



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD**

**TEMA:**

**Estudio del desempeño de un sistema de climatización  
inverter alimentado con energía fotovoltaica**

**AUTOR:**

**Ing. José María Barrionuevo Acosta**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de  
MAGISTER EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN  
ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**TUTOR:**

**Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar. MSc.**

**Guayaquil, 07 de julio del 2022**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN ELECTRICIDAD  
ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **José María Barrionuevo Acosta**, como requerimiento para la obtención del Título de **Magister en Electricidad Con Mención En Energías Renovables Y Eficiencia Energética**.

### TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar. MSc.**

### DIRECTOR DEL PROGRAMA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar. MSc.**

Guayaquil, 07 de julio del año 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN ELECTRICIDAD  
ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **José María Barrionuevo Acosta**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Estudio del desempeño de un sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica** previo a la obtención del Título de **Magister en Electricidad Con Mención En Energías Renovables Y Eficiencia Energética**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 7 días del mes de julio del año 2022**

**AUTOR:**

---

**Ing. José María Barrionuevo Acosta**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN ELECTRICIDAD  
ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**AUTORIZACION**

Yo, **José María Barrionuevo Acosta**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Estudio del desempeño de un sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 7 días del mes de julio del año 2022**

**AUTOR:**

*José Barrionuevo A.*

---

**Ing. José María Barrionuevo Acosta**

## REPORTE DE URKUND



### Document Information

---

Analyzed document	TT Barrionuevo Jose.pdf (D137236092)
Submitted	2022-05-19T19:29:00.0000000
Submitted by	Celso Bayardo Bohorquez Escobar
Submitter email	celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	celso.bohorquez.ucsg@analysis.urkund.com

Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado “**Estudio del desempeño de un sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica**” del Ingeniero **José María Barrionuevo Acosta**. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 0% de coincidencia.

## **Agradecimientos**

Agradezco primero a Dios que me ha dada buena salud y me ha permitido poder seguir adelante con mis sueños de ser un profesional, ya que este es un anhelo mío y de mi familia, los cuales se sienten muy orgullosos de que yo no me haya rendido.

A mi esposa, que ha sido una gran compañera y consejera en mi vida, que en los momentos más duros me ha acompañado y ayudado tanto a nivel personal como profesional; a mis hijos que son unas de las principales motivaciones por la que quiero seguir mejorando y un futuro cercano ser un ejemplo y motivación para mis hijos, los cuales espero que me superen.

También agradezco a todos los docentes que me han ayudado y enseñado a lo largo de esta carrera, sobre todo al Ing. Bayardo Bohórquez el cual me ha brindado todo su apoyo para poder culminar mi carrera.

## **Dedicatoria**

Durante todos estos años de estudio he recibido el apoyo y fuerza de mi familia en momentos y situaciones difíciles, por lo cual, se lo dedicó a ellos, tanto a mi querida esposa y a mis 2 hijos, ya que junto a ellos he recibido su apoyo incondicional en unión familiar lo que me ha dado fuerzas y motivos para poder seguir adelante y poder culminar los estudios de mi carrera, también se lo dedicó a mis padres que son una parte muy importante de mi vida y me han formado como lo que soy en hoy en día.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO MAESTRIA EN ELECTRICIDAD  
ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar. MSc.**

TUTOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Manuel Romero Paz, MSc.**

REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Diana Bohórquez Heras**

REVISOR

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Celso Bayardo Bohórquez Escobar. MSc.**

DIRECTOR DEL PROGRAMA

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	XIII
RESUMEN .....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención .....	2
1.1 Introducción .....	2
1.2 Justificación del problema a investigar .....	2
1.3 Antecedentes .....	2
1.4 Definición del problema .....	2
1.5 Objetivos .....	3
1.5.1 Objetivo General: .....	3
1.5.2 Objetivos específicos: .....	3
1.6 Hipótesis .....	3
1.7 Metodología de investigación .....	3
Capítulo 2: Fundamentación Teórica .....	5
2.1 Introducción .....	5
2.2 Radiación solar y sus tipos .....	5
2.3 Medición de la radiación solar .....	8
2.4 Radiación solar en Guayaquil / Ecuador .....	10
2.5 Efecto Fotovoltaico .....	12

2.6 Células fotovoltaicas.....	13
2.7 Clases de células fotovoltaicas .....	15
2.7.1 Célula solar de silicio monocristalina .....	17
2.7.2 Célula solar de silicio policristalina .....	18
2.7.3 Célula solar de silicio amorfo .....	19
2.7.4 Célula solar de telurio de cadmio.....	20
2.7.5 Célula solar de tándem.....	21
2.7.6 Comparativa de las células solares .....	22
2.8 Temperatura de funcionamiento nominal de las células solares ....	22
2.9 Módulos solares .....	23
2.10 Efecto de las sombras en un módulo solar.....	25
2.11 Sistemas Fotovoltaicos.....	26
2.12 Elementos de un sistema fotovoltaico .....	28
2.12.1 El regulador de carga.....	28
2.12.2 Batería o acumulador.....	30
2.12.3 Inversor.....	32
2.13 Funcionamiento de los sistemas inverter de climatización .....	35
2.14 Etapa de funcionamiento de un sistema inverter.....	38
2.15 Compresor en un sistema inverter .....	40
2.16 Diferencias entre los sistemas inverter de climatización .....	41
Capítulo 3: Diseño y cálculo del sistema fotovoltaico .....	42

3.1 Introducción.....	42
3.2 Cálculo para el número de paneles solares para el sistema de climatización inverter.....	42
3.3 Cálculo para la selección del regulador de cargas en el sistema fotovoltaico	46
3.4 Cálculo del número de baterías para el sistema fotovoltaico .....	48
3.5 Cálculo para la selección del inversor en el sistema fotovoltaico ...	49
3.6 Costo de la instalación fotovoltaica.....	50
Conclusiones .....	51
Recomendaciones .....	52
Referencias Bibliográficas .....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Radiación solar del día 30/04/2021 al 14/05/2021 en Guayaquil .....	12
Tabla 2.2: Tipos de regulares de carga .....	29
Tabla 3.1: Características del panel solar monocristalino .....	44
Tabla 3.2: Características del regulador de carga .....	47
Tabla 3.3: Características de la batería .....	48
Tabla 3.4: Características del Inversor .....	50
Tabla 3.5: Cotización de los materiales para el sistema fotovoltaico .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Elementos de la radiación solar .....	7
Figura 2.2: Cantidad de radiación a nivel mundial .....	7
Figura 2.3: Espectro de la radiación solar, global horizontal y de un cuerpo negro.....	8
Figura 2.4: Instrumentos para la medición de los distintos tipos de radiación .....	9
Figura 2.5: Mapa de radiación solar en el Ecuador.....	10
Figura 2.6: Gráfica de generación solar en el año 2020 en Guayaquil ....	11
Figura 2.7: Trayectoria de la radiación solar en Guayaquil.....	11
Figura 2.8: Promedio mensual de la radiación solar en el 2020 en Guayaquil .....	12
Figura 2.9: Funcionamiento del efecto fotovoltaico .....	13
Figura 2.10: Elementos de la célula fotovoltaica o célula solar.....	15
Figura 2.11: Comparación de las células solares de película delgada vs células solares de silicio cristalino .....	17
Figura 2.12: Célula solar de silicio monocristalina .....	18
Figura 2.13: Célula solar de silicio policristalina .....	19
Figura 2.14: Célula solar de silicio amorfo .....	20
Figura 2.15: Célula solar de telurio de cadmio.....	21
Figura 2.16: Célula solar de tándem o de multiunión.....	21
Figura 2.17: Rendimiento de las células solares vs la temperatura .....	22
Figura 2.18: Elementos de un módulo solar .....	24
Figura 2.19: Sobrecalentamiento de un módulo solar.....	25
Figura 2.20: Forma y funcionamiento de un diodo ante una sombra .....	26

Figura 2.21: Sistema Fotovoltaico.....	27
Figura 2.22: Conexión de un regulador de carga y descarga en un sistema fotovoltaico.....	28
Figura 2.23: Batería o acumulador de plomo.....	31
Figura 2.24: Instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica.....	32
Figura 2.25: Instalación fotovoltaica autónoma con inversor.....	33
Figura 2.26: Tipos de inversores.....	35
Figura 2.27: Funcionamiento de un sistema de climatización inverter vs no inverter.....	37
Figura 2.28: Etiqueta energética de un aire acondicionado inverter Fujitsu.....	38
Figura 2.29: Compresor tipo brushless.....	40
Figura 3.1: Split de alta eficiencia energética modelo SMC de 12000 BTU.....	43
Figura 3.2: Panel solar Monocristalino negro de 375 Wp.....	43
Figura 3.3: Regulador de Carga de 100 <sup>a</sup> .....	47
Figura 3.4: Batería de Litio Ion de 24 VDC / 100Ah.....	48
Figura 3.5: Inversor de 1500 W.....	49

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica de un sistema de climatización inverter vs uno no inverter.....	58
Anexo 2: Ficha técnica de Panel solar Monocristalino de 375 Wp	59
Anexo 3: Ficha técnica del Inversor de Onda pura senoidal .....	60
Anexo 4: Ficha técnica de la batería .....	61

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación se presenta una propuesta de diseño de sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica para un local de servicio de pequeña capacidad en la ciudad de Guayaquil, que permita una reducción del consumo de energía eléctrica proporcionado por el país. El objetivo principal contempla en obtener los indicadores de desempeño fundamentales de un sistema de climatización inverter, alimentado con fuentes renovables de energía (energía fotovoltaica), para diferentes condiciones de operación y parámetros de radiación solar, para posibilitar el uso de esta (Fre). La metodología por usar es la de observación documental y científica, la cual se la aplica con la finalidad de adquirir información y obtener la definición del incertidumbre o problema del marco teórico y el posterior desarrollo de la tesis. Finalmente se empleó la metodología analítica, con la finalidad de indagar los elementos de forma independiente para observar las respectivas correspondencias entre ellos.

**PALABRAS CLAVES:** Radiación solar, Paneles solares, Células fotovoltaicas, Sistemas de climatización inverter, Módulos solares.

## **ABSTRACT**

The present titling work presents a design proposal for an inverter air conditioning system powered by photovoltaic energy for a small capacity service location in the city of Guayaquil, which allows a reduction in the consumption of electrical energy provided by the country. The main objective is to obtain the fundamental performance indicators of an inverter air conditioning system, powered by renewable energy sources (photovoltaic energy), for different operating conditions and solar radiation parameters, to enable its use (Fre). The methodology to be used is that of documentary and scientific observation, which is applied to acquire information and obtain the definition of the uncertainty or problem of the theoretical framework and the subsequent development of the thesis. Finally, the analytical methodology was used, to investigate the elements independently to observe the respective correspondences between them.

**KEY WORDS:** Solar radiation, Solar panels, Photovoltaic cells, Inverter air conditioning systems, Solar modules.

# **Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención**

## **1.1 Introducción**

La energía solar es una de las energías renovables más utilizadas en la actualidad por su bajo índice de contaminación, reducción del consumo de energía eléctrica y por ende un ahorro económico en su facturación, por lo cual será implementado para la alimentación de un sistema de climatización inverter en una oficina de dimensiones de 6x7 metros ubicada en la ciudad de Guayaquil.

## **1.2 Justificación del problema a investigar**

Los sistemas de climatización no inverter generan un elevado consumo de energía eléctrica y por ende un valor económico elevado en la actualidad.

## **1.3 Antecedentes**

Se conoce del uso de energías renovables para la alimentación de distintos dispositivos y también el uso de la tecnología inverter que permite reducir aún más el consumo eléctrico.

## **1.4 Definición del problema**

El uso de la tecnología no inverter no es factible hoy en día, ya que posee una mala gestión y eficiencia del consumo eléctrico, generando elevadas facturaciones del servicio eléctrico proporcionado por el país, por lo cual se busca el uso de tecnologías y energías que permitan solucionar esta problemática.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General:**

Obtener los indicadores de desempeño fundamentales de un sistema de climatización inverter, alimentado con fuentes renovables de energía (energía fotovoltaica), para diferentes condiciones de operación y parámetros de radiación solar, para posibilitar el uso de esta (Fre).

### **1.5.2 Objetivos específicos:**

- ✓ Caracterizar el comportamiento del estado de radiación solar en Guayaquil.
- ✓ Describir el estado del arte en las tecnologías de climatización con sistemas inverter.
- ✓ Implementar un sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica para un local de servicio de pequeña capacidad.
- ✓ Determinar el coeficiente de desempeño (COP) y la razón de eficiencia energética para diferentes condiciones de radiación solar y de operación del sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica (Fre).

## **1.6 Hipótesis**

Si se implementa este sistema de energía fotovoltaica junto a los sistemas inverter de climatización se obtendrá un resultado favorable en la disminución del consumo eléctrico dando como resultado una baja en la facturación de este servicio y se validará la instalación de este sistema en distintos entornos.

## **1.7 Metodología de investigación**

- Método de observación documental y científica: Se lo aplica con la finalidad de adquirir información y obtener la definición de la

incertidumbre o problema del marco teórico y el posterior desarrollo de la tesis.

- Método analítico: Se lo aplica con la finalidad de indagar los elementos de forma independiente para observar las respectivas correspondencias entre ellos.

## **Capítulo 2: Fundamentación Teórica**

### **2.1 Introducción**

Debido a los altos costos de facturación de energía eléctrica que implica el uso de un sistema de aire acondicionado no inverter en una oficina de 6x7 metros, se hace necesaria, la indagación e implementación de un sistema fotovoltaico, el cual permitirá ahorrar de manera eficiente el alto consumo eléctrico y a su vez la implementación de un sistema inverter de climatización el cual permita disminuir aún más el valor económico de la factura de energía eléctrica.

### **2.2 Radiación solar y sus tipos**

Es la energía expulsada por una estrella enorme denominada sol, la cual se extiende por todos los sentidos o direcciones, por medio del espacio a través de las ondas electromagnéticas representada con las siglas OEM; dicha energía es suministrada a través de la fusión nuclear del sol. Este tipo de radiaciones pueden ser determinadas y denotadas en unidades de irradiación, dicha unidad es la potencia por unidad de superficie. Una peculiaridad de la radiación es que su energía puede transferirse por el vacío, lo que le permite traspasar el espacio.

El porcentaje de radiación solar que arriba a la Tierra, está sujeta a distintas condiciones tales como la distancia existente entre el Sol y el planeta Tierra, el ángulo en el que ingresa la radiación al planeta y también los movimientos de la Tierra, tales como la traslación y rotación.

Dichas radiaciones electromagnéticas se crean a partir de la oscilación de una carga eléctrica, cuando estas arriban al planeta Tierra, se calcula que aproximadamente el 50% llegan a ingresar a la superficie del planeta, ya sean dispersas o de forma directa, el otro porcentaje pasa a perderse por el espacio y a ser dispersado o consumido por los elementos

del planeta; dentro de los componentes de la atmosfera, uno de los más importantes es el ozono ya que absorbe la radiación. La atmosfera capta una porción de energía solar igual a 1,3671 W/m<sup>2</sup>, este factor se lo denomina como constante solar y a la vez este se presenta en formas distintas tales como:

- 1. Radiación Solar Directa:** Este tipo de radiación que procede del sol de forma directa es decir no tiene ningún cambio de sentido o dirección.
- 2. Radiación Solar Difusa:** Es aquella radiación cuyo porcentaje de energía cae sobre la superficie de la atmosfera, lo cual genera la dispersión de una fracción de la radiación generada por el sol. Dicha energía equivale aproximadamente al 15.0001% de la radiación del planeta en los días más claros, sin embargo, en los días nublados la radiación solar directa es muy inferior, por lo tanto, la radiación solar difusa abarca un valor mucho más alto.
- 3. Radiación Solar Reflejada:** Es la radiación solar orientada hacia la parte superior, después de haber sido reflejada por la atmosfera y superficie terrestre. El porcentaje de radiación varía dependiendo del coeficiente de reflexión.
- 4. Radiación Solar Global:** Es como su nombre lo indica la radiación total. La cual se basa en la sumatoria de las 3 radiaciones previamente mencionadas. Cuando el día esta soleado, la radiación directa predomina por encima de la radiación difusa; sin embargo, cuando los días pasan a ser opacos no existe la radiación directa, por lo tanto, la radiación total abarcada es difusa. La radiación solar global se la expresaría como: radiación directa (Q) + la radiación difusa (q) (Arreola Gómez et al., 2015).



Figura 2.1: Elementos de la radiación solar  
Fuente: (Arreola Gómez et al., 2015)

En el momento que la atmosfera presenta una carga de moléculas provenientes del vapor de agua tales como las nubes, su dispersión y reflexión serán elevados, provocando que el grupo de radiaciones del espectro electromagnético cambie su color a uno más blanquecino del original del cielo que suele ser de color azul.

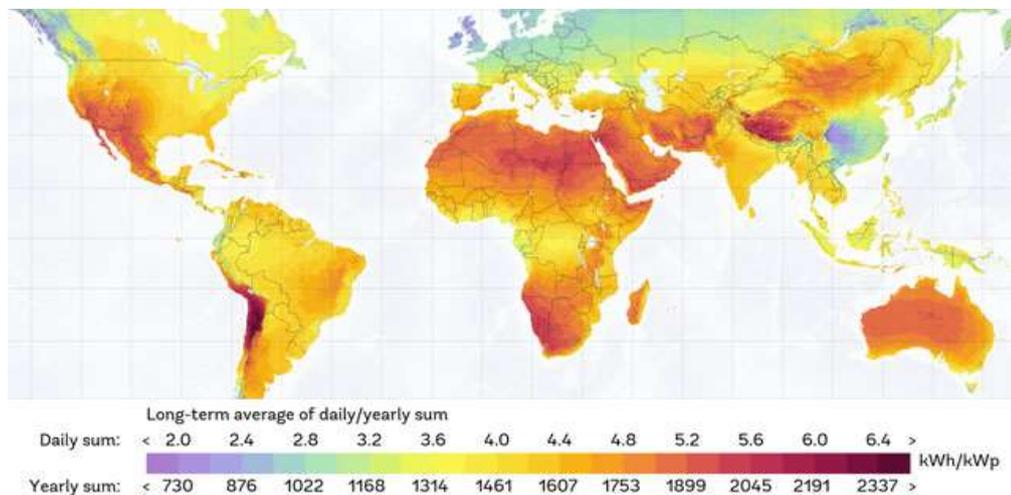


Figura 2.2: Cantidad de radiación a nivel mundial  
Fuente: (Arreola Gómez et al., 2015)

El uso de la energía solar está sujeto a limitaciones tales como la intensidad de la radiación que llegue al planeta. Dicha radiación cambia

dependiendo la longitud y la latitud, la estación del tiempo, la hora y sobre todo los cambios climáticos. El porcentaje de irradiación es distinta, en cada parte del mundo como se muestra en la figura 2.2.

### 2.3 Medición de la radiación solar

La radiación que desprende el sol se divide en un vasto espectro longitudinal de onda, como se muestra en la figura 2.3, el mayor porcentaje de energía abarcaría dentro del rango de  $0.2 \mu\text{m}$  a  $0.3 \mu\text{m}$ ; cuyo dimensionamiento espectral es muy semejante al de un radiador integral. Aproximadamente el porcentaje de energía que se halla en la banda visible (comprendido dentro del rango de  $0.39 \mu\text{m}$  a  $0.77 \mu\text{m}$ ) es del 50%. El otro porcentaje casi en su totalidad abarcaría a la radiación infrarroja, y su parte faltante en pequeña cantidad sería la radiación ultravioleta.

Dicha división espectral de la radiación ha estado sujeta a una enorme cantidad de indagadores, dando lugar a distintas propuestas; dentro de las cuales destacan las propuestas de la matemática Katherine Johnson y de Matthew Thekaekara provenientes de la NASA y por parte del WRC los investigadores Claus Fröhlich y Christoph Wehrli.

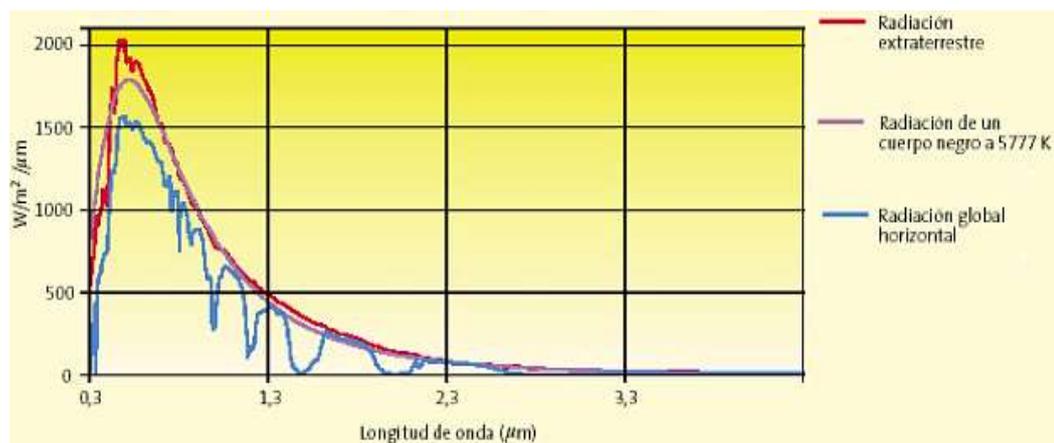


Figura 2.3: Espectro de la radiación solar, global horizontal y de un cuerpo negro  
Fuente: (Revelo & Gustavo, 2018)

La radiación solar es medida a través del uso de instrumentos singulares o especializados conocidos con el nombre de radiómetros. En la

actualidad se encuentran distintos tipos de radiómetros, ya que su utilización dependerá del tipo de radiación que se desee medir o calcular (Quintero Santana & Rodríguez, 2020).

La radiación global es medida normalmente en una superficie horizontal a través de un instrumento especializado conocido como piranómetro, el cual consta de una banda sombreadora o caso contrario de un disco, cuya función es eludir la visualización del disco solar en su trayectoria constante. El funcionamiento en gran parte de estos instrumentos se lo realiza a través de un cálculo, el cual consiste en la diferencia de temperaturas presentes entre 2 superficies, una de color negro y el otro blanco, las cuales se encuentran recluidas en una cámara de vidrio con una forma semejante a la de una semiesfera.

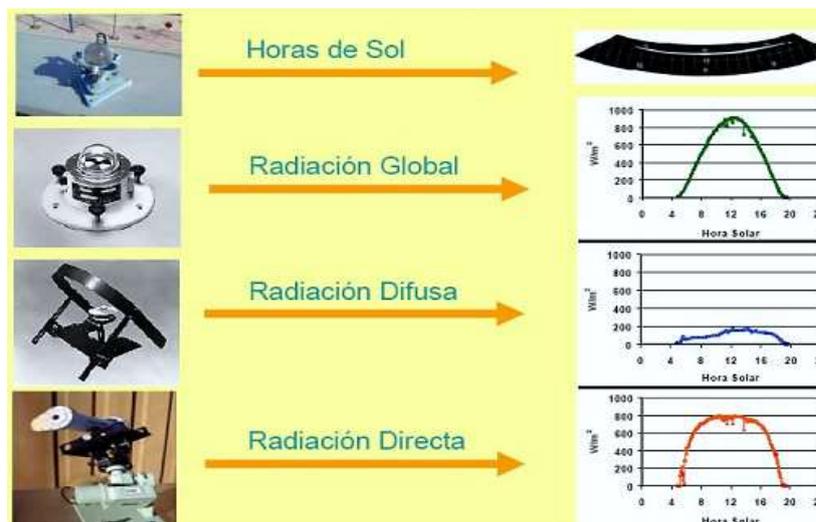


Figura 2.4: Instrumentos para la medición de los distintos tipos de radiación  
Fuente: (Revelo & Gustavo, 2018)

Mientras que en el caso de la radiación directa, esta es medida en una superficie común a los rayos del sol, a través del instrumento conocido como pirheliómetro, su funcionamiento es semejante a los piranómetros previamente mencionados, para poder calcular la irradiancia solar este instrumento convierte el calor generado por la luz del sol a una señal eléctrica, para que posteriormente dicho valor que arroje sea convertido

mediante una fórmula matemática a vatios por metro<sup>2</sup> (Revelo & Gustavo, 2018).

## 2.4 Radiación solar en Guayaquil / Ecuador

El Ecuador es un país situado en la línea equinoccial al oeste del meridiano de Greenwich, al noroeste de Sudamérica, al estar asentado en esta ubicación tendrá leves alteraciones en el direccionamiento del sol a lo largo del año, lo que generará un mejor porcentaje de energía solar, el cual será convertido en energía eléctrica, ya que el Ecuador es uno de los países con mejor porcentaje de radiación solar.

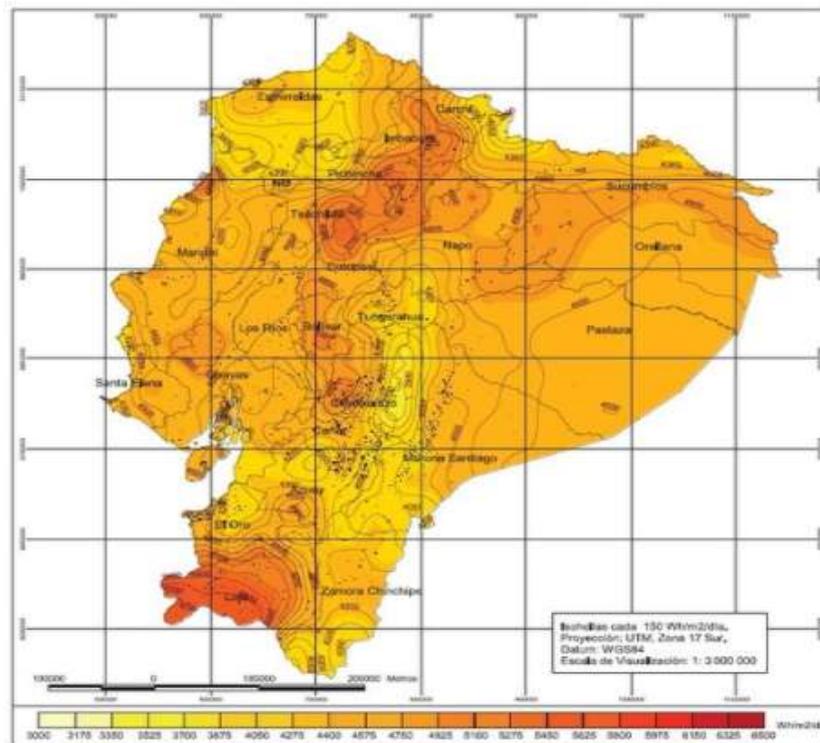


Figura 2.5: Mapa de radiación solar en el Ecuador  
Fuente: (Cabrera et al., 2019)

Tomando como base lo previamente mencionado, se realizó un análisis a través de la página web <https://www.enair.es/es/app> para determinar la radiación solar del 2020 en Guayaquil / Ecuador la cual fue de 3.1kWh / día, teniendo en cuenta que las variaciones de las estaciones del clima generaron dicho promedio como se observa en la figura 2.6. y a su

vez se utilizó la página web ofrecida por Suncalc, la cual permite determinar la trayectoria de la radiación solar que incide en Guayaquil según se muestra en la figura 2.7, la cual indica que para tener el mejor aprovechamiento de la energía solar se deberá colocar los colectores a un ángulo aproximado de 15° (Cabrera et al., 2019).

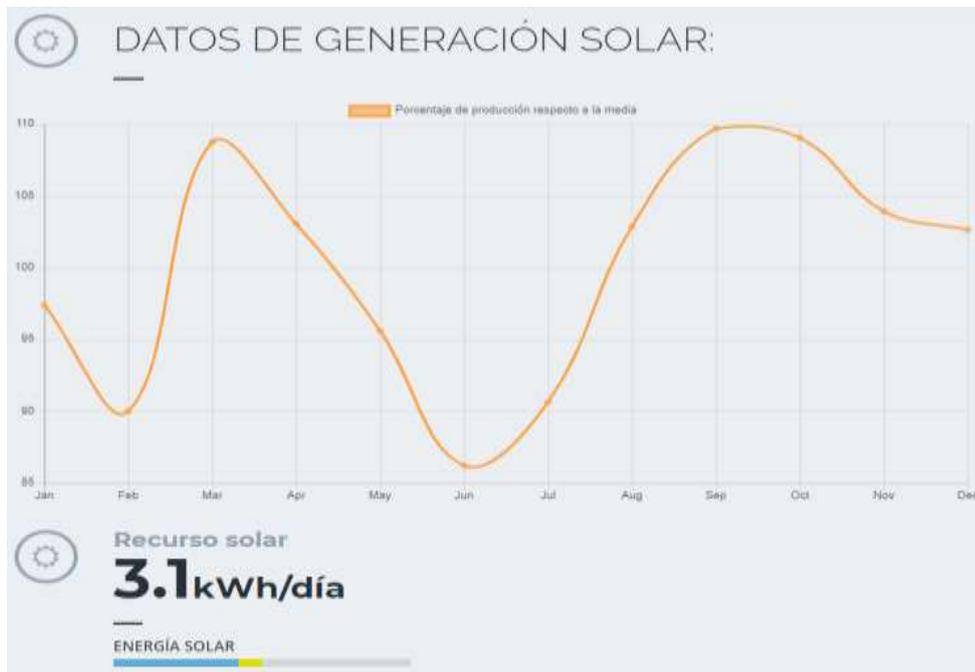


Figura 2.6: Gráfica de generación solar en el año 2020 en Guayaquil  
Fuente: (Estimación de producción eólica y solar, 2020)

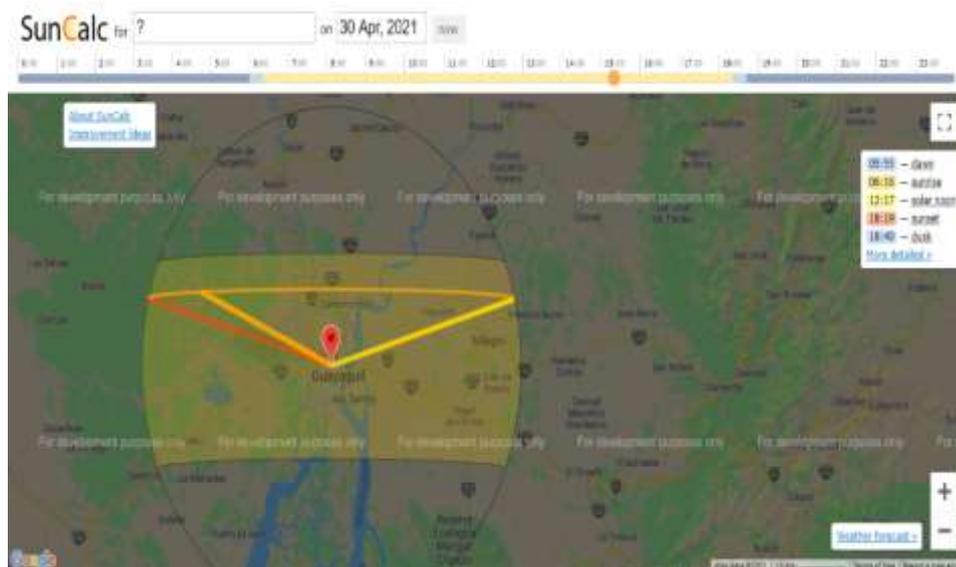


Figura 2.7: Trayectoria de la radiación solar en Guayaquil  
Fuente: (SunCalc, 2021)

Producción solar							
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul
kWh/month	92.0	85.1	102.8	97.4	90.3	81.5	85.7
kWh/day	2.97	3.01	3.32	3.25	2.91	2.72	2.76
	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average	Anual
kWh/month	97.2	103.7	103.1	98.2	97.0	94.5	1134kWh/year
kWh/day	3.14	3.46	3.33	3.27	3.13	3.1	

Figura 2.8: Promedio mensual de la radiación solar en el 2020 en Guayaquil  
Fuente: Fuente: (Estimación de producción eólica y solar, 2020)

Tabla 2.1: Radiación solar del día 30/04/2021 al 14/05/2021 en Guayaquil

Radiación Solar del 30/04/2021 al 14/05/2021 en Guayaquil/Ecuador W/m <sup>2</sup>	
Latitud y longitud	-2.19616 S , -79.88621 W
30/04/2021	2556
01/05/2021	1992
02/05/2021	5137
03/05/2021	3991
04/05/2021	3810
05/05/2021	4565
06/05/2021	5221
07/05/2021	5196
08/05/2021	2949
09/05/2021	3264
10/05/2021	4184
11/05/2021	6640
12/05/2021	6602
13/05/2021	6554
14/05/2021	5858

Fuente: (Radiación solar en Guayaquil (Ecuador), 2022)

## 2.5 Efecto Fotovoltaico

Este tipo de efecto se lo obtiene a través de conversión de la energía solar en energía eléctrica, dada por la participación de los módulos fotovoltaicos, como se muestra en la figura 2.9, su funcionamiento básicamente consiste en que los rayos de luz que inciden hacen que los electrones se desplacen de su posición original y a su vez estos generen la energía eléctrica; cabe destacar que solo los fotones que sean absorbidos serán capaces de generar energía eléctrica. Se lo caracteriza como un tipo de energía renovable ya que esta no genera contaminación, a la cual se le

atribuye el nombre de energía verde o también llamada energía limpia. La potencia que se produce cambia dependiendo el día, ya que los distintos cambios por los que pasa la atmosfera y su latitud lo generan. Se puede asegurar que en situaciones óptimas o correctas la cantidad de irradiación estimada sería de  $1000 \text{ W/m}^2$  en la superficie del planeta Tierra, dicha potencia se la conoce con el nombre de irradiancia (Gonzabay & Carlos, 2017).

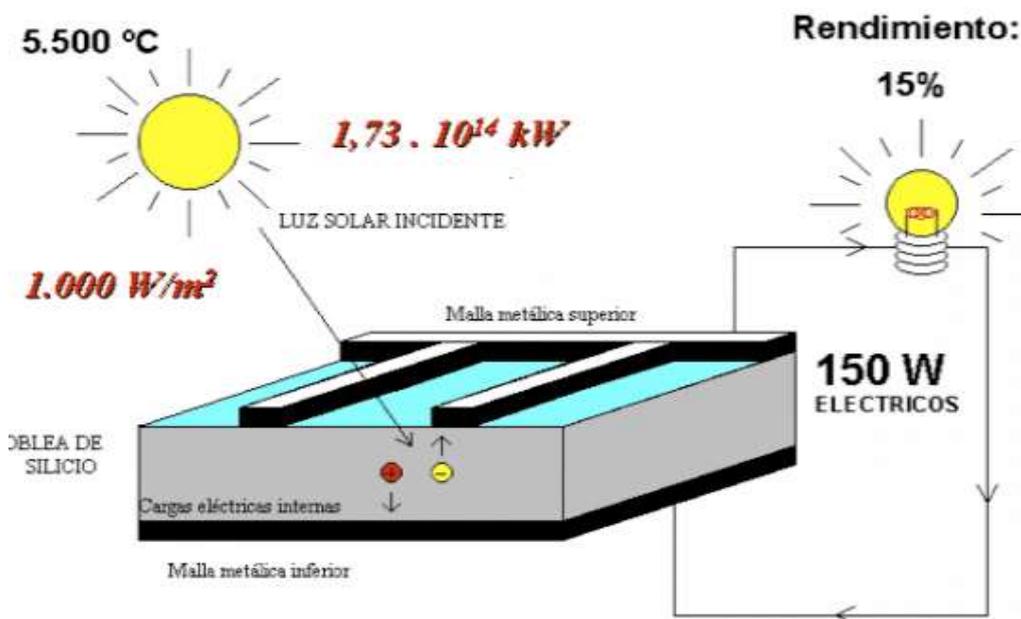


Figura 2.9: Funcionamiento del efecto fotovoltaico  
Fuente: (Gonzabay & Carlos, 2017)

## 2.6 Células fotovoltaicas

Este tipo de componentes son los encargados de generar energía eléctrica a través de la luz solar que arriba sobre la superficie del dispositivo.

Las celdas solares reciben el nombre de baterías solares o también como fotopilas, las cuales en su inicio fueron desarrolladas para el ámbito espacial, tales como la alimentación de pequeños componentes, que no demanden un consumo eléctrico elevado; su primer resultado fue percibido en un material conocido como metal de selenio en el año de 1877, las

células fotovoltaicas normalmente se las encuentra construidas de silicio cristalino, ya que este tipo de material pertenece a los semiconductores por sus características que están entre los materiales aislantes y conductores, estos tipos de materiales son ajustados de forma particular para poder lograr 2 capas dopadas distintas, de las cuales una será de tipo p y n, dado que entre ellas se formará un campo eléctrico, una de las capas será negativa y la otra positiva, como se ilustra en la figura 2.10.

Aparte de las capas mencionadas también consta de una malla metálica la cual se encargará de recoger los electrones, este tipo de celda solar esta encapsulada por un material de vidrio el cual evitará alguna fuga y sobre todo protegerá a los elementos de la célula fotovoltaica y a su vez el dispositivo se encuentra cubierto con una capa que le permite mejorar su eficiencia de absorción para poder captar una mayor cantidad de fotones entregados por la luz solar.

Dicha célula solar tiene alrededor del 15 al 18% de eficacia en poder transformar la luz que recibe en energía eléctrica en la actualidad y su precio ha descendido considerablemente, lo cual lo hace accesible al público en general.

Existen distintos tipos de construcción de las células fotovoltaicas tales como el telurio de cadmio, el seleniuro de cobre, entre otros más; cabe destacar que en estos últimos años se ha propuesto el uso de distintos materiales semiconductores tales como el dióxido de Titanio, el cual tiene un costo sumamente inferior a los actuales y su método de producción es accesible ya que se encuentra en pinturas, papeles, etc.

El único inconveniente de este material que no permite que salga al mercado es su poca sensibilidad, ya que este solo reacciona a la banda ultravioleta de la luz solar, lo cual genera que su porcentaje de eficiencia sea aproximadamente del 7%, lo que en comparación a los actuales es casi una tercera parte, lo que lo hace muy inferior en términos de eficiencia, pero ante tal inconveniente los científicos han desarrollado y propuesto el uso

de tintes sensibilizadores, lo que permite mejorar su porcentaje de eficiencia y de esta manera en un futuro poder utilizar dicha tecnología para la población en general.

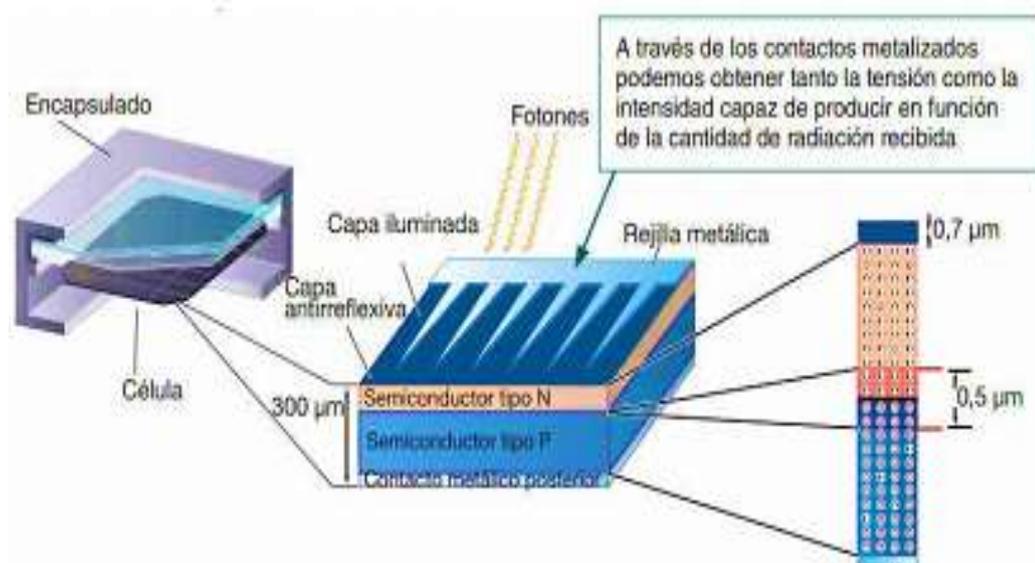


Figura 2.10: Elementos de la célula fotovoltaica o célula solar  
Fuente: (Fraga, 2017)

El silicio utilizado para la creación de las células fotovoltaicas es limitado, ya que no se lo halla en su estado totalmente puro, por lo cual se lo extrae a través de materiales de estado compuesto, tales como el óxido de silicio que se lo ubica en la arena (Fraga, 2017).

## 2.7 Clases de células fotovoltaicas

En base a las distintas clases de células solares se encontrará varios modelos en la creación de módulos fotovoltaicos, los cuales se centrarán en dos partes:

- 1. Las células solares de silicio cristalino:** están creadas a base de silicio principalmente, estas no se las pueden hallar en un estado totalmente puro, sino combinadas con el oxígeno lo que genera la creación del dióxido de silicio. Si se desea conseguir el silicio en su estado totalmente puro, se tiene que extraer el oxígeno del dióxido de

silicio a través de distintos métodos, de los cuales destaca el uso de polvo de carbono mezclado con arena de cuarzo los cuales serán fundidos para poder conseguir al silicio en un estado de pureza cercano al 98%, sin embargo dicho porcentaje todavía no es lo suficientemente puro para el ámbito tecnológico, por lo cual se procede a un realizar una serie de procesos extras, los cuales consisten en mezclar el silicio al 98% junto al gas clorhídrico para luego colocarlos dentro de un horno a 31°C, después de esto se realizarán una serie de destilaciones y se lo mezclará junto al hidrogeno a una temperatura de 1000°C y así finalmente poder obtener el silicio en su estado más puro posible, para después ser utilizado en distintos componentes tales como las células solares policristalinas o las células solares monocristalinas (Calero Fuentes, 2020).

- 2. Las células solares de película delgada:** su punto de mayor auge fue a mediados de los años 90, este dispositivo se compone de una capa de vidrio en la mayoría de los casos, la cual se encuentra recubierta con una capa sumamente delgada de un material semiconductor (silicio amorfo) encargado de generar una sensibilidad a la radiación solar, debido a que dichos materiales son óptimos en la absorción de radiación solar, su grosor recomendado debería ser de 0,001 mm para dar lugar a la conversión de radiación solar a energía eléctrica, la temperatura necesaria para la creación de estas células solares es 250 a 500°C en comparación a la temperatura de las células solares de silicio cristalino la cuales necesitan de aproximadamente 1500°C; debido a estos factores y su ínfimo consumo eléctrico este tipo de dispositivos son mejores ya que su costo económico será sumamente bajo en comparación al anterior dispositivo mencionado.

Unas de las principales diferencias entre las 2 células solares mencionadas es su forma, ya que las células solares de silicio cristalino suelen estar sujetas a medidas obleas, mientras que las células solares de película delgada están compuestas de sustrato por lo cual pueden adquirir cualquier forma dependiendo del usuario, para después ser recubierta con

su capa de material semiconductor, por lo general la forma más utilizada es la rectangular, ya que estas solo se pueden conmutar (conexión interna), siempre y cuando sean de la misma medida, las células de silicio son conectadas en conexión externa, cabe destacar que su rendimiento con relación a la temperatura es inferior comparada a la célula solar de película delgada (Cucaita, 2017).

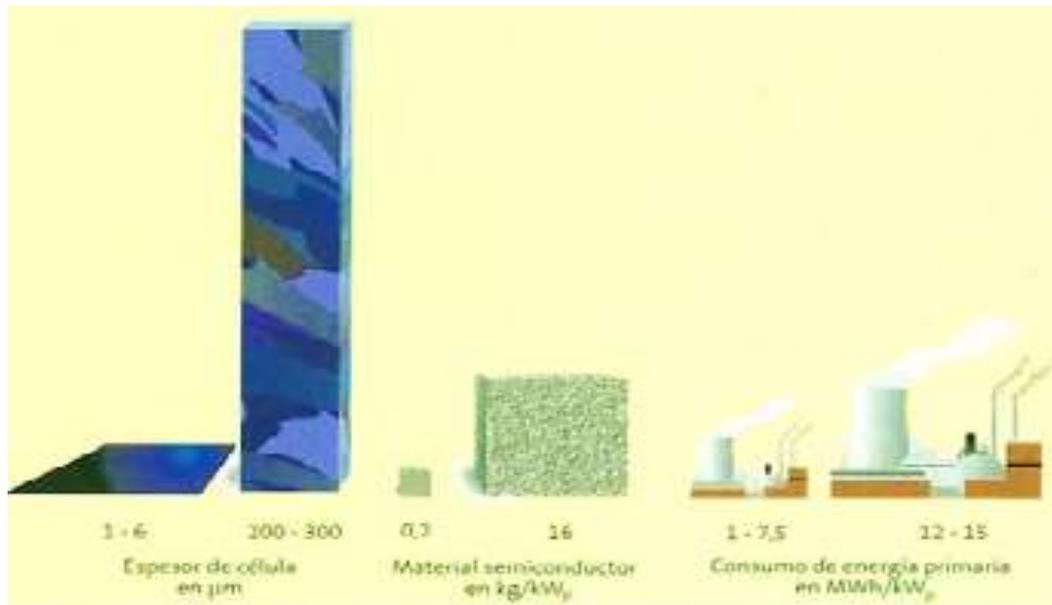


Figura 2.11: Comparación de las células solares de película delgada vs células solares de silicio cristalino  
Fuente: (Cucaita, 2017)

### 2.7.1 Célula solar de silicio monocristalina

Este tipo de célula solar es creada a partir del método de Czochralski, el cual se basa en el uso de un crisol, el primer paso consiste en utilizar técnicas de enfriamiento para el silicio que está en etapa de fundición para después obtener un cristal de bastas dimensiones, una vez que esté totalmente enfriado se procede a cortar en finas capas de un grosor aproximado de 0.3mm lo que dará lugar a la creación de dichas celdas, la eficiencia que ofrecen este tipo de células a través del método mencionado es alrededor del 15 a 18%. El color de este tipo de células normalmente es de una tonalidad azul oscura como se muestra en la figura 2.12.

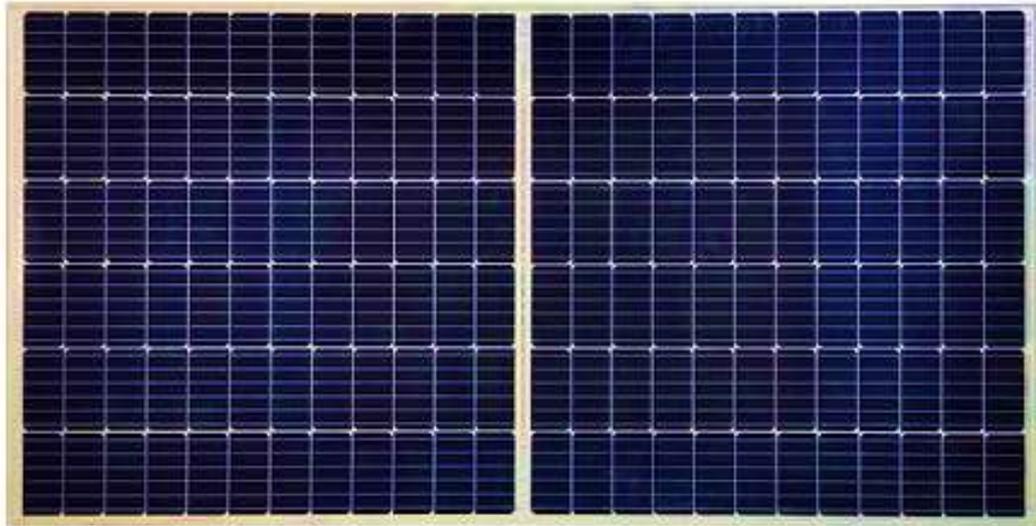


Figura 2.12: Célula solar de silicio monocristalina  
Fuente: (Redondo Llano, 2016)

En la actualidad existente distintos tipos de métodos para la creación de las células solares de silicio monocristalinas, entre ellos destaca el método de fases líquidas el cual permite extraer en mayor porcentaje de pureza y eficiencia el silicio monocristalino, sin embargo el costo del material asciende de manera sustancial, lo cual lo hace poco sustentable, por lo que sigue utilizando el método de Czochralski (Redondo Llano, 2016).

### **2.7.2 Célula solar de silicio policristalina**

Este tipo de célula solar se da a partir de la fundición del silicio a una temperatura aproximada de  $1500^{\circ}\text{C}$ , el cual es puesto al vacío para después ser colocado en un molde de aspecto cuadrado con unas dimensiones de  $40 \times 40 \times 30$  cm, una vez se enfría el material se procede a realizar los cortes en capas delgadas de 0.30 mm de grosor se obtendrá las células solares mencionadas, su eficiencia es aproximadamente del 13-15%, lo cual en comparación a las células solares de silicio monocristalino es menor, otro inconveniente es que en condiciones de poca iluminación su eficiencia es muy inferior, pero su método de producción es mucho más económico, dando como resultado un menor precio de dicha célula solar frente a la célula solar de silicio monocristalina; las tonalidades de esta

célula solar no suelen ser uniformes sino de distintos tonos de azul como se muestra en la figura 2.13 (Jodlowski, 2018).

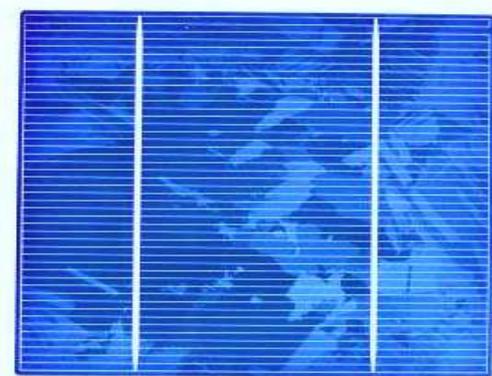


Figura 2.13: Célula solar de silicio policristalina  
Fuente: (Jodlowski, 2018)

### 2.7.3 Célula solar de silicio amorfo

Este tipo de célula solar poseen una red desarreglada que no conforma ningún tipo de estructura, la cual se basa en la ubicación de una capa delgada de silicio no cristalizado en distintos tipos de superficies; este tipo de células solares son caracterizadas por su enorme flexibilidad atribuida a su naturaleza amorfa ya que las planchas que lo recubren suelen ser de plástico o metal, el inconveniente de este tipo de células solares es que su rendimiento y eficiencia son sumamente inferiores a las demás células solares mencionadas, ya que su porcentaje está entre el 5-8%.

Con el pasar de los meses estas celdas solares irán perdiendo cada vez más su potencia por defecto de la propia radiación solar que reciben, este efecto es conocido como Staebler Wronski, el cambio más abrupto de esta pérdida de potencia se da a en los primeros meses, para después ir estabilizándose dicho margen de perdida; en los últimos años se han logrado distintos métodos para prolongar el tiempo de vida de estas células solares, en la figura 2.14 se observa la forma de la célula solar mencionada (Rodríguez & Domingo, 2015).



Figura 2.14: Célula solar de silicio amorfo  
Fuente: (Rodríguez & Domingo, 2015)

#### **2.7.4 Célula solar de telurio de cadmio**

Este tipo de células solares son hechas a base de telurio de cadmio a través de un sustrato, el cual normalmente es obtenido por medio del óxido de estaño, los métodos de elaboración usados son: la serigrafía o el spray, cuando se desean hacer módulos de un tamaño elevado se procede a realizar otro método, de los cuales destaca la evaporación, que consiste en mantener alejados el sustrato de la fuente de vapor dentro de una cámara de vacío a una temperatura cercana a los 700°C.

El principal problema de estas células solares es que su proceso de elaboración es mucho más perjudicial para el medio ambiente y sobre todo la salud, ya que su composición se basa en cadmio lo cual es peligroso cuando está en su estado gaseoso, por estos motivos se toman muchas medidas de seguridad para su elaboración, en los últimos años se han creado nuevas medidas que reducen este riesgo; la potencia entregada por estas células solares es aproximadamente del 6-9%, lo cual en comparación a las células solares de silicio monocristalina son básicamente la mitad de eficiencia, en la figura 2.15 se muestra la célula solar de telurio de cadmio (Herriega Serna, 2018).



Figura 2.15: Célula solar de telurio de cadmio  
Fuente: (Herriega Serna, 2018)

### 2.7.5 Célula solar de tándem

Este tipo de célula solar es creada a partir de la unión de 2 células, es decir de una capa fina de silicio no cristalizado y la otra capa de silicio cristalino, cuyas células solares son conectadas en serie (las cuales son más sencillas de fabricar) o conectadas de forma independiente, estas capas son ajustadas para obtener la máxima eficiencia con el espectro de la radiación solar que incide sobre la célula.

Este valor de eficiencia llega en su punto máximo hasta un 47% en ciertas condiciones de laboratorio pero en condiciones normales su porcentaje es del 43%, lo cual supera en gran medida el rendimiento de las demás células solares mencionadas, en la figura 2.16 se muestra la estructura de la célula solar de tándem (Pera et al., 2020).

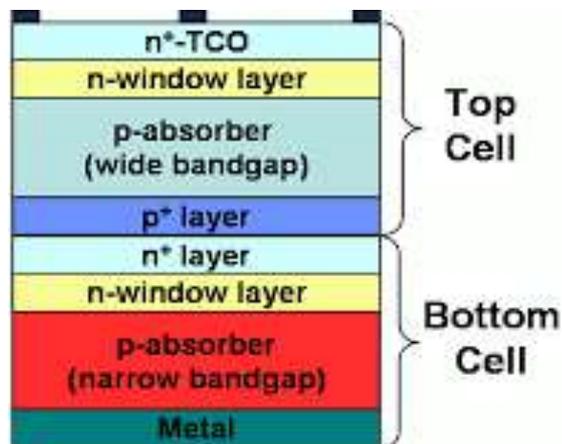


Figura 2.16: Célula solar de tándem o de multiunión  
Fuente: (Pera et al., 2020)

## 2.7.6 Comparativa de las células solares

Según se ha mostrado las células solares con mayor eficiencia y beneficio son las células solares de silicio policristalinas, ya que están son adaptables a espacios determinados, su costo y elaboración no son tan superiores comparadas a las demás células y por opuesto las células solares de película fina tienen un rendimiento muy inferior pero su costo de elaboración es menor, por lo cual el precio al público es mucho más accesible en comparación a las células de silicio cristalino.

## 2.8 Temperatura de funcionamiento nominal de las células solares

El rango de temperatura ambiente que deben operar las células solares es aproximadamente de 25 °C, con una distribución del espectro cercana a los 1,5 F AM, un aumento de temperatura puede generar distintos resultados tales como que si se sobrepasa su margen de tolerancia su rendimiento se verá totalmente afectado lo cual generará un descenso en su factor, su voltaje de circuito abierto será decrementado, pero su intensidad se verá levemente incrementada, pero si esta temperatura está dentro del rango de tolerancia de la célula solar el voltaje de salida será mucho mayor, como se muestra en la figura 2.17.

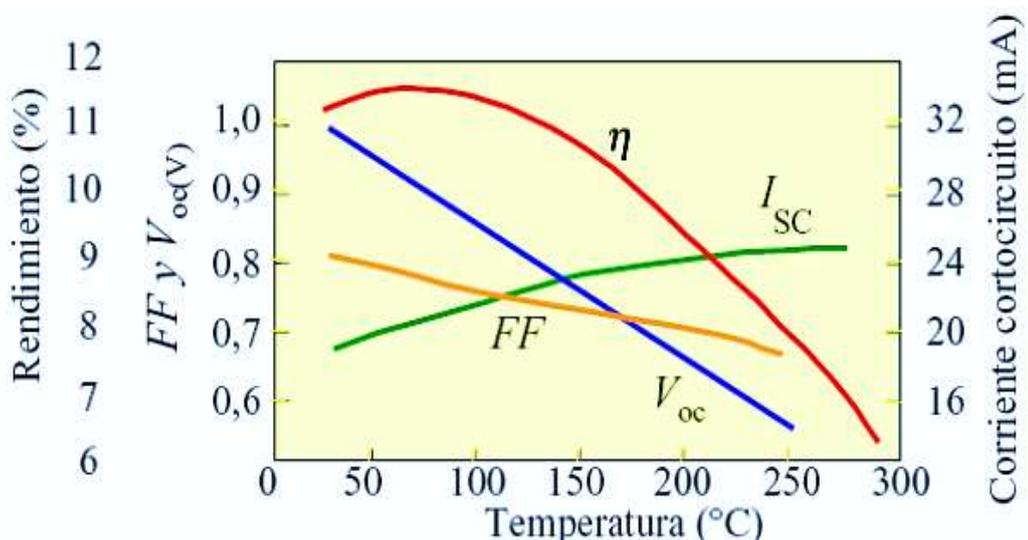


Figura 2.17: Rendimiento de las células solares vs la temperatura  
Fuente: (Mendizabal Arrillaga, 2018)

En la actualidad se han realizado una serie de experimentos con distintos materiales que ayuden a estabilizar o decrementar la temperatura de las células solares y así poder extender su vida, de los cuales el que ha presentado mejores resultados es el barro (Mendizabal Arrillaga, 2018).

## 2.9 Módulos solares

También conocidos con el nombre de paneles solares, están conformados por la unión de varias celdas solares normalmente de 30 a 36 conectadas en serie (estos módulos solares pueden suministrar 12 V o 24V), dependiendo el voltaje que se desee obtener la conexión realizada entre varios módulos solares puede ser en paralelo (su tensión es más alta y su corriente es fija) , en serie (su tensión pasa a ser fija y su intensidad es más alta) o con una conexión mixta (si desea mantener un nivel semejante de tensión e intensidad). Un módulo solar se compone de las siguientes partes:

- **La cubierta externa de frente al sol:** son generalmente creados en vidrio por la mayoría de los proveedores de módulos solares, debido a que proporcionan el mayor porcentaje de propagación de la radiación solar que incide sobre ellos, por lo cual siempre mejora su resistencia, para tratar de evitar algún daño en su estructura.
- **Capa de encapsulamiento:** este tipo de capa es construida con silicón, ya que este tipo de material no perjudica tanto la refracción de la radiación solar, lo que le permite conservar dicha radiación.
- **Las células solares:** es la parte principal de los módulos solares, que se encuentran conectadas en serie, normalmente su construcción es a base de silicio y su dimensionamiento es de 3x6 o también de 6x6.

- **Plancha base:** este es uno de los componentes más importantes en la composición de un módulo solar, su construcción es normalmente en aluminio, pero en ciertos casos el material empleado es vidrio.
- **Cable de puesta a tierra:** los proveedores de estos dispositivos suelen resguardarlos en cajas estancas, lo cual les permite tener una mayor resistencia a condiciones ambientales agresivas.



Figura 2.18: Elementos de un módulo solar  
Fuente: (Eraso et al., 2019)

El funcionamiento de un módulo solar puede ser durante años de manera constante, siempre y cuando este reciba radiación solar, en las épocas de verano es el punto más alto donde se obtiene mayor energía eléctrica, pero el caso contrario es en épocas de invierno ya que existe una disminución de radiación solar, cabe mencionar que el grado de eficiencia de un módulo solar está sujeto siempre a la calidad y composición de sus células solares, existen distintas variables que interceden en la eficiencia de la recepción de la radiación solar tales como el viento y las nubes que juegan un papel muy importante; el tiempo de vida de estos dispositivos suele rondar los 25 años aproximadamente en la mayoría de los casos, y el otro pequeño porcentaje solo llega como máximo a 20 años de vida útil, después de 10 años en general las celdas solares suelen perder un 10% de su potencia (Eraso et al., 2019).

## 2.10 Efecto de las sombras en un módulo solar

Las sombras en los módulos solares generan que la radiación solar directa no pueda incidir sobre la superficie del dispositivo, por lo cual se utiliza en este tipo de casos unos diodos en la caja de conexión, los cuales permiten proteger y estabilizar la curva de corriente y tensión generados por las sombras en el dispositivo, esto también lleva consigo un descenso del 40-100% en la eficiencia del módulo solar, sin importar que la sombra abarque una pequeña parte de la estructura del dispositivo.

En la figura 2.19 se puede observar los efectos de la sombra que se generan en los paneles solares si no se utiliza la protección de diodos, tales como el sobrecalentamiento que lleva al deterioro en su estructura afectando su vida útil o en casos extremos el daño total del dispositivo, ya que en esos momentos de sombra las celdas pasan de generar energía eléctrica a consumirla, haciendo el efecto contrario de su funcionamiento.



Figura 2.19: Sobrecalentamiento de un módulo solar

Fuente: (Silva, 2020)

Para evitar estos daños a la estructura del dispositivo se emplea el uso de diodos bypass, los cuales en términos simples provocan un punteo de intensidad (llevan la intensidad a un camino distinto) lo que sirve como medio de seguridad y evitar cualquier daño a la estructura del módulo solar.

El funcionamiento técnico de estos diodos es que en el momento que la sombra cubre el cuerpo del dispositivo se pierde la creación de la intensidad lumínica, provocando un circuito abierto, generando que las intensidades de las demás células pasen por la célula solar afectada haciendo que esta se sobrecaliente y posiblemente se llegue a dañar, por lo cual los diodos entrarían en acción generando un desvío de la intensidad evitando que este pase por la célula solar y así proteger al dispositivo afectado por la sombra, como se muestra en figura 2.20 (Silva, 2020).

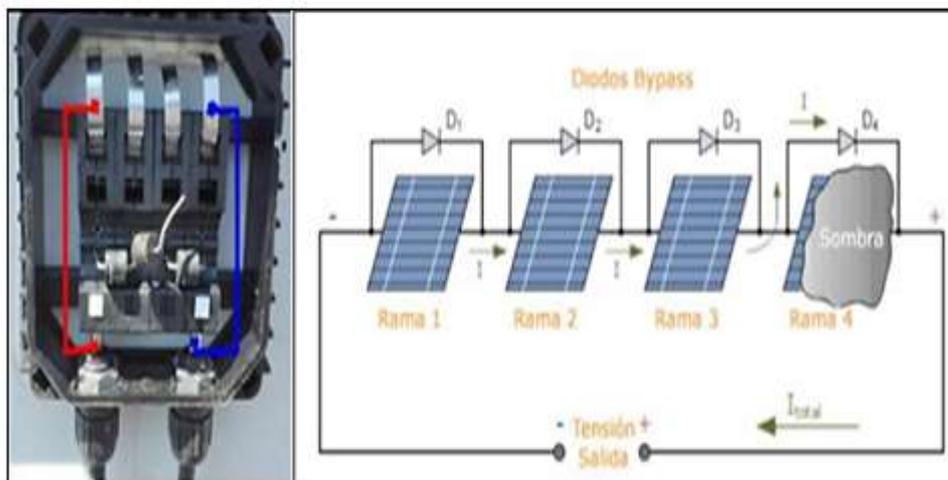


Figura 2.20: Forma y funcionamiento de un diodo ante una sombra

Fuente: (Silva, 2020)

## 2.11 Sistemas Fotovoltaicos

Este tipo de sistemas se basa en la unión de distintos dispositivos utilizados para la generación de energía eléctrica por medio de la radiación solar, normalmente estos sistemas se fundamentan en el uso de las células solares. En el momento que este tipo de sistemas son conectados a la red de un hogar, negocio etc., se aplica el uso inversor para obtener corriente AC, cabe mencionar que la potencia que entregan estos sistemas varía según distintas variables tales como la inclinación de los módulos solares, la orientación en la que son colocados y las condiciones solares del entorno donde se instala el sistema. Los sistemas fotovoltaicos existentes actualmente son:

- **Sistemas interconectados a la red eléctrica:** este tipo de sistemas como se indica son conectados a la red eléctrica del país, estos sistemas tienen un costo inferior a los demás sistemas, normalmente el mantenimiento que se les suele dar es el aseo de los módulos solares para retirar partículas de polvo o basura, ya que están expuestos al aire libre.
- **Sistemas fotovoltaicos aislados:** estos sistemas como lo indican no dependen de una conexión a la red de distribución, se los suele usar normalmente cuando el usuario que desea realizar la instalación no dispone de mucho dinero, este tipo de sistemas son rentables en comparación al uso de generadores a base de combustibles tales como el diésel, etc.
- **Sistemas fotovoltaicos híbridos:** es la fusión de los 2 sistemas previamente mencionados, es decir pueden ser dependientes o independientes a la red eléctrica del país (Núñez Alvarez et al., 2019).

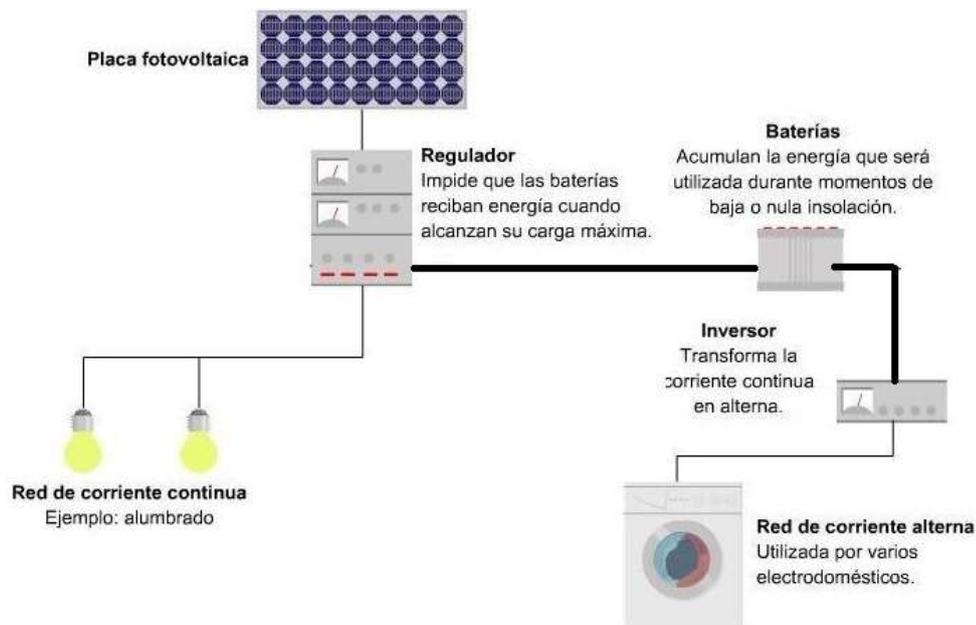


Figura 2.21: Sistema Fotovoltaico  
Fuente: (Núñez Alvarez et al., 2019)

## 2.12 Elementos de un sistema fotovoltaico

A continuación, se presentan los elementos que conforman un sistema fotovoltaico.

### 2.12.1 El regulador de carga

Para que un sistema fotovoltaico trabaje de manera idónea, es necesario que tenga un regulador de carga como se observa en la figura 2.22, el cual estará conectado en medio de las baterías y de los módulos solares, este dispositivo será utilizado en dos situaciones una consiste en proteger a la batería de alguna sobrecarga y la otra en casos de descarga extrema, que amenace la integridad del componente y así poder maximizar su tiempo de vida; los módulos solares generan un voltaje mayor a la de una batería, por lo cual si no interviniera un regulador de cargas este componente estaría expuesto a posibles sobrecargas, ya que las dimensiones de un panel solar son hechas en base a los casos más bajos de radiación solar tales como las épocas de invierno, para poder asegurar la carga de las baterías pero en las épocas de verano existe una mayor radiación, lo que genera una mayor energía eléctrica que podría afectar o dañar a la batería y ahí interviene el uso del regulador de carga.



Figura 2.22: Conexión de un regulador de carga y descarga en un sistema fotovoltaico  
Fuente: (Paez et al., 2018)

En la tabla 2.2 se muestra los distintos tipos de reguladores de carga existentes, ya que cada uno posee diferentes cualidades y usos particulares dependiendo del caso (ya que la operación de este dispositivo no es la misma en un entorno caluroso que en uno totalmente frío).

Al momento de adquirir este dispositivo hay que tener en consideración el voltaje de entrada con el que trabajará ya que puede ser de 12 a 24V, la corriente que este dispositivo consumirá, la corriente máxima que soportará por los módulos solares y los elementos que consuman dicha energía, el rango mínimo y máximo de carga que soportará el dispositivo y el tipo de seguridad con la que viene incluido (Paez et al., 2018).

Tabla 2.2: Tipos de regulares de carga

Clasificación de los reguladores de carga	Subclasificación
<b>En base a su método de desconexión</b>	1) Por la situación de la carga. 2) Por la administración de energía. 3) Por el voltaje.
<b>En base al tipo de conmutador</b>	1) De estado sólido. 2) Relé de tipo electromagnético.
<b>En base a la ubicación del conmutador del generador</b>	1) Conexión en paralelo 2) Conexión en serie.

Fuente: (Paez et al., 2018)

### 2.12.2 Batería o acumulador

La energía solar que incide sobre los módulos solares no es constante sino variante ya que existen distintas variables tales como las estaciones climáticas, los días nublados y un sin número de factores que no pueden ser estipulados de manera correcta, por lo cual entra el uso de un dispositivo llamado acumulador, el cual se encargará de almacenar la energía eléctrica generada por los módulos solares, para así poder mantener estable el sistema en situaciones que la energía solar disminuya; su funcionamiento básicamente consiste en que la energía eléctrica generada por los módulos solares es almacenada en acumuladores (energía química) para luego entregar la energía eléctrica para su respectivo consumo (Narváez & Alejandro, 2018).

Los principios de una batería en un sistema fotovoltaico es acumular energía durante un periodo determinado (días), mantener una potencia instantánea alta y proporcionar un voltaje que establece para los dispositivos que se encuentren conectados al sistema fotovoltaico; cuando se adquiera una batería o acumulador hay que fijarse en su capacidad, ya que esta variará dependiendo de la necesidad del usuario y su manera de calcularla es la multiplicación de la corriente de descarga de la batería por el tiempo de funcionamiento, su unidad de medida es en amperios hora, además de su capacidad hay que fijarse en los distintos factores de un acumulador al momento de realizar una instalación de un sistema fotovoltaico:

- **Eficacia de carga:** La comparación de la energía eléctrica utilizada para recargar el acumulador y la cantidad de energía que verdaderamente es almacenada, su valor optimo debe llegar aproximadamente al 100%, ya que si su eficacia es sumamente baja se tendrá que agregar más módulos solares al sistema fotovoltaico para poder incrementar el porcentaje de eficacia.

- **Autodescarga:** Transcurso en el que la batería empieza a descargarse sin utilizarla.
- **Profundidad de descarga:** Es el porcentaje de energía eléctrica que tiene almacenada la batería teniendo como referencia su carga total, este se refiere al tiempo de vida útil del dispositivo, el cual se verá afectado si los ciclos de descarga de la batería son superiores al 70%, lo que provocará una disminución moderada en la vida útil del componente, mientras que si sus ciclos de descarga son inferiores al 30% su tiempo de vida útil será más alto.

Normalmente las baterías tienen una tabla de datos donde indican el límite de ciclos de carga y descarga, esta cantidad está vinculada a la profundidad de descarga, antes de adquirir una batería hay que tener en cuenta que demande poco mantenimiento, su eficacia en el manejo de pequeñas intensidades, una basta provisión de electrolítico, etc. (Narváez & Alejandro, 2018).

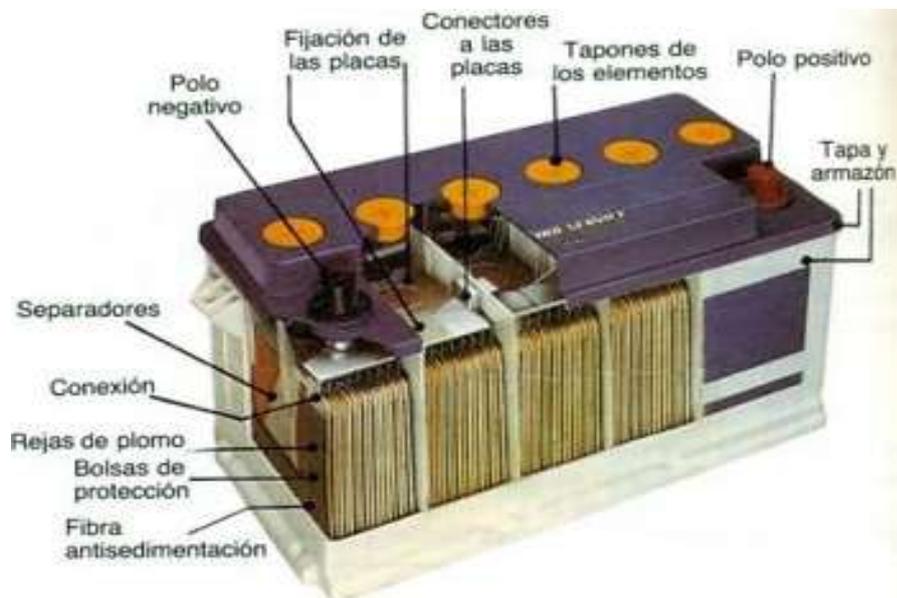


Figura 2.23: Batería o acumulador de plomo  
Fuente: (Narváez & Alejandro, 2018)

### 2.12.3 Inversor

Este dispositivo cumple la función de transformar la corriente directa en corriente alterna, su tiempo de vida útil es cercano a los 10 años el cual puede variar dependiendo del fabricante, el ruido que generan este tipo de dispositivos es aproximadamente de 25 dB por lo cual se lo suele colocar en zonas donde el ruido no genere una molestia y sobre todo este tipo de dispositivos no deben recibir la luz solar de forma directa, ya que esta provocará que la temperatura del equipo se eleve generando una disminución en su eficiencia de trabajo, su uso es indispensable en distintos tipos de instalaciones tales como las conectadas de forma directa a la red, en la figura 2.24 se muestra este tipo de instalación (Zuñiga, 2019).

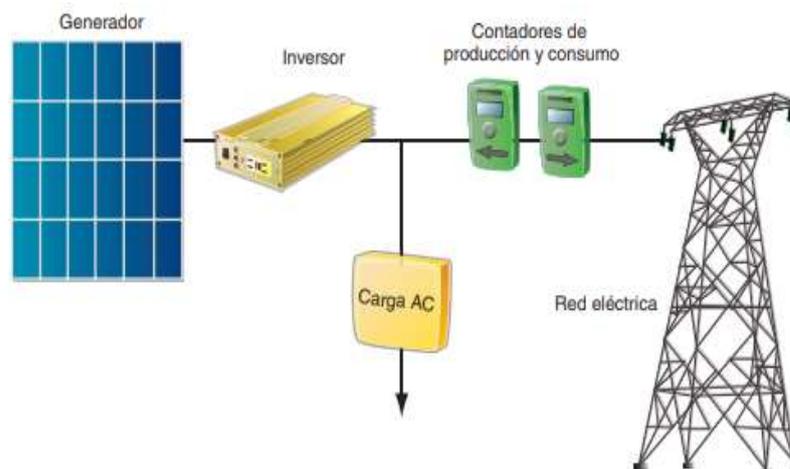


Figura 2.24: Instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica  
Fuente: (Zuñiga, 2019)

La principal diferencia de este tipo de instalaciones es que comparada a una instalación autónoma en estas no se implementa el uso de un acumulador o batería por lo tanto tampoco se dispone del uso de un regulador de carga, ya que la energía que se produzca es entregada de forma directa a través de la red eléctrica, estas instalaciones dispondrán de instrumentos de medida que les permitirán medir el consumo de la red eléctrica y la de generación suministrada por el sistema fotovoltaico; las cualidades a tener en cuenta de un inversor es el rango de eficiencia de

potencias, el consumo eléctrico del propio dispositivo cuando no exista ninguna carga conectada, la tolerancia a los picos que se presentan en los arranques, el grado de seguridad de que dispone el equipo para distintos entornos y ambientes, su nivel de protección frente a cortocircuitos, y su eficiencia en el manejo de frecuencias y voltajes de salida, algunos inversores suelen tener características similares a los reguladores de carga de los acumuladores; los distintos cambios de frecuencias por más mínimos que sean pueden provocar armónicos (múltiplos de la frecuencia base), si su variación es muy grande pueden alterar significativamente la señal haciendo que sus valores transformen, por lo cual los cambios en estos dispositivos tienen que ser inferiores (Zuñiga, 2019).

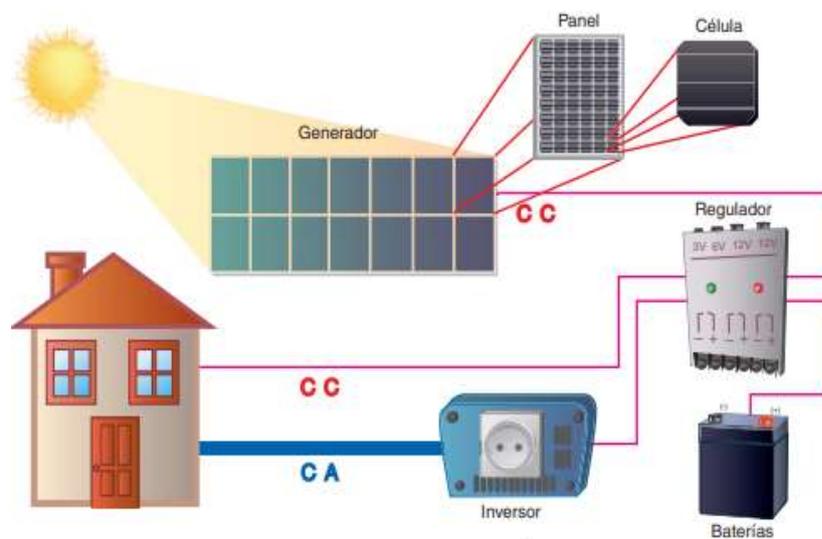


Figura 2.25: Instalación fotovoltaica autónoma con inversor  
Fuente: (Zuñiga, 2019)

En la actualidad se dispone de distintos tipos de inversores para los sistemas fotovoltaicos, ya que se tiene en cuenta la potencia instalada, la clase de instalación que se va a realizar y el uso que se le dará, debido a esto se tiene distintas clases de inversores:

- **Inversores monofásicos:** estos dispositivos son instalados en redes monofásicas (van conectadas a una sola fase) de corriente

alterna, el voltaje en el que opera es de 230V, lo que le permite tener una potencia máxima de 15500 W, pero existen inversores monofásicos con una potencia aun mayor, estos dispositivos son usados en la mayoría de los países para la alimentación de luminarias o sistemas de calefacción.

- **Inversores trifásicos:** estos dispositivos son instalados en redes trifásicas (van conectados a tres fases) de corriente alterna, el voltaje de operación suele ser entre 370-400V, normalmente este dispositivo es instalado en industrias o empresas, en ciertos casos suele ser utilizados en hogares grandes que dispongan de piscinas, etc.
- **Conectados a la red:** en el momento que se evalúe si la instalación eléctrica es monofásica o trifásica, intercederá el uso de esta tecnología, ya que no necesita de un acumulador para almacenar su energía, debido a que sus excedentes son entregados a un inversor, el cual gestionará el consumo eléctrico ya sea de los módulos solares o de la red eléctrica del lugar, lo que permite obtener un descenso en la facturación eléctrica.
- **Inversores en cadena:** estos dispositivos son conocidos también como inversores string, los cuales son instalados en sistema fotovoltaicos (la conexión de cada módulo solar es en cadena o serie) ubicados en los tejados donde la sombra no afecte su funcionamiento (normalmente es implementado en zonas donde la radiación solar suele ser constante cada año), su bajo costo lo convierte en uno de los de inversores más utilizados en la actualidad, además de que su mantenimiento es sencillo; existen distintos modelos en el mercado los cuales se dividen dependiendo del rango de potencia con el que se vaya a trabajar en los módulos solares conectados en cadena.

- **Micro inversores:** el funcionamiento de este tipo de dispositivo es distinto al de un inversor string, ya que dentro de cada módulo solar viene instalado un micro inversor, lo que le permite tener una conversión de corriente directa en alterna de forma instantánea, lo cual daría lugar a que si un panel solar se ve cubierto por una sombra no afecte la eficiencia de los demás módulos solares, esta tecnología se ha hecho popular en la actualidad debido a que mejora el rendimiento de los módulos solares de manera individual, para mantener un monitoreo continuo pero su inconveniente es el elevado precio.
- **Inversor híbrido:** este dispositivo cumple la misma función de un inversor en cadena y a la vez de un regulador de carga inteligente, el cual monitorea la carga y descarga de la batería, para poder extender la vida útil del acumulador y al mismo tiempo cuando detecte que la producción solar es muy inferior procederá a consumir energía de la red eléctrica para poder recargar la batería eléctrica y sus excedentes de energía solar lo aporta a la red eléctrica (Zuñiga, 2019).



Figura 2.26: Tipos de inversores  
Fuente: (Zuñiga, 2019)

### 2.13 Funcionamiento de los sistemas inverter de climatización

Un sistema inverter básicamente es un circuito electrónico que se adapta a las distintas condiciones del entorno, lo cual hará que este varíe

su tensión, intensidad y la frecuencia con la que suministra al dispositivo, en este caso un sistema de climatización, se tomará como referencia a los aire acondicionados Split los cuales a través de su circuito electrónico varían la intensidad suministrada al compresor, lo cual genera que la velocidad en la que gira el motor del compresor cambie dependiendo la temperatura del entorno en la que este enfriando; para tener un mejor entendimiento de esta tecnología se hará una comparativa de funcionamiento entre los sistemas inverter y no inverter:

- **Sistemas no inverter de climatización:** el dispositivo estará a su máximo rendimiento para poder enfriar el área en el que se encuentra ubicado, sin embargo, una vez este alcance la temperatura deseada del entorno, se apagará totalmente y una vez esta temperatura empiece a elevarse el compresor volverá a encender para funcionar a su máximo rendimiento provocando picos de consumo eléctrico; este ciclo se repetirá constantemente sin ningún cambio, lo que dará como resultado un enorme consumo eléctrico, ya que los motores en su arranque consumen una mayor intensidad, etc.
- **Sistemas inverter de climatización:** estos sistemas inician con una temperatura lo más inferior posible con el fin de enfriar el entorno donde se encuentra ubicado, sin embargo, a más se acerque a la temperatura deseada este hará que el motor del compresor varíe su velocidad (ya sea disminuyéndola o aumentándola para no apagarlo totalmente) con el fin de ahorrar y optimizar el consumo eléctrico que demanda el dispositivo.

En la figura 2.27 se observa que la curva del sistema inverter es mucho más estable que la del sistema no inverter, ya que este tiene picos de funcionamiento, porque se mantiene en un ciclo constante de apagados y encendidos que abarcan un gran consumo eléctrico, mientras que inverter

bajará la velocidad de motor a valores inferiores al 50% de su rendimiento para poder disminuir el consumo eléctrico.

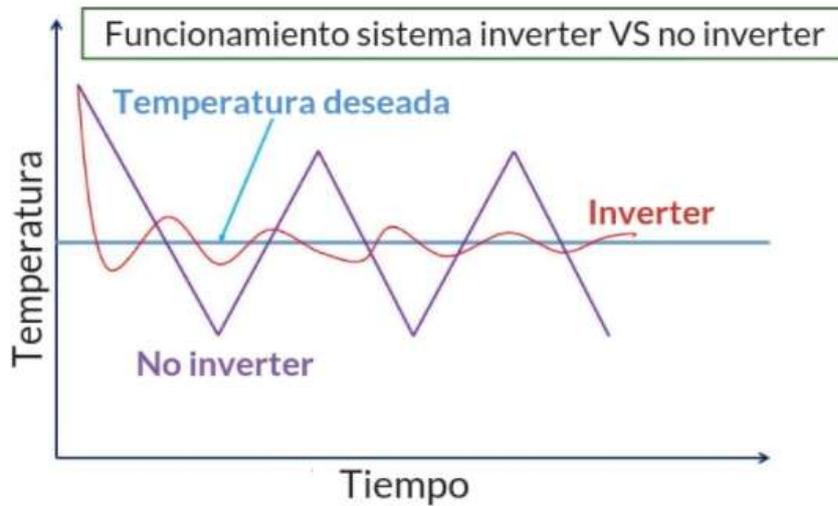


Figura 2.27: Funcionamiento de un sistema de climatización inverter vs no inverter

Fuente: (Zavala & Josué, 2021)

El consumo que posee un dispositivo inverter es sumamente inferior que el de un dispositivo no inverter, ya que su eficiencia es superior; para poder determinar el grado de consumo del dispositivo se revisará su etiqueta energética como se muestra en la figura 2.28, la cual pertenece a un aire acondicionado de la marca Fujitsu, se puede observar una estimación del posible consumo eléctrico en kWh al año del dispositivo, cabe recalcar que en la etiqueta se muestran 2 pestañas una es el SEER (factor de eficacia energética estacional) para los equipos de enfriamiento y la otra SCOP (relación de rendimiento estacional) para equipos de calentamiento tales como las bombas de calor, estas abreviaciones básicamente muestran el promedio de la eficiencia del equipo en distintas condiciones ambientales, ya que los cambios de temperatura del entorno generarán un aumento o disminución en su eficiencia provocando un mayor o menor consumo eléctrico, por lo cual se muestra en la parte inferior un mapa de colores donde indica en que zona habrá un mayor ahorro energético tanto para el SEER y como el SCOP, también se encontrará una pequeña sección donde se mostrará el nivel de ruido que generará el dispositivo aproximadamente durante su funcionamiento.

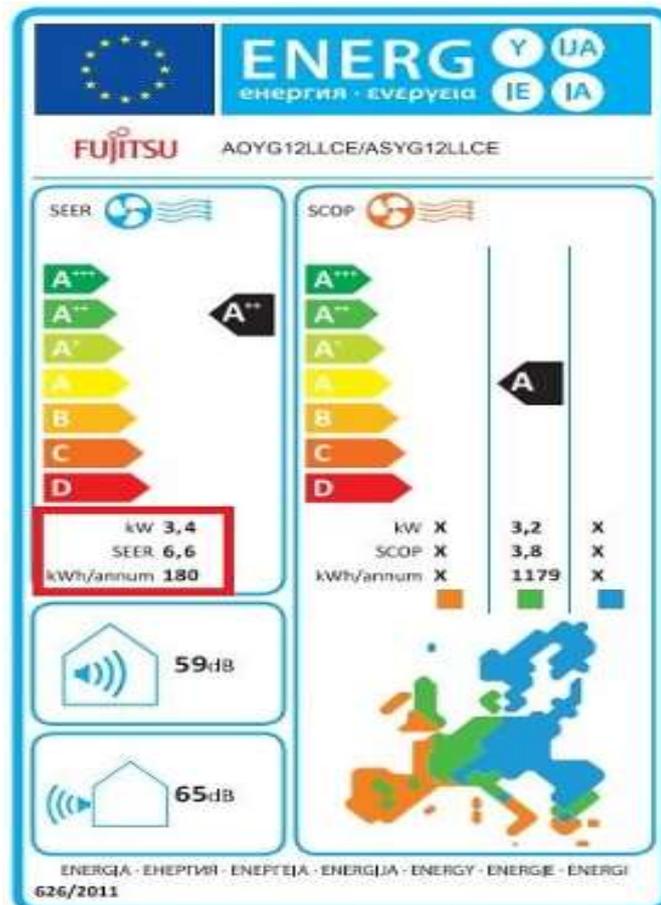


Figura 2.28: Etiqueta energética de un aire acondicionado inverter Fujitsu  
Fuente: (Zavala & Josué, 2021)

Cabe destacar que existen más factores que podrían afectar de forma negativa el consumo eléctrico de los sistemas de climatización inverter, tales como las áreas donde incida la luz solar dentro del entorno a enfriar, el mantenimiento respectivo que se da a los filtros del equipo, ya que si estos se llegasen a obstruir consumirán más energía eléctrica de lo normal que necesita el equipo para funcionar (Zavala & Josué, 2021).

## 2.14 Etapa de funcionamiento de un sistema inverter

A lo largo del funcionamiento de un sistema de climatización inverter en general, se podrá observar que pasa por distintos procesos o etapas las cuales son:

- **Etapa de máxima potencia:** esta fase se da cuando las condiciones del entorno donde opera el dispositivo son desfavorables (contrarias a las que el usuario estipuló como confortables), por lo cual este sistema manda al máximo de la capacidad de giro del compresor para poder llegar de manera rápida al punto de confort que el usuario indicó, a este proceso se lo denomina PAM o también como etapa de potencia.
- **Etapa de potencia media:** esta etapa se genera en el momento que se acerca a la temperatura estipulada por el usuario y las condiciones del entorno en el que opera son normales, el sistema manda a disminuir la velocidad del giro del compresor, ajustándose a las necesidades de este; en los sistemas de climatización no inverter esta etapa no sería posible ya que el compresor estará operando constantemente al 100% de su capacidad, generando un excesivo consumo de potencia en comparación a los sistemas inverter.
- **Etapa de mínima potencia:** esta etapa entra en acción cuando el sistema inverter llega a la temperatura indicada por el usuario, este hará que el compresor disminuya su velocidad de giro a la más baja posible, con el fin de consumir poca energía eléctrica, a este proceso se lo conoce como etapa de ahorro de energía; mientras que un sistema no inverter esta etapa no se podría conseguir ya que el compresor seguirá operando a su máximo rendimiento (en ciertos casos podría provocar un excesivo enfriamiento al estipulado por el usuario) y una vez llegase a la temperatura este se apagará, una vez se vuelva a incrementar la temperatura el compresor se encenderá nuevamente a su máximo rendimiento, este proceso se repetirá de forma que generará un elevado consumo eléctrico (Bent Bent & Posada García, 2016).

## 2.15 Compresor en un sistema inverter

Los compresores de tecnología no inverter suelen poseer un sistema de escobillas tradicional, en los cuales su stator al momento de detectar al rotor emitirá una serie de impulsos eléctricos, estos normalmente se componen de 2 anillos de rozamiento o en otros casos de un colector de delgas; los sistemas de escobillas se encuentran en constante rozamiento, lo que con el pasar del tiempo generará una caída en su eficiencia y rendimiento, provocando un mayor consumo eléctrico y a su vez emanará mucho calor, por lo cual se necesitará de un continuo mantenimiento, caso contrario de no realizarlo se producirá con el tiempo una capa de polvo o mancha la cual podría actuar en ciertos casos como un conductor.



Figura 2.29: Compresor tipo brushless  
Fuente: (Valero & La, 2015)

Los nuevos compresores que constan con la tecnología inverter poseen un sistema de brushless como se muestra en la figura 2.29, estos están contruidos a base del elemento químico conocido como magneto de neodimio, los cuales son capaces de detectar el movimiento a la que gira el rotor de forma digital, lo que le permite suprimir dicha ineficiencia que provocaba el rozamiento de las escobillas al ser usadas, al no tenerlas también se eliminarán los impulsos eléctricos, de esta forma cuando se menciona un compresor DC (Digital Control), se refiere a compresores que no contarán con un sistema de escobillas, es decir sin rozamientos, los sistemas inverter actuales pueden modificar la tensión e intensidad

suministrada al compresor (la cual normalmente ronda entre los 10 a 150 Hz aproximadamente), dando la posibilidad de cambiar a distintas velocidades dependiendo la potencia que exija para enfriar el entorno o área deseada por el usuario (Valero & La, 2015).

## **2.16 Diferencias entre los sistemas inverter de climatización**

Teniendo en cuenta que los objetivos principales de un sistema inverter de climatización es proporcionar el mayor punto de confort al usuario y el otro es la alta eficiencia en el consumo eléctrico que demanda el dispositivo para su correcto funcionamiento, y manteniendo en igualdad de condiciones la clasificación en ahorro energético del dispositivo tanto en SEER y en SCOP, su sistema de filtrado utilizado, el ruido que genera al funcionar, etc., su principal diferencia radica en su capacidad de poder adaptarse a las diversas situaciones ambientales que están presentes en el entorno que vaya a trabajar. A esto se lo denomina rango de variación porcentual que puede entregar el sistema de climatización en su fase nominal para incrementar el PAM o decrementarla cuando las condiciones de temperatura en el entorno sean las estipuladas por el usuario y por lo que se obtendrá un ahorro de energía, entrando en la etapa de PWM (Requejo & Eli, 2019).

## Capítulo 3: Diseño y cálculo del sistema fotovoltaico

### 3.1 Introducción

En este capítulo se muestran los cálculos realizados para un sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica. De momento se plantean los respectivos cálculos para cada uno de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico, tanto del número de paneles solares en base al consumo del elemento que este alimentando, la cantidad de baterías a implementar para el sistema fotovoltaico y el tipo de inversor que se requiera utilizar para este sistema.

### 3.2 Cálculo para el número de paneles solares para el sistema de climatización inverter

Para calcular el número de paneles solares es necesario primero establecer el consumo energético en Watts/horas que necesita el sistema de climatización inverter y del número de horas que se lo va a tener funcionando al día, para esto se deberá tener establecidos los siguientes datos:

- Cantidad de horas utilizadas al día: 8 horas/día
- Consumo (W/h) del sistema inverter (12000 BTU): 1090 W/h

La fórmula planteada para determinar el consumo de energía al día del equipo es:

$$E_{total} = (\text{watts que consume el equipo de climatización inverter}) \\ * (\text{horas al día})$$

Reemplazando con los datos planteados en la fórmula queda:

$$E_{total} = (1090 W) * \left( 8 \frac{horas}{día} \right) = 8720 W * \frac{h}{día} = 8.72 kWh/día$$



Figura 3.1: Split de alta eficiencia energética modelo SMC de 12000 BTU  
Fuente: (Mi Bodega Ec., 2022)

En base al consumo del sistema de climatización inverter, la opción más viable y recomendable, es trabajar con los paneles solares monocristalinos debido a su precio, garantía de 25 años de potencia y asesoría ofrecida por la empresa PROVIENTO S.A. de Ecuador. El modelo del panel solar es EGE-375M-72, el cual tiene una potencia máxima nominal de 375 W, el cual se muestra en la figura 3.2.



Figura 3.2: Panel solar Monocristalino negro de 375 Wp  
Fuente: (ProViento S.A., 2022)

Las características del panel solar a utilizar, se las muestra a continuación, en base a los datos de la ficha técnica:

Tabla 3.1: Características del panel solar monocristalino

Características del Panel Solar	
<b>Modelo</b>	EGE-400M-72 EOS
<b>Dimensiones o tamaño del panel solar</b>	1956x992x40 mm
<b>Peso del panel solar</b>	22.8 kg
<b>(Pm) Máximo punto de potencia</b>	375Wp
<b>Voltaje de trabajo del panel solar</b>	24 V
<b>Voc (el voltaje de circuito abierto)</b>	47.65 V
<b>Isc (la corriente en cortocircuito)</b>	9.80 A

Fuente: (ProViento S.A., 2022)

Para determinar el porcentaje del factor de llenado (FF) del panel solar, se establecerá una ecuación donde el máximo punto de potencia (Pmpp) va entre la corriente de cortocircuito (Isc) por el voltaje de circuito abierto (Voc), dando lo siguiente:

$$FF = \left( \frac{\text{Factor de llenado}}{\text{Voltaje de circuito abierto} * \text{Corriente de cortocircuito}} * 100 \right)$$

$$= \left( \frac{P_m}{V_{oc} * I_{sc}} * 100 \right)$$

Reemplazando con los datos planteados en la tabla 3.1 en la formula, queda que el factor de llenado (FF) del panel solar es:

$$FF = \left( \frac{375W}{47.65 V * 9.80 A} * 100 \right) = 80.31\%$$

Antes de establecer el número de paneles solares a utilizar, se debe primero especificar el porcentaje de pérdida de los todos los factores, para tener un resultado lo más aproximado a la realidad:

- Porcentaje de pérdida en el cableado del sistema fotovoltaico: ~ 2%.
- Porcentaje de pérdida en el cambio de energía en el inversor: 5 %.
- Porcentaje de pérdida por efectos de la temperatura en los paneles solares: ~ 16%.
- Porcentaje de pérdida por la suciedad que se acumula en los paneles solares (partículas de polvo y las sombras): ~ 7%.

Sumando el porcentaje de pérdida de todos estos factores queda un total del 30%, el cual será considerado en la siguiente ecuación:

$$E_{real} = (Energía\ total\ al\ día * Porcentaje\ total\ de\ pérdidas) + Energía\ total\ al\ día$$

$$E_{real} = (8720 W * 30\%) + 8720 W = 11336 W$$

Calculando la potencia suministrada que debe ser entregada por los paneles solares, teniendo en cuenta 4.35 horas solar pico al día, queda:

$$P_{FV} = \left( \frac{E_{real\ al\ día}}{Horas\ solar\ pico\ al\ día} \right)$$

Reemplazando con los datos planteados en la fórmula queda:

$$P_{FV} = \left( \frac{11336 \text{ W} * \frac{h}{\text{día}}}{4.35 \text{ horas solar pico al día}} \right) = 2605.98 \text{ W}$$

Calculando el número de paneles solares en base a su potencia nominal de 375 W, queda:

$$N. \text{ de Paneles Solares en paralelo} = \left( \frac{P_{FV}(\text{W})}{\text{Potencia del Panel Solar (W)}} \right)$$

Reemplazando con los datos planteados en la fórmula queda:

$$N. \text{ de Paneles Solares en paralelo} = \left( \frac{2605.98 \text{ W}}{375 \text{ W}} \right) = 6.95 \text{ Paneles Solares}$$
$$\approx 7$$

Por último, el resultado se lo redondea al número entero siguiente, queda: 7 paneles solares conectados en paralelo.

### **3.3 Cálculo para la selección del regulador de cargas en el sistema fotovoltaico**

Para calcular el regulador de carga correcto para los paneles solares, se determina la intensidad de circuito cerrado (Isc) de los paneles solares utilizados, donde se agregará un 25% extra del total de intensidad obtenido como medida de seguridad para el regulador a utilizar, queda la siguiente ecuación:

$$I_{\text{entrada}} = (1.25)(I_{\text{sc de paneles solares}})(N. \text{ de paneles solares en paralelo})$$

$$I_{\text{entrada}} = (1.25)(9.80)(7) = 85.75 \text{ A}$$

$$I_{salida} = \frac{1.25 * \left( \frac{\text{Potencia de las cargas en AC}}{\text{rendimiento del inversor}} \right)}{\text{Voltaje de la Bateria}}$$

$$I_{salida} = \frac{1.25 * \left( \frac{2605.98}{0.95} \right)}{24 V} = 142.87 A$$



Figura 3.3: Regulador de Carga de 100<sup>a</sup>  
Fuente: (ProViento S.A., 2022)

Tabla 3.2: Características del regulador de carga

Características Técnicas del Regulador	
<b>Modelo</b>	SKU: RP055 Mppt
<b>Voltaje de la batería</b>	12/24/36/48 V
<b>Intensidad de carga nominal</b>	100A
<b>Eficiencia del equipo</b>	95%
<b>Temperatura máxima de trabajo</b>	60 °C

Fuente: (ProViento S.A., 2022)

### 3.4 Cálculo del número de baterías para el sistema fotovoltaico

Para calcular el número de baterías a satisfacer el consumo energético en Watts/horas que necesita el sistema de climatización inverter, se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Potencia nominal de la batería} = (\text{Voltaje bat.})(\text{Amperios hora bat.})$$

Teniendo en cuenta una batería de Ion litio de 24 V de 100 Amperios\*hora, se obtiene:

$$\text{Potencia nominal de la batería} = (24 V)(100Ah) = 2400 Wh$$

En una batería el porcentaje que se puede utilizar es alrededor del 70%, para poder extender su tiempo de vida con relación a sus ciclos de carga y descarga, por lo cual el consumo que se obtuvo por el sistema de climatización inverter al día es de: 8720 Wh/día en referencia al 70% de eficiencia de la batería, por lo cual se hallará el 100% de la eficiencia de la batería utilizando una regla de tres, para determinar el número de baterías correctas a utilizar:

$$N. de Baterias = \left( \frac{\text{Potencia Real al 100\%}}{\text{Potencia de la Batería}} \right)$$

$$N. de Baterias = \left( \frac{12457.14Wh}{2400 Wh/Batería} \right) = 5.19 \approx 5 \text{ Baterías}$$



Figura 3.4: Batería de Lítio Ion de 24 VDC / 100Ah  
Fuente: (ProViento S.A., 2022)

Tabla 3.3: Características de la batería

Características Técnicas de la Batería	
<b>Modelo</b>	FL-ES24V100Ah-8S18P
<b>Voltaje de la batería</b>	24 V
<b>Capacidad de la batería</b>	100Ah
<b>Peso</b>	25 kg

Fuente: (ProViento S.A., 2022)

### 3.5 Cálculo para la selección del inversor en el sistema fotovoltaico

Para determinar el inversor correcto a utilizar en el sistema fotovoltaico, se tiene que multiplicar las cargas alternas demandada por el margen de seguridad del inversor, el cual es de 1.25, cabe destacar que en este caso al tratarse de un aire acondicionado inverter, se multiplicará su carga consumida por 2, ya que posee un motor y estos en su arranque consumen más potencia y luego se estabiliza.

$$P_{inversor} = (1.25)(\text{Potencia de las cargas de alterna})$$

$$P_{inversor} = (1.25)(1090 * 2) = 2725 \text{ W}$$



Figura 3.5: Inversor de 1500 W  
Fuente: (ProViento S.A., 2022)

Tabla 3.4: Características del Inversor

Características Técnicas del Inversor	
<b>Modelo</b>	TW1500-24 ZONHAN
<b>Voltaje</b>	24 VDC 220 VAC
<b>Potencia del Inversor</b>	1500 W
<b>Potencia pico del inversor (3 seg)</b>	3000 W

Fuente: (ProViento S.A., 2022)

### 3.6 Costo de la instalación fotovoltaica

Tabla 3.5: Cotización de los materiales para el sistema fotovoltaico

Precios para el Sistema Fotovoltaico				
Descripción	Modelo	Cantidad	Costo por unidad	Costo
<b>Paneles Solares</b>	EGE-400M-72 EOS	7	\$180	\$1260
<b>Regulador</b>	SKU: RP055 Mppt	1	\$910	\$910
<b>Baterías</b>	FL-ES24V100Ah- 8S18P	5	\$840	\$4200
<b>Inversor</b>	TW1500-24 ZONHAN	1	\$436,80	\$436,80
<b>Total</b>				\$6806,80

Fuente: El autor

## Conclusiones

- En esta investigación se ha comprobado que los sistemas fotovoltaicos actuales son eficientes, pero en el Ecuador actualmente no existe algún tipo de regulación que promueva o motive el uso de las energías renovables o limpias tanto a nivel residencial como a nivel industrial, por lo cual todo tipo de proyecto o trabajo que se realice es viable en términos de cuidado ambiental, pero en términos económicos hoy en día no es tan factible, ya que no se encuentra ninguna clase de ayuda o subsidio por parte del país con respecto a este tipo de tecnologías.
- Para el diseño de un sistema solar fotovoltaico se consideran varios factores, tales como: el número de paneles necesarios, la distancia mínima entre filas de paneles, su misma inclinación, configuración, y el consumo del sistema inverter de climatización.
- El Ecuador es uno de los países con mejor porcentaje de radiación solar en el mundo, ya que al estar situado en la línea ecuatorial al oeste del meridiano de Greenwich tendrá leves alteraciones en el direccionamiento del sol a lo largo del año, lo cual hace factible el uso de paneles solares.
- La energía fotovoltaica es una fuente de energía limpia que con el pasar de los años ha ido tomando más fuerza y difusión, la cual en un futuro no muy lejano podría sustituir a los combustibles de origen fósil, ya que con la implementación de sistemas fotovoltaicos se ha evidenciado una disminución en la contaminación global; este tipo de tecnología se las ha implementado principalmente en zonas residenciales ya que se ha observado y evidenciado un descenso en

el consumo de la red eléctrica de cada país tales como Francia, Alemania, España, etc.

## **Recomendaciones**

- Se recomienda revisar el ángulo de inclinación correcto en los paneles solares, ya que dependiendo el lugar donde se instalen, se tendrá que ajustar el grado de inclinación, ya que esto si no es corregido afecta en la eficiencia y rendimiento de panel solar.
- Colocar un sistema de protección de diodos bypass que evite las quemaduras o sobrecalentamiento en la estructura de los paneles solares, debido a las sombras.
- Se debe realizar mantenimiento y limpieza cada medio año en los paneles solares, ya que la suciedad en el entorno afecta en el rendimiento y tiempo de vida útil del panel solar.

## Referencias Bibliográficas

- Arreola Gómez, R., Quevedo Nolasco, A., Castro Popoca, M., Bravo Vinaja, Á., Reyes Muñoz, D., Arreola Gómez, R., Quevedo Nolasco, A., Castro Popoca, M., Bravo Vinaja, Á., & Reyes Muñoz, D. (2015). Design, construction and evaluation of a solar tracking system for a photovoltaic panel. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1715-1727.
- Bent Bent, P. C., & Posada García, C. A. (2016). *Diseño de un sistema didáctico de climatización inverter híbrido para la Universidad Pascual Bravo*.  
<http://repositorio.pascualbravo.edu.co:8080/jspui/handle/pascualbravo/303>
- Cabrera, M. A., Jaramillo, V. G., & Fries, A. (2019). CARACTERIZACIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS A SER USADAS COMO FUENTES DE ENERGÍA EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR. *Revista Geoespacial*, 15(2), 13-23.  
<https://doi.org/10.24133/geoespacial.v15i2.1348>
- Calero Fuentes, E. (2020). *Procesos avanzados de metalización para células fotovoltaicas de silicio cristalino*. <https://academic.e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/38705>
- Cucaita, O. G. (2017). *Tendencias en ingeniería de materiales para la fabricación de células solares fotovoltaicas*.  
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/3982>

- Eraso, F. J., Erazo, O. F., Escobar, E., Eraso, F. J., Erazo, O. F., & Escobar, E. (2019). Modelo para la estimación de potencia eléctrica en módulos fotovoltaicos de tecnología basada en silicio. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 27(2), 188-196. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052019000200188>
- Estimación de producción eólica y solar.* (2020). <https://www.enair.es/es/app>
- Fraga, D. (2017). *Estudio y desarrollo de nuevos sustratos cerámicos como soportes de células fotovoltaicas en base a capas de calcogenuros* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Jaume I]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=126206>
- Gonzabay, Q., & Carlos, R. (2017). *Diseño de un generador eléctrico fotovoltaico y de su fase de interconexión con la red eléctrica local aplicado en la Unidad Educativa Dr. Eugenio Espejo.* <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/40854>
- Herriega Serna, L. (2018). *Desarrollo de nuevas estrategias para el aumento de eficiencia de células solares.* <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/33961>
- Jodlowski, A. D. (2018). *Síntesis y caracterización de perovskitas híbridas y su implementación en células solares.* <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/17428>
- Mendizabal Arrillaga, X. (2018). *Cálculo de la temperatura de trabajo de un módulo fotovoltaico mediante Modelos Clásicos.* <https://doi.org/10/29241>

- Mi Bodega Ec.* (2022). Mi Bodega - Venta de Electrodomésticos  
www.mibodega.ec. <https://mibodega.ec/product-category/electrodomesticos/electromayores/aires-acondicionados/>
- Narváez, P., & Alejandro, G. (2018). *Cálculo del rendimiento de baterías en sistemas fotovoltaicos usando criterios de eficiencia energética.*  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16329>
- Núñez Alvarez, J. R., Benítez P., I. F., Proenza Y., R., Vázquez S., L., & Díaz M., D. (2019). Metodología de diagnóstico de fallos para sistemas fotovoltaicos de conexión a red. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial.*  
<https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/5425>
- Paez, L. M. G., Muñoz, W. E. G., Benavides, A. F. R., Piedrahita, F. S., & Rodríguez, C. L. T. (2018). Diseño de un regulador de carga para aplicación en una micro red aislada con generación fotovoltaica. *Scientia et Technica*, 23(2), 143-150.
- Pera, D., Costa, I., Vilhena, D., Cardoso, J., Gaspar, G., Brito, M. C., Lobato, K., Serra, J. M., & Silva, J. A. (2020). Melhoramento ótico de células solares tandem com base em silício cristalino. *CIES2020 - XVII Congresso Ibérico e XIII Congresso iberoamericano de Energia Solar*, 383-388. <https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2043>
- ProViento S.A.* (2022). <https://proviento.com.ec/>
- Quintero Santana, S., & Rodríguez, K. G. (2020). Protocolo y procedimiento aplicado a instrumentación piranómetro para medición

de radiación solar. *Ingeniería en Automatización*.

[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_automatizacion/776](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/776)

*Radiación solar en Guayaquil (Ecuador)*. (2022). [www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net).

<https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/guayaquil.html>

Redondo Llano, P. (2016). *Medida de la eficiencia de células solares recubiertas por concentradores dieléctricos*.

<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/9214>

Requejo, R., & Eli, E. (2019). Optimización del sistema de aire acondicionado para el ahorro energético en el centro comercial Plaza vea Chiclayo. *Repositorio Institucional - UCV*.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/38673>

Revelo, V., & Gustavo, D. (2018). *Validación de datos satelitales de radiación solar utilizando mediciones terrestres para el Ecuador*.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19516>

Rodríguez, S., & Domingo, J. (2015). *Desarrollo y caracterización de dispositivos P-I-N de Silicio Amorfo depositados por PECVD*.

<http://documenta.ciemat.es/handle/123456789/192>

Silva, M. (2020). *Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos* [Thesis, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina].

<http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/441>

*SunCalc*. (2021). SunCalc sun position and sunlight phases calculator.

<http://suncalc.net/#/51.508,-0.125,2/2022.03.22/13:54>

Valero, O., & La, R. de. (2015). *Dimensionado del sistema de climatizacion de un catamaran*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/81506>

Zavala, A., & Josué, F. (2021). *Diseño de una propuesta de sistema eficiente de climatización fotovoltaico en la ciudad de Guayaquil*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/16218>

Zuñiga, J. M. S. (2019). Control de Inversores Conectados a la Red Eléctrica con Aplicación en Sistemas Fotovoltaicos. *Jóvenes en la Ciencia: 7º Encuentro Estatal De Jóvenes Investigadores Vol. 6* (2019). <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/3681>

## Anexo 1: Ficha técnica de un sistema de climatización inverter vs uno no inverter

WALL MOUNTED				Rank-A
				AS190B AO190B
Rank				A/A
Capacity	Cooling	KW	2.90	
	Heating		3.05	
	Cooling	BTU/h	9.900	
Heating	10.400			
Heating at -7°C		KW	1.15	
Moisture Removal		l/h	1.3	
Operation Sound (Cooling/Heating)	Indoor	Hi	40/39	
		Med	36/35	
		Low	32/31	
		Superquiet	27/26	
	Outdoor	45/46		
Compressor		Type	Rotary	
Air Circulation m3H	Inner	Hi	600	
		Med	515	
		Low	435	
	Outer	Hi	1.470	
		Med	-	
Input Power		V/Hz	230/150	
Running Current	Cooling	A	3.7	
	Heating		3.3	
Power Consumption	Cooling	KW	0.84	
	Heating		0.75	
Input at -7°C		KW	0.69	
Starting Current		A	18.7	
Electrical wiring		Power cord		
Wiring connection between indoor & outdoor		4*1(Earth)		
EER	Cooling	KWKW	3.45	
	Heating		4.07	
Net Dimension & Weight	Inner	mm	275x790x215	
		kg(lbs)	9(20)	
	Outer	mm	635x895x250	
		kg(lbs)	30(66)	
Gross Dimension & Weight	Inner	mm	290x835x345	
		kg(lbs)	12(26)	
	Outer	mm	605x785x320	
		kg(lbs)	33(73)	
Refrigerant charge included		g	900	
Additional Charge per meter		Chargeless (≤7.5m) 20g/m (>7.5m)		
Connection Method		Flare		
Connection Pipe Size (Small/Large)		mm 6.35/9.52		
Max Pipe Length Height Difference		m	15 8	
Permissible Range of Outdoor Temperature	Cooling	°C	21~43	
	Heating		-5~-24	
Refrigerant		R410A		

WALL MOUNTED INVERTER				Standard Model
				AS19LB AO19LB
Rank				A/A
Capacity	Cooling	KW	2.60 (0.5~3.7)	
	Heating		3.60 (0.5~6.1)	
	Cooling	BTU/h	8.900 (1.700~12.600)	
Heating	12.300 (1.700~20.800)			
Heating at -7°C		KW	3.50	
Moisture Removal		l/h	1.3	
Operation Sound (Cooling/Heating)	Indoor	Hi	42/42	
		Med	37/36	
		Low	31/30	
		Superquiet	22/22	
	Outdoor	47/48		
Compressor		Type	Rotary	
Air Circulation m3H	Inner	Hi	595	
		Med	500	
		Low	410	
	Outer	Hi	2.100	
		Med	-	
Input Power		V/Hz	230/150	
Running Current	Cooling	A	3.0	
	Heating		3.8	
Power Consumption	Cooling	KW	0.62 (0.25~1.38)	
	Heating		0.82 (0.25~1.96)	
Input at -7°C		KW	1.66	
Starting Current		A	3.9	
Electrical wiring		Power cord		
Wiring connection between indoor & outdoor		3*1(Earth)		
EER	Cooling	KWKW	4.19	
	Heating		4.59	
Net Dimension & Weight	Inner	mm	275x790x215	
		kg(lbs)	9(20)	
	Outer	mm	548x795x290	
		kg(lbs)	35(77)	
Gross Dimension & Weight	Inner	mm	290x835x345	
		kg(lbs)	12(26)	
	Outer	mm	648x910x360	
		kg(lbs)	39(86)	
Refrigerant charge included		g	950	
Additional Charge per meter		Chargeless (≤15m) 26g/m (>15m)		
Connection Method		Flare		
Connection Pipe Size (Small/Large)		mm 6.35/9.52		
Drain Pipe Material (Inner/Outer)		PP+LLDPE/PE		
Drain Pipe Diameter (Inner/Outer)		mm Ø16/Ø16		
Max Pipe Length Height Difference		m	20(15) 15	
Permissible Range of Outdoor Temperature	Cooling	°C	16~43	
	Heating		-15~24	
Refrigerant		R410A		

→ 38% de la potencia nominal (sin considerar desescarche)

Nominal, mínima y máxima  
→ 97% de la potencia nominal a max. revoluciones del compresor (sin considerar desescarche)

## Anexo 2: Ficha técnica de Panel solar Monocristalino de 375 Wp

### INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN STC\*

Potencia máxima (Pmax)	375 W
Tolerancia de potencia	0~+5 W
Eficiencia del módulo	19.33 %
Máxima capacidad de voltaje (Vmp)	39.77 V
Máxima capacidad de corriente (Imp)	9.43 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	47.65 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.80 A

\*Condiciones Estándar de Medida: Radiación: 1000 W/m<sup>2</sup> · Temperatura de las celdas: 25°C · AM: 1.5

### INFORMACIÓN ELÉCTRICA EN NOCT\*

Potencia máxima de salida (Pmax)	279.61 W
Capacidad máxima de voltaje (Vmp)	37.28 V
Capacidad máxima de corriente (Imp)	7.49 A
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	44.19 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	7.97 A

\*Temperatura Nominal de Operación de la Celda: Irradiación: 800W/m<sup>2</sup> · Temperatura ambiente: 20°C · AM: 1.5 · Velocidad del viento: 1m/s

### CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

NOCT	45 °C ±2 °C
Coefficiente de temperatura de Pmax	-0.39%/°C
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.31%/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	+0.06%/°C

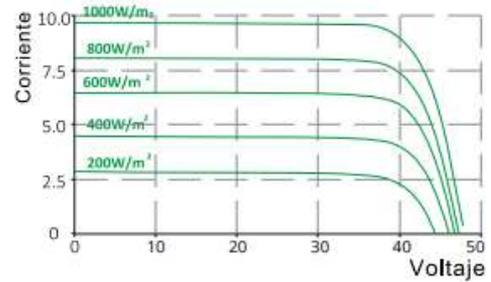
### RANGO MÁXIMO

Rango de temperatura de operación	-45°C ~ +85 °C
Máximo voltaje del sistema	1500 V
Rango máximo de capacidad del fusible	15 A
Máxima carga frontal (ejem. nieve)	5400 Pa
Máxima carga posterior (ejem. viento)	2400 Pa

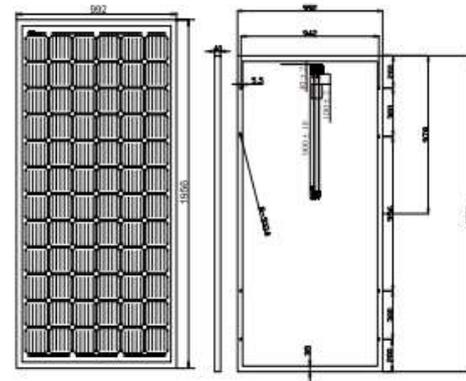
### CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Tipo de celdas	Monocristalino (156x156 mm)
Número de celdas	72
Dimensiones	1956x992x40 mm
Peso	22.8 kg
Vidrio	3.2 mm vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado
Caja de control	IP65 o IP67
Cable	0.9 m
Conector	MC4 o MC4 compatible

### CURVA I-V



### DISEÑO DE INGENIERÍA



### EMBALAJE

Tipo	Pzas	Peso
Paleta	26 pzas	622.8 kgs
Contenedor 20GP	300 pzas	7.2 t
Contenedor 40GP	624 pzas	14.9 t
Contenedor 40HQ	696 pzas	16.7 t

### Anexo 3: Ficha técnica del Inversor de Onda pura senoidal

Model : TW-1500		TW-1500-12V	TW-1500-24V	TW-1500-48V
AC Output	Continuous power:	1500W		
	Surge power:	3000W		
		120%<load<load</load		
		150%<load<load</load		
	Output Waveform	Pure Sine Wave (THD < 3%)		
	Output Frequency	50Hz±0.1% or 60Hz±0.1% (Optional)		
	AC Output Voltage	100~120VAC / 200~240VAC (Optional)		
DC Input	DC Input Voltage	12V DC	24V DC	48V DC
	Voltage Range	10.8V-15.5V	21.6V-31V	43.2V-62V
	Low Voltage Alarm	10.8V± 0.2V	21.6V±0.4V	43.2V±0.8V
	Low Voltage Shut down	10.2V±0.2V	20.4V±0.4V	40.8V±0.8V
	Over Voltage Shut down	15.5V±0.2V	31V±0.4V	62V±0.8V
Converting Max. Efficiency		90% (Full Loading) / 95% (1/3 Loading)		
No Load Consumption		<0.8A	<0.4A	<0.2A
Protection	Over Thermal:	Shut Off Output Automatically, Temperature >75°C		
	Short circuit protection:	Reverse Polarity (External Fuse)		
	Cooling Fan automatically run	Temperature ≥45°C		
Environment	Working temperature	-10°C~+50°C		
	Working humidity	20%~90% RH Non-Condensing		
	Storage Temperature Range	-30°C~+70°C		
LED Indicator Light		Inverter, Fault		
Packing	Inner Box Dimensions (mm)	315*195*135mm		6pcs /Carton
	Inner Box Weight (kg)	2.6 kg		
	Carton Dimensions (mm)	420*340*460 mm		
	Carton Weight (kg)	16 kg		

## Anexo 4: Ficha técnica de la batería

### Benefits

- Increased energy in given space
- Easy installation and upscaling
- High operational reliability
- Optimized supervision strategy through remote control/diagnostic
- Super long life time
- Built-in intelligent BMS to protect the battery pack at any time and prolong its service life

### Standards

- IEC 60950
- IEC 62321
- IEC 62133
- UN 38.3
- ISO 9001
- ISO 14001
- IP20

### Specifications

#### 1. Dimension & Weight

Height	380mm
Width	165mm
Depth	335mm
Reference Weight	25kg

#### 2. Functional Parameter

Nominal Voltage	25.6V
Capacity	100Ah(0.2C)
Volumetric Energy Density	≤2560 Wh
	127.3 Wh/dm <sup>3</sup>

#### 3. Charging & Discharge Current

Standard Charge Method	20A
Max.Continuous Charge Current	65A
Max.Continuous Discharge Current	65A
Discharge Over Current Protect	195A

#### 4.Environmental Requirements

Discharge Temperature Charge	-20~60℃
Temperature Max.Continuous	0~55℃
Storage Temperature	-20~60℃
Humidity environment	5~95%

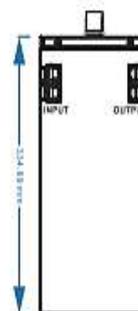
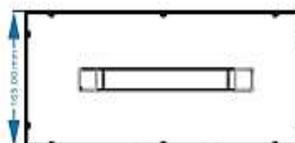
#### 5. Over Voltage & Low Voltage Protection

Charge Protect Voltage	28.8V
Discharge Protect Voltage	21.6V

#### 6. Additional Features

Communication Interface	RS485/ RS232
Additional Features	LCD Display

#### Dimensions (mm)



Time [h] under Constant Current Discharge (25℃)

电压Voltage/V \ 电流Current I/A	0.1C	0.2C	0.3C	0.4C	0.5C	0.6C	0.7C	0.8C	0.9C	1.0C
24.0	9.465	4.852	3.250	2.418	1.924	1.588	1.355	1.179	1.039	0.939
23.2	9.912	4.942	3.302	2.452	1.960	1.617	1.386	1.199	1.070	0.959
22.4	9.960	4.992	3.341	2.493	1.988	1.638	1.396	1.219	1.079	0.969
21.6	10.099	5.039	3.355	2.507	2.000	1.658	1.405	1.229	1.089	0.979

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Barrionuevo Acosta, José María** con C.C: 0923600647 autor del Trabajo de Titulación: **Estudio del desempeño de un sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica**, previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 07 de julio del 2022



---

Barrionuevo Acosta, José María

C.C: 0923600647



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio del desempeño de un sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Barrionuevo Acosta, José María		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	MSc. Manuel Romero Paz; MSc. Diana Bohórquez Heras/M.SC. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>CARRERA:</b>	Maestría en Electricidad		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Electricidad Con Mención En Energías Renovables Y Eficiencia Energética.		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	07 de julio del 2022	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	76
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Energía renovable, Sistemas de climatización inverter.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Radiación solar, Paneles solares, Células fotovoltaicas, Sistemas de climatización inverter, Módulos solares.		

El presente trabajo de titulación se presenta una propuesta de diseño de sistema de climatización inverter alimentado con energía fotovoltaica para un local de servicio de pequeña capacidad en la ciudad de Guayaquil, que permita una reducción del consumo de energía eléctrica proporcionado por el país. El objetivo principal contempla en obtener los indicadores de desempeño fundamentales de un sistema de climatización inverter, alimentado con fuentes renovables de energía (energía fotovoltaica), para diferentes condiciones de operación y parámetros de radiación solar, para posibilitar el uso de esta (Fre). La metodología por usar es la de observación documental y científica, la cual se la aplica con la finalidad de adquirir información y obtener la definición del incertidumbre o problema del marco teórico y el posterior desarrollo de la tesis. Finalmente se empleó la metodología analítica, con la finalidad de indagar los elementos de forma independiente para observar las respectivas correspondencias entre ellos.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593 988761963	<b>E-mail:</b> jose.barrionuevo@cu.ucsg.edu.ec
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Bohórquez Escobar, Celso Bayardo	
	<b>Teléfono:</b> 0995147293	
	<b>E-mail:</b> celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		