o temperatura ambiente.

## 4.2.2 Condiciones ambientales del municipio San Diego, estado Carabobo

### 4.2.2.1 Ubicación geográfica

El municipio San Diego, estado Carabobo se encuentra en la latitud 10,26050 y longitud -67,95363 con una elevación de 491 metros sobre el nivel del mar. (Geodatos, 2020)



**Figura 22.** Ubicación geográfica del municipio San Diego.

Fuente: Google (2020).

### 4.2.2.2 Temperatura

Para determinar la temperatura que presenta el municipio San Diego, se utilizó la toolbox *Prediction of Worldwide Energy Resource* de la NASA. Cabe destacar que existen dos diferentes métricas en la medición de temperatura en una zona geográfica, estas son, temperatura sobre la superficie terrestre o *Earth Skin Temperature* y la Temperatura a 2 metros de altura o *Temperature at 2 meters*, para efectos de la presente investigación, debido a que la ubicación de los paneles debería ser en los

techos de las viviendas unifamiliares, se eligió utilizar la métrica de temperatura a 2 metros de altura, la cual indicó que para el periodo comprendido entre el 1ero de enero de 2019 al 1ero de enero de 2020, la temperatura diaria promedio oscilo entre un valor mínimo de 23.75 °C, alcanzado el 1ero de enero de 2019 y un valor máximo de 28.99 °C alcanzado el 16 de septiembre del 2019.

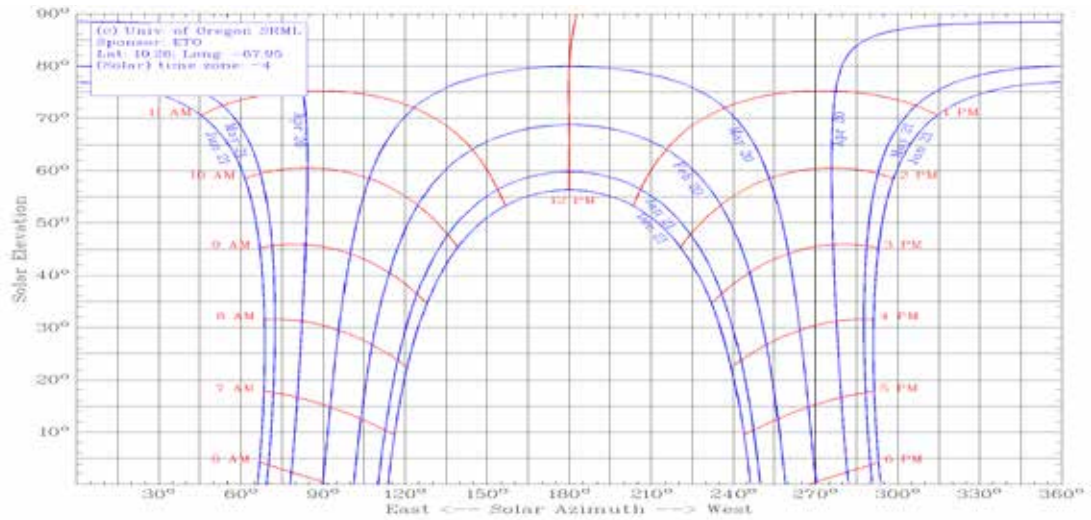


**Figura 23.** Gráfica de temperatura diaria promedio en el municipio San Diego entre el 1ero de enero de 2019 y el 1ero de enero de 2020

Fuente: NASA (2020)

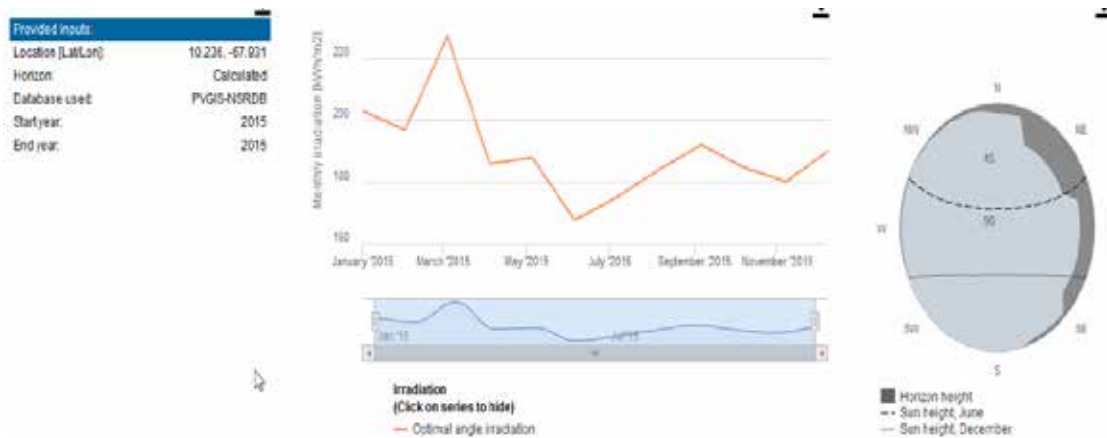
#### 4.2.2.3 Irradiación solar

La irradiación solar sobre una superficie depende de la posición relativa que tenga la superficie en relación a la altitud y azimuth del sol, utilizando la toolbox *Sun Chart Program* de la Universidad de Oregon, se puede determinar la posición del sol con respecto a San Diego durante el año.



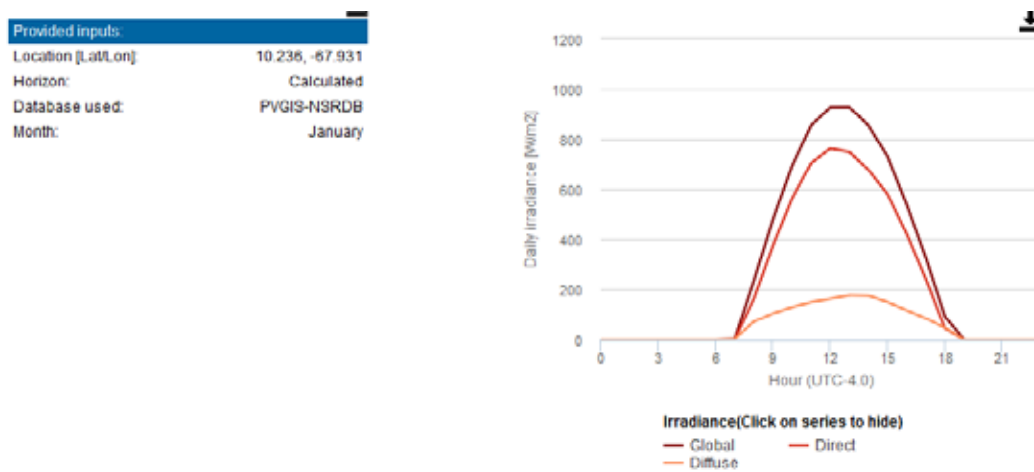
**Figura 24.** Ubicación geográfica del sol con respecto al municipio San Diego  
 Fuente: Universidad de Oregon (2020)

En base a la figura anterior, para una ubicación fija del panel solar se determina que la pendiente de inclinación más óptima para el mayor aprovechamiento de la irradiación solar es de 12° mientras que el azimuth tomado es de 0°. A través de la toolbox PGVIS de la Comisión Europea, se pudo determinar la irradiación solar expresada en Wh/m<sup>2</sup> por mes incidente sobre el municipio San Diego durante el año 2015, en donde se puede observar que el valor mínimo de irradiación solar fue de 167.69 KWh/m<sup>2</sup> alcanzado en el mes de junio y la irradiación máxima fue alcanzada en marzo con un valor de 226.94 KWh/m<sup>2</sup>.



**Figura 25.** Irradiación solar incidente en el municipio San Diego durante el año 2015  
 Fuente: Comisión Europea (2020)

Para poder dimensionar un sistema fotovoltaico, es necesario conocer la irradiación solar incidente durante el día, y más específico aún, la irradiación solar incidente por hora de la zona en donde se espera instalar el sistema, por lo tanto, se tomó como referencia la incidencia por hora percibida en el municipio San Diego durante el mes de enero del año 2015.



**Figura 26.** Irradiación solar incidente por hora en el municipio San Diego para un día promedio en el mes de enero del 2015

Fuente: Comisión Europea (2020)

Mediante el uso de la toolbox PGVIS se pudo construir la siguiente tabla de parámetros necesarios para simular el comportamiento de los paneles solares en el municipio San Diego.

Hora	Irradiación solar (Wh/m2)	Temperatura (°C)
00:00	0	23,39
01:00	0	22,94
02:00	0	22,48
03:00	0	22,14
04:00	0	21,8
05:00	0	21,46
06:00	0	21,9
07:00	1,96	22,33

08:00	228,58	22,76
09:00	477,46	24,5
10:00	683,76	26,25
11:00	831,32	27,99
12:00	871,86	28,63
13:00	848,42	29,27
14:00	791,65	29,91
15:00	709,7	29,25
16:00	537,54	28,58
17:00	371,63	27,92
18:00	43,7	26,94
19:00	0	25,96
20:00	0	25,01
21:00	0	24,62
22:00	0	24,23
23:00	0	23,85

**Tabla 5.** Irradiación y temperatura por hora en el municipio San Diego para el mes de enero de 2015

Fuente: Comisión Europea (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020).

#### **4.2.3. Simulación del sistema FV**

##### **4.2.3.1. Selección del panel fotovoltaico**

El elemento más esencial de un sistema fotovoltaico viene siendo el mismo panel fotovoltaico. La capacidad del sistema depende en gran parte de la capacidad del panel fotovoltaico utilizado en el sistema y de sus características; por lo tanto, se debe escoger un panel fotovoltaico que tenga una buena relación Wp/\$. Teniendo esto en consideración, se seleccionó el panel fotovoltaico HiKu CS3W-410P para realizar la simulación del sistema.

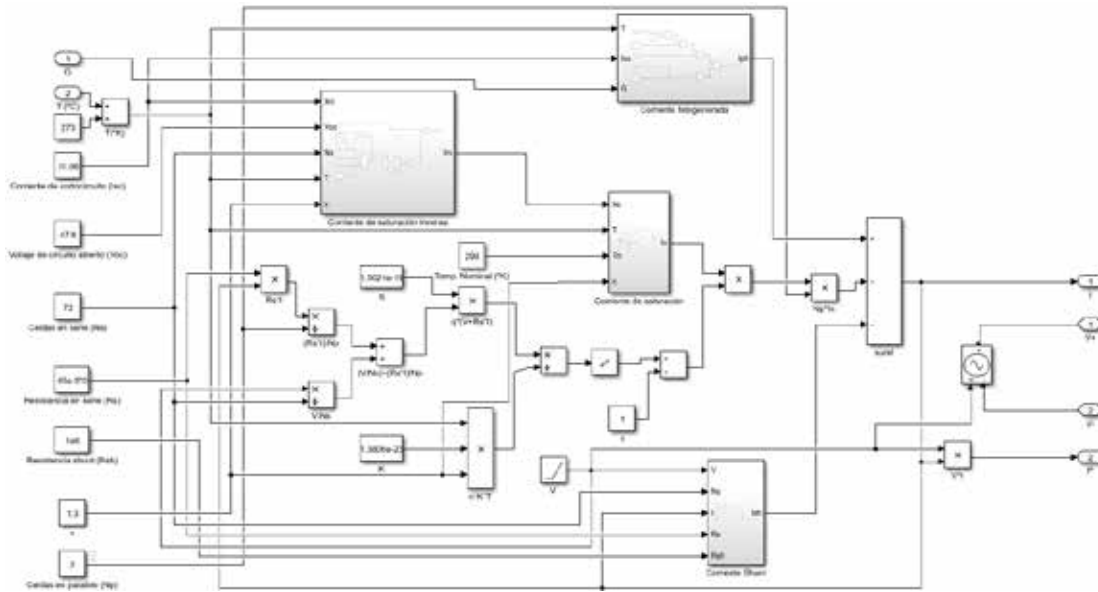
<b>Panel Fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P</b>	
Potencia máxima nominal [Pmax]	410 W
Voltaje de operación óptimo [Vmp]	39.1 V
Corriente de operación óptima [Imp]	10.49 A
Voltaje de circuito abierto [Voc]	47.6 V
Corriente de cortocircuito [Isc]	11.06 A
Eficiencia del módulo	18.56%
Tipo de celda	Policristalino
Arreglo de celdas	144[2x(12x6)]
Coefficiente de temperatura (Isc) [ki]	0.05% / °C

**Tabla 6.** Características eléctricas (STC) y mecánicas del panel HiKu CS3W-410P.

Fuente: Canadian Solar (2019). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020).

#### 4.2.3.2. Diseño de simulación del panel fotovoltaico en Simulink

Con el objetivo de verificar el funcionamiento correcto del panel fotovoltaico, se decidió modelar los elementos del mismo en el software de simulación de Simulink, con el apoyo de las librerías estándar del programa y las librerías de Simscape. Se utilizaron las ecuaciones matemáticas del modelo de un panel fotovoltaico para representar el comportamiento del mismo dentro de la simulación.



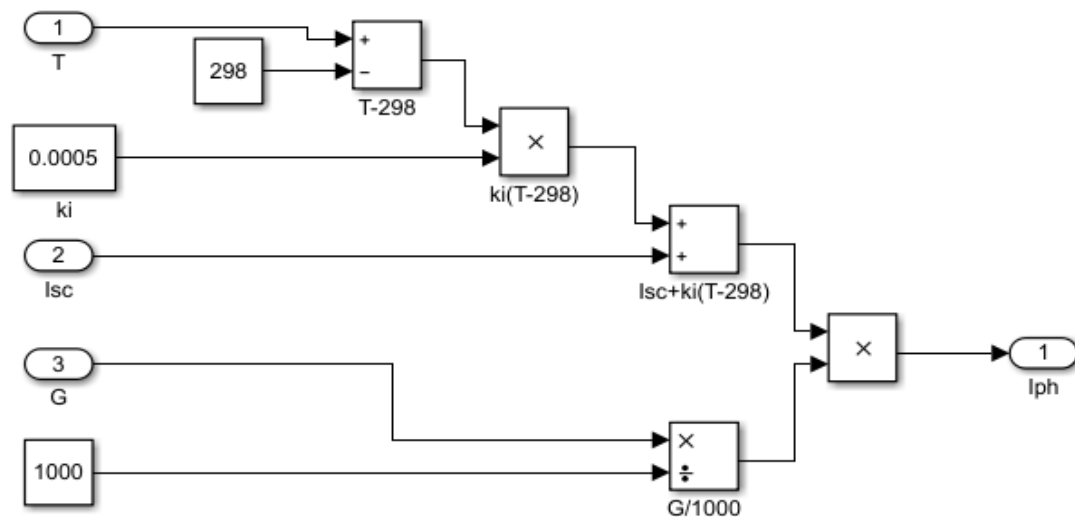
**Figura 27.** Modelo de un panel fotovoltaico en Simulink.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).

El modelo representa la ecuación (4.2.9) mediante una combinación de operaciones matemáticas entre constantes y variables que se encuentran en la librería

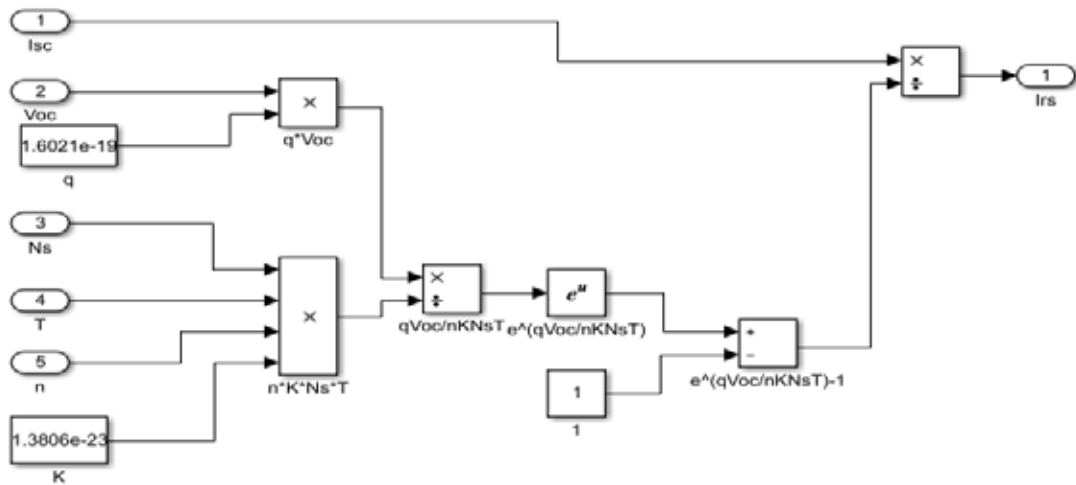
de Simulink. Se utiliza una función rampa para representar el voltaje  $V$ , ya que se desea ver el comportamiento del panel fotovoltaico a través de todos los posibles voltajes de salida del mismo y una función rampa cumple con esta meta. Se colocó un valor muy pequeño de  $R_s$  y un valor muy alto de  $R_{sh}$  para que su contribución al comportamiento del sistema fotovoltaico sea despreciable – sin embargo, se debe tomar en cuenta que este es un caso ideal y puede que no represente el comportamiento real del panel fotovoltaico.

El modelo recibe dos parámetros de entrada: la irradiancia  $G$ , medida en  $W/m^2$ , y la temperatura  $T$ , medida en  $^{\circ}C$ . Para poder modelar el comportamiento de la ecuación (4.2.9), se necesitan calcular cuatro parámetros importantes: la corriente fotogenerada  $I_{ph}$ , la corriente de saturación inversa  $I_{rs}$ , la corriente de saturación  $I_o$ , y la corriente shunt  $I_{sh}$ . Cada uno de estos parámetros posee un subsistema individual en donde se realizan las operaciones necesarias para cada uno.



**Figura 28.** Subsistema dedicado a la corriente fotogenerada.  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).

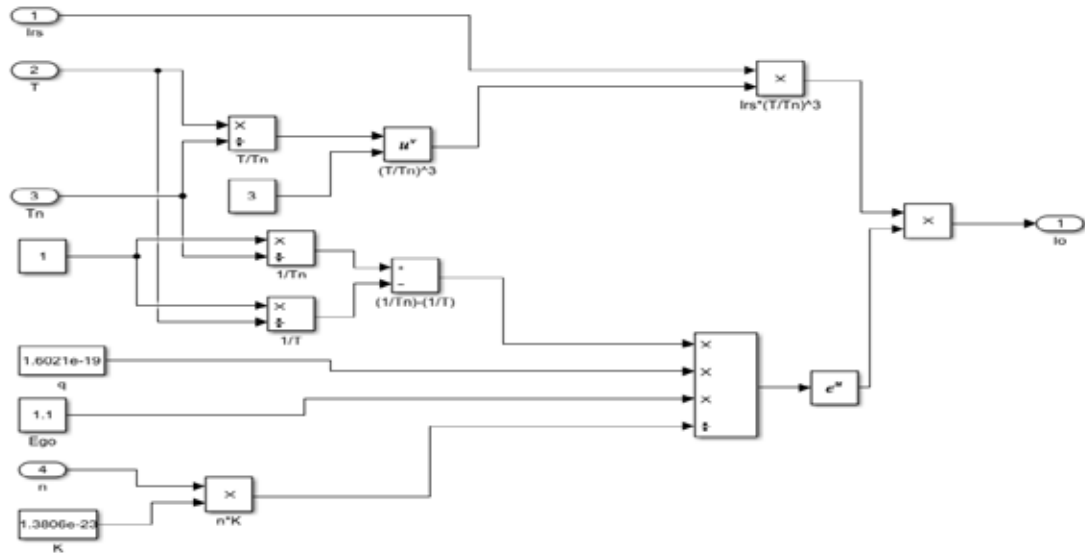
El subsistema de la corriente fotogenerada describe a la ecuación (4.2.2) y depende de los valores de temperatura e irradiancia ingresados al sistema. Además, depende de la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico ( $I_{sc}$ ) y de su coeficiente de temperatura ( $k_i$ ).



**Figura 29.** Subsistema dedicado a la corriente de saturación inversa.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).

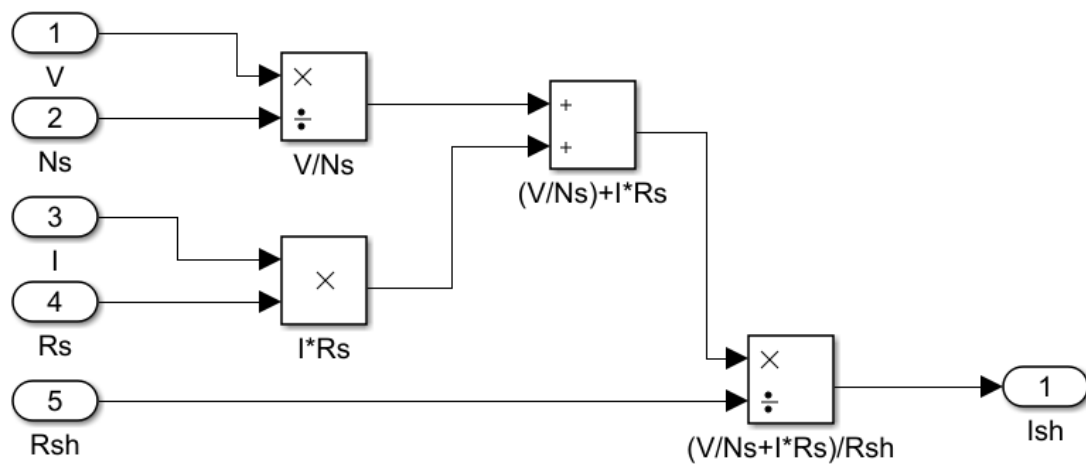
El subsistema de la corriente de saturación inversa describe a la ecuación (4.2.5) y depende del valor de temperatura ingresado al sistema. La ecuación depende del voltaje de circuito abierto (Voc), la corriente de cortocircuito (Isc), el factor de idealidad (n) que varía con el material de fabricación del panel, y de las celdas en serie (Ns) del panel fotovoltaico; además, utiliza las constantes matemáticas del electrón (e), y la constante de Boltzmann (K).



**Figura 30.** Subsistema dedicado a la corriente de saturación.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).

El subsistema de la corriente de saturación describe a la ecuación (4.2.4) y depende de la corriente de saturación inversa ( $I_{rs}$ ) obtenida anteriormente, y de la temperatura ingresada al sistema. La ecuación también depende del material de fabricación del panel ya que el factor de idealidad ( $n$ ) es parte del cálculo. Se utiliza  $T_n$  como una referencia de la temperatura nominal en condiciones estándar de prueba (STC), y también utiliza constantes como la constante de Boltzmann ( $K$ ) y la energía en la banda GAP del semiconductor ( $E_{go}$ ).



**Figura 31.** Subsistema dedicado a la corriente shunt.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).

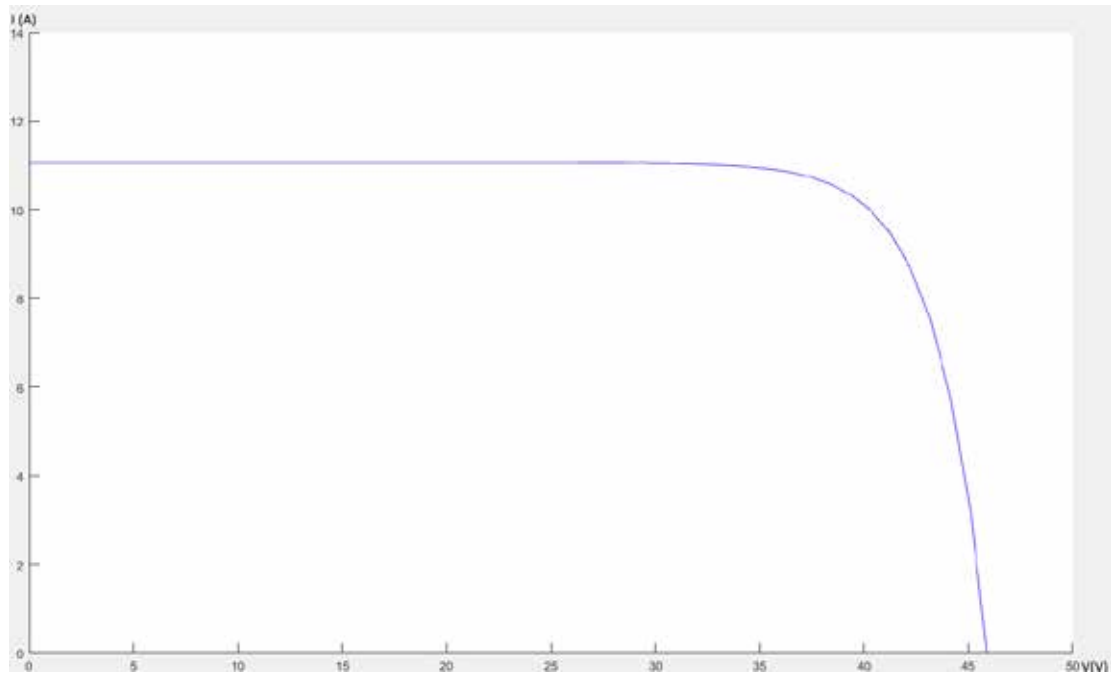
El subsistema de la corriente shunt describe a la ecuación (4.2.6) y depende de varios parámetros como el voltaje actual del sistema ( $V$ ) y la corriente de salida actual ( $I$ ) del panel fotovoltaico. Además, depende de las celdas en serie ( $N_s$ ), resistencia en serie ( $R_s$ ), y resistencia shunt ( $R_{sh}$ ) del panel fotovoltaico. Debido a los valores seleccionados de  $R_s$  y  $R_{sh}$ , el efecto de este subsistema sobre el modelo es generalmente despreciable.

#### 4.2.3.3. Simulación del panel fotovoltaico bajo STC (Standard Test Conditions)

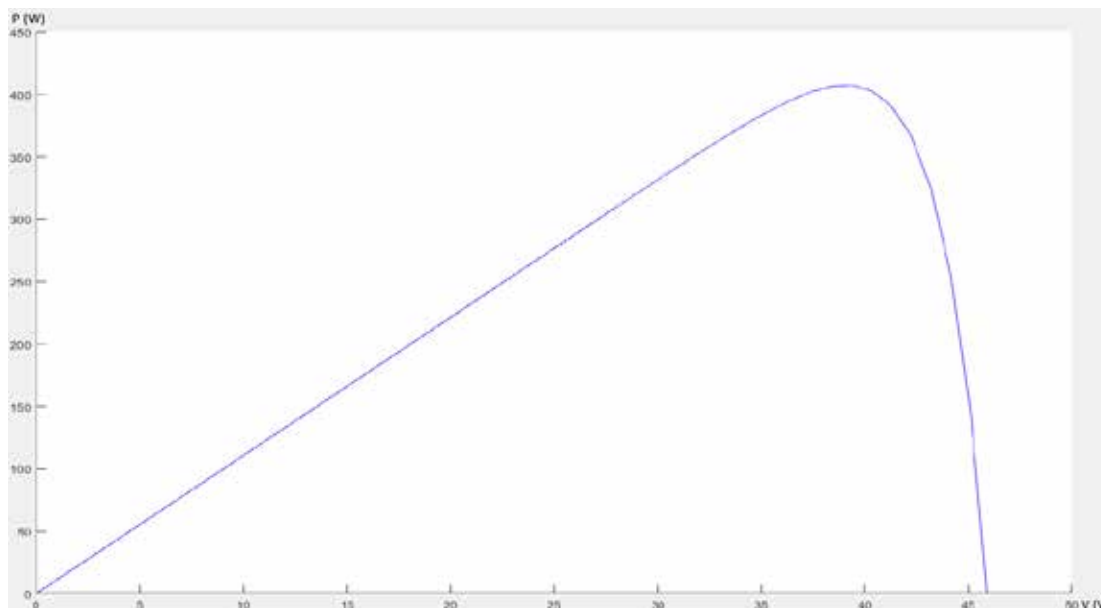
La información suministrada por los fabricantes en sus hojas de datos suele obtenerse como resultado de pruebas realizadas al panel fotovoltaico en un laboratorio bajo unas condiciones específicas denominadas “Condiciones Estándar de Prueba” (*Standard Test Conditions*, en inglés). De estas condiciones de prueba, las

más importantes son el valor de irradiancia utilizado, de  $1000 \text{ W/m}^2$ ; y la temperatura, de  $25^\circ\text{C}$ . Se pueden utilizar estos valores para validar el modelo creado en Simulink y verificar que los valores obtenidos se asemejen a aquellos suministrados por el fabricante.

Para ello, se elaboran dos gráficas que permiten visualizar estos valores de manera gráfica: una gráfica de la corriente en función del voltaje del panel fotovoltaico, y una gráfica de la potencia en función del voltaje. Utilizando el osciloscopio XY de la librería de Simulink, se puede graficar una variable en función de la otra, lo cual resulta en las siguientes gráficas.



**Figura 32.** Gráfica de voltaje vs corriente bajo STC.  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).



**Figura 33.** Gráfica de voltaje vs potencia bajo STC.

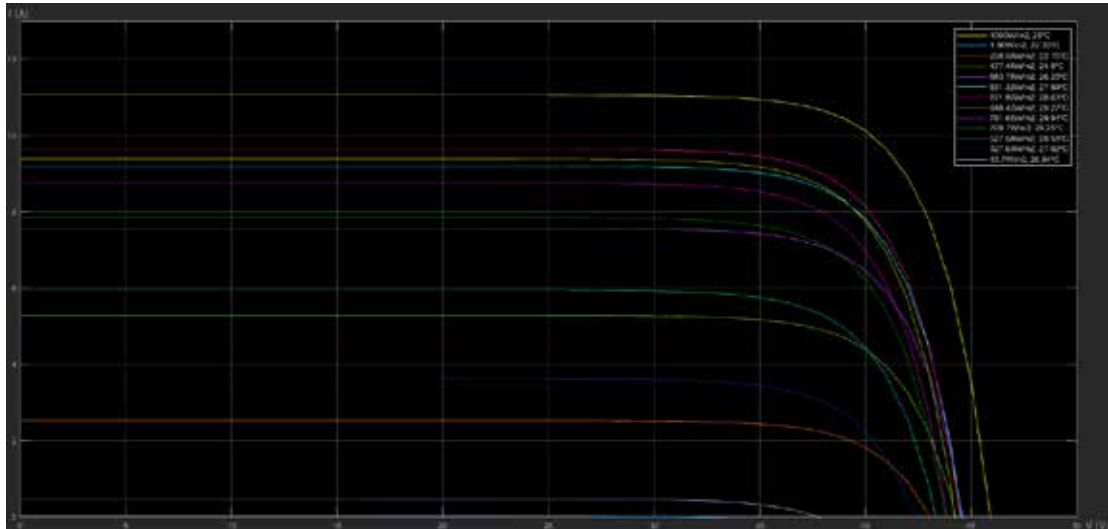
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).

Se pueden comparar los resultados de las gráficas anteriores con los datos proporcionados para el fabricante y comparar la diferencia entre ellos. La corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) obtiene un valor de 11.06 A, mientras que el voltaje de circuito abierto ( $V_{oc}$ ) da un valor de 45.1 V. El voltaje en el punto de máxima potencia ( $V_{mpp}$ ) es de 38.99 V, y la corriente en ese mismo punto ( $I_{mpp}$ ) es de 10.44 A. Todos estos valores son razonablemente cercanos a los suministrados por el fabricante, por lo que se concluye que el modelado es válido para representar al panel fotovoltaico.

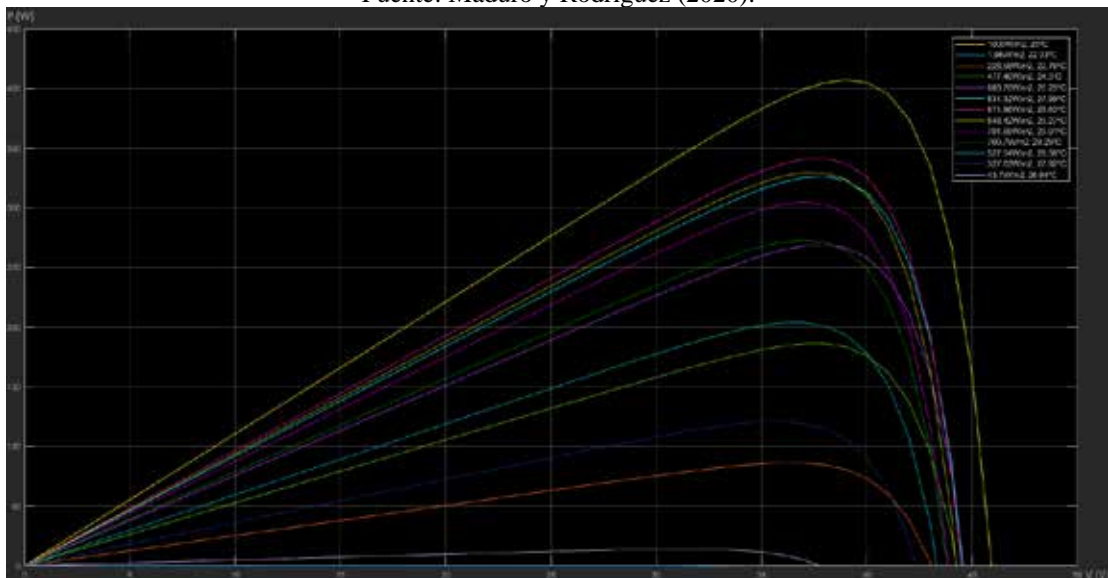
#### **4.2.3.3. Simulación del panel fotovoltaico bajo las condiciones ambientales del municipio San Diego, estado Carabobo**

La potencia generada por un panel fotovoltaico varía dependiendo de la irradiancia que recibe y la temperatura a la que se encuentra. Bajo condiciones de prueba, estas no varían, pero en aplicaciones prácticas el panel fotovoltaico va a recibir distintos niveles de irradiancia durante el día, y su temperatura irá variando junto a ello. Debido a esto, es necesario analizar las características del panel solar durante un día en el municipio San Diego, estado Carabobo. Para ello, se utilizaron

los datos de la Tabla 5, obteniendo los siguientes resultados:



**Figura 34.** Gráfica de voltaje vs corriente bajo distintas condiciones ambientales.  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).



**Figura 35.** Gráfica de voltaje vs potencia bajo distintas condiciones ambientales.  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020).

### 4.3. Fase III: “Diseño de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica, como sistema de respaldo energético adaptable a las viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo”.

En la sección 690 del Código Eléctrico Nacional se clasifican los sistemas fotovoltaicos solares como: interconectados con otras fuentes de generación eléctrica,

es decir, tales como los sistemas fotovoltaicos conectados a la red pública de suministro eléctrico, autónomos con o sin baterías para almacenamiento de energía, y por último, puede ser un sistema del tipo híbrido, esto quiere decir que cierta parte del suministro eléctrico es proporcionado por la red eléctrica pública y otra parte es suministrado por el sistema fotovoltaico. Independientemente del tipo de sistema fotovoltaico, este puede tener una salida de corriente continua o de corriente alterna.

Explicado lo anterior, el presente proyecto surge como solución al problema de la inestabilidad del servicio público de suministro de energía eléctrica, por tanto, a continuación, se diseña y se dimensiona un sistema fotovoltaico del tipo autónomo con baterías para almacenamiento de energía.

#### **4.3.1. Criterios de selección**

Antes de empezar con el diseño del sistema, es necesario establecer un conjunto de reglas y procedimientos para determinar las características de los productos que se deben adquirir; esto se debe a que el dimensionamiento del sistema fotovoltaico depende de las necesidades del consumidor y de las características eléctricas de su vivienda. La selección de un criterio de diseño permite que el procedimiento cree resultados consistentes sin importar la vivienda o perfil de consumo seleccionado.

Un sistema fotovoltaico suele poseer un conjunto de paneles fotovoltaicos, un banco de baterías para almacenar la energía adquirida de los paneles, un controlador de carga que se encarga de la conversión DC/DC y de regular la corriente de carga de las baterías, y un inversor para transformar la energía DC de las baterías en energía AC para suministrar a las viviendas. La selección del inversor solamente requiere que la capacidad nominal del inversor sea un 20% mayor a la potencia instantánea máxima de la vivienda, pero los criterios de selección de los demás elementos ameritan una explicación más detallada.

Para empezar, es necesario establecer el tiempo de autonomía del sistema, el cual representa el tiempo durante el cual la vivienda se mantendrá energizada únicamente por el banco de baterías hasta que se descarguen. En un sistema

fotovoltaico completamente autónomo, este tiempo suele ser de tres o más días, dependiendo de las condiciones ambientales del lugar; sin embargo, debido a que nuestro sistema fotovoltaico no está orientado a ser el único suministro eléctrico que posee la casa, se puede reducir significativamente el tiempo de autonomía comparado con un sistema fotovoltaico completamente aislado. Para efectos de este estudio, se trabajará con un tiempo de autonomía de 8 horas, o un tercio de un día, pero este puede variar dependiendo de los deseos del consumidor.

Luego, es necesario definir la potencia que debe ser suministrada por los paneles fotovoltaicos, y la capacidad energética del banco de baterías. Estos dos elementos son esenciales para el dimensionamiento del sistema, y el resto de los dispositivos del sistema (inversores, controladores de carga, etc.) se deben seleccionar en función a los valores obtenidos para los paneles fotovoltaicos y el banco de baterías. Para obtener estos valores, se utilizó como referencia el procedimiento planteado en el trabajo hecho por Cabaleiro et al. (2013), titulado *Metodología para el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo de suministro de energía*, donde discuten formas de dimensionar el arreglo de paneles fotovoltaicos y al banco de baterías.

En el trabajo, utilizan la Energía Solar Acumulada (SEA) para determinar el equivalente de horas de sol completo recibidas por el arreglo fotovoltaico y, en función al consumo eléctrico diario de la vivienda, obtienen la potencia mínima ideal que debe poseer el arreglo fotovoltaico para poder cargar el banco de baterías en un día completo. Luego, toman en cuenta las pérdidas del sistema por la eficiencia de los componentes, y lo multiplican por un factor que toma en cuenta la disminución de potencia generada en los días nublados, para obtener la potencia total del arreglo fotovoltaico que permite alimentar a la carga durante el día, y a su vez cargar el banco de baterías. El cálculo del banco de baterías se realiza utilizando el consumo eléctrico diario de la vivienda, tomando en cuenta las pérdidas de los convertidores; multiplicando esta energía por el número de días de autonomía; y dividiendo entre el voltaje nominal del banco de baterías. Este resultado luego se divide entre el ciclo de

carga y descarga en el que se desea trabajar la batería.

El procedimiento para la selección del banco de baterías es válido para el sistema que estamos diseñando, pero no es óptimo para la selección del arreglo fotovoltaico debido a que, en el caso estudiado, no es necesario suministrarle energía a la carga directamente del arreglo fotovoltaico y solo se utilizará con la intención de cargar las baterías. Como la batería almacena la energía de 8 horas de consumo eléctrico, el arreglo fotovoltaico debe suministrar esa misma energía al banco de baterías durante sus horas de sol completo.

Dicho todo esto, la fórmula para el cálculo del banco de baterías es la siguiente:

$$\text{---} - \text{---} \tag{4.3.1}$$

Donde E es el consumo eléctrico de la vivienda en un día, NDO es el número de días de operación autónoma,  $V_{dc}$  es la eficiencia estimada de todos los elementos del sistema fotovoltaico (batería, panel solar, inversor, conversión DC-DC) y se le asigna un valor de 0.712, y BC es el ciclo de trabajo de la batería, para el cual se utilizará un ciclo de 80%. Para el arreglo fotovoltaico, se tiene:

$$\text{---} \text{---} \tag{4.3.2}$$

Donde FS se refiere a las horas de sol completo recibidas por el arreglo fotovoltaico, SEA es la energía solar acumulada durante un día promedio en la ubicación de la instalación fotovoltaica, y STC es la energía acumulada durante las condiciones estándar de prueba, la cual tiene un valor de 1KW/m<sup>2</sup> al día. Para el valor de SEA se utilizará el valor de energía solar producida durante el mes con menos energía solar promedio, el cual es junio con 167,69KWh/m<sup>2</sup> al mes, o 5,58KWh/m<sup>2</sup> al día.

Finalmente, es necesario asegurar que el área ocupada por los paneles fotovoltaicos utilizados sea menor a los metros cuadrados de construcción de la vivienda. Una de las consideraciones de mayor importancia al instalar un sistema fotovoltaico es la ubicación de los paneles fotovoltaicos, y a pesar de que no se puedan obtener datos exactos para cada vivienda, se puede hacer un estimado de las necesidades de cada hogar según el tamaño de la construcción.

### **4.3.2. Dimensionamiento del sistema**

#### **4.3.1.2. Dimensionamiento para el perfil de consumo A**

El dimensionamiento del perfil de consumo A se elaboró utilizando como referencia la vivienda cuyo consumo eléctrico diario se acercara lo más posible a la marca de clase obtenida en el primer grupo de la Tabla 3. La vivienda que cumple estas características es la vivienda número 15 del cuadro 1, que posee 175 m<sup>2</sup> de construcción, 4.459,2 W de potencia instantánea máxima, y un consumo eléctrico diario de 47.109,2 Wh/día. En función a estos datos, se determina que se necesita un banco de baterías de 48 V y 574,32 Ah para el funcionamiento autónomo durante 8 horas, y una configuración de paneles fotovoltaicos que suministre 4.940,38 W para cargar el banco de baterías; además, se necesita un inversor cuya potencia nominal sea mayor a 5.351,04 W.

El arreglo fotovoltaico estará formado por 13 paneles fotovoltaicos Canadian Solar HiKu CS3W-410P, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 6, para obtener un total de 5.330 W de potencia, y tiene un precio de £124,90 cada uno. El banco de baterías seleccionado es el *Giant Power 28,8kWh 48V 600AH AGM Battery Bank* de Aussie Batteries & Solar, el cual está formado por 8 celdas de baterías de 12V y 300 Ah, colocando dos arreglos en serie de 4 celdas y luego haciendo la conexión en paralelo; en total, este arreglo cuesta \$4.816,80 dólares australianos, y las características de cada celda se encuentran en la Tabla 7. Finalmente, se utilizará el modelo M6000L-48SP de inversores solares de Sigineer Power, es un inversor de fase partida con una potencia nominal de 6 KW y salida de 110/220 VAC configurable, y trae integrado un controlador de carga de 80 A para la energía proveniente del arreglo

fotovoltaico, y un controlador de carga de 50 A que se utiliza con la energía de la red eléctrica pública de suministro. Las especificaciones de este inversor se encuentran en la Tabla 8.

<b>Giant Power 12V 300AH AGM Deep Cycle Battery</b>	
Voltaje Nominal	12 V
Capacidad Nominal	300,0Ah/15,0A (20h, 1,80V/cell, 25°C)
Corriente de Descarga Máxima	2500A (5s)
Resistencia Interna	
Rango de Temperatura de Operación	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
Carga Bulk	Corriente inicial de carga menor a 75A Voltaje 14.5V @ 25°C Coef. Temperatura -30 mV/°C
Carga Flotante	Sin límite de corriente inicial de carga Voltaje 13.5V @ 25°C Coef. Temperatura -20 mV/°C

**Tabla 7.** Características eléctricas de la batería *Giant Power 12V 300AH AGM Deep Cycle Battery* de Aussie Batteries & Solar.

Fuente: Aussie Batteries & Solar (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020).

<b>Transformer Based Off Grid Solar Inverter M6000L-48SP</b>	
Voltaje de la batería	48 V
Salida del inversor	
Potencia nominal	6 KW
Índice de subida de tensión (5sec)	12 KW
Índice de subida de tensión (20ms)	18 KW
Forma de onda	Senoidal pura/Igual que la entrada (modo bypass)
Voltaje de salida nominal	208V-220V-230V-240Vac (±10% RMS) Ajustable
Frecuencia de salida	50Hz/60Hz (±0,3Hz) Ajustable
Eficiencia pico	>85%
Cargador solar MPPT 48V	
Corriente de carga máxima FV	80 A
Eficiencia	Rastreo: 99,5% Carga: 96%
Potencia máxima de entrada FV	5000 W
Voltaje de operación MPPT	60-145 Vdc

**Tabla 8.** Características eléctricas del inversor M6000L-48SP de Sigineer.

Fuente: Sigineer (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020).

#### **4.3.1.3. Dimensionamiento para el perfil de consumo B**

El dimensionamiento del perfil de consumo B se hizo utilizando como referencia la vivienda cuyo consumo eléctrico diario se aproximara lo más posible a la marca de clase obtenida en el primer grupo de la Tabla 3. La vivienda que cumple estas características es la número 3 del cuadro 1, que posee 200 m<sup>2</sup> de construcción, 12.547 W de potencia instantánea máxima, y un consumo eléctrico diario de 101.065 Wh/día. En función a estos datos, se determina que se necesita un banco de baterías de 48 V y 1.232,16 Ah para el funcionamiento autónomo durante 8 horas, y una configuración de paneles fotovoltaicos que suministre 10.599,22 W para cargar el banco de baterías; además, se necesita un inversor cuya potencia nominal sea mayor a 15.056,4W.

El arreglo fotovoltaico estará formado por 26 paneles fotovoltaicos Canadian Solar HiKu CS3W-410P, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 6, para obtener un total de 10.660 W de potencia, y tiene un precio de £124,90 cada uno. El banco de baterías seleccionado es el *Giant Power 330AH 12V AGM Deep Cycle Battery* de Aussie Batteries & Solar, el cual está formado por 16 celdas de baterías de 12V y 330 Ah, colocando cuatro arreglos en serie de 4 celdas y luego haciendo la conexión en paralelo; en total, este arreglo cuesta \$619,00 dólares australianos por cada celda de 12V, y las características de cada celda se encuentran en la Tabla 7. Finalmente, se utilizará el modelo LV5048 de inversores solares de MPP Solar, es un inversor de fase partida con una potencia nominal de 5 KW y salida de 120/240 VAC, y trae integrado dos controladores de carga de 80 A para la energía proveniente del arreglo fotovoltaico. También permite su operación en paralelo con otros dos inversores del mismo modelo, lo cual permite aumentar la potencia del sistema a 15 KW. Las especificaciones de este inversor se encuentran en la Tabla 9.

<b>Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery</b>	
Voltaje Nominal	12 V
Capacidad Nominal	330,0Ah/16,5A (20h, 1,80V/cell, 25°C)
Corriente de Descarga Máxima	2500A (5s)
Resistencia Interna	
Rango de Temperatura de Operación	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
Carga Bulk	Corriente inicial de carga menor a 75A Voltaje 14.5V @ 25°C Coef. Temperatura -30 mV/°C
Carga Flotante	Sin límite de corriente inicial de carga Voltaje 13.5V @ 25°C Coef. Temperatura -20 mV/°C

**Tabla 9.** Características eléctricas de la batería *Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery* de Aussie Batteries & Solar.

Fuente: Aussie Batteries & Solar (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020).

<b>Split Phase LV SERIES LV5048</b>	
Especificaciones nominales	
Potencia nominal	5 KW
Voltaje DC	48 Vdc
Voltaje AC de entrada	110/120 Vac (Fase-Neutro)
Máximo en paralelo	Hasta 3 unidades
Entrada FV/Carga Solar	
Potencia de entrada máxima	8000 W
Voltaje FV de entrada máximo	145 Vdc
Corriente de carga máxima	160 A (80 A x2)
Modo de salida	
Forma de onda de salida	Senoidal pura
Modo de salida AC	120V L-N/240V L1-L2/208V L1-L2 trifásico
Frecuencia	50/60Hz auto-detectado

**Tabla 10.** Características eléctricas del inversor LV5048 de MPP Solar.

Fuente: MPP Solar (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020).

#### 4.3.1.4. Dimensionamiento para el perfil de consumo C

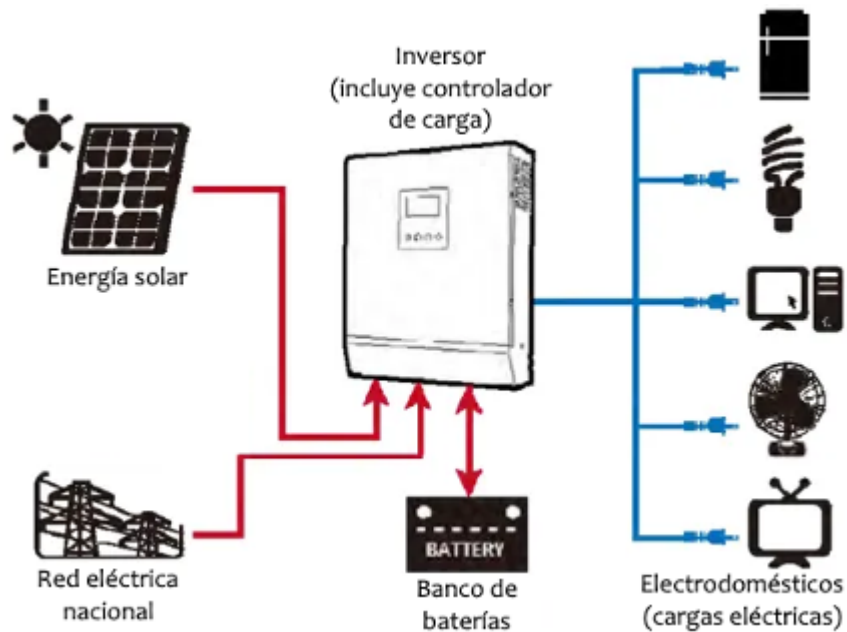
El dimensionamiento del perfil de consumo C se hizo utilizando como referencia la vivienda cuyo consumo eléctrico diario se acercara lo más posible a la marca de clase obtenida en el primer grupo de la Tabla 3. La vivienda que cumple estas características es la número 10 del cuadro 1, que posee 17.005,7 W de potencia

instantánea máxima, y un consumo eléctrico diario de 152.265,7 Wh/día; no se suministró información sobre los m<sup>2</sup> de construcción, así que se calculó un promedio utilizando las demás viviendas que forman parte del perfil C y se utilizará como referencia 221,5 m<sup>2</sup> de construcción. En función a estos datos, se determina que se necesita un banco de baterías de 24 V y 3.712,78 Ah para el funcionamiento autónomo durante 8 horas, y una configuración de paneles fotovoltaicos que suministre 15.968,94 W para cargar el banco de baterías; además, se necesita un inversor cuya potencia nominal sea mayor a 20.406,84 W.

La razón por la que se utiliza un banco de baterías de 24 V en vez de uno de 48 V es por limitaciones impuestas por el inversor seleccionado: el modelo LV2424 de inversores solares de MPP Solar, un inversor de fase partida con una potencia nominal de 2.4 KW y salida de 120/240 VAC, que trae integrado un controlador de carga de 80 A para la energía proveniente del arreglo fotovoltaico, y permite su operación en paralelo con otros ocho inversores del mismo modelo, lo cual permite aumentar la potencia del sistema a 21,6 KW. El voltaje de batería aceptado por este modelo de inversor es de 24 V, así que es necesario dimensionar el resto del sistema alrededor de ello. Las especificaciones de este inversor se encuentran en la Tabla 10. El arreglo fotovoltaico estará formado por 39 paneles fotovoltaicos Canadian Solar HiKu CS3W-410P, cuyas especificaciones se encuentran en la Tabla 6, para obtener un total de 4.100 W de potencia, y tiene un precio de £124,90 cada uno. El banco de baterías seleccionado es el *Giant Power 330AH 12V AGM Deep Cycle Battery* de Aussie Batteries & Solar, el cual está formado por 24 celdas de baterías de 12V y 330 Ah, colocando doce arreglos en serie de 2 celdas y luego haciendo la conexión en paralelo; en total, este arreglo cuesta \$619,00 dólares australianos por cada celda de 12V, y las características de cada celda se encuentran en la Tabla 9.

<b>Split Phase LV SERIES LV2424</b>	
Especificaciones nominales	
Potencia nominal	2,4 KW
Voltaje DC	24 Vdc
Máximo en paralelo	Hasta 9 unidades
Entrada FV/Carga Solar	
Potencia FV de entrada máxima	2000 W
Voltaje FV de entrada máximo	145 Vdc
Corriente de carga máxima	80 A
Modo de salida	
Forma de onda de salida	Senoidal pura
Modo de salida AC	101/110/120 Vac, monofásico
Frecuencia	50/60Hz auto-detectado

**Tabla 11.** Características eléctricas del inversor LV2424 de MPP Solar.  
Fuente: MPP Solar (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020).



**Figura 36.** Interacción entre los elementos del sistema fotovoltaico.  
Fuente: Greenenergy Latin America (2017). Adaptado por Maduro y Rodríguez (2020).

#### **4.4. Fase IV: “Realización de un estudio de factibilidad técnica, económica, social y ambiental para la implementación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica como respaldo energético de viviendas unifamiliares en el municipio San Diego, Estado Carabobo”.**

##### **4.4.1. Estimación de gastos**

###### **4.4.1.1. Gastos de inversión**

Los gastos de inversión o gastos pre operativos, son todos aquellos que corresponden tanto a la compra o adquisición de activos, como a todos los gastos necesarios para poner en marcha un proyecto, desde la elaboración de estudios preliminares hasta los costos por concepto de instalación del sistema o proceso, incluso algunas veces incluye la compra de activos que con el paso del tiempo serán usados como repuestos. (Conexión ESAN, 2016)

En líneas generales, independientemente de los diferentes perfiles de dimensionamientos realizados en esta investigación, los gastos de inversión corresponden a:

Compra e importación de cada elemento del sistema fotovoltaico: Paneles solares, inversores con controlador de carga y baterías.

Compra de accesorios: Cables, conectores, breakers, etc.

Costos de instalación del sistema fotovoltaico.

###### **4.4.1.2 Gastos operativos**

Son todos aquellos gastos que tienen lugar una vez que el proyecto se ha puesto en marcha y son necesarios para que el proyecto siga en funcionamiento, estos suelen aparecer de manera periódica durante toda la vida útil del proyecto. Los gastos operativos relacionados a los sistemas fotovoltaicos propuestos en esta investigación corresponden al mantenimiento del sistema, tanto preventivo como correctivo.

El mantenimiento representa a un proceso muy importante en los sistemas fotovoltaicos ya que la generación de energía depende directamente del estado operativo del sistema, disminuye el riesgo de accidentes y aumenta el rendimiento del

sistema. Existen tres tipos de mantenimiento aplicados a sistemas eléctricos a través de energía solar: el mantenimiento preventivo, el mantenimiento correctivo y, por último, el mantenimiento predictivo. (Pérez, 2019)

A continuación, se muestra una tabla con las recomendaciones de mantenimiento tanto preventivo como correctivo para asegurar la maximización de la vida útil de los elementos del sistema fotovoltaico y un alto rendimiento de generación eléctrica.

Dispositivo	Objetivo	Mantenimiento preventivo			Mantenimiento correctivo
		Actividad	Responsable	Frecuencia	
Panel Fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P	Mantener de manera óptima la parte frontal del panel	Limpieza con agua, sin uso de agentes abrasivos ni instrumentos metálicos	Propietario	Mensual	Limpieza en caso de lluvias y presencia de barro
		Inspección visual de degradaciones en el panel: roturas en el vidrio, desgaste de las células, deformaciones/roturas del marco	Propietario	Trimestral	Inspección visual de roturas y deformaciones en el panel en caso de accidentes o sismos. Cambio del mismo.
		Inspecciones termográficas del panel: descarte de anomalías en el panel a través de la revisión de las variaciones de temperatura en el panel	Personal capacitado	Semestral	Inspecciones termográficas en caso de mal funcionamiento en el panel fotovoltaico
Baterías 300/330 Ah AGM Deep Cycle Battery	Optimizar su funcionamiento	Control de la temperatura del módulo de las baterías	Propietario/ personal capacitado	Anual	Si la temperatura no ronda los 30 °C, adecuar un sistema de ventilación que permita una temperatura estándar
		Limpieza de los bornes con un pañuelo seco y limpio antes de realizar las conexiones y de forma periódica	Propietario/ personal capacitado	Anual	Limpieza en caso de que hayan contactos sulfatados

		Control del estado de las conexiones entre las baterías y el inversor de corriente	Propietario/ personal capacitado	Anual	Fijación de conectores y reemplazo de cableado que ha sido recalentado
Inversores LV5048/ LV2424/ M6000L-48SP	Mantener de manera óptima el estado interno del dispositivo, su funcionamiento y conexiones	Inspección de polvo, suciedad, humedad y filtraciones de agua en el interior	Personal capacitado	Semestral	Limpieza del inversor
		Revisión de todas las conexiones del cableado eléctrico	Propietario/ personal capacitado	Semestral	Ajuste de los conectores
		Revisión del estado de: interruptores de protección, automáticos y potencia	Propietario/ personal capacitado	Anual	Reemplazo si existe daño
		Comprobación de anomalías en el aislamiento y los bornes	Personal capacitado	Semestral	Cambio de elementos deteriorados u oxidados
Cables, conectores breaker	Prevenir el desgaste de cables, conectores y breakers y posibles accidentes eléctricos	Inspección visual de: sulfatación de contactos, oxidaciones en circuitos y soldaduras, adherencia de los cables a los terminales del panel, inversor y batería	Propietario/ Personal capacitado	Semestral	Sustitución de piezas en mal estado y/o limpieza de terminales
		Comprobar la toma a tierra y la resistencia de paso al potencial de tierra	Propietario/ personal capacitado	Semestral	Adecuación de la puesta a tierra

**Tabla 12.** Mantenimiento preventivo y correctivo recomendado para los sistemas fotovoltaicos

Fuente: Pérez (2019). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020)

Cabe destacar que asumió un 20% del precio total de los activos relacionados al coste de importación de los mismos. También se debe tomar en cuenta que varios artículos estaban a la venta a precios de monedas locales como libras esterlinas y dólares australianos, por lo cual se hizo una conversión a dólares estadounidenses, tomando una tasa de cambio de:

1 libra esterlina = 1,29 dólares estadounidense

1 dólar australiano = 0,71 dólares estadounidense

Una vez definidos tanto los gastos de inversión como los gastos operativos, es posible describir o cuantificar los gastos para cada perfil de dimensionamiento

#### 4.4.1.3. Para el perfil A

Artículo/Servicio	Costo unitario (US \$)	Unidades	Sub total (US \$)	Coste de importación (20%)	Total (US \$)
Panel Fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P	162,73	13	2.115,49	423,1	2.538,59
Giant Power 12V 300AH AGM Deep Cycle Battery	426,35	8	3.410,8	682,16	4.092,96
Transformer Based Off Grid Solar Inverter M6000L-48SP	1.499	1	1.499	284	1.704
Cables, conectores, breakers	150	NA	150	0	150
Instalación del Sistema fotovoltaico	200	NA	200	0	200
				<b>Total</b>	<b>8.635.55</b>

**Tabla 13.** Costos de inversión para el dimensionamiento del perfil A.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

#### 4.4.1.4. Para el perfil B

Artículo/Servicio	Costo unitario (US \$)	Unidades	Sub total (US \$)	Coste de importación (20%)	Total (US \$)
Panel Fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P	162,73	26	4.230,98	846,2	5.077,18
Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery	438,32	16	7.013,12	1.402,62	8.415,74
Split Phase LV SERIES LV5048	1.377	3	4.131	826.2	4.957.2

Cables, conectores, breakers	200	NA	200	NA	200
Instalación del Sistema fotovoltaico	300	NA	300	NA	300
				<b>Total</b>	<b>18.950,12</b>

**Tabla 14.** Costos de inversión para el dimensionamiento del perfil B.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

#### 4.4.1.5. Para el perfil C

Artículo/Servicio	Costo unitario (US \$)	Unidades	Sub total (US \$)	Coste de importación (20%)	Total (US \$)
Panel Fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P	162,73	39	6.346,47	1.269,29	7.615,76
Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery	438,32	24	10.519,68	2.103,94	12.623,62
Split Phase LV SERIES LV2424	669,2	9	6.022,8	1.204,56	7.227,36
Cables, conectores, breakers	300	NA	200	NA	200
Instalación del Sistema fotovoltaico	400	NA	300	NA	300
				<b>Total</b>	<b>27.966,74</b>

**Tabla 15.** Costos de inversión para el dimensionamiento del perfil C.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

#### 4.4.2. Análisis de factibilidad económica

Para hacer un análisis de factibilidad económica es necesario primero determinar la vida útil de los sistemas fotovoltaicos, los flujos monetarios anuales, la tasa interna de retorno y el valor residual de los activos.

Vida útil: Dentro de las especificaciones de los paneles fotovoltaicos Canadian Solar HiKu CS3W-410P mencionan que poseen una vida útil de 25 años mientras que en las especificaciones de las baterías Giant Power 12V 300/330AH AGM Deep Cycle Battery mencionan que tienen un ciclo de vida de 12 años; por otro lado, se toma como 20 años la vida útil de los inversores y los otros accesorios del sistema, por lo tanto la vida útil de los sistemas fotovoltaicos quedan limitados por la vida útil de la batería, por lo que se define un periodo de 10 años para el estudio de factibilidad económica del sistema fotovoltaico.

Ingresos: Al contar con un sistema de respaldo energético la familia que habita en la vivienda puede ahorrar costos por no tener pérdidas de oportunidades. Una situación de ejemplo es la siguiente: muchos de los habitantes del municipio San Diego en sus hogares cuentan con WiFi y ese gasto se nos ve reflejado en el pago de la factura del internet, pero en caso de que se queden sin suministro de electricidad, si el usuario no cuenta con un sistema de respaldo energético empezaría a gastar datos móviles que se cargarían a la factura de su teléfono, considerablemente más cara que la factura de internet, cosa que no ocurriría si tuviera electricidad porque usaría el WiFi. Otro ejemplo sería en la situación actual de Venezuela donde la mayoría de habitantes usan cocinas eléctricas: si no cuenta con un sistema de respaldo y tienen un corte en el suministro de electricidad, las personas deben recurrir a una alternativa como cocinar con gas, comprar comida en la calle o esperar a que llegue la energía eléctrica para cocinar. Tanto la primero como la segunda opción generan unos gastos que de contar con suministro eléctrico no ocurrirían. Por último, el otro ejemplo sería el de una persona que trabaja desde su casa por internet, al no tener energía eléctrica dejaría de generar ingresos para él y su familia. A todo ese tipo de incidencia se le conocen como pérdida de oportunidades, son muy variables y dependen de muchas

circunstancias, por ese motivo se le asignó un costo de 50\$ que se ahorra el usuario, porque al contar con un sistema de respaldo energético ese tipo de gastos o pérdida de ingresos no ocurrían y se consideran como el ingreso monetario fundamental de los sistemas de respaldo energéticos. En resumen, es todo ahorro en gastos que tuviera el usuario por no tener energía eléctrica. Es la oportunidad que perdemos, que no se concretó. (Rodríguez, 2020)

Costos operacionales: Para el buen funcionamiento del sistema fotovoltaico propuesto durante el periodo de evaluación del proyecto, anualmente se generan cargos de costos operacionales por concepto de mantenimiento, tanto preventivo como correctivos. Estos costos se producen por los siguientes motivos: Asistencia técnica de personal capacitado, adquisición de repuestos y otros. El propietario del sistema fotovoltaico debe programar que durante la asistencia técnica del personal capacitado se realicen las respectivas tareas de mantenimiento planteadas en la tabla 12, esta asistencia técnica tiene un costo estimado de 50\$ por día de trabajo del personal, con una frecuencia de 2 veces al año tendría un coste anual de 100\$. Por otra parte, se estima un coste anual de 200\$ por la compra de repuestos para el sistema y por último dentro de la categoría de otros están todos aquellos gastos que deba hacer el propietario para llevar a cabo las tareas de mantenimiento y tiene un coste estimado de 50\$. De esta manera, para considerar los costes operaciones dentro del estudio de factibilidad económica del sistema fotovoltaico se estima que estos son de aproximadamente 350\$.

Valor residual: Para determinar el valor residual de los equipos necesarios para la presente propuesta de sistema fotovoltaico, primero se debe determinar la depreciación de dichos equipos, para ello se decidió utilizar el modelo de depreciación de línea recta el cual sigue la ecuación:

$$— \quad (4.4.1)$$

En donde, D es la depreciación anual, Po es el precio de compra del equipo y n es la vida útil en año garantizada por el fabricante.

Una vez hallada la depreciación anual de los equipos, se procede a determinar el valor residual de los mismos, para ello se utilizó el método de valor contable, el cual consiste en restar el valor de la depreciación del activo durante el periodo de tiempo de evaluación económica del proyecto al precio de compra del mismo, en donde el resultado de esa resta es el valor residual que tendrá el activo. Cabe destacar que para el presente proyecto los costos por envío e importación de los equipos no son considerados como parte del precio de los equipo sino como otros costos de inversión inicial.

Equipo	Costo Unitario (US \$)	Unidades	Precio total (US \$)	Vida útil (Años)	Depreciación anual (US \$)	Años de evaluación del proyecto	Valor residual (US \$)
Panel fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P	162,73	13	4.230,98	25	169,23	10	1.269,29
Giant Power 12V 300 AH AGM Deep Cycle Battery	426,35	8	3.410,8	12	284,23	10	568,47
Transformer Based Off Grid Solar Inverter M6000L-48SP	1.499	1	1.499	20	74,95	10	749,5
<b>Total</b>							<b>2.587,26</b>

**Tabla 16.** Estimación del valor residual de los equipos del perfil A, a través del método de valor contable

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

Equipo	Costo Unitario (US \$)	Unidades	Precio total (US \$)	Vida útil (Años)	Depreciación anual (US \$)	Años de evaluación del proyecto	Valor residual (US \$)
Panel fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P	162,73	26	4.230,98	25	169,24	10	2.538,59
Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery	438,32	16	7.013,12	12	584,43	10	1168,85
Split Phase LV SERIES LV5048	1.377	3	4.131	20	206,55	10	2065,5
<b>Total</b>							<b>5.772,94</b>

**Tabla 17.** Estimación del valor residual de los equipos del perfil B, a través del método de valor contable

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

Equipo	Costo Unitario (US \$)	Unidades	Precio total (US \$)	Vida útil (Años)	Depreciación anual (US \$)	Años de evaluación del proyecto	Valor residual (US \$)
Panel fotovoltaico Canadian Solar HiKu CS3W-410P	162,73	39	6.346,47	25	253,85	10	3.807,88
Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery	438,32	24	10.519,68	12	876,64	10	1.753,28
Split Phase LV SERIES LV2424	669,2	9	6.022,8	20	301,14	10	3011,4
<b>Total</b>							<b>8.572,56</b>

**Tabla 18.** Estimación del valor residual de los equipos del perfil C, a través del método de valor contable

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

Tasa interna de retorno: Una vez definido lo anterior, se asigna una tasa interna de retorno del 10%.

Inflación: Por último, pero no menos importante, se debe tomar en cuenta la gran inestabilidad económica que atraviesa Venezuela y la hiperinflación que existe en el país, incluso si se evalúa el proyecto de inversión en divisas, por este motivo y para realizar un estudio de factibilidad económica más confiable se asume un índice de inflación del 5% para los precios en divisas.

De esta manera se debe hallar la tasa combinada que, Alvarado et al. (2001) definen como:

(4.4.2)

Donde,  $I_c$  es la tasa combinada,  $i$  es la tasa interna de retorno y  $f$  es la inflación. Esta tasa combinada considera los efectos de la inflación dentro del proyecto factible por lo cual este será la nueva tasa interna de retorno a la cual será evaluado el proyecto de inversión determinando los precios futuros del mismo. Para la presente investigación la tasa combinada es de:

Los flujos monetarios anuales son representados a través de la siguiente tabla, la cual contiene 6 columnas, en donde, Año se refiere al periodo de tiempo en el que se evalúa el flujo monetario, CF se refiere al capital fijo o capital necesario para la inversión inicial, IB se refiere al ingreso bruto que se estima percibir por la aplicación del proyecto, COP se refiere a los costos operacionales del sistema, VR se refiere al valor residual de los activos una vez culminado el tiempo de vida útil del proyecto y Total es la suma de todos los flujos monetarios para un determinado periodo de tiempo.

Año	CF (US \$)	IB (US \$)	COP (US \$)	VR (US \$)	Total (US \$)
0	- 8.635,55	0	0	0	- 8.635,55
1	0	50	-350	0	-300
2	0	50	-350	0	-300
3	0	50	-350	0	-300
4	0	50	-350	0	-300
5	0	50	-350	0	-300
6	0	50	-350	0	-300
7	0	50	-350	0	-300
8	0	50	-350	0	-300
9	0	50	-350	0	-300
10	0	50	-350	2.587,26	2.287,26

**Tabla 19.** Flujos monetarios anuales para el perfil de dimensionamiento A  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

El modelo de rentabilidad escogido para determina la rentabilidad de los sistemas fotovoltaicos es el de valor actual (VA), por lo que:

$$VA(15,5\%) = -8.635,55 - 300(P/S_{15,5\%,9}) + 2.287,26(P/S_{15,5\%,10})$$

$$VA(15,5\%) = -8.635,55 - 1.406,1 + 542,08$$

$$VA(15,5\%) = \mathbf{-8.937,39 \$}$$

Año	CF (US \$)	IB (US \$)	COP (US \$)	VR (US \$)	Total (US \$)
0	- 18.950,12	0	0	0	-18.950,12
1	0	50	-350	0	-300
2	0	50	-350	0	-300
3	0	50	-350	0	-300
4	0	50	-350	0	-300
5	0	50	-350	0	-300
6	0	50	-350	0	-300
7	0	50	-350	0	-300
8	0	50	-350	0	-300
9	0	50	-350	0	-300
10	0	50	-350	5.772,94	5.472,94

**Tabla 20.** Flujos monetarios anuales para el perfil de dimensionamiento B  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

$$VA(15,5\%) = -18.950,12 - 300(P/S_{15,5\%,9}) + 5.472,94(P/S_{15,5\%,10})$$

$$VA(15,5\%) = -18.950,12 - 1406,1 + 1.297,09$$

$$VA(15,5\%) = \mathbf{-19.059,13 \$}$$

<b>Año</b>	<b>CF (\$)</b>	<b>IB (\$)</b>	<b>COP (US \$)</b>	<b>VR (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
0	- 27.966,74	0	0	0	-27.966,74
1	0	50	-350	0	-300
2	0	50	-350	0	-300
3	0	50	-350	0	-300
4	0	50	-350	0	-300
5	0	50	-350	0	-300
6	0	50	-350	0	-300
7	0	50	-350	0	-300
8	0	50	-350	0	-300
9	0	50	-350	0	-300
10	0	50	-350	8.572,56	8.272,56

**Tabla 21.** Flujos monetarios anuales para el perfil de dimensionamiento C.

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

$$VA(15,5\%) = -27.966,74 - 300(P/S_{15,5\%,9}) + 8.272,56(P/S_{15,5\%,10})$$

$$VA(15,5\%) = -27.966,74 - 1406,1 + 1960,6$$

$$VA(15,5\%) = -27.442,24 \$$$

Para detallar o comprender la factibilidad económica de un sistema de fotovoltaico como sistema de respaldo energético es necesario comparar su rentabilidad económica con otras alternativas, en este caso se comparará con generadores por combustión de diésel tomando en cuenta que estos deben tener la capacidad para suministrar al menos la potencia eléctrica instantánea mínima de cada uno de los perfiles, por lo que se buscó un generador para cada perfil, para el perfil A la alternativa de generador diésel es el ATOBDG7000SE de la marca ATO cuya potencia máxima es de 6500 W @ 60 Hz y su precio es de 3.834,15\$, para el perfil B la alternativa de generador diésel es el RD01525ADAE de la marca Generac de 15000 W @ 60 Hz que tiene un precio de 11.299\$ y, por último, cómo alternativa del perfil C se escogió el generador modelo RD02025ADAL, de la marca Generac, el cual suministra una potencia nominal de 20000W @ 60 Hz, cuyo precio es de 12.999 \$.

Tanto el modelo RD01525ADAE, como el RD02224ANAX su precio no incluye una batería para el arranque, necesaria para su funcionamiento, por tanto se

debe considerar con la compra de ellos, la compra de una batería modelo 30HC 1100 marca Fulgor de 12V y una corriente de 980A para el arranque, por un precio de 105\$. Las especificaciones técnicas de los generadores diésel seleccionados aparecen en las tablas 17,18 y 19 respectivamente

<b>Generador ATO modelo ATOBDG7000SE</b>	
Especificaciones nominales	
Voltage de salida	120/240 V
Frecuencia	50/60 Hz
Vatios nominales	6.5kW
Tipo de combustible	Diesel
Amperaje nominal	27 A
Tamaño del tanque de combustible	16 L
Voltaje de batería	12 V
Consumo de combustible	2,46 L/horas
Autonomía	6.5 Horas
Rango de decibles	70dB
Velocidad del motor	3000 RPM

**Tabla 22.** Especificaciones técnicas del generador ATOBDG7000SE  
Fuente: ATO (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020)

<b>Generador Generac modelo RD01525ADAE</b>	
Especificaciones nominales	
Voltage de salida	120/240 V
Frecuencia	60 Hz
Vatios nominales	15kW
Tipo de combustible	Diesel
Amperaje nominal	62 A
Tamaño del tanque de combustible	126,8 L
Voltaje de batería	12 V (700 CCA)
Consumo de combustible	3,22 L/horas @ 50% de carga
Autonomía	39 Horas @ 50% de carga
Rango de decibles	70dBA @ 7m
Velocidad del motor	1800 RPM

**Tabla 23.** Especificaciones técnicas del generador RD01525ADAE  
Fuente: Generac (2020). Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020)

<b>Generador Generac modelo RD02025ADAL</b>	
Especificaciones nominales	
Voltage	120/240 V
Frecuencia	60 Hz
Vatios nominales	20kW
Tipo de combustible	Diésel
Amperaje nominal	83 A
Tamaño del tanque de combustible	359,61
Voltaje de batería	12 V (700 CCA)
Consumo de combustible	3,9 L/horas @ 50% carga
Autonomía	92.2 Horas
Rango de decibles	70 dbA @ 7m
Velocidad del motor	1800 RPM

**Tabla 24.** Especificaciones técnicas del generador RD02025ADAL

Fuente: Generac (2020) Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020)

Al igual que los sistemas fotovoltaicos, el ingreso bruto de los generadores es por el ahorro de los costes por pérdida de oportunidad explicados en la página 90 del presente trabajo.

En otro orden de ideas, todo sistema mecánico necesita de mantenimiento para garantizar un alto rendimiento y buen funcionamiento, es por este motivo que a continuación se proponen una serie de tareas de mantenimiento para los generadores por combustión fósil

Servicio	Frecuencia		
	Anualmente o 125 Horas de uso	Cada 2 años o 250 Horas de uso	Cada 1000 horas de uso
Revisar nivel de combustible y llenar	X	X	X
Limpiar el filtro de combustible	X	X	X
Inspeccionar las líneas de combustible y mangueras	X	X	X
Revisar el nivel de refrigerante	X	X	X
Inspeccionar las mangueras de refrigerante	X	X	X
Inspeccionar si el radiador tiene alguna obstrucción	X	X	X

Revisar el nivel del aceite lubricante	X	X	X
Revisar la condición de la batería	X	X	X
Ajustar/revisar la tensión de la correa	X	X	X
Reemplazar el filtro de aire	X	X	X
Limpiar el recipiente del respirador y limpiar el filtro	X	X	X
Reemplazar el aceite lubricante y el filtro de aceite		X	X
Reemplazar el filtro de combustible		X	X
Drenar/rellenar el refrigerante		X	X
Inspeccionar el tanque de combustible			X
Revisar/ajustar la válvula de inyección de combustible			X
Inspeccionar/ajustar la bomba de tiempo de inyección de combustible			X
Apretar los tornillos críticos			X

**Tabla 25.** Plan de mantenimiento para los generadores Diesel.

Fuente: Generac (2020) Adaptado por: Maduro y Rodríguez (2020)

Los gastos operacionales contenidos en la propuesta de los generadores por combustión corresponden a los gastos de mantenimiento del sistema, estos gastos se producen por servicio técnico y se estima un costo de 250 \$ anuales, lo que incluye: pago del personal técnico, compra de repuestos, aceite lubricante, refrigerante y filtros.

Cabe destacar que el combustible necesario para la operación de estos generadores que es diésel, es gratis en Venezuela para el momento actual en que se desarrolla esta investigación, por tanto, los costos operativos de los generadores diésel es 0 y no se toman en cuenta dentro de los costos operativos.

Por otro lado, a diferencia de los sistemas fotovoltaicos, la vida útil de los generadores Diesel se mide por horas de uso, se estima que tanto los generadores de la marca Generac como el de la marca ATO tienen una vida útil de 5000 Horas de

uso, asumiendo que los habitantes del municipio San Diego duren al menos 8 horas a la semana sin servicio de energía eléctrica, al cabo de un año resultaría en 416 horas de uso de los generadores, de esta manera se puede determinar la depreciación de los mismo a través del método de servicios prestados, resultando:

<b>Equipo</b>	<b>Precio (US \$)</b>	<b>Vida útil (Horas)</b>	<b>Uso estimado por año (Horas)</b>	<b>Depreciación anual (US \$)</b>	<b>Años de evaluación del proyecto</b>	<b>Valor residual (US \$)</b>
Generador ATO modelo ATOBDG7000SE	3.834,15	5000	416	319	10	625
Generador Generac modelo RD01525ADAE	11.299	5000	416	940,07	10	1.898,3
Generador Generac modelo RD02025ADAL	12.999	5000	416	1.081,51	10	2.183,83

**Tabla 26.** Estimación del valor residual de los generadores Diesel a través del método de valor contable

Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

Ahora bien, adoptando nuevamente el valor actual como modelo de rentabilidad económica para los generadores diésel, considerando nuevamente una tasa interna de retorno del 10 %, una inflación del 5% resultando en una tasa combinada de 15,5%, incluyendo 20% al costo de los generadores por concepto de gastos de importación y considerando un periodo de 10 años de evaluación económica del proyecto, resulta los siguientes flujos monetarios anuales.

Año	CF (US \$)	IB (US \$)	COP (US \$)	VR (US \$)	Total (US \$)
0	- 4.601	0	0	0	-4.601
1	0	50	-250	0	-200
2	0	50	-250	0	-200
3	0	50	-250	0	-200
4	0	50	-250	0	-200
5	0	50	-250	0	-200
6	0	50	-250	0	-200
7	0	50	-250	0	-200
8	0	50	-250	0	-200
9	0	50	-250	0	-200
10	0	50	-250	625	425

**Tabla 27.** Flujos monetarios anuales para el generador como alternativa del perfil A  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

$$VA(15,5\%) = -4.601 - 200(P/S_{15,5\%,9}) + 425(P/S_{15,5\%,10})$$

$$VA(15,5\%) = -4.601 - 937,4 + 100,73$$

$$VA(15,5\%) = -5.437,68 \$$$

Año	CF (US \$)	IB (US \$)	COP (US \$)	VR (US \$)	Total (US \$)
0	-13.663,8	0	0	0	-13.663,8
1	0	50	-250	0	-200
2	0	50	-250	0	-200
3	0	50	-250	0	-200
4	0	50	-250	0	-200
5	0	50	-250	0	-200
6	0	50	-250	0	-200
7	0	50	-250	0	-200
8	0	50	-250	0	-200
9	0	50	-250	0	-200
10	0	50	-250	1.898,3	1.698,3

**Tabla 28.** Flujos monetarios anuales para el generador como alternativa del perfil B  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

$$VA(15,5\%) = -13.663,8 - 200(P/S_{15,5\%,10}) + 1.698,3(P/S_{15,5\%,10})$$

$$VA(15,5\%) = -13.663,8 - 937,4 + 402,5$$

$$VA(15,5\%) = -14.198,7 \$$$

<b>Año</b>	<b>CF (US \$)</b>	<b>IB (US \$)</b>	<b>COP (US \$)</b>	<b>VR (US \$)</b>	<b>Total (US \$)</b>
0	-15.703,8	0	0	0	-15.703,8
1	0	50	-250	0	-200
2	0	50	-250	0	-200
3	0	50	-250	0	-200
4	0	50	-250	0	-200
5	0	50	-250	0	-200
6	0	50	-250	0	-200
7	0	50	-250	0	-200
8	0	50	-250	0	-200
9	0	50	-250	0	-200
10	0	50	-250	2.183,83	1.983,83

**Tabla 29.** Flujos monetarios anuales para el generador como alternativa del perfil C  
Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

$$VA(15,5\%) = -15.703,8 - 200(P/S_{15,5\%,10}) + 1.983,83(P/S_{15,5\%,10})$$

$$VA(15,5\%) = -15.703,8 - 937,4 + 470,17$$

$$VA(15,5\%) = -16.171,03 \$$$

Aplicando el criterio de la diferencia de valor actual para la toma de decisiones entre alternativas de un proyecto, cuyo resultado se demuestra que es igual al criterio del valor actual de la inversión extra, el cual Alvarado et al. (2001) postulan que:

$$\text{Si } VA(i\%)_{x-y}$$

Si  $VA(i\%)_{x-y} < 0$  ; Se debe escoger la alternativa Y

#### **Para el perfil A**

$$VA(15,5\%)_{PV} = -8.937,39 \$$$

$$VA(15,5\%)_{GD} = -5.437,68 \$$$

$$VA(15,5\%)_{PV-GD} = -8.937,39 - (-5.437,68) = -3.499,71 \$$$

Por lo tanto, se selecciona como mejor alternativa económica para el perfil de dimensionamiento A, el generador ATOBDG7000SE

### **Para el perfil B**

$$VA(15,5\%)_{PV} = -19.059,13 \$$$

$$VA(15,5\%)_{GD} = -14.198,7 \$$$

$$VA(15,5\%)_{PV - GD} = -19.059,13 - (-14.198,7) = \mathbf{-4.860,43 \$}$$

Por lo tanto, se selecciona como mejor alternativa económica para el perfil de dimensionamiento B, el generador RD01525ADAE

### **Para el perfil C**

$$VA(15,5\%)_{PV} = -27.442,24$$

$$VA(15,5\%)_{GD} = -16.171,03$$

$$VA(15,5\%)_{PV - GD} = -27.442,24 - (-16.171,03) = \mathbf{-11.271,21 \$}$$

Por lo tanto, se selecciona como mejor alternativa económica para el perfil de dimensionamiento C, el generador RD02025ADAL

### **4.4.3. Ventajas y desventajas ambientales en el municipio San Diego del sistema FV propuesto**

La implementación de un sistema fotovoltaico presenta ventajas ambientales claras, las cuales incluyen, según Tsoutsos et al. (2005), la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero y gases tóxicos, la reclamación de suelo degradado, la reducción de las líneas de transmisión requeridas de la red eléctrica nacional, y una mejora en la calidad de fuentes de agua que podrían ser contaminadas en otros procesos de generación de energía. De todas estas, se puede decir que en el municipio San Diego las más relevantes serían la reducción de la emisión de GEIs y gases tóxicos, pero no se pueden despreciar los otros factores ya que presentan una ventaja ambiental a nivel nacional.

Sin embargo, los sistemas fotovoltaicos poseen ciertas desventajas ambientales que se deben considerar a largo plazo. Según Gunerhan et al. (2009), varios de estos problemas incluyen: una alteración del equilibrio térmico en los ecosistemas, el riesgo de emisión de sustancias tóxicas del panel fotovoltaica al ambiente en caso de un incendio, el uso de sustancias tóxicas en el proceso de fabricación del panel, contaminación del aire durante el proceso de manufactura y

transporte del panel, y la ausencia de reciclaje de los materiales internos del panel al final de su vida útil. Los más significantes para el municipio San Diego sería la emisión de sustancias tóxicas en caso de incendio, y el reciclaje de los materiales internos del panel; a pesar de todo, se debe tomar en cuenta que los materiales internos del panel son valiosos por su rareza, y en otros países se están desarrollando tecnologías cada vez más avanzadas para el reciclaje de los mismos.

#### **4.4.4. Ventajas y desventajas del sistema FV propuesto frente a un generador por combustión fósil estándar**

Los sistemas fotovoltaicos poseen dos grandes ventajas frente a sistemas con generador por combustión fósil: la ausencia de emisiones de GEIs durante el funcionamiento del mismo, y la alta capacidad de generación de energía sin necesidad de otros elementos, mediante el uso de energía solar, a diferencia del generador de combustión fósil que necesita combustible para generar energía.

En el ámbito del municipio San Diego, el sistema fotovoltaico presenta dos desventajas significativas comparadas con el generador de combustión fósil. Una se refiere a la mayor inversión monetaria inicial que necesita el sistema fotovoltaico en comparación con el generador por combustión fósil, y la otra se debe a la falta de accesibilidad de servicios de instalación de sistemas fotovoltaicos en comparación a la cantidad de generadores por combustión fósil disponibles en el mercado.

#### **4.4.5. Impacto social**

La implementación de este sistema aumentará la calidad de vida de los habitantes del municipio San Diego de varias maneras. La disminución de emisión de GEIs disminuye la contribución del municipio hacia el cambio climático, el cual está relacionado con aumentos de la temperatura a nivel global y aumento de la duración de olas de calor en muchos países alrededor del mundo.

Además, los sistemas fotovoltaicos poseen varias ventajas socioeconómicas descritas por Tsoutsos et al. (2005), como el incremento de independencia energética regional, creación de nuevas oportunidades de empleo, diversificación y seguridad de suministro de energía y la aceleración de la electrificación rural en países en

desarrollo. A pesar de que muchos de estos están orientados a sistemas fotovoltaicos a gran escala, la instalación a nivel residencial permite cierto nivel de independencia energética de la red eléctrica nacional y asegura su suministro, un hecho de gran importancia en países donde el suministro energético del sistema eléctrico nacional presenta fallas frecuentes.

#### 4.4.6. Análisis FODA del sistema FV propuesto

<p><b>FORTALEZAS:</b></p>	<p>Genera energía sin emitir GEIs          Utiliza la radiación solar como fuente de energía renovable          Adaptable a las necesidades del consumidor</p>	<p><b>OPORTUNIDADES</b></p>	<p>Mercado en proceso de crecimiento alrededor del mundo          El desarrollo de tecnologías nuevas generará una disminución de precio de los elementos del sistema</p>
<p><b>DEBILIDADES:</b></p>	<p>Inversión inicial alta          Menos accesible en el país comparado con otros sistemas de respaldo energético</p>	<p><b>AMENAZAS:</b></p>	<p>Atraso tecnológico en el país          Dificultades para la importación de tecnologías de otros países</p>

**Tabla 30.** Análisis FODA del sistema fotovoltaico propuesto.  
 Fuente: Maduro y Rodríguez (2020)

## CONCLUSIÓN

Este trabajo de investigación fue realizado para diseñar una alternativa de sistema de respaldo eléctrico, diferente a los generadores de combustión fósil, que tenga un impacto positivo sobre el cambio climático y además esté adaptado a las necesidades de las viviendas unifamiliares del municipio San Diego, estado Carabobo. Durante el desarrollo de las cuatro fases de la investigación, se llegaron a las siguientes conclusiones:

Mediante el uso de una encuesta, se obtuvo un estimado del consumo eléctrico diario de las viviendas unifamiliares del municipio San Diego a partir de una muestra de 20 participantes, obteniendo como resultado 22KWh/día para la vivienda de menor consumo y 202KWh/día para la vivienda de mayor consumo. La mayoría de las viviendas de la muestra poseen un consumo eléctrico diario entre 16KWh/día y 78KWh/día.

Se creó una simulación mediante el uso del programa Simulink, utilizando el modelo matemático de un panel fotovoltaico y los datos de características ambientales del municipio San Diego, para determinar el comportamiento del panel fotovoltaico durante las distintas horas del día luego de ser instalado. Se pudo comprobar experimentalmente la importancia de la irradiación solar recibida y la temperatura del panel fotovoltaico en el momento de generación de potencia del sistema fotovoltaico.

Para cada perfil de consumo, se hizo la selección de equipos necesarios para el sistema fotovoltaicos, adaptados a las necesidades de cada perfil. Para ello, se establecieron criterios de selección para cada uno de los equipos y se escogieron los distintos inversores, bancos de baterías y paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado. Se presentaron dificultades en la selección de equipos para el perfil de consumo C por el nivel de potencia que requiere.

Se hizo un estudio de factibilidad para el sistema fotovoltaico, tomando en cuenta la estimación de gastos de los equipos seleccionados anteriormente y haciendo comparación con un sistema de respaldo energético equivalente

utilizando combustión fósil. A pesar de que el sistema fotovoltaico posee muchas ventajas ambientales y sociales sobre su competencia, el generador de combustión fósil posee más rentabilidad económica debido principalmente al bajo precio del combustible que utiliza.

## RECOMENDACIONES

Existen muchas formas de diseñar un sistema fotovoltaico, dependiendo de las necesidades del individuo. En este estudio, el diseño se elaboró para una vivienda en la que se desea el funcionamiento normal de todos los dispositivos del hogar durante un corte eléctrico. Se puede elaborar un diseño en el cual se asume el funcionamiento únicamente de los electrodomésticos esenciales de la vivienda; esto reduciría el consumo eléctrico diario de la vivienda y los costos de inversión del sistema.

El diseño fue realizado utilizando información muy general de las viviendas unifamiliares del municipio San Diego, estado Carabobo, omitiendo información relevante a las necesidades de cada hogar específico. Si alguna familia desea la implementación del sistema fotovoltaico en su vivienda, se recomienda un estudio más profundo de las necesidades energéticas de la vivienda y de la estructura para elaborar un diseño apto para la vivienda en particular.

La efectividad de un sistema de generación fotovoltaica depende altamente de que reciba energía solar en el transcurso del día, la cual puede ser afectada por nubes o fenómenos como la lluvia. En estudios posteriores se debe tomar en cuenta el efecto que tiene esto sobre el diseño, especialmente si se busca obtener más días de independencia con el sistema.

El sistema diseñado utiliza una posición fija de los paneles fotovoltaicos, aprovechando que Venezuela es un país ecuatorial y los paneles recibirán una cantidad significativa de energía solar durante todo el año. Sin embargo, se puede evaluar la implementación de un sistema de seguimiento solar para determinar si el aumento de energía recibida puede justificar el aumento de inversión requerida.

La razón por la que los generadores de combustión fósil son más rentables económicamente que los sistemas fotovoltaicos se debe al bajo precio en el país, en el presente momento, del combustible que utilizan, el diésel. Si existe un alza del precio del mismo, es recomendable realizar un nuevo análisis de factibilidad económica para determinar si la inversión en un sistema fotovoltaico sería más rentable a largo plazo.

## REFERENCIAS

- Analítica. (18 de diciembre de 2018). **Falta de mantenimiento y desinversión incidieron en aumento de fallas eléctricas en Venezuela.** Obtenido de <https://www.analitica.com/actualidad/actualidad-nacional/falta-de-mantenimiento-y-desinversion-incidieron-en-aumento-de-fallas-electricas-en-venezuela/>
- Alonso, M. (2004). **Sistemas Fotovoltaicos.** Obtenido de [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf)
- Amin, S., Hanania, J., Stenhouse, K., Yyelland, B., & Donev, J. (2018). **Solar panel orientation.** Obtenido de [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar\\_panel\\_orientation](https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_panel_orientation)
- Área Tecnología. (s.f.). **Regulador de Carga Solar.** Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>
- Arias, A. M. (27 de marzo de 2017). **Reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero (GEIs) en el sector energético mediante tecnologías no convencionales.** Obtenido de Repositorio Institucional Abierto: <http://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/2708><sup>a</sup>
- Arias, F. (2006). **El proyecto de investigación, 5ta edición.** Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arias, F. (2012). **El proyecto de investigación, 6ta edición.** Caracas, Venezuela: Episteme.
- ATO. (s.f.). **6kW Silent Diesel Generator, 1 Phase/3 Phase.** Obtenido de <https://www.ato.com/6kw-silent-diesel-generator>
- Aussie Batteries & Solar. (2020). **Giant Power 28.8kWh 48V 600AH AGM Battery Bank (12V cells).** Obtenido de <https://www.aussiebatteries.com.au/off-grid-solar/battery-banks/28.8kwh-48v-600ah-giant-power-agm-battery-bank>
- Aussie Batteries & Solar. (2020). **Giant Power 330AH 12V AGM Deep Cycle Battery.** Obtenido de <https://www.aussiebatteries.com.au/batteries/deep-cycle-agm/330ah-12v-agm-deep-cycle-battery>
- Barberá, D. (s.f.). **Introducción a la Energía Fotovoltaica.** Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70271/fichero/02+INTRODUCCI%C3%93N+A+LA+ENERG%C3%8DA+FOTOVOLTAICA%252FIntroducci%C3%B3n+a+la+Energ%C3%ADa+Fotovoltaica.pdf>

- Barbosa, J. (mayo de 2013). **Estudio comparativo entre variables fotovoltaicas de dos sistemas de paneles solares (monocristalino y policristalino) en Bogotá.** Obtenido de <https://repository.usergioarboleda.edu.co/handle/11232/831>
- Bavaresco, A. (2006). **Proceso Metodológico en la Investigación: Cómo hacer un Diseño de Investigación.** Maracaibo, Venezuela: EDILUZ.
- Behar, R. (18 de febrero de 2019). **Histograma: mucho más que una representación gráfica.** Obtenido de <http://funes.uniandes.edu.co/12939/1/Behar2018Histograma.pdf>
- Calculationsolar Blog. (abril de 2013). **CALCULO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA DE LA RED (OFF-GRID) PART 3 (CAMPO FOTOVOLTAICO: RADIACIÓN SOLAR. CALCULO HORAS SOL PICO).** Obtenido de <http://calculationsolar.com/blog/?cat=2>
- calculosolar. (21 de noviembre de 2018). **Práctica 5.4 Inversores de Salida.** Obtenido de Curso de Instalaciones Fotovoltaicas: [https://calculosolar.com/curso/5.4\\_teoría.html](https://calculosolar.com/curso/5.4_teoría.html)
- Carpio, N. (2018). **¿Qué es y qué hace un regulador de carga solar?** Obtenido de <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>
- Comisión Europea. (15 de octubre de 2019). **Monthly Irradiation Data.** Obtenido de Photovoltaic Geographical Information System: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR)
- Comisión Europea. (15 de noviembre de 2019). **Acuerdo de París.** Obtenido de [https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris\\_es#tab-0-0](https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es#tab-0-0)
- Conexión ESAN. (28 de junio de 2016). **Costos de inversión y de operación en la formulación de un proyecto.** Obtenido de <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/06/costos-de-inversion-y-de-operacion-en-la-formulacion-de-un-proyecto/>
- dbaterías. (s.f.). **Batería Exide EP900 12V 100Ah Dual AGM.** Obtenido de <https://dbaterias.com/es/exide-ep900-1147.html>
- Deger Canada. (noviembre de 2019). **Higher Yield - How?** Obtenido de <https://degercanada.com/higher-yield-how/>

- Electric Generators Direct. (s.f.). **Generac Protector® 20kW Automatic Extended Run Standby Diesel Generator (120/240V Single-Phase)**. Obtenido de <https://www.electricgeneratorsdirect.com/Generac-Protector-RD02025ADAL-Standby-Generator/p93629.html>
- Electric Generators Direct. (s.f.). **Generac Protector® QS Series 22kW Automatic Standby Generator (Premium-Grade)(120/240V Single-Phase)**. Obtenido de <https://www.electricgeneratorsdirect.com/Generac-Protector-RG02224ANAX-Standby-Generator/p15945.html>
- Esacademic. (2015). **Proceso Czochralski**. Obtenido de <https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/801195>
- Franco, M. (2017). **Diseño e implementación de un sistema alterno de suministro eléctrico mediante energía solar fotovoltaica en iluminación y térmica en calentamiento de agua en una casa rural en el municipio de Icononzo Tolima**. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12209/9565>
- geodatos. (2020). **Coordenadas geográficas de San Diego**. Obtenido de <https://www.geodatos.net/coordenadas/venezuela/san-diego-estado-carabobo>
- Giraldo, J. (12 de marzo de 2019). **Solo 38,2% de la capacidad de generación eléctrica en Venezuela está funcionando**. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/globoeconomia/solo-382-de-la-capacidad-de-generacion-electrica-en-venezuela-esta-funcionando-2838297>
- Global Solar Atlas 2.0. (2019). **Irradiación Global Horizontal**. Obtenido de <https://globalsolaratlas.info/>
- González, A. (11 de abril de 2019). **La guerra eléctrica de Maduro, mentiras y verdades**. Obtenido de Fundación Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7264315>
- Google. (2020). **Google Maps**. Obtenido de <https://www.google.co.ve/maps>
- Gow, J., & Manning, C. (marzo de 1999). **Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies**. Obtenido de [https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-epa\\_19990116](https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/ip-epa_19990116)
- Greenenergy Latin America. (04 de abril de 2017). **Componentes de un sistema fotovoltaico**. Obtenido de <https://www.greenenergy-latinamerica.com/componentes-sistema-fotovoltaico/>
- Gunerhan, H., Hepbasli, A., & Giresunlu, U. (diciembre de 2008). **Environmental**

- Impacts from the Solar Energy Systems.** Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/228430831\\_Environmental\\_Impacts\\_from\\_the\\_Solar\\_Energy\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/228430831_Environmental_Impacts_from_the_Solar_Energy_Systems)
- HelioEsfera. (10 de octubre de 2019). **Coordenadas y Carta Solar.** Obtenido de <https://www.helioesfera.com/coordenadas-y-carta-solar/>
- Hernández, R., Fernández-Collado, C., & Baptista, P. (2014). **Metodología de la Investigación, 4ta edición.** Distrito Federal, México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hurtado, I. y Toro, J. (2000). **Paradigmas y Métodos de investigación en tiempos de cambio.** Venezuela: Episteme Consultores Asociados C.A
- iluminet. (25 de octubre de 2016). **¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas?** Obtenido de <https://www.iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>
- Ingelibre. (09 de noviembre de 2014). **Influencia de la irradiación y temperatura sobre una placa fotovoltaica.** Obtenido de <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>
- La Voz de América. (13 de junio de 2019). **Apagones en Venezuela impulsan las ventas de generadores.** Obtenido de <https://www.voanoticias.com/a/apagones-en-venezuela-impulsan-las-ventas-de-generadores/4957315.html>
- López, J., Seleme, S., Donoso-García, P., Ferreira, L., Cabaleiro, P., & Severo, M. (24 de abril de 2013). **Metodología para el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo de suministro de energía.** Obtenido de Ingeniare: [https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com\\_ingeniare&view=d&doc=74/art08.pdf&aid=264&vid=74&lang=en](https://www.ingeniare.cl/index.php?option=com_ingeniare&view=d&doc=74/art08.pdf&aid=264&vid=74&lang=en)
- Luengo, T. (05 de abril de 2020). **Denuncian supuesto racionamiento eléctrico en el Zulia.** Obtenido de El Nacional: <https://www.eluniversal.com/venezuela/66698/denuncian-supuesto-racionamiento-electrico-en-el-zulia>
- Marjoya. (25 de enero de 2016). **Relojes con sistema de energía solar.** Obtenido de <http://www.marjoya.com/blog/2016/01/25/relojes-sistema-energia-solar/>
- Martínez, S. (2016). **Diseño de una cubierta fotovoltaica integrada: aplicación a vivienda aislada en el estado Falcón, Venezuela.** Obtenido de

<https://bit.ly/36fteCK>

MPP Solar. (2020). **Split Phase LV Series**. Obtenido de <https://www.mppsolar.com/v3/split-phase-lv24245048/>

Muñoz, Y., Güiza, R., & Salazar, S. (octubre de 2017). **Análisis de integración regional con fuentes de energía renovables en América Latina y el Caribe (ALC)**. Obtenido de <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/16/13>

Naciones Unidas. (06 de marzo de 2020). **Cambio climático**. Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

NASA. (2020). **POWER Data Access Viewer**. Obtenido de Prediction Of Worldwide Energy Resources: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Nelson, G. (10 de julio de 2012). Obtenido de E&E News: <https://www.eenews.net/stories/1059967047>

Olmo, M. (2017). **Ley de Desplazamiento de Wien**. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/wien.html>

Olmo, M. (2017). **Potencia Eléctrica DC**. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/elepow.html>

Peña, V. (2018). **Optimización económica de un sistema doméstico de generación y almacenamiento de energía**. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/120359/tfg-memoria-victor-deregas.pdf>

Pérez, A. (2009). **Guía Metodológica para Anteproyectos de Investigación, 3ra edición**. Caracas, Venezuela: FEDUPEL.

Pérez, S. (2019). **Factibilidad técnica, económica y social de instalaciones eléctricas solar fotovoltaicas para el consumo doméstico de la localidad de “El Vallecito”, Cusco**. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/15352>

Planas, O. (2019). **Irradiación Solar**. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar>

Planas, O. (2019). **Seguidor solar**. Obtenido de <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/seguidor-solar>

- Planas, O. (2020). **Radiación Solar**. Obtenido de <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar>
- Pons, R. (s.f.). **Entendiendo el Azimut y la Elevación**. Obtenido de <https://www.photopills.com/es/articulos/entendiendo-el-azimut-la-elevacion>
- Prolyt. (2015). **Distorsión Armónica**. Obtenido de <https://www.prolyt.com/distorsion-armonica/>
- Redondo, O. (2015). **Sistemas de energía renovables en edificios**. Obtenido de <http://construye2020.eu/plataforma-sobre-formacion-profesional/recurso-de-formacion/sistema-energia-renovables-edificios/descarga>
- Rodríguez, E. (s.f.). **Regulador de carga solar**. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>
- Rodríguez, M. (22 de enero de 2020). **¿Qué es el costo de oportunidad?** Obtenido de inqmatic: <https://inqmatic.com/que-es-el-costo-de-oportunidad/>
- Rojas, J., & Yusta, J. (2015). **Producción, Reservas y Sostenibilidad de la Energía en Venezuela**. Obtenido de Lámpsakos: <https://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/1701>
- Sabino, C. (2004). **El proceso de investigación**. Caracas, Venezuela: Panapo.
- Sadiku, M., & Alexander, C. (2006). **Fundamentos de Circuitos Eléctricos**. Distrito Federal, México: McGraw-Hill Internacional.
- Sigineer. (2020). **6000W 48Vdc to 110/220Vac 120/240Vac 230V 208V off grid solar inverter w/ 80A MPPT charger & lithium bms**. Obtenido de <https://www.sigineer.com/product/6000w-48vdc-to-110220vac-120240vac-230v-208v-off-grid-solar-inverter-w-80a-mppt-charger-lithium-bms/>
- Sociedad Nuclear Española. (s.f.). **electronvoltio**. Obtenido de Diccionario Nuclear: <https://www.sne.es/es/recursos/diccionario-de-terminos-nucleares/electronvoltio>
- Steren. (s.f.). **Inversor de corriente automotriz de 300 W (12 Vcc a 110 Vca)**. Obtenido de <https://www.steren.com.gt/inversor-de-corriente-automotriz-de-300-w-12-vcc-a-110-vca.html>
- Streetman, B., & Banerjee, S. K. (2016). **Solid State Electronic Devices**. Harlow, Inglaterra: Pearson Education Limited.

- Tamayo y Tamayo, M. (2003). **El proceso de la investigación científica**. Distrito Federal, México: Limusa.
- TeleBaterías. (s.f.). **Bateria de plomo GEL EXIDE 12V a 80Ah**. Obtenido de [http://www.telebaterias.com/epages/63452090.sf/es\\_ES/?ObjectPath=/Shops/63452090/Products/B12V-80-EXI-GEL](http://www.telebaterias.com/epages/63452090.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/63452090/Products/B12V-80-EXI-GEL)
- Total. (24 de octubre de 2019). **La electricidad como energía contra el cambio climático**. Obtenido de <https://www.gasyelectricidad.total.es/la-electricidad-como-energia-contra-el-cambio-climatico>
- Tsai, H.-L., Tu, C.-S., & Su, Y.-J. (22 de octubre de 2008). **Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK**. Obtenido de [http://www.iaeng.org/publication/WCECS2008/WCECS2008\\_pp846-851.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCECS2008/WCECS2008_pp846-851.pdf)
- Tsoutsos, T., Frantzeskaki, N., & Gekas, V. (2005). **Environmental impacts from the solar energy technologies**. Obtenido de [https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2010/08/Tsoutsos\\_Frantzeskaki\\_2006\\_EIA\\_ST.pdf](https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2010/08/Tsoutsos_Frantzeskaki_2006_EIA_ST.pdf)
- Universidad de Oregón. (2020). **Sun path chart program**. Obtenido de Solar Radiation Monitoring Laboratory: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>
- Vitalis. (22 de abril de 2018). **Cambio Climático**. Obtenido de <http://www.vitalis.net/recursos/cambio-climatico/>
- Volkheimer, W. (2004). **Albedo**. Obtenido de <https://www.mendoza.conicet.gov.ar/portal/enciclopedia/terminos/Albedo.htm>

## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

#### **CUESTIONARIO PARA EL DIAGNÓSTICO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CONSUMO ELÉCTRICO ACTUAL EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN EL MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO CARABOBO**

1. Sector o urbanización de San Diego donde reside
2. Metros cuadrados (aproximados) de construcción de la vivienda
3. Cantidad de bombillos incandescentes que posee la vivienda
4. Cantidad de bombillos ahorradores que posee la vivienda
5. Cantidad de bombillos LED que posee la vivienda
6. Cantidad de televisores que posee la vivienda
7. Potencia aproximada de los televisores en vatios (W)
8. Fabricante de los televisores
9. Cantidad de aires acondicionados que posee la vivienda
10. Potencia aproximada de los aires acondicionados en BTU
11. Fabricante de los aires acondicionados
12. Cantidad de neveras que posee la vivienda
13. Potencia aproximada de las neveras en Wh
14. Fabricante de las neveras
15. Cantidad de congeladores que posee la vivienda
16. Potencia aproximada de los congeladores en Wh
17. Fabricante de los congeladores
18. Cantidad de microondas que posee la vivienda
19. Potencia aproximada de los microondas en vatios (W)
20. Fabricante de los microondas
21. Cantidad de cocinas eléctricas que posee la vivienda
22. Potencia aproximada de las cocinas eléctricas en Wh
23. Fabricante de las cocinas eléctricas

24. Cantidad de calentadores eléctricos que posee la vivienda
25. Potencia aproximada de los calentadores de agua en Wh
26. Fabricante de los calentadores de agua
27. Cantidad de lavadoras que posee la vivienda
28. Potencia aproximada de las lavadoras en Wh
29. Fabricante de las lavadoras
30. Cantidad de secadoras de ropa que posee la vivienda
31. Potencia aproximada de las secadoras de ropa en Wh
32. Fabricante de las secadoras de ropa
33. Cantidad de sistemas de hidroneumático que posee la vivienda
34. Potencia aproximada de los sistemas de hidroneumático en HP
35. Fabricante del hidroneumático
36. Si posee algún electrodoméstico que utilice con tanta frecuencia como los mencionados anteriormente, descríballo acá junto a su consumo de potencia y/o marca

**ANEXO B**  
**RESULTADOS DE LA ENCUESTA PARA EL DIAGNÓSTICO DE LAS**  
**CARACTERÍSTICAS DEL CONSUMO ELÉCTRICO ACTUAL EN**  
**VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN EL MUNICIPIO SAN DIEGO, ESTADO**  
**CARABOBO**

1	Ubicación	Metros cuadrados	Total Bombillos (W)	Total TV (W)	Total A.A. (W)
2	Urb. La Esmeralda	87	720	440	5200
3	Campo solo		740	100	1300
4	San Antonio	134	282	325	7200
5	Morro I	200	676	135	7000
6	Urbanización Pasó Real Núcleo 3	79	86	240	900
7	El morro 1	183	1568	325	7600
8	Los Jarales	108	374	400	5200
9	Valle verde	200	1800	180	2520
10	Urb. Valle Verde	80	732	385	3900
11	Yuma I		860	300	10400
12	Poblado de San Diego	26	752	220	3900
13	Sansur	220	258	150	10000
14	Valle verde	150	356	90	1300
15	San Diego la cumaca	260	1390	440	13000
16	Urbanización Valle de Oro	175	452	260	2600
17	Pueblo de San Diego	110	1036	100	2000
18	Lomas de la esmeralda	500	688	180	4200
19	La esmeralda	65	246	255	2600
20	Yuma 2	100	748	210	0
21	urb paso real nucleo 2	82	134	460	1300

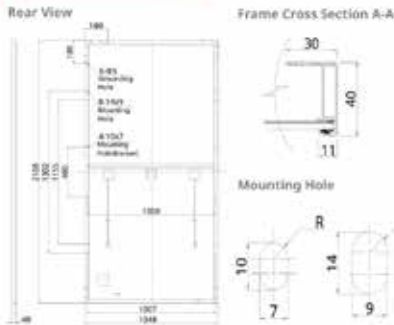
1	Total Neveras (Wh)	Total Congeladores (Wh)	Total Microondas (W)	Total C.E. (W)	Total Calentadores (W)
2	70	400	1100	0	0
3	110	0	0	0	0
4	64.26940639	0	1050	0	1200
5	97	72	1500	0	0
6	90	0	0	0	0
7	1130	0	1050	0	1400
8	200	0	0	1200	0
9	400	0	2400	2000	0
10	80	0	1200	1400	0
11	300	0	2400	0	0
12	66.72	0	1200	0	1500
13	83.33333333	83.33333333	1000	1000	0
14	70	0	0	0	0
15	200	400	1200	1600	0
16	200	115	0	0	0
17	70	250	1100	1000	1500
18	180	0	0	0	0
19	60	300	0	550	0
20	160	500	1300	0	0
21	50.34	0	0	0	1200

1	Total Lavadoras (W)	Total Secadoras (W)	I Hidroneumatico	Total Otros (W)	Total Vivienda (Wh/día)
2	700	0	0	0	8630
3	700	0	0	0	2950
4	1100	0	1118.55	0	12339.81941
5	3067	0	0	0	12547
6	0	0	0	0	1316
7	1000	0	0	0	14073
8	650	0	745.7	0	8769.7
9	1050	0	745.7	960	12055.7
10	800	0	0	1100	9597
11	800	0	745.7	1200	17005.7
12	800	0	0	0	8438.72
13	1500	3000	745.7	0	17820.36667
14	0	0	0	240	2056
15	900	2000	0	0	21130
16	455	0	372.85	4.329166667	4459.179167
17	500	2500	0	0	10056
18	900	0	0	1000	7148
19	600	0	380	0	4991
20	700	0	0	0	3618
21	560	0	0	0	3704.34

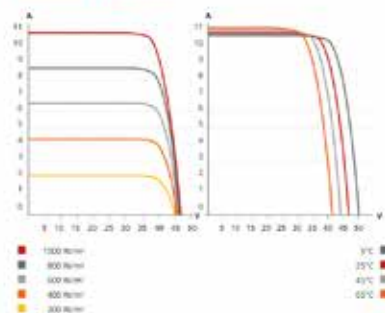
# ANEXO C

## HOJA DE DATOS DEL PANEL FOTOVOLTAICO CANADIAN SOLAR HIKU CS3W-410P

### ENGINEERING DRAWING (mm)



### CS3W-400P / I-V CURVES



### ELECTRICAL DATA | STC\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	395 W	400 W	405 W	410 W	415 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.26 A	10.34 A	10.42 A	10.49 A	10.56 A
Open Circuit Voltage (Voc)	47.0 V	47.2 V	47.4 V	47.6 V	47.8 V
Short Circuit Current (Isc)	10.82 A	10.90 A	10.98 A	11.06 A	11.14 A
Module Efficiency	17.88%	18.11%	18.33%	18.56%	18.79%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C				
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)				
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)				
Max. Series Fuse Rating	20 A				
Application Classification	Class A				
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

### ELECTRICAL DATA | NMOT\*

CS3W	395P	400P	405P	410P	415P
Nominal Max. Power (Pmax)	293 W	297 W	301 W	304 W	308 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.1 V	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.35 A	8.42 A	8.48 A	8.52 A	8.58 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.0 V	44.2 V	44.4 V	44.6 V	44.8 V
Short Circuit Current (Isc)	8.72 A	8.78 A	8.85 A	8.90 A	8.97 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

### MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensions	2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in)
Weight	24.9 kg (54.9 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC, 12 AWG) (UL)
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)*
Connector	MC4
Per Pallet	27 pieces
Per Container (40' HQ)	594 pieces

\* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

### PARTNER SECTION



\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

**CANADIAN SOLAR INC.**  
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

April 2015. All rights reserved. PV Module Product Datasheet V5.5/22\_EN

**ANEXO D**  
**TABLA DE FÓRMULAS Y CALIBRES DE CABLES ESTIMADOS PARA**  
**LAS CONEXIONES NECESARIAS DE CADA PERFIL DE CONSUMO**

Instrucciones de uso: utilizar las fórmulas de la tabla para obtener un estimado de la corriente que debe soportar el conductor, y dirigirse a la tabla 310.16 del CEN (la cual puede encontrar en la siguiente página) para determinar el conductor que soporte más corriente que la calculada.

Se debe recordar que los resultados obtenidos son solamente estimados: el cálculo del calibre del conductor depende mucho de las necesidades individuales del usuario y requiere el uso de muchos cálculos y reglas que se encuentran en el CEN y se omitieron por simplicidad de uso para el usuario común. Aunque sirve como guía, siempre es recomendable consultar con un experto para una selección más óptima dependiendo de las necesidades del individuo.

<b>Conexión</b>	<b>Perfil A</b>	<b>Perfil B</b>	<b>Perfil C</b>
De panel fotovoltaico a caja de terminales	Estimado: Cable #14	Estimado: Cable #14	Estimado: Cable #14
De caja de terminales a inversor	— Estimado: Cable #1	— Estimado: Cable #4/0	— Estimado: Cable #400
De batería a inversor	— Estimado: Cable #10	— Estimado: Cable #3	— Estimado: Cable #1
De inversor a tablero	— Estimado: Cable #10	— Estimado: Cable #3	— Estimado: Cable #1

$I_{SC}$  = Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico.

$n$  = Cantidad de paneles fotovoltaicos instalados en el sistema.

$p_s$  = Conexiones en serie de los paneles fotovoltaicos. La cantidad depende del voltaje de circuito abierto de los paneles y del voltaje máximo tolerado por el controlador de carga. Para los estimados se utilizó  $p_s = 2$ .

$P_n$  = Potencia instantánea máxima de la vivienda.

**Tabla 310.16 Ampacidades Admisibles de los Conductores Aislados para Tensiones Nominales de 0 a 2000 Voltios y 60°C a 90°C (140°F a 194°F) con No Más de Tres Conductores Portadores de Corriente en Una Canalización, Cable o Directamente Enterrados, Basadas en Una Temperatura Ambiente de 30°C (86°F).**

Calibre de los Conductores AWG/ kcmil	Régimen de Temperatura del Conductor [véase la Tabla 310.13(A)]						Calibre de los Conductores AWG/ kcmil
	60° C (140°F)	75° C (167°F)	90° C (194°F)	60° C (140°F)	75° C (167°F)	90° C (194°F)	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE				
18	.....	.....	14	.....	.....	.....	.....
16	.....	.....	18	.....	.....	.....	.....
14 *	20	20	25	.....	.....	.....	.....
12 *	25	25	30	20	20	25	12*
10 *	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

**ANEXO E1**  
**HOJA DE DATOS DE LAS BATERÍAS GIANT POWER 12V 300AH AGM**  
**DEEP CYCLE BATTERY**

Giant Power 12V 300AH AGM Deep Cycle Battery	
Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity (20HR)	300AH
Dimension	Length: 522 ±3mm (20.55 inches) Width: 268 ±2mm (10.55inches) Container Height: 220 ±2mm (8.66 inches) Total Height (with Terminal): 226 ±2mm (8.90 inches)
Approx Weight	Approx 73.0 Kg
Terminal	T11
Container Material	ABS
Rated Capacity	300.0 AH/15.0A (20hr, 1.80V/cell, 25°C)
Max. Discharge Current	2500A (5s)
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -15 ~ 50°C (5 ~ 122°F) Charge : 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F) Storage : -15 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
Bulk Charge	Initial Charging Current less than 75A. Voltage 14.5V @ 25°C Temp. Coefficient -30mV/°C
Float Charge	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V @ 25°C Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103% 25°C ( 77°F ) 100% 0°C ( 32°F ) 86%
Self Discharge	Giant Power Deep Cycle AGM batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.

## ANEXO E2

### HOJA DE DATOS DEL INVERSOR TRANSFORMER BASED OFF GRID SOLAR INVERTER M6000L-48SP

Transformer Based Off Grid Solar Inverter Charger User's Manual

www.sigineer.com

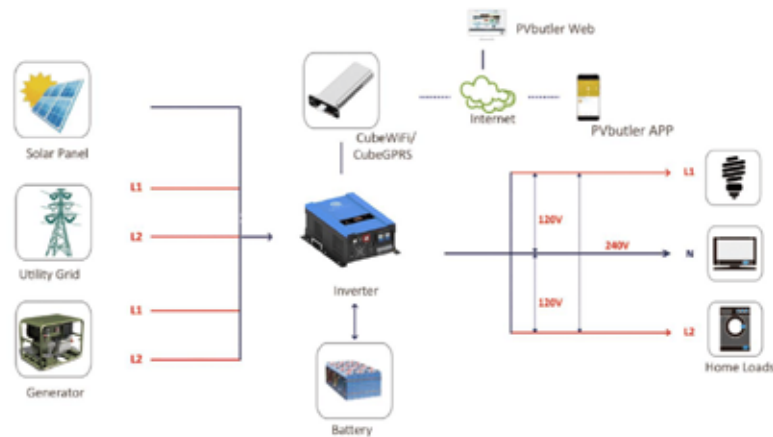
- a) the product if it has been misused, neglected, improperly installed, physically damaged or altered, either internally or externally, or damaged from improper use or use in an unsuitable environment; violations of the warnings in the manual will invalidate the warranty.
- b) the product if it has been subjected to fire, water, generalized corrosion, biological infestations, or input voltage that creates operating conditions beyond the maximum or minimum limits listed in the product specifications including high input voltage from generators and lightning strikes;
- c) the product if repairs have been done to it other than by us or its authorized service centers;

### Appendix 1 : M Series Inverter/Charger Spec Sheet

MODEL	4KW	5KW	M6000L-48SP	8KW	10KW	M12000L-48SP
Battery voltage	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC	48VDC
<b>INVERTER OUTPUT</b>						
Rated Power	4KW	5KW	6KW	8KW	10KW	12KW
Surge Rating (5sec)	8KW	10KW	12KW	16KW	20KW	24KW
Surge Rating (20ms)	12KW	15KW	18KW	24KW	30KW	36KW
Waveform	Pure sine wave/ same as input (bypass mode)					
Nominal Output Voltage	208V-220V-230V-240Vac(+/-10% RMS) Adjustable					
Output Frequency	50Hz/60Hz (+/-0.3 Hz) Adjustable					
Inverter Efficiency(Peak)	>85%					
Line Mode Efficiency	>95%					
Power Factor	1.0					
<b>48V MPPT SOLAR CHARGER</b>						
Maximum PV Charge Current	80A			120A		
Efficiency	Tracking: 99.5%   Charging : 96%.					
Maximum PV Input Power	5000W			7000W		
MPPT Operating Voltage	60-145Vdc					
Max. PV Open Circuit Voltage(Voc)	150VDC					
CV / Float Charge Voltage	48.0V -58.4V Resettable					
Minimal Battery Voltage For PV Charge	34Vdc					
<b>DC Input</b>						
Low DC Cut-Off Voltage (For Lead Acid)	@load<20%: 42.0V; @20%≤load<50%: 40.8V; @load≥50%: 38.4V(40-48V resetable)					
Low DC Warning Voltage (For Lead Acid)	Low DC Cut-off Voltage +2Vdc					
Low DC Warning Return Voltage (For Lead Acid)	>48V					
Low DC Warning SOC (For Li)	Low DC Cut-off Soc +5%					
Low DC Warning Return SOC (For Li)	Low DC Cut-off Soc +15%					
Low DC Cut-off SOC (For Li)	Default 20%, 5%~50% Settable					
Cold Start Battery Minimal Voltage	Lead Acid: Low DC Cut-Off Voltage+2Vdc   Lithium >Low DC Cut-off Soc+10%					
High DC Recovery Voltage	58VDC					
High DC Cut-Off Voltage	AGM:60V, FLD:62V, USE or Li Mode: C.V. Voltage + 4.0V					

AC INPUT						
Voltage	230VAC					
Selectable Voltage Range	154-272VAC(for appliances ), 184-272VAC(for UPS)					
Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)					
Maximum Charge Current	40A	50A	60A	70A	80A	100A
BYPASS & PROTECTION (Grid & Generator)						
Typical Transfer Time	10ms					
Overload Protection (SMPS Load)	Circuit breaker					
Output Short Circuit Protection	Circuit breaker					
AC Input Breaker	40A	50A	63A	60A	70A	80A
AC output Breaker	20A	25A	32A	40A	50A	63A
MECHANICAL SPECIFICATIONS						
Unit Dimensions (W*H*D)	540*360*218mm / 21.2*14.2*8.6"			650*380*225mm / 25.6*15*8.9"		
Packing Size (W*H*D)	680*505*305mm / 26.8*20*12"			810*540*410mm / 31.9*21.3*16.1"		
Net Weight	38kg/84lbs	41kg/90lbs	45kg/99lbs	64kg/141lbs	66kg/145lbs	75kg/165lbs
Gross Weight	43kg/95lbs	45kg/99lbs	50kg/110lbs	84kg/185lbs	86kg/190lbs	94kg/207lbs
OPERATING ENVIRONMENT						
Operation Temperature Range	0°C to 50°C/ 32°F to 122°F					
Storage Temperature	-20°C to 60°C / -4°F to 140°F					

## Appendix 2: M Series Inverter/Charger System Wiring Diagram



※Errors and omissions reserved. Specifications in this manual are subject to change without prior notice.

## ANEXO F1

### HOJA DE DATOS DE LAS BATERÍAS GIANT POWER 12V 330AH AGM DEEP CYCLE BATTERY

Giant Power 12V 330AH AGM Deep Cycle Battery	
Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity (20HR)	330AH
Dimension	Length: 522 ±3mm (20.55 inches) Width: 268 ±2mm (10.55inches) Container Height: 229 ±2mm (8.66 inches) Total Height (with Terminal): 226 ±2mm (8.90 inches)
Approx Weight	Approx 73.0 Kg
Terminal	T11
Container Material	ABS
Rated Capacity	330.0 AH/16.5A (20hr, 1.80V/cell, 25°C)
Max. Discharge Current	2500A (5s)
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -15 ~ 50°C (5 ~ 122°F) Charge : 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F) Storage : -15 ~ 40°C (5 ~ 104°F)
Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)
Bulk Charge	Initial Charging Current less than 75A. Voltage 14.5V @ 25°C Temp. Coefficient -30mV/°C
Float Charge	No limit on Initial Charging Current. Voltage 13.5V @ 25°C Temp. Coefficient -20mV/°C
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103% 25°C ( 77°F ) 100% 0°C ( 32°F ) 86%
Self Discharge	Giant Power Deep Cycle AGM batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.

## ANEXO F2

### HOJA DE DATOS DEL INVERSOR SPLIT PHASE LV SERIES LV5048

## SPLIT PHASE LV SERIES

### 120V / 240V / 208V Off-Grid Solar Inverter

Suitable for use in USA/Puerto Rico, and Canada where split phase power standard is used.

5KW

48VDC

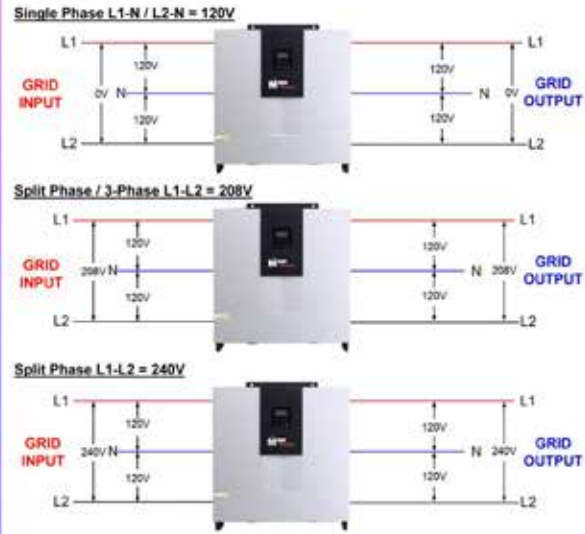
#### MAIN FEATURES

- Versatile AC output modes: single phase 120V, split phase 240V, and 3-phase 208V
- Pure sine wave output 5KW / 48VDC
- Dual MPPT Input up to 160A max charge
- Max PV input power up to 8KW (4KW\*2)
- Utility charging up to 60A max
- Max total system charging up to 220A
- Parallel operation up to 3 units max
- Genset starter dry contact\*
- Programmable parameters
- Ideal for Off-Grid or Grid-backup application
- Easy to install
- FREE monitoring software
- LCD Display + LED indicators
- USB, RS232 communication interface

PARALLEL-READY

\*requires inverter-type generator of acceptable output quality

sales@mppsolar.com | www.mppsolar.com



Split Phase LV SERIES	LV 5048
<b>STANDARD RATING</b>	
Continuous Output	5000W
System DC Volt	48VDC
AC Input Voltage	110 / 120VAC (Phase - Neutral)
Maximum Parallel	Up to 3 units
<b>PV INPUT / SOLAR CHARGING</b>	
Max PV Input Power	8000W (4000W each input)
Max PV Input Volt	145VDC (open circuit Voc)
MPPT Range	60 - 110VDC
Number of PV Input	2
Max Charging Current	160A (80A X 2)
<b>OUTPUT MODE</b>	
Output Waveform	Pure Sine Wave
AC Output Mode	120V L-N / 240V L1-L2 / 208V L1-L2 3-Phase
Frequency	50 / 60Hz, auto-sensing
Max Bypass Current	40A
Max Efficiency	>90%
Max Utility Charging	60A
Max Utility + Solar Charging	220A
Max Bulk/Float Charge	58.4V
<b>ENVIRONMENTAL / MECHANICAL SPECIFICATIONS</b>	
Communication Port	USB / RS232 / Dry Contact
Operating Temp.	0 - 50°C
Operating Humidity	0 - 90% RH (No Condensing)
Dimension	623*610*130mm
Net Weight	30Kg

MPP Solar, Inc. reserves the right to change product specifications without notice. MPP Solar is a registered trademark.



## ANEXO G

### HOJA DE DATOS DEL INVERSOR SPLIT PHASE LV SERIES LV2424

## SPLIT PHASE LV SERIES

110-120V / 220-240V Hybrid Solar Inverter

Suitable for use in USA/Puerto Rico, and Canada where split phase power standard is used.

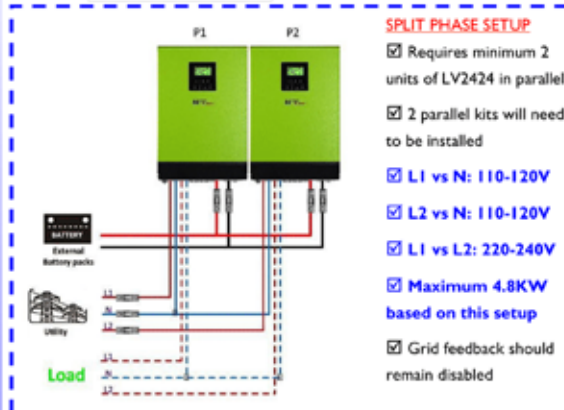


### MAIN FEATURES

- **SPLIT PHASE output** capable 110-120V/220-240V (requires 2 units in parallel, max 4.8kw)
- Pure sine wave output 2.4kw, 24VDC
- Ideal for off-grid or grid optional application
- MPPT built-in solar charger max up to 80A
- Max PV input volt 145V
- Max PV input power up to 2KW
- Utility charging up to 60A max
- Parallel operation up to 9 units max, in single phase, split phase, or 3-phase applications
- Supports generator input (grid-tie disabled)\*
- Programmable parameters
- Wide AC input range
- Lightweight, easy to install
- FREE monitoring software
- LCD Display + LED indicators
- USB, RS232 communication interface

\*\*requires Inverter-type generator of acceptable output quality

sales@mppsolar.com | www.mppsolar.com



#### SPLIT PHASE SETUP

- Requires minimum 2 units of LV2424 in parallel
- 2 parallel kits will need to be installed
- L1 vs N: 110-120V
- L2 vs N: 110-120V
- L1 vs L2: 220-240V
- Maximum 4.8KW based on this setup
- Grid feedback should remain disabled

Split Phase LV SERIES	LV 2424
<b>STANDARD RATING</b>	
Continuous Output	2400W
System DC Volt	24VDC
<b>Split Phase Capable</b>	<b>YES (requires minimum 2 units in parallel)</b>
Maximum Parallel	Up to 9 units, in single-, split-, or 3-phase
<b>PV INPUT / SOLAR CHARGING</b>	
Max PV Input Power	2000w
Max PV Input Volt	145VDC (open circuit Voc)
MPPT Range	30 - 115VDC
Number of PV Input	1
Max Charging Current	80A
<b>BATTERY OUTPUT MODE</b>	
Output Waveform	Pure Sine Wave
Nominal Output Volt	101/110/120 VAC, Single Phase
Frequency	50 / 60Hz, auto-sensing
AC Input Transfer Relay	40A
Max Efficiency	>90%
Max Utility Charging	60A
Max Utility + Solar Charging	140A
<b>ENVIRONMENTAL / MECHANICAL SPECIFICATIONS</b>	
Communication Port	USB / Dry Contact
Operating Temp.	0 - 50°C
Operating Humidity	0 - 90% RH (No Condensing)
Dimension	468*295*120
Net Weight	11Kg

MPP Solar Inc. reserves the right to change product specification without notice. MPP Solar is a registered trademark.



## ANEXO H1

### HOJA DE DATOS DEL GENERADOR ATO MODELO ATOBDG7000SE

Model	ATOBDG7000SE	
Alternator Type	Brushless, Self Exciting, 2 Pole, Single Phase (Three Phase generator is available)	
AC Frequency	50Hz	60Hz
AC Voltage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Single phase version: 110V, 120V, 220V, 230V, 240/110V, 120/240V, 208/120V</li> <li>• Three phase version: 380/220V, 400/230V, 240/120V, 220/110V, 208/127V</li> </ul> <p><i>*Note: For single phase version, voltage form like "240/110V" is a dual supply voltage, means that the generator output is 1-phase 240V or 1-phase 110V.</i></p>	
Rated AC Output	6.0 kW	6.5 kW
Max. AC Output	6.5 kW	7.0 kW
DC Output Voltage	12V	
DC Output Current	8.3A	
Insulation	F	
Power Factor	0.8	
Control Panel	Analog Panel (Option: Digital LCD Panel, ATS)	
Engine Model	BD188FE	
Engine Type	Diesel, Air-cooled, Single Cylinder, 4-Stroke	
Bore x Stroke	88x72 mm	
Displacement	418 CC	
Engine Speed	3000 rpm	3600 rpm
Starting System	Electric Start	
Starting Motor Capacity	12V 0.8KW	
Starting Battery	12V 36AH	
Max. Power Output	10 HP	
Fuel Tank Capacity	16L	
Time of Running on the Full Tank	6.5 hours	
Cont. Operating	7.5HRS	6.3HPS
Operating Noise Level	70 dB	
Certification	CE, EPA, ISO9001-2000	
Warranty	12 months	
N.W/G.W	190/195 kg	
Dimension	910x520x740 mm	

## ANEXO H2

### HOJA DE DATOS DEL GENERADOR GENERAC MODELO RD01525ADAE

**Protector™**

2 of 18

**GENERAC**

**15 • 20 • 30 • 48 • 50 kW**

**Application and Engineering Data**

**GENERATOR SPECIFICATIONS**

Type	Synchronous
Rotor Insulation Class	H (15 & 20 kW) or F (30, 48, & 50 kW)
Stator Insulation Class	H
Telephone Interference Factor (TIF)	< 50
Alternator Output Leads 1-Phase	Three wire
Alternator Output Leads 3-Phase	Six wire
Bearings	Single Sealed Cartridge
Coupling	Direct, Flexible Disc
Excitation System	Direct
Total Harmonic Distortion	< 5%

**VOLTAGE REGULATION**

Type	Electronic
Sensing	Single-phase
Regulation	± 1%
Features	Adjustable voltage & gain

**GOVERNOR SPECIFICATIONS**

Type	Electronic Isochronous
Steady State Regulation	± 0.25%

**ELECTRICAL SYSTEM**

Battery Charge Alternator	50 amp (15 & 20 kW), 65 amp (30 kW), and 50 amp (48 & 50 kW)
Static Battery Charger	2 amp
Recommended Battery (battery not included)	Group 27F, 700 CCA Group 31, 925 CCA batteries can also be used with 30kW units
System Voltage	12 volts

**ALTERNATOR SPECIFICATIONS**

Revolving field heavy duty generator Directly connected to the engine Operating temperature rise 120 °C above a 40 °C ambient Class H insulation is NEMA rated Class F insulation is NEMA rated All models fully prototype tested
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**ENCLOSURE FEATURES**

Aluminum weather protective enclosure	Provides protection against mother nature. Electrostatically applied textured epoxy paint for added durability.
Enclosed critical grade muffler	Quiet, critical grade muffler is mounted inside the unit to prevent injuries and maximize sound dampening.
Small, compact, attractive	Makes for an easy, eye appealing installation.
SAE	Sound attenuated enclosure ensures quiet operation.

**15 • 20 • 30 • 48 • 50 kW**

**ENGINE SPECIFICATIONS: 15 & 20 kW**

Make	Mitsubishi
Model	In-line
Cylinders	4
Displacement (Liters)	2.5
Bore (in / mm)	3.46 / 88
Stroke (in / mm)	4.06 / 103
Compression Ratio	22:1
Intake Air System	Naturally aspirated
Cylinder Head Type	Cast iron OHV
Piston Type	Aluminum

**ENGINE SPECIFICATIONS: 30 kW**

Make	Perkins
Model	In-line
Cylinders	4
Displacement (Liters)	2.2
Bore (in / mm)	3.30 / 84
Stroke (in / mm)	3.94 / 100
Compression Ratio	23.3:1
Intake Air System	Turbocharged / aftercooled
Cylinder Head Type	Cast iron OHV
Piston Type	Aluminum

**ENGINE SPECIFICATIONS: 48 & 50 kW**

Make	Mitsubishi
Model	In-line
Cylinders	4
Displacement (Liters)	3.3
Bore (in / mm)	3.70 / 94
Stroke (in / mm)	4.72 / 120
Compression Ratio	19:1
Intake Air System	Turbocharged / Aftercooled
Cylinder Head Type	Cast iron OHV
Piston Type	Aluminum

**ENGINE LUBRICATION SYSTEM**

Oil Pump Type	Gear
Oil Filter Type	Full flow spin-on canister
Crankcase Capacity (quarts / Liters)	6.87 / 6.5—15 & 20 kW
	11.2 / 10.6—30 kW
	11.6 / 11—48 & 50 kW

**ENGINE COOLING SYSTEM**

Water Pump	Pre-lubed, self-sealing
Fan Speed (rpm)	2376—15 & 20 kW
	1980—30 kW
	2340—48 & 50 kW
Fan Diameter (in / mm)	18.11 / 460 (15 & 20 kW)
	18 / 457.2 (30 kW)
	17 / 431.8 (48 & 50 kW)
Fan Mode	Pusher

**FUEL SYSTEM**

Fuel Type	Ultra low sulfur diesel fuel
Fuel Pump Type	Mechanical engine driven gear
Injector Type	Mechanical
Fuel Supply Line (mm / in)	7.94 / 0.31 (ID)
Fuel Return Line (mm / in)	N/A—15 & 20 kW
	4.76 / 0.19 (ID)—30 kW
	7.94 / 0.31 (ID)—48 & 50 kW
Fuel Specification	ASTM
Fuel Filtering (microns)	6—15 & 20 kW
	25—30 kW
	6—48 & 50 kW

**WEIGHTS AND DIMENSIONS**

kW size	Tank size	Weight (lb / kg)	Dimensions (L x W x H) (in / cm)
15 kW	32 Gal	1528 / 693	81 x 31 x 51 / 206 x 79 x 129
	95 Gal	1757 / 797	81 x 31 x 61 / 206 x 79 x 165
20 kW	32 Gal	1528 / 693	81 x 31 x 51 / 206 x 79 x 129
	95 Gal	1757 / 797	81 x 31 x 61 / 206 x 79 x 165
30 kW	57 Gal	1857 / 842	95 x 35 x 59 / 241 x 89 x 150
	132 Gal	2070 / 939	95 x 35 x 68 / 241 x 89 x 173
48 & 50 kW	57 Gal	2215 / 1102	95 x 35 x 57 / 241 x 89 x 145
	132 Gal	2429 / 1102	95 x 35 x 66 / 241 x 89 x 168

**15 • 20 • 30 • 48 • 50 kW**
**Application and Engineering Data**
**TANK SPECIFICATIONS**

kW size		Total Capacity		Usable Capacity		Run Time at 1/2 Load (hrs)	
		gal / L	gal / L	gal / L	gal / L	hrs	hrs
15 kW	32 Gal Tank	32	127	32	121	39	
	95 Gal Tank	95	372.9	95	359.6	115.8	
20 kW	32 Gal Tank	32	127	32	121	31	
	95 Gal Tank	95	372.9	95	359.6	92.2	
30 kW	57 Gal Tank	57	233	57	215	41.6	
	132 Gal Tank	132	524	132	500	96.4	
48 & 50 kW	57 Gal Tank	57	234.7	57	215	26.2	
	132 Gal Tank	132	524	132	500	65.3	

**GENERATOR OUTPUT VOLTAGE / KW-60 HZ**

Model	Voltage / Phase	kW (standby)		kW (Prime)		CB Size
		kW	Amp	kW	Amp	
RD015	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	15	62	12	50	70
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	15	52	12	42	60
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	15	45	12	36	50
RD020	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	20	83	16	67	100
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	20	69	16	56	80
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	20	60	16	48	70
RD030	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	30	125	24	100	150
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	30	104	24	83	125
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	30	90	24	72	100
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	30	45	24	36	50
RD048 RD050	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	48	200	38.4	183	200
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	50	173	40	153	200
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	50	150	40	132	175
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	50	75	40	66	90

**SURGE CAPACITY IN AMPS**

Model	Voltage / Phase	Voltage Dip @ < 0.4 pf	
		15%	30%
		Amps	Amps
RD015	120/240 V, 1Ø	53	129
	120/208 V, 3Ø	37	90
	120/240 V, 3Ø	32	78
RD020	120/240 V, 1Ø	87	211
	120/208 V, 3Ø	59	143
	120/240 V, 3Ø	51	124
RD030	120/240 V, 1Ø	66	168
	120/208 V, 3Ø	59	144
	120/240 V, 3Ø	51	125
	277/480 V, 3Ø	26	64
RD048 RD050	120/240 V, 1Ø	69	189
	120/208 V, 3Ø	90	218
	120/240 V, 3Ø	78	189
	277/480 V, 3Ø	36	87

**ENGINE FUEL CONSUMPTION**

Model	Load	Fuel Consumption	
		gal / hr	L / hr
RD015	25% of rated load	0.60	2.27
	50% of rated load	0.85	3.22
	75% of rated load	1.10	4.16
	100% of rated load	1.46	5.53
RD020	25% of rated load	0.77	2.9
	50% of rated load	1.03	3.90
	75% of rated load	1.46	5.53
	100% of rated load	1.97	7.46
RD030	25% of rated load	0.97	3.67
	50% of rated load	1.37	5.19
	75% of rated load	1.97	7.46
	100% of rated load	2.77	10.49
RD048 RD050	25% of rated load	1.23	4.66
	50% of rated load	2.02	7.66
	75% of rated load	3.02	11.43
	100% of rated load	4.02	15.22

**15 • 20 • 30 • 48 • 50 kW**

**ENGINE COOLING**

	15 kW	20 kW	30 kW	48 kW & 50 kW
Air flow (inlet air including alternator and combustion air in cfm / cmm)	2750 / 78	2750 / 78	2800 / 79	2824 / 80
System coolant capacity (gal / Liters)	3.0 / 11.4	3.0 / 11.4	2.5 / 9.5	3.0 / 11.4
Heat rejection to coolant (BTU per hr / MJ per hr)	95,220 / 100.5	95,220 / 100.5	128,638 / 135.7	135,900 / 143.4
Maximum operation air temperature on radiator (°C / °F)	50 / 122			
Maximum ambient temperature (°C / °F)	50 / 122			

**COMBUSTION REQUIREMENTS**

Flow at rated power (cfm / cmm)	86.3 / 2.4	86.3 / 2.4	88 / 2.5	190 / 5.38
---------------------------------	------------	------------	----------	------------

**SOUND EMISSIONS**

Sound output in dB(A) at 23 ft (7 m) with generator in exercise mode*	65
Sound output in dB(A) at 23 ft (7 m) with generator operating at normal load*	70

**EXHAUST**

Exhaust flow at rated output (cfm / cmm)	98.88 / 2.8	98.88 / 2.8	296.6 / 8.4	448 / 12.7
Exhaust temperature at rated output (°C / °F)	482 / 900	482 / 900	499 / 930	499 / 930

**ENGINE PARAMETERS**

Rated Synchronous Rpm	1800			
HP at rated kW	26.4	33.5	49	85

**POWER ADJUSTMENT FOR AMBIENT CONDITIONS**

Temperature Deration .....	3% for every 5 °C above 25 °C or 1.7% for every 5 °F above 77 °F
Altitude Deration (15, 30, 48, and 50 kW) .....	1% for every 100 m above 915 m or 3% for every 1,000 ft above 3,000 ft
Altitude Deration (20 kW) .....	1% for every 100 m above 305 m or 3% for every 1,000 ft above 1,000 ft

**CONTROLLER FEATURES**

2-Line Plain Text Multilingual LCD Display .....	Simple user interface for ease of operation
Mode Buttons: Auto .....	Automatic Start on Utility failure. Programmable 7 day exerciser
Manual .....	Start with starter control, unit stays on. If utility fails, transfer to load takes place
Off .....	Stops unit. Power is removed. Control and charger still operate
Ready to Run/Maintenance Message .....	Standard
Engine Run Hours Indication .....	Standard
Programmable start delay between 2-1500 seconds .....	Standard (programmable by dealer only)
Utility Voltage Loss/Return to Utility Adjustable .....	From 140-171 V/190-216 V
Future Set Capable Exerciser/Exercise Set Error Warning .....	Standard
Run/Alarm/Maintenance Logs .....	50 Events Each
Engine Start Sequence .....	Cyclic cranking: 16 sec on, 7 rest (90 sec maximum duration)
Starter Lock-out .....	Starter cannot re-engage until 5 seconds after engine has stopped
Smart Battery Charger .....	Standard
Charger Fault/Missing AC Warning .....	Standard
Low Battery/Battery Problem Protection and Battery Condition Indication .....	Standard
Automatic Voltage Regulation with Over and Under Voltage Protection .....	Standard
Under-Frequency/Overload/Stepper Overcurrent Protection .....	Standard
Safety Fused/Fuse Problem Protection .....	Standard
Automatic Low Oil Pressure .....	Standard
Overcrank/Overspeed (@ 72 Hz)/rpm Sense Loss Shutdown .....	Standard
High Engine Temperature Shutdown .....	Standard
Internal Fault/Incorrect Wiring Protection .....	Standard
Common External Fault Capability .....	Standard
Field Upgradeable Firmware .....	Standard
Low Coolant Level Shutdown .....	Standard

# ANEXO H3

## HOJA DE DATOS DEL GENERADOR GENERAC MODELO RD02025ADAL

Protector® QS Series  
2 of 11

**GENERAC**

**22 • 27 • 32 • 38 • 48 kW**

**application & engineering data**

**GENERATOR SPECIFICATIONS**

Type	Synchronous
Rotor Insulation Class	H (22 & 27 kW) or F (32, 38 & 48 kW)
Stator Insulation Class	H
Telephone Interference Factor (TIF)	<.50
Alternator Output Leads 1-Phase	4 wire
Alternator Output Leads 3-Phase	6 wire
Bearings	Sealed Ball
Coupling	Flexible Disc
Excitation System	Direct

**VOLTAGE REGULATION**

Type	Electronic
Sensing	Single Phase
Regulation	±. 1%

**GOVERNOR SPECIFICATIONS**

Type	Electronic
Frequency Regulation	Isynchronous
Steady State Regulation	±. 0.25%

**ELECTRICAL SYSTEM**

Battery Charge Alternator	12 Volt 30 Amp
Static Battery Charger	2.5 Amp
Recommended Battery (battery not included)	Group 26 (22, 27, 32 & 38 kW) or Group 24F (48 kW), 525CCA
System Voltage	12 Volts

**GENERATOR FEATURES**

Revolving field heavy duty generator Directly connected to the engine Operating temperature rise 120 °C above a 40 °C ambient Class H insulation is NEMA rated Class F insulation is NEMA rated All models fully prototype tested
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**ENCLOSURE FEATURES**

Aluminum weather protective enclosure	Ensures protection against mother nature. Electrostatically applied textured epoxy paint for added durability.
Enclosed critical grade muffler	Quiet, critical grade muffler is mounted inside the unit to prevent injuries.
Small, compact, attractive	Makes for an easy, eye appealing installation.
SAE	Sound attenuated enclosure ensures quiet operation.

(All ratings in accordance with BS5514, ISO3046, ISO8528, SAE J1349 and DIN1271)

**ENGINE SPECIFICATIONS: 22, 27, 32 & 38 kW**

Make	Generac
Model	In-line
Cylinders	4
Displacement (Liters)	2.4
Bore (in/mm)	3.41/86.5
Stroke (in/mm)	3.94/100
Compression Ratio	9.5:1
Intake Air System	Naturally Aspirated (22 & 27 kW) or Turbocharged/Aircooled (32 & 38 kW)
Lifter Type	Hydraulic

**ENGINE SPECIFICATIONS: 48 kW**

Make	Generac
Model	V-Type
Cylinders	8
Displacement (Liters)	5.4
Bore (in/mm)	3.55/90.2
Stroke (in/mm)	4.17/105.9
Compression Ratio	9:1
Intake Air System	Naturally Aspirated
Lifter Type	Hydraulic

**ENGINE LUBRICATION SYSTEM**

Oil Pump Type	Gear
Oil Filter Type	Full flow spin-on cartridge
Crankcase Capacity (qt/l)	4/3.8 (22, 27, 32 & 38 kW) or 6/5.7 (48 kW)

**ENGINE COOLING SYSTEM**

Type	Closed
Water Pump	Belt driven
Fan Speed (rpm)	1980 - 22 & 27 kW 1500 - 32 & 38 kW 1954 - 48 kW
Fan Diameter (in/mm)	18.1/456.7 (22 & 27 kW) or 22/558.8 (32, 38 & 48 kW)
Fan Mode	Pusher (22 & 27 kW) or Puller (32, 38 & 48 kW)

**FUEL SYSTEM**

Fuel Type	Natural gas, propane vapor
Carburetor	Down Draft
Secondary Fuel Regulator	Standard
Fuel Shut Off Solenoid	Standard
Operating Fuel Pressure	5-14" water column/9-26 mm HG
LP Fuel Pressure	11 - 14" Water Column
NG Fuel Pressure	5 - 14" Water Column

**22 • 27 • 32 • 38 • 48 kW**

**GENERATOR OUTPUT VOLTAGE/KW - 60 Hz**

		<b>KW LPG</b>	<b>Amp LPG</b>	<b>KW Nat. Gas</b>	<b>Amp Nat. Gas</b>	<b>CB Size (Both)</b>
RG022	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	22	92	22	92	100
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	22	76	22	76	80
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	22	66	22	66	80
RG027	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	27	113	25	104	125
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	27	94	25	87	100
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	27	81	25	75	90
RG032	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	32	133	32	133	150
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	32	111	32	111	125
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	32	96	32	96	100
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	32	48	32	48	50
RG038	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	38	158	38	158	175
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	38	132	38	132	150
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	38	114	38	114	125
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	38	57	38	57	60
RG048	120/240 V, 1Ø, 1.0 pf	48	200	48	200	200
	120/208 V, 3Ø, 0.8 pf	48	167	48	167	175
	120/240 V, 3Ø, 0.8 pf	48	144	48	144	150
	277/480 V, 3Ø, 0.8 pf	48	72	48	72	80

**SURGE CAPACITY IN AMPS**

		<b>Voltage Dip @ &lt; .4 pf</b>	
		15%	30%
RG022	120/240 V, 1Ø	55	135
	120/208 V, 3Ø	40	92
	120/240 V, 3Ø	35	80
RG027	120/240 V, 1Ø	62	170
	120/208 V, 3Ø	70	120
	120/240 V, 3Ø	61	103
RG032	120/240 V, 1Ø	75	180
	120/208 V, 3Ø	87	210
	120/240 V, 3Ø	75	182
	277/480 V, 3Ø	36	87
RG038	120/240 V, 1Ø	75	180
	120/208 V, 3Ø	87	210
	120/240 V, 3Ø	75	182
	277/480 V, 3Ø	36	87
RG048	120/240 V, 1Ø	85	195
	120/208 V, 3Ø	90	218
	120/240 V, 3Ø	78	189
	277/480 V, 3Ø	36	87

Note: **Fuel pipe must be sized for full load.**

For Btu content, multiply ft/hr x 2520 (LPG) or ft/hr x 1000 (NG)

For megajoule content, multiply m³/hr x 93.15 (LPG) or m³/hr x 37.26 (NG)

Refer to "Emissions Data Sheets" for maximum fuel flow for EPA and SCAQMD permitting purposes.

**STANDBY RATING:** Standby ratings apply to installations served by a reliable utility source. The standby rating is applicable to varying loads for the duration of a power outage. There is no overload capability for this rating. Ratings are in accordance with ISO-3046-1. Design and specifications are subject to change without notice.

**ENGINE FUEL CONSUMPTION**

		<b>Natural Gas</b>			<b>Propane</b>	
		(ft³/hr)	(m³/hr)	(gal/hr)	(l/hr)	(ft³/hr)
RG022	Exercise cycle	42	1.2	0.44	1.7	16
	25% of rated load	100	2.8	1.1	4.2	40
	50% of rated load	190	5.4	2.1	7.8	75
	75% of rated load	255	7.2	2.8	10.5	101
	100% of rated load	316	9	3.4	13	125
RG027	Exercise cycle	42	1.2	0.44	1.7	16
	25% of rated load	108	3.1	1.2	4.5	43
	50% of rated load	197	5.6	2.1	8.1	78
	75% of rated load	287	8.2	3.1	11.8	114
	100% of rated load	359	10.2	3.9	14.8	143
RG032	Exercise cycle	75	2.2	0.8	3.2	30
	25% of rated load	144	4.1	1.7	6.3	60
	50% of rated load	226	6.4	2.7	10.3	97
	75% of rated load	296	8.4	3.7	13.9	132
	100% of rated load	375	10.6	4.6	17.5	166
RG038	Exercise cycle	83	2.3	0.9	3.2	31
	25% of rated load	162	4.6	1.7	6.6	62
	50% of rated load	255	7.2	2.9	10.8	103
	75% of rated load	345	9.8	4	15	142
	100% of rated load	437	12.4	5.2	19	185
RG048	Exercise cycle	95	2.7	1	3.9	38
	25% of rated load	204	5.8	2.16	8.5	82
	50% of rated load	392	11.1	4.14	15.7	151
	75% of rated load	547	15.5	5.8	22.8	220
	100% of rated load	756	21.5	7.96	31.3	302

**22 • 27 • 32 • 38 • 48 kW**
**ENGINE COOLING**

	22 kW	27 kW	32 & 38 kW	48 kW
Air flow (inlet air including alternator and combustion air in cfm/l/min)	2400/68	2400/68	2200/62.3	4350/123.2
System coolant capacity (gal/liters)	2.5/9.5	2.5/9.5	2.5/9.5	3/11.4
Heat rejection to coolant (BTU per hr/MJ per hr)	92,000/104.5	105,000/110.8	145,000/153	166,000/196.2
Maximum operation air temperature on radiator (°C/°F)	60/150			
Maximum ambient temperature (°C/°F)	50/140			

**COMBUSTION REQUIREMENTS**

Flow at rated power (cfm/l/min)	68/1.9	68/1.9	106/3	163/4.6
---------------------------------	--------	--------	-------	---------

**SOUND EMISSIONS**

Sound output in dB(A) at 23 ft (7 m) with generator in exercise mode*	61	61	58	63
Sound output in dB(A) at 23 ft (7 m) with generator operating at normal load*	70	70	64	68

\*Sound levels are taken from the front of the generator. Sound levels taken from other sides of the generator may be higher depending on installation parameters.

**EXHAUST**

Exhaust flow at rated output (cfm/cm <sup>3</sup> )	165/4.7	180/5.1	300/8.5	414/11.7
Exhaust temperature at muffler outlet (°C/°F)	482/900	538/1000	579/1075	552/1025

**ENGINE PARAMETERS**

Rated Synchronous rpm	1800
-----------------------	------

**POWER ADJUSTMENT FOR AMBIENT CONDITIONS**

Temperature Deration	3% for every 10 °C above 25 °C or 1.65% for every 10 °F above 77 °F
Altitude Deration (22, 27 & 48 kW)	1% for every 100 m above 183 m or 3% for every 1000 ft above 600 ft
Altitude Deration (32 & 38 kW)	1% for every 100 m above 915 m or 3% for every 1000 ft above 3000 ft

**CONTROLLER FEATURES**

Two-Line Plain Text LCD Display	Simple user interface for ease of operation.
Mode Switch: Auto	Automatic Start on Utility failure, 7 day exerciser
Off	Stops unit. Power is removed. Control and charger still operate.
Manual	Start with starter control, unit stays on. If utility fails, transfer to load takes place.
Programmable start delay between 10-30 seconds	10 sec standard
Engine Start Sequence	Cyclic cranking: 16 sec on, 7 rest (90 sec maximum duration)
Engine Warm-up	5 sec
Engine Cool-Down	1 min
Starter Lock-out	Starter cannot re-engage until 5 sec after engine has stopped.
Smart Battery Charger	Standard
Automatic Voltage Regulation with Over and Under Voltage Protection	Standard
Automatic Low Oil Pressure Shutdown	Standard
Overspeed Shutdown	Standard, 72 Hz
High Temperature Shutdown	Standard
Overcrank Protection	Standard
Safety Fused	Standard
Failure to Transfer Protection	Standard
Low Battery Protection	Standard
50 Event Run Log	Standard
Future Set Capable Exerciser	Standard
Incorrect Wiring Protection	Standard
Internal Fault Protection	Standard
Common External Fault Capability	Standard
Governor Failure Protection	Standard