

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**TEMA:**

“Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.”

**AUTOR:**

León Durán, Marcelo Salvatore

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
**INGENIERO EN ELÉCTRICO-MECÁNICA.**

**TUTOR:**

ING. HIDALGO AGUILAR JAIME RAFAEL

**Guayaquil, Ecuador**

**08 de marzo de 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **LEÓN DURÁN MARCELO SALVATORE**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico-Mecánica**.

### **TUTOR**

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

ING. HIDALGO AGUILAR JAIME RAFAEL

DIRECTOR DE LA CARRERA

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

ING. HERAS SÁNCHEZ MIGUEL ARMANDO.

**Guayaquil, a los 8 días del mes de marzo del año 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **León Durán Marcelo Salvatore**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación **“Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”** previo a la obtención del Título de **Ingeniería en Eléctrico-Mecánica**, 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 trabajo 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 8 días del mes de marzo del año 2018**

### **EL AUTOR**

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

**León Durán Marcelo Salvatore**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

## **AUTORIZACIÓN**

**Yo, León Durán Marcelo Salvatore**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad de Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 8 días del mes de marzo del año 2018**

**AUTOR**

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

**León Durán Marcelo Salvatore**

## REPORTE URKUND

**Título:** Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

**Autor:** Marcelo Salvatore León Durán

URKUND

Documento: [Rosero\\_Vanessa\\_TT\\_Final.docx](#) (D35748727)

Presentado: 2018-02-19 10:37 (-05:00)

Presentado por: orlandophilco7@gmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: Fwd: Trabajo de Titulación - urkund [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de estas 50 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

- [https://www.researchgate.net/publication/312410810\\_Li-Fi\\_light\\_Fidelity\\_the\\_fu...](https://www.researchgate.net/publication/312410810_Li-Fi_light_Fidelity_the_fu...)
- 100% Li-Fi (light Fidelity): the future technology in wireless communication |
- 100% Li-Fi (light Fidelity): the future technology in wireless communication |
- [https://en.m.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](https://en.m.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)

Fuentes no usadas

2 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

100% # 95 Activo Fuente externa: [https://www.researchgate.net/publication/312410810\\_Li-Fi\\_light\\_Fidell...](https://www.researchgate.net/publication/312410810_Li-Fi_light_Fidell...) 100%

Li-Fi (light Fidelity): the future technology in wireless communication.

Int. J. Inf. Comput. Technol., 0974-2239. Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/publication/312410810\\_Li-Fi\\_light\\_Fidelity\\_the\\_future\\_technology\\_in\\_wireless\\_communication](https://www.researchgate.net/publication/312410810_Li-Fi_light_Fidelity_the_future_technology_in_wireless_communication)

Li-Fi\_light\_Fidelity\_the\_future\_technology\_in\_wireless\_communication

Kozamernik, F. (2002). Media

Streaming over the Internet — an overview of delivery technologies. EBU Technical Department, 1-15. Recuperado a partir de [https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev\\_292-kozamernik.pdf](https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_292-kozamernik.pdf)

Kumar, K. (2016).

Li-Fi (Light Fidelity) Technology: A Future Technology in Wireless Communication.

Journal of Advance studies, 3, 149-151. Recuperado a partir de

El trabajo de titulación del Sr. **Marcelo Salvatore León Durán**, presenta un porcentaje del 1% de coincidencias con otros documentos encontrados en internet.

---

**Msc. Orlando Philco A.**

Revisor

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, debo agradecerle a Dios por todas las oportunidades que me ha dado a lo largo de mi vida, y en especial en la culminación de esta etapa universitaria.

A mis padres, abuelos y hermano, por haber sido un pilar importante en mi vida con los cuales he podido contar a lo largo de esta etapa y que siempre me han apoyado y apoyarán para cualquier objetivo que quiera cumplir.

A mis amigos, entre ellos, Daren y Mateo con quienes comparto desde mi época de colegio, y compañeros de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, los cuales siempre han estado para darnos la mano mutuamente cuando lo hemos necesitado.

A Denisse y mis demás amigos por su ayuda, consejos y paciencia, ya que este trabajo de titulación no hubiese culminado sin su participación.

A mis profesores de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, por habernos enseñado tanto, y principalmente por inculcarnos valores que permanecerán en nosotros por mucho tiempo.

A todos aquellos que de alguna u otra forma han sido parte de mi vida, gracias por su apoyo.

Marcelo León Durán

## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado para Dios, ya que sin Él esto no podría haber sido posible.

A mi familia, por apoyarme en todo lo que he necesitado y querido a lo largo de mi vida y carrera universitaria.

A mis amigos más cercanos por su incondicional apoyo.

Este logro es para todos ustedes.

Marcelo León Durán



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

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

**ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS  
DECANO**

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

**PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO  
COORDINADOR DE TITULACIÓN**

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

**VALLEJO SAMANIEGO, LUIS VICENTE  
OPONENTE**

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVIII
RESUMEN.....	XIX
ABSTRACT .....	XX
CAPÍTULO I.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1    Justificación.....	2
1.2    Planteamiento del problema .....	3
1.3    Objetivos.....	3
1.3.1    Objetivo General .....	3
1.3.2    Objetivos Específicos .....	3
1.4    Tipo de investigación .....	4
1.5    Hipótesis.....	4
1.6    Metodología.....	4
MARCO TEÓRICO .....	6
CAPÍTULO 2.....	6
2.1    Energías renovables y no renovables.....	6
2.1.1    Energía termoeléctrica: .....	6
2.1.2    Energía nuclear:.....	6
2.1.3    Energía hidroeléctrica: .....	7
2.1.4    Energía eólica: .....	7
2.1.5    Biomasa: .....	8

2.1.6	Energía geotérmica: .....	8
2.2	Energía solar fotovoltaica: .....	8
2.3	Principio de Funcionamiento de un Panel Solar .....	10
2.3.1	Ventajas de la utilización de la energía solar fotovoltaica .....	13
2.3.2	Desventajas de la utilización de la energía solar fotovoltaica ...	14
2.4	Elementos y construcción de un panel solar .....	15
2.4.1	Placa captadora exterior.....	16
2.4.2	El encapsulante.....	16
2.4.3	Placa Posterior .....	17
2.4.4	Carcasa metálica .....	17
2.4.5	Caja de terminales .....	17
2.4.6	Diodos de protección.....	18
2.5	Tipos de paneles solares .....	18
2.5.1	Silicio monocristalino.....	18
2.5.2	Silicio policristalino .....	21
2.5.3	Silicio Amorfo .....	23
2.5.4	Teluro de Cadmio.....	24
2.5.5	Diseleniuro de cobre, indio y galio.....	24
2.5.6	Arseniuro de galio .....	25
2.6	Componentes de un sistema solar fotovoltaico .....	26
2.6.1	Generadores fotovoltaicos.....	27
2.6.2	Regulador de voltaje .....	35
2.6.3	Baterías.....	40

2.6.4 Inversores .....	48
APORTACIONES .....	53
CAPÍTULO 3.....	53
3.1 Ubicación.....	53
3.2 Radiación solar en la ciudad de Guayaquil y Ecuador .....	54
3.3 Cálculo de carga.....	55
3.4 Levantamiento de carga .....	56
3.5 Rendimiento del sistema fotovoltaico .....	62
3.6 Energía real a generar del campo fotovoltaico .....	64
3.7 Potencia real a generar del campo fotovoltaico .....	65
3.8 Cantidad de paneles solares .....	65
3.9 Diseño de conexión de paneles .....	66
3.10 Agrupamiento y cantidad de equipos a utilizar en el diseño.....	68
3.11 Selección de equipos .....	68
3.12 Dimensionamiento del inversor.....	70
3.13 Sistemas mixtos .....	71
3.14 Tablero Relevador .....	72
3.15 Conexión en paralelo.....	73
3.16 Regulador de carga .....	74
3.17 Características del banco de baterías.....	75
3.18 Cálculo de corriente DC.....	75
3.19 Cálculo de corriente AC.....	77
3.20 Conductores a utilizar .....	78

CAPÍTULO IV .....	80
ESTUDIO ECONÓMICO .....	80
4.1 Presupuesto .....	80
4.2 Consumo energético Actual .....	80
CONCLUSIONES .....	84
RECOMENDACIONES.....	86
ANEXOS .....	87
REFERENCIAS .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución de consumo de las distintas fuentes de generación eléctrica global en el año 2015. ....	8
Figura 2.2 Consumo de energía eléctrica global proveniente de fuentes renovables y no renovables en el año 2016. ....	9
Figura 2.3 Potencial de las energías renovables en el mundo. Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2011). ....	10
Figura 2.4 Desplazamiento de electrones y protones en una célula fotovoltaica expuesta a radiación solar. Fuente: Pep Puig, Marta Jofra (2018). ....	12
Figura 2.5 Flujo de corriente eléctrica en una célula fotovoltaica. Fuente: Pep Puig, Marta Jofra (2018). ....	13
Figura 2.6 Estructura de un panel solar fotovoltaico. Fuente: Área Tecnológica (2011). ....	13
Figura 2.7 Elementos de un panel fotovoltaico. Fuente: UJAEN (2008). ....	15
Figura 2.8 Elementos de un panel fotovoltaico. Fuente: Sebastián, Eliseo (2014). ....	16
Figura 2.9 Elementos de un panel fotovoltaico. Fuente: GreenHeiss (2015). ....	17
Figura 2.10 Elementos de un panel fotovoltaico. Fuente: UJAEN (2008). ....	18
Figura 2.11 Cristalización por el método de Czochralski. Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017). ....	19
Figura 2.12 Lingote de silicio monocristalino. Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017). ....	20
Figura 2.13 Panel solar monocristalino. Fuente: Energías Renovables Información (2015). ....	20
Figura 2.14 Solidificación de panel solar policristalino. ....	21

Figura 2.15 Coeficiente de temperatura de un panel de silicio policristalino. Fuente: Cambiosolar (2016). .....	22
Figura 2.16 Coeficiente de temperatura de un panel de silicio policristalino. Fuente: Energías Renovables Información (2015). .....	22
Figura 2.17 Partes de una célula de silicio amorfo. Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017). .....	23
Figura 2.18 Panel de silicio amorfo. Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017). .....	23
Figura 2.19 Panel de telurio de cadmio. Fuente: Pinterest (2014). .....	24
Figura 2.20 Panel de diseleniuro de cobre indio y galio. Fuente: Energía Inagotable (2012). .....	25
Figura 2.21 Panel de arseniuro de galio. Fuente: Energía Inagotable (2012). .....	25
Figura 2.22 Elementos generales de un sistema solar fotovoltaico. Fuente: Gasquet, Héctor (2004). .....	26
Figura 2.23 Componentes de un sistema solar fotovoltaico. Fuente: Gasquet, Héctor (2004). .....	26
Figura 2.24 Curva I-V con parámetros de corriente cortocircuito, voltaje en circuito abierto y potencia máxima. Fuente: Área Tecnológica (2011). .....	28
Figura 2.25 Curva I-V del módulo solar m55 de la marca Siemens. Fuente: Siemens (2018). .....	29
Figura 2.26 Especificaciones técnicas del módulo solar m55 de la marca Siemens. Fuente: Siemens (2018). .....	29
Figura 2.27 Curva I-V del módulo solar m75 de la marca Siemens. Fuente: Siemens (2018). .....	30
Figura 2.28 Comparación de curvas I-V para cambios de temperatura. Fuente: Ingelibre (2018). .....	31

Figura 2.29 Comparación de curvas de potencia máxima con respecto a la temperatura. Fuente: Ingelibre (2015).....	32
Figura 2.30 Esquema de conexión en serie de 4 paneles fotovoltaicos. Fuente: Damiasolar (2016). .....	34
Figura 2.31 Esquema de conexión en paralelo de 4 paneles fotovoltaicos. Fuente: Damiasolar (2016). .....	34
Figura 2.32 Esquema de conexión mixta de 6 paneles fotovoltaicos. Fuente: Damiasolar (2016). .....	35
Figura 2.33 Regulador de voltaje de un sistema fotovoltaico SOLARTEC. Fuente: Sebastián, Eliseo (2014).....	37
Figura 2.34 Esquema de sistema fotovoltaico con regulador de control en paralelo. Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).....	38
Figura 2.35 Esquema de sistema fotovoltaico con regulador de control en serie. Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).....	39
Figura 2.36 Esquema de conexión de baterías en serie. Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).....	44
Figura 2.37 Esquema de conexión de baterías en paralelo. Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).....	44
Figura 2.38 Esquema de conexión mixta de baterías. Fuente: Baterías y Amperios (2014). .....	45
Figura 2.39 Constitución y partes de una batería. Fuente: Gasquet, Héctor (2004). .....	46
Figura 2.40 Tipos de baterías. Fuente: Arévalo, Harry (2016). .....	47
Figura 2.41 Proceso interno de carga y descarga de una batería de ácido-plomo. Fuente: Gasquet, Héctor (2004).....	47
Figura 2.42 Inversor de un sistema fotovoltaico. Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003). .....	48

Figura 2.43 Curva del rendimiento de un inversor en función de la potencia y factor de potencia. Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003). .....	49
Figura 2.44 Formas de onda del voltaje de salida en los distintos tipos de inversores. Fuente: Gasquet, Héctor (2004). .....	50
Figura 2.45 Diagrama de un sistema fotovoltaico con cargas en AC. Fuente: Gasquet, Héctor (2004). .....	52
Figura 3.1 Ubicación de la Facultad Técnica para el Desarrollo en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Fuente: Google Maps (2018). .....	53
Figura 3.2 Mapa satelital de la ubicación de la Facultad Técnica para el Desarrollo en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Fuente: Google Maps (2018). .....	53
Figura 3.3 Mapa de irradiación solar de Ecuador.....	54
Figura 3.4 Curva horaria de irradiancia con sus horas pico solares. ....	55
Figura 3.5 Tabla de radiación solar mensual en las ciudades de Guayaquil y Quito.....	55
Figura 3.6 Panel solar de SolarWorld 330 SW mono black.....	69
Figura 3.7 Panel solar de SolarWorld 330 SW mono black.....	69
Figura 3.8 Inversor Ingeteam 3.6 TL U. ....	70
Figura 3.9 Diagrama interno del inversor Ingeteam 3.6 TL U. Fuente: Ingeteam (2011). .....	70
Figura 3.10 Sistema mixto con alimentación fotovoltaica y con una red de distribución, mediante un panel relevador.....	73
Figura 3.11 Sistema mixto con alimentación fotovoltaica y eólica, mediante una conexión en paralelo solo con cargas DC. ....	74
Figura 4.1 Tarifa para instalaciones en media tensión con demanda horaria según el ARCONEL.....	81

Figura 4.2 Cargos tarifarios para CNEL GUAYAQUIL, 2018. Fuente:  
ARCONEL (2018).....81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Energía Renovable instalada durante los años 2010-2014 .....	9
Tabla 3.2 Cantidad de puntos de luz y tomas de corriente .....	56
Tabla 3.3 Horarios de utilización de equipos .....	57
Tabla 3.4 Cálculo para equipos de acondicionamiento de aire .....	58
Tabla 3.5 Levantamiento de carga secretaría .....	58
Tabla 3.6 Levantamiento de carga Coordinación Académica 1 .....	59
Tabla 3.7 Levantamiento de carga Coordinación Académica 2 .....	59
Tabla 3.8 Levantamiento de carga centro de apoyo docente.....	59
Tabla 3.9 Levantamiento de carga pasillos de secretaría .....	60
Tabla 3.10 Levantamiento de carga Director de Carrera de Telecomunicaciones .....	60
Tabla 3.11 Levantamiento de carga Decanato.....	60
Tabla 3.12 Levantamiento de carga sala de profesores, cafetería y baños..	61
Tabla 3.13 Levantamiento de carga Exteriores .....	61
Tabla 3.14 Consumo diario y potencia instalada por departamentos .....	61
Tabla 4.1 Presupuesto del proyecto. ....	80
Tabla 4.2 Rubro por valor de comercialización .....	82
Tabla 4.3 Rubro por demanda .....	82
Tabla 4.4 Rubro por energía.....	82
Tabla 4.5 Valor a pagar mensual y anual.....	82

## RESUMEN

La demanda de energía eléctrica ha provocado a lo largo de los años se busquen alternativas para la generación eléctrica, esto repercute directamente en el impacto ambiental que se ocasiona, debido a que la necesidad de esta energía ha sido contrarrestada con la explotación de recursos que emiten grandes cantidades de contaminación al ecosistema. La energía solar fotovoltaica apareció como una alternativa para disminuir los problemas ambientales y solventar algunas de las necesidades energéticas existentes. En el presente proyecto se analiza la posibilidad de implementar esta tecnología en el área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, FETD, con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes consideradas como contaminantes, y a su vez, recuperar la inversión y obtener un beneficio económico a lo largo de los años. Para el estudio, se realizó un levantamiento de carga en área especificada, y se calcularon la cantidad y capacidades de equipos a usar en la instalación. Asimismo, se realizó un análisis económico que consiste en una cotización para la implementación del sistema, una aproximación del consumo eléctrico en el área, el tiempo que se tardaría en recuperar la inversión y el tiempo que se gozaría de energía eléctrica gratuitamente.

**Palabras claves:** Sistema solar fotovoltaico, energía eléctrica, energías renovables, radiación solar, inversión, paneles, potencia, corriente, voltaje.

## **ABSTRACT**

The demand of electricity has led over the years for the looking of new alternatives for the electrical generation, this has a direct impact in the environmental impact that this causes, because of the need of electricity that has been countered with the exploitation of natural resources that emit huge amounts of contamination to the ecosystem. The solar photovoltaic energy appeared like an alternative to reduce environmental problems and give solutions to some of the existing energetic needs. This project analyzes the possibility of implementing this technology in the administrative area of the Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, FETD, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, in order to reduce the electrical consumption from sources that are considered as pollutants, and at the same time, recover the investment and gain an economic benefit through the years. For the study, a load lifting has been realized in the specific area, and the quantity and capacity of the equipment that are going to be used in the installation, have been calculated.

An economic analysis was also realized, which consists in the quoting for the system implementation, an approximated electrical consumption in the area, the time needed in recover the investment and the time that would enjoy of free electrical energy.

**Key words:** Solar photovoltaic system, electrical energy, renewable energies, solar radiation, investment, panels, power, current, voltage.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Justificación**

La demanda energética en el mundo es cada vez mayor, no solamente en el área industrial y comercial, sino también en las residencias. Esto es producido al incremento poblacional y a la necesidad de las personas a utilizar equipos que necesitan del consumo de energía eléctrica para su funcionamiento, y al no existir la suficiente cantidad de energía limpia, se produce energía eléctrica por medio de los combustibles fósiles lo cual genera un gran impacto en el medio ambiente.

A medida que han pasado los años, se ha incrementado la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías que nos permiten tener alternativas a la hora de generar energía eléctrica. Aquí es donde aparecen las energías renovables, las cuales han ido aumentando su implementación en diversos lugares del mundo, algunas debido a su eficiencia, otras porque su inversión garantizará la producción de energía eléctrica por muchos años, pero sin duda, el principal motivo de su implementación es su reducido impacto ambiental, ya sea visual, auditivo, contaminante, etc.

La energía solar fotovoltaica es una gran alternativa para poder alimentar equipos de energía eléctrica, cuando ésta no llega a ciertos sectores por parte de las empresas comercializadoras. Esto puede ocurrir por encontrarse en zonas de difícil acceso, debido a las zonas geográficas donde están ubicadas, es decir donde las líneas de transmisión y distribución no llegan.

El propósito de esta investigación es dotar de energía solar fotovoltaica a la secretaría de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, de manera que ésta pueda abastecerse de una energía limpia, y sirva como ejemplo para que otras secciones tomen esta iniciativa que contribuye con el desarrollo energético del país y con el medio ambiente.

## **1.2 Planteamiento del problema**

El continuo incremento de la demanda energética abre las puertas para el desarrollo de nuevas tecnologías para la producción de energía eléctrica, entre las cuales se destaca la energía solar fotovoltaica debido a su reducido impacto ambiental, y su aprovechamiento de un tipo de energía la cual no es comúnmente utilizada, como lo es la energía proveniente de la radiación producida por el sol.

El desarrollo en la fabricación de los equipos para los sistemas fotovoltaicos nos permite pensar en la idea de una posible implementación de esta tecnología con el fin de contribuir con el desarrollo energético del país, mediante una fuente de energía limpia, y que, a su vez, es una inversión.

Guayaquil es una ciudad la cual está situada geográficamente en un punto de alta radiación solar. Debido a su ubicación, la implementación de los paneles fotovoltaicos, puede llegar a ser viable por la radiación solar de zona, y esto permitirá ahorrar una gran cantidad de dinero por el uso de la energía eléctrica en el área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, y así destinar el dinero para otras necesidades de la facultad.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Realizar el estudio técnico y económico de la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un levantamiento de carga en el área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Calcular y dimensionar los elementos existentes en el proyecto solar fotovoltaico.

- Realizar un análisis económico que detalle el presupuesto del proyecto, para de esa forma, determinar la viabilidad del proyecto.

#### **1.4 Tipo de investigación**

Este trabajo de investigación fue realizado bajo dos tipos de investigación, que son:

- Investigación documental, debido a que se la realizó bajo la consulta de material previamente documentado.
- Investigación de campo, porque se realizó un estudio en el lugar de trabajo para determinar variables y recopilar datos.

#### **1.5 Hipótesis**

Los paneles solares tienen la función de captar la energía proveniente del sol, para así convertirla en energía eléctrica, mediante sus celdas fotovoltaicas.

Esto es un beneficio importante para el medio ambiente, ya que se utilizaría una fuente de energía limpia y renovable para producir energía eléctrica, y se evitaría la emisión de gases tóxicos que afectan a la capa de ozono en gran medida.

Se tratará de incentivar a todas las facultades y espacios de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a considerar la opción de utilizar a los sistemas fotovoltaicos como método de producción de energía eléctrica, para que así sirva de ejemplo y se pueda implementar en otros espacios de Guayaquil.

#### **1.6 Metodología**

Este trabajo de investigación se realizó con el fin de diseñar un sistema fotovoltaico, pero para hacerlo es necesario seguir una serie de protocolos ya preestablecidos, que garantizan el funcionamiento de un sistema eléctrico alimentado por energía solar mediante paneles fotovoltaicos. Asimismo, es importante conocer que para la seguridad de las personas que se benefician

de este sistema, y equipos que conforman el sistema fotovoltaico se realizó esta documentación con la mayor cantidad de información veraz y comprobada.

Para el estudio de la radiación solar que incide sobre el la ciudad de Guayaquil y sobre el espacio ocupado por el área administrativa de la Facultad de Educación de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se utilizaron documentos realizados por el Gobierno Nacional de la República del Ecuador, como por ejemplo el denominado “Norma Ecuatoriana de Construcción”.

El estudio de la carga que será alimentada por el sistema fotovoltaico, fue realizado mediante un levantamiento de carga y una estimación de la cantidad de horas que son utilizados los equipos diariamente.

El estudio económico se realizó mediante cotizaciones de los equipos a utilizar en los distintos mercados mundiales, debido a parámetros como mejores ofertas económicas y disponibilidad de los mismos.

Para realizar el cálculo del consumo actual en el área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, mediante un levantamiento de carga realizado, se utilizaron los datos, fórmulas, tablas y cargos tarifarios proporcionados por el documento emitido por el ARCONEL denominado “Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución” con vigencia para el periodo comprendido entre enero y diciembre de 2018.

# MARCO TEÓRICO

## CAPÍTULO 2

### 2.1 Energías renovables y no renovables

Existen distintos tipos de transformar la energía con la finalidad de obtener energía eléctrica como resultado. A lo largo de los años, se han utilizado fuentes de energía que han afectado al medio ambiente, destruyendo poco a poco la capa de ozono.

Es por esto, que cada año se intensifica y se lucha por obtener una mayor concientización para utilizar métodos que no afecten al ecosistema. Existen fuentes de energía, que, si bien son ideales para generar energía eléctrica, no lo son tanto para cuidar el planeta en el que vivimos, entre estas tenemos:

#### 2.1.1 Energía termoeléctrica:

Se produce mediante la combustión de combustibles fósiles que produce la evaporación del agua que fluye por el sistema, generando un vapor a alta presión y temperatura que moverá unas turbinas, y mediante un generador se producirá energía eléctrica. Este tipo de energía no es renovable, ya que en algún momento se acabarán las reservas de combustibles fósiles, y, asimismo, no es energía limpia ya que la combustión de los combustibles genera gases tóxicos para el medio ambiente.

#### 2.1.2 Energía nuclear:

Esta utiliza la energía producida por la fisión de los átomos del Uranio 235 para producir calor y así evaporar agua que moverá turbinas, y mediante el generador se producirá energía eléctrica. A este tipo de energía no se la considera limpia porque sus desechos, además de ser nocivamente tóxicos, seguirán contaminando por miles de años, entonces hasta que no se encuentre una manera de almacenar estos desechos eficientemente, seguirá siendo considerada una fuente de energía contaminante.

En cambio, existen otras fuentes de energía que además de ser renovables, no son contaminantes para el medio ambiente, como, por ejemplo:

### **2.1.3 Energía hidroeléctrica:**

Este tipo de energía es el más usado en el mundo, debido a que es una gran fuente de energía limpia. Utiliza la energía cinética y potencial existente en los ríos, para que el movimiento y la caída del agua, muevan turbinas que estarán conectados a ejes, que, a su vez, provocarán que los generadores produzcan energía eléctrica.

Tiene un impacto ambiental considerable, debido a que para instalar una hidroeléctrica, se debe invadir el ecosistema, incluso alterar el cauce de los ríos, lo cual afecta a las especies de la región. La ventaja es que se puede generar energía eléctrica, en grandes potencias, sin contaminar el medio ambiente, evitando la emisión de gases tóxicos a la atmósfera.

### **2.1.4 Energía eólica:**

Se denomina energía eólica a aquella que es producida por la energía cinética provocada por las corrientes de vientos y sus vibraciones, que mueven las aspas de los aerogeneradores. Estos aerogeneradores son máquinas que, al mover sus ejes por la energía del viento, transforman esa energía en energía mecánica, para después poder generar energía eléctrica.

La energía eólica es una energía renovable, y es considerada una fuente de energía limpia debido a que para la producción de energía eléctrica no se contamina el medio ambiente, a pesar de que sí existe un impacto ambiental, aunque este no es muy importante. Colocar las torres eólicas en lugares donde existen grandes corrientes de viento, generan un impacto visual, y un impacto ambiental para las distintas especies de animales de la zona, como, por ejemplo, las aves.

### 2.1.5 Biomasa:

La biomasa consiste en la utilización y aprovechamiento de los residuos orgánicos, con el fin de poder usar estos residuos como un combustible orgánico o también llamado, biocombustible.

Este tipo de energía es renovable, y se la considera un tipo de energía limpia, a pesar de que, en el proceso de utilización, la biomasa utiliza la combustión como parte esencial del proceso de generación de energía eléctrica, este combustible es orgánico y no es tan nocivo como los gases que van al ambiente por la quema de combustibles fósiles, aunque si emiten dióxido de carbono a la atmósfera, existen métodos para poder contrarrestar estos efectos.

### 2.1.6 Energía geotérmica:

Con energía geotérmica nos referimos a la energía que se encuentra almacenada en el interior de la tierra en forma de calor. Esta energía puede ser aprovechada para producir energía eléctrica, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre.

## 2.2 Energía solar fotovoltaica:

Se conoce como energía solar fotovoltaica, a aquella energía que proviene directamente desde el sol, y que posteriormente, es acumulada y transformada en energía eléctrica.

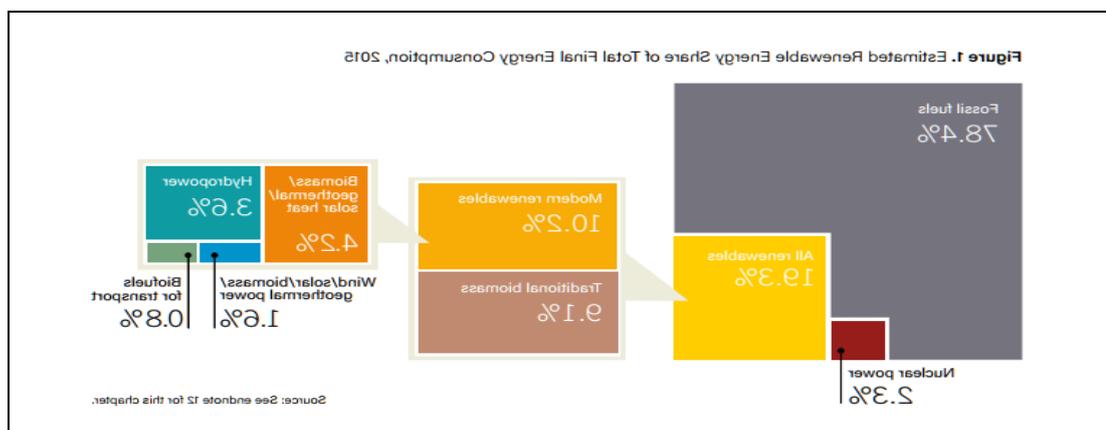
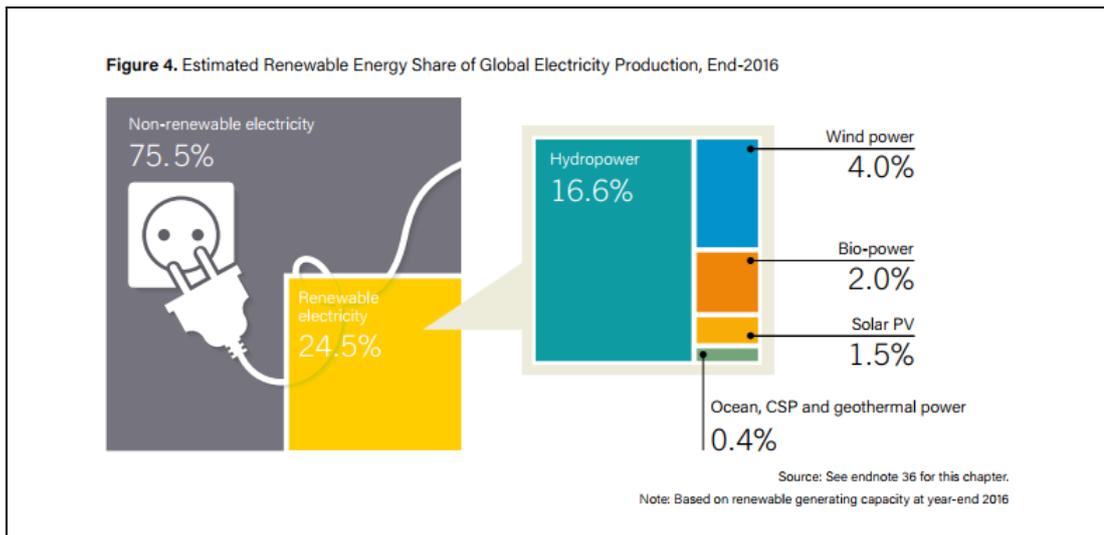


Figura 2.1 Distribución de consumo de las distintas fuentes de generación eléctrica global en el año 2015.

Fuente: REN 21 (2017).



**Figura 2.2 Consumo de energía eléctrica global proveniente de fuentes renovables y no renovables en el año 2016.**

**Fuente: REN 21 (2017).**

**Tabla 2.1 Energía Renovable instalada durante los años 2010-2014**

		2010	2011	2012	2013	2014
Capacidad instalada de renovables (total, sin hidroelectricidad)	GW	315	395	480	560	640
Capacidad instalada de renovables (total, con hidroelectricidad)	GW	1250	1355	1470	1578	1700
Capacidad total hidroeléctrica instalada	GW	935	960	990	1018	1050
Generación con biocombustibles	TWh	313	335	350	396	420
Capacidad total de solar FV instalada	GW	40	71	100	138	180
Capacidad total de CSP	GW	1,1	1,6	2,5	3,4	4,5
Capacidad total de eólica instalada	GW	198	238	283	319	360
Capacidad total de calentamiento solar de agua instalada	GWt	195	223	255	373	450
Producción anual de etanol	x10 <sup>9</sup> litros	85	84,2	83,1	87,8	90
Producción anual de biodiesel	x10 <sup>9</sup> litros	18,5	22,4	22,5	26,3	28

Fuente: Laborde & Williams, ACEFN (2016).

Para poder entender los factores a considerar en la instalación de paneles fotovoltaicos como fuente de suministro de energía eléctrica, es importante conocer las siguientes definiciones.

- **Radiación:** Se conoce como radiación a la cantidad de energía que proviene del sol como ondas electromagnéticas, es decir que la celda fotovoltaica depende directamente de la cantidad de radiación que reciba.

- **Irradiancia:** Es una magnitud con unidades medidas en Kw/m<sup>2</sup>, y se la define como la radiación incidente sobre una superficie específica.
- **Irradiación:** Es una magnitud medida en kWh/m<sup>2</sup>, y se la define como la radiación incidente sobre una superficie específica en un período de tiempo.

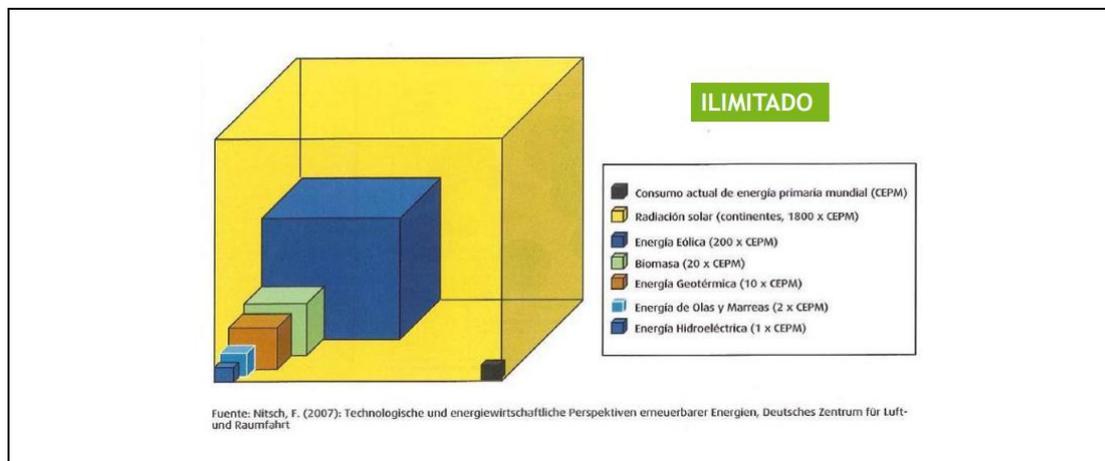


Figura 2.3 Potencial de las energías renovables en el mundo.  
Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2011).

### 2.3 Principio de Funcionamiento de un Panel Solar

La energía solar es una fuente de energía que se encuentra al alcance de todas las personas en el planeta, la diferencia radica que algunos sectores, por su posición geográfica o distintos factores, pueden aprovechar en mayor o menor medida la radiación solar. Cabe recalcar que es una fuente de energía inagotable y no contaminante, por eso existen estos métodos para poder aprovecharla a mayor medida.

Un panel solar funciona bajo el efecto fotovoltaico, el cual lo descubrió en el año de 1939, el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel (1820-1891). Se descubrió gracias a un experimento, en el cual Alexandre-Edmond Becquerel notó que la corriente eléctrica se elevaba en una pila, al exponer a la luz solar una de las platinas que tenía la pila.

Posteriormente, Albert Einstein, en el año de 1920, explicó que este efecto fotovoltaico funcionaba gracias a que los electrones absorbían los fotones

provenientes de la luz solar, proporcionalmente a la fuente de donde proviene la luz.

Se conoce que todos los elementos de la Tierra están formados por átomos, los cuales contienen protones y electrones. La corriente eléctrica es producida cuando una fuerza de excitación, conocida como voltaje o potencial eléctrico, genera un flujo de electrones. Hay materiales en los cuales es más fácil desplazar los electrones. Es por esta razón, que, dependiendo el elemento o material, resulta más fácil o complejo hacer que exista una corriente eléctrica. Por ejemplo, metales como el oro, plata, cobre, etc. son conocidos como materiales conductores por su facilidad de desplazar electrones, a diferencia de los materiales conocidos como aislantes.

Existen otro tipo de materiales conocidos como semiconductores, y son aquellos que cuando cumplen ciertos parámetros y condiciones, pueden llegar a comportarse como conductores o aislantes. Para que el material semiconductor se convierta en un conductor, los parámetros a tomar en cuenta son: temperatura, presión, campos magnéticos, radiaciones, etc.

Los componentes que se encargan de transformar la energía solar en energía eléctrica son conocidos como células fotovoltaicas, y se puede decir que la única forma de producir energía eléctrica es cuando se cumplen con tres restricciones.

- ✓ Cuando en el elemento es posible cambiar la cantidad de protones y electrones.
- ✓ Cuando se pueden agregar cargas al elemento.
- ✓ Cuando se puede crear un campo eléctrico o diferencia de potencial.

A los semiconductores considerados puros, se les pueden añadir partículas contaminantes, las cuales son capaces de entregar y aceptar cargas negativas o electrones. Este es un proceso conocido como proceso de dopado. Los átomos contaminantes son de dos tipos, tipo p y tipo n. Aquellos

que en su capa de valencia poseen un electrón más que el semiconductor a dopar, se los llama tipo n, y los que tienen un electrón menos, son de tipo p.

Se pueden agregar cargas al elemento mediante la exposición de la célula fotovoltaica a la luz solar. Esto ocurre gracias a que la energía que recibe la célula fotovoltaica, en forma de radiación solar, es capaz de mover a los electrones hacia el área de conducción dejando un hueco donde otro electrón tomará su lugar, y se generará un ciclo donde los electrones se desplazan y exista un flujo, gracias a la energía proveniente de los fotones de luz.

Cuando se unen dos semiconductores con diferentes cantidades de protones y electrones, se crea una diferencia de potencial entre las dos partes de la unión. Al unirse algunos de estos materiales, se crea lo que se conoce como una célula fotovoltaica. Cuando este dispositivo capta la radiación solar, recibiendo los fotones, los electrones y protones se separan gracias al campo eléctrico que se produce, y de esta forma se crea una corriente eléctrica entre la unión de los materiales semiconductores.

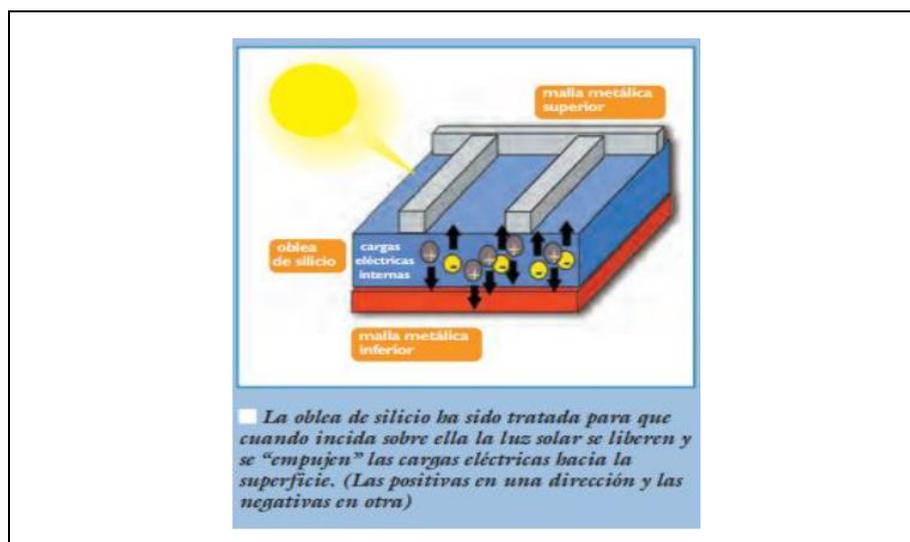


Figura 2.4 Desplazamiento de electrones y protones por la radiación solar.

Fuente: Pep Puig, Marta Jofra (2018).

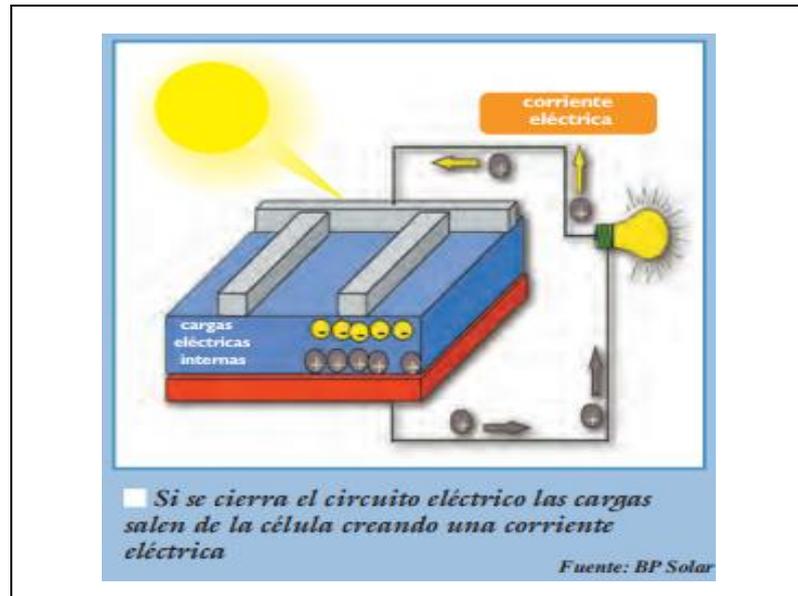


Figura 2.5 Flujo de corriente eléctrica en una célula fotovoltaica.  
Fuente: Pep Puig, Marta Jofra (2018).

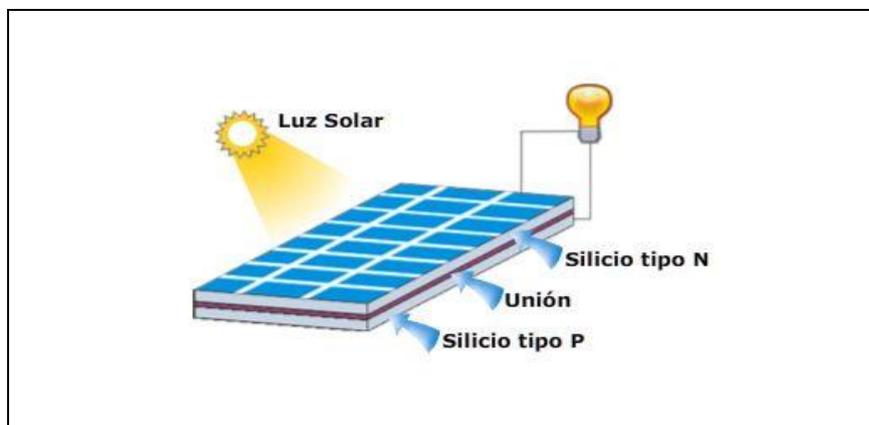


Figura 2.6 Estructura de un panel solar fotovoltaico.  
Fuente: Área Tecnológica (2011).

### 2.3.1 Ventajas de la utilización de la energía solar fotovoltaica

La principal ventaja que podemos sacar de usar la energía fotovoltaica, es que su fuente de energía es inagotable y no es contaminante, es decir que al ser utilizada no genera residuos contaminantes.

Se dice que, si se optimiza y se utiliza la energía solar en sistemas fotovoltaicos como principal fuente de energía, se puede abastecer de energía eléctrica a todos los requerimientos energéticos del mundo. Según el libro “Energías Renovables Para Todos” (Puig & Jofra, 2008), en el año 2001 se

consumió 16 billones de kWh, y para generar mediante sistemas solares fotovoltaicos toda esa energía eléctrica, se necesitaría una superficie de 160.000 km<sup>2</sup>, suponiendo un promedio de generación solar de 100 kWh/m<sup>2</sup> al año, que comparada con la superficie terrestre de nuestro planeta, 132 millones de km<sup>2</sup>, representa un 0,12% de ella.

Al utilizar la energía solar para la producción de energía eléctrica, se evitan otros métodos de producción de energía eléctrica que son contaminantes para el medio ambiente, como lo son otros métodos más convencionales como las centrales termoeléctricas y nucleares.

Para instalar paneles fotovoltaicos no son necesarios grandes espacios adicionales, ya que estos pueden ser instalados en lugares que usualmente no son utilizados para ningún propósito, como pueden ser techos, patios con grandes incidencias de luz solar o pueden ser integrados en edificios.

Con la utilización de paneles fotovoltaicos, también se obtiene un gran ahorro económico en la construcción de líneas de transmisión y en el mantenimiento de las mismas, además se evita el trabajo que lleva consigo esto, que, en muchos casos, son lugares que tienen problemas de facilidad de acceso. Muchas veces el punto de demanda máxima es el mismo donde existe mayor radiación solar, entonces la utilización de paneles solares es perfectamente viable. Los costes existentes en la tecnología solar fotovoltaica, son muy bajos una vez que se realizó la instalación de los equipos.

Los paneles solares fotovoltaicos, como ya sabemos, están contruidos con materiales semiconductores, y uno de los principales materiales usados en la construcción de los paneles, es el silicio. Una gran ventaja, es que el silicio es un material que se encuentra en grandes cantidades en el planeta.

### **2.3.2 Desventajas de la utilización de la energía solar fotovoltaica**

Para la óptima utilización de esta tecnología, es preciso colocar los paneles fotovoltaicos en lugares donde la radiación solar sea a gran medida, ya que si

se exponen los paneles fotovoltaicos a bajas radiaciones solares no serán capaces de producir la suficiente cantidad de energía eléctrica.

La necesidad de tener un espacio óptimo para poder colocar a los paneles fotovoltaicos muchas veces ha frenado proyectos para la utilización de energía solar. Es por esto, que para usar esta tecnología es necesario saber dónde colocar los paneles, para poder aprovechar espacios que a veces no son muy fáciles de encontrar.

Para el proceso de fabricación de los paneles fotovoltaicos se utiliza el silicio, y a pesar de que como ya dijimos es un material abundante en el planeta, su extracción genera impactos ambientales.

Los equipos que se utilizan en un sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos usualmente necesitan de una gran inversión inicial para adquirirlos e instalarlos, pero después de eso a medida que pasa el tiempo ese valor puede llegar a ser amortizado y generar ganancias en ahorro del pago de energía eléctrica.

## 2.4 Elementos y construcción de un panel solar

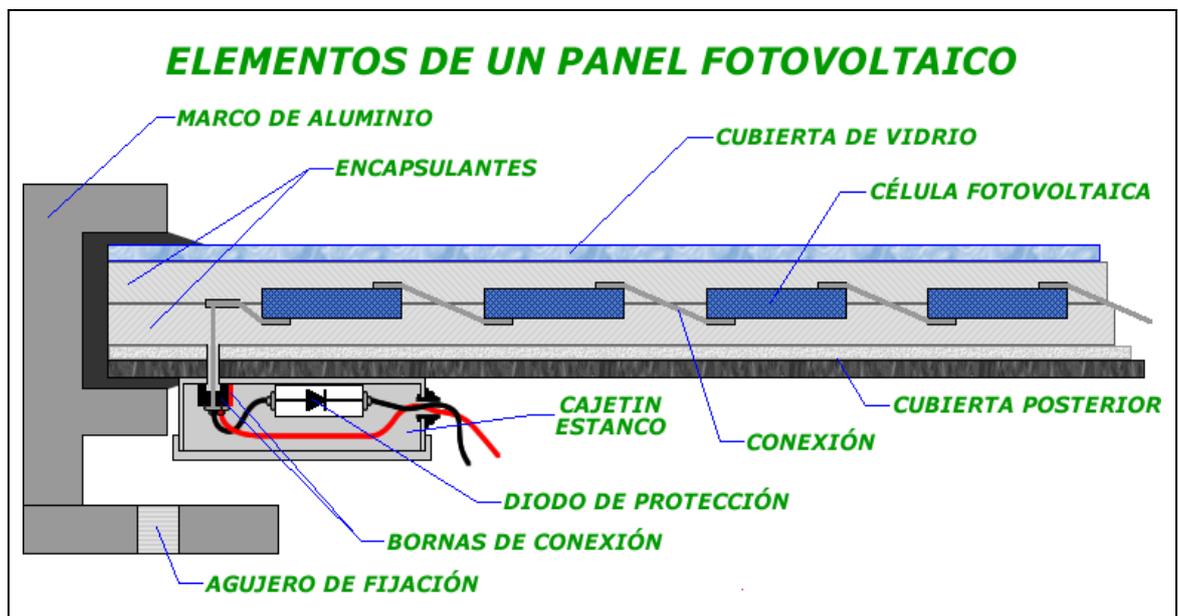


Figura 2.7 Elementos de un panel fotovoltaico.

Fuente: UJAEN (2008).

### 2.4.1 Placa captadora exterior

Es una placa de vidrio templado, con cualidades especiales, como su capacidad para evitar que la luz se refleje, facilidad para transmitir la luz con una eficiencia de hasta un 90%, y una elevada resistencia mecánica. La importancia de esta placa radica en que mientras menos cantidad de luz sea reflejada, mayor cantidad de radiación solar recibe la célula fotovoltaica y se puede producir más energía eléctrica. (Sebastián, 2016)

### 2.4.2 El encapsulante

Es un material que tiene la función de encerrar los módulos fotovoltaicos de tal forma que no exista contacto entre el exterior y el interior. El material escogido es conocido con el nombre de acetato de vinilo etileno o EVA, debido a sus excelentes propiedades herméticas y que no afectan a la exposición de la luz solar con las células solares. Las láminas de EVA se funden para así crean el encapsulante transparente, que no permite el paso de la humedad y que es excelente aislante. (Sebastián, 2016)

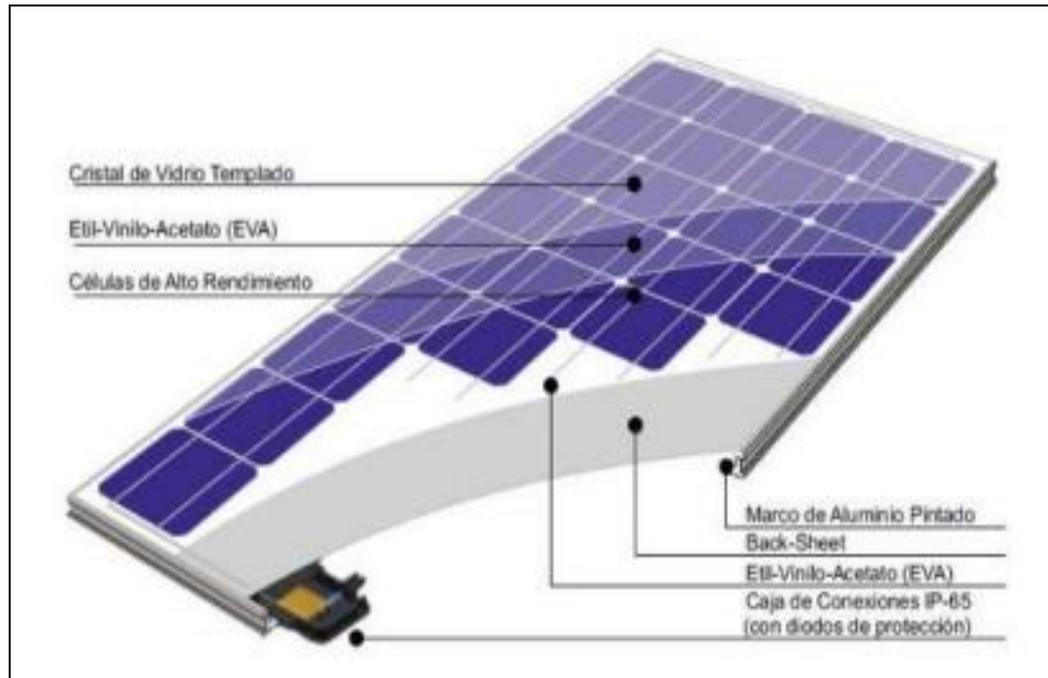


Figura 2.8 Elementos de un panel fotovoltaico.

Fuente: Sebastián, Eliseo (2014).

### 2.4.3 Placa Posterior

Son un conjunto de capas que tienen como objetivo principal brindar la suficiente resistencia mecánica y química al equipo.

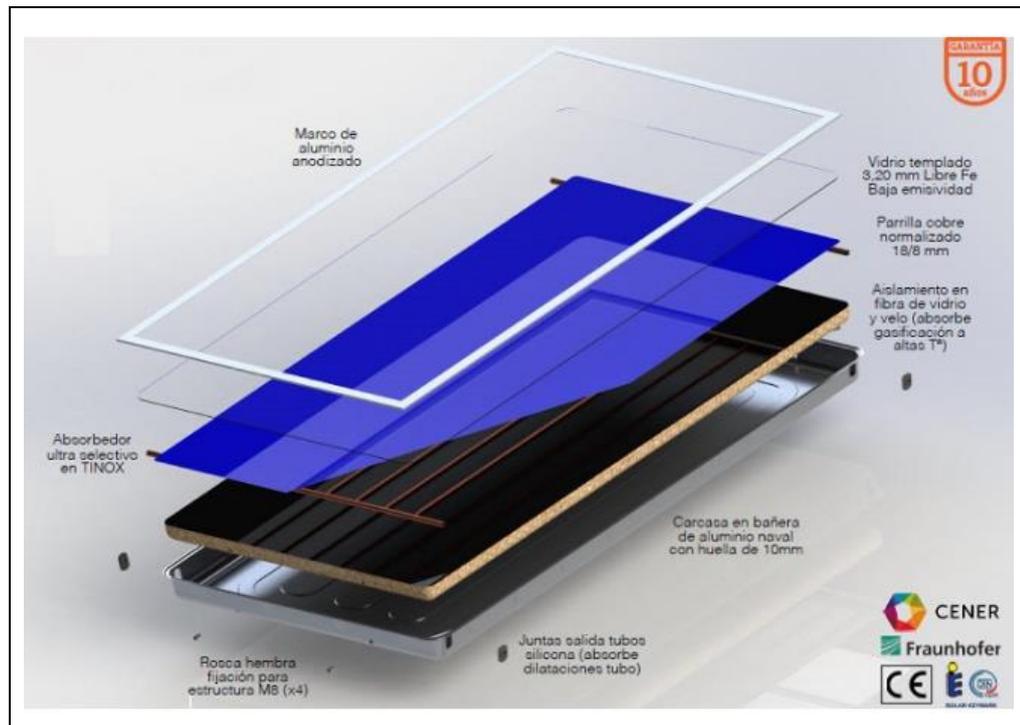


Figura 2.9 Elementos de un panel fotovoltaico.

Fuente: GreenHeiss (2015).

### 2.4.4 Carcasa metálica

Es la parte que se encarga de otorgar protección y de contener a los todos los componentes del panel fotovoltaico. Normalmente son de materiales como aluminio y acero, pero también existen de vidrio. También llamada base del panel.

### 2.4.5 Caja de terminales

Es una caja ubicada en la parte de atrás del panel fotovoltaico, en el cual van colocados los bornes de conexión del panel con los demás elementos del sistema fotovoltaico, como, por ejemplo, las baterías, regulador, etc. Asimismo, debe resistir a las distintas condiciones mecánicas y climáticas. (Sebastián, 2016).

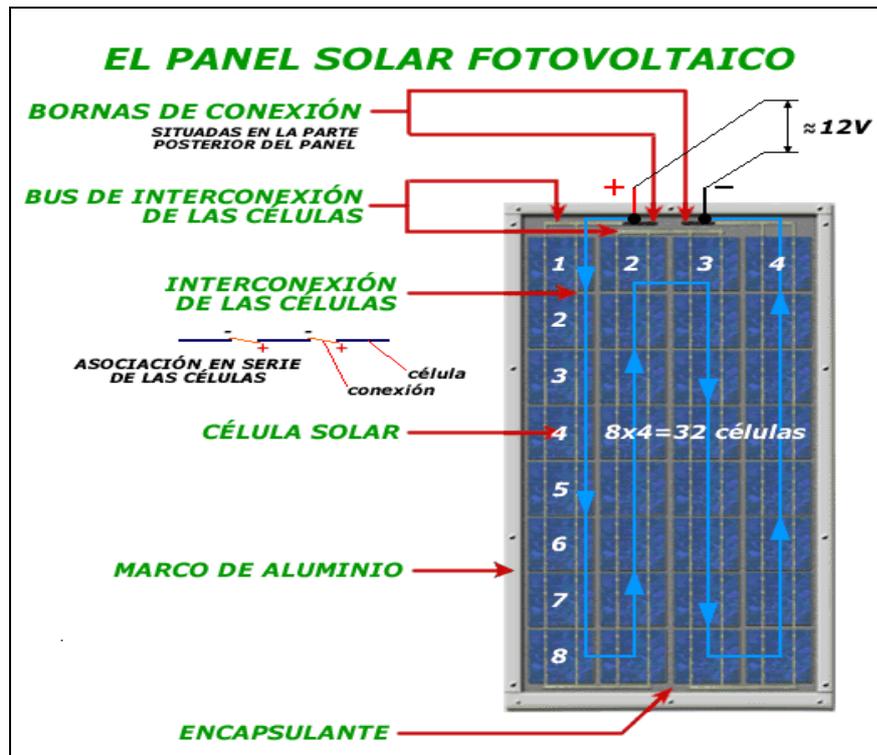


Figura 2.10 Elementos de un panel fotovoltaico.

Fuente: UJAEN (2008).

## 2.4.6 Diodos de protección

Es un elemento que se encarga de la protección del panel de sobrecargas o alteraciones que pueda sufrir. Son los encargados de direccionar correctamente la corriente eléctrica, para que esta no se derive de retorno al panel solar. (Sebastián, 2016)

## 2.5 Tipos de paneles solares

A pesar de que se conoce que los paneles solares están hechos a base de semiconductores, siendo el más utilizado el silicio, existen una gran variedad de paneles, los cuales dependiendo de los materiales que fueron utilizados y la pureza de éstos, aumentará o disminuirá su eficiencia en el proceso de transformación de energía solar a energía eléctrica.

### 2.5.1 Silicio monocristalino

Este tipo de material, como lo indica su nombre, está fabricado con un mismo cristal de silicio puro, lo cual permite ligeramente un mayor porcentaje

de eficiencia frente a otras tecnologías. Debido a su pureza, este material puede llegar incluso a valores entre 15% y 17% de eficiencia.

Según Monar, 2015, cuando la radiación solar alcanza valores de  $1000 \text{ Wm}^2$ , las células monocristalinas de silicio, pueden generar entre 0.5 vdc y 1.5 vdc, y alrededor de 3 amperios, siempre y cuando la célula de silicio sea de dimensiones aproximadas a  $100 \text{ cm}^2$ .

Para obtener este material se realiza un proceso conocido como Czochralski, el cual consiste en utilizar una semilla de cristal para introducirla en un crisol que contiene silicio fundido, a aproximadamente  $1500^\circ\text{C}$ . Cuando la semilla hace contacto con el silicio fundido, éste se adhiere a la semilla, y se extrae lentamente la varilla mientras se la gira con una orientación adecuada, lo cual hará que se forme un monocristal de silicio, en forma de un cilindro.

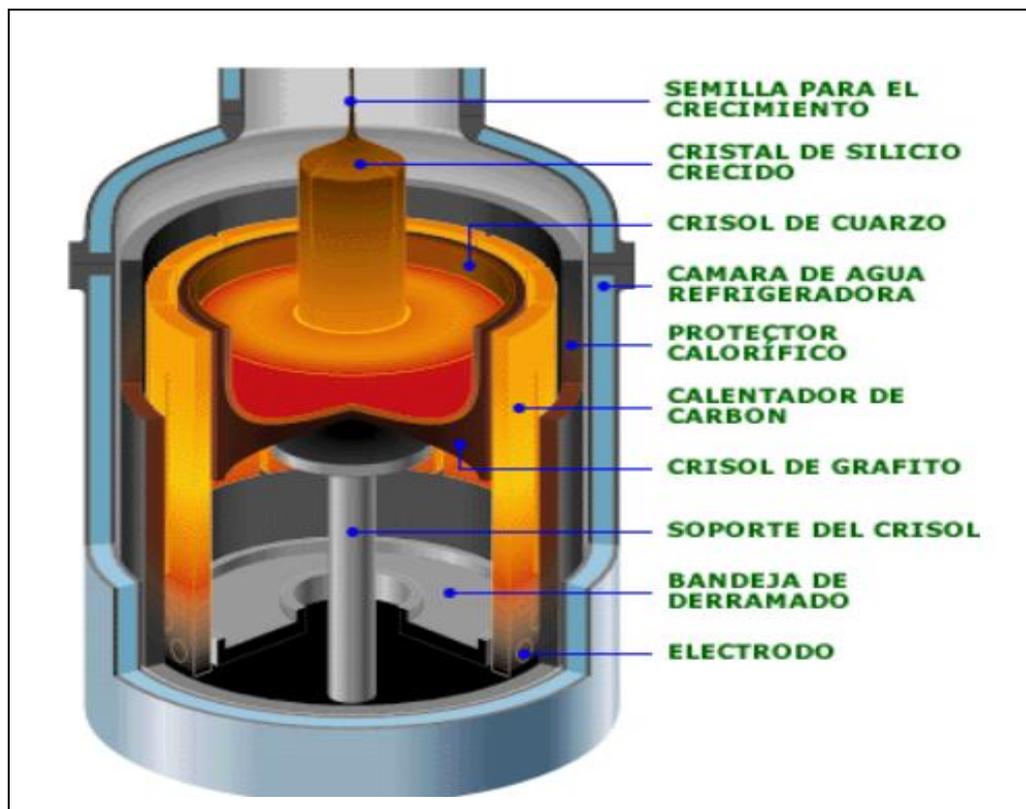


Figura 2.11 Cristalización por el método de Czochralski.

Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017).



Figura 2.12 Lingote de silicio monocristalino.  
Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017).

Después de obtener el cilindro, se recorta el lingote para poder obtener láminas de silicio monocristalino de aproximadamente 0.2 mm de espesor, las cuales tienen las esquinas redondeadas y con una fuerte coloración azulada, lo cual hace más fácil su diferenciación.



Figura 2.13 Panel solar monocristalino.  
Fuente: Energías Renovables Información (2015).

### 2.5.2 Silicio policristalino

Este material se lo obtiene de una forma distinta a la del silicio monocristalino, y consiste en un procedimiento de fusión en bloques. Se utiliza un compuesto conocido como sílice o dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), el cual es calentado a altas temperaturas, aproximadamente  $1500^\circ\text{C}$ , y vertido en unos moldes especiales con formas cuadradas. Después se lo deja enfriar poco a poco hasta que se solidifique.



Figura 2.14 Solidificación de panel solar policristalino.  
Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017).

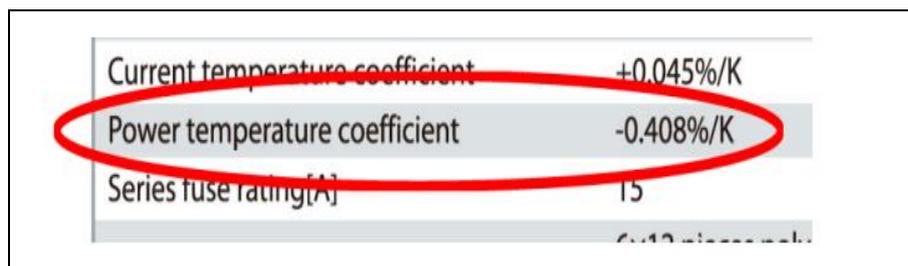
Gracias a este procedimiento, se forman cristales con distintas orientaciones, es decir que todos los átomos no se agrupan en un solo cristal, sino que se forman varios cristales con distintas formas y orientaciones. Al final los bloques de silicio policristalino se cortan en láminas u obleas cuadradas.

Gracias a que el proceso de fabricación del silicio policristalino es mucho más simple y sencillo que el del silicio monocristalino, su costo también es menor, pero, asimismo, su eficiencia también disminuye, la cual se encuentra alrededor de 12% y 14%.

Debido a que los paneles policristalinos no poseen un silicio tan puro como los de silicio monocristalinos, éstos poseen una resistencia al calor más baja

con respecto a los monocristalinos, lo cual a altas temperaturas su funcionamiento no será óptimo. Además, el calor puede acortar la vida útil del equipo. (Energías Renovables, 2014)

Por eso es importante fijarse siempre en el coeficiente de temperatura de los paneles fotovoltaicos, ya que este coeficiente indicará el porcentaje en referencia a la producción de energía eléctrica que será desperdiciado por el aumento de cada grado centígrado en el que el panel se encuentre por encima de un valor referencial, que normalmente es 25°C.



Current temperature coefficient	+0.045%/K
Power temperature coefficient	-0.408%/K
Series fuse rating[A]	15

Figura 2.15 Coeficiente de temperatura de un panel de silicio policristalino.  
Fuente: Cambiosolar (2016).

Una celda solar de silicio policristalino de 15 cm de lado, es decir que forma un cuadrado, de producción industrial tiene las siguientes características eléctricas: 600 mV de tensión de circuito abierto, 8.4 A de corriente de cortocircuito, y 4 W de potencia eléctrica en corriente continua, con una eficiencia de conversión de energía solar en electricidad de alrededor 15%. Las células fotovoltaicas se conectan en serie para formar paneles solares que pueden alcanzar los 300 W de potencia y hasta 40 V, con 72 células conectadas entre sí. (Laborde & Williams, 2016)



Figura 2.16 Coeficiente de temperatura de un panel de silicio policristalino.  
Fuente: Energías Renovables Información (2015).

### 2.5.3 Silicio Amorfo

Este tipo de células fotovoltaicas son compuestos de silicio e hidrógeno, que se cubren en finas capas sobre sustratos transparentes como vidrio o plástico, siendo el más utilizado el vidrio. Para fabricar este tipo de material, se lo expone a temperaturas entre 200°C y 500°C, siendo una temperatura mucho menos con respecto al silicio cristalino.

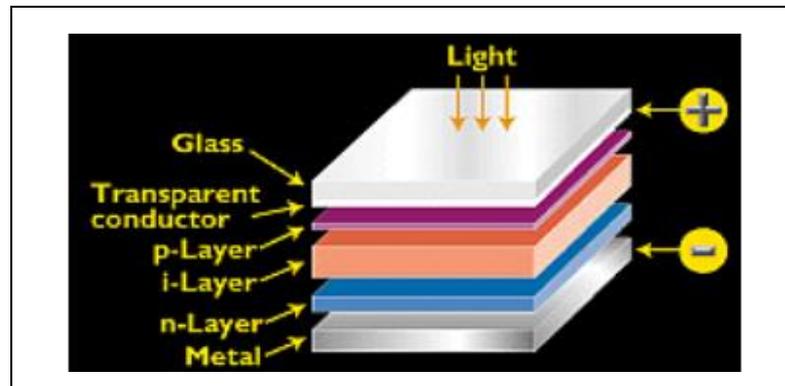


Figura 2.17 Partes de una célula de silicio amorfo.

Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017).

El proceso de elaboración de este tipo de material es menos costoso, lo que supone una ventaja ante las células cristalinas, y por ser capas finas de material las células son más estrechas en grosor, lo que nos beneficia en el espacio a utilizar.

Por estas mismas razones, y por el hecho de ser un silicio no cristalino presentan un rendimiento menor con respecto a las otras tecnologías, con una eficiencia entre 6% y 10%. Debido a este bajo rendimiento, sus aplicaciones son más vistas en equipos con potencias más bajas, por ejemplo, en relojes, calculadoras, etc. (Puig & Jofra, 2008)



Figura 2.18 Panel de silicio amorfo.

Fuente: Montoya Rasero, Carlos (2017).

#### 2.5.4 Teluro de Cadmio

Estas células solares se elaboran mediante la colocación de capas de distintos materiales, como sulfuro de cadmio (CdS) y teluro de cadmio (CdTe) sobre una capa conductora, que suele ser, de óxido de estaño. La separación de las capas de CdS y de CdTe se lleva a cabo a unas temperaturas de unos 700°C mediante proceso de vacío. (Montoya Rasero, 2010)

Debido a este tipo de fabricación, las células de teluro de cadmio pueden llegar a tener una eficiencia que se encontrará entre 8% y 15,8%. Pero un aspecto a tener en cuenta es que, a pesar de que se pueden obtener rendimientos interesantes con este tipo de tecnología, se piensa que este tipo de células son perjudiciales para la salud debido a la toxicidad de los materiales utilizados para su elaboración. Por esta razón se ha frenado un poco el desarrollo de este tipo de tecnología. (Cucaita, 2017)



Figura 2.19 Panel de teluro de cadmio.

Fuente: Pinterest (2014).

#### 2.5.5 Diseleniuro de cobre, indio y galio

Estas células están compuestas por los que se consideran los materiales con mayor absorción, que son el selenio, cobre, indio, galio y azufre. Tienen rendimientos aceptables que oscilan entre 12% y 18%, y con tan solo una pequeña capa de CIGS de aproximadamente 2 micras es posible captar gran parte de la radiación solar, a pesar de que su proceso de fabricación no es muy costoso. (Cucaita, 2017)

Para elaborar las células de CIGS se coloca una capa de molibdeno mediante un proceso llamado pulverización catódica, sobre un sustrato de vidrio. Para poder crear el compuesto de CIGS, se la expone a una cámara de vacío a aproximadamente 500°C, donde se evaporan al mismo tiempo el selenio, cobre, indio y el galio. (Montoya Rasero, 2010)



Figura 2.20 Panel de diseleniuro de cobre indio y galio.  
Fuente: Energía Inagotable (2012).

### 2.5.6 Arseniuro de galio

Este elemento es conocido por tener un gran rendimiento, con eficiencias que pueden llegar hasta el 26% en laboratorios y en módulos convencionales alrededor de 20%. La desventaja de este equipo es su costo elevado con relación a las otras alternativas en paneles solares. Tiene a la actividad espacial como su principal aplicación.



Figura 2.21 Panel de arseniuro de galio.  
Fuente: Energía Inagotable (2012).

## 2.6 Componentes de un sistema solar fotovoltaico

Para poder generar energía eléctrica a partir de la energía proveniente del sol, se necesita más de un solo equipo. Es necesario todo un sistema constituido desde el generador fotovoltaico, es decir los paneles fotovoltaicos, reguladores, inversores, acumuladores, protecciones, etc. Además de estos equipos que componen un sistema fotovoltaico, no nos podemos olvidar de todos los equipos que forman parte de las instalaciones comunes de baja tensión, como por ejemplo las protecciones correspondientes, interruptores, sistemas de puesta a tierra, etc.

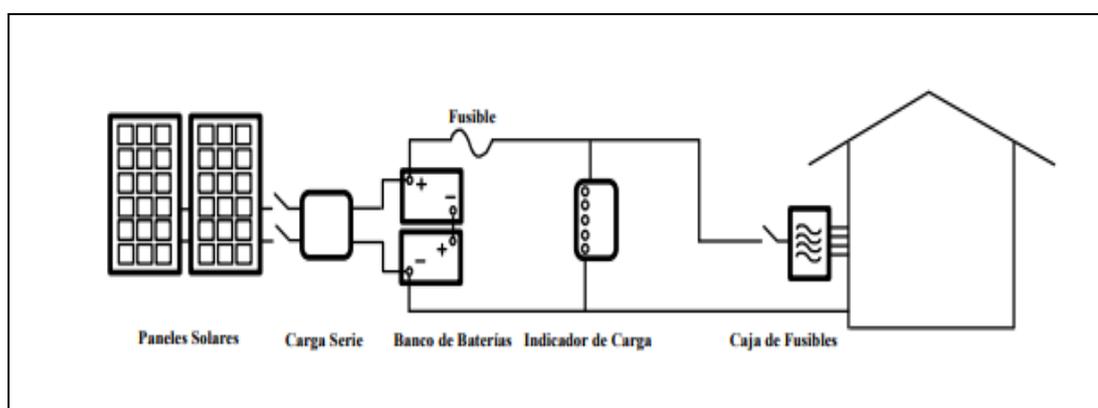


Figura 2.22 Elementos generales de un sistema solar fotovoltaico.  
Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

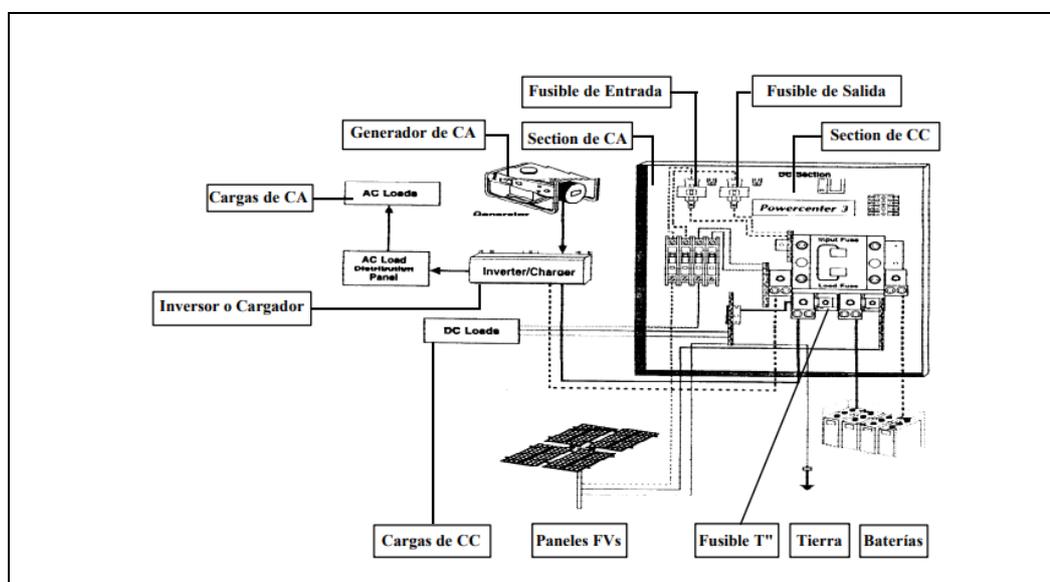


Figura 2.23 Componentes de un sistema solar fotovoltaico.  
Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

## **2.6.1 Generadores fotovoltaicos**

Como ya sabemos, una célula solar es un dispositivo cargado con un material semiconductor, que por medio del efecto fotovoltaico transforma la energía proveniente de la radiación solar, en energía eléctrica. Un panel fotovoltaico es un dispositivo que reúne cierta cantidad de células solares para producir energía eléctrica con la potencia y voltaje deseado y requerido.

Usualmente las células solares son capaces de suministrar aproximadamente hasta 3 vatios de potencia, dependiendo del tipo, tamaño de la célula y fabricación de la misma este valor puede cambiar. Estos valores normalmente, no tienen mucha utilidad debido a que son muy pequeños, es por esto que se agrupan varias células solares, conectándolas entre sí en serie, paralelo o mixto, para poder aumentar la potencia a suministrar.

La agrupación de estas células fotovoltaicas, dan lugar a los conocidos paneles fotovoltaicos, los cuales tendrán potencias que dependerán del número de células que hayan sido agrupadas en el módulo. Por ejemplo, si un panel cuenta con 36 células fotovoltaicas pueden ser capaces de suministrar entre 50 y 100 vatios de potencia, dependiendo de los parámetros antes mencionados.

### **2.6.1.1 Curvas I-V**

Es un gráfico que representa la relación existente entre el voltaje y la corriente, ya sea en una célula, panel o en un sistema fotovoltaico. Este gráfico nos ayudará a analizar de mejor manera los valores de salida de un elemento fotovoltaico.

Los valores de intensidad de corriente de salida de los equipos fotovoltaicos dependen del voltaje con el que se encuentre trabajando la carga y de la temperatura a la que esté expuesto el equipo, siempre y cuando la potencia luminosa y la orientación del equipo fotovoltaico permanezcan constantes. (Gasquet, 2004)

### 2.6.1.2 Zona de transición de las curvas I-V

En todas las gráficas I-V se puede observar que hay unos instantes en los cuales la intensidad de corriente permanece casi igual a medida que aumenta poco a poco el voltaje, hasta que en un momento entra en la zona de transición, la cual ocasiona que a medida que el voltaje sigue aumentando, la corriente de salida disminuye bruscamente.

### 2.6.1.3 Potencia máxima

En una curva I-V, existen dos valores máximos, uno de voltaje y otro de corriente. El valor máximo de voltaje que puede existir en un módulo fotovoltaico se da cuando no existe carga conectada en el equipo, es decir cuando la corriente es cero. Esto es conocido como un voltaje de circuito abierto. El valor máximo de corriente existe cuando el voltaje del módulo fotovoltaico es igual a cero, es decir cuando se cortocircuitan los terminales el mismo. Este es el conocido caso de la corriente de cortocircuito producida en la salida del equipo. (Gasquet, 2004)

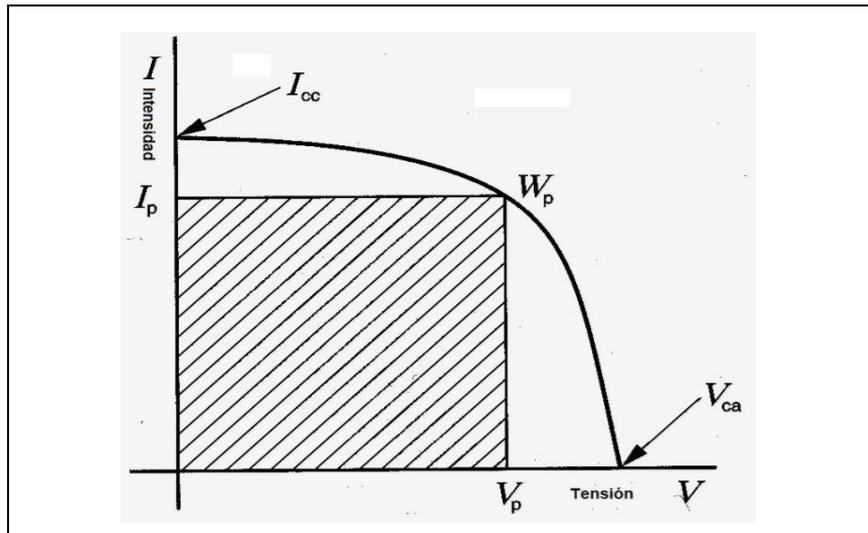


Figura 2.24 Curva I-V con parámetros de corriente cortocircuito, voltaje en circuito abierto y potencia máxima.

Fuente: Área Tecnológica (2011).

Dependiendo de la carga que haya sido conectada a un módulo fotovoltaico, este equipo puede ser capaz de transferir valores de intensidad de corriente que lleguen a un punto determinado donde la potencia transmitida sea máxima. Es por esto que la potencia de salida en un módulo fotovoltaico

se puede obtener fácilmente multiplicando el voltaje y la corriente correspondientes.

$$P_{max} = I_{max} * V_{max}$$

El punto de mayor transferencia de potencia se lo puede obtener en una gráfica I-V o en las especificaciones técnicas del panel fotovoltaico. Estos valores de voltaje y corrientes máximos, siempre serán menores a los de circuito abierto y cortocircuito. En estos puntos, circuito abierto y cortocircuito, la potencia de salida será igual a cero debido a que la corriente o el voltaje serán valores iguales a cero también.

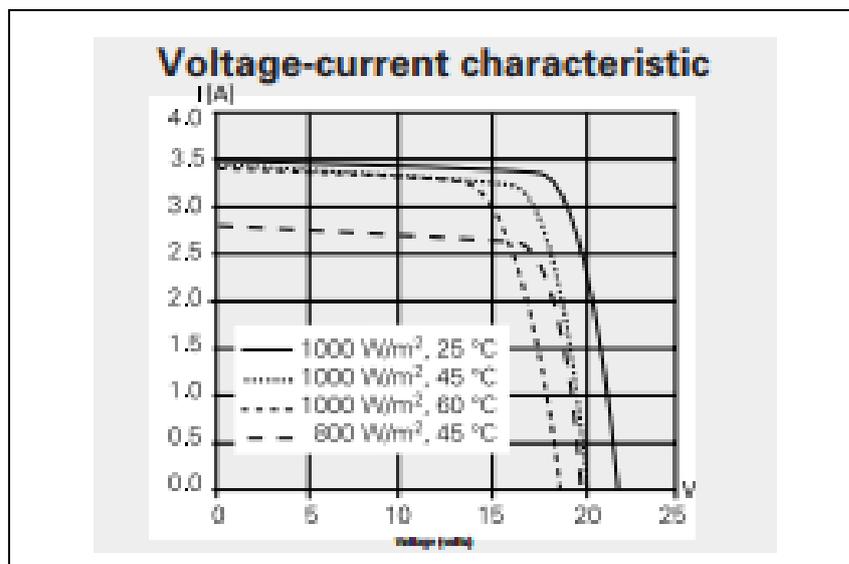


Figura 2.25 Curva I-V del módulo solar m55 de la marca Siemens.  
Fuente: Siemens (2018).

<b>Solar module SM55</b>	
<b>Electrical parameters</b>	
Maximum power rating $P_{max}$ [Wp] <sup>1)</sup>	55
Rated current $I_{MPP}$ [A]	3.15
Rated voltage $V_{MPP}$ [V]	17.4
Short circuit current $I_{SC}$ [A]	3.45
Open circuit voltage $V_{OC}$ [V]	21.7

Figura 2.26 Especificaciones técnicas del módulo solar Siemens m55.  
Fuente: Siemens (2018).

### 2.6.1.4 Factor de forma

Este es un número que se utiliza para expresar la eficacia de un panel fotovoltaico, y se lo obtiene mediante la división de la potencia máxima y los valores de corriente de cortocircuito y voltaje en circuito abierto.

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} * V_{ca}}$$

Este número se encuentra en el uno y el cero, y mientras más alto sea, menores pérdidas tendrá el panel fotovoltaico para generar energía eléctrica.

### 2.6.1.5 Temperatura de trabajo

La temperatura a la que un panel fotovoltaico está expuesto, influirá en el rendimiento del mismo. Como podemos apreciar en la gráfica, en el cual se muestra la curva I-V de un módulo fotovoltaico de la marca Siemens, cuando al equipo se lo expone a una temperatura mayor a los 25°C, el voltaje en circuito abierto disminuirá porcentualmente dependiendo del aumento de la temperatura, aproximadamente en un 9%; es decir tendrá 9% menos de voltaje en circuito abierto a 50°C, y 17% menos a 75°C. La corriente también se altera con el aumento de la temperatura, pero en menor medida. La corriente de cortocircuito aumenta aproximadamente en un 1.6% cuando pasa los 25°C de trabajo; de tal manera que cuando existan 50°C, la corriente de cortocircuito será 1.6% mayor, y a los 75°C será 3.2% mayor. (Gasquet, 2004)

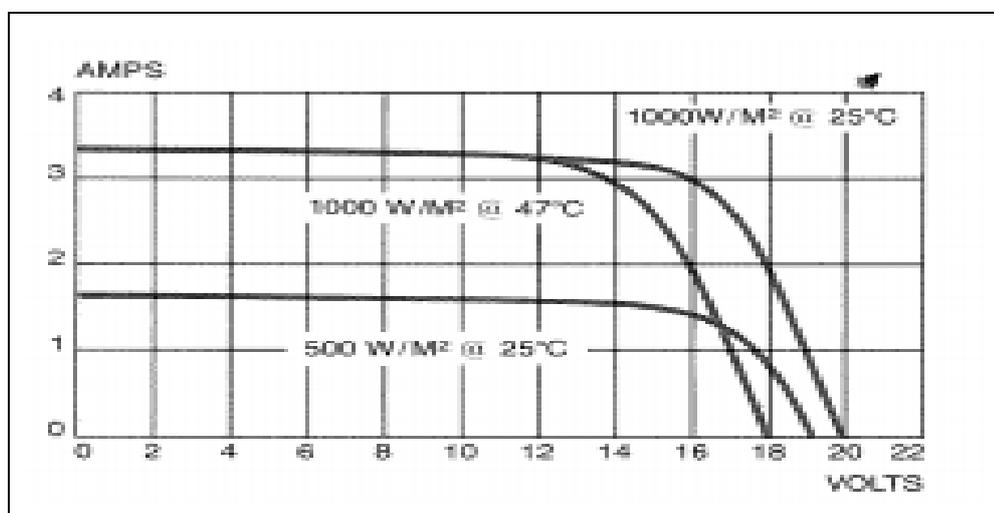


Figura 2.27 Curva I-V del módulo solar m75 de la marca Siemens.  
Fuente: Siemens (2018).

Por esta razón, los módulos fotovoltaicos con un voltaje de circuito abierto elevado son de gran importancia para cuando existan situaciones donde la temperatura aumente y se encuentre en valores por encima de los 25°C, para poder seguir alimentando eficientemente a los equipos que requieran de la energía fotovoltaica. En cambio, cuando la temperatura de trabajo de los módulos fotovoltaicos esté por debajo de los 25°C, el voltaje en circuito abierto aumentará y la corriente de circuito disminuirá, como podemos observar en el siguiente gráfico.

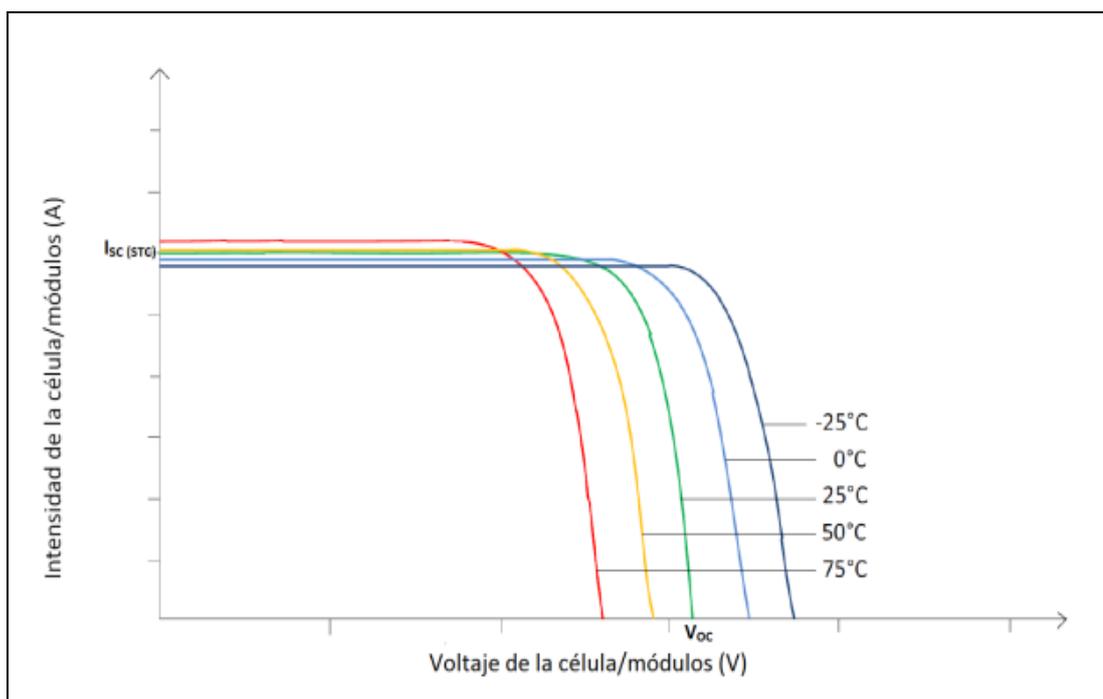


Figura 2.28 Comparación de curvas I-V para cambios de temperatura.  
Fuente: Ingelibre (2018).

Sabiendo que la corriente de cortocircuito se ve muy poco afectada por los cambios de temperatura, aunque esta sí disminuye cuando el módulo fotovoltaico está expuesto a temperaturas bajas, y sí aumenta cuando este está expuesto a temperaturas altas, su variación es mínima y por eso para efectos de estudio se la considera constante. En cambio, la variación en los valores de voltaje en circuito abierto si son más considerables, para cuando existen cambios en la temperatura.

Es por esto que decimos que la potencia máxima de los paneles fotovoltaicos es inversamente proporcional a la temperatura a la que sean expuestos, y va a disminuir cuando exista un aumento en la temperatura de los mismos; y aumentará cuando la temperatura sea baja.

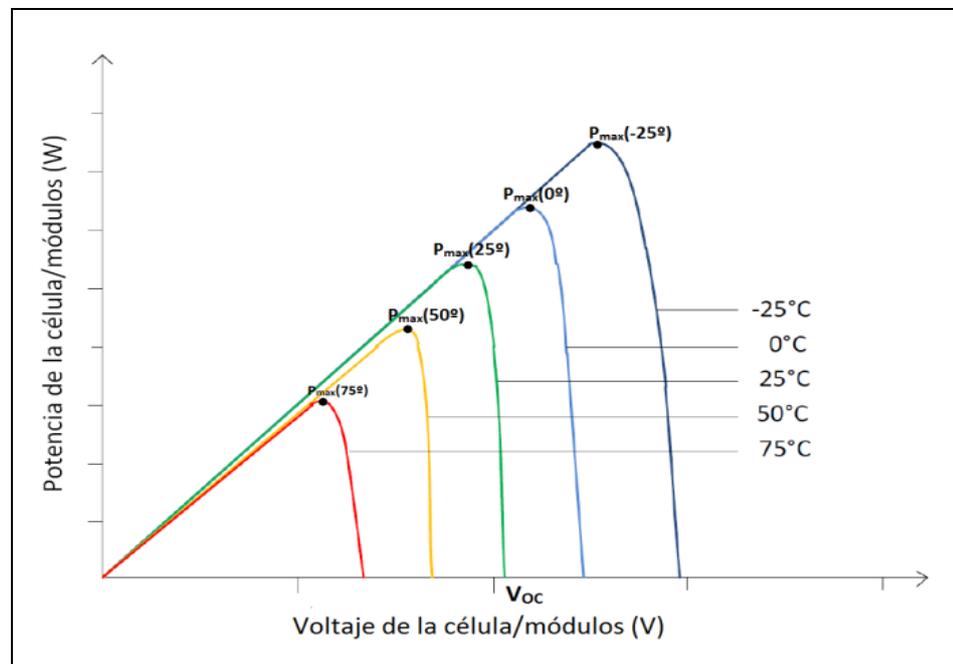


Figura 2.29 Comparación de curvas de potencia máxima versus temperatura.  
Fuente: Ingelibre (2015).

### 2.6.1.6 Cálculos de temperatura de trabajo y potencia de salida

Para poder hallar la temperatura de trabajo con la cual un panel o módulo fotovoltaico trabajará, se deben conocer primero algunos aspectos. Este valor responde a la siguiente fórmula.

$$T_t = T_i + kR$$

Podemos resolver la fórmula si conocemos las variables, donde  $T_i$  es la temperatura más alta a la que se espera soportar, y  $kR$  son dos coeficientes que reflejan la cantidad de temperatura que se aumentará cuando este sea sometido a las temperaturas más altas.

$R$  es valor existente de la radiación solar, el cual puede variar dependiendo de la cantidad de insolación que sea recibida diariamente en el lugar, y  $k$

corresponde a un factor que corresponde a la velocidad del viento en el lugar, el cual tiene el trabajo de enfriar el módulo fotovoltaico. Usualmente este valor se encuentra entre el rango de 0.2 – 0.4, en el cual será escogido el valor mínimo cuando el enfriamiento es óptimo, y el más elevado cuando el enfriamiento no es el más apropiado. (Gasquet, 2004)

De igual manera se puede determinar el valor de la potencia de trabajo del equipo fotovoltaico cuando se encuentre bajo esta temperatura de trabajo, mediante la siguiente fórmula.

$$P_t = P_m - (P_m * C_d * \Delta T)$$

En esta fórmula podemos definir varias variables, donde  $P_m$  es el valor de potencia de salida que el módulo fotovoltaico es capaz de entregar en condiciones normales a 25°C;  $\Delta T$  es la diferencia de temperatura existente entre los 25°C y la temperatura de trabajo antes hallada.  $C_d$  corresponde a una variable llamada coeficiente de degradación, la cual se puede obtener del fabricante, y es un valor que usualmente se encuentra entre 0.4 -0.6. (Gasquet, 2004)

#### **2.6.1.7 Tipos de conexión de los paneles solares**

Como ya mencionamos anteriormente, existen 3 formas en las que podemos agrupar los paneles fotovoltaicos con la intención de obtener los valores que necesitamos para nuestra carga a ser alimentada.

#### **2.6.1.8 Conexión en serie**

Este tipo de conexión es muy utilizada cuando se necesita alcanzar un voltaje requerido, el cual no es alcanzado con uno o más módulos fotovoltaicos. Este tipo de configuración nos permite poder sumar los voltajes de los paneles fotovoltaicos, pero manteniendo su misma intensidad.

La configuración en serie se realiza mediante la conexión de las salidas de cada panel con la entrada del panel contiguo.

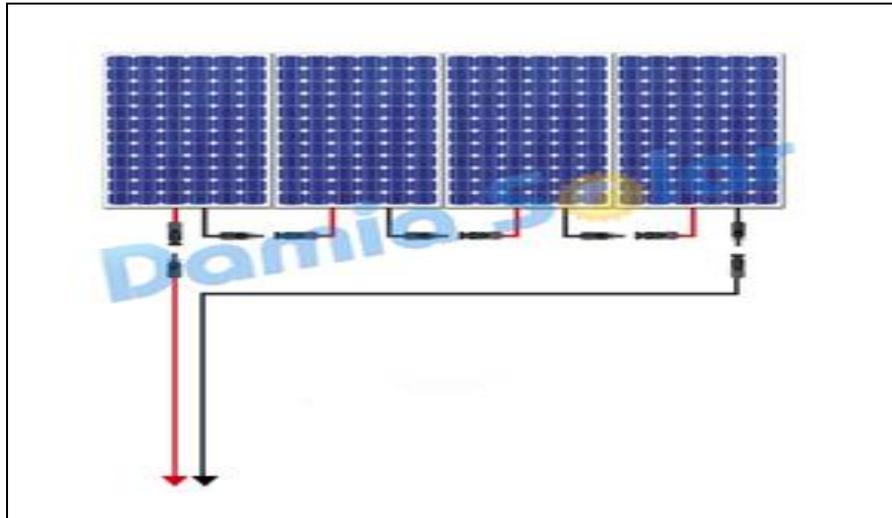


Figura 2.30 Esquema de conexión en serie de 4 paneles fotovoltaicos.  
Fuente: Damiasolar (2016).

### 2.6.1.9 *Conexión en paralelo*

Este tipo de conexión se la realiza cuando se tiene la necesidad de mantener un cierto nivel de voltaje, pero que a la vez los módulos no sean capaces de alimentar una carga determinada debido a que no se tiene la potencia requerida. Es decir, la conexión en paralelo nos permite sumar las corrientes mientras se mantiene el mismo voltaje.

La configuración en paralelo se realiza mediante la conexión entre sí de los lados positivos de cada panel fotovoltaico, y asimismo, la conexión entre sí de los polos negativos.

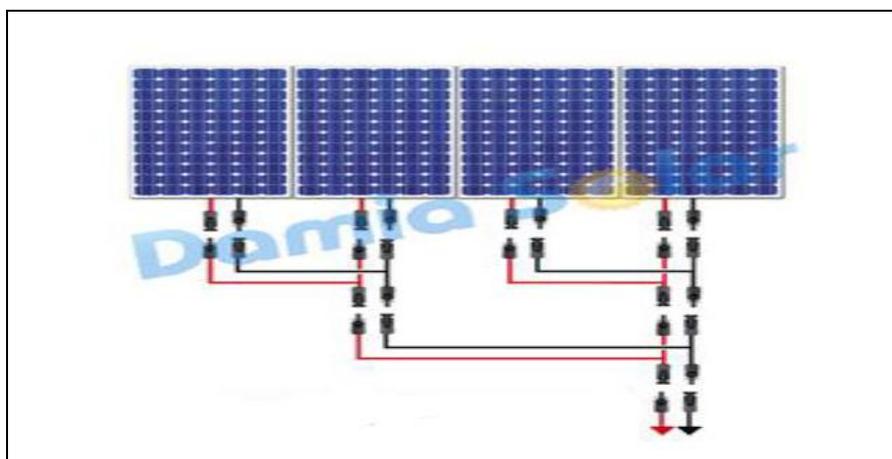


Figura 2.31 Esquema de conexión en paralelo de 4 paneles fotovoltaicos.  
Fuente: Damiasolar (2016).

### 2.6.1.10 Conexión mixta

Este tipo de conexión es ideal cuando existe una carga más elevada y no se cumplen con los requerimientos de voltaje e intensidad de corriente en un panel fotovoltaico. Este tipo de conexión permite aumentar el voltaje y la corriente para poder suministrar la energía necesaria a la carga.

Las conexiones se las realiza de igual manera a las configuraciones anteriores, dependiendo de las necesidades, se conectarán algunos paneles fotovoltaicos en serie y otros en paralelo.

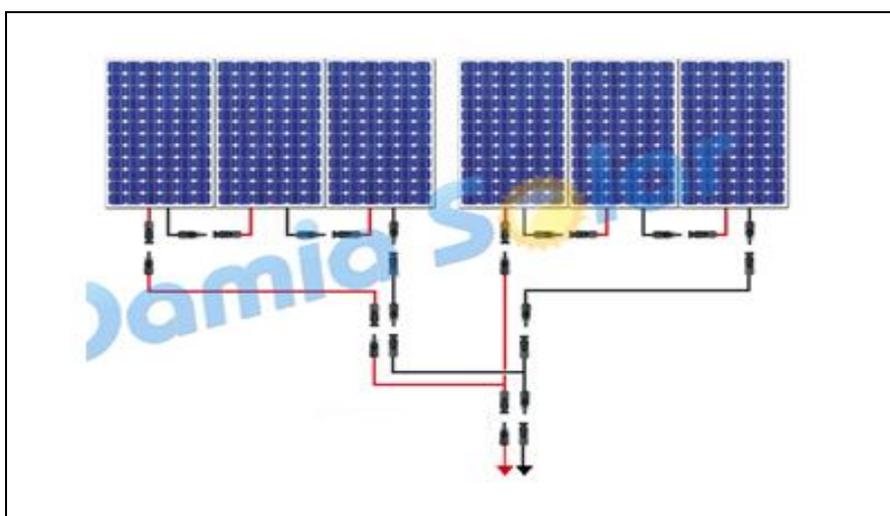


Figura 2.32 Esquema de conexión mixta de 6 paneles fotovoltaicos.  
Fuente: Damiasolar (2016).

### 2.6.2 Regulador de voltaje

Un regulador de voltaje es un equipo que se conecta entre los generadores o paneles fotovoltaicos y el banco de baterías. Es utilizado para poder controlar los niveles de voltaje existentes en esta sección con el fin de otorgar protección al banco de baterías, de las sobrecargas y de las excesivas descargas en las mismas.

Un regulador de voltaje se encarga de controlar el suministro de energía eléctrica que pasa desde los paneles fotovoltaicos a las baterías. Sin un regulador pueden existir problemas como lo son una sobrecarga y una

descarga excesiva en las baterías. Esto se produce porque el sistema no detecta como actuar en los diferentes momentos del día.

Debido a que el banco de baterías es uno de los elementos más costosos de un sistema fotovoltaico, lo más recomendable es tratar de mantener en buen estado estos equipos, ya que cualquier falla en el sistema que pueda ocurrir, hará que las baterías se deterioren rápidamente. Dicho esto, y teniendo en cuenta que el costo de un regulador de control no representa una gran cantidad económica en la inversión final del proyecto, es importante su utilización para alargar la vida útil de las baterías.

Cuando existe poca radiación solar, es decir cuando es de noche o en momentos del día cuando está nublado, y los paneles fotovoltaicos no generan el suficiente voltaje para poder cargar las baterías, el regulador de control manda a desconectar las baterías para evitar su descarga. A medida que los niveles de radiación solar aumentan, y los paneles fotovoltaicos tienen un voltaje de salida mayor que el voltaje de las baterías, el regulador de control une los circuitos nuevamente para seguir cargando las baterías. (Gasquet, 2004)

Cuando una batería se encuentra cargada, y el regulador se encuentra averiado, mal instalado o simplemente no es parte del sistema fotovoltaico, los módulos generadores seguirán mandando corriente eléctrica a las baterías, lo que causará que se reduzca la capacidad de la batería y la vida útil de estos equipos, debido a la gasificación del electrolito de la batería, al fuerte calentamiento dentro del equipo y la rápida aparición de la corrosión en las rejillas de la batería. (Abella, 2003)

Cuando los niveles de voltaje se encuentran por debajo de valores preestablecidos en las baterías, el regulador de voltaje, mediante sus controles puede mandar a desconectar algunas cargas para evitar una descarga completa de estos equipos, y dependiendo de los equipos, informaciones relevantes con el estado de carga de las baterías, son incluidas en el regulador de control, además pueden activarse algunas alarmas para

que los usuarios puedan detectar estas anomalías. Normalmente, no es recomendable mantener las baterías, en especial las de Pb-ácido, a niveles menores del 30% del estado de carga. (Abella, 2003)



Figura 2.33 Regulador de voltaje de un sistema fotovoltaico SOLARTEC.  
Fuente: Sebastián, Eliseo (2014).

### **2.6.2.1 Clasificación de reguladores por tipo de control**

Los reguladores se clasifican por el tipo de control con el que operan, estos pueden ser controles en serie o paralelo. Esto se refiere a la forma en la cual la corriente será disipada cuando las baterías no necesiten más energía por parte de los generadores fotovoltaicos.

### **2.6.2.2 Reguladores con control paralelo**

Este sistema básicamente consiste en la derivación de la corriente, cuando las baterías se encuentran cargadas, a través de un circuito que se encuentra en paralelo con el banco de baterías, para de esta manera disipar la corriente restante. Esta derivación ocurre poco a poco y depende del voltaje de la batería. Una vez que las baterías bajen hacia un nivel preestablecido, el regulador vuelve a iniciar el proceso de carga de las baterías.

Los reguladores con este tipo de control son utilizados mayoritariamente en sistemas que tengan una demanda pequeña, debido a la dificultad para la disipación de potencias elevadas.

Hace unos años atrás cuando la batería se encontraba completamente cargada, y se necesitaba disipar la corriente eléctrica con los reguladores de control en paralelo, se utilizaba una resistencia fija la cual la disipaba toda en forma de calor.

En la actualidad se utilizan dispositivos como los transistores tipo MOSFET, conectados en paralelo con los paneles fotovoltaicos y el banco de baterías, para disipar la corriente que llega a estas últimas en caso de que se encuentren cargadas, lo que permite a las baterías mantener el nivel de voltaje conocido como de flotación. Los transistores MOSFET tienen baja resistencia y características que los permiten soportar grandes intensidades. Gracias a esto, se efectúa un cortocircuito de salida cuando se alcanza el voltaje de sobrecarga, pero no afecta a los paneles fotovoltaicos.

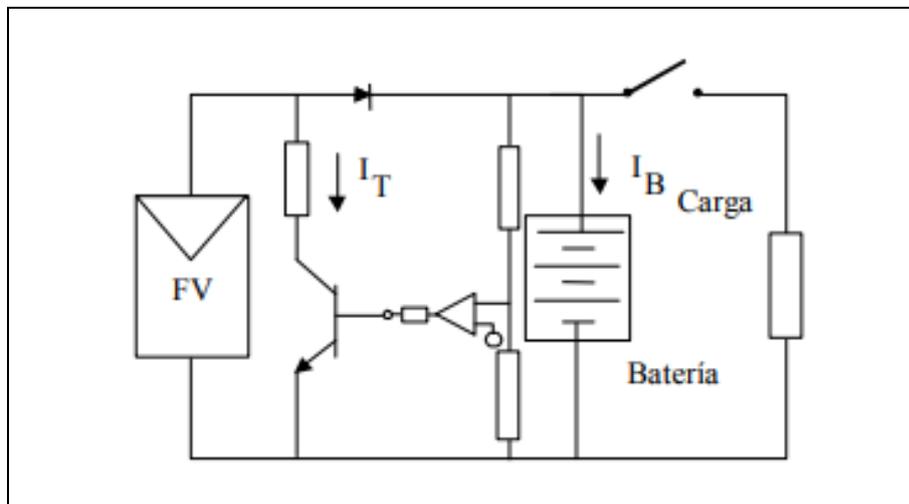


Figura 2.34 Sistema fotovoltaico con regulador de control en paralelo.

Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).

Existen formas de realizar controles en paralelo con los reguladores de voltaje, entre ellos tenemos:

- **Control paralelo de encendido y apagado:** En este tipo de control los generadores fotovoltaicos son desconectados en el momento que las baterías se encuentran en el voltaje máximo permitido de carga.

- **Control paralelo con diodo Zener:** Este tipo de control utiliza un diodo Zener, polarizado inversamente con el mismo valor del máximo voltaje permitido de carga en las baterías. Una vez que los generadores fotovoltaicos hayan cargado completamente las baterías, el diodo empezará a disipar toda la corriente, lo cual mantendrá a las baterías en un estado de voltaje de flotación.
- **Control paralelo PWM:** Se conoce como variación de ancho de pulso, y tiene la función de mantener a la batería en los valores del máximo voltaje de carga o en valores cercanos, mediante equipos de alta frecuencia que controlarán la corriente que cargará el banco de baterías.

### 2.6.2.3 Reguladores con control serie

Los reguladores con este tipo de control, se componen mediante la conexión en serie del regulador con dos interruptores, con los paneles fotovoltaicos y la carga. Cuando la batería se encuentra completamente cargada, se desconecta el interruptor y se aísla al generador fotovoltaico. Asimismo, cuando la batería se encuentra llegando a valores de voltaje mínimos, debido a bajos niveles de radiación solar, el regulador controlador, interrumpe el suministro de energía eléctrica mediante el interruptor de descarga, que se encuentra entre el acumulador y la carga.

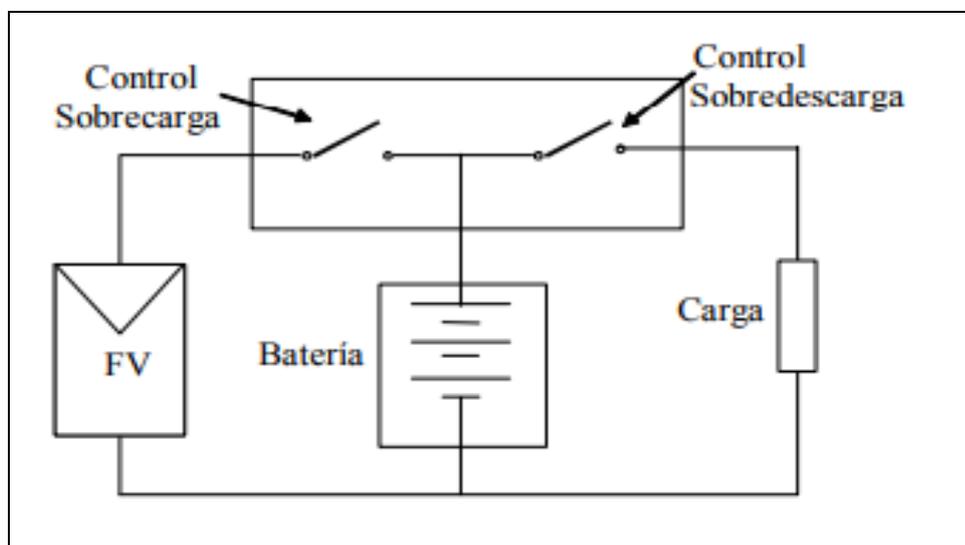


Figura 2.35 Sistema fotovoltaico con regulador de control en serie.  
Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).

- **Control serie encendido y apagado:** En este tipo de control los generadores fotovoltaicos son desconectados cuando las baterías se encuentran en el voltaje máximo permitido de carga, y asimismo, desconectará las cargas en el momento que la batería se descarga en exceso y su voltaje baja de un cierto valor.
- **Control en serie de dos etapas:** Tiene un funcionamiento que consiste en dos partes, la primera es cuando se trata de regular la batería sobrecargándola un poco con un voltaje conocido como voltaje de ecualización, y posteriormente un voltaje de flotación que es mantener a la batería entre un 90% - 95% de la carga total de la misma. Esto produce un gaseo óptimo en las baterías, el cual se da cuando el voltaje de la batería se encuentra entre el 85% - 90% de la carga máxima de la misma.
- **Control en serie lineal:** En este tipo de regulación de voltaje se trata de otorgarle a la batería la cantidad de voltaje necesaria para su carga, de forma constante. Esto ocurre cuando la batería se acerca al voltaje máximo de carga, y para lograr esto, se utiliza mediante una resistencia variable que disipará la energía no necesaria para el proceso de carga.
- **Control serie PWM:** Tiene la función de mantener a la batería en los valores del máximo voltaje de carga o en valores cercanos, mediante equipos de alta frecuencia que controlarán la corriente que cargará el banco de baterías.
- **Control de varias etapas:** Este tipo de control de regulación de voltaje se lo utiliza cuando existen varios generadores fotovoltaicos, es decir sistemas un poco más grandes. Aquí los generadores se irán conectando y desconectando dependiendo de las necesidades para cargar el banco de baterías.

### 2.6.3 Baterías

Las baterías de los sistemas fotovoltaicos también son conocidas con el nombre de acumuladores, debido a su función que es la de almacenar energía, la cual proviene de los generadores de energía o paneles

fotovoltaicos, con el fin de abastecer a las distintas cargas de un establecimiento o sector, en los instantes en los que la radiación solar no sea la suficiente para alimentar a esas cargas.

Las baterías utilizan procesos eléctricos y químicos, los cuales se accionarán dependiendo de la función que tengan las baterías. Cuando la batería está siendo cargada se realiza un proceso de transformación de energía eléctrica a química, y viceversa cuando se encuentra alimentando a los equipos de consumo. Es por esto que se consideran reversibles la reacción producida por los electrolitos.

Las baterías están compuestas de celdas, las cuales se forman mediante la unión de placas o electrodos de metal, y se encuentran entre un medio llamado electrolito. Estos electrodos pasarán a tener, cada uno, una polaridad distinta. Usualmente estas celdas cargadas al máximo, tienen un voltaje aproximado de 2 voltios, las cuales serán agrupadas dependiendo de las necesidades de voltaje y corriente que requiera el sistema, pero usualmente se trabaja con valores de 12 voltios, 24 voltios y 48 voltios.

La energía que recibirán las baterías debe ser exclusiva de fuentes de energía de corriente continua, como por ejemplo la que se recibe de los módulos fotovoltaicos. Para poder iniciar el proceso de carga, es necesario, además, que exista una diferencia de voltaje entre la batería y la fuente, los cuales deberán estar conectados en paralelo.

### **2.6.3.1 Características técnicas**

Las baterías deben ser escogidas, principalmente las siguientes características técnicas, las cuales son:

**Energía máxima de almacenamiento:** La energía máxima que puede acumular una batería está dada por la fórmula siguiente, y se representa como  $Wh$ , que significa vatios por horas. El voltaje representado en la fórmula como  $V$  se refiere al voltaje nominal de la batería, y  $Ah$  quiere decir amperios por hora.  $Ah$  es la capacidad del acumulador para sostener un régimen de

descarga, asimismo podemos definirlo, como la cantidad de corriente en la que una batería puede ser descargada multiplicado por la cantidad de horas que demora en descargarse. (Gasquet, 2004)

$$Wh = V * Ah$$

**Corriente máxima de descarga:** La corriente máxima de descarga está definida por la cantidad de Ah que tenga el elemento acumulador. Se puede decir que por ejemplo, una batería de 100Ah puede ser capaz de entregar 100 amperios por una hora, 50 amperios por dos horas, 25 amperios por cuatro horas, etc. La capacidad de una batería depende de varios puntos, como lo son el número, la construcción y el tamaño de las placas, el tipo y calidad del electrolito, la temperatura de operación, etc. (Abella, 2003)

**Profundidad de descarga de la batería:** La profundidad de descarga se conoce como la cantidad de energía que ha sido extraída del equipo acumulador, en relación al mismo equipo con su carga completa. La profundidad de descarga está dada en un valor porcentual. La profundidad de descarga de una batería nos indicará la capacidad de la batería para otorgar energía eléctrica independientemente, es decir sin la necesidad de que los generadores fotovoltaicos carguen la batería.

Se dice que los acumuladores solares permiten tener altas profundidades de descarga, en comparación con aquellas baterías que se utilizan exclusivamente para arranque de motores. Es por esto que son conocidas como baterías de ciclo profundo. Se dice que la profundidad de descarga incide en la vida útil de los equipos, y los ciclos de carga y descarga tienden a disminuir cuando se tiene una profundidad de descarga elevada. Los acumuladores solares, dependiendo de su diseño y características, son capaces de ofrecer valores de un 80% de profundidad de descarga, y asimismo, consideramos que una batería solar ha cumplido su vida útil cuando al ser cargada, su cantidad máxima de almacenamiento de energía alcanza solo el 80% de la energía que era capaz de almacenar en un principio.

### **2.6.3.2 Autodescarga**

Existe otro punto a tener en cuenta al momento de escoger una batería, esta característica es la autodescarga. Este concepto se refiere a la propiedad de las baterías que las hace descargarse sin necesidad de estar en uso, es decir que no se encuentre alimentando a una carga. La velocidad y cantidad de energía que perderá la batería depende varios factores como el tipo de batería y su construcción, la temperatura a la que se encuentre expuesta, etc.

Es por esto que es recomendable mantener la temperatura de los electrolitos de las baterías en valores cercanos a los 25°C, ya que esto nos permitirá una autodescarga más lenta.

### **2.6.3.3 Conexión de baterías**

Para poder saber a qué capacidad debemos tener nuestro sistema de acumulación, es necesario conocer la carga a la cual estará sometida el sistema fotovoltaico y a la cantidad de energía que serán capaces de suministrar los módulos fotovoltaicos.

Esto es de suma importancia, debido a que la capacidad de las baterías debe ser lo suficientemente grande como para poder abastecer de energía eléctrica a las cargas cuando no exista la suficiente radiación solar, y de la misma manera, no debe excederse en su capacidad debido a que podría no llegar a cargarse completamente nunca.

Cuando se necesita aumentar la capacidad de un sistema de acumulación, se conectan entre sí dos o más baterías.

### **2.6.3.4 Conexión en serie**

La conexión en serie en las baterías se realiza cuando el voltaje al cual se necesita acumular la energía eléctrica no es lo suficientemente grande. Este tipo de conexión nos permite sumar la capacidad de las baterías, manteniendo sus amperes horas o Ah.

Para lograr la conexión en serie, se conectan los bornes negativos de la batería con los bornes positivos de la batería siguiente.

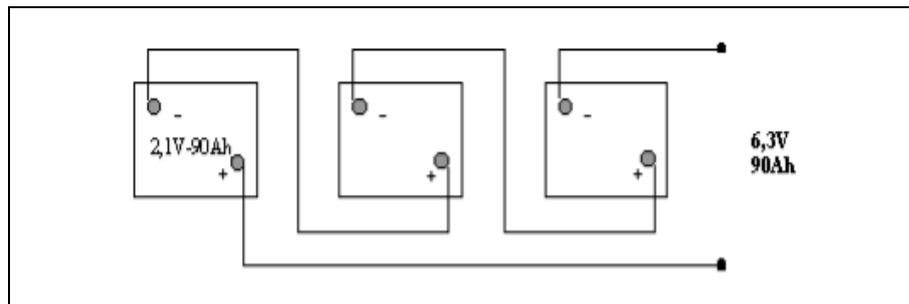


Figura 2.36 Esquema de conexión de baterías en serie.

Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).

### 2.6.3.5 Conexión en paralelo

La conexión en paralelo en las baterías se realiza cuando se necesita obtener una mayor capacidad en los elementos para la descarga de la misma. Este tipo de conexión nos permite mantener el mismo voltaje, pero con una mayor cantidad de amperios por hora, Ah.

Para lograr la conexión en paralelo, se conectan todos los bornes positivos de las baterías entre sí, y asimismo los negativos.

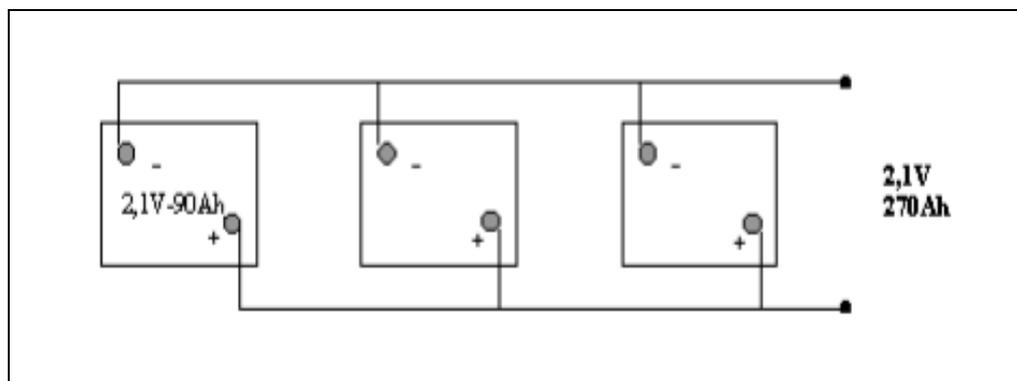


Figura 2.37 Esquema de conexión de baterías en paralelo.

Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).

### 2.6.3.6 Conexión mixta

Este tipo de conexión se realiza cuando se necesita obtener una mayor cantidad de acumulación de voltaje y corriente.

Las conexiones se las realiza de igual manera a las configuraciones anteriores, dependiendo de las necesidades, se conectarán algunas baterías en serie y otras en paralelo.

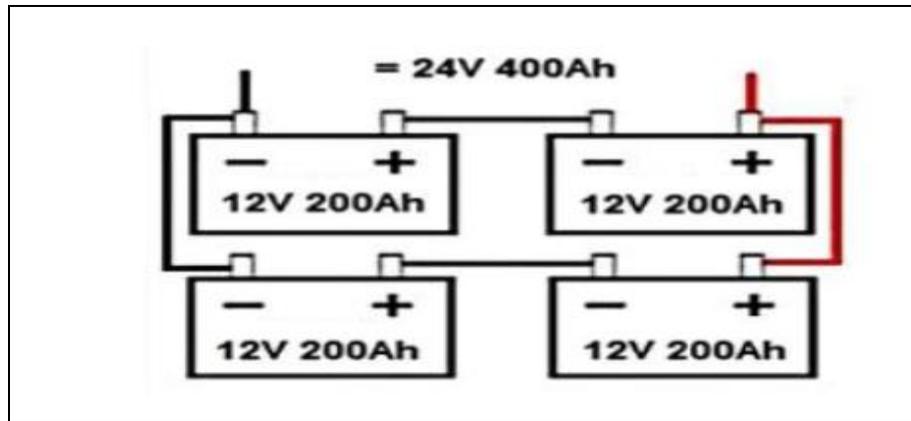


Figura 2.38 Esquema de conexión mixta de baterías.  
Fuente: Baterías y Amperios (2014).

### 2.6.3.7 Elementos de una batería

**La célula:** Como vimos anteriormente, una célula es un dispositivo que cumple con funciones eléctricas y químicas, con el fin de transformar la energía. Tienen un voltaje a plena carga de alrededor de 2 voltios, las cuales se unen para formar tensiones de 12V, 24V, etc. Están formadas por electrodos con polaridades distintas, dentro de un electrolito.

**Material activo:** Es el material del cual están hechos los electrodos. Mientras mayor cantidad de este material exista en la batería, mayor serán los Ah de capacidad de la misma.

**Electrolito:** Es el medio existente entre los electrodos, el cual permite el paso de la corriente o electrones entre los mismos.

**Rejilla:** Es el soporte del material activo, y debido a su forma definen si la batería será de tipo tubular o plana.

**Separadores:** Es un elemento que sirve como aislante entre las placas de polaridad positiva y negativa para evitar el cortocircuito por unión entre ellas. Están contruidos de un elemento poroso, el cual permite el paso del electrolito a través ellos.

**Carcasa:** Cubierta externa que protege a los elementos internos.

**Terminales:** Son los bornes de conexión externos, los cuales están diferenciados de acuerdo a su polaridad en positivos y negativos.

**Tapa de ventilación:** Cuando se carga y descarga una batería, la transformación de energía libera gases que necesitan ser expulsados hacia el exterior, para evitar fugas de electrolito por la presencia de estos gases.

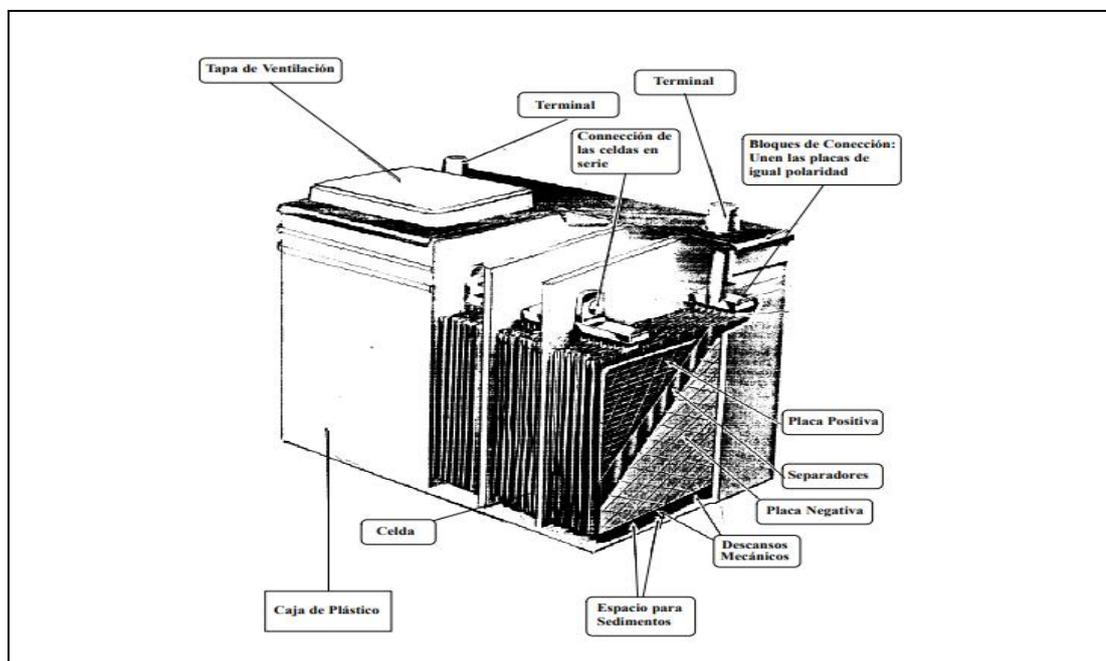


Figura 2.39 Constitución y partes de una batería.

Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

### 2.6.3.8 Tipos de baterías

Existen diferentes tipos de baterías, las cuales tendrán distintas características técnicas, de acuerdo a los materiales usados en su fabricación, tecnología, etc. Un factor importante que determina la utilización de baterías en un sistema fotovoltaicos, es el factor económico, y aunque no debe ser el

más importante, si es muy relevante a la hora de hacer un diseño. Debido a sus características, el tipo de batería más utilizada es la de ácido-plomo.

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

Figura 2.40 Tipos de baterías.  
Fuente: Arévalo, Harry (2016).

### 2.6.3.9 Batería de ácido-plomo

Es el tipo de baterías más utilizado en la actualidad, debido a su aceptable eficiencia en sistemas fotovoltaicos y su relación económica. Su construcción consiste en la utilización dos electrodos de plomo que reaccionarán con el electrolito, el cual es una mezcla de agua destilada con ácido sulfúrico.

El material activo en las placas positivas y negativas es distinto. En las placas positivas el material activo es dióxido de plomo( $PbO_2$ ) y en la negativa es solo plomo( $Pb$ ) cuando se cargue la batería. Entonces, cuando la batería se descargue los electrodos y el electrolito reaccionarán de tal forma que producirán sulfato de plomo y agua. (Gasquet, 2004).

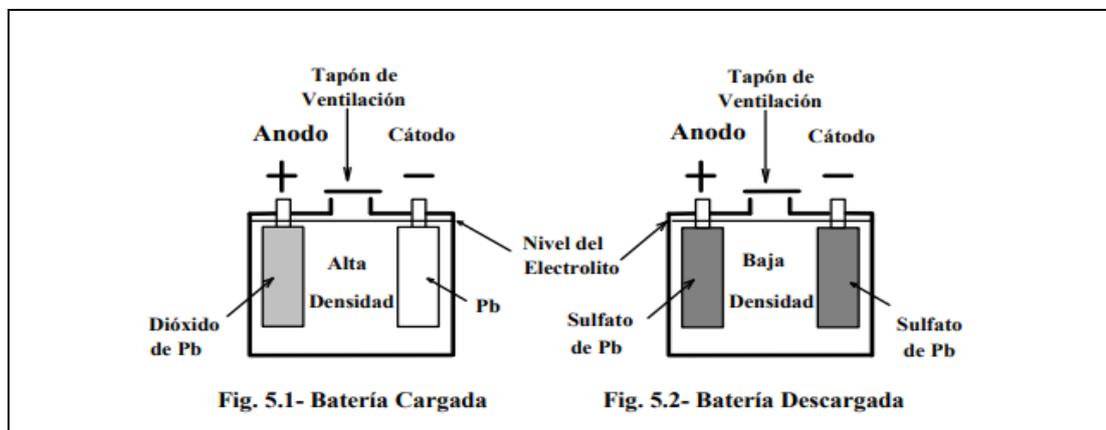


Figura 2.41 Proceso interno de carga y descarga de una batería de ácido-plomo.  
Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

Gracias a la similitud en la fabricación de este tipo de baterías con las que son utilizadas en sistemas fotovoltaicos, se suelen utilizar baterías que no son las adecuadas, debido a desconocimiento o por factores económicos, las cuales afectan al rendimiento de los sistemas fotovoltaicos.

#### **2.6.4 Inversores**

Los inversores son equipos diseñados para convertir la corriente continua en corriente alterna. Son muy utilizados en sistemas fotovoltaicos, ya que los paneles solares producen energía en forma de corriente continua. Debido a la falta de variedad en equipos que trabajen con esta naturaleza de energía, y a la necesidad de las personas de utilizar equipos que necesitan de corriente alterna, se necesita un inversor.



Figura 2.42 Inversor de un sistema fotovoltaico.  
Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).

##### **2.6.4.1 Pérdidas en inversores**

Todo proceso que necesite una transformación, hablando de energía, no tiene una eficiencia de transformación perfecta. Asimismo, el proceso de conversión de corriente continua a corriente alterna, tiene pérdidas que estarán ligadas al tipo de inversor que se utilice en el proceso.

Los inversores que sean capaces de convertir mayores cantidades de potencia tienen un menor porcentaje en las pérdidas por transformación, y aquellos que trabajan con menores potencias tienen un mayor porcentaje de pérdidas por transformación. Se estima que las pérdidas por transformación en los inversores, se encuentra entre 9% - 25%. (Gasquet, 2004).

Dependiendo del tipo de carga a la que se encuentre conectada el inversor, su rendimiento disminuirá o se mantendrá de acuerdo a la capacidad de potencia del mismo. A diferencia de una carga resistiva, en una carga inductiva la tensión y la corriente están desfasadas a un cierto ángulo, el cual estará determinado por el factor de potencia. La potencia activa disminuirá de acuerdo al factor de potencia, lo cual produciría más pérdidas en el sistema. Debido a que no existen grandes cantidades de cargas inductivas en la mayoría de casas o establecimientos donde se utilicen los sistemas fotovoltaicos, no se considera mayormente este punto.

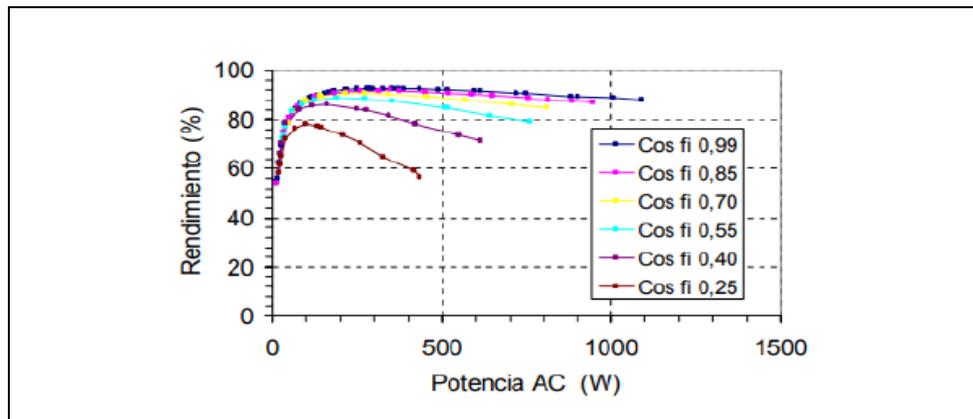


Figura 2.43 Curva de rendimiento en función de la potencia y factor de potencia.  
Fuente: Abella Alonso, Miguel (2003).

Los inversores también sufren pérdidas debido al consumo por efecto del circuito interno del equipo. Esto quiere decir que, así sea que el equipo no se encuentre alimentando a alguna carga, éste estará consumiendo energía, a la cual no se le está dando ninguna utilización.

La cantidad de energía que llegan a consumir depende de la potencia con la que sea capaz de trabajar el inversor. Para inversores de baja potencia las pérdidas son casi despreciables por lo que no necesita de mayor estudio o medidas para contrarrestar este efecto. En inversores de potencia más elevadas, si existen mayores pérdidas debido al autoconsumo, pero gracias al actual desarrollo de sus circuitos, éstos son capaces de consumir porcentajes menores al 1.5% de su potencia máxima. Esto brinda las

facilidades para que un operario no tenga que estar desconectando el inversor cada vez que no existe carga conectada al mismo.

#### **2.6.4.2 Voltaje de salida y frecuencia**

A lo largo de los años los inversores han ido desarrollándose con el fin de obtener una señal de salida lo más parecida a una onda sinusoidal. Existen inversores, los cuales eran utilizados anteriormente, los cuales tenían una señal de salida cuadrada, la cual no era óptima por la gran cantidad de corrientes armónicas en el sistema, la cual disminuía su rendimiento en alrededor un 50%.

Luego salieron los inversores que tenían señales de salida parecidas a las sinusoidales, pero aun sin ser óptimamente satisfactoria. Presentaban rendimientos entre el 80% y 90%, pero aun así los armónicos producidos hacían que se presentes problemas con algunos equipos.

Pero sin duda, la mejor opción en inversores es la que nos ofrecen voltajes de salida con señales sinusoidales, ya que su forma de onda es la idea para las cargas que funcionan con corriente alterna, y no presentan problemas con la aparición de corrientes armónicas. (Abella, 2003)

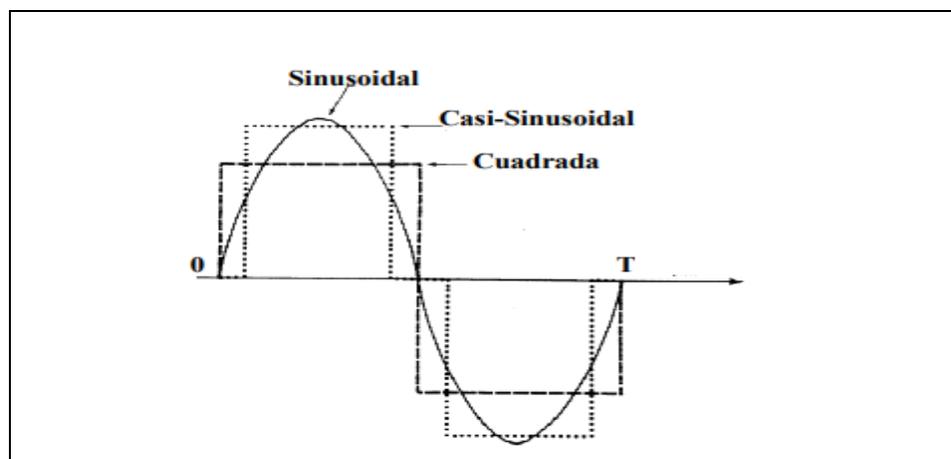


Figura 2.44 Forma de onda de salida de voltaje en inversores.  
Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

Es muy importante que la señal de salida del inversor sea una señal sinusoidal, porque todos los equipos eléctricos de corriente alternan, están

diseñados para trabajar con este tipo de onda, ya sea 50 Hz o 60 Hz dependiendo el país de origen, especialmente en cargas inductivas, como por ejemplo motores.

Cuando la señal que llega a ellos no es la adecuada, se presentan corrientes armónicas, que no producen ningún tipo de trabajo en los equipos, pero sí aumentan las pérdidas por calentamiento en las bobinas debido al conocido efecto Joule.

#### **2.6.4.3 Características de los inversores**

Hay características que se deben tener en cuenta al momento de escoger un modelo de inversor, entre ellas podemos destacar las siguientes.

- **Sobrecargas:** Existen aparatos de uso cotidiano que tienden a realizar trabajos donde aumentan transitoriamente su corriente nominal. Estos pueden ser por ejemplo las lavadoras o licuadoras, las cuales aumentan su corriente nominal por instantes donde necesitan realizar un trabajo más forzado. Dependiendo del tipo de inversor, estos pueden soportar sobrecargas mayores que pueden ser del 100%, 120%, etc., de su potencia total. De igual manera es importante la construcción de los inversores, debido a que esto determinará el tiempo que el inversor podrá soportar esa sobrecarga. Para seleccionar un inversor como mínimo se recomienda escoger uno de una capacidad mayor o igual al 25% de la potencia máxima del sistema.
- **Protecciones:** Los inversores cuentan con sistemas de protección que evitan que corrientes muy elevadas, por encima de la capacidad que pueden soportar, lleguen. Esto se produce debido que en DC la corriente que le llegará al inversor será mucho mayor a la existente a la salida del mismo, y si a esto le sumamos que si los acumuladores no están cargados lo suficiente, el voltaje tendrá tendencia a disminuir y por consiguiente la corriente tiene a aumentar. Esto hace necesaria la instalación de una protección a la entrada del inversor, que se accionará cuando el estado de carga de las baterías no sea el óptimo.

Los inversores necesitan protecciones térmicas que se accionarán cuando la temperatura de trabajo de los inversores exceda de un valor límite. Cuando la temperatura de trabajo de los inversores aumenta, su potencia de trabajo disminuye. Se incluyen, asimismo, protecciones contra inversiones en la polaridad en la entrada de corriente continua, contra sobretensiones, sobrecorrientes, etc.

- **Valores de voltaje y corriente de entrada y salida:** Es necesario conocer estos parámetros para elegir el modelo de los inversores a usar, de igual forma la potencia de salida.
- **Señal de salida:** Como ya dijimos anteriormente, es mucho más recomendable escoger el inversor que ofrezca una señal de salida sinusoidal, para disminuir las corrientes armónicas.
- **Rendimiento:** Mientras mayor sea el rendimiento del inversor, mejor.
- **Autoconsumo:** Como vimos anteriormente, mejor será la característica del inversor si el autoconsumo es menor, aunque es en valores muy pequeños en los inversores modernos. También existen aquellos inversores que automáticamente se desconectan al detectar que no hay carga conectada al sistema, lo cual requiere también de un arranque automático del equipo.
- **Varios niveles de voltaje:** Es de suma importancia si un inversor puede trabajar con distintos valores de voltaje de entrada, ya que esto depende de las baterías y paneles fotovoltaicos.

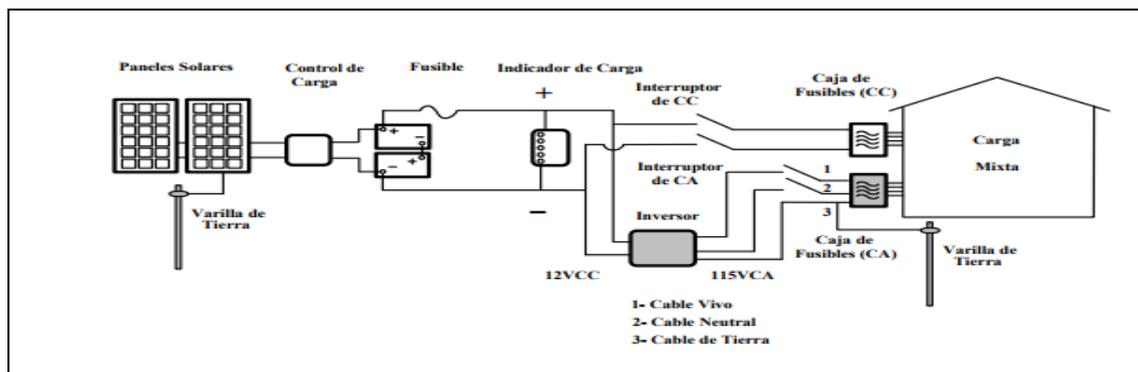


Figura 2.45 Diagrama de un sistema fotovoltaico con cargas en AC.

Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

# APORTACIONES

## CAPÍTULO 3

### 3.1 Ubicación

El diseño del sistema fotovoltaico está diseñado para abastecer de energía eléctrica al área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la cual tiene las coordenadas  $-2.1841294, -79.8988987, 6484$ .

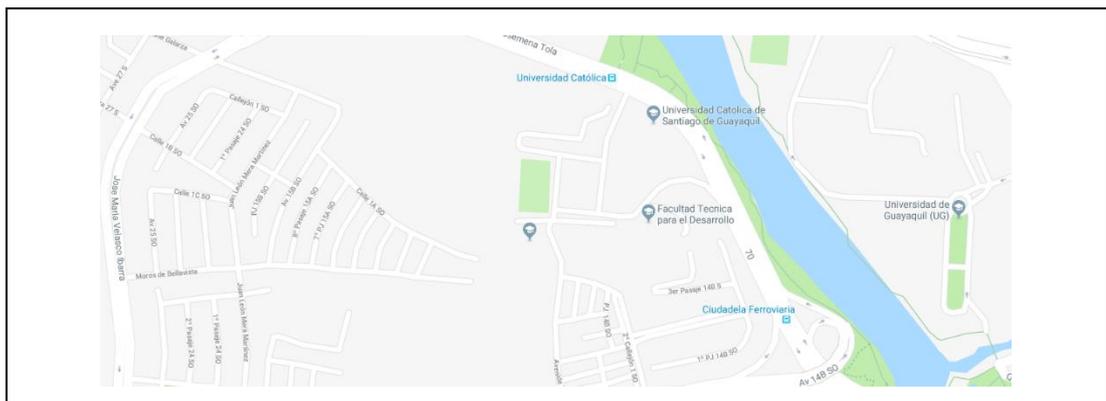


Figura 3.1 Ubicación de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.  
Fuente: Google Maps (2018).

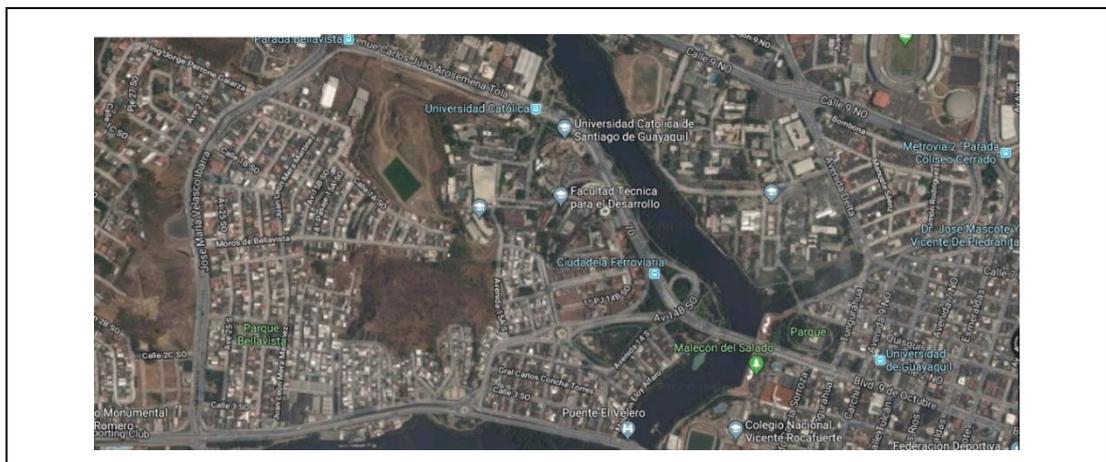


Figura 3.2 Mapa satelital de la ubicación de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.  
Fuente: Google Maps (2018).

### 3.2 Radiación solar en la ciudad de Guayaquil y Ecuador

Guayaquil es la ciudad más grande del Ecuador, cuenta con una extensión de tierra de alrededor de 345 km<sup>2</sup>, y con más de 3 millones de habitantes. Es conocida por encontrarse al nivel del mar, y por recibir grandes radiaciones solares a lo largo de todo el año.

La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se encuentra en la Av. Carlos Julio Arosemena km 1½ Vía Daule. Su ubicación, por encontrarse sobre los característicos cerros de la ciudad de Guayaquil, permite que se pueda captar una gran cantidad de energía solar. Ecuador se encuentra en la línea ecuatorial, lo cual es una ventaja al momento de recibir radiaciones solares a lo largo del año.

Como podemos observar en la siguiente imagen, la provincia del Guayas, especialmente la ciudad de Guayaquil percibe grandes cantidades de radiación solar.

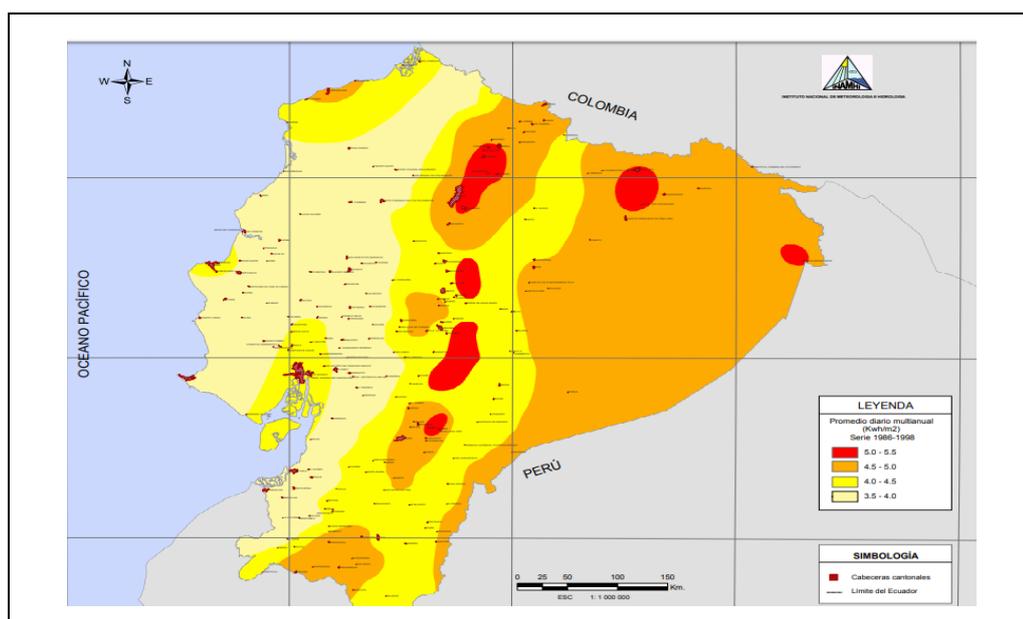


Figura 3.3 Mapa de irradiación solar de Ecuador.

Fuente: Servicio Meteorológico, INAMHI (2006).

Esto nos lleva a conocer a las HPS, u horas pico solar. Es aquella que se encarga de medir la irradiación solar, y es el tiempo necesario en horas, en

base a una irradiación constante de  $1 \text{ kW/m}^2$ . El área que forma el rectángulo de las horas pico solares, es igual al área horaria de la irradiación solar.

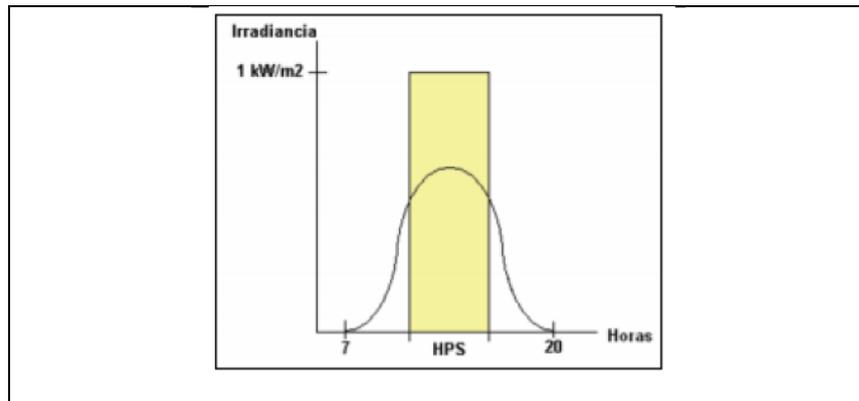


Figura 3.4 Curva horaria de irradiancia con sus horas pico solares.

Fuente: Prado Mora, Carlos (2008).

Según la siguiente imagen, publicada por la Norma Ecuatoriana de Construcción – NEC, Guayaquil percibe un promedio de  $4500 \text{ Wh/m}^2$  diariamente. Esto quiere decir que tiene un HPS igual a 4.5.

MES	Wh/m <sup>2</sup> / día promedio	
	Quito	Guayaquil
Enero	4950	3900
Febrero	4950	4200
Marzo	4950	4650
Abril	4800	4350
Mayo	4650	4500
Junio	4800	4200
Julio	5250	4350
Agosto	5400	4650
Septiembre	5550	5100
Octubre	5250	4500
Noviembre	5250	4950
Diciembre	5100	4800
<b>Promedio</b>	<b>5075</b>	<b>4513</b>

Figura 3.5 Tabla de radiación solar mensual en Guayaquil y Quito.

Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción – NEC 10 (2010).

### 3.3 Cálculo de carga

Los sistemas de alimentación eléctrica mediante generadores fotovoltaicos se pueden dividir en dos grupos, aquellos que solo tienen cargas eléctricas en

corriente continua, y aquellos que incluyen cargas en corriente alterna, los cuales pueden tener o no cargas en corriente continua.

Para realizar un cálculo de carga es necesario tomar en cuenta que para los casos donde se utilicen cargas con corriente alterna, será necesario utilizar un inversor, y como vimos anteriormente, en este proceso de transformación se producirán pérdidas.

Es por esto, que, para realizar un cálculo de consumo sobre las cargas, será necesario realizar un listado de la cantidad de vatios por hora (Wh) que consumirán los equipos durante el día, los cuales deben ser divididos en dos conjuntos, los de corriente continua y corriente alterna.

A la cantidad de Wh que resulten de la suma de las cargas de corriente continua, se les agregará la cantidad Wh que resulten de la suma de las cargas de corriente alterna las cuales deberán tener consideradas en sus cálculos el porcentaje por las pérdidas producidas en el inversor.

### 3.4 Levantamiento de carga

El levantamiento de carga es un proceso que se realiza con la finalidad de conocer la carga total instalada en un determinado sector, para esto, es necesario contar con un listado de todos los elementos eléctricos, es decir aquellos que sean capaces de consumir energía eléctrica.

Tabla 3.2 Cantidad de puntos de luz y tomas de corriente

DEPARTAMENTOS	CARGA		
	Puntos de Luz	Tomacorriente 120 voltios	Tomacorriente 240 voltios
Secretaría	7	7	2
Coordinación Académica	2	6	1
Coordinación Académica 2	3	4	1
Centro de apoyo docente	3	5	1

Director de Carrera de Telecomunicaciones, Maestría en Telecomunicaciones, Coordinación de Ing. Agropecuaria, Instituto de Transferencia Tecnológica ITT, Dirección Granja el Limoncito	6	9	3
Decanato	7	8	1
Consejería Estudiantil, Asistente de Decanato, Director de Carrera de Agropecuaria, Pasillos	11	7	2
Sala de profesores, cafetería y baños	12	17	2
Exteriores del área Administrativa de la FETD.	5	5	0
TOTAL	56	68	13

Debido a que el estudio del levantamiento de carga se trata de un área administrativa, esto se rige gracias a horarios de oficinas, en los cuales todos los acondicionadores de aire y tomas de corriente de 120 voltios que alimenten computadoras, trabajarán en horarios desde las 09h00 hasta las 16h00. Los puntos de luz al interior del área administrativa permanecerán encendidos desde las 09h00 hasta las 19h00, y aquellas que se encuentran en el exterior, desde las 18h00 hasta las 23h00.

Tabla 3.3 Horarios de utilización de equipos

CARGA	POTENCIA (W)	HORARIO DE UTILIZACIÓN
Acondicionadores de aire	1920	09h00 - 16h00
Acondicionadores de aire	1150	09h00 - 16h00
Acondicionadores de aire	2000	09h00 - 16h00
Computadoras	60	09h00 - 16h00
Tomas de corriente para otros usos	120	09h00 - 16h00
Puntos de luz	100	09h00 - 19h00

Refrigeradora	420	24 horas
Televisor	60	12h00 - 14h00
Microondas	1000	12h00 - 13h00
Luces exteriores	100	18h00 - 23h00
Reflectores	300	18h00 - 23h00

Tabla 3.4 Cálculo para equipos de acondicionamiento de aire

ACONDICIONADORES DE AIRE				
Cantidad	Potencia de funcionamiento por unidad(kW)	Potencia Total(kW)	Horas de Funcionamiento	Cantidad de Wh
3	1,92	5,76	7	40,32
7	1,15	8,05	7	56,35
3	2	6	7	42

Este proceso del levantamiento de carga, se realiza mediante la sumatoria de las potencias de todos los equipos instalados en el área, o mediante la sumatoria de las potencias máximas a resistir de todas las tomas de corrientes de diferentes valores de voltaje y puntos de luz instalados.

Una estimación lógica es aquella en la que se asume que la potencia que consume cada toma de corriente de 120 voltios es de alrededor de 120 vatios a 150 vatios. Cada punto de luz también puede ser asumido con estos mismos valores de potencia. Se realiza esta estimación y aunque es cierto que quizás haya puntos, ya sean de tomas de corriente o iluminación, que consuman potencias mayores a estos valores, habrá otros puntos que consumirán menos o que simplemente no tengan cargas que alimentar.

Tabla 3.5 Levantamiento de carga secretaría

SECRETARÍA						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)

Acondicionadores de aire	1920	2	0,8	3072	7	21504
Computadoras	60	5	0,8	240	7	1680
Tomas de corriente para otros usos	120	2	0,3	72	7	504
Puntos de luz	100	7	0,7	490	10	4900
<b>TOTAL</b>						28588

Tabla 3.6 Levantamiento de carga Coordinación Académica 1

<b>COORDINACIÓN ACADÉMICA 1</b>						
<b>Equipo</b>	<b>Potencia nominal (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Factor de utilización</b>	<b>Potencia Total (W)</b>	<b>Horas de Uso</b>	<b>Consumo Diario (Wh)</b>
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	5	0,3	180	7	1260
Puntos de luz	100	2	0,7	140	10	1400
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
<b>TOTAL</b>						19516

Tabla 3.7 Levantamiento de carga Coordinación Académica 2

<b>COORDINACIÓN ACADÉMICA 2</b>						
<b>Equipo</b>	<b>Potencia nominal (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Factor de utilización</b>	<b>Potencia Total (W)</b>	<b>Horas de Uso</b>	<b>Consumo Diario (Wh)</b>
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	3	0,3	108	7	756
Puntos de luz	100	3	0,7	210	10	2100
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
<b>TOTAL</b>						19712

Tabla 3.8 Levantamiento de carga centro de apoyo docente

<b>CENTRO DE APOYO DOCENTE</b>						
<b>Equipo</b>	<b>Potencia nominal (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Factor de utilización</b>	<b>Potencia Total (W)</b>	<b>Horas de Uso</b>	<b>Consumo Diario (Wh)</b>

Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	3	0,3	108	7	756
Puntos de luz	100	2	0,7	140	10	1400
Televisor	60	1	0,3	18	2	36
<b>TOTAL</b>						8968

Tabla 3.9 Levantamiento de carga pasillos de secretaría

<b>CONSEJERÍA ESTUDIANTIL, ASISTENTE DE DECANATO, DIRECTOR DE CARRERA DE AGROPECUARIA, COORDINADOR ACADÉMICO, PASILLOS DEL ÁREA ADMINISTRATIVA DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO</b>						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1150	2	0,8	1840	7	12880
Computadoras	60	3	0,8	144	7	1008
Tomas de corriente para otros usos	120	4	0,3	144	7	1008
Puntos de luz	100	11	0,7	770	10	7700
<b>TOTAL</b>						22596

Tabla 3.10 Levantamiento de carga Director de Carrera de Telecomunicaciones

<b>DIRECTOR DE CARRERA DE TELECOMUNICACIONES, MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES, COORDINACIÓN DE ING. AGROPECUARIA, INSTITUTO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA ITT, DIRECCIÓN GRANJA EL LIMONCITO, ASESORÍA PEDAGÓGICA</b>						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	2000	2	0,8	3200	7	22400
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Computadoras	60	3	0,8	144	7	1008
Tomas de corriente para otros usos	120	6	0,3	216	7	1512
Puntos de luz	100	6	0,7	420	10	4200
<b>TOTAL</b>						35560

Tabla 3.11 Levantamiento de carga Decanato

<b>DECANATO</b>
-----------------

Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	2000	1	0,8	1600	7	11200
Televisor	60	1	0,3	18	2	36
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	6	0,3	216	7	1512
Puntos de luz	100	7	0,7	490	10	4900
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
<b>TOTAL</b>						28064

Tabla 3.12 Levantamiento de carga sala de profesores, cafetería y baños

<b>SALA DE PROFESORES, CAFETERÍA, BAÑOS</b>						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Acondicionadores de aire	1920	1	0,8	1536	7	10752
Acondicionadores de aire	1150	1	0,8	920	7	6440
Televisor	60	2	0,3	36	2	72
Computadoras	60	1	0,8	48	7	336
Tomas de corriente para otros usos	120	12	0,3	432	7	3024
Puntos de luz	100	7	0,7	490	10	4900
Refrigeradora	420	1	1	420	24	10080
Microondas	1000	1	1	1000	1	1000
<b>TOTAL</b>						36604

Tabla 3.13 Levantamiento de carga Exteriores

<b>EXTERIORES</b>						
Equipo	Potencia nominal (W)	Cantidad	Factor de utilización	Potencia Total (W)	Horas de Uso	Consumo Diario (Wh)
Reflectores	300	2	0,8	480	5	2400
Tomas de corriente para otros usos	120	5	0,3	180	7	1260
Puntos de luz	100	5	0,7	350	5	1750
<b>TOTAL</b>						5410

Tabla 3.14 Consumo diario y potencia instalada por departamentos

DEPARTAMENTOS	POTENCIA DE LA CARGA EN W	FACTOR DE COINCIDENCIA 0,9	CONSUMO DIARIO POR DEPARTAMENTO Wh	FACTOR DE COINCIDENCIA 0,9
Secretaría	3874	3486,6	28588	25729,2

Coordinación Académica	1708	1537,2	19516	17564,4
Coordinación Académica 2	1706	1535,4	19712	17740,8
Centro de apoyo docente	1234	1110,6	8968	8071,2
Director de Carrera de Telecomunicaciones, Maestría en Telecomunicaciones, Coordinación de Ing. Agropecuaria, Instituto de Transferencia Tecnológica ITT, Dirección Granja el Limoncito	4900	4410	35560	32004
Decanato	2792	2512,8	28064	25257,6
Consejería Estudiantil, Asistente de Decanato, Director de Carrera de Agropecuaria, Pasillos del área administrativa de la FETD.	2898	2608,2	22596	20336,4
Sala de profesores, cafetería y baños	4882	4393,8	36604	32943,6
Exteriores del área Administrativa de la FETD.	1010	909	5410	4869
TOTAL	25004	22503,6	205018	184516,2

### 3.5 Rendimiento del sistema fotovoltaico

Como en todo sistema eléctrico, la presencia de pérdidas debido a la transformación de energía es inevitable. Los elementos que intervienen en un sistema fotovoltaico, presentan porcentajes de rendimiento diferentes, los cuales presentarán pérdidas que afectaran a la potencia que deberá ser generada por el sistema fotovoltaico. La fórmula para hallar la potencia real es:

$$\text{Rendimiento} = (1 - kd - ki - kj) \left( 1 - \frac{ka(N)}{Pd} \right)$$

Esta fórmula contiene algunas variables que corresponden a las pérdidas que se producen en diferentes partes del sistema fotovoltaico.

La variable  $kd$  corresponde a un valor el cual se encuentra en el rango entre 0.1 y 0.05, el cual determinará si el acumulador será sometido a descargas profundas o no tan profundas. Siendo 0.1 el valor máximo de descarga.

La variable  $ki$  corresponde a las pérdidas que pueden producirse en el inversor, debido a la calidad del equipo, forma de onda de salida, etc. Si el inversor tiene una onda senoidal de salida y es de buena calidad puede considerarse un valor de 0.05. Si el inversor no trabaja en condiciones estables, se puede escoger un valor de 0.1.

La variable  $kj$  es un valor que se designa de acuerdo a las pérdidas producidas por efecto de la transmisión de energía. Se pueden escoger valores entre 0.05 y 0.15, de acuerdo a qué tan grandes sean esas pérdidas. Las pérdidas se producen cuando existe una gran distancia entre la energía generada y la carga, y cuando la corriente que necesita ser transmitida por los conductores es muy elevada, por el efecto Joule.

La siguiente variable,  $ka$  es aquella que va de acuerdo al tipo de batería que se vaya a utilizar en el sistema fotovoltaico, y está relacionada con la autodescarga de la misma. Cuando se utilizan baterías que tienen una autodescarga mínima, como las de Ni-Cd, escogemos el valor de 0.002. Las baterías más utilizadas en estos sistemas son las de Pb-ácido, las cuales tienen una autodescarga media y podemos usar el valor de 0.005. Hay baterías con autodescargas más elevadas y pueden llegar a usarse valores de hasta 0.012.

La variable N se refiere a un número que especificará de días seguidos que podría estar el sistema abasteciendo de energía, cuando existe baja radiación solar. A esto se conoce como autonomía del sistema. Usualmente se dice que los sistemas fotovoltaicos se diseñan con unos 4 días de autonomía. Si se desea tener una autonomía mayor, será necesario generar más energía, y a su vez, que el acumulador sea capaz de almacenar mayor cantidad de energía eléctrica.

Por último,  $Pd$  es la profundidad de descarga, de la cual ya hemos hablado. Es importante no exceder del 80% de descarga de la batería, debido a que se deteriorará el equipo cuando existen descargas muy profundas de los equipos.

En nuestro caso, la fórmula para hallar el rendimiento del sistema fotovoltaico quedaría de la siguiente manera.

$$\text{Rendimiento} = (1 - kd - ki - kj) \left( 1 - \frac{ka(N)}{Pd} \right)$$

$$\text{Rendimiento} = (1 - 0.1 - 0.05 - 0.10) \left( 1 - \frac{0.005(1)}{0.8} \right)$$

$$\text{Rendimiento} = 0.7453125 = 74.53\%$$

### 3.6 Energía real a generar del campo fotovoltaico

Para poder hallar la cantidad real de potencia que debe generar nuestro sistema fotovoltaico, no basta con solo realizar un análisis de carga, porque como mencionamos anteriormente, es necesario tomar en cuenta las pérdidas que se producen en el sistema.

$$\text{Energía Real} = \frac{\text{Energía en Wh}}{\text{Rendimiento}}$$

$$\text{Energía Real} = \frac{184516,2 \text{ Wh}}{0.7453125}$$

$$Energía Real = 247568.91 Wh = 247.57 kWh$$

### 3.7 Potencia real a generar del campo fotovoltaico

La potencia que se deba generar está directamente relacionada con la cantidad de energía que deba tener el sistema fotovoltaico. Debido a que el sistema fotovoltaico y lo que pueda producir no depende únicamente con los equipos, sino del factor más importante que es la radiación solar, se debe introducir esta variable en la ecuación.

$$Potencia Real = \frac{Energía real}{Horas pico solar}$$

$$Potencia Real = \frac{247568.91 Wh}{4.5}$$

$$Potencia Real = 55015.31 W = 55.02 kW$$

### 3.8 Cantidad de paneles solares

Para conocer el número de paneles que vamos a utilizar en nuestro sistema fotovoltaico, tendremos que relacionar la energía real que necesitamos generar, con la tensión de operación con la que trabajarán los paneles fotovoltaicos y con la cantidad promedio de radiación solar que reciban los equipos.

$$Cantidad de paneles = \frac{Energía Real}{Potencia de paneles * Horas pico solar}$$

$$Cantidad de paneles = \frac{247568.91 Wh}{330 W * 4.5}$$

$$Cantidad de paneles = 166.71 paneles = 167 paneles$$

### 3.9 Diseño de conexión de paneles

Dependiendo de las capacidades de los equipos convertidores de energía DC a AC, se debe determinar la cantidad de paneles que deben juntarse para cumplir con las necesidades de demanda que existan.

Para esto existen fórmulas, y con ello determinaremos cuantos paneles serán necesarios conectar en serie y paralelo. Los cálculos deben realizarse tomando en cuenta la temperatura a la que serán sometidos los equipos.

Para hallar el número máximo de paneles que serán conectados en serie, se hará cuando existe la mínima temperatura. Existirán variables que, dependiendo el modelo de los equipos, tendrán valores distintos y podrán revisarse en las fichas técnicas de los mismos, las cuales serán adjuntadas en los anexos. Estas variables son:

$V_{ca}(\text{Temp mín.}) = \text{Voltaje de circuito abierto a una temperatura mínima}$

$V_{ca}(25^{\circ}\text{C}) = \text{Voltaje de circuito abierto a } 25^{\circ}\text{C}$

CT  $V_{ca}$  = Coeficiente de temperatura de voltaje de circuito abierto

$$V_{ca}(\text{Temp mín}) = V_{ca}(25^{\circ}\text{C}) + V_{ca}(25^{\circ}\text{C}) \text{ CT } V_{ca}(T_{\text{min}} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{ca}(21^{\circ}\text{C}) = 47,2 \text{ V} + 47,2 \text{ V} (-0,304\% /^{\circ}\text{C})(21^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})$$

$$V_{ca}(\text{Temp mín}) = 47,77 \text{ V}$$

$$\text{Cantidad máx en serie} = \frac{V_{\text{max Inversor}}}{V_{ca}(\text{Temp mín})}$$

$$\text{Cantidad máx en serie} = \frac{550 \text{ V}}{47,77 \text{ V}}$$

$$\text{Cantidad máx en serie} = 12$$

De igual manera, para hallar el número mínimo de paneles que deberán ser instalados en serie, será necesario utilizar la temperatura máxima en el

sistema. Las variables que se utilizarán aquí y que pueden ser encontradas en los anexos, son:

$V_{mp}(Temp\ max.) =$  Voltaje de potencia máxima a una temperatura máxima

$V_{mp}(25^{\circ}C) =$  Voltaje de potencia máxima a  $25^{\circ}C$

$CT\ Pmp =$  Coeficiente de temperatura de potencia máxima

$V_{min\ MPP\ Inversor} =$  Voltaje mínimo MPP Inversor

$$V_{mp}(Temp\ max) = V_{mp}(25^{\circ}C) + V_{mp}(25^{\circ}C) CT\ Pmp(Tmax - 25^{\circ}C)$$

$$V_{mp}(35^{\circ}C) = 37,5\ V + 37,5V (-0,43\% /^{\circ}C) (35^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$V_{mp}(35^{\circ}C) = 37,5\ V + 37,5V (-0,43\% /^{\circ}C) (35^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$V_{mp}(35^{\circ}C) = 35,8875\ V$$

$$Cantidad\ min\ en\ serie = \frac{V_{min\ MPP\ Inversor}}{V_{mp}(Temp\ max)}$$

$$Cantidad\ min\ en\ serie = \frac{200\ V}{35,8875\ V}$$

$$Cantidad\ min\ en\ serie = 6$$

Para determinar la cantidad de paneles que serán colocados en paralelo se considerará, de igual manera, la temperatura máxima de la zona, y se necesitan otras variables que las podemos encontrar en los anexos, y son:

$I_{cc}(Temp\ máx.) =$  Corriente de cortocircuito a una temperatura máxima

$I_{cc}(25^{\circ}C) =$  Corriente de cortocircuito a  $25^{\circ}C$

$CT\ Icc =$  Coeficiente de temperatura de corriente de cortocircuito

$$I_{cc}(Temp\ max) = I_{cc}(25^{\circ}C) + I_{cc}(25^{\circ}C) CT\ Icc(Tmax - 25^{\circ}C)$$

$$I_{cc}(35^{\circ}C) = 9,55\ A + 9,55\ A (0,042\% /^{\circ}C) (35^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$I_{cc}(35^{\circ}C) = 9,55\ A + 9,55\ A (0,042\% /^{\circ}C) (35^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$I_{cc}(35^{\circ}C) = 9,59 A$$

$$\text{Cantidad máx en paralelo} = \frac{\text{Corriente entrada Inversor}}{I_{cc}(\text{Temp max})}$$

$$\text{Cantidad máx en paralelo} = \frac{30 A}{9,59 A}$$

$$\text{Cantidad máx en paralelo} = 3$$

### 3.10 Agrupamiento y cantidad de equipos a utilizar en el diseño

De acuerdo al cálculo anterior, la cantidad máxima de paneles por cada inversor son 12. Esto quiere decir que podemos agrupar 9 paneles en serie, y en paralelo 3.

Como sabemos que para cumplir con la demanda energética del área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo necesitamos 167 paneles, los cuales estarán agrupados de 2 formas distintas. El primer grupo serán 13 conjuntos de paneles e inversores, los cuales estarán conformados por 9 paneles en serie y 2 en paralelo. El segundo grupo estará dividido en 2 conjuntos conformados por 9 paneles en serie y 3 en paralelo, junto con su respectivo inversor.

Agrupar de esta manera nos permitirá tener un voltaje de 360 V en cada grupo.

### 3.11 Selección de equipos

Los paneles solares a utilizarse en el diseño del sistema fotovoltaico serán los SW 330 XL mono black, de la marca SOLARWORLD. Estos paneles tienen una potencia máxima de 330 vatios, son de tipo monocristalino y están compuestos por 72 células solares. Tiene un peso aproximado 47,6 libras y las siguientes dimensiones:

- Longitud = 199,3 cm
- Ancho = 100,1 cm
- Grosor = 3,3 cm



Figura 3.6 Panel solar de SolarWorld 330 SW mono black.  
Fuente: SolarWorld (2017).

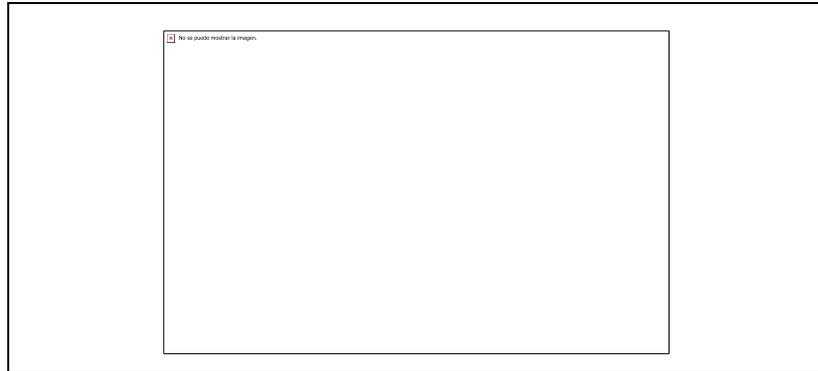


Figura 3.7 Panel solar de SolarWorld 330 SW mono black.  
Fuente: SolarWorld (2017).

El inversor que se utilizará será el modelo 3.6 TL U, de la marca INGETEAM, el cual puede convertir energía, hasta con 3.6 kW de salida en AC. Tiene 4 entradas en DC. Pesa alrededor de 44,09 libras y cuenta con las siguientes dimensiones:

- Longitud = 71,14 cm
- Ancho = 36,07 cm
- Grosor = 17,78 cm



Figura 3.8 Inversor Ingeteam 3.6 TL U.  
Fuente: Ingeteam (2011).

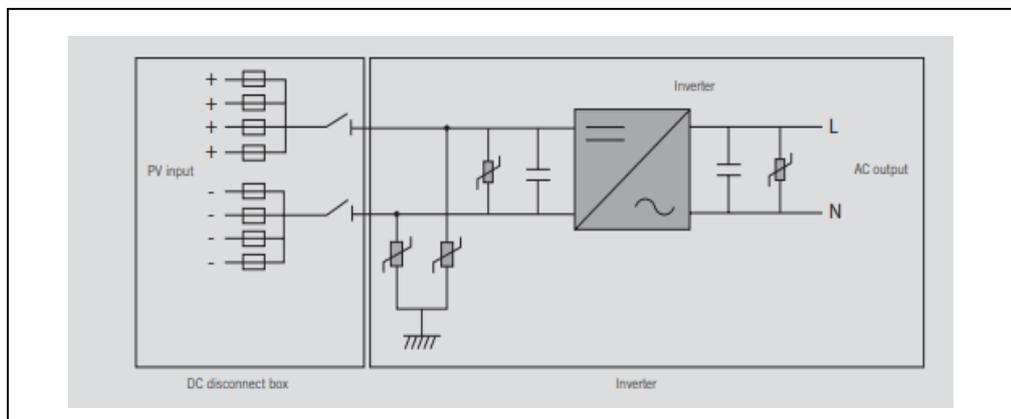


Figura 3.9 Diagrama interno del inversor Ingeteam 3.6 TL U.  
Fuente: Ingeteam (2011).

### 3.12 Dimensionamiento del inversor

El inversor al ser un equipo de suma importancia en el sistema cuando existen cargas de corriente alterna, se lo debe dimensionar correctamente, y su valor dependerá del consumo máximo que exista en el lugar. Esto nos lleva a la conclusión que mientras menor sea el consumo durante un tiempo pico, el inversor tendrá una capacidad menor, lo cual nos llevará a ahorrar dinero en la implementación del proyecto.

Lo ideal sería poder alternar en lo máximo posible la utilización de las cargas durante distintas horas del día, para que el valor de consumo máximo durante un periodo de tiempo no sea muy grande.

Una vez que se conozca el valor máximo Wh que se consumirá en un momento determinado, se debe aumentar mínimo un 25% más a este valor para poder conocer la capacidad que puede manejar nuestro inversor en el sistema fotovoltaico.

Cuando se trabaja con mucha carga de corriente alterna en un sistema fotovoltaico, es preferible realizar la implementación con la mayor cantidad de carga en corriente alterna, tratando de eliminar en lo máximo posibles cargas en corriente continua.

Esto se debe a que, con el fin de reducir las pérdidas de energía por la transmisión de energía mediante conductores, entre los equipos del sistema fotovoltaico, es decir entre los generadores o paneles fotovoltaicos y el regulador de voltaje, entre el regulador de voltaje y los acumuladores o baterías, y entre los acumuladores y el inversor, todos estos deben situarse en un mismo lugar, el cual se encuentre lo más próximo posible a los generadores fotovoltaicos.

Esto también representa una ventaja económica debido a que la utilización de conductores tendrá un menor costo, por la razón que el voltaje después de la salida del inversor es mucho mayor que el voltaje que existe antes del inversor, lo cual se reflejará en una corriente menor y se necesitarán conductores de menor calibre entre el inversor y el lugar al cual se quiere abastecer de energía eléctrica.

### **3.13 Sistemas mixtos**

Los sistemas mixtos son aquellos que tienen una o más fuentes de energía capaces de proporcionar energía eléctrica a una determinada carga. En nuestro caso, la fuente de energía principal será el sistema fotovoltaico.

Es mucho más común que existan sistemas mixtos, los cuales tienen la necesidad de trabajar con potencias elevadas, y que por momentos no pueden ser suministradas por los generadores fotovoltaicos por la insuficiente radiación solar que pueda presentarse.

Algunos establecimientos donde ya se gozaba de energía eléctrica por distribución de las empresas comercializadoras, han optado por realizar una configuración mixta con la implementación de paneles solares por los beneficios que estos otorgan, ya sean económicos, ambientales, etc.

Para poder conectar estos tipos de fuentes de energía, existen dos formas en las que se puede realizar. Uno de ellos es conocido como la conexión en paralelo y el otro método es mediante un tablero de transferencia o relevador.

### **3.14 Tablero Relevador**

El método que utiliza el tablero relevador tiene como objetivo intercambiar la fuente generadora que no sea capaz de producir la suficiente energía eléctrica para cubrir con la demanda requerida, por la otra fuente de energía eléctrica. Una vez que los consumos bajen o la fuente generadora principal sea capaz de alimentar la carga eficientemente, el tablero relevador volverá a su posición original, alimentando la carga con la fuente de energía principal.

En nuestro caso, cuando los paneles fotovoltaicos no sean capaces de generar la potencia necesaria, un conmutador será accionado por el relevador, el cual conectará la red de distribución eléctrica con la carga, y ésta será alimentada por la red de distribución, hasta que se normalice el suministro de energía eléctrica por parte del sistema fotovoltaico.

El tablero relevador se conecta entre el inversor, la fuente de generación auxiliar y la carga.

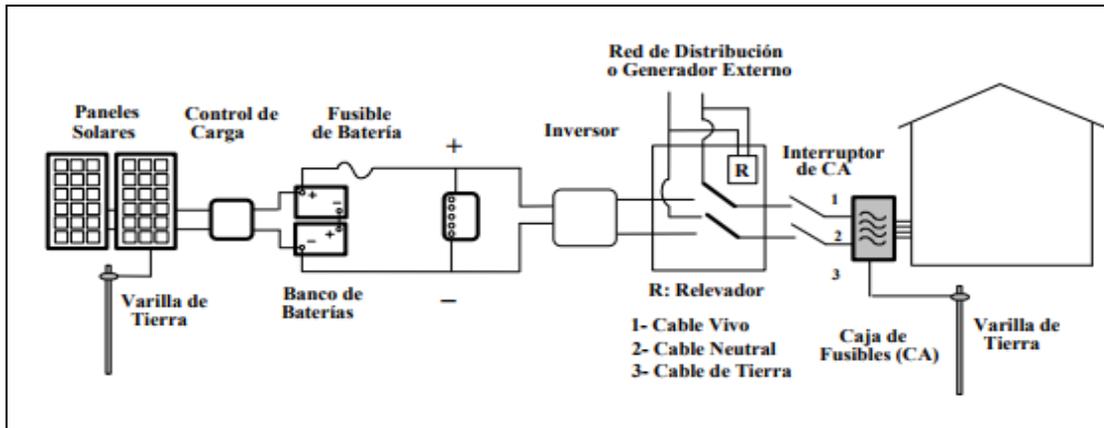


Figura 3.10 Sistema mixto con alimentación fotovoltaica y con una red de distribución, mediante un panel relevador.

Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

### 3.15 Conexión en paralelo

Para este tipo de conexión, se reemplaza el panel relevador por la conexión de las fuentes de generación que vayan a utilizarse en paralelo. Este tipo de conexión puede ser realizada cuando se tiene el mismo voltaje de salida nominal en las dos fuentes de energía.

Es posible que una de las fuentes se encuentre generando energía eléctrica y alimentando a la carga por sí misma, mientras la otra fuente se encuentra en reposo o generando muy poco, o de la misma manera, es posible que las dos fuentes se encuentren en el proceso de generación.

La utilización de elementos que direccionen la corriente eléctrica en un solo sentido es de suma importancia, debido a que esto evitará una retroalimentación de corriente y una carga constante entre las dos fuentes sin alimentar debidamente a la carga. Estos dispositivos son conocidos como diodos.

Este sistema presenta pérdidas mínimas producidas por la utilización de los diodos, pero que pueden ser fácilmente reducidas mediante la utilización de un tipo de diodos denominados Schottky.

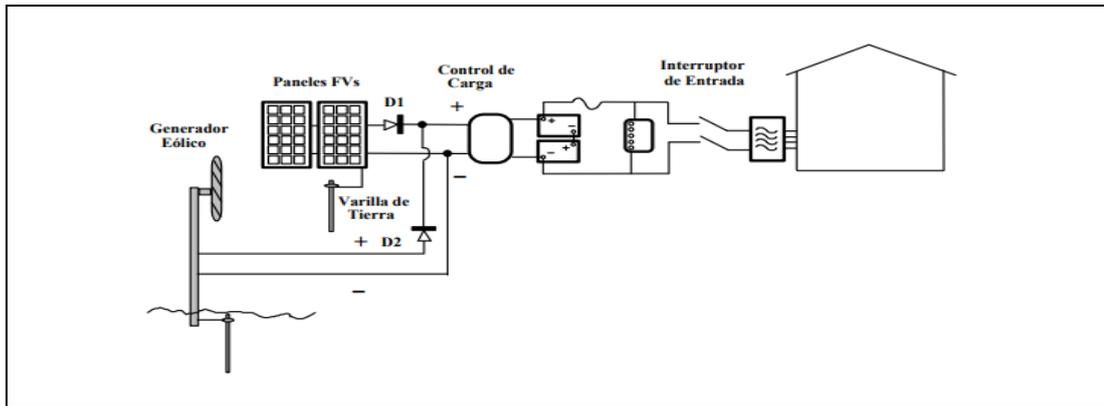


Figura 3.11 Sistema mixto con alimentación fotovoltaica y eólica, mediante una conexión en paralelo solo con cargas DC.  
Fuente: Gasquet, Héctor (2004).

### 3.16 Regulador de carga

Como los paneles estarán divididos en 15 grupos, se debe multiplicar la máxima corriente que puede generar cada equipo fotovoltaico, es decir la corriente de cortocircuito, por la cantidad de paneles que tenga el sistema en paralelo.

Se toma en cuenta la cantidad de paneles en paralelo, debido a que son estos los que determinarán la cantidad de corriente que pasará por el regulador de carga. Aquellos que sean conectados en serie solo determinarán el voltaje, pero la corriente permanecerá igual.

$$\text{Corriente control de carga} = I_{cc} * \text{Cantidad paneles paralelo}$$

$$\text{Corriente control de carga} = 9,55A * 2$$

$$\text{Corriente control de carga} = 19.1 A$$

$$\text{Corriente control de carga} = 9,55A * 3$$

$$\text{Corriente control de carga} = 28.65 A$$

De acuerdo a la fórmula, se deberán utilizar reguladores de carga de 20 A, para cada uno de los 13 grupos, debido a que la máxima cantidad de paneles

conectados en paralelo son 2, y para los 2 grupos restantes se utilizarán reguladores de 30 A.

### 3.17 Características del banco de baterías

Para poder hallar la capacidad del banco de baterías es necesario saber que intervendrán variables como la energía real, el número de autonomía del sistema (N), el voltaje de la batería y la profundidad de descarga de la batería.

Debido a que el sistema no necesita tener gran autonomía, debido a que la carga consumirá energía exclusivamente en los horarios de oficina, consideramos a la variable *N*, como la unidad.

$$\text{Capacidad banco de baterías} = \frac{\text{Energía real} * N}{V \text{ batería} * PD}$$

$$\text{Capacidad banco de baterías} = \frac{247.57 \text{ kWh} * 1}{360 * 0,8}$$

$$\text{Capacidad banco de baterías} = 859.61 \text{ Ah}$$

Para poder cumplir con las exigencias en la capacidad del banco de baterías, se utilizará un sistema acumulador con 60 baterías AGM, es decir de fibra de vidrio absorbente, con una capacidad de 35Ah y 12V de trabajo. Estas baterías tendrán un sistema de conexión mixta, en la cual 30 serán conectadas en serie y 30 en paralelo. Así obtendremos 1050Ah de capacidad y los 360V que se necesitan.

### 3.18 Cálculo de corriente DC

Al realizar todos los cálculos para la realización del sistema fotovoltaico, definimos que se agruparían a los paneles fotovoltaicos en 15 conjuntos, que serán conformados por grupos de 11 y 12 paneles fotovoltaicos cada uno.

Para poder hallar la corriente existente que se transportará por medio de los conductores entre los paneles fotovoltaicos y los reguladores de carga, utilizaremos la ley de potencia.

$$Potencia = Voltaje * Intensidad de corriente$$

$$Intensidad de corriente = \frac{Potencia}{Voltaje}$$

La potencia existente en cada grupo de paneles fotovoltaicos se obtiene mediante la multiplicación de la potencia de cada panel por la cantidad de paneles existentes en el grupo.

$$Potencia 1 = Potencia nominal * Cantidad de paneles$$

$$Potencia = 330W * 11 = 3630 W$$

$$Potencia 2 = Potencia nominal * Cantidad de paneles$$

$$Potencia = 330W * 12 = 3960 W$$

De acuerdo a la fórmula para hallar la corriente existente en los grupos de paneles fotovoltaicos, se debe multiplicar la potencia existente en el grupo y dividirla para el voltaje que tenga el sistema.

$$Intensidad 1 = \frac{3630 W}{360 V} = 10.08 A$$

$$Intensidad 2 = \frac{3960 W}{360 V} = 11 A$$

La corriente de entrada y salida al banco de baterías será igual a la sumatoria de las todas corrientes existentes en cada uno de los grupos de paneles fotovoltaicos. Es decir, será la corriente existente en cada rama multiplicado por la cantidad de grupos de paneles fotovoltaicos.

*Corriente banco de baterías = Corriente de la rama \* Cantidad de grupos*

$$Corriente de grupo 1 = 10.08 A * 13$$

$$Corriente de grupo 1 = 131.08 A$$

$$Corriente de grupo 2 = 11 * 2$$

$$Corriente de grupo 2 = 22 A$$

La corriente total será igual a la sumatoria de las corrientes existentes en cada grupo de paneles solares, y será igual a la siguiente fórmula.

$$Corriente total = Corriente de grupo 1 + Corriente de grupo 2$$

$$Corriente total = 131.08 + 22 = 151.08 A$$

### **3.19 Cálculo de corriente AC**

La corriente existente en el lado de corriente alterna, es decir después de que el inversor haya convertido la corriente directa en alterna, se obtiene mediante la ley de potencia, y se relaciona directamente con la carga instalada.

Se conoce que la carga instalada es de 25 kW, de acuerdo a los datos proporcionados por el levantamiento de carga anteriormente realizado, y que el voltaje de operación es de 240 VAC, entonces la fórmula para hallar la corriente quedaría de la siguiente forma.

$$Corriente de carga = \frac{25002 W * 0,9}{240 V}$$

$$Corriente de carga = 93,76 A$$

A la carga instalada que es de 25 kW se le debe multiplicar por un factor de coincidencia el cual asumiremos que es 0.9, debido a que gracias a los horarios de oficina, la mayoría de la carga estará trabajando simultáneamente.

Debido a que tenemos un sistema donde utilizamos 17 inversores Ingeteam 3.6 TL U, esta corriente se derivará en 15 ramas distintas, la cual determinará la corriente que existirá desde la salida de cada uno de los inversores.

$$\text{Corriente de inversores} = \frac{93,76 \text{ A}}{15}$$

$$\text{Corriente de inversores} = 6.25 \text{ A}$$

### 3.20 Conductores a utilizar

Para realizar un dimensionamiento adecuado de los conductores a utilizar, podemos estimar un 25% más de la corriente nominal que pasará a través de los conductores.

Esto quiere decir que, para el lado de corriente directa, tenemos que utilizar conductores capaces de soportar las siguientes corrientes.

$$\text{Conductor 1} = 10.08 \text{ A} * 1.25 = 12.6 \text{ A}$$

$$\text{Conductor 2} = 11 \text{ A} * 1.25 = 13.75 \text{ A}$$

$$\text{Conductor 3} = 153.08 \text{ A} * 1.25 = 191.35 \text{ A}$$

Esto significa que los que utilicen el conductor 1 y conductor 2, deberán utilizar 2 conductores # 12 AWG – Cu / 600v. Para el conductor 3, se utilizarán 2 conductores #4/0 – Cu / 600v

Para los conductores de corriente alterna utilizaremos el mismo criterio para la selección del calibre adecuado de los conductores, los cuales deben soportar las siguientes corrientes.

$$\text{Conductor 1} = 6.25 \text{ A} * 1.25 = 7.81 \text{ A}$$

$$\text{Conductor 2} = 93.76 \text{ A} * 1.25 = 117,2 \text{ A}$$

Los conductores a utilizar en el lado de corriente alternan para el conductor 1 serán, 2 conductores # 12 AWG – Cu / 600v + 1 conductor # 14 AWG – Cu / 600v. Para el conductor 2, se utilizarán 2 conductores # 1/0 AWG – Cu / 600v + 1 conductor # 4 AWG – Cu / 600v.

## **CAPÍTULO IV**

### **ESTUDIO ECONÓMICO**

El estudio económico se realizará con el fin de realizar un presupuesto que sea una aproximación al costo real del sistema fotovoltaico, para de esta manera determinar la viabilidad y factibilidad del proyecto, que tiene como fin dotar de energía fotovoltaica al área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

#### **4.1 Presupuesto**

El siguiente presupuesto fue realizado con todos los elementos mencionados anteriormente. Tiene como objetivo conocer un aproximado de la inversión inicial que se necesita realizar para el proyecto fotovoltaico.

Tabla 4.1 Presupuesto del proyecto.

<b>PRESUPUESTO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>TOTAL</b>
Paneles solares SW 330 XL mono black	167	\$312,80	\$52.237,60
Reguladores de voltaje EASUN Power 30 A - 360 V	15	\$1.000,00	\$15.000,00
Inversores Ingecon Sun Lite 3.6 TL U	15	\$924,80	\$13.872,00
Batería U-Power 35Ah - 12 V	60	\$69,70	\$4.182,00
Instalación del sistema	1	\$3.000,00	\$3.000,00
<b>TOTAL A PAGAR</b>			<b>\$88.291,60</b>

#### **4.2 Consumo energético Actual**

Es necesario determinar el consumo actual del área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, para de esta manera realizar una comparación con la inversión inicial que necesita el sistema fotovoltaico.

Este cálculo será realizado de acuerdo a las tarifas fijadas por el ARCONEL en el pliego tarifario del año 2018. La Universidad Católica de Santiago de Guayaquil se encuentra dentro de la categoría de "Media tensión con

demanda horaria” en el área comercial. En el siguiente gráfico podemos observar lo que dice el ARCONEL respecto a este tipo de consumo.

**5.2. TARIFA GENERAL DE MEDIA TENSIÓN CON REGISTRADOR DE DEMANDA HORARIA (EXCEPTO PARA CONSUMIDORES INDUSTRIALES)**

Se aplica a los consumidores que disponen de un registrador de demanda horaria, que les permite identificar la demanda de potencia y los consumos de energía en los períodos horarios de punta, media y base. No se aplica para los consumidores industriales,

El consumidor debe pagar:

- Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
- Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable, indicada en el numeral 8.1; como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGD) señalado en el numeral 9.1.
- Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de 07h00 hasta las 22h00, que corresponde al cargo por energía de la tarifa general de media tensión con demanda (numeral 5.1. literal c).
- Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida, en el período de 22h00 hasta las 07h00.

Figura 4.1 Tarifa para instalaciones en media tensión con demanda horaria.

Fuente: ARCONEL (2018).

CNEL UN GUAYAQUIL			
CARGOS TARIFARIOS			
JUNIO - NOVIEMBRE **			
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
<b>NIVEL TENSIÓN</b>			
<b>MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA</b>			
	<b>COMERCIALES</b>		
	4.003	0,690	CONSUMOS kWh-mes: 0-300: 1,414 301-500: 2,526 501-1000: 4,240 > 1000: 7,056
	<b>INDUSTRIALES</b>		
	4.003	0,675	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS</b>		
	<b>SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
	4.003	0,662	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
	4.003	0,652	
<b>NIVEL TENSIÓN</b>			
<b>MEDIA TENSIÓN CON DEMANDA HORARIA</b>			
	<b>COMERCIALES</b>		
07h00 hasta 22h00	4.003	0,690	CONSUMOS kWh-mes: 0-300: 1,414 301-500: 2,526 501-1000: 4,240 > 1000: 7,056
22h00 hasta 07h00		0,673	
	<b>E. OFICIALES, ESC. DEPORTIVOS</b>		
	<b>SERVICIO COMUNITARIO Y ABONADOS ESPECIALES</b>		
07h00 hasta 22h00	4.003	0,662	
22h00 hasta 07h00		0,652	
	<b>BOMBEO AGUA</b>		
07h00 hasta 22h00	4.003	0,652	
22h00 hasta 07h00		0,642	

Figura 4.2 Cargos tarifarios para CNEL GUAYAQUIL, 2018.

Fuente: ARCONEL (2018).

De acuerdo con la reglamentación y con el cargo tarifario, podemos realizar una estimación del consumo que existe en la actualidad por parte del área administrativa de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. En las siguientes tablas se resumen los valores a pagar por parte de cada rubro del reglamento emitido por el ARCONEL.

Al realizar la estimación del cargo por demanda, se asumió un valor de 0.95 para el factor de gestión de demanda, debido a que la mayor parte de la carga será utilizada en el período de 07h00 hasta las 22h00.

Para el cargo por energía, según el levantamiento de carga, los únicos equipos que serán utilizados en el período de 22h00 hasta las 07h00, serán las refrigeradoras que trabajan las 24 horas del día, y las luces y reflectores que permanecerán encendidas hasta las 23h00.

Tabla 4.2 Rubro por valor de comercialización

VALOR POR COMERCIALIZACIÓN	
Mayor 1000 kWh/mes	\$7,07

Tabla 4.3 Rubro por demanda

DEMANDA			
Demanda kW	Demanda USD/kW-mes	FDG	Total
25	\$4,00	0,95	\$95,07

Tabla 4.415 Rubro por energía

ENERGÍA				
kWh/diario	Días laborables/mes	kWh/mes	\$ kWh	Total
202,378	20	4047,56	\$0,09	\$364,28
2,64	20	52,8	\$0,07	\$3,85
TOTAL A PAGAR POR CARGO DE ENERGÍA				\$368,13

Tabla 16 Valor a pagar mensual y anual

CARGOS	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Energía	\$368,13	\$4.417,56
Demanda	\$95,07	\$1.140,84

Comercialización	\$7,07	\$84,84
TOTAL	\$470,27	\$5.643,24

En el cuadro podemos observar que, por efecto del consumo eléctrico, anualmente en el área administrativa de la Facultad de Educación Técnica de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, se desembolsa una cantidad aproximada a los \$5643,24.

Con el sistema fotovoltaico seremos capaces de ahorrar este gasto, siempre y cuando se haya cubierto la deuda de la inversión inicial que necesita el sistema fotovoltaico para poderlo implementar. Para calcular el tiempo que necesitaremos para hacer que nuestra deuda desaparezca por efecto del ahorro energético, necesitamos relacionar estos dos valores.

$$Tiempo = \frac{\$88.291,60}{\$5643,24} = 15,64 \text{ años}$$

Según esta relación podemos decir que después de 15,64 años el valor de la inversión inicial habrá desaparecido y a partir de ahí se considerará como ganancia toda la electricidad que será producida y consumida por parte del usuario, debido a que no se desembolsará ningún rubro por el consumo de la misma.

## **CONCLUSIONES**

La energía solar fotovoltaica es una tecnología que poco a poco se ha ido implementando en los diversos mercados mundiales debido a su capacidad de generación de energía limpia, la cual no produce efectos contaminantes para el medio ambiente, ni ruido durante el proceso.

Los sistemas fotovoltaicos ocupan espacios principalmente por los paneles solares, pero estos pueden ser fácilmente ubicados sobre tejados o ventanas, y así aprovechar estos espacios que normalmente no son utilizados para ningún fin.

El desarrollo de nuevas tecnologías para aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos es importante, ya que de esto depende el ahorro por consumo de energía eléctrica.

La inversión inicial que se necesita para implementar un sistema fotovoltaico es muy elevada, por lo que es recomendable cuando se tienen cargas muy elevadas, alimentar con paneles fotovoltaicos solo una parte de ellas, o su vez, implementar el sistema si se cuentan con los recursos suficientes, siempre y cuando un estudio de viabilidad lo permita.

El tiempo necesario para recuperar la inversión del proyecto fotovoltaico es de alrededor de 15.64 años y después de ese tiempo se puede considerar que la energía eléctrica que se consume será gratuita.

Los sistemas fotovoltaicos no necesitan un mantenimiento muy laborioso, por lo que los gastos de este tipo, serán muy reducidos.

El dimensionamiento de los equipos y la cantidad de los mismos, dependerá del consumo máximo existente diariamente.

La mayoría de equipos que conforman un sistema fotovoltaico, siempre y cuando se los utilice de forma correcta, ofrecen garantías que fácilmente se

encuentran entre los 20 y 25 años. Por esta razón es necesario tomar precauciones a la hora de realizar las instalaciones de los equipos, y de un correcto análisis cuando se necesiten escoger las protecciones.

## RECOMENDACIONES

Es importante que para la implementación de un sistema fotovoltaico, exista un estudio previo donde se analicen los elementos que conformarán el diseño, debido a que estos variarán debido al tipo de carga que exista, a la demanda horaria que tenga la misma, a la autonomía que necesite el sistema, etc.

Los equipos a instalar, como los paneles, inversores, etc., deben contar que la mejor relación rendimiento-costos con el fin de que el sistema fotovoltaico ofrezca la mayor eficiencia y garantice confianza al usuario.

Realizar una correcta selección y dimensionamiento en el calibre de los conductores, para reducir al máximo las pérdidas existentes por el calentamiento de los mismos. De igual manera, las protecciones deben ser seleccionadas correctamente.

El Estado Ecuatoriano debería impulsar proyectos que incentiven la utilización de tecnologías no contaminantes para la producción energética, ya sea mediante la realización de créditos para el financiamiento de los proyectos, facilitando estudios de implementación, u otorgando facilidades para que la adquisición de los equipos pueda ser desde otros países.

Aunque los sistemas fotovoltaicos no necesitan de extensos programas de mantenimiento, es importante la revisión del estado de los elementos del sistema fotovoltaico al menos una vez al año.

Con el objetivo de reducir la cantidad de equipos que formarán parte del sistema es necesario racionalizar el consumo de energía, o a su vez, distribuir el consumo de energía eléctrica a lo largo del día, ya que esto disminuirá la cantidad de energía necesaria durante las horas pico.

## **ANEXOS**

# Anexo 1: Ficha técnica de panel solar SW330 XL Mono Black

## Sunmodule<sup>®</sup>

### SW 330 - 345 XL MONO BLACK



**PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)\***

		SW 330	SW 340	SW 345
Maximum power	$P_{max}$	330 Wp	340 Wp	345 Wp
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	47.2 V	47.9 V	47.8 V
Maximum power point voltage	$V_{mp}$	47.1 V	48.0 V	48.2 V
Short-circuit current	$I_{sc}$	9.05 A	9.09 A	9.15 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	8.87 A	8.97 A	9.02 A
Module efficiency	$\eta_m$	19.54 %	19.88 %	19.88 %

Measuring tolerance  $P_{max}$  is according to IEC 61853-2: 2016 (10% Power coefficient, 0.0000000000) \*STC: 1000W/m<sup>2</sup>, 25°C, AM 1.5

**PERFORMANCE AT 800 W/m<sup>2</sup>, NOCT, AM 1.5**

		SW 330	SW 340	SW 345
Maximum power	$P_{max}$	312.2 Wp	320.2 Wp	324.8 Wp
Open-circuit voltage	$V_{oc}$	47.2 V	48.0 V	48.0 V
Maximum power point voltage	$V_{mp}$	46.3 V	46.9 V	47.2 V
Short-circuit current	$I_{sc}$	7.94 A	8.05 A	8.10 A
Maximum power point current	$I_{mp}$	7.87 A	7.92 A	7.97 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C, at 200 W/m<sup>2</sup> with 147.4% of the STC efficiency (3000 Wp/W) is achieved.

**PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION**

Power rating	0.5Wp / 0.5Wp
Maximum system voltage DC A / NIEC	1500V
Maximum reverse current	25 A
Number of bypass diodes	4
Operating temperature	-40 to +85 °C
Maximum design load (Two rail system)*	110 pF downward, 60 pF upward
Maximum design load (Ridge mounting)*	170 pF downward, 60 pF upward

\*Please refer to the Sunmodule installation instructions for the details associated with these load cases.

**COMPONENT MATERIALS**

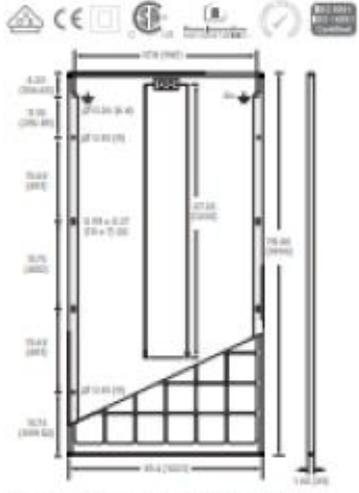
Cells per module	60
Cell type	Monocrystalline PERC
Cell dimensions	156.75 x 156.75 (mm)
Front	Tempered safety glass with 3.00 mm thickness
Back	Multi-layer polymer backsheet, black
Frame	Black anodized aluminum
J-Box	IP65
Connector	MC4 with 3.00mm width length and 17.5mm connection
Module for performance	IEC 61215 Type 1

**DIMENSIONS / WEIGHT**

Length	1720 mm (68.11 in)
Width	940 mm (37.01 in)
Height	180 mm (7.09 in)
Weight	21.9 kg (48.3 lb)

**THERMAL CHARACTERISTICS**

NOCT	46 °C
$\beta_{V_{oc}}$	-0.262 %/°C
$\beta_{I_{sc}}$	+0.058 %/°C
$\beta_{P_{max}}$	-0.45 %/°C



All units provided are imperial. Units provided in parenthesis.

**CERTIFICATES AND WARRANTIES**

Certificates	IEC 61700, IEC 61215, IEC 61709
	IEC 61706, IEC 61000-2-40, IEC 61708
Warranty	Product Warranty: 10 years
	Linear Performance Guarantee: 25 years

SW-0375-02/1-2023/001

SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50368.

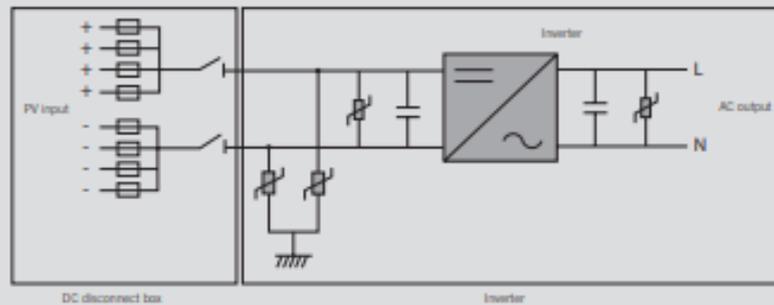
## Anexo 2: Ficha técnica de inversor INGETEAM 3.6 TL U.

	3.6TL U	5TL U	6TL U	7.5TL U	8.6TL U	10TL U
<b>Input (DC)</b>						
Recommended PV array power range <sup>(1)</sup>	3.78 - 4.68 kWp	5.25 - 6.5 kWp	6.3 - 7.4 kWp	7.9 - 9.3 kWp	9 - 11 kWp	10.5 - 13.7 kWp
Voltage range MPP	200 - 450 V	200 - 450 V	200 - 450 V	225 - 450 V	250 - 450 V	300 - 450 V
Maximum voltage DC <sup>(2)</sup>	550 V	550 V	550 V	550 V	550 V	550 V
Maximum current DC	22 A	30 A	32 A	32 A	32 A	32 A
DC inputs	4	4	4	4	4	4
MPPT	1	1	1	1	1	1
<b>Output (AC)</b>						
Rated power AC	3.6 kW	5 kW	6 kW	7.5 kW	8.6 kW	10 kW
Maximum current AC	17.5 A	25 A	26.2 A	36.1 A	36.1 A	36.1 A
Rated voltage AC	208 / 240 / 277 V	208 / 240 / 277 V	240 / 277 V	208 / 240 / 277 V	240 / 277 V	277 V
Frequency AC	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Phi Cosine <sup>(3)</sup>	1	1	1	1	1	1
Phi Cosine adjustable	Yes. Smax=3.6 kVA	Yes. Smax=5 kVA	Yes. Smax=6 kVA	Yes. Smax=7.5 kVA	Yes. Smax=8.6 kVA	Yes. Smax=10 kVA
THD <sup>(4)</sup>	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
<b>Efficiency</b>						
Maximum efficiency	98%	97.2%	97.7%	97.8%	97.8%	97.8%
CEC - Weighted efficiency	97.4%	96.8%	97.5%	97.1%	97%	97.5%
<b>General Information</b>						
Stand-by consumption	<10 W	<10 W	<10 W	<10 W	<10 W	<10 W
Consumption at night	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W	<0.5 W
Ambient temperature	-4°F to +150°F	-4°F to +150°F	-4°F to +150°F	-4°F to +150°F	-4°F to +150°F	-4°F to +150°F
Relative humidity (non-condensing)	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%
Protection class	NEMA 3R	NEMA 3R	NEMA 3R	NEMA 3R	NEMA 3R	NEMA 3R

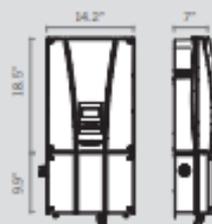
**Notes:** <sup>(1)</sup> Depending on the type of installation and geographical location. <sup>(2)</sup> Must not be exceeded under any circumstances. Consider the voltage increase of the "Voc" at low temperatures. <sup>(3)</sup> For P<sub>inv</sub>>25% of the rated power.

**Compliance with standards:** UL1741, CSA C22.2 n°1073-01, IEEE 1547, IEEE 1547.1, FCC Part 15B (class A).

### 5TL U



### Size and weight (inches and pounds)



**3.6TL U**  
Inverter 44.09 pounds  
**5TL U**  
Inverter 61.73 pounds  
**6TL U**  
Inverter 61.73 pounds

**7.5TL U**  
Inverter 66.14 pounds  
**8.6TL U**  
Inverter 66.14 pounds  
**10TL U**  
Inverter 66.14 pounds

DC disconnect box  
30.75 pounds

**Anexo 3: Tabla de conductores.**



**National Electrical Code  
Allowable Ampacities of Insulated Conductors Rated 0-2000 Volts**

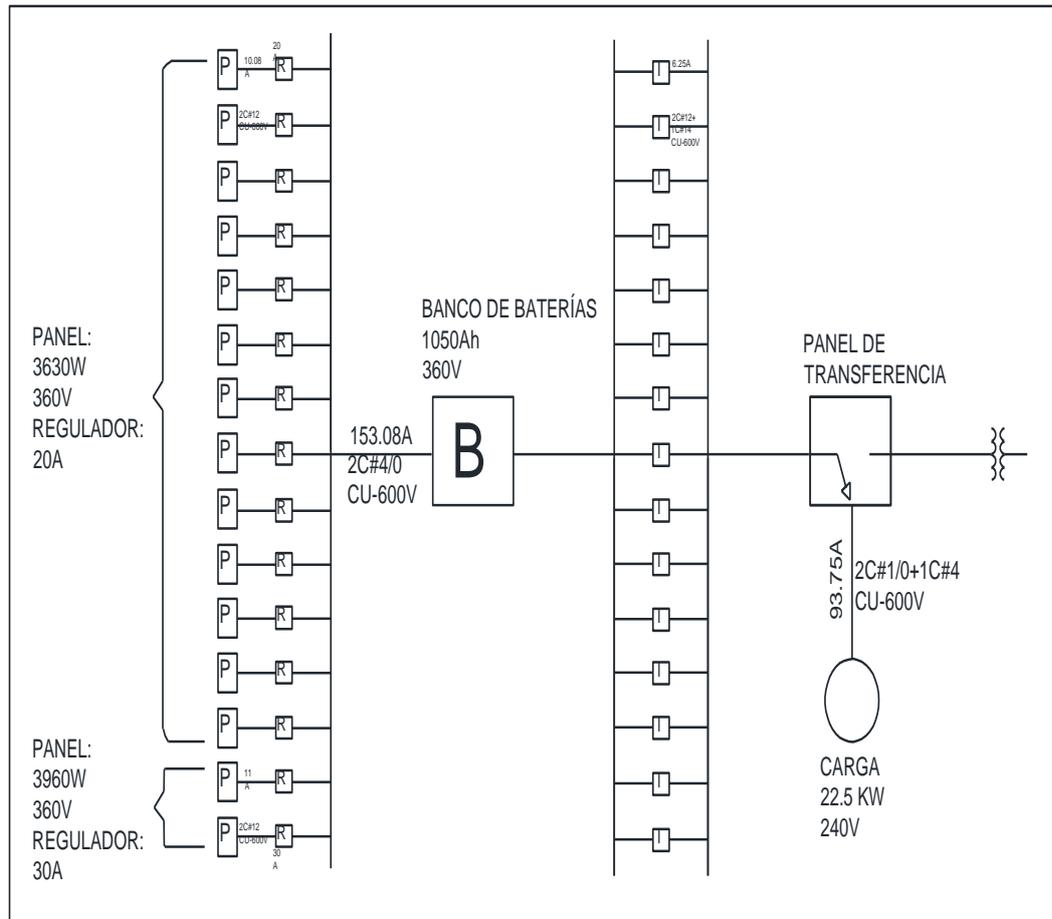
As Excerpted from the 2002 National Electrical Code

Ampacities of Not More Than Three Current-Carrying Conductors in Raceway, Cable or Earth. Based on Ambient Temperature of 30°C (86°F)

SIZE AWG OR kcmil	Copper Conductors					Aluminum Conductors					SIZE AWG OR kcmil
	Temperature Rating of Conductor					Temperature Rating of Conductor					
	60°C	75°C		90°C		60°C	75°C		90°C		
	TYPES	TYPES		TYPES		TYPES	TYPES		TYPES		
TW LF	RHW THW TWN	THW XHHW USE	RHH RHW-2 XHHW-2 XHH	THWN-2 THW-2 THH USE-2	TW LF	RHW THW TWN	THW XHHW USE	RHH RHW-2 XHHW-2 XHH	THWN-2 THW-2 THH USE-2		
14**	20	20		25	-	-		-	-	-	
12**	25	25		30	20	20		25		12**	
10**	30	35		40	25	30		35		10**	
8	40	50		55	30	40		45		8	
6	55	65		75	40	50		60		6	
4	70	85*		95*	55	65		75		4	
3	85	100*		110*	65	75		85		3	
2	95	115*		130*	75	90*		100*		2	
1	110	130*		150*	85	100*		115*		1	
1/0	125	150*		170*	100	120*		135*		1/0	
2/0	145	175*		195*	115	135*		150*		2/0	
3/0	165	200*		225*	130	155*		175*		3/0	
4/0	195	230*		260*	150	180*		205*		4/0	
250	215	255*		290*	170	205*		230*		250	
300	240	285		320	190	230*		255*		300	
350	260	310*		350*	210	250*		280*		350	
400	280	335*		380*	225	270		305		400	
500	320	380		430	260	310*		350*		500	
600	355	420		475	285	340*		385*		600	
700	385	460		520	310	375		420		700	
750	400	475		535	320	385		435		750	
800	410	490		555	330	395		450		800	
900	435	520		585	355	425		480		900	
1000	455	545		615	375	445		500		1000	
1250	495	590		665	405	485		545		1250	
1500	520	625		705	435	520		585		1500	
1750	545	650		735	455	545		615		1750	
2000	560	665		750	470	560		630		2000	

6301 EAST STASSNEY LANE, SUITE 100  
AUSTIN, TEXAS 78744, USA  
1-800-880-9473, FAX 512-443-6329, SALES@USAWIRE-CABLE.COM

**Anexo 4:** Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico.



## REFERENCIAS

Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (2016). Energía Solar. Recuperado de <http://www.ancefn.org.ar/biblioteca/libros/06.pdf#page=6>

Arévalo Morales, H. (2016). *Análisis técnico y económico para la implementación de energía solar para viviendas de la urbanización Cataluña* (Tesis para la obtención del título de Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT (2003). Sistemas Fotovoltaicos. Recuperado de: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45337/componente45335.pdf)

Energías Renovables (2016). Casas Bioclimáticas: Ahorro de Recursos Energéticos. Recuperado de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/general/casas-bioclimaticas-ahorro-energia/>

Energías Renovables (2016). Tipos de Paneles Fotovoltaicos. Recuperado de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

Erazo Mera, B. (2017). *Diseño eléctrico de una vivienda con paneles solares utilizando microinversores, conectados a la red mediante un medidor bidireccional* (Tesis para la obtención del título de Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Escuela de Organización Industrial (2011). Energía Solar Fotovoltaica. Recuperado de

[http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:75554/componente75553.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:75554/componente75553.pdf)

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI (2010). Norma Ecuatoriana de Construcción. Recuperado de [https://issuu.com/la\\_hora/docs/parte1/221](https://issuu.com/la_hora/docs/parte1/221)

Monar Herrera, I. (2015). *Diseño de una instalación fotovoltaica optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares* (Tesis para la obtención del título de Ingeniería en Eléctrico-Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Puig, P. & Jofra M. (2008). Energías Renovables para todos “solar fotovoltaica”. Madrid: Haya Comunicación.

Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, REN 21 (2017). Renewables 2017 Global Status Report. Recuperado de [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399\\_GSR\\_2017\\_Full\\_Report\\_0621\\_Opt.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf)

Siemens (1998). Solar Module SM55. Recuperado de <http://www.solarquest.com/microsolar/suppliers/siemens/sm55.pdf>

Solartronic (2004). Conversión de la Luz Solar en Energía Eléctrica- Manual Teórico y Práctico sobre los Sistemas Fotovoltaicos. Recuperado de <http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/7097/7098/7099/7103/82474.pdf>

Universidad de Costa Rica Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Eléctrica (2008). *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. Recuperado de <http://eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0831t.pdf>

Varas Aguilera, V. & Pineda Delgado, F. (2015) *Diseño de Generación Fotovoltaica Menor a 1mw Conectada a la S/E de Distribución Kennedy Norte En Guayaquil*. (Tesis para la obtención del título de Ingeniería en Electricidad Especialización Potencia). Escuela Superior Politécnica Del Litoral.



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **León Durán Marcelo Salvatore**, con C.C: # **0931147136** autor del trabajo de titulación: **Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil** previo a la obtención del título de **Ingeniería en Eléctrico-Mecánica** 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, 8 de marzo de 2018

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

Nombre: **León Durán Marcelo Salvatore**

C.C: **0931147136**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Estudio técnico y económico para la implementación de paneles solares en el área administrativa de Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.		
<b>AUTOR</b>	León Durán Marcelo Salvatore		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Hidalgo Aguilar Jaime Rafael		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	8 de marzo de 2018	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	112
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Energías renovables, electricidad, energía solar		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	Sistema solar fotovoltaico, energía eléctrica, energías renovables, radiación solar, inversión, paneles, potencia, corriente, voltaje.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b>	<p>La demanda de energía eléctrica ha provocado a lo largo de los años se busquen alternativas para la generación eléctrica, esto repercute directamente en el impacto ambiental que se ocasiona, debido a que la necesidad de esta energía ha sido contrarrestada con la explotación de recursos que emiten grandes cantidades de contaminación al ecosistema. La energía solar fotovoltaica apareció como una alternativa para disminuir los problemas ambientales y solventar algunas de las necesidades energéticas existentes. En el presente proyecto se analiza la posibilidad de implementar esta tecnología en el área administrativa de la Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, con el fin de reducir el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes consideradas como contaminantes, y a su vez, recuperar la inversión y obtener un beneficio económico a lo largo de los años. Para el estudio, se realizó un levantamiento de carga en área especificada, y se calcularon la cantidad y capacidades de equipos a usar en la instalación. Asimismo se realizó un análisis económico que consiste en una cotización para la implementación del sistema, una aproximación del consumo eléctrico en el área, el tiempo que se tardaría en recuperar la inversión y el tiempo que se gozaría de energía eléctrica gratuitamente.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR:</b>	<b>Teléfono:</b> +593986959226	<b>E-mail:</b> marceloleon4795@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Philco Asqui Luis Orlando		
	<b>Teléfono:</b> +593-980960875		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:Luis.philco@cu.ucsg.edu.ec">Luis.philco@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<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>			