



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO – MECÁNICO

TEMA:

**“Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles  
fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar”.**

AUTORA:

VÉLEZ URETA, VIASNEY MARGARITA

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de

**INGENIERO ELÉCTRICO - MECÁNICO**

TUTOR:

Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

22 septiembre del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO- MECÁNICO

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. **VIASNEY MARGARITA VÉLEZ URETA** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO - MECÁNICO**

TUTOR

---

Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 22 del mes de septiembre del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO – MECÁNICO

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, VÉLEZ URETA, VIASNEY MARGARITA**

**DECLARO QUE:**

El trabajo de titulación “**Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico - Mecánico**, 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 22 del mes de septiembre del año 2017

AUTORA

---

VÉLEZ URETA, VIASNEY MARGARITA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO – MECÁNICO

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, VÉLEZ URETA, VIASNEY MARGARITA**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 del mes de septiembre del año 2017

**AUTORA**

---

**VÉLEZ URETA, VIASNEY MARGARITA**

## REPORTE DE URKUND

The screenshot displays the Urkund web interface. The top navigation bar includes the Urkund logo and a 'Lista de fuentes' (List of sources) section. The main content area is divided into two columns. The left column shows document details: 'Documento: VIASNEY TESIS 4.docx (D30237266)', 'Presentado: 2017-08-24 22:21 (-05:00)', 'Presentado por: orlandophilco\_7@hotmail.com', 'Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com', and 'Mensaje: Fwd: TESIS VIASNEY Mostrar el mensaje completo'. Below this, it states '3% de estas 27 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.' The right column, titled 'Bloques', lists three sources with their respective match percentages: 75% for 'http://es.pickjoomla.com/pz69930fb-cz5d8025b-10hr-200ah-s...', 65% for 'http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0718-...', and 100% for 'http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\_arttext%26pid=S07...'. A fourth source is partially visible at the bottom: 'https://www.electrical4u.com/what-is-a-solar-pv-module/'. The bottom of the interface shows a toolbar with icons for '1 Advertencias', 'Reiniciar', 'Exportar', and 'Compartir'. The main text area contains technical content about solar panel installation, including a citation 'CITATION ALE10 \l 3082 (TELLO CONDOR, 2010)' and a list of points (e, f) and a sub-section '2.4.2.2. Conexión de celdas'.

Documento: VIASNEY TESIS 4.docx (D30237266)  
Presentado: 2017-08-24 22:21 (-05:00)  
Presentado por: orlandophilco\_7@hotmail.com  
Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com  
Mensaje: Fwd: TESIS VIASNEY [Mostrar el mensaje completo](#)  
3% de estas 27 páginas, se componen de texto presente en 3 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

- 75% <http://es.pickjoomla.com/pz69930fb-cz5d8025b-10hr-200ah-s...> es capaz de las descargas prolongadas, repetidas y profundas ...
- 65% [Tesis Hector Ortega final^^.pdf](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-...) capas opaca que reflejan la luz que han pasado entre los inters...
- 100% [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext%26pid=S07...](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext%26pid=S07...)
- <https://www.electrical4u.com/what-is-a-solar-pv-module/>

1 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

firma al conjunto para instalar los paneles al soporte, es típico que sea de aluminioCITATION ALE10 \l 3082 (TELLO CONDOR, 2010).

e. "Caja de terminales. - donde encontramos elementos de conexión como lo son los bornes" (TELLO, 2010, p.27).

f. "Diodo de protección. - protege daños por sombras parciales de energía en la superficie del panel" (TELLO, 2010, p.27).

2.4.2.2. Conexión de celdas El tamaño de los módulos es variado, pero el más usado en promedio está formado por 36 celdas estructuradas en serie, "con una superficie que oscila entre los 0,5 m<sup>2</sup> a los 1,3 m<sup>2</sup>, y una potencia de 50 Wp (Watt pico), de energía solar bajo condiciones de luz solar plena"CITATION ALE10 \l 3082 (TELLO CONDOR, 2010).

La cantidad de celdas en los módulos depende de la demanda, Con la conexión de las celdas se pueden encontrar los voltajes y corrientes deseados, según el criterio de conexión:

a. Conexión serie, En este tipo de conexión el lado p o terminal positiva, de un módulo se conecta al lado n o terminal negativo, esto da la particularidad de suma de voltajes y una misma corriente en todo el circuito fotovoltaico. En la figura 2.8 muestra este tipo de conexión.

Reporte Urkund Trabajo de Titulación “Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar” de la estudiante Viasney Margarita Vélez Ureta al 3% de coincidencia.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, y hacer realidad esta etapa de mi vida. A mi familia que siempre ha estado presente en mi vida en cada etapa de ella; apoyándome en toda circunstancia indudablemente para que pueda cumplir con cada una de mis metas.

Además la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y su Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo. A mi tutor del trabajo de titulación, MsC. Luis Orlando, Philco Asqui, por brindarme esos conocimientos que adquirido con su experiencia.

A las autoridades de mi facultad, empezando por nuestro estimado y querido decano Ing. Manuel Romero Paz, a nuestro director de carrera Ing. Miguel Armando Heras Sánchez, el cual siempre estuvo dispuesto a ayudarme, y brindarme su apoyo, a nuestro coordinador académico, Ing. Luis Vallejo, que nos enseñó mucha disciplina y valores.

Para ellos:

Muchas gracias y que Dios los bendiga.

**AUTORA**

**VÉLEZ URETA, VIASNEY MARGARITA**

## **DEDICATORIA**

Gracias a todas las personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora tratando de regresar un poquito de todo el cariño y amor que me han brindado. Con mucho cariño esta tesis la dedico a ustedes:

Teresa Ureta Macay  
Pedro Vélez Rodríguez  
Ángelo Narváez

**AUTORA**

**VÉLEZ URETA, VIASNEY MARGARITA**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

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

**ING. MIGUEL ARMANDO HERAS SÁNCHEZ, M. Sc.**  
DIRECTOR DE CARRERA

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

**ING. LUIS ORLANDO, PHILCO ASQUI, M. Sc.**  
COORDINADOR DE ÁREA

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

**ING. JUAN CARLOS LOPEZ CAÑARTE**  
OPONENTE



## Índice General

Índice de Figuras .....	XI
Índice de Tablas .....	XIII
Resumen.....	XIV
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>2</b>
Introducción.....	2
1.1. Antecedentes. ....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. El problema. ....	3
1.4. Objetivos .....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivo Especifico .....	3
1.5. Hipótesis .....	4
1.6. Metodología.....	4
1.7. Tipo de Investigación .....	4
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>5</b>
Captación fotovoltaica, ventajas y aplicaciones. ....	5
2.1. Energía fotovoltaica.....	5
2.2. Energía solar absorbida por la celda fotovoltaica.....	7
2.3. Composición y materiales de fabricación de celdas solares .....	7
2.4. Descripción de elementos del sistema fotovoltaico.....	14
2.4.1. El sistema fotovoltaico.....	15
2.4.2. Elementos del Sistema Fotovoltaico.....	16
2.4.3. Batería .....	23
2.4.4. Regulador de Carga.....	28
2.4.5. Inversor .....	28
2.4.6. Energía producida por un Sistema Fotovoltaico.....	29
2.4.7. Mantenimiento de un Sistema Fotovoltaico .....	29
2.5. Elementos, estructura y funcionamiento de un seguidor de luz solar .....	29
2.5.1. Introducción.....	29
2.5.2. Energía Solar Fotovoltaica con paneles estáticos .....	31

2.5.3. Energía Solar Fotovoltaica con Seguimiento Automático.....	33
2.5.4. Tipos de seguidores.....	34
2.5.6. Seguidores de un eje.....	34
2.5.7. Seguidor de Dos Ejes.....	35
2.6. Elementos del Seguidor Solar automatizado.....	37
2.6.1. Microcontroladores.....	37
2.6.2. Panel Solar.....	39
2.6.3. Sensores.....	39
2.6.4. Motor eléctrico.....	39
2.6.5. Sistema de transmisión de Movimiento.....	43
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>46</b>
<b>Evaluación de un sistema fotovoltaico convencional vs el de seguimiento solar.....</b>	<b>46</b>
<b>3.1 Características técnicas del panel, condiciones de operación y funcionamiento del sistema fijo.....</b>	<b>46</b>
3.1.1. Pruebas del Panel Fotovoltaico fijo.....	46
3.1.2. Prueba del Sistema acoplado sin seguimiento.....	49
<b>3.2. Condiciones de operación y funcionamiento con seguimiento.....</b>	<b>51</b>
3.2.1. Datos obtenidos del Seguimiento Automático.....	51
<b>3.3. Comparación de los sistemas fijo vs el de seguimiento.....</b>	<b>54</b>
3.3.1. Costos de sistemas solares.....	58
3.3.1.1. Comparación sistema fijo vs sistema seguidor.....	59
3.3.1.2. Mantenimiento Anual.....	59
3.3.1.3. Comparación anual de mantenimiento.....	60
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>61</b>
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>61</b>
4.1. Conclusiones.....	61
4.2. Recomendaciones.....	62
<b>Bibliografía.....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>70</b>

<b>ANEXO C</b> .....	<b>75</b>
<b>ANEXO D</b> .....	<b>77</b>

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

FIGURA 2. 1	Funcionamiento de una celda fotovoltaica	6
FIGURA 2. 2	Espectro de la energía solar	7
FIGURA 2. 3	Configuración básica de una celda solar	8
FIGURA 2. 4	Etapas en la fabricación de los paneles	9
FIGURA 2. 5	Sistema solar fotovoltaico conectado a red de baja tensión.	15
FIGURA 2. 6	Celda Solar y Modulo Solar	16
FIGURA 2. 7	Elementos de un panel fotovoltaico.	17
FIGURA 2. 8	Conexión de celdas fotovoltaicas	18
FIGURA 2. 9	Conexión de celdas fotovoltaicas en paralelo	19
FIGURA 2. 10	Conexión Mixta	19
FIGURA 2. 11	Curva I-V características	21
FIGURA 2. 12	Curvas características Corriente Voltaje.	22
FIGURA 2. 13	Curva de la radiación solar en diferentes horas del día.	22
FIGURA 2. 14	Corriente en función al voltaje en distintas temperaturas.	23
FIGURA 2. 15	Batería de plomo	23
FIGURA 2. 16	Batería plomo – acido	26
FIGURA 2. 17	Composición de una batería Ni- Cadmio con placas de bolsillo	27
FIGURA 2. 18	Encapsulados típicos y corrientes entregadas	28
FIGURA 2. 19	Inversor solar	29
FIGURA 2. 20	Panel fijo	31
FIGURA 2. 21	Soporte de módulos fotovoltaicos con regulación de ángulo	33

FIGURA 2. 22	Curva de captación fija vs un módulo de seguimiento	34
FIGURA 2. 23	Esquema del seguidor de un eje	35
FIGURA 2. 24	Seguidor solar de un eje.	35
FIGURA 2. 25	Soporte con seguidor en dos ejes	36
FIGURA 2. 26	Bosquejo del mecanismo de un seguidor de 2 ejes	36
FIGURA 2. 27	Arquitectura de un microprocesador sistema abierto.	38
FIGURA 2. 28	Arquitectura interna de un microcontrolador	38
FIGURA 2. 29	Partes de un motor eléctrico	40
FIGURA 2. 30	Partes básicas de un servomotor.	41
FIGURA 2. 31	Principio de funcionamiento de servomotor	42
FIGURA 2. 32	Engranaje	43
FIGURA 2. 33	Relación de engranajes	44
FIGURA 2. 34	Relación entre dos engranajes.	44

### **Capítulo 3**

FIGURA 3. 1	Panel Solar Inclinado .....	47
FIGURA 3. 2	Voltaje generado por el panel por la insolación solar .....	48
FIGURA 3. 3	Corriente generada por el panel con fuente luminosa solar.....	49
FIGURA 3. 4	Curva del voltaje generado en la carga de la batería. ....	50
FIGURA 3. 5	Corriente de carga generado en el panel al cargar la batería .....	51
FIGURA 3. 6	Configuración del panel con seguidor instalado.....	51
FIGURA 3. 7	Curvas de Voltaje en el panel. ....	53
FIGURA 3. 8	Curvas del voltaje de carga de las baterías del seguidor solar.....	53
FIGURA 3. 9	Curva característica de la corriente en el seguidor solar. ....	54
FIGURA 3. 10	Comparación de sistemas en un día fijo .....	55

FIGURA 3. 11	Comparación de sistemas de un día Nublado .....	56
FIGURA 3. 12	Comparación de sistemas en un día variado .....	58

### **Índice de Tablas**

#### **Capítulo 2**

Tabla 2. 1	Impacto de la temperatura en las baterías .....	25
Tabla 2. 2	Porcentajes de descargas con relación a ciclos de vida.....	27
Tabla 2. 3	Descripción de la Figura 2.26 .....	36

#### **Capítulo 3**

Tabla 3. 1.	Características técnicas del panel fotovoltaico utilizado .....	46
Tabla 3. 2.	Voltajes y corrientes generados por la incidencia solar.....	47
Tabla 3. 3.	Datos tomados con cielo despejado FECHA 06-02-2009 .....	49
Tabla 3. 4.	Datos de voltaje y corriente panel- batería.....	52
Tabla 3. 5	Comparación de sistemas en un día despejado. ....	55
Tabla 3. 6	Comparación de sistemas en un día nublado .....	56
Tabla 3. 7	Comparación de sistemas en un día variado .....	57
Tabla 3. 8	Gastos iniciales de un sistema fijo .....	58
Tabla 3. 9	Gastos iniciales de un sistema seguidor. ....	59
Tabla 3. 10	Comparación de sistemas .....	59
Tabla 3. 11	Mantenimiento del sistema fijo.....	60
Tabla 3. 12	Mantenimiento sistema seguidor.....	60
Tabla 3. 13	Comparación de mantenimiento .....	60

## Resumen

El presente trabajo de titulación es un análisis tecnológico de energía limpia y amigable, en los impactos ambientales y culturales. Este proceso de la tecnología ha llevado a la búsqueda de energías limpias y renovables, fáciles de obtener, las cuales no alteren el ecosistema. La búsqueda de estas energías ha sido un factor determinante en el estudio de mejorar la calidad de estas energías y de esta forma explotar la matriz energética mundial y en particular la ecuatoriana, en el que se pretende realizar un comparativo de los sistemas fotovoltaicos fijos y los sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar, para determinar el sistema que mejor aprovecha la captación de la energía solar. La recopilación documentada de captación de energía por los paneles fotovoltaicos, y la comparación de estos sistemas, tanto fijos y seguidor solar, da en si los antecedentes y el problema del estudio que es *“Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar”*, y con esto un aporte al estudio de la diversidad en la matriz energética productiva del país, basándonos en energía amigables mediante paneles solares.

En este estudio se analiza la radiación solar como energía que proviene del sol, componentes de los sistemas, el tipo de radiación que hay en nuestro país debido a la zona geográfica se encuentra ubicado, qué es un sistema fotovoltaico, sus elementos y los componentes de los sistemas fotovoltaicos tales como baterías, reguladores, inversores etc. El movimiento solar y los sistemas fijos y los seguidores solares.

**Palabras claves:** Radiación solar; panel fotovoltaico; energía; seguidor solar; batería; captación.

## CAPÍTULO 1

### **Introducción.**

En este periodo de tiempo el cual se vive, se observan muchos cambios tecnológicos, y el progreso del mismo, estos han conllevado a tener impactos ambientales y culturales. Este progreso de la tecnología ha llevado a la búsqueda de energías limpias y renovables, fáciles de obtener, las cuales no alteren el ecosistema. La búsqueda de estas energías ha sido un factor determinante en el estudio de mejorar la calidad de estas energías y que sean amigables con el medio ambiente, limpias y sean bien aprovechadas.

El presente trabajo de titulación busca realizar un análisis de los sistemas fotovoltaicos fijos vs los sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar, los cuales ayuden a determinar cuál es el sistema que mejor aprovecha el seguimiento solar y explota mejor la energía.

### **1.1. Antecedentes.**

Como antecedentes se puede ver: que la búsqueda de energía amigable y pura, es decir la cual no tenga un impacto ambiental es el objetivo de este estudio de *“Análisis y Evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar”* con esto se pretende el análisis de una energía limpia y dar un hincapié en mejorar y cuantificar esta forma de energía.

### **1.2. Justificación**

La radiación que emite el sol tarda algo más de 8 minutos en alcanzar nuestro planeta y recibe 160.000 Tera Watts (TW) de energía solar, mientras que la energía global demanda un promedio de unos 16TW. El privilegio de nuestro país es que

está en la zona donde los rayos caen verticalmente, es decir directamente, ya que está ubicado en zona ecuatorial y mientras más alejado de la zona ecuatorial se pierde la potencia que suministra el sol, siendo en promedio  $1,4 \text{ kW/m}^2$ , que recibe nuestro país, esto hace idóneo el uso de estos sistemas fotovoltaicos. Por lo tanto, es esencial medir y evaluar la energía fotovoltaica, para mediante análisis determinar cuál va a ser el mejor prospecto de panel solar estudió la energía receptada la cual tendrá su evaluación.

### **1.3. El problema.**

Existe la necesidad de determinar rendimientos de energía fotovoltaica de un sistema convencional vs un sistema con seguimiento solar, para ello es indispensable analizar el comportamiento de la captación de energía de los paneles fotovoltaicos que incluyan estos sistemas.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Analizar la captación de energías solares recibidas en paneles fotovoltaicos convencionales y de seguimiento solar; para mediante estudios determinar cuál va a tener mayor rendimiento energético.

#### **1.4.2. Objetivo Especifico**

- ✓ Determinar las características eléctricas de funcionamiento en un panel fotovoltaico.
- ✓ Analizar las características de los sistemas de captación de sistemas fijos vs sistemas con seguimiento solar.



- ✓ Comparar el rendimiento de un sistema fotovoltaico convencional con uno de seguimiento y de esta forma ver qué tipo de sistemas de captación es la más eficiente.

### **1.5. Hipótesis**

El uso de sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar resulta ser más eficiente que un con sistema convencional.

### **1.6. Metodología**

La metodología aplicada en el presente trabajo de titulación es del tipo teórica analítico investigativo aplicada, donde recopile datos de captación de energía solar obtenida de los paneles fotovoltaicos.

### **1.7. Tipo de Investigación**

El desarrollo del presente trabajo de titulación se aplicará una investigación documentada recopilada de los paneles fotovoltaicos comerciales, en donde la teoría de captación de energía solar mediante paneles fotovoltaicos, se recopiló datos de estos paneles y se expone teóricamente cual es el mejor método de obtención de energía solar, el cual a futuro la facultad podría ampliar más el estudio de este tema de obtención de energía solar.

## **CAPÍTULO 2**

### **Captación fotovoltaica, ventajas y aplicaciones.**

El aprovechamiento del recurso solar, está en el uso fotovoltaico y su exposición al sol y da como resultado producción de electricidad. Los rayos del sol se componen de partículas llamada fotones que sirven como el proceso de encendido de la generación de electricidad. Así, cuando la radiación solar afecta a una zona del material fotovoltaico, los fotones cruzarán la superficie y ya sea reflejado o absorbido. Si un fotón es absorbido, su energía correspondiente será transferida sobre un electrón en un átomo situado en el material fotovoltaico. Después de recibir esta energía, el electrón es capaz de dejar su posición habitual en la órbita de su átomo huésped. Así aumenta la corriente de un circuito eléctrico, en lo que se llama el efecto "fotovoltaico"

#### **2.1. Energía fotovoltaica**

Un dispositivo fotovoltaico genera electricidad directamente de la luz del sol o energía solar, en esta viajan los fotones los cuales al ser captados por el panel; el cual está compuesto por materiales semiconductores, una vez los fotones en los semiconductores liberan energía por medio de los electrones, estos son inducidos a viajar a través del circuito eléctrico, los cuales después se darán diversas aplicaciones para solución de los problemas energéticos, de esto se genera dos efectos que son: El Fotoeléctrico externo y el Fotovoltaico.

##### **2.1.1. Efecto fotovoltaico**

El término fotovoltaico se estructura de: “Foto = Luz, Voltaica = Electricidad. Este efecto consiste en el aprovechamiento y transformación de las emanaciones

electromagnéticas de energía luminosa que se recibe del sol, en Energía Eléctica”  
(TELLO CONDOR, 2010)

### 2.1.2. Celdas solares.

De esto nace una pregunta que es ¿Cómo funciona la tecnología fotovoltaica? En la Figura 2. 1, muestra el funcionamiento básico de los captadores, donde los fotones golpean y se ionizan en el material semiconductor haciendo que los electrones libres de los átomos se liberen.

Debido a la estructura del semiconductor, los electrones son forzados en una dirección la creación de un flujo de corriente eléctrica.

Las células solares no son 100% de eficiencia en el Diagrama de una célula solar de silicio cristalino típico. Las células solares no son 100% eficaces en parte debido a que parte de la luz de espectro se refleja, algunos es demasiado débil para generar electricidad (infrarrojo) y algunos (ultravioleta) crea calor la energía en lugar de electricidad. (SAIA, 2005) La Figura 2.1 se muestra un panel fotovoltaico sus características.

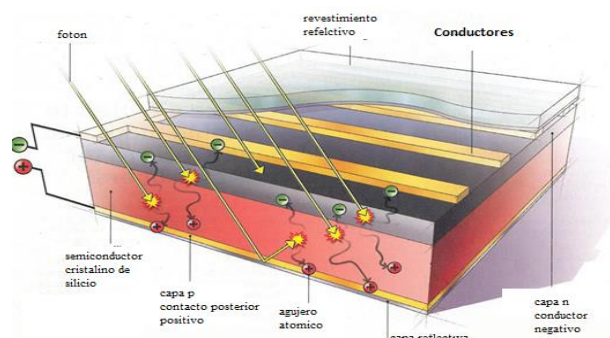


FIGURA 2. 1 Funcionamiento de una celda fotovoltaica

FUENTE: (SAIA, 2005)

## 2.2. Energía solar absorbida por la celda fotovoltaica

Los fotones ingresan al captador con gran velocidad, producto de la energía, en donde una ínfima dosis de energía en unidades de electrón-volt sacude a los electrones libres, siendo el caso que para el silicio cristalino se requiere 1.1 electro - volt. Conocidas como banda de intervalo de energía de un material. Como se observa en la Figura 2.2, la luz es separada diferentes longitudes de onda, estas tienen frecuencia y en consecuencia un patrón de radiación para cada una de estas.

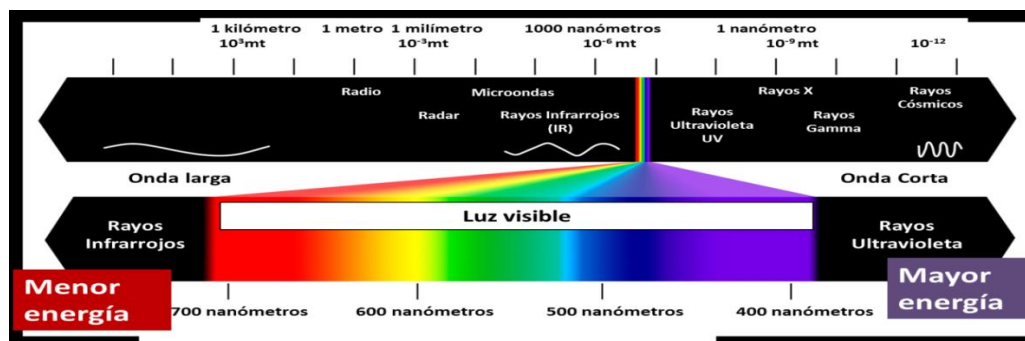


FIGURA 2. 2 Espectro de la energía solar

FUNTE: (FERNANDEZ, 2015)

## 2.3. Composición y materiales de fabricación de celdas solares

Las células solares están compuestas por materiales semiconductores, generalmente de silicio que convierte la luz solar en electricidad.

El silicio puro se deriva del dióxido de silicio como grava de cuarcita o cuarzo triturado. Al silicio se lo dopa con fosforo y boro para que exista un exceso de electrones y deficiencia de los mismos para que el semiconductor sea capaz de conducir la electricidad.

Los discos de silicio son brillantes y usan un revestimiento antirreflector de dióxido de titanio.

El modulo solar consiste en agrupar el semiconductor de silicio y rodearlo de material protector metálico. En el protector se encuentra un encapsulado de caucho

de silicona transparente o plástico unido alrededor de las células, las cuales son luego embebidas en acetato de etileno y vinilo, una película de poliéster, compone el respaldo. Una cubierta de vidrio se encuentra en las matrices terrestres.

Las piezas electrónicas son estándar y consisten principalmente de cobre. El marco es de acero o de aluminio. El silicio se utiliza como el cemento para ponerlo todo junto.

En la Figura 2.3 muestra las capas de una celda solar de dos capas

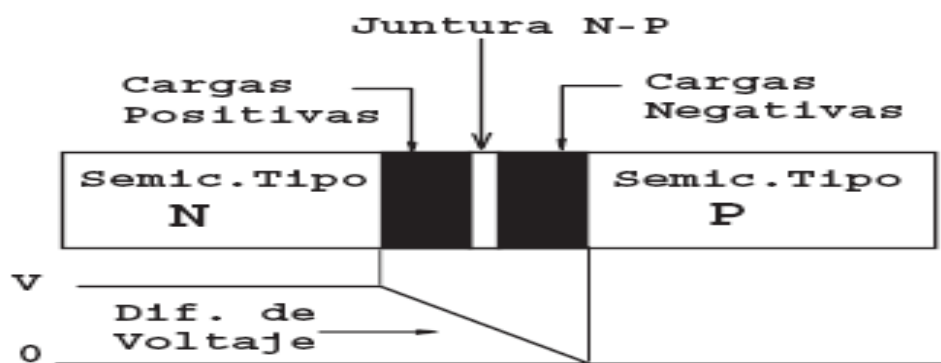


FIGURA 2.3 Configuración básica de una celda solar

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

### **Purificación del silicio.**

Para tener este proceso, se coloca el dióxido de silicio de la grava de cuarzo o cuarzo triturado en el horno de arco eléctrico, seguido se aplica un arco de carbono para liberar el oxígeno, el resultado obtenido es dióxido de carbono y silicio fundido. Este proceso simple produce silicio con un porcentaje de impureza, útil en muchas industrias, pero no en la industria de células solares. En la Figura 2. 4 se ve el proceso de un módulo solar.

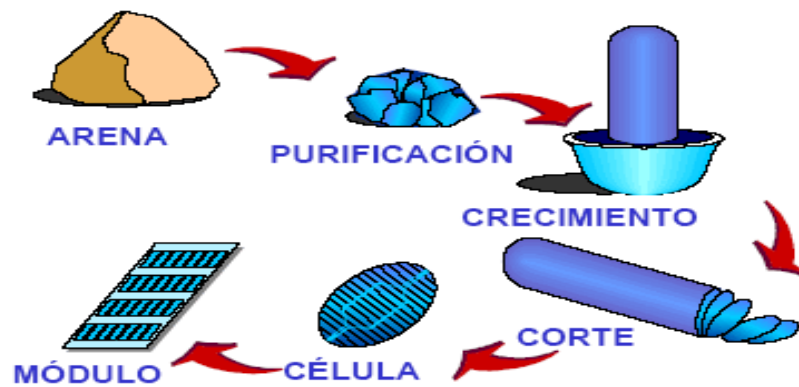


FIGURA 2. 4 Etapas en la fabricación de los paneles

FUENTES: (TELLO CONDOR, 2010)

El 99% de silicio puro se purifica al usar la técnica de zona flotante. Un vástago de silicio impuro es pasado a través de una zona calentada varias veces en la misma dirección. Este procedimiento "arrastra" las impurezas hacia un extremo con cada pasada. En un punto específico, el silicio se considera puro, y se elimina el extremo impuro.

### **Fabricación de silicio monocristalino.**

De las bolas de silicio, estructuras policristalinas que tienen la estructura atómica de un solo cristal. El proceso más utilizado para crear la bola se llama el *método de Czochralski*. En donde un cristal semilla de silicio se sumerge en silicio policristalino fundido. Conforme el cristal semilla es retirado y girado, se forma un lingote cilíndrico o "bola" de silicio. El lingote retirado es inusualmente puro, porque las impurezas tienden a permanecer en el líquido.

### **Hacer obleas de silicio**

En cuarto lugar, de la bola, las obleas de silicio se cortan una por una usando una sierra circular cuyo diámetro interior corta en la varilla, o muchas a la vez con una sierra multihilo. (Una sierra de diamante produce cortes que son tan anchos como los oblea-5 milímetros de espesor.) Sólo alrededor de la mitad del silicio se pierde de la bola a la oblea circular acabado-más si la oblea se corta para ser rectangular o

hexagonal. Las obleas rectangulares o hexagonales se utilizan a veces en células solares porque pueden ser cabidas perfectamente, utilizando así todo el espacio disponible en la superficie delantera de la célula solar.

Las obleas son pulidas para quitar las marcas de la sierra. (Recientemente se ha descubierto que las células más rugosas absorben la luz más eficazmente, por lo que algunos fabricantes han optado por no pulir la oblea).

### **Dopaje**

Tradicionalmente el dopado es la adición de impurezas a obleas de silicio con boro y fósforo, en donde se introduce una pequeña cantidad de boro durante el proceso de Czochralski. Las obleas se sellan entonces detrás a la parte posterior y se ponen en un horno para ser calentado a levemente debajo del punto de fusión del silicio (2, 570 grados de Fahrenheit o 1,410 grados de centígrado) en presencia del gas del fósforo. Los átomos de fósforo "cavan" en el silicio, que es más poroso porque está cerca de convertirse en un líquido. La temperatura y el tiempo dados al proceso se controlan cuidadosamente para asegurar una unión uniforme de la profundidad apropiada.

Una forma más reciente de dopaje de silicio con fósforo es utilizar un pequeño acelerador de partículas para disparar iones de fósforo en el lingote. Controlando la velocidad de los iones, es posible controlar su profundidad de penetración. Este nuevo proceso, sin embargo, generalmente no ha sido aceptado por los fabricantes comerciales

### **Colocación de contactos eléctricos**

Los contactos eléctricos conectan cada célula solar a otra y al receptor de corriente producida. Los contactos deben ser muy finos por lo menos en la parte delantera para

no bloquear la luz del sol a la célula. Los metales tales como paladio / plata, níquel o cobre se evaporan al vacío a través de una foto resistente, serigrafiado, o simplemente depositado sobre la porción expuesta de células que han sido parcialmente cubiertas con cera.

Los tres métodos implican un sistema en el que se protege la parte de la celda sobre la que no se desea un contacto, mientras que el resto de la celda queda expuesto al metal. Después de que los contactos están en su lugar, se colocan tiras finas ("dedos") entre las celdas. Las tiras más utilizadas son cobre.

### **El revestimiento antirreflectante**

Debido a que el silicio puro es brillante, este refleja el 35% de la luz solar. Para reducir la cantidad de luz solar perdida, se coloca un revestimiento antirreflectante en la oblea de silicio. Los revestimientos más comúnmente usados son dióxido de titanio y óxido de silicio, aunque otros se utilizan.

El material utilizado para el revestimiento se calienta hasta que sus moléculas se evaporan y se desplazan al silicio y se condensan, o el material se somete a pulverización. En este proceso, un alto voltaje saca moléculas del material y las deposita sobre el silicio en el electrodo opuesto. Los fabricantes de celdas solares comerciales utilizan nitruro de silicio.

### **Encapsular la celda**

Las células solares terminadas se encapsulan entonces; Es decir, sellado en caucho de silicona o acetato de etileno y vinilo. Las células solares encapsuladas se colocan entonces en un marco de aluminio que tiene una lámina posterior mylar o tedlar y una cubierta de vidrio o plástico.



La transformación de energía presente en paneles monocristalino es de un 25%. Donde la eficiencia se la ve en un rango entre 15% y 17%. Y la garantía de fabricación es de hasta 25 años, pero el costo de producción es alto.

De igual forma la capacidad esta entre el 10% y el 15%, lo que se encuentra en paneles policristalinos y su garantía es igual a la del monocristalino, pero su producción es económica.

El silicio amorfo, presenta virtudes en su ensamble, ya que no requiere celdas individuales, aprovechan las finas placas de silicio asentadas sobre el vidrio, plástico o metal. De esta forma consigue una sola placa en el panel, siendo fácil su construcción eficiencia baja, pero ayudando al bolsillo. Captan la luz visible, pero no la luz infrarroja. Su eficiencia va desde el 5% al 10% y por estas razones son económicos.

### **2.3.1. Características de las celdas solares de silicio actuales.**

Según la cita, (TELLO CONDOR, 2010) la célula fotovoltaica de silicio mono cristalino su forma normal es: “cuadrada, con aproximadamente 10 cm. de lado, con un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm, con una superficie de más o menos 100 cm<sup>2</sup>, la misma que producirá cerca de 1.5 Watts de energía a 0.5 voltios de Corriente Continua y 3 Amperios bajo la luz del sol en pleno verano”.

La potencia entregada por la célula es relativa a la luz solar, la relación de las celdas solares encasilla la densidad de corriente, por centímetro de la célula.

### **2.3.2. Ventajas**

En todo sistema siempre existirá las ventajas, en este no es la excepción, y entre las ventajas se encuentran las siguientes:

- ✓ Fácil de manejar
- ✓ Ideal para zonas rurales.

- ✓ Amigable con el medio ambiente.
- ✓ Puede durar más de 20 años.
- ✓ Soporta las duras condiciones climáticas.

### **2.3.3. Aplicaciones de la energía fotovoltaica**

El uso de la energía solar para la generación de la electricidad a tenido muchos avances desde que fue descubierta, este tipo de tecnología ha demostrado ser confiable, rentable, limpia y renovable, además con el paso del tiempo han superado las desventajas de los sistemas fotovoltaicos.

#### **a. Electrificación rural y de viviendas aisladas. -**

En el hogar ha sido de gran ayuda, esto ayuda a aumentar el suministro eléctrico, a futuro no solo será rentable, ayudara al planeta a bajar el calentamiento global por la producción de energía fósil, además ayuda a las viviendas que se encuentran en lugares aislados. Incluso la casa blanca tiene instalado su propio sistema fotovoltaico, lo cual es un ejemplo a seguir del resto de gobiernos y el respeto que se debe tener al medio ambiente.

#### **b. Comunicaciones. -**

En estaciones de telecomunicaciones ubicadas en zonas de difícil acceso, alimentan los sistemas de repetidoras, RRU, sistemas de radio enlace.

#### **c. Ayudas a la navegación. -**

La utilidad es referente a sistemas como puntos eléctricos, señalizaciones etc., los cuales están dentro de los sistemas usados para navegar.

#### **d. Transporte Terrestre. -**

El alumbrado eléctrico a lo largo de las carreteras, ya sea para el uso de señalización, comunicación en puestos de socorro, en si en lugares en donde el sistema eléctrico de la red no llega.

### **e. En las ciudades**

A partir de 2010, hay cerca de 30 "mega ciudades" en el mundo-estas ciudades no son exactamente las más ricas o las más avanzadas del mundo, pero se jactan de más de 10 millones de residentes. La cantidad de viviendas y negocios en estas ciudades es abrumadora, al igual que las demandas de electricidad de los residentes y trabajadores de la ciudad. Hay muchos beneficios de usar electricidad generada por energía solar en la ciudad: ambiental, social y económica.

La energía solar no necesita combustible para generar electricidad, lo que significa que no hay ningún rastro de residuos o contaminación emitida durante el proceso de generación. Esto también significa que la sostenibilidad de la ciudad se puede mejorar significativamente mediante el uso de la tecnología fotovoltaica.

Los paneles solares también se pueden montar en los techos, los lados de los edificios, o básicamente cualquier lugar donde los paneles pueden recoger la luz del sol, sin impacto en el uso de la tierra o la ecología de ciertas áreas de la ciudad.

La energía fotovoltaica también puede aumentar el empleo en la ciudad y aumentar las oportunidades de negocio en la zona. Invertir en sistemas fotovoltaicos podría parecer que es costoso al principio, pero sería una inversión que vale la pena para los individuos y las empresas en el largo plazo.

#### **2.4. Descripción de elementos del sistema fotovoltaico.**

La descripción de estos sistemas, que están compuestos y diseñados de componentes objetivos y específicos que alimentan desde pequeños artefactos a una gran red de distribución principal. La selección de los elementos debe ser en función de las necesidades, ubicación, el clima y las expectativas, en este apartado se ve los componentes del sistema fotovoltaico.

### 2.4.1. El sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico debe cumplir requisitos y operatividad, en estos se muestran los componentes DC-AC inversor de energía, banco de baterías, sistema de control de baterías, y a veces carga específica para determinado equipo o aparato eléctrico.

La demanda de una atención determinada al uso de los paneles para el beneficio del hombre. Un sistema fotovoltaico consta de los elementos mostrados en la Figura 2.5.

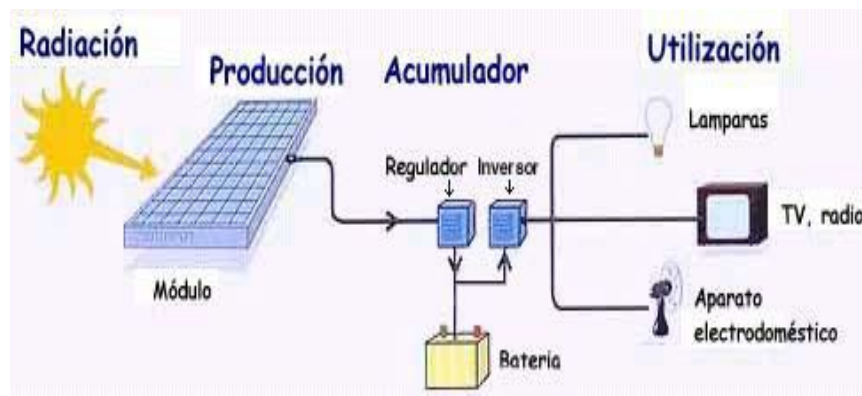


FIGURA 2. 5 Sistema solar fotovoltaico conectado a red de baja tensión.

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

#### 2.4.1.1. Funcionamiento del sistema fotovoltaico.

En estos sistemas se tienen los siguientes procesos: la luz del sol incide en el panel fotovoltaico en donde es transformada en energía eléctrica de corriente continua DC, la corriente entregada por el panel es conducida hasta un controlador de carga, donde recibe la energía del panel y la envía al banco de baterías para ser almacenadas, cuidando que este en los parámetros delimitados de energía, es decir no exceda la carga de las baterías; en varios bosquejos, la energía se despacha directo a las cargas. (TELLO CONDOR, 2010) Dice: “los sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

- ✓ Interconectado a la red (grid connected).
- ✓ aislados (stand alone)” p.25

### **2.4.1.2. Sistemas Interconectados**

Son los que están acoplados a la red nacional. Al ser nula la irradiación solar el panel no entrega energía idónea para abarcar la demanda eléctrica; el suministro proporciona la energía necesaria a la red y viceversa durante las horas de irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía eléctrica de la que se gasta, el exceso se transfiere a la red.

### **2.4.1.3. Sistemas Aislados o Autónomos**

El primer empleo de rentabilidad de la energía fotovoltaica fue independiente, se usaban en zonas remotas en las que no era factible o prudente la red de servicios públicos.

Las pequeñas aplicaciones están teniendo gran demanda en lo que concierne a energía solar, La mayoría de los cuales, son bienes electrónicos portátiles como calculadoras, relojes, Linternas sólo para nombrar unos pocos.

## **2.4.2. Elementos del Sistema Fotovoltaico**

### **2.4.2.1. Panel Fotovoltaico**

El conjunto ordenado y estructurado de las celdas solares, generan electricidad, a esto se le llama modulo módulo fotovoltaico como se observa en la Figura 2.6

CELDA SOLAR



MODULO SOLAR



FIGURA 2. 6 Celda Solar y Modulo Solar

FUENTE: (ENERGY, 2017)

## Fabricación de un panel fotovoltaico

El grupo de arreglo de células solares da paso al panel solar, empaquetadas por componentes que protegen del ambiente y la dureza para acoplarse a las estructuras que los soportan. La estructura de un panel fotovoltaico se aprecia en la Figura 2.7

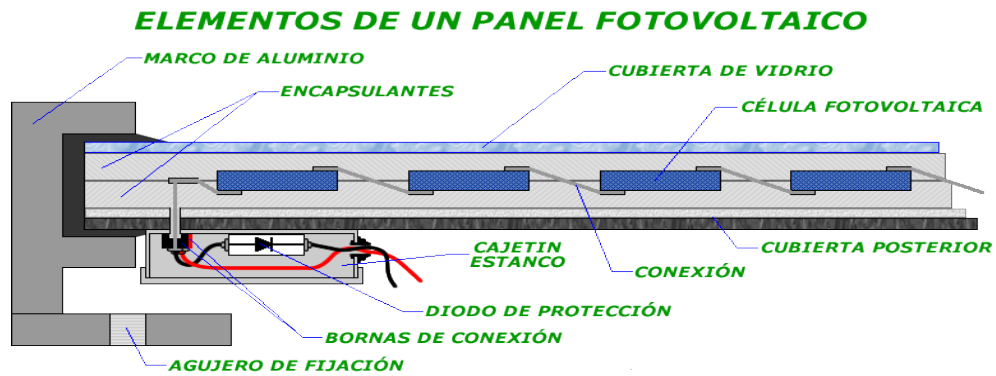


FIGURA 2. 7 Elementos de un panel fotovoltaico.

FUENTE: (E.LORENZO, 2010)

Las características de un panel se detallan a continuación:

- a. **Encapsulante.** - las células terminadas son encapsuladas, es decir, el sellado en caucho de silicona o acetato de etileno y vinilo. Las células solares encapsuladas se colocan entonces en un bastidor de aluminio que tiene una lámina posterior mylar o tedlar y una cubierta de vidrio o plástico.
- b. **Recubrimiento exterior de vidrio templado.** - Da un máximo de transferencia de los rayos solares, y tolera el tiempo climático al que está expuesto.
- c. **“Recubrimiento posterior.-** se compone de capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez” (TELLO CONDOR, 2010).
- d. **“Marco de metal.-** da la firmeza al conjunto para instalar los paneles al soporte, es típico que sea de aluminio (TELLO CONDOR, 2010).
- e. **“Caja de terminales.** - Donde se tiene elementos de conexión como lo son los bornes” (TELLO, 2010, p.27).

f. “Diodo de protección. - protege daños por sombras parciales de energía en la superficie del panel” (TELLO, 2010, p.27).

#### 2.4.2.2. Conexión de celdas

El tamaño de los módulos es variado, pero el más usado en promedio está formado por 36 celdas estructuradas en serie, “con una superficie que oscila entre los 0,5 m<sup>2</sup> a los 1,3 m<sup>2</sup>, y una potencia de 50 Wp (Watt pico), de energía solar bajo condiciones de luz solar plena” (TELLO CONDOR, 2010).

La cantidad de celdas en los módulos depende de la demanda, Con la conexión de las celdas se pueden encontrar los voltajes y corrientes deseados, según el criterio de conexión:

##### a. Conexión serie. -

En este tipo de conexión el lado p o terminal positiva, de un módulo se conecta al lado n o terminal negativo, esto da la particularidad de suma de voltajes y una misma corriente en todo el circuito fotovoltaico. En la Figura 2.8 muestra este tipo de conexión.

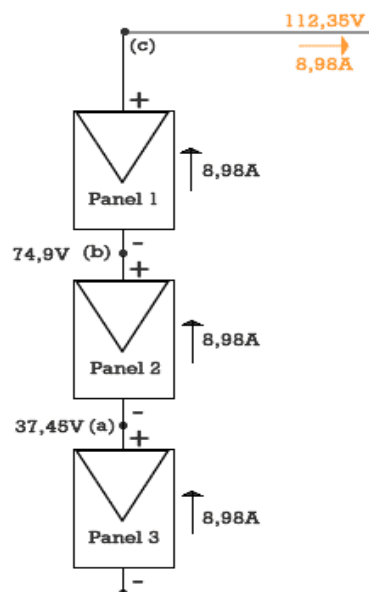


FIGURA 2. 8 Conexión de celdas fotovoltaicas

FUENTE: (SunFields, 2015)

### b. Conexión paralelo. -

En este tipo de conexión el lado p o terminal positiva de todas las celdas, van conectadas a un mismo punto en común o terminar, lo mismo sucede con el lado n, o terminal negativo, esto da como particularidad el mismo voltaje, pero se suman las corrientes, esto lo se muestra mejor en la Figura 2.9

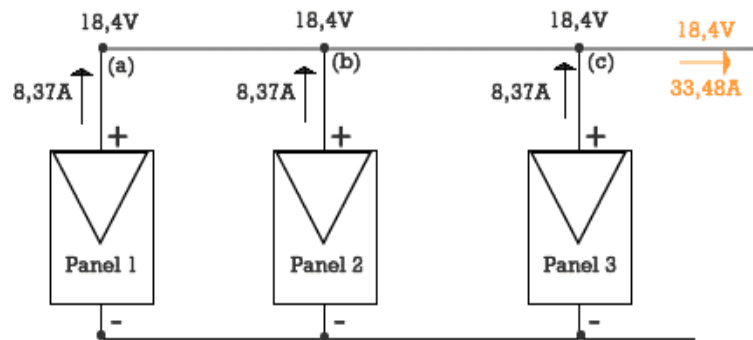


FIGURA 2. 9 Conexión de celdas fotovoltaicas en paralelo

FUENTE: (SunFields, 2015)

### c. Conexión mixta. -

Este tipo de conexión, es la combinación de la conexión en serie y en paralelo de las celdas. En la Figura 2. 10 se muestra las características de este tipo de conexión.

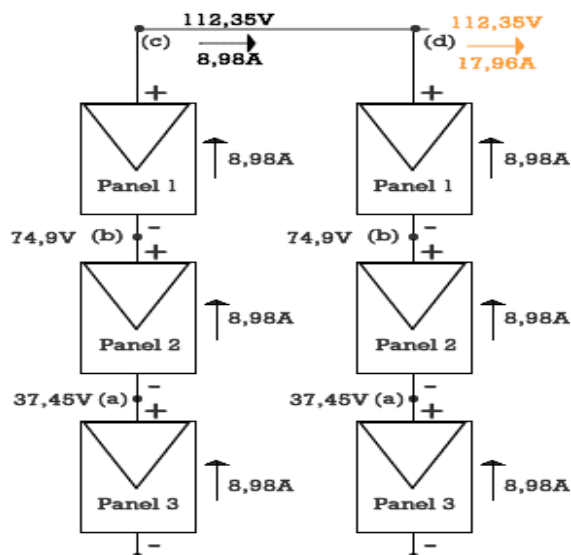


FIGURA 2. 10 Conexión Mixta

FUENTE: (SunFields, 2015)



De esto se concluye que la corriente total será igual al número de celdas en paralelo; el voltaje será la suma de voltaje de las celdas en serie, y la corriente al tener los módulos en paralelo será igual a la suma de las corrientes.

#### **2.4.2.3. Características Técnicas de los Módulos Fotovoltaicos**

Cada panel tiene características propias, pero para el caso de este trabajo de titulación las características del panel estudiado están en el ANEXO A.

##### **a. Corriente a corto circuito ( $I_{cc}$ ). -**

En los paneles al tener dos terminales de alimentación, y estas entran en contacto entre sí, y la impedancia del circuito tiende a disminuir al máximo, el flujo de corriente será el más grande que pueda proporcionar el panel, en si la corriente de cortocircuito reduce el efecto de la impedancia en el circuito mientras la corriente en el circuito sube y su unidad será el Amperio (A).

##### **b. Tensión nominal ( $V_m$ ). -**

Este es el valor que indica la tensión disponible en el panel, a su salida.

##### **c. Voltaje a circuito abierto ( $V_{oc}$ ). -**

Es el voltaje al no estar conectado ninguna carga a esto se lo llama el voltaje de circuito abierto.

##### **d. Potencia Pico ( $P_p$ ).-**

Según (TELLO CONDOR, 2010), la definición es la máxima potencia eléctrica que éste puede generar bajo las siguientes condiciones estándares de medida: Irradiación:  $1000\text{W/m}^2$ , Temperatura de  $25^\circ\text{C}$ , AM: 1.5, en países fabricantes como: España, Alemania, Holanda, Estados Unidos, entre otros.

#### **2.4.2.3.1 Potencia Efectiva del Panel**

La potencia máxima generada por el panel relativo a su área afectada por la radiación será lo primero que se determine. Esta magnitud tendrá su valor en base a la

eficiencia del material con el cual está fabricado el panel. Para comprenderlo mejor la siguiente ecuación ayudará a comprenderla.

$$P_{panel\ espa} = K \times A_{panel} \times Ef$$

Dónde:

K: Constante de radiación solar que incide sobre la superficie terrestre 1000W/m2.

A: Área efectiva del panel en m2.

Ef: Eficiencia del material con el que se encuentra fabricado el panel.

#### 2.4.2.3.2. Curvas características

La peculiaridad de las curvas I-V se la puede apreciar en la Figura 2.11; estas relacionan la corriente y voltaje, teniendo como resultado la potencia o la curva I-V.

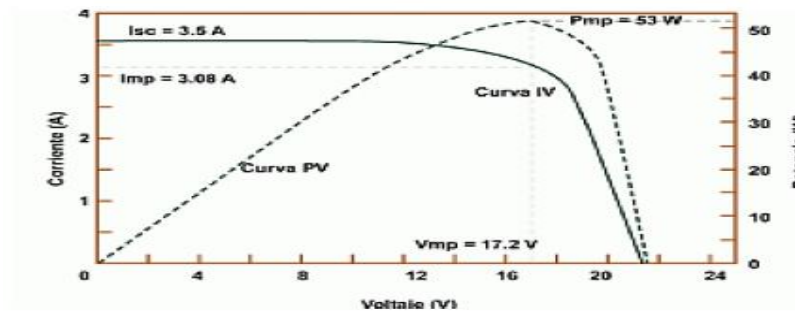


FIGURA 2. 11 Curva I-V características

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

##### a. Curva Corriente-Voltaje

“La energía solar es la que define las magnitudes de esta función, en la Figura 2. 12; Muestra a diferentes tiempos del día aumenta la corriente, se puede observar como es la permanencia casi constante del voltaje”.

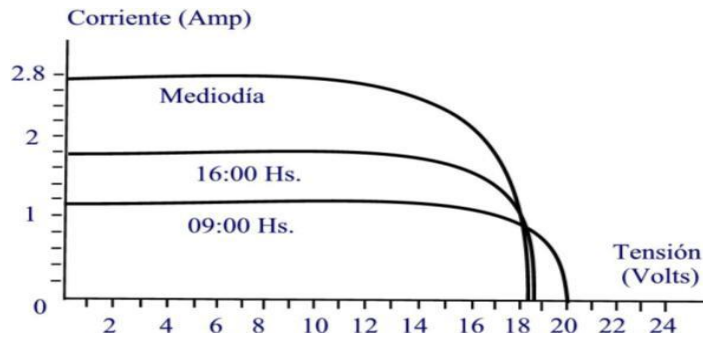


FIGURA 2. 12 Curvas características Corriente Voltaje.

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

**b. Curva Potencia - Tiempo**

En la Figura 2.13, se aprecia el punto máximo de potencia en el día, y esta se entregará durante el día en promedio por el área bajo la curva dada en Watts hora/día. Su valor no será constante y está en función a la hora en el día.

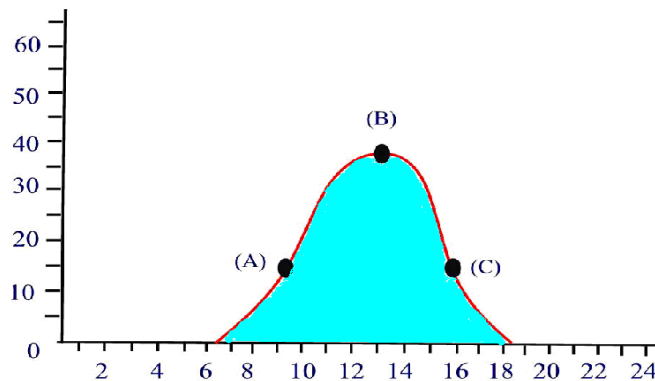


FIGURA 2. 13 Curva de la radiación solar en diferentes horas del día.

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

**c. Curva Corriente –Temperatura**

Al estar el modulo expuesto al cambio climático, a este también le afectara la temperatura, esto se manifiesta en la reducción del voltaje a mayor temperatura, esta caída se afectada en un 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25 °C aproximadamente. En la Figura 2.14 se observa el efecto climático.

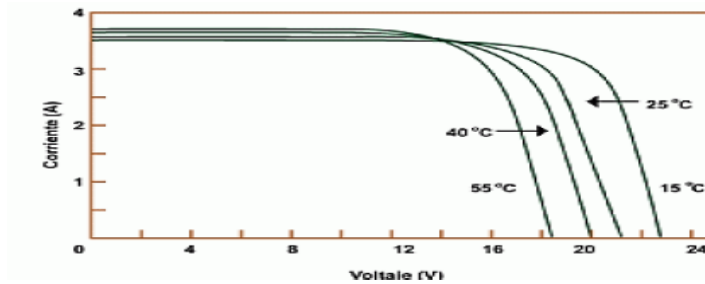


FIGURA 2. 14 Corriente en función al voltaje en distintas temperaturas.

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

### 2.4.3. Batería

El elemento que acumula energía química, y lo que entrega es energía eléctrica, a esto se lo conoce como batería. Las baterías en general constan de dos clases de placas o terminales, estos son conocidos como electrodos, estas están empapadas de ácido electrolítico.

En la Figura 2.15 se puede observar una batería de plomo.

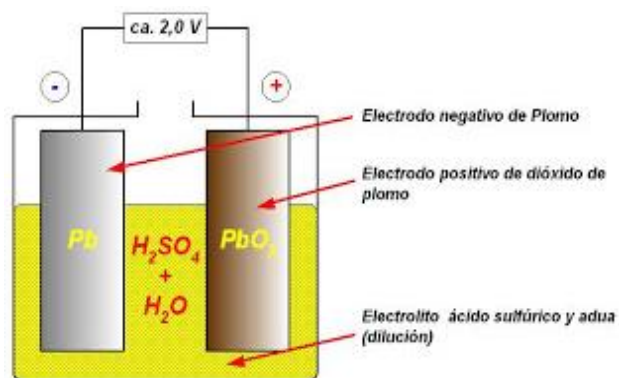


FIGURA 2. 15 Batería de plomo

FUENTE: (RENOVABLES, 2017)

Al conectar a las terminales de la batería un circuito el cual consume, la batería se descargará.

#### 2.4.3.1. Características Técnicas de las Baterías

Entre estas se encuentran las siguientes:

### **a. Tensión nominal**

La tensión encontrada en las terminales de la batería o bornes, y lo típico en baterías para paneles solares será 12 voltios.

### **b. Capacidad Nominal (Ah)**

Esta interpreta la energía específica en amperios-horas (Ah); donde Ah es corriente de descarga que está presente en las baterías y se produce a través del tiempo. Esto ayuda a determinar el tiempo que la batería va a tener carga y va a estar funcionando

$$C_m = I_n \times N$$

Dónde:

C<sub>m</sub>: Capacidad máxima de descarga

N: Tiempo de descarga en horas

I<sub>n</sub>: Corriente de descarga en Amperes Teóricamente, por ejemplo, una batería de 200 Amperios-Hora, puede suministrar 200 A durante una hora, 50 A durante 4 horas, ó 4 A durante 50 horas.

### **c. Capacidad de Energía Almacenada**

La suma de potencia guardada en una batería se da en Vatios hora (Wh) de la misma, esta se calcula de la multiplicación del voltaje nominal por el número de Amperios hora, es decir:

$$W_h = \text{Voltaje nominal} \times Ah$$

### **d. Ciclo de una batería**

La carga y descarga presentes en las baterías, se relaciona con la capacidad al estar la batería llena, hay tres tipos que son, el ciclo pequeño, moderado y profundo.

“El ciclo pequeño en esta solo corre cuando solo un pequeño porcentaje del total de la capacidad de la batería es descargado” (TELLO, 2010,p.36).

Los ciclos moderado y profundo, se tienen en una gran descarga de la batería, y estos ciclos de corriente dependerán de temperatura de trabajo en la batería.

### e. Efecto de la Temperatura

La presencia de temperatura en las baterías tendrá el efecto de disminuir la vida de la batería, ya que aumenta la actividad química en esta. En la Tabla 2.1 se tiene como afecta la temperatura a la vida útil en las baterías.

Tabla 2. 1 Impacto de la temperatura en las baterías

Temperatura del Electrolito °C	Reducción Vida Útil %
25	0
30	30
35	50
40	65
45	75
50	87
55	95

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

#### 2.4.3.2 Tipos de baterías

En este trabajo, se muestra los tipos de baterías disponibles en el mercado:

##### 1. Baterías de arranque. -

Su aplicación típica es en los automóviles, su carga por lo general casi siempre es completa.

##### 2. Baterías de tracción. –

Son costosas, sus ciclos son de descarga profunda, su eficiencia es baja.

##### 3. Baterías estacionarias. –

Su uso es en estaciones grandes, tienen un costo entre 3 a 6 veces más elevado que las baterías de autos, pueden ser gelificadas, selladas y aptas para ser colocadas en posición vertical u horizontal.

#### 4. Baterías Plomo- Acido. –

La constitución de estas es de placas de plomo sumergidas en ácido sulfúrico. En la Figura 2.16 se observa las placas sumergidas en el ácido sulfúrico o electrolito, este tipo de baterías es común en los autos y se las conoce como baterías húmedas.

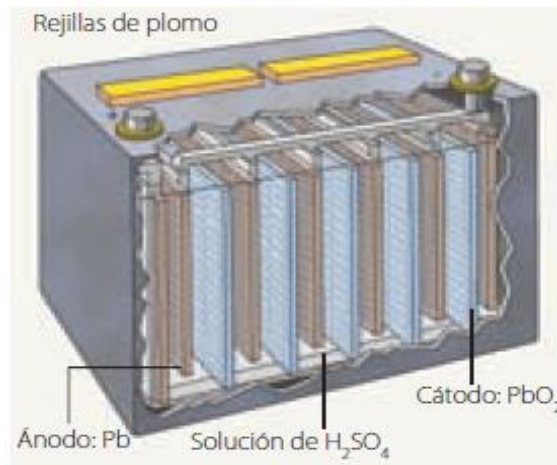


FIGURA 2. 16 Batería plomo – acido

FUENTE: (QUIMICA, 2015)

Según (TELLO CONDOR, 2010) las baterías de plomo son: “Las de tipo arranque mejorado; Las herméticas; Las de Cromo-Acido; Las de Níquel-Cadmio; Baterías Solares”. (p.38)

#### 5. Baterías Solares. -

Estas son de ciclo profundo, autónomas en su mantenimiento y proporcionan almacenamiento de energía y otros sistemas de energía amigables. Es capaz de sobrevivir descargas prolongadas, repetidas y profundas que son típicas en los sistemas de energía renovable que están fuera de la red (desconectados de la compañía eléctrica).

En la Figura 2.17 se observa una batería Ni-Cadmio utilizada en sistemas fotovoltaicos.

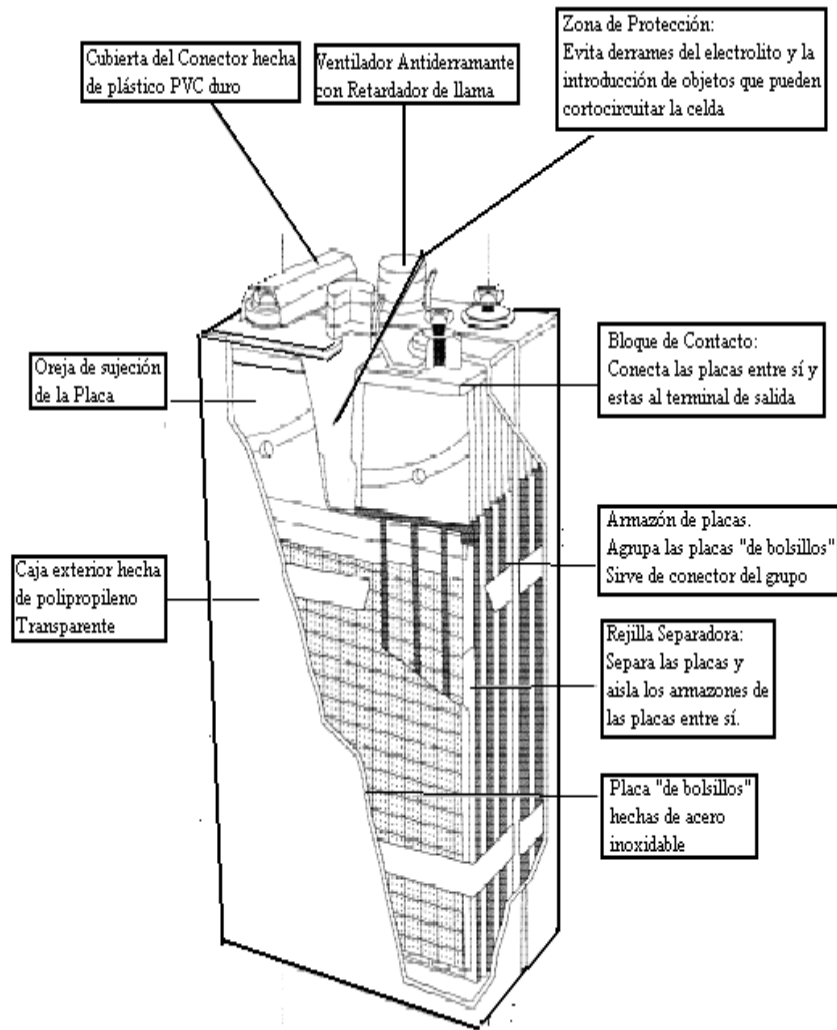


FIGURA 2. 17 Composición de una batería Ni- Cadmio con placas de bolsillo

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

Para mejor entendimiento en la tabla 2.2 se detalla los ciclos de vida de dos baterías de plomo ácido.

Tabla 2. 2 Porcentajes de descargas con relación a ciclos de vida

BATERIA 1		BATERIA 2	
217 Ah; 30 Kg		350 Ah; 65 Kg	
%PD	Nº de Ciclos	%PD	Nº de Ciclos
80	543	80	693
50	757	50	1068
30	1100	30	2050
20	1800	20	3050

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)



#### 2.4.4. Regulador de Carga

Un regulador de carga es el que mantiene la alimentación fija a la carga, esto ayuda en: a. Entorpece la sobrecarga de las baterías; b. Descarta corrientes parasitas de retorno de la batería a las fotoceldas.

Esto ayuda a que la batería trabaje en óptimas condiciones, en la Figura 2. 18 muestra tres tipos de encapsulados de los reguladores más usados en el mercado para lo que es corriente continua.




Corriente de salida	100mA	1A	1.1A -5A
Encapsulado	TO-92	TO-220	TO-3
Forma física			

FIGURA 2. 18 Encapsulados típicos y corrientes entregadas

FUENTE: La autora

#### 2.4.5. Inversor

El papel de los inversores es proporcionar energía al usuario en una forma eficiente. Estos son dispositivos electrónicos que convierten la potencia encontrada en la tensión de CC a los valores requeridos a CA y viceversa. Además, controlan la carga y descarga de las baterías en sistemas donde las pilas son elementos de almacenamiento.

En la Figura 2.19 se observa la imagen de un inversor solar típico y básico.



FIGURA 2. 19 Inversor solar

FUENTE: (TECHNOLOGY, 2015)

#### **2.4.6. Energía producida por un Sistema Fotovoltaico**

Las óptimas condiciones encontradas en paneles solares darán como resultado una potencia de entrega óptima.

Teniendo en cuenta que, en un metro cuadrado del módulo en óptimas condiciones, se puede captar 180 KWh al año, y esto dependerá de la zona donde esté instalado e modulo.

#### **2.4.7. Mantenimiento de un Sistema Fotovoltaico**

En si lo que más requiere un sistema fotovoltaico es la limpieza de los módulos con una franela húmeda, esto sirve para tener claridad y la eliminación del polvo.

Se debe realizar mantenimientos periódicos a las baterías Plomo-ácido no sellados, en los cuales se verificará los bornes, cables, terminales de conexión y el líquido.

### **2.5. Elementos, estructura y funcionamiento de un seguidor de luz solar**

#### **2.5.1. Introducción**

Un seguidor solar tiene como fin el minimizar el ángulo que incide en el panel solar en si el ángulo que un rayo de luz hace con una línea perpendicular a la superficie. Entre la luz entrante y el panel, lo que aumenta la cantidad de energía que produce la instalación.

La energía fotovoltaica solar concentrada y la solar térmica concentrada tienen una óptica que acepta directamente la luz solar, por lo que los seguidores solares deben estar en ángulo correctamente para recoger energía. Todos los sistemas solares concentrados tienen rastreadores porque los sistemas no producen energía a menos que estén dirigidos correctamente hacia el sol. Los seguidores solares de eje único giran en un eje moviéndose hacia adelante y hacia atrás en una sola dirección. Los diferentes tipos de seguidores de un solo eje incluyen horizontal, vertical, inclinado y polar alineado, que giran como lo implican los nombres. Los seguidores de doble eje se enfrentan continuamente al sol porque pueden moverse en dos direcciones diferentes.

Los tipos incluyen punta-inclinación y azimut-altitud. El seguimiento de doble eje se utiliza típicamente para orientar un espejo y redirigir la luz solar a lo largo de un eje fijo hacia un receptor estacionario.

Debido a que estos seguidores siguen el sol vertical y horizontalmente ayudan a obtener la máxima generación de energía solar.

La selección de un rastreador solar depende del tamaño del sistema, las tarifas eléctricas, las restricciones de la tierra, los incentivos del gobierno, la latitud y el clima.

Los proyectos a gran escala y grandes usan generalmente seguidores solares horizontales de un solo eje, mientras que los seguidores de doble eje se usan principalmente en aplicaciones residenciales más pequeñas y en ubicaciones con altos niveles de tarifas de alimentación del gobierno. Los seguidores de eje vertical son adecuados para altas latitudes debido a sus ángulos fijos o ajustables.

### **2.5.2. Energía Solar Fotovoltaica con paneles estáticos**

Siendo la trayectoria solar es otro parámetro que afecta la incidencia del sol en uno o varios captadores solares, esto es gracias al movimiento del sol a lo largo del día y el año, en los sistemas fijos se debe tener presente zona geográfica, el lugar, la estación, etc.

En la Figura 2. 20 se muestra paneles fijos.



FIGURA 2. 20 Panel fijo

FUENTE (SOLMETRIC, 2017)

#### **2.5.2.1. Orientación**

La recolección de la energía solar depende de la orientación del receptor, es por ello que los paneles solares están en ángulo horizontal, es decir, inclinados, esto ayuda a recoger la radiación directa que es la parte de mayor interés, ya que en esta se encuentra la mayor parte de la energía, por esto el aprovechamiento de los rayos solares se recomienda la siguiente forma:

1. En el Hemisferio Norte, el panel deberá orientarse hacia el sur.
2. En el Hemisferio Sur, hacia el norte.

El objetivo de orientación es siempre tener el mayor beneficio de la energía solar, en un panel se orienta correctamente posicionados y con respecto a la luz directa del sol que viene del sol en todo momento del día.

Así como la “orientación del panel solar”, el número de horas de luz solar al día el panel solar recibe, así como la intensidad o brillo de la luz del sol también son importantes.

“Por ejemplo, cuando el sol está bajo en el cielo durante los meses de invierno la orientación paneles solares debe ser más vertical que pasa la radiación solar a través de más ambiente para alcanzar el panel solar y por lo tanto su intensidad se reduce por el efecto de dispersión y absorción de atmósfera y las nubes.

En los meses de verano cuando el sol está alto en el cielo de la radiación solar es más directa y por lo tanto más fuerte, ya que tiene menos distancia para viajar a través de la atmósfera de la Tierra para la orientación del panel solar es más horizontal”. (ENERGY, 2017)

I. Orientación de un panel solar fotovoltaico

II. Inclinação de un panel solar fotovoltaico

#### **2.5.2.2. Orientación de un panel solar fotovoltaico**

Un captador fotovoltaico o modulo fotovoltaico, la absorción ideal de energía solar será con los rayos del sol perpendiculares al plano de captación.

La posición del sol en el cielo se puede trazar usando dos ángulos, *azimut* y *cenit* y el ángulo de la orientación del panel solar se basa en estos dos valores.

*Acimut* – Conforme pasa el tiempo en un día típico, el sol forma un ángulo a través del cielo de este a oeste a lo largo del día. Generalmente, el acimut se calcula como un ángulo del verdadero sur. Al mediodía solar que se define como un ángulo azimut

de cero grados, por lo tanto,  $\text{acimut} = 0^\circ$ , el sol estará directamente al sur en el hemisferio norte y directamente al norte en el hemisferio sur.

En la Figura 2.21 se puede ver un soporte para fijación de paneles con regulación de ángulo.

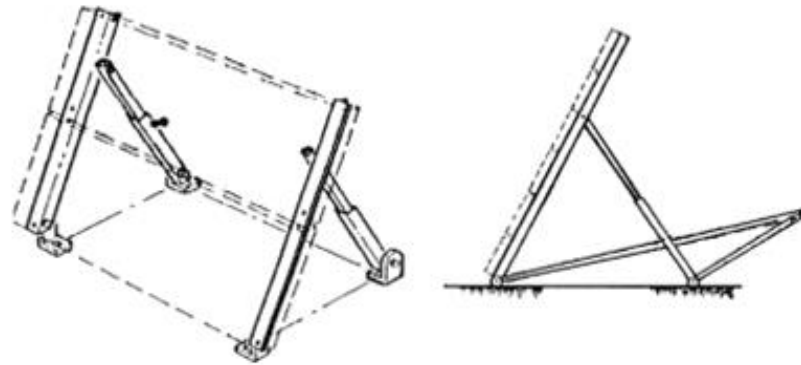


FIGURA 2. 21 Soporte de módulos fotovoltaicos con regulación de ángulo

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

### **2.5.3. Energía Solar Fotovoltaica con Seguimiento Automático**

Este mecanismo pretende seguir al sol con el fin de exponer un panel solar a la máxima radiación en un momento, con este objetivo lo principal es tener una orientación del panel solar en todo momento del día. Un sistema de seguimiento solar puede seguir el movimiento del sol a través del cielo del amanecer a la puesta del sol que crea salida de energía óptima por un período más largo y puede también acomodar para los cambios estacionales de la dirección del sol.

Lo ideal de estos mecanismos es un seguimiento ecuatorial, es decir que siempre tenga la perpendicularidad de los rayos solares, accionado por motor, similar a los usados con telescopios sofisticados o antenas parabólicas. Esto permitiría al panel fotovoltaico seguir el camino de rotación de los soles todo el día, todos los días del año, dándole la mejor orientación del panel solar y generando la máxima potencia de salida posible.

En la Figura 2. 22, se observa una idea de captación de energía con seguimiento solar a lo largo del día, comparado con la captación con posición estacionaria.

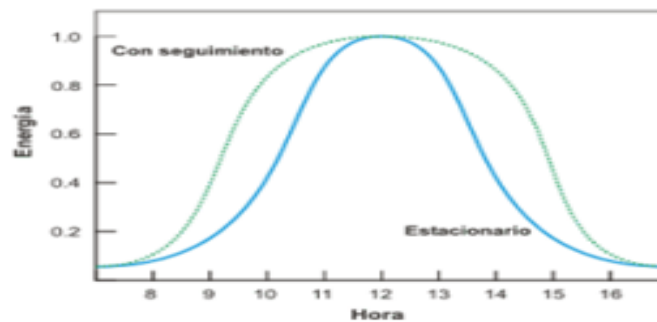


FIGURA 2. 22 Curva de captación fija vs un módulo de seguimiento

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

#### 2.5.4. Tipos de seguidores

Para tener un seguidor se debe de diseñar estructuras fiables, las cuales cumplan el propósito deseado que para este estudio es seguir al sol, se conocen dos tipos de seguidores que son de un eje y dos ejes, los cuales pueden funcionar por gravedad o por sistemas eléctricos a motor.

#### 2.5.6. Seguidores de un eje.

Este tipo de seguidores de un eje que rastrea el sol a través del cielo durante cada día en un ángulo de inclinación constante Esto aumenta la radiación solar recibida hasta un 25-30% en comparación con el de sistema fijo. En las figuras 2.23 y 2.24 se muestra este tipo de seguidores de un eje tanto en esquema como uno ya instalado.

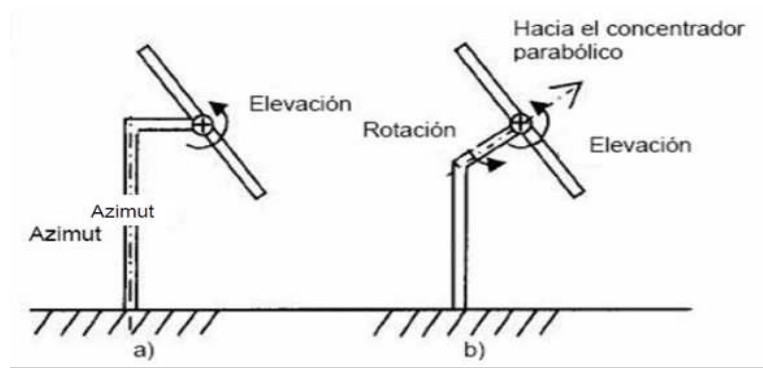


FIGURA 2. 23 Esquema del seguidor de un eje

FUENTE: (VILLEDA, 2011)



FIGURA 2. 24 Seguidor solar de un eje.

FUENTE: (TORIBIO, 2016)

### 2.5.7. Seguidor de Dos Ejes

El seguimiento de dos o dos ejes, que son más usados en países donde gozan de los 4 tipos de clima y están alejados de la zona ecuatorial, realizan un seguimiento del sol a través del cielo durante cada día, pero también ajusta el ángulo de inclinación de la matriz más en invierno y menos en verano para localizar con precisión la posición del sol en el cielo. El seguimiento de doble eje incrementa la radiación solar recibida en hasta un 33-38% en comparación con ningún seguimiento. En la Figura 2.25 se muestra un tipo de soporte de un seguidor solar de dos ejes; y en la Figura 2.26 un bosquejo de este tipo de seguidores.



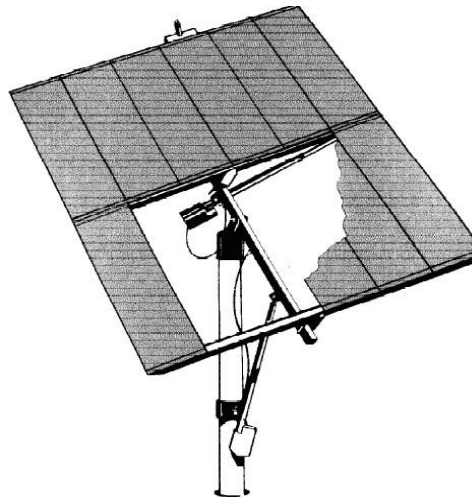


FIGURA 2. 25 Soporte con seguidor en dos ejes

FUENTE (TELLO CONDOR, 2010):

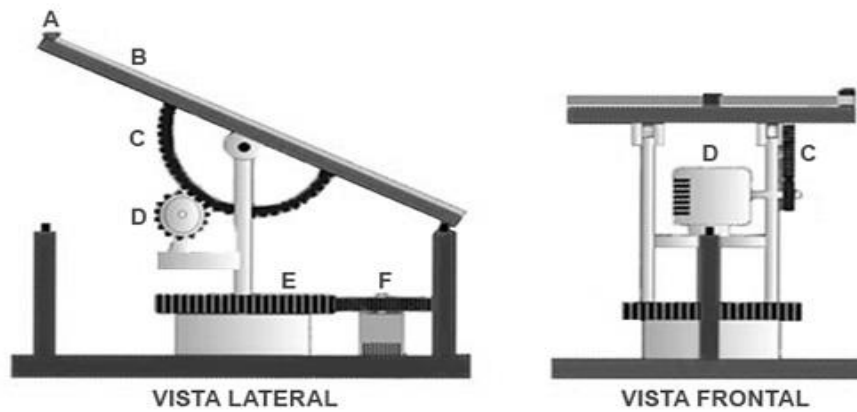


FIGURA 2. 26 Bosquejo del mecanismo de un seguidor de 2 ejes

FUENTE: (ENERGIZAR, 2017)

De la Figura 2.26 se observa la siguiente descripción dada por la tabla 2.3.

Tabla 2. 3 Descripción de la Figura 2.26

<b>A</b>	Sensores
<b>B</b>	Panel Solar
<b>C</b>	Engranajes para movimiento de inclinación
<b>D</b>	Motor de inclinación
<b>E</b>	Corona para movimiento azimutal
<b>F</b>	Motor azimutal

FUENTE: (ENERGIZAR, 2017)

En el ANEXO B se muestra imágenes de un seguidor de dos ejes casero.

## **2.6. Elementos del Seguidor Solar automatizado.**

La mayor parte del sistema es electrónico, ya que se encuentra presente a un microcontrolador. El cual controla todas las operaciones que son necesarias para que este funcione. Con la ayuda de microcontrolador, alinea el panel solar siguiendo la intensidad de la luz solar. Tiene dos sensores, cada uno hecho Up de LDR. Cuatro LDRs constituyen en la unidad y se colocan en las cuatro esquinas del panel. LDR detecta la intensidad de la luz solar y el controlador recibe la salida.

El panel se puede girar en la posición deseada lo cual lo realiza mediante los engranajes que mueve el ser motor.

### **2.6.1. Microcontroladores.**

Estos son sistemas autónomos con periféricos, memoria y un procesador que puede ser utilizado como un sistema embebido.

“Hoy en día se encuentran los microcontroladores programables en productos de consumo o maquinaria, incluyendo teléfonos, periféricos, automóviles y electrodomésticos para sistemas informáticos” (DISPOSITIVOS LOGICOS MICROPROGRAMABLES, 2013).

Debido a eso, otro nombre para un microcontrolador es "controlador integrado". Algunos sistemas integrados son más sofisticados, mientras que otros tienen requisitos mínimos de memoria y longitud de programación y una complejidad de software baja. Los dispositivos de entrada y salida incluyen solenoides, pantallas LCD, relés, conmutadores y sensores para datos como humedad, temperatura o nivel de luz, entre otros.

En la Figura 2.27 se observa la arquitectura de un microprocesador

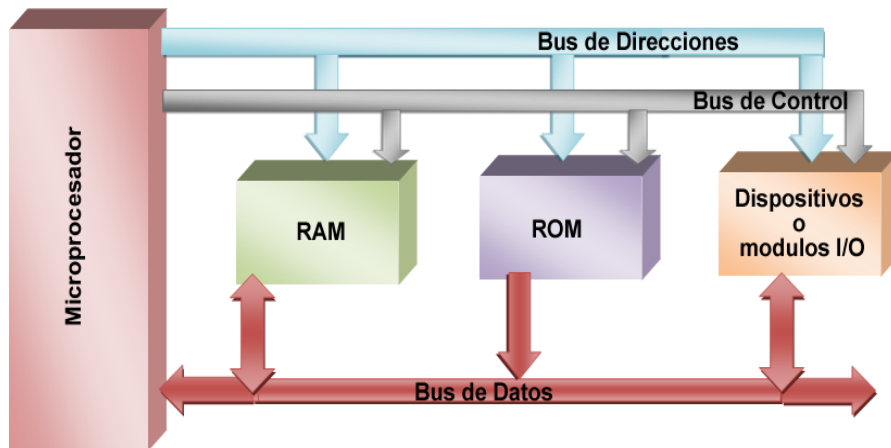


FIGURA 2. 27 Arquitectura de un microprocesador sistema abierto.

FUENTE: (Burga, 2012)

### Microcontrolador PIC.-

Microcontrolador PIC significa "controlador de interfaz periférica, un típico microcontrolador incluye un procesador, memoria, y los periféricos.

Los microcontroladores PIC (Programmable Interface Controllers), son circuitos electrónicos, que se programan con rapidez y menos errores. La Figura 2.28 se observa la arquitectura interna de un microcontrolador, al observar se nota la presencia de un circuito externo reloj, esto produce una excitación al PIC y esto a ra en consecuencia la velocidad de trabajo.

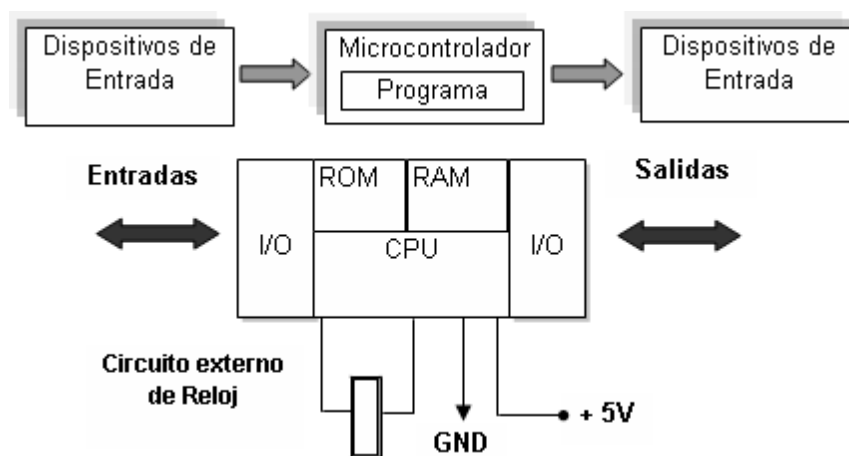


FIGURA 2. 28 Arquitectura interna de un microcontrolador

FUENTE: (TELLO, 2010)

En el ANEXO C se encontrará información sobre los PIC utilizado.

### **2.6.2. Panel Solar**

El panel usado será el que cubra las necesidades de potencia, y voltaje característico de las demandas a cubrir los sistemas. Este tendrá una base que será acoplada al sistema a moverse por medio del sistema de transmisión de los engranajes que moverá el servomotor.

El servomotor será controlado por un PIC o microcontrolador; el cual, por medio de la configuración electrónica de los sensores presentes en el circuito de mando, enviara la señal necesaria para que el servomotor actúe conforme la irradiación solar avance en el día, y en esta forma el servomotor realizara el movimiento del panel acoplado.

### **2.6.3. Sensores**

Un sensor es un dispositivo que a presencia de una magnitud física lo convierte en una señal eléctrica. Para este trabajo se hace el estudio de los sensores de luz ya que estos ayudan a poder orientar el panel.

#### **2.6.3.1. Sensor de luz**

Un sensor de luz es un dispositivo que se utiliza para detectar el nivel de luz ambiental actual, es decir, cuán brillante u oscuro es. Hay una gama de diferentes tipos de sensores de luz, incluyendo foto resistores, fotodiodos y fototransistores.

### **2.6.4. Motor eléctrico.**

En si la definición básica de un motor es convertir la electricidad en trabajo mecánico, por medio de campos magnéticos acoplados eléctrica y electrónicamente.

La constitución de un motor eléctrico el estator que es la parte fija y el rotor que es la parte móvil. En la Figura 2. 29 se observa con más detalle las partes de un motor.

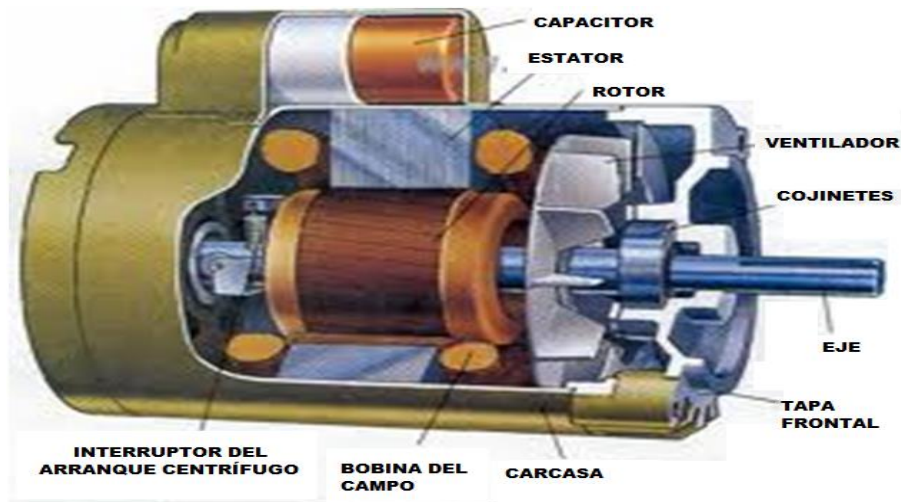


FIGURA 2. 29 Partes de un motor eléctrico

FUENTE: (GORI, 2017)

Además, básicamente se hallan dos devanados que dan paso al magnetismo en presencia de tensiones el inductor, estas se acoplan magnéticamente y aparecen corrientes eléctricas y dan paso al torque para el funcionamiento del par.

### 2.6.3.1. Tipos de Motores

Los motores están diseñados de acuerdo al uso como son los procesos industriales, robótica, mecatrónica, etc. En si son dos tipos o dos grupos que son los de corriente continua (DC), y los de corriente alterna (AC).

En este trabajo de titulación se habla acerca de los servomotores, que son los encargados de dar paso a paso movimientos los cuales son ideales para el uso de los seguidores solares.

#### 2.6.3.1.1. Servomotor

La etimología de servomotor está dada por la composición de sus palabras de los siguientes vocablos del latín servo (esclavo) y motor, es decir, un servomotor es un motor controlado en todo tiempo de funcionamiento, funciona linealmente su giro el cual está controlado en todo momento.

En la Figura 2.30 se muestra las partes de un servomotor pequeño,



FIGURA 2. 30 Partes básicas de un servomotor.

FUENTE: (servomotores, 2016)

### **Funcionamiento. -**

Un servomotor consta principalmente de un motor adecuado conectado a un reductor que reduce la velocidad de rotación al tiempo que aumenta el par de su eje de salida.

Este último está acoplado a un sensor para medir la posición, esta información se proporciona a una unidad de control que ordena al conductor del motor para lograr el comando que fue enviado al servomotor.

En la Figura 2. 31 puede verse un diagrama básico que ilustra el funcionamiento básico.

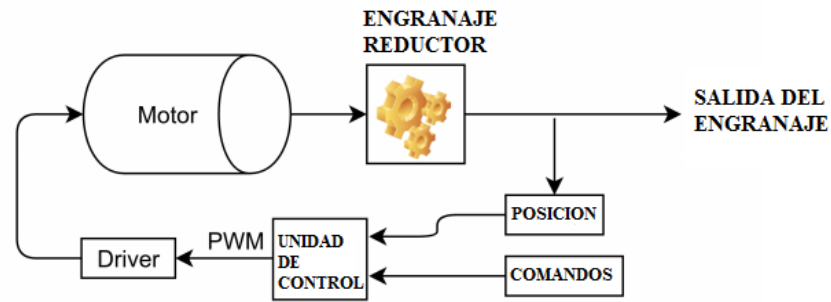


FIGURA 2. 31 Principio de funcionamiento de servomotor

FUENTE: (Lempereur, 2016)

El servomotor tiene un microcontrolador que recepta por un canal de comunicación cualquier orden que son las de mover o dar giro a su posición angular al recibir el comando ejecuta un algoritmo para alcanzar la meta.

Las ordenes o comandos que recibirá serán básicos en si para un servomotor los cuales van desde moverse a una posición angular, girar a una cierta velocidad, mantener un par dado o más avanzado.

Existen protecciones para limitar la corriente consumida por el motor, su temperatura, la velocidad de rotación, con el fin de evitar daños al motor.

El control de un servomotor será enviando un impulso eléctrico de anchura variable, también conocido como modulación de ancho de pulso (PWM), a través del cable de control. Se tendrá pulsaciones mínimas y máximas repitiéndose con constancia.

Un servo motor normalmente sólo se desplaza 90 ° en cualquier dirección para un total de 180 °. La posición neutra del motor se define como la posición en la que el servo tiene la misma cantidad de rotación de potencial tanto en sentido horario como anti horario.

El PWM enviado al motor determina la posición del eje, y en base a la duración del impulso enviado a través del cable de control; el rotor girará a la posición deseada. El servo motor espera ver un pulso cada 20 milisegundos (ms) y la longitud del pulso

determinará hasta qué punto el motor gira. Por ejemplo, un pulso de 1,5 ms hará que el motor gire a la posición de 90 °. Menos de 1,5ms lo mueve en el sentido contrario a las agujas del reloj hacia la posición 0 °, y más de 1,5ms girará el servo en sentido horario hacia la posición 180 °.

#### **2.6.5. Sistema de transmisión de Movimiento**

Un sistema de transmisión de movimiento se lo podrá realizar por medio de: bandas, por engranajes, por tornillo y rueda sinfín.

En este trabajo se observa también los engranajes, y para poder entenderlos se debe saber que son. Un engranaje es una rueda dentada que trabaja junto con otra rueda dentada para alterar la velocidad o la dirección de un mecanismo de accionamiento por medio de un motor.

En la Figura 2.32 se aprecia un ejemplo de engranaje.



FIGURA 2. 32 Engranaje

FUENTE: (CORONA FOIX & CLOS COSTA, 2001)

Para que funcione un sistema de engranajes se debe tener mínimo dos, el primero será un engranaje que impulsa y el segundo será un engranaje que es accionado. De esto se tiene la relación de engranajes que es la velocidad del engranaje impulsado y accionado por un sistema de engranajes.



La relación de transmisión “ $i$ ”; la cual se aprecia en la Figura 2.33 “La relación de velocidad  $w_2$  del eje de salida (conducido) y la velocidad  $w_1$  del eje conductor (entrada):  $i = w_2/w_1$ ” (CORONA FOIX & CLOS COSTA, 2001).

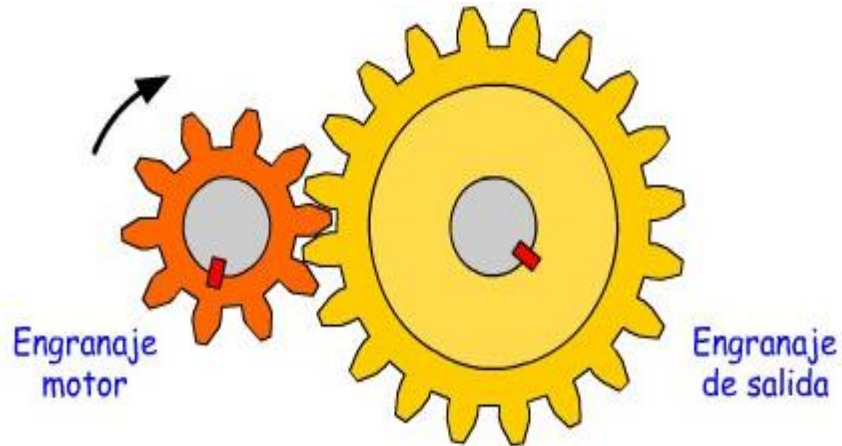


FIGURA 2. 33 Relación de engranajes

FUENTE: (ROBOTICA, 2012)

En instante de que “ $i$ ” < 1, el enlace de transmisión se reduce, pero el enlace de transmisión en el torque aumenta.

Si “ $i$ ” > 1, el enlace de transmisión es Multiplicadora, pero el enlace de transmisión en el torque se reduce en el valor de la relación o vinculo de la transmisión.

En la Figura 2. 34 se presenta un esquema del conjunto de 2 piñones.

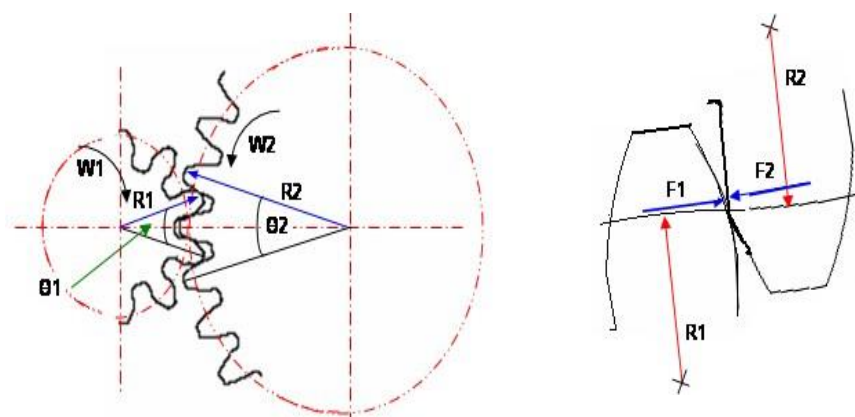


FIGURA 2. 34 Relación entre dos engranajes.

FUENTE: (TELLO, 2010)

De la Figura 2.35 se tiene:

$\omega_{1, 2}$  = Velocidad angular, rueda conductora y rueda conducida respectivamente

$\theta_{1, 2}$  = Desplazamiento angular

$R_{1, 2}$  = Radios de las ruedas expresado en mm.

$F_{1, 2}$  = Fuerzas Iguales ejercidas en el acople de los dientes

El desplazamiento de los piñones se dará de la siguiente forma matemática.

$$L_1 = R_1 \times \theta_1$$

$$L_2 = R_2 \times \theta_2$$

Si  $L_1$  y  $L_2$  son iguales, se tiene:

$$R_1 \times \theta_1 = R_2 \times \theta_2$$

Se tiene que el desplazamiento angular es:

$$\theta = \omega t$$

Además, los torques de los piñones son:

$$T_1 = F_1 \times R_1$$

$$T_2 = F_2 \times R_2$$

Se puede definir el radio a manejarse el seguidor de la división de  $T_2$  a  $T_1$  que sería

$T_2/T_1$  esto da que:

$$\left(\frac{R_2}{R_1}\right) = \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \text{ Ya que las } F_1 \text{ y } F_2 \text{ son iguales.}$$

## CAPÍTULO 3

### **Evaluación de un sistema fotovoltaico convencional vs el de seguimiento solar.**

En esta sección se estudia un panel solar fijo vs el panel que posee seguimiento solar, y mediante el análisis se determinara la forma potencial de cada sistema de captación solar.

#### **3.1 Características técnicas del panel, condiciones de operación y funcionamiento del sistema fijo.**

Las características técnicas del panel están dadas en la tabla 3.1

Tabla 3. 1. Características técnicas del panel fotovoltaico utilizado

<b>Modelo</b>	<b>VLX-53</b>
Pp	53W
Vp	17.2 V
Ip	3.08 A
Vca	21.5 V
Icc	3.5 A
Condiciones	1000 W/m <sup>2</sup> 25°C

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

Las mediciones tomadas, muestran el comportamiento del funcionamiento del panel solar, la cual en este trabajo de titulación ayuda al análisis para la determinación de los parámetros fijos.

##### **3.1.1. Pruebas del Panel Fotovoltaico fijo**

La FIGURA 3.1 muestra la inclinación aproximada de 15<sup>0</sup> en dirección Sur-Norte,



FIGURA 3. 1 Panel Solar Inclinado

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

En la diversidad de climas, se escogió tres tipos característicos de clima los cuales son: cielo despejado; nublado y variado.

Del panel se obtuvo el voltaje en terminales ( $V_{oc}$ ) y corriente de corto circuito ( $I_{oc}$ ), estos datos se midieron en periodos de 15 min, lo cual determino el comportamiento de la Incidencia de Radiación Solar, esto se lo puede ver en la Tabla 3.2.

Tabla 3. 2. Voltajes y corrientes generados por la incidencia solar

HORA	CIELO DESPEJADO		CIELO VARIADO		CIELO NUBLADO	
	07/01/2008		08/01/2008		10/01/2008	
	$V_{oc}$ (V)	$I_{oc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$I_{oc}$ (A)	$V_{oc}$ (V)	$I_{oc}$ (A)
10:00	20.09	0.56	19.97	0.23	17.79	0.38
10:15	21.01	0.68	20.20	0.24	18.71	0.51
10:30	20.88	0.74	20.60	0.68	18.58	0.56
10:45	20.58	0.86	20.52	0.86	18.28	0.68
11:00	20.97	0.86	20.86	0.86	18.67	0.63
11:15	21.39	0.92	19.96	0.30	19.09	0.54
11:30	21.14	0.84	20.41	0.50	18.84	0.66
11:45	21.34	0.88	20.96	0.85	18.45	0.70
12:00	21.45	0.98	20.88	0.86	18.84	0.72
12:15	21.34	0.95	20.43	0.71	19.04	0.75
12:30	21.17	0.96	20.28	0.40	18.87	0.78
12:45	21.31	0.95	20.64	0.84	19.01	0.77
13:00	21.36	0.93	19.58	0.68	18.86	0.75
13:15	21.18	0.95	20.36	0.63	17.91	0.77
13:30	20.83	0.93	20.06	0.35	18.23	0.75
13:45	20.69	0.92	19.36	0.50	18.39	0.74
14:00	21.34	0.88	19.60	0.33	19.04	0.70
14:15	21.16	0.90	21.00	0.74	18.86	0.72

14:30	20.95	0.87	21.05	0.92	18.65	0.69
14:45	21.01	0.84	20.46	0.54	18.71	0.66
15:00	20.73	0.78	19.38	0.38	18.43	0.60
15:15	20.64	0.60	21.05	0.62	18.34	0.42
15:30	20.42	0.53	21.05	0.82	18.12	0.33
15:45	20.35	0.53	20.81	0.83	18.05	0.35
16:00	20.04	0.43	19.30	0.28	17.74	0.25
16:15	20.51	0.36	20.85	0.52	18.21	0.18
16:30	20.23	0.24	20.98	0.64	17.93	0.10
16:45	20.08	0.23	20.46	0.34	17.78	0.10
17:00	20.02	0.20	19.85	0.23	17.72	0.08

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

La tabla 3.2, converge en un análisis estadístico simplificado donde se muestra el comportamiento voltaje y corriente debido a la incidencia de la radiación solar. Esta apreciación se detalla en la FIGURA 3.2 en la cual en presencia de los tres climas la captación del panel presenta las tres tendencias mostradas en las curvas y que a pesar de que el cielo este nublado los voltajes son estables y altos, esto se debe a que la radiación en nuestra zona geográfica tenga esa ventaja sobre las otras, y esto lleva a un mejor aprovechamiento de la radiación solar.

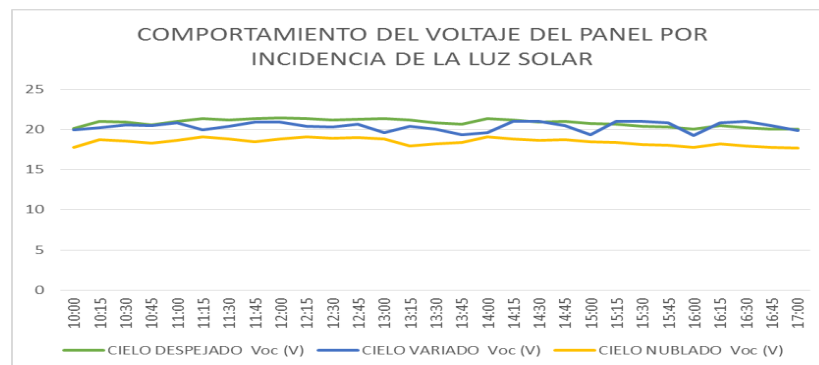


FIGURA 3. 2 Voltaje generado por el panel por la insolación solar

FUENTE: La autora

De igual forma en la FIGURA 3.3 se obtiene la tendencia de la corriente en presencia de los tres climas, a esto se le tiene en cuenta que, por la ley de ohm, la corriente y voltaje están relacionadas.

Siendo que si el voltaje aumenta la corriente aumentara dando al sistema más energía.

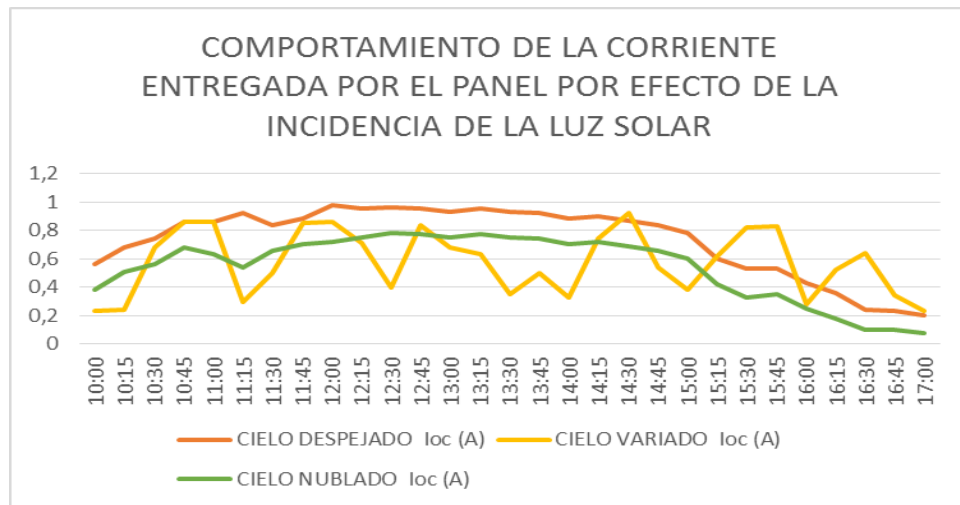


FIGURA 3.3 Corriente generada por el panel con fuente luminosa solar.

FUENTE: La autora

### 3.1.2. Prueba del Sistema acoplado sin seguimiento

Siguiendo la metodología, se realizaron pruebas sin el acople, es decir sin el seguidor, haciendo que se siga la perpendicularidad del sol, de esto se obtuvo la siguiente tabla 3.3; de donde las mediciones fueran efectuadas cada 15 minutos.

Tabla 3. 3. Datos tomados con cielo despejado FECHA 06-02-2009

Hora	Voltaje Panel (V)	Corriente Carga (mA)	Voltaje Carga Batería (V)
10:00	17.45	60	11.18
10:15	17.55	80	11.20
10:30	17.65	120	11.23
10:45	18.20	150	11.23
11:00	19.20	170	11.26
11:15	19.45	180	11.28
11:30	20.10	180	11.31
11:45	20.23	200	11.34
12:00	20.47	210	11.37
12:15	20.79	210	11.40
12:30	20.72	240	11.42
12:45	21.00	240	11.45
13:00	20.95	260	11.45

13:15	20.75	280	11.47
13:30	20.59	270	11.51
13:45	20.58	280	11.53
14:00	20.60	240	11.55
14:15	20.73	240	11.54
14:30	20.65	210	11.58
14:45	20.61	220	11.60
15:00	20.79	220	11.60
15:15	20.74	200	11.61
15:30	20.81	140	11.63
15:45	19.90	140	11.63
16:00	19.36	120	11.65
16:15	18.94	120	11.67
16:30	18.80	120	11.67
16:45	18.52	100	11.68
17:00	18.39	80	11.70
17:15	18.44	60	11.70
17:30	18.47	60	11.68
17:45	18.40	40	11.67
17:00	17.10	40	11.65

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

Con los datos de la tabla 3.3 se obtiene el siguiente comportamiento mostrado en la FIGURA 3.4 este comportamiento obedece con el parámetro de incidencia solar con un cielo despejado.

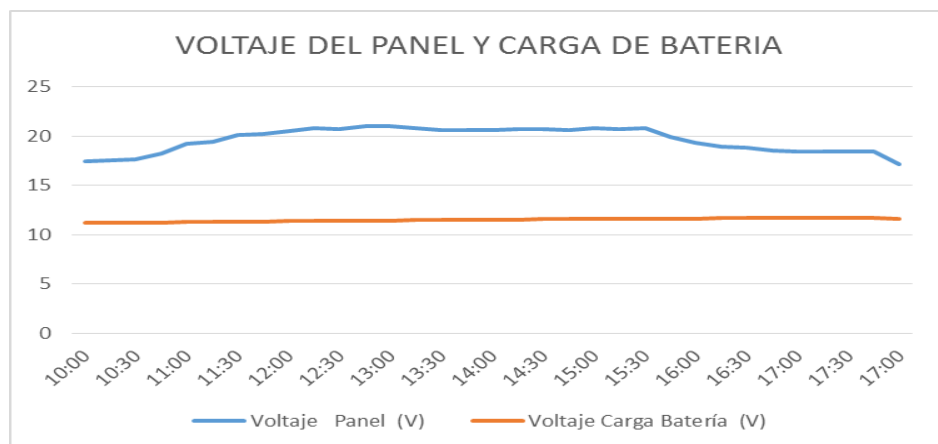


FIGURA 3.4 Curva del voltaje generado en la carga de la batería.

FUENTE: La autora

El comportamiento de corriente de carga y el voltaje final de la carga de batería se observa en la FIGURA 3.5 en donde el voltaje de la batería disminuye debido al

direccionamiento de los rayos solares, ya que el panel no sigue al sol en el transcurso del día por falta del seguimiento solar.

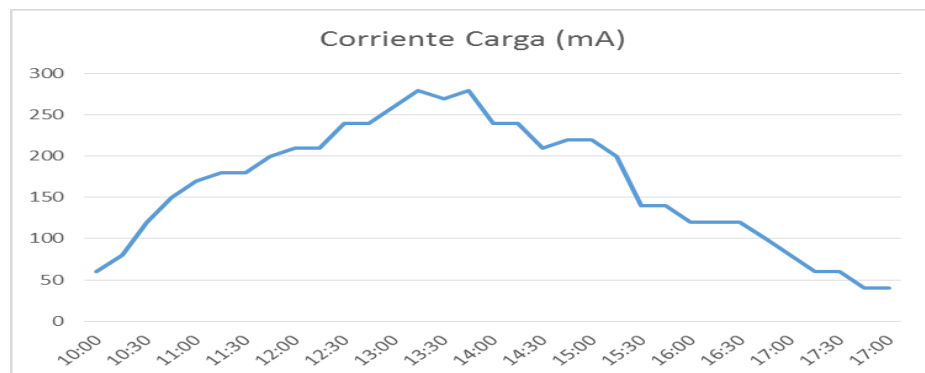


FIGURA 3.5 Corriente de carga generado en el panel al cargar la batería

FUENTE: La autora

### 3.2. Condiciones de operación y funcionamiento con seguimiento.

La operación del panel que funciona con el seguidor, tendrá que ser configurado en dos ejes, el eje norte sur o sur norte será fijo, mientras que el eje oeste este tendrá libre movimiento de 180 grados, en la FIGURA 3.6 se aprecia esta descripción.

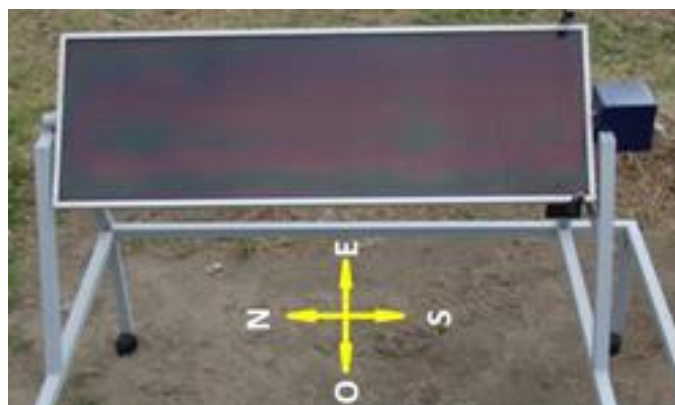


FIGURA 3.6 Configuración del panel con seguidor instalado.

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

#### 3.2.1. Datos obtenidos del Seguimiento Automático

Los datos obtenidos de corriente de carga, voltaje de batería y panel a un intervalo de 30 minutos se lo muestra en la tabla 3.4 son:



Tabla 3. 4. Datos de voltaje y corriente panel- batería.

	CIELO DESPEJADO 29-Ene-2010				CIELO VARIADO 28-Ene-2010				CIELO NUBLADO 01-Feb-2010			
Hora	Corriente de Carga (mA)	Voltaje de Panel (V)	Voltaje de Batería (V)	Corriente de Carga (mA)	Voltaje de Panel (V)	Voltaje de Batería (V)	Corriente de Carga (mA)	Voltaje de Panel (V)	Voltaje de Batería (V)			
8:00	100	14.00	12.00	100	13.00	11.50	40	8.00	11.50			
8:30	120	15.20	12.10	120	15.50	11.56	70	10.10	11.51			
9:00	130	19.20	12.20	140	17.00	11.55	90	12.50	11.53			
9:30	140	19.38	12.25	140	18.10	11.56	100	14.15	11.53			
10:00	200	19.80	12.40	170	18.25	11.59	140	15.25	11.59			
10:30	220	19.85	12.54	190	18.70	11.61	160	15.70	11.61			
11:00	240	19.92	12.58	220	19.20	11.63	160	16.20	11.63			
11:30	260	20.08	12.58	240	19.50	11.70	180	16.50	11.65			
12:00	300	20.40	12.60	220	18.10	11.80	200	15.10	11.70			
12:30	320	20.16	12.63	200	18.20	11.90	180	15.20	11.82			
13:00	320	20.18	12.66	160	17.80	11.92	140	14.80	11.85			
13:30	300	20.25	12.69	160	17.70	11.93	160	14.70	11.91			
14:00	290	20.32	12.65	120	17.10	11.91	120	14.10	11.95			
14:30	280	20.11	12.64	160	17.30	11.94	140	14.30	11.96			
15:00	260	20.02	12.62	240	18.50	11.98	150	15.50	11.98			
15:30	230	19.82	12.62	220	18.30	11.98	160	15.30	11.95			
16:00	200	19.62	12.60	220	18.50	12.00	140	15.50	11.95			
16:30	180	19.50	12.60	180	18.60	11.98	140	15.60	11.92			
17:00	170	19.25	12.58	180	18.40	12.05	100	15.40	11.92			
17:30	150	19.18	12.55	160	18.10	12.00	80	15.10	11.88			
18:00	100	19.10	12.55	80	13.00	11.90	80	10.00	11.85			

FUENTE: (TELLO CONDOR, 2010)

EN la tabla 3.4 se tiene una pauta del voltaje presente en el panel, de donde a la batería se le dio seguimiento a su carga y el voltaje presentes, mostrados en la FIGURA 3.7 de esta grafica se llega a una conclusión que en un día despejado es óptimo para el sistema.

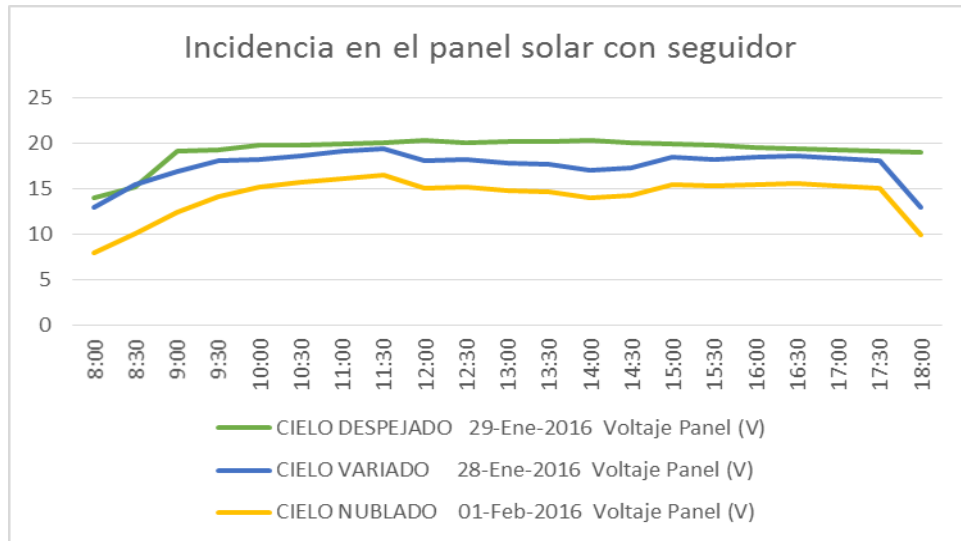


FIGURA 3.7 Curvas de Voltaje en el panel.

FUENTE: La autora

El voltaje de carga generado en la batería se lo aprecia en la FIGURA 3.8 en este se detalla el comportamiento

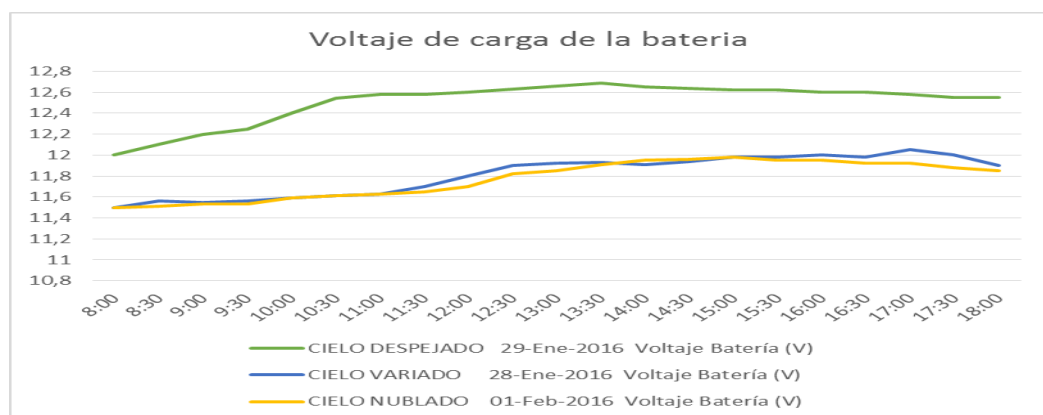


FIGURA 3.8 Curvas del voltaje de carga de las baterías del seguidor solar

FUENTE: La autora

La corriente con cielo despejado supera en un 42% a los del cielo nublado, y la relación al día claro nublado es de un 26%.

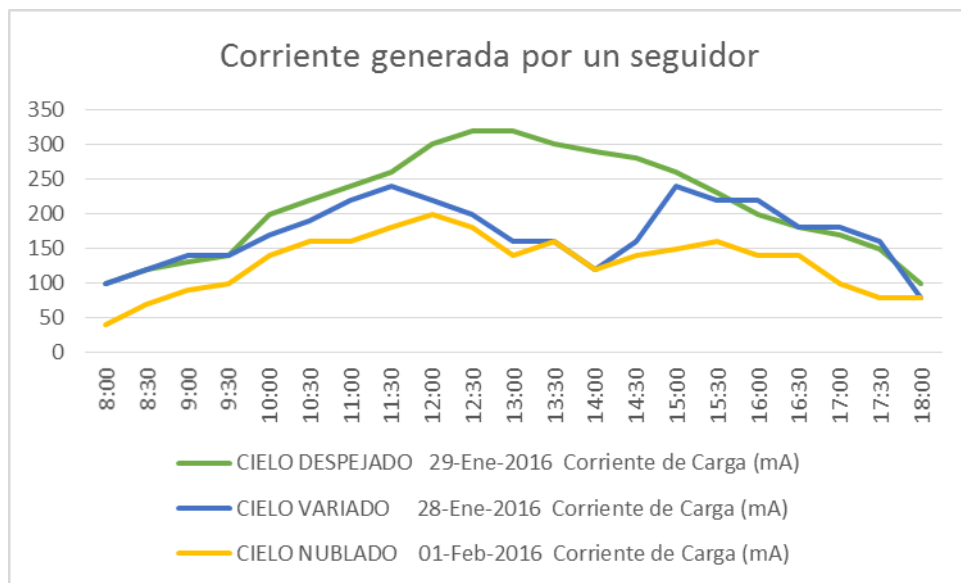


FIGURA 3.9 Curva característica de la corriente en el seguidor solar.

FUENTE: La autora

Siendo el análisis de la FIGURA 3.9 se puede decir que la batería está relacionada con la carga, es decir corriente y voltaje de batería es directamente relacionado a la corriente de carga; y el revisar la tabla 3.4 dan como resultado que los valores altos de corriente se obtienen con un cielo despejado.

La limitación de la corriente ayuda a que la batería tenga más duración, en este caso el límite de corriente es de 400 mA aproximadamente.

En el ANEXO D se tiene una imagen de los datos recopilados de las tablas.

### 3.3. Comparación de los sistemas fijo vs el de seguimiento.

Para determinar qué sistema es el que más energía podemos captar en los paneles, he realizado tablas comparando los días despejados, nublados y los variados, de estas tablas que son: tabla 3.5; tabla 3.6; y la 3.7 que a continuación detallo.

Tabla 3. 5 Comparación de sistemas en un día despejado.

DIA DESPEJADO VOLTAJES		
Hora	SIS, FIJO	SIS, SEGUIDOR
8:00	14	20,09
8:30	15,2	20,88
9:00	19,2	21,01
9:30	19,38	20,58
10:00	19,8	20,97
10:30	19,85	21,39
11:00	19,92	21,14
11:30	20,08	21,17
12:00	20,4	21,34
12:30	20,16	21,18
13:00	20,18	21,34
13:30	20,25	20,95
14:00	20,32	21,01
14:30	20,11	21,16
15:00	20,02	20,64
15:30	19,82	20,35
16:00	19,62	20,04
16:30	19,5	20,51
17:00	19,25	20,23
17:30	19,18	20,08
18:00	19,1	20,02

Fuente: La autora

De la tabla 3.5 obtenemos la FIGURA 3.10

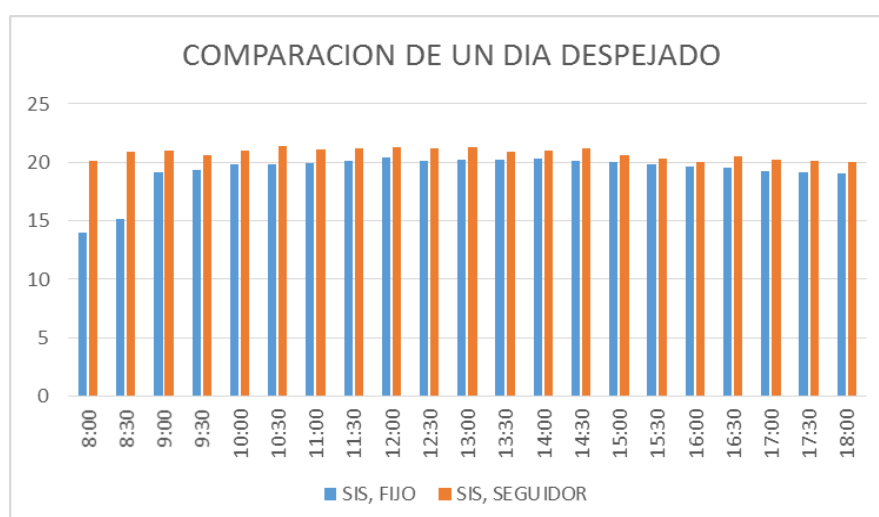


FIGURA 3. 10 Comparación de sistemas en un día fijo

Fuente: La Autora

Tabla 3. 6 Comparación de sistemas en un día nublado

DIA NUBLADO VOLTAJES		
Hora	SIS, FIJO	SIS, SEGUIDOR
8:00	8	17,79
8:30	10,1	18,58
9:00	12,5	18,67
9:30	14,15	18,84
10:00	15,25	18,84
10:30	15,7	18,87
11:00	16,2	18,86
11:30	16,5	17,91
12:00	15,1	18,23
12:30	15,2	18,39
13:00	14,8	19,04
13:30	14,7	18,86
14:00	14,1	18,65
14:30	14,3	18,71
15:00	15,5	18,43
15:30	15,3	18,34
16:00	15,5	18,12
16:30	15,6	19,04
17:00	15,4	19,01
17:30	15,1	18,21
18:00	10	17,93

Fuente: La Autora

De la tabla 3.6 obtenemos la FIGURA 3.11

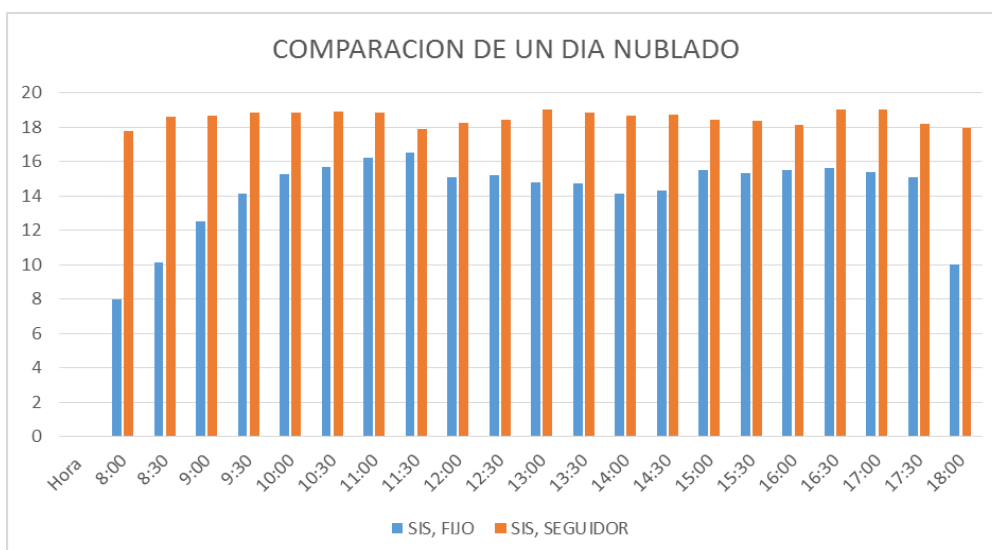


FIGURA 3. 11 Comparación de sistemas de un día Nublado

Fuente: La Autora

Tabla 3. 7 Comparación de sistemas en un día variado

<b>DIA VARIADO VOLTAJES</b>		
<b>Hora</b>	<b>SIS, FIJO</b>	<b>SIS, SEGUIDOR</b>
8:00	13	20,6
8:30	15,5	20,52
9:00	17	20,86
9:30	18,1	19,96
10:00	18,25	20,41
10:30	18,7	20,96
11:00	19,2	20,88
11:30	19,5	20,64
12:00	18,1	19,58
12:30	18,2	20,36
13:00	17,8	20,06
13:30	17,7	19,36
14:00	17,1	19,6
14:30	17,3	20,28
15:00	18,5	21,05
15:30	18,3	20,81
16:00	18,5	19,3
16:30	18,6	20,85
17:00	18,4	20,98
17:30	18,1	20,46
18:00	13	19,85

Fuente: La Autora

De la tabla 3.7 obtenemos la FIGURA 3.12

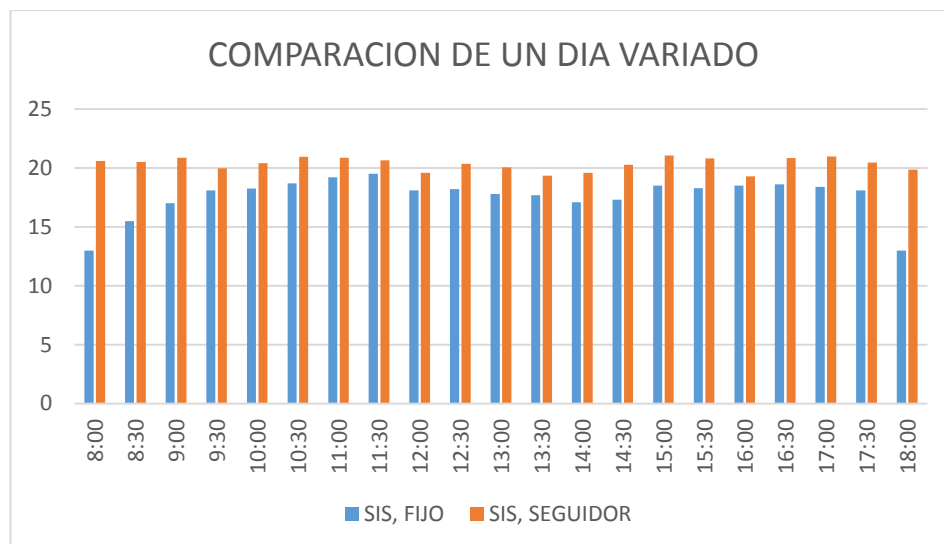


FIGURA 3. 12 Comparación de sistemas en un día variado

Fuente: La Autora

### 3.3.1. Costos de sistemas solares

Los costos de instalación de un sistema solar de sistema fijo son los detallados en la tabla 3.8

Tabla 3. 8 Gastos iniciales de un sistema fijo

GASTOS INICIALES SISTEMA FIJO					
ITEM	EQUIPO	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	BATERIA	BATERIA SELLADA DE 15 PLACAS	1	\$120.00	\$120.00
2	INVERSOR	100 WATT	1	\$70.00	\$70.00
3	REGULADOR	REGULADOR DE CARGA 8 PUNTOS	1	\$130.00	\$130.00
4	SISTEMA DE FIJACION	SOPORTE FIJO	1	\$80.00	\$80.00
5	PANEL FV	SILICIO AMORFO 50W	1	\$120.00	\$120.00
SUB TOTAL					<b>\$520.00</b>
IVA - 12%					<b>\$62.40</b>
TOTAL					<b>\$582.40</b>

Fuente: La Autora

Los costos de instalación de un sistema seguidor son los mostrados en la tabla 3.9.

Tabla 3. 9 Gastos iniciales de un sistema seguidor.

GASTOS INICIALES SISTEMA SEGUIDOR					
ITEM	EQUIPO	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	BATERIA	BATERIA SELLADA DE 15 PLACAS	1	\$120.00	\$120.00
2	INVERSOR	100 WATT	1	\$70.00	\$70.00
3	REGULADOR	REGULADOR DE CARGA 8 PUNTOS	1	\$130.00	\$130.00
4	SISTEMA DE FIJACION	SOPORTE SEGUIDOR BASICO 60X40	1	\$170.00	\$170.00
5	TRAKER AUTOMATICO	CONTROL AUTOMATICO SEGUIDOR	1	\$250.00	\$250.00
6	PANEL FV	SILICIO AMORFO 50W	1	\$120.00	\$120.00
SUB TOTAL					<b>\$860.00</b>
IVA - 12%					<b>\$103.20</b>
TOTAL					<b>\$963.20</b>

Fuente: La Autora

### 3.3.1.1. Comparación sistema fijo vs sistema seguidor

En la tabla 3.10 tenemos la comparación de los costos iniciales en donde notamos que en un 40% aproximado más caro el sistema fijo.

Tabla 3. 10 Comparación de sistemas

COSTOS INICIALES	
SISTEMA FIJO	SEGUIDOR
\$582.40	\$963.20

Fuente: La autora

### 3.3.1.2. Mantenimiento Anual

En la tabla 3.11 tenemos los costos de mantenimientos anuales de donde tenemos de un sistema fijo típico.



Tabla 3. 11 Mantenimiento del sistema fijo

MANTENIMIENTO DE SISTEMA FIJO ANUAL					
ITEM	EQUIPO	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	BATERIA	BATERIA SELLADA DE 15 PLACAS	2	\$120.00	\$240.00
	MANO DE OBRA	CAMBIO DE BATERIA	2	\$30.00	\$60.00
SUB TOTAL					<b>\$300.00</b>
IVA - 12%					<b>\$36.00</b>
TOTAL					<b>\$336.00</b>

Fuente: La Autora

En la tabla 3.12 tenemos los costos de mantenimiento típico del de seguidor

Tabla 3. 12 Mantenimiento sistema seguidor

MANTENIMIENTO DE SISTEMA SEGUIDOR ANUAL					
ITEM	EQUIPO	DESCRIPCION	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	BATERIA	BATERIA SELLADA DE 15 PLACAS	1	\$120.00	\$120.00
	MANTENIMIENTO	MANTENIMIETO DEL SISTEMA MECANICO	1	\$30.00	\$30.00
	MANO DE OBRA	CAMBIO DE BATERIA	1	\$30.00	\$30.00
SUB TOTAL					<b>\$180.00</b>
IVA - 12%					<b>\$21.60</b>
TOTAL					<b>\$201.60</b>

Fuente: La Autora

### 3.3.1.3. Comparación anual de mantenimiento.

En la tabla 3.13 vemos la diferencia de costos de mantenimientos anuales.

Tabla 3. 13 Comparación de mantenimiento

MANTENIMIENTO	
SISTEMA FIJO	SEGUIDOR
\$336.00	\$201.60

Fuente: La Autora

## CAPÍTULO 4

### Conclusiones y recomendaciones

Realizado el análisis y estudio de los dos tipos de sistemas fotovoltaicos, se puede concluir y hacer los respectivos análisis.

#### 4.1. Conclusiones

- ✓ El aprovechamiento del recurso solar en si es el captar la mayor energía posible del sol, y que estos caigan perpendiculares al panel.
- ✓ El análisis demostró que el panel fotovoltaico que use el seguidor solar tendrá una mejor captación de energía y su tendencia es siempre la máxima, en este estudio se observó un rendimiento entre 33-38% al panel solar estático.
- ✓ Se puede aseverar que los sistemas de seguimiento solar son fiables, mejorando los rendimientos energéticos y económicos de un consumidor final. Tal es el caso que se aumenta el tiempo de vida de las baterías.
- ✓ Este análisis determino que la mayor incidencia solar se la tiene desde el mediodía hasta las 2:00 pm.
- ✓ En un día nublado, el sistema busca la intensidad del sol que sea la mayor.
- ✓ Los inversores de corriente son fundamentales, ya que estos estabilizan y dan una mejor respuesta para los circuitos ya sean en DC o en AC.
- ✓ El dimensionamiento del equipo puede soportar una carga de 25 Watt por un tiempo de 3 horas. Además, debido a la constitución del panel el cual está formado de silicio amorfo se aprovecha un 7% de la incidencia total a la superficie.

- ✓ Debido al clima la incidencia solar varia, esto y otros factores como polvo smog etc. Afecta al sistema de carga de las baterías en si su abastecimiento.

(ELECTRICAL4U.COM, 2017) (ELECTRICAL4U.COM, 2017)

#### **4.2. Recomendaciones**

- ✓ El presente trabajo puede ser usado como fuente a consultarse, para impulsar el desarrollo tecnológico de una fuente de energía amigable como lo es los paneles fotovoltaicos.
- ✓ Se recomienda que los programas de usuario deben ser robustos para una mejor captación de la energía, en esta forma se lo podrá visualizar la energía en forma digital y mejorar su funcionalidad.
- ✓ Realizar más captaciones y con paneles de diferentes tipos para tener un patrón de estudio.
- ✓ Al cambiar el panel, es recomendable cambiar la resistencia de carga, teniendo en cuenta la ley de ohm, esta limitara la carga de la batería en el inversor AC – DC y la batería.
- ✓ Se recomienda a la facultad FETD promueva el uso de captación de radiación solar aplicando el uso de los sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar para la comunidad.
- ✓ Se recomienda q los seguimientos solares tenga un mecanismo de mantenimiento para los engranajes para evitar daños prematuros de los equipos y componentes que le conforman.

## Bibliografía

- DISPOSITIVOS LOGICOS MICROPROGRAMABLES*. (2013). Recuperado el 20 de AGOSTO de 2017, de <http://perso.wanadoo.es/pictob/microcr.htm>
- Burga, D. O. (2012). *ARQUITECTURA DEL MICROPROCESADOR*. Recuperado el 20 de AGOSTO de 2017, de <http://arquitecturadelmicroprocesador.blogspot.com/>
- CASTELL, X. E. (2011). *Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad*. MADRID, ESPAÑA: DIAS DE SANTOS S.A.
- CONELEC. (2008). *ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACION ELECTRICA*. QUITO.
- CORONA FOIX, S., & CLOS COSTA, D. (2001). *TEORIA DE MAQUINAS*. BARCELONA: UPC2001.
- E.LORENZO. (2010). *UNIVERSIDAD DE JAEN*. Obtenido de [https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home\\_main\\_frame/02\\_radiacion/01\\_basico/2\\_radiacion\\_01.htm](https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_01.htm)
- EARTH, S. (2017). *SunEarthTools.com*. (N. 2017, Editor) Recuperado el 6 de JULIO de 2017, de <https://www.sunearthtools.com/es/tools/coordinates-latlong-sunpath-map.php>
- ELECTRICAL4U.COM. (2017). *ESTUDIO DE LA INGENIERIA*. Recuperado el 23 de 06 de 2017, de <https://www.electrical4u.com/what-is-a-solar-pv-module/>
- ENERGIZAR. (2017). *ENERGIZAR*. Obtenido de [http://www.energizar.org.ar/energizar\\_desarrollo\\_tecnologico\\_seguidor\\_solar\\_como\\_funciona.html](http://www.energizar.org.ar/energizar_desarrollo_tecnologico_seguidor_solar_como_funciona.html)
- ENERGY, A. (2017). *ALTERNATIVE ENERGY TUTORIALS*. <http://www.alternative-energy-tutorials.com/>.

- ETOOLS. (2017). *E TOOLS*. Recuperado el 9 de JULIO de 2017, de <http://www.electrontools.com/Home/WP/2016/03/09/regulador-de-voltaje-7805/>
- FERNANDEZ - RAÑADA, A. (2015). *LOS MUCHOS ROSTROS DE LA CIENCIA*. OVIEDO: EDICIONES NOVEL, S.A.
- FERNANDEZ, C. M. (2015). *CIENCIAS FISICO QUIMICAS*. Recuperado el 7 de JULIO de 2017, de <https://cienciasfisicascminetti.blogspot.com/2016/04/modelo-atomico-y-los-numeros-cuanticos.html>
- GLOBALEM. (2015). <http://globalem.co/paneles-dias-nublados/>. (H. RESTREPO, Productor) Recuperado el 4 de JULIO de 2017, de Globalem Colombia 2015: Copyright - Globalem Colombia 2015
- GOMEZ, P. R. (2014). *SLIDE SHARE*. Recuperado el 7 de JULIO de 2017, de SLIDE SHARE: <https://es.slideshare.net/geopaloma/biomasa-268650>
- GORI, G. (2017). *E.E.T. 399*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/399montajebobinados/motor-electrico>
- INEN. (2014). *NORMA TECNICA ECUATORIAN*. Obtenido de [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS\\_2014/GAN/12092014/nte\\_inen\\_iso\\_iec\\_62108extracto.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/GAN/12092014/nte_inen_iso_iec_62108extracto.pdf)
- JUAREZ, I. 5., & CORDOVA, V. M. (2008). <http://www.oni.escuelas.edu.ar>. Recuperado el 4 de JULIO de 2017, de IPEM 56 ABRAHAN JUAREZ; VILLA MARIA- CORDOVA: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/radiacionsolar.html>

- JUTGLAR, L. (2004). *ENERGIA SOLAR*. BARCELONA: CEAC.
- Lempereur, G. (2016). Recuperado el 19 de AGOSTO de 2017, de  
<https://matheo.ulg.ac.be/bitstream/2268.2/1641/1/Thesis.pdf>
- MONTIEL, H. P. (2014). *TEMAS SELECTOS DE FISICA*. MEXICO D.F.: GRUPO EDITORIAL PATRIA.
- ORG, P. (2013). BERLIN.  
Oxford University Press. (2017). *DICCIONARIO OXFORD EN ESPAÑOL*.  
Recuperado el 4 de JULIO de 2017, de © 2017 Oxford University Press:  
<https://es.oxforddictionaries.com/definicion/energia>
- QUIMICA, T. E. (2015). *TODO ES QUIMICA*. Recuperado el 9 de JULIO de 2017,  
de <http://apuntesquimica.weebly.com/reacciones-quiacutemicas-y-energia.html>
- RENOVABLES, E. (2017). *ENERGIAS RENOVABLES*. Recuperado el 9 de JULIO de 2017, de <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2015/04/23/baterias-para-energia-solar-fotovoltaica/>
- ROBOTICA, T. P. (2012). *TECNOLOGIA PROGRAMACION Y ROBOTICA*.  
Recuperado el 20 de AGOSTO de 2017, de  
<http://www.tecnosjulio.com/1eso/2012/02/02/relacion-de-transmision/>
- SAIA. (2005). *SOLAR ENERGIA Y ASOCIADOS*. WHASHINTONG DC.
- servomotores, H. (2016). *HEZ servomotores*. Recuperado el 19 de AGOSTO de 2017, de <http://www.hezservomotores.com/partes.html>
- SOLARWEB.NET. (2012). *SOLAR WEB.NET*. Recuperado el 21 de AGOSTO de 2017, de <http://www.solarweb.net/blogs/carlos6025/12-seguidor-solar-2-ejes-eje-vertical-casero.html>

- SOLMETRIC. (2017). *SOLMETRIC*. Obtenido de <http://resources.solmetric.com/get/Photovoltaic%20Energy%20Production.pdf>
- SunEarthTools.com. (2017). *SunEarthTools.com*. (N. 2017, Editor) Recuperado el 6 de JULIO de 2017, de <https://www.sunearthtools.com/es/tools/coordinates-latlong-sunpath-map.php>
- SunFields, E. (2015). *SunFields Europe*. Recuperado el 9 de JULIO de 2017, de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-calculo-paneles-solares-fotovoltaicos/>
- TECHNOLOGY, Y. (2015). *YABER TECHNOLOGY*. Obtenido de YABER TECHNOLOGY: <http://yabertechnology.blogspot.com/>
- TELLO CONDOR, A. (2010). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. (A. F. CÓNDROR, Ed.) Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3887>
- TELLO, A. F. (2010). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. (A. F. CÓNDROR, Ed.) Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3887>
- TenerifE, A. I. (2017). *ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA*. Recuperado el 7 de JULIO de 2017, de Agencia Insular de la Energía de Tenerife: [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189\\_ENERGIA\\_SOLAR\\_FOTOVOLTAICA\\_ITER.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234267189_ENERGIA_SOLAR_FOTOVOLTAICA_ITER.pdf)
- TORIBIO, A. (2016). *DEGER IBERICA*. Obtenido de <http://degeriberica.com/articulo-tecnico-viabilidad-de-la-instalacion-de-seguidores-solares-de-1-eje-respecto-instalaciones-fijas-en-aplicaciones-de-riego-bombeo-solar-y-autoconsumo/>

VILLEDA, G. (2011). *SCIELO*. Obtenido de

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-)

07642011000200011



## ANEXOS

### ANEXO A

#### HOJA TÉCNICA DEL PANELSOLAR

# Paneles solares de 5-20 Vatios

## *Tecnología avanzada de silicio amorfo*

### **Tecnología de confianza**

Free Energy Europe fabrica paneles solares de silicio amorfo fiables y estables. Después de la estabilización inicial, durante los primeros dos meses de uso al aire libre, el panel de silicio amorfo permanecerá estable por décadas.

La vida útil estimada de los paneles de silicio amorfo de tecnología avanzada es de más de 20 años.

### **Más energía**

Las capas solares de amorfo silicio producidas por Free Energy Europe funcionan mejor que las de silicio cristalino en condiciones de luz indirecta o parcial. Los tests han demostrado que el output anual de energía es aproximadamente un 15% mayor por cada Vatio pico de potencia nominal.

### **Rendimiento en el exterior**

El funcionamiento de los paneles solares de silicio amorfo en el exterior depende principalmente de su protección contra la corrosión.

Free Energy Europe aplica un marco de polímero inyectado, que supone una gran barrera contra la corrosión. Esta tecnología única ha sido desarrollada por Free Energy Europe.

*Esta avanzada tecnología en el ensamblaje hace que nuestros productos sean fiables en el exterior.*



### Características principales

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Tecnología de la capa	Unión tandem de Si amorfo	Unión simple de Si amorfo	Unión simple de Si amorfo	Unión simple de Si amorfo
Tecnología de ensamblaje	5ª generación	4ª generación	4ª generación	4ª generación
Encapsulación	Encapsulación cristal-cristal con marco de polímero inyectado			
Vida útil estimada	> 20 años			
Condiciones operacionales	-40 °C hasta +85 °C			

### Parámetros de máxima potencia eléctrica – en Condiciones Estándar de Test\*

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Potencia máxima	19 Vatios-pico	14 Vatios-pico	7 Vatios-pico	5 Vatios-pico
Corriente máxima a 16 V	1.18 Amperios	0.87 Amperios	0.43 Amperios	0.29 Amperios
Corriente de cortocircuito	1.45 Amperios	1.05 Amperios	0.52 Amperios	0.35 Amperios
Voltaje de circuito abierto	22.8 Voltios	22.0 Voltios	22.0 Voltios	22.0 Volts

Los datos se refieren a las Condiciones Estándar de Test, una aproximación a cuando hay irradiación solar plena (ETC: irradiación de 1000W/m<sup>2</sup>, temperatura de la capa de 25 °C espectro de AM 1.5). Los parámetros eléctricos medidos pueden variar ± 10%.

### Parámetros eléctricos estables – en Condiciones Estándar de Test\*

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Potencia pico estable	16 Vatios-pico	12 Vatios-pico	6.0 Vatios-pico	4.0 Vatios-pico
Corriente a 16 V	0.99 Amperios	0.75 Amperios	0.38 Amperios	0.25 Amperios
Corriente de corto circuito	1.22 Ampere	0.90 Ampere	0.45 Ampere	0.30 Ampere
Voltaje de circuito abierto	22.8 Volts	22.0 Volts	22.0 Volts	22.0 Volts

Los datos se refieren a las Condiciones Estándar de Test, una aproximación a cuando hay irradiación solar plena (ETC: irradiación de 1000W/m<sup>2</sup>, temperatura de la capa de 25 °C espectro de AM 1.5). Los parámetros eléctricos medidos pueden variar ± 10%.

### Parámetros eléctricos estables – en Condiciones Medias de Funcionamiento\*

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Potencia pico equivalente	18 Vatios-pico	14 Vatios-pico	6.9 Vatios-pico	4.6 Vatios-pico

Los datos se refieren a la media mensual de irradiación en Holanda, normalizada por la media del funcionamiento de silicio cristalino. Los datos pueden variar ± 10%.

### Coefficientes de temperatura

Voltaje	- 0.29% / °C
Corriente	+ 0.08% / °C
Temperatura operacional de la celda	45 °C (a 800 W/m <sup>2</sup> , temperatura ambiente: 21 °C)

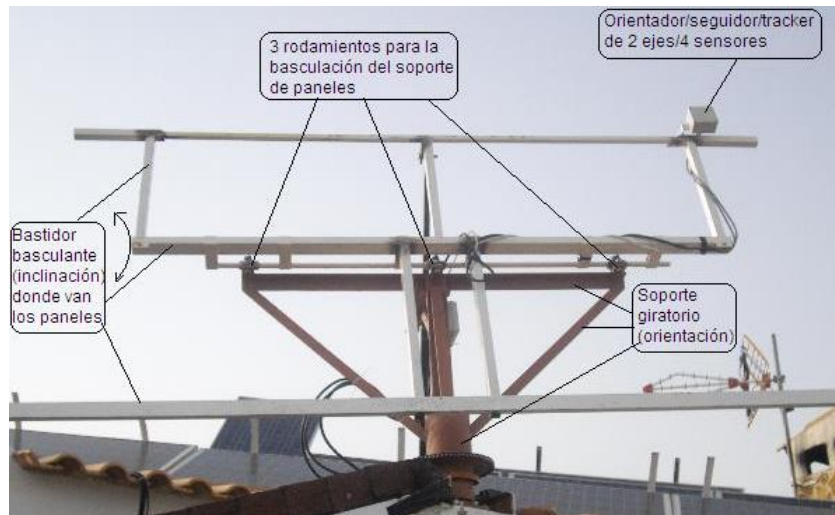
### Dimensiones

Tipo	FEE-20-12	FEE-14-12	FEE-7-12	FEE-5-12
Dimensiones	1015 x 312 mm	930mm x 317 mm	495mm x 317 mm	343mm x 317mm
Crosor	13.9 mm	12.5 mm	12.5 mm	12.5 mm
Peso	4.6 kg.	4.1 kg.	2.1 kg.	1.5 kg.

## ANEXO B

Estudio de estructuras seguimiento de 2 ejes verticales.

En este anexo b se muestra el estudio por medio de imágenes de la estructura de un seguidor solar de 2 ejes con eje central.



ANEXO B. 1 Estructura del seguidor visto de frente

FUENTE: (SOLARWEB.NET, 2012)



ANEXO B. 2 Mecanismo Basculante

FUENTE: (SOLARWEB.NET, 2012)

En las siguientes figuras se observa el sistema de sujeción de 8 pernos y tuercas de 16 mm, los cuales anclan a la estructura de hormigón.



ANEXO B. 3 Sistema de anclaje

FUENTE: (SOLARWEB.NET, 2012)

Consta de un pilar giratorio de hierro de 150mm de diámetro, con dos rodamientos de 60mm diámetro interior. En el interior de los rodamientos un anclaje de tubo de 1 cm de espesor, unido a un disco de freno delantero por medio de soldadura.

El disco es el que sujeta a la estructura de hormigón por medio de los pernos o espárragos.

El eje lleva soldada una corona de unos 30cm diámetro donde engrana una cadena de 1/2", que es la que le transmite el movimiento circular para conseguir la orientación del seguidor.

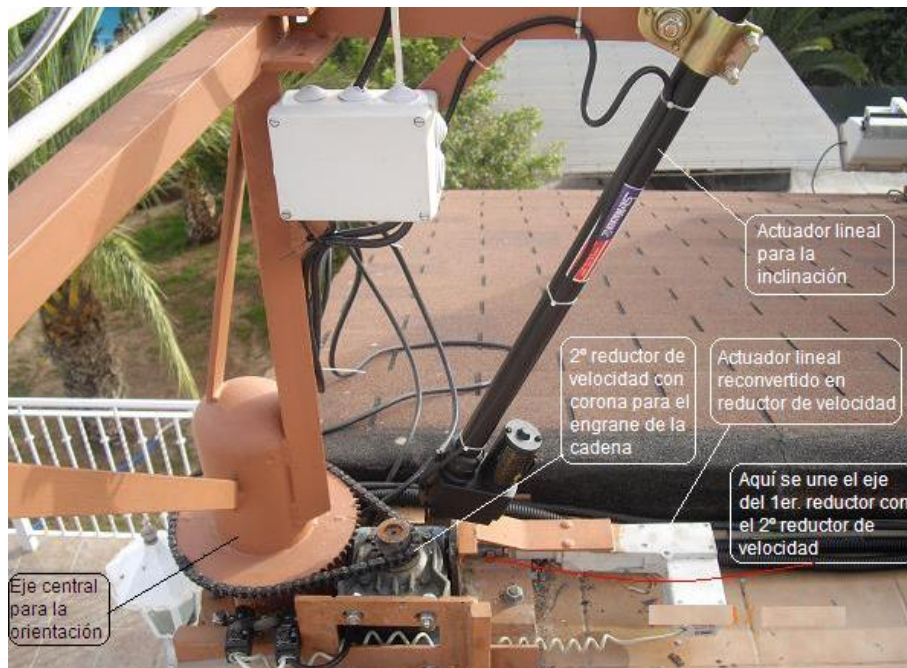
En estas fotos se puede ver el actuador lineal para la inclinación del bastidor. Para el movimiento de orientación, se hace uso de un pequeño actuador lineal, reconvertido en un reductor de velocidad. Este reductor ataca el eje primario de otro reductor de velocidad industrial.

Y éste a su vez, por medio de un pequeño piñón y una cadena, transmite el movimiento de giro a la corona de mucho mayor diámetro y a su vez a todo el



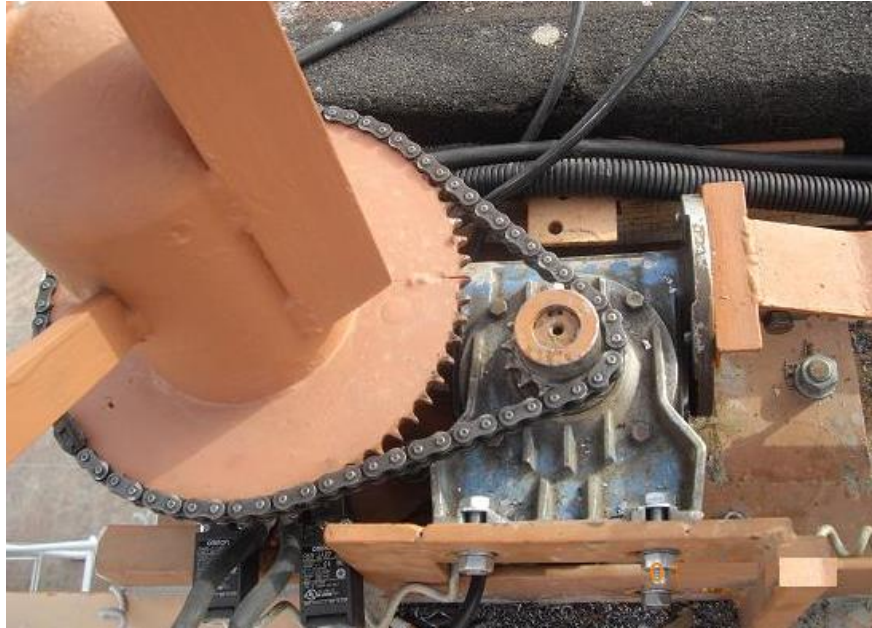
conjunto del seguidor. En total tres fases de reducción de la velocidad, llegando a una velocidad angular de 360° (1revolución) en 2 minutos aprox.

También se puede ver los 2 finales de carrera o switches, que aseguran que el seguidor no gire más de 1 revolución ya que sería contraproducente para los cables que parten del seguidor hacia la instalación (cables de control y potencia). En teoría, el orientador o tracker solar, no lo debería permitir, pero cabe la posibilidad de que ocurra. Para controlar la inclinación, el propio actuador de 24" ya lleva incorporados los switches que limitan la basculación. Estos switches también son regulables.



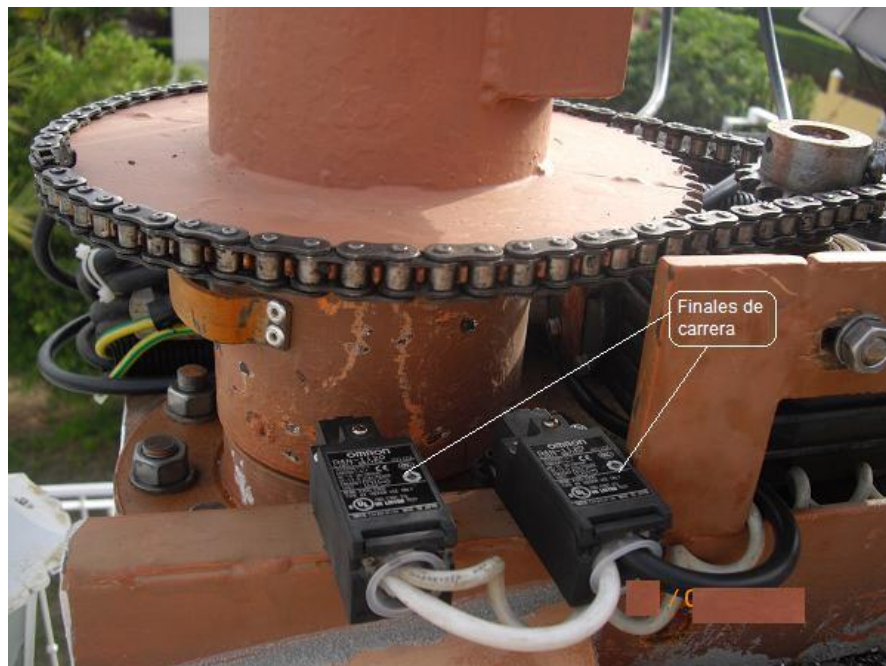
ANEXO B. 4 Sistema de ejes y engranajes.

FUENTE: (SOLARWEB.NET, 2012)



ANEXO B. 5 Engranaje conectado al eje conector

FUENTE: (SOLARWEB.NET, 2012)



ANEXO B. 6 Finales de carrera

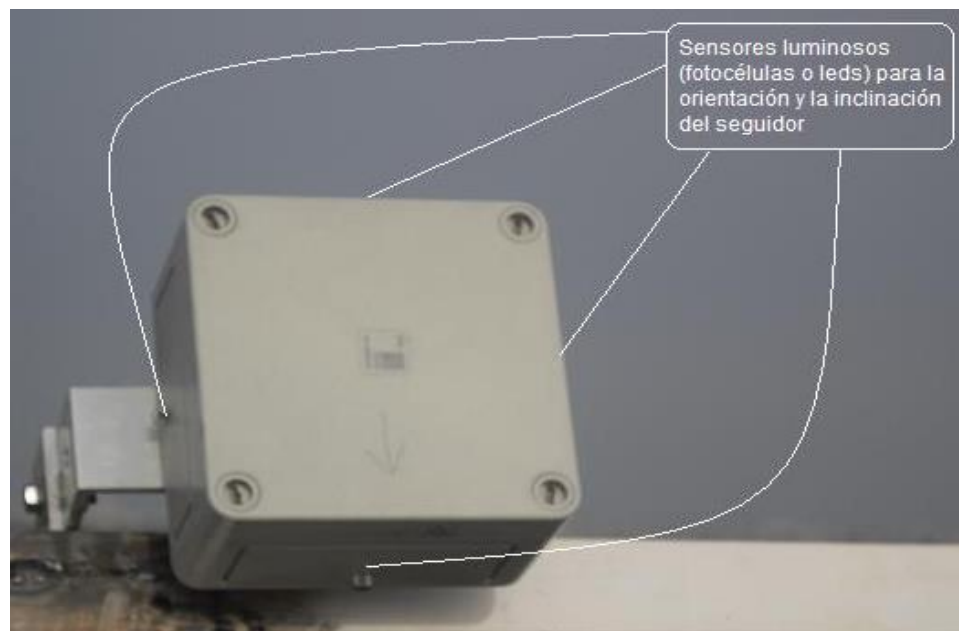
FUENTE (SOLARWEB.NET, 2012)



ANEXO B. 7 Sistema de rodamientos

FUENTE: (SOLARWEB.NET, 2012)

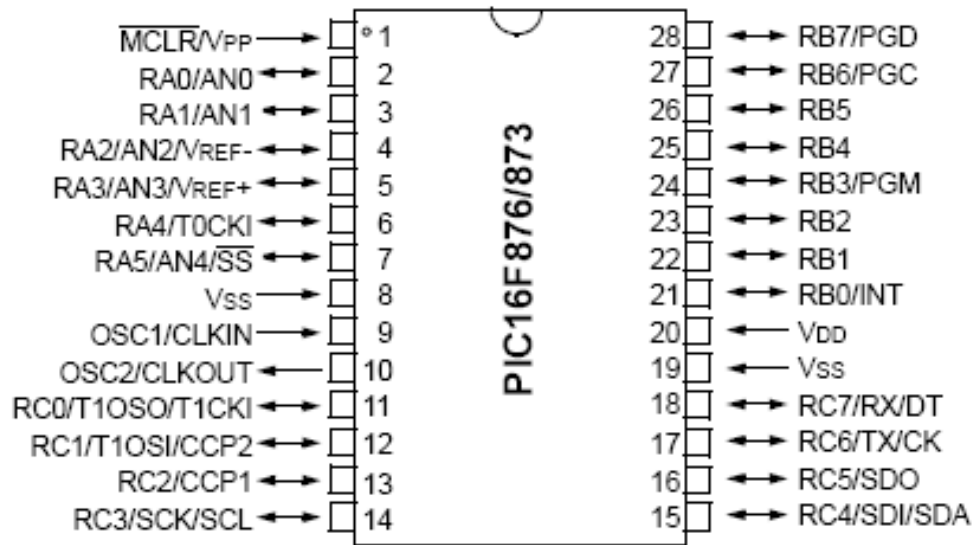
En el seguidor solar, se encuentra 4 sensores, 2 de inclinación y 2 de orientación. Esto ayuda a los microcontroladores con las señales para después proceder con las órdenes de posicionamiento de los paneles y la tendencia a la perpendicularidad del de los rayos solares.



ANEXO B. 8 Sensor luminosidad

FUENTE: (SOLARWEB.NET, 2012)

## ANEXO C





## DESCRIPCION DEL PIC 16F876/873

NOMBRE DEL PIN	# PIN	DESCRIPCIÓN
OSC1/CLKIN	9	Entrada oscilador de cristal / Entrada de reloj externo
OSC2/CLKOUT	10	Salida oscilador de cristal / Conectar un cristal o circuito resonante en modo oscilador de cristal. En modo RC, el pin OSC2 es una salida con una frecuencia de 1/4 de la frecuencia de OSC1 que indica el rango de los ciclos de instrucción.
MCLR/V <sub>pp</sub>	1	Master Clear (Reinicio general) este pin es una entrada que se activa en nivel bajo para reiniciar el micro.
RA0/AN0	2	Puerto A bidireccional I/O. RA0 puede también ser Input0 analógica.
RA1/AN1	3	RA1 puede también ser Input1 analógica. RA2 puede
RA2/AN2/VREF-	4	también ser Input2 analógica o una referencia de voltaje analógico negativo. RA3 puede también ser
RA3/AN3/V <sub>REF+</sub>	5	Input3 analógica o una referencia de voltaje analógico positivo.
RA4/T0CKI	6	RA4 puede también ser una entrada de reloj para el módulo Timer0. Esta salida es de drenaje abierto. RA5 puede también
RA5/SS/AN4	7	ser Input4 analógica o una opción esclava para sincronizar el puerto serial.
RB0/INT		Puerto B bidireccional I/O. RB0 puede también ser un pin de interrupción externo.
RB1		
RB2		
RB3/PGM		RB3 puede también ser una entrada de programación de voltaje bajo. Pin de interrupción por flanco.
RB4		Pin de interrupción por flanco.
RB5		Pin de interrupción por flanco o pin de puesta a punto.
RB6/PGC		Programación de reloj serial.
RB7/PGD		Pin de interrupción por flanco o pin de puesta a punto. Datos de programación serial.
RC0/T1OSO/T1CKI		Puerto C bidireccional I/O RC0 puede también ser Salida de oscilador de Timer1 o entrada de reloj.
RC1/T1OSI/CCP2		RC1 puede también ser entrada de oscilador de Timer1 o Captura2 entrada/Comparación2, salida/PWM2.
RC2/CCP1		RC2 puede también ser Captura1 entrada/Comparación1, salida/PWM1.
RC3/SCK/SCL		RC3 puede también ser reloj serial sincrónico I/O para modos SPI y I <sup>2</sup> C.
RC4/SDI/SDA		RC4 puede también ser entrada de datos SPI (modo
RC5/SDO		SPI) o data I/O (modo I <sup>2</sup> C).
RC6/TX/CK		RC6 puede también ser salida de datos SPI (modo SPI). RC6 puede también ser transmisor asincrónico en modo serial o reloj sincrónico.
RC7/RX/DT		RC7 puede también ser receptor asincrónico en modo serial o datos sincrónicos.
V <sub>SS</sub>	3, 19	Tierra de referencia
VDD	20	Alimentación positiva

## ANEXO D

### Mediciones de Voltaje del Panel con Cielo Nublado Efectuadas con el Multímetro Pro'sKit 3PK-343

Digital Multimeter Report					
NOTITLE.DAT					Date/Time: 28/01/2010 18:15:19
NO	FUNC	DATA	UNIT	TIME	
1	DC	14.86	V	10:19:13	
2	DC	14.51	V	10:21:13	
3	DC	14.62	V	10:23:13	
4	DC	14.54	V	10:25:13	
5	DC	14.52	V	10:27:13	
6	DC	14.52	V	10:29:13	
7	DC	16.13	V	10:31:13	
8	DC	15.11	V	10:33:13	
9	DC	15.99	V	10:35:13	
10	DC	14.95	V	10:37:13	
11	DC	14.32	V	10:39:13	
12	DC	14.37	V	10:41:13	
13	DC	14.49	V	10:43:13	
14	DC	14.61	V	10:45:13	
15	DC	16.03	V	10:47:13	
16	DC	15.91	V	10:49:13	
17	DC	15.85	V	10:51:13	
18	DC	15.75	V	10:53:13	
19	DC	15.77	V	10:55:13	
20	DC	15.71	V	10:57:13	
21	DC	15.71	V	10:59:13	
22	DC	15.75	V	11:01:13	
23	DC	15.79	V	11:03:13	
24	DC	15.81	V	11:05:13	
25	DC	14.49	V	11:07:13	
26	DC	14.83	V	11:09:13	
27	DC	14.82	V	11:11:13	
28	DC	16.06	V	11:13:13	
29	DC	14.52	V	11:15:13	
30	DC	14.62	V	11:17:13	
31	DC	16.03	V	11:19:13	
32	DC	15.89	V	11:21:13	
33	DC	15.83	V	11:23:13	
34	DC	15.82	V	11:25:13	
35	DC	15.95	V	11:27:13	
36	DC	14.45	V	11:29:13	
37	DC	14.48	V	11:31:13	
38	DC	14.65	V	11:33:13	
39	DC	15.73	V	11:35:13	
40	DC	16.06	V	11:37:13	
41	DC	14.69	V	11:39:13	
42	DC	14.68	V	11:41:13	
43	DC	15.23	V	11:43:13	
44	DC	16.06	V	11:45:13	

**Mediciones de Voltaje del Panel – Cielo Nublado Efectuadas con el Multímetro Pro´sKit 3PK-343**

**Digital Multimeter Report**

NOTITLE.DAT Date/Time:28/01/2010 18:15:19

NO	FUNC	DATA	UNIT	TIME
265	DC	13.62	V	17:49:10
266	DC	13.61	V	17:50:10
267	DC	13.60	V	17:51:10
268	DC	13.56	V	17:52:10
269	DC	13.49	V	17:53:10
270	DC	13.40	V	17:54:10
271	DC	13.27	V	17:55:10
272	DC	13.19	V	17:56:10
273	DC	13.14	V	17:57:10
274	DC	13.08	V	17:58:10
275	DC	12.92	V	17:59:10
276	DC	12.61	V	18:00:10
277	DC	12.09	V	18:01:10
278	DC	11.59	V	18:02:10
279	DC	11.43	V	18:03:10
280	DC	11.38	V	18:04:10
281	DC	11.34	V	18:05:10
282	DC	11.28	V	18:06:10
283	DC	11.21	V	18:07:10
284	DC	11.09	V	18:08:10
285	DC	10.87	V	18:09:09
286	DC	10.82	V	18:09:24
287	DC	10.09	V	18:09:39
288	DC	11.08	V	18:09:54
289	DC	11.02	V	18:10:09
290	DC	10.95	V	18:10:24
291	DC	10.88	V	18:10:39
292	DC	10.80	V	18:10:54
293	DC	10.72	V	18:11:09
294	DC	10.63	V	18:11:24
295	DC	10.57	V	18:11:39
296	DC	10.49	V	18:11:54
297	DC	10.43	V	18:12:09
298	DC	10.35	V	18:12:24
299	DC	10.30	V	18:12:39
300	DC	10.24	V	18:12:54
301	DC	10.19	V	18:13:09
302	DC	10.15	V	18:13:24



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Viasney Margarita Vélez Ureta** con C.C: 0929289445 autora del Trabajo de Titulación: **Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar** previo a la obtención del título de **Ingeniero En Eléctrico - Mecánico Con Mención En Gestión Empresarial Industrial** 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, 22 de septiembre de 2017

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

Nombre: VIASNEY MARGARITA VÉLEZ URETA

C.C: 0929289445

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

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

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar		
<b>AUTOR(ES)</b>	Viasney Margarita Vélez Ureta		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Luis Orlando, Philco Asqui		
<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 – Mecánico		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero En Eléctrico - Mecánico Con Mención En Gestión Empresarial Industrial		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	22 de Septiembre de 2017	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	80
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Generación Eléctrica, Energías Renovables		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Radiación solar; panel fotovoltaico; energía; seguidor solar; batería; captación.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT:</b> El presente trabajo de titulación es un análisis tecnológico de energía limpia y amigable, en los impactos ambientales y culturales. Este proceso de la tecnología ha llevado a la búsqueda de energías limpias y renovables, fáciles de obtener, las cuales no alteren el ecosistema. La búsqueda de estas energías ha sido un factor determinante en el estudio de mejorar la calidad de estas energías y de esta forma explotar la matriz energética mundial y en particular la ecuatoriana, en el que se pretende realizar un comparativo de los sistemas fotovoltaicos fijos vs los sistemas fotovoltaicos con seguimiento solar, para determinar el sistema que mejor aprovecha la captación de la energía solar. La recopilación documentada de captación de energía por los paneles fotovoltaicos, y la comparación de estos sistemas, tantos fijos y seguidor solar, nos da en si los antecedentes y el problema en si del estudio que es “Análisis y evaluación de la captación de energía solar en paneles fotovoltaicos convencionales y con seguimiento solar”, y con esto un aporte al estudio de la diversidad en la matriz energética productiva del país, basándonos en energía amigables mediante paneles solares.			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	SI	NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-979362848 +593-991438585-2022891	E-mail: <a href="mailto:viasney_1990@hotmail.com">viasney_1990@hotmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> M. Sc Luis Philco Asqui		
	<b>Teléfono:</b> +042- 202935 Ext 107		
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:Luis.pilco@cu.ucsg.edu.ec">Luis.pilco@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>			