

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA TRADICIONAL DE PANEL SOLAR  
DE PEQUEÑA ESCALA UBICADO EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA**

**RAUL ALEXANDER CHONA SUAREZ**

**JHONNYS MIGUEL ROBLES CERVANTES**



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA  
BARRANQUILLA ATLÁNTICO**

**2013**

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA TRADICIONAL DE PANEL SOLAR  
DE PEQUEÑA ESCALA UBICADO EN LA CIUDAD DE BARRANQUILLA**

**RAUL ALEXANDER CHONA SUAREZ**

**JHONNYS MIGUEL ROBLES CERVANTES**

**Tesis de grado para optar al título de INGENIERO MECÁNICO opción de  
grado II**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**MSC ING. KHRISCIA UTRIA**

**ASESOR METODOLÓGICO:**

**MSC ING. KHRISCIA UTRIA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA**

**BARRANQUILLA ATLÁNTICO**

**2014**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

**Barranquilla, Febrero de 2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

“No basta saber, se debe también aplicar. No es suficiente querer, se debe también hacer.”

Johann Wolfgang Goethe

"La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica."

Aristóteles

### **A la universidad**

En especial al programa de Ingeniería Mecánica y a su director el ingeniero Armando Robledo, por brindarnos un espacio en la universidad para hacer la toma de datos de nuestro proyecto y facilitarnos los permisos permitirnos crecer profesionalmente.

### **A nuestros asesores**

A la ingeniera Khiscia Utria y a la ingeniera Katty Cantero, por compartir su conocimiento y sabiduría con paciencia durante el desarrollo de nuestro proyecto.

A todos los que de una manera u otra intervinieron en la realización del proyecto para que éste se hiciera realidad, muchas gracias por su apoyo que gracias a Dios hoy se ve culminado porque contribuyeron a su realización.

### **A los profesores**

Porque en cada uno de ellos encontramos apoyo intelectual, moral y personal y en ocasiones más que profesores encontramos amigos.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
3. JUSTIFICACION.....	16
4. OBJETIVOS.....	18
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5. ANTECEDENTES.....	19
6. ESTADO DEL ARTE.....	21
7. MARCO TEÓRICO.....	23
7.1 EL SOL COMO FUENTE ENERGÉTICA.....	23
7.2 COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	24
7.2.1 Redición solar directa.....	24
7.3 PRINCIPIOS DE CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA.....	26
7.4 LA CÉLULA FOTO VOLTAICA.....	27
7.5 ESTRUCTURA DE LA CELDA.....	30
7.6 EL PANEL FOTOVOLTAICO.....	32
7.6.1 Estructura de los paneles solares.....	32
7.7 BATERÍAS.....	33
7.7.1 Tipos de baterías.....	35
7.7.1.1 Baterías de plomo-acido.....	36
7.7.1.2 Baterías de Níquel-cadmio.....	37
7.7.2 Capacidad.....	39
7.8 REGULADORES DE CARGA.....	39
7.9 CÉLULAS DE SILICIO CRISTALINO.....	41
7.9.1 Silicio monocristalino.....	41
7.9.2 Las Células de Silicio Monocristalino.....	42

7.9.3 Silicio Policristalino. ....	45
7.10 ARSENIURO DE GALIO.....	46
7.11 DISTRIBUCIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA .....	47
7.12 LA ENERGÍA A NIVEL MUNDIAL .....	48
7.12.1 Los Recursos Energéticos.....	48
7.12.1.1 Carbón. ....	49
7.12.1.2 Petróleo. ....	49
7.12.1.3 Gas Natural. ....	49
7.12.1.4 Uranio. ....	50
7.12.1.5 Energías Renovables. ....	50
7.13 EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	51
7.13.1 Anemómetros. ....	51
7.13.1.1 Para qué se utiliza el anemómetro. ....	51
7.13.1.2 Tipos de anemómetros. ....	52
7.13.2 Multímetro. ....	54
8. METODOLOGIA.....	55
8.1 FASE UNO ANALIZAR.....	55
8.2 FASE DOS DEFINIR .....	55
8.3 FASE TRES APLICAR.....	55
8.4 FASE CUATRO CONCLUIR .....	56
9. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO. ....	58
9.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	63
9.2 ANÁLISIS GRÁFICO .....	72
10. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA. ....	74
CONCLUSIONES. ....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	79

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 Rango anual de disponibilidad de energía solar por regiones	46
Tabla 2 Potencial de las energías renovables	48
Tabla 3 Potencial de las energías no renovables	48
Tabla 4 Descripción del anemómetro	49
Tabla 5 Datos del Panel	58
Tabla 6 Angulo (0) vs Hora (10)	59
Tabla 7 Angulo (0) vs Hora (12)	60
Tabla 8 Angulo (0) vs Hora (14)	60
Tabla 9 Angulo (30) vs Hora (10)	61
Tabla 10 Angulo (30) vs Hora (12)	62
Tabla 11 Angulo (30) vs Hora (14)	63
Tabla 12 Angulo (60) vs Hora (10)	63
Tabla 13 Angulo (60) vs Hora (12)	64
Tabla 14 Angulo (60) vs Hora (14)	65

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1 Componentes de la radiación solar	25
Figura 2 Principios de conversión fotovoltaica	26
Figura 3 Creación de un panel solar	28
Figura 4 Estructuro del silicio monocristalino	28
Figura 5 Estructuro del silicio policristalino	29
Figura 6 Silicio amorfo	29
Figura 7 Silicio amorfo hidrogenado	29
Figura 8 Estructura de la celda	30
Figura 9 Panel fotovoltaico	32
Figura 10 Batería	33
Figura 11 Partes de una batería de plomo-acido	35
Figura 12 Regulador de carga	39
Figura 13 Célula de silicio cristalino	40
Figura 14 Las células de silicio monocristalino	42
Figura 15 Silicio policristalino	43
Figura 16 Anemómetro	51
Figura 17 Multímetro	52

## LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1 Voltaje Vs Angulo del panel Solar	56
Grafica 2 Voltaje Vs Hora del día	57
Grafica 3 Voltaje (Angulo 0 vs Hora 10)	59
Grafica 4 Voltaje (Angulo 0 vs Hora 12)	60
Grafica 5 Voltaje (Angulo 0 vs Hora 14)	61
Grafica 6 Voltaje (Angulo 30 vs Hora 10)	62
Grafica 7 Voltaje (Angulo 30 vs Hora 12)	62
Grafica 8 Voltaje (Angulo 30 vs Hora 14)	63
Grafica 9 Voltaje (Angulo 60 vs Hora 10)	64
Grafica 10 Voltaje (Angulo 60 vs Hora 12)	64
Grafico 11 Voltaje (Angulo 60vs Hora 14)	65
Grafico 12 Punto Máximo	66
Grafica 13 Punto Mínimo	67

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A Cotización Preliminar	76
Anexo B Cronograma	77
Anexo C Fotos del panel en los distintos ángulos	78

## INTRODUCCION.

Solo las fuentes de energía que explotan recursos renovables, como el viento, la biomasa, la geotermia o el sol, son inagotables a escala humana. Además, pueden cubrir toda la demanda de energía mundial: la irradiación solar, en una hora, deja en la superficie terrestre tanta energía como la humanidad consume en un año<sup>1</sup>.

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable que más desarrollo está experimentando en los últimos años y con mayores expectativas para el futuro. Cada año el sol arroja 4000 veces más energía que la que se consume, lo que demuestra que esta fuente energética está aún minimizada y poco explotada en relación a sus posibilidades. El aprovechamiento de la energía solar consiste en captar por medio de diferentes tecnologías la radiación del sol que llega a la tierra con el fin de emplear esa energía para diferentes usos, como calentar agua, generar electricidad, etc.

La utilización de paneles solares con celdas fotovoltaica es una forma de ahorrar energía en los hogares a nivel mundial. Gracias a la ubicación de Barranquilla y la latitud del departamento se puede aprovechar la radiación del sol para convertirlo en energía, y utilizarlas para el mejoramiento del bienestar de los hogares en Barranquilla ya que será un diseño experimental de un sistema tradicional de paneles solares de pequeña escala, donde se identificara o se manipulara las

---

<sup>1</sup>Marcelo Romero Tous, Energía solar fotovoltaica, Barcelona, Ediciones CEAC, 2010, Página 24

variables que vincula a este diseño para poder establecer la eficiencia del sistema.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los cambios climáticos severos causados por los gases de efectos invernadero, dañan la capa de ozono y el medio ambiente de forma irreversible, una de las causas es el consumo excesivo de hidrocarburo para la generación de energía eléctrica, ya que cuando estos minerales son quemados se forman gases como son  $CO_2$  Y  $CO$ , estos gases salen a temperaturas altas y suben directamente a la atmósfera, causando el deterioro de la atmósfera. Por medio de las investigaciones que se llevaron a cabo por la empresa petrolera Ecopetrol, se han dado cuenta que los recursos naturales no renovables se están agotando, ya que estos recursos son aquellos cuya velocidad de regeneración es nula para la percepción humana por qué se necesita millones de años para su formación. Estas materias son de gran importancia en la actualidad, entre las aplicaciones tenemos el funcionamiento de las grandes y pequeñas empresas. Estos minerales son el carbón, petróleo y el gas natural, esto hace que se busque otras formas de energías alternativas que sean limpias y amigables con el medio ambiente. Otra razón que causa el calentamiento global es la deforestación debido a que hay menos árboles que puedan capturar el  $CO_2$  Y  $CO$ , que hay en el ambiente.

Por este motivo se ha tomado la iniciativa de buscar soluciones energéticas usando recursos naturales renovables, estos recursos no se agotan con su utilización, debido a que vuelven a su estado original, una forma de energía alternativa puede ser la energía solar, para reducir el consumo de hidrocarburos en la generación de energía eléctrica.

La energía solar es en la actualidad uno de los métodos más limpios de producción de energía conocida. Los paneles solares es uno de los métodos más simples de convertir la energía del sol en energía eléctrica, sin que en esta transformación se produzcan subproductos peligrosos para el medio ambiente. La radiación solar que recibe la tierra varía entre los 1367W/m<sup>2</sup>. Estas condiciones pueden cambiar dependiendo del clima

En la actualidad se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre cómo aprovechar la luz del sol como una fuente de energías alternativas, para utilizar su potencial, aprovecharlo y convertirlo en electricidad, pero aún no sean implementados estas tecnologías de forma macro.

Por esta razón se debe pretender satisfacer a través de un análisis esta problemática para contribuir con las soluciones, en el desarrollo de energías alternativas y amigas del ambiente, capaces de ayudar con la problemática que enfrentan muchas comunidades rurales, dado que son las más afectadas por los problemas de energía.<sup>2</sup>

El estudio de estos sistemas fotovoltaicos traerá como beneficio el acceso a energía para comunidades que por su localización, sea muy difícil tener energía eléctrica, el impulso de estos paneles solares convendría ya que su implementación es relativamente económica dado su enorme beneficio para el desarrollo de la calidad de vida de comunidades sin capacidad de acceder a redes eléctricas.

---

<sup>2</sup>Ingeniería sin fronteras, Madrid Instituto de estudios políticos para América latina y África, Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo, Madrid 1999, Página 21

## 2. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuáles son las variables que inciden en el desempeño térmico de un sistema de paneles solares de pequeña escala?

¿Qué capacidad tendrá los paneles solares para generar energía eléctrica de acuerdo a distintas configuración de operación?

¿Cuáles es la condición óptima que contribuye un sistema de paneles solares de pequeña escala para un mejor desempeño?

### 3. JUSTIFICACION.

La contaminación del medio ambiente y la mala utilización de la energía causada por «algunas empresas de Barranquilla y hogares» obligan a redescubrir el sol como opción viable para la obtención de energía en la ciudad de Barranquilla. Este recurso energético limpio, gratuito e inagotable, es una alternativa energética para el proceso de emancipación de la sociedad de los recursos energéticos fósiles como es el caso del petróleo, gas y el carbón, estas son la principal fuente de energía en Colombia y están agotándose vertiginosamente.

El creciente uso de energías renovables para satisfacer la demanda energética de muchas ciudades, ha impulsado la investigación de nuevos sistemas que permitan aumentar la generación de voltaje con la utilización de un panel solar fotovoltaico, frente a este caso es partidario ahondar en formas de aprovechar las energías renovables como posible solución a la falta de energía para ciertas comunidades con difícil acceso a redes eléctricas.

Esta clase de estudios vislumbra un nuevo camino hacia el desarrollo de nuevas alternativas energéticas mucho más amigables con el medio ambiente, que representará enormes beneficios a comunidades que se encuentren alejadas de cualquier red eléctrica convencional.

Este proyecto es importante ya que se estudiarán las variables que puedan influir significativamente en la eficiencia energética del panel solar fotovoltaico, en las diferentes horas del día y con distintos ángulos de posición del panel solar, para estudiar la posición más conveniente para la generación óptima de voltaje en la ciudad de Barranquilla. La cantidad de radiación solar depende de las siguientes

condiciones: geográficas (Latitud, Exposición, Inclinación del Suelo); Atmosféricas (Atmósfera (Nubosidad) Partículas en Suspensión (naturales y antrópicas). Debido a las condiciones geográficas y climatológicas con que cuenta la ciudad de Barranquilla con niveles de radiación solar altos, es factible la realización de estos estudios para contribuir a la disminución de la contaminación del medio ambiente causado por empresas que utilizan combustibles no renovables y la oportunidad de llevar energía limpia a comunidades sin acceso a la electricidad.

## **4. OBJETIVOS.**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar un sistema de paneles solares de pequeña escala con el fin de medir el voltaje generado, manipulando las variables significativas que incide en el sistema.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las variables relativas en un sistema de paneles solares de pequeña escala combinando el rango de operación del sistema.
- Diseñar el experimento de pequeña escala para manipular las variables o factores que se obtienen en este sistema.
- Determinar los puntos óptimos mínimo y máximo de operación del sistema.

## 5. ANTECEDENTES.

El uso de la energía solar se puede remontar a épocas muy antiguas donde por sí misma la agricultura no podría concebirse sin la utilización constante la energía emanada del sol, pero siendo más específicos y considerando el uso de la energía solar mediante mecanismos más elaborados podríamos remontarnos a el año 212 A.C. cuando Arquímedes atacó mediante un rayo de luz a una flota romana en Siracusa quemando algunas de sus naves.

También se puede hacer referencia al uso de la energía o luz solar en calendarios, o instrumento para calcular el tiempo.

Fue el físico francés Edmond Becquerel el descubridor del llamado efecto fotovoltaico en 1839, aunque este importante descubrimiento se mantuvo inexplorado en el olvido por los siguientes 75 años. A la edad de sólo 19 años Becquerel descubrió que algunos materiales generaban pequeñas cantidades de corriente eléctrica cuando se exponían a la luz.

Después fue Heinrich Hertz quien estudió el efecto en los sólidos en 1870, fabricando celdas fotovoltaicas que transformaban la luz en electricidad con una eficiencia de 1% al 2%.

Estas celdas de Selenio tuvieron sus primeras aplicaciones en el área militar a finales del siglo IXX, cuando aún no se investigaban las comunicaciones inalámbricas por radio, ya que se utilizaban sistemas de comunicaciones que usaban reflectores de luz y la clave Morse para comunicarse.

En 1940 se desarrolló el procedimiento Czochralski que permitió generar cristales de silicio de alta pureza. En 1954 los Laboratorios Bell utilizaron esta nueva

técnica de producir cristales para fabricar una celda de silicio con un 4% de eficiencia.<sup>3</sup>

En el 2002 por ejemplo, Japón instaló 25,000 paneles solares en los techos de las casas. Debido a esto el precio de los paneles solares cayó conforme la demanda crecía. Hasta el día de hoy la energía solar crece a un modesto ritmo del 30%.

Si bien ha habido avances en materia solar, sus fundamentos siguen siendo los mismos. Los rayos solares son atrapados y después convertidos en electricidad.<sup>4</sup>

1981 Se instala en Jeddah, Arabia Saudita, una planta desalinizadora por ósmosis-inversa abastecida por un sistema Fotovoltaico de 8-kW.

1982 La producción mundial de EFV supera los 9.3 MW. Entra en funcionamiento la planta ARCO Solar Hesperia en California de 1-MW.

1983 La producción mundial de EFV supera los 21.3 MW, y las ventas superan los 250 millones de dólares. El Solar Trek, un vehículo alimentado por EFV con 1 kW atraviesa Australia; 4000 km en menos de 27 días. La velocidad Max es 72 km/h, y la media 24 km/h. ARCO Solar construye una planta de EFV de 6-MW en California, en una extensión de 120 acres; conectado a la red eléctrica general suministra energía para 2000-2500 casas.<sup>5</sup>

---

<sup>3</sup> Almada, Castro, Orquera, Velloso. "Energía Solar". [en línea], disponible en: <http://www.suministrosolar.com/historiadelaenergiasolar> (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:18 am)

<sup>4</sup> DForce. La historia de la energía solar. [En línea], disponibles en: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2009/02/12/la-historia-de-la-energia-solar/> (último acceso 5 de diciembre de 2012 10:30 am)

<sup>5</sup>Ibídem

## 6. ESTADO DEL ARTE.

Un equipo de científicos liderado por la Universidad de Princeton ha logrado un aumento de nada menos que un 47 por ciento en la generación de electricidad a partir flexibles células solares plásticas, simplemente texturizar la superficie para imitar las arrugas de una hoja típica. La biomimética enfoque ha dado lugar a una solución de bajo costo y elegante para polímeros de células solares, que son relativamente baratos de fabricar, pero no empacar el golpe eficiencia de las células solares de silicio típicos.<sup>6</sup>

Colombia- Se implementará programa piloto para dotar de calentadores solares a próximas viviendas de interés prioritario a construir en Bogotá. La secretaria Distrital de Ambiente de la ciudad de Bogotá, Susana Muhamad, anunció que las secretarías de ambiente y habitabilidad están trabajando en un proyecto para dotar de energía solar a un conjunto de viviendas de interés prioritario que se proyectan construir en el denominado centro ampliado de la ciudad. La tecnología a usarse, según la información facilitada, sería la de los calentadores solares. Estos captan la luz solar para transformarla en calor con el que calentar agua para uso sanitario. De esta forma se evita la quema de combustibles para el mismo fin, lo que trae aparejado un ahorro de dinero y de contaminantes.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup>Universidad de Princeton. Yueh-LinLoo. "Powerhouse Solar Celular Inspirado por LeafBiomimicry". [en línea], disponible en: <http://cleantechnica.com/2012/04/28/plastic-solar-cell-inspired-by-leaf-biomimicry/> (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:26 pm)

<sup>7</sup>Secretaria distrital de Bogotá. Susana Muhamad. 20 de Septiembre de 2012 "Colombia- Se implementará programa piloto para dotar de calentadores solares a próximas viviendas de interés prioritario a construir en Bogotá. [en línea], disponible en: ["http://www.sitiosolar.com/NOTICIAS/Se%20implementara%20programa%20piloto%20calentadores%20solares%20en%20Bogota.htm](http://www.sitiosolar.com/NOTICIAS/Se%20implementara%20programa%20piloto%20calentadores%20solares%20en%20Bogota.htm) (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:26 pm)

Colombia- Desarrollan un prototipo de deshidratador con energía solar para el secado de productos agrícolas. Investigadores de la ciudad de Pereira en Colombia, han desarrollado un prototipo para la deshidratación de productos agrícolas como el café, el plátano, la guadua, plantas aromáticas y otros.

El objetivo de este programa denominado “Helios” es aprovechar la inocua, económica y limpia energía solar para la deshidratación de productos agrícolas, con la idea que de que en el futuro se puedan remplazar los actuales sistemas empleados para tal fin. Estos sistemas utilizados actualmente utilizan colectores que contienen tubos fluorescentes los cuales con el tiempo liberan sustancias tóxicas, como el plomo, altamente perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup>LÓPEZ, Emilio, 03 de septiembre de 2012. “Desarrollan prototipo de hidratación con energía solar para el secado de café, guadua y productos agrícolas” [en línea], disponible en: <http://www.dicyt.com/noticias/desarrollan-prototipo-de-hidratacion-con-energia-solar-para-el-secado-de-cafe-gadua-y-productos-agricolas> (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:26 pm)

## 7. MARCO TEÓRICO.

### 7.1 EL SOL COMO FUENTE ENERGÉTICA

El sol es la estrella más próxima a la Tierra. Tiene un radio de unos 700.000 km y una masa de  $2 \times 10^{30}$  Kg, unas 330.000 veces la de la Tierra. A su alrededor giran los planetas del sistema solar, aunque el concentra el 99% de la masa del mismo. Su densidad es  $1,41 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ . La temperatura de su superficie ronda los  $6.000^\circ\text{C}$ , aunque es algo menor en las manchas solares (alrededor de los  $4.800^\circ\text{C}$ ). Las manchas solares tienen una gran influencia en nuestro clima. Cerca del centro la temperatura es de más de  $15.000.000^\circ\text{C}$  y la densidad es unas 120 veces mayor que en la superficie. En esta zona se alcanzan presiones de 250.000 millones de atmosferas. Los gases del núcleo están comprimidos hasta una densidad 150 veces la del agua.

La fuente de toda la energía del sol se encuentra en el núcleo. Debido las condiciones extremas de presión y temperatura en su interior, tienen lugar reacciones nucleares de fusión. En estas, cuatro átomos de hidrógeno se combinan para convertirse en un átomo de helio. La masa del átomo de helio es 0,7% menor que la masa de los cuatro átomos de hidrogeno. Esa masa que falta es lo que se convierte en energía que, en forma de rayos gamma, se expande desde el núcleo hacia la superficie en los primeros 500.000 km de espesor de la esfera solar por radiación, ahí alcanza la zona en que el transporte es ya por convección y que permite a los fotones, después de un largo viaje de miles de años alcanzar la superficie solar.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup>SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010, pág. 11

## 7.2 COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR

Como se ha referido, el sol es una poderosa fuente de energía. Esa energía solar que nos llega a la tierra puede ser transformada en energía eléctrica en un proceso denominado efecto fotovoltaico (FV) en células o celdas solares que se montan en paneles, como veremos a continuación. Según como Llegue la luz solar a la superficie de la tierra, podemos clasificar la radiación en Tres tipos diferentes: directa, dispersa o difusa y albedo.

**7.2.1 Radiación solar directa.** Es la que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso. La radiación solar viaja en línea recta, pero los gases y partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. Esto explica que un área con sombra o pieza sin luz solar está iluminada: le llega luz difusa o radiación difusa.

Los gases de la atmósfera dispersan más efectivamente las longitudes de onda más cortas (violeta y azul) que las longitudes de onda más largas (naranja y rojo). Esto explica el color azul del cielo y los colores rojo y naranja del amanecer y atardecer. Cuando amanece o anochece, la radiación solar recorre un mayor espesor de atmósfera y la luz azul y violeta es dispersada hacia el espacio exterior, pasando mayor cantidad de luz roja y naranja hacia la Tierra, lo que da el color del cielo a esas horas.

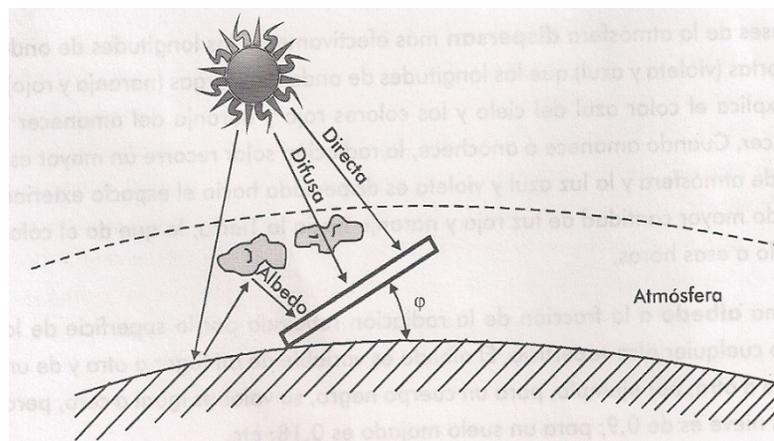
Se llama albedo a la fracción de la radiación reflejada por la superficie de la tierra o cualquier otra superficie. El albedo es variable de un lugar a otro y de un instante a otro, por ejemplo, para un cuerpo negro, su valor es igual a cero, pero para la nieve es de 0,9; para un suelo mojado es 0,18; etc.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

- De las condiciones meteorológicas: en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad mientras que en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total.
- De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal: una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa -si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie- y la mínima reflejada. Al aumentar la inclinación de la superficie de captación disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada.
- De la presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

Para concretar, decir que la radiación total que incide sobre una superficie inclinada corresponde a la suma de las tres componentes de la radiación.<sup>10</sup>

Figura 1. Componentes de la radiación solar



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

<sup>10</sup> Ibídem. Pág. 19

### 7.3 PRINCIPIOS DE CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA

Los semiconductores son utilizados en la fabricación de las celdas solares porque la energía que liga a los electrones de valencia al nucleó es similar a la energía que poseen los fotones que constituyen la luz solar. Por lo tanto, cuando la luz solar incide sobre el semiconductor (generalmente silicio), sus fotones suministran la cantidad de energía necesaria a los electrones de valencia para que se rompan los enlaces y queden libres para circular por el material. Por cada electrón que se libera, aparece un hueco. Dichos huecos se comportan como partículas con carga positiva (+). Cuando en el semiconductor se generan pares electrón-hueco debido a la absorción de la luz, se dice que hay una foto generación de portadores de carga negativos y positivos, los cuales contribuyen a disminuir la resistencia eléctrica del material. Este es el principio básico de operación de las fotorresistencias.

Cuando la radiación luminosa en forma de fotones es absorbida por los semiconductores se generan, en exceso de su concentración en equilibrio, pares de portadores de carga eléctrica, electrones y huecos, los cuales deben de ser separados para poder usar la energía que cada uno representa. Estos portadores, generados por la energía de los fotones, viajan bajo un gradiente de concentración hacia la unión en donde son separados por efecto del campo eléctrico. Esta separación envía electrones foto generados a la capa n y huecos foto generados a la capa p, creándose una diferencia de potencial entre las superficies superior e inferior de las capas.<sup>11</sup>

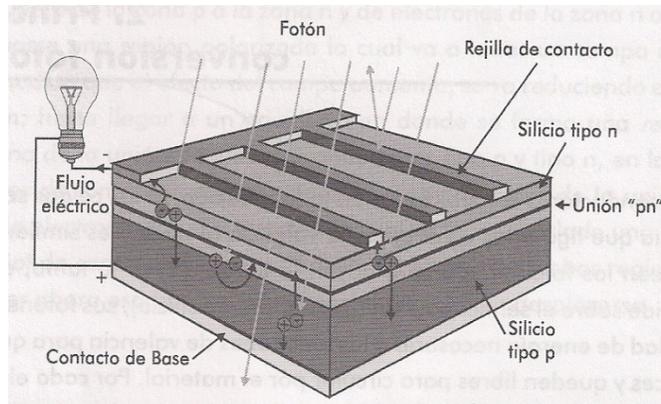
La acumulación de cargos en las superficies del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico que se puede medir externamente. La unidad de medición es el voltio. Este voltaje foto generado es lo que se conoce como **efecto fotovoltaico**.

---

<sup>11</sup> Ibídem. Pág. 37

Si se establece un circuito eléctrico externo entre las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él regresando a su posición inicial. Este flujo de electrones forma lo que se llama una corriente foto generada o fotovoltaica (FV).<sup>12</sup>

Figura 2. Principios de conversión fotovoltaica



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

## 7.4 LA CÉLULA FOTO VOLTAICA

Para aprovechar en forma de energía eléctrica, la energía que llega a la tierra en forma de radiación solar, se emplean unos dispositivos llamados paneles solares. El material que se emplee para su fabricación debe ser especialmente sensible a la radiación de la luz solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrican.

Con dicho material (sensible a la radiación solar) se construyen las celdas solares. Físicamente, una célula solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a decenas de cm<sup>2</sup>. La mayor parte

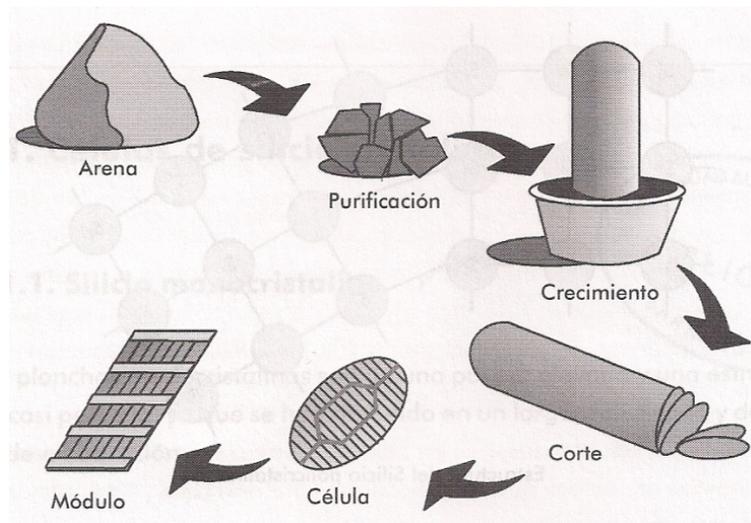
---

<sup>12</sup> Ibídem. Pág. 38

de las células solares que se comercializan en la actualidad son de silicio. Es un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena (dióxido de silicio, SiO<sub>2</sub>). En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es la base de los microchips.

Las células o celdas solares se fabrican a partir de planchas de este material. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35 mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm<sup>2</sup>. El proceso de fabricación varía según las cualidades que se quieran obtener (rendimiento, flexibilidad, económica): a más pureza, más altos son los costos, para una calidad que no va a suponer un incremento sustancial del rendimiento.<sup>13</sup>

Figura 3. Creación de un panel solar

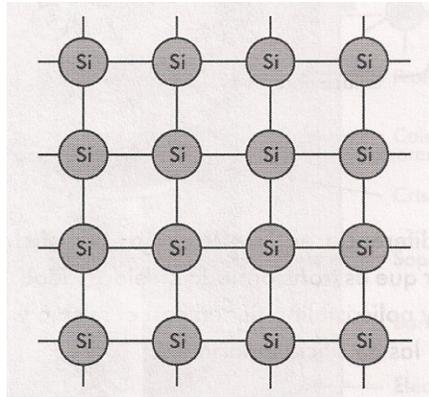


Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

<sup>13</sup> Ibídem. Pág. 40

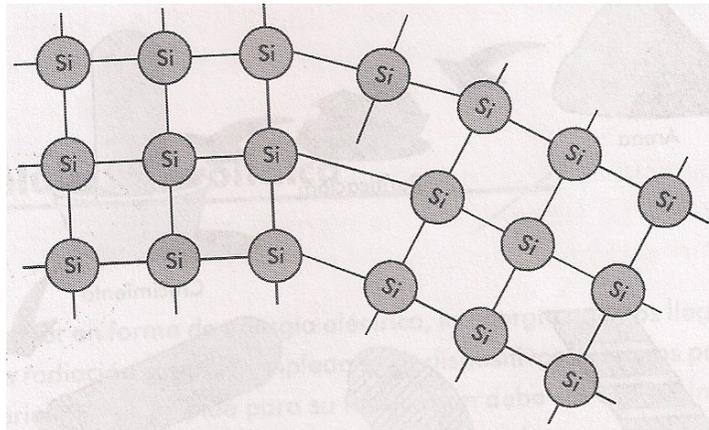
Las celdas solares de silicio pueden constituirse de **crisales monocristalino**, **Policristalino** o de **silicio amorfo**. La diferencia entre ellas radica en la forma como están dispuestos los átomos de silicio en la estructura cristalina: es la estructura cristalina la que hace que tengan características diferentes.<sup>14</sup>

Figura 4. Estructuro del silicio monocristalino



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

Figura 5. Estructuro del silicio policristalino

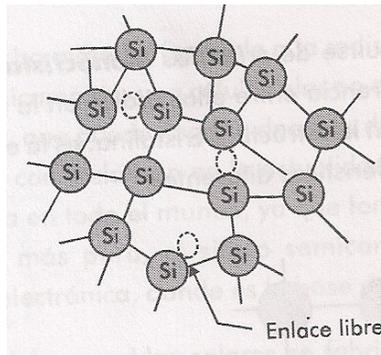


Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

---

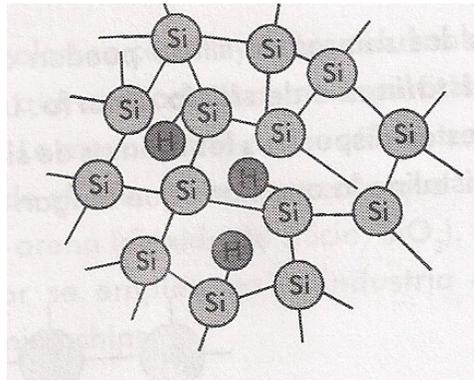
<sup>14</sup> Ibídem. Pág. 41

Figura 6. Silicio amorfo



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

Figura 7. Silicio amorfo hidrogenado



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

Existe, además, una diferencia en la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalino y policristalino tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo.<sup>15</sup>

## 7.5 ESTRUCTURA DE LA CELDA

Una celda solar típica está compuesta de capas. Primero hay una capa de contacto posterior que se logra evaporando o pintando con metal la plancha y que suele

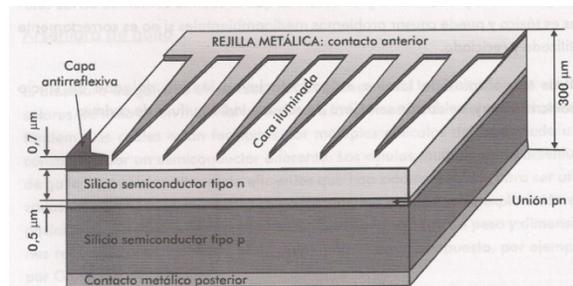
---

<sup>15</sup>Ibidem. pág. 42

cubrirla totalmente, luego van las dos capas de silicio (que crean la unión p-n). En la parte superior se encuentran los contactos de metal frontales con una capa de anti reflexión, que da a la celda solar su típico color azul o negro, estos forman solamente un patrón en forma de rejilla o de líneas finas de metal, ya que de otra manera el metal impediría que la radiación solar llegara al silicio y no habría ninguna respuesta a los fotones de la luz incidente.

Ambos lados de una celda solar están eléctricamente conectados por un cable. Una corriente fluirá en el momento en que el fotón es absorbido. La celda solar genera, entonces, electricidad, que puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en una batería.<sup>16</sup>

Figura 8. Estructura de la celda



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

Una típica célula fotovoltaica de silicio monocristalino de 100 cm<sup>2</sup> producirá cerca de 1,5 vatios de energía a 0,5 voltios de CC y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (1.000 W/m<sup>2</sup>). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol (por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida también será disminuida a la mitad).<sup>17</sup>

<sup>16</sup> Ibídem. pág. 52

<sup>17</sup> Ibídem. Pág. 53

## 7.6 EL PANEL FOTOVOLTAICO

Los módulos o paneles solares son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico, y su misión es captar la energía solar incidente para generar una corriente eléctrica. Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica ya que proporcionan valores de tensión y corriente muy pequeños, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales. Son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y carecen de soporte mecánico; por eso, una vez fabricadas, deben ser ensambladas de la manera adecuada para constituir una estructura Única, rígida y hermética: el **panel fotovoltaico**.

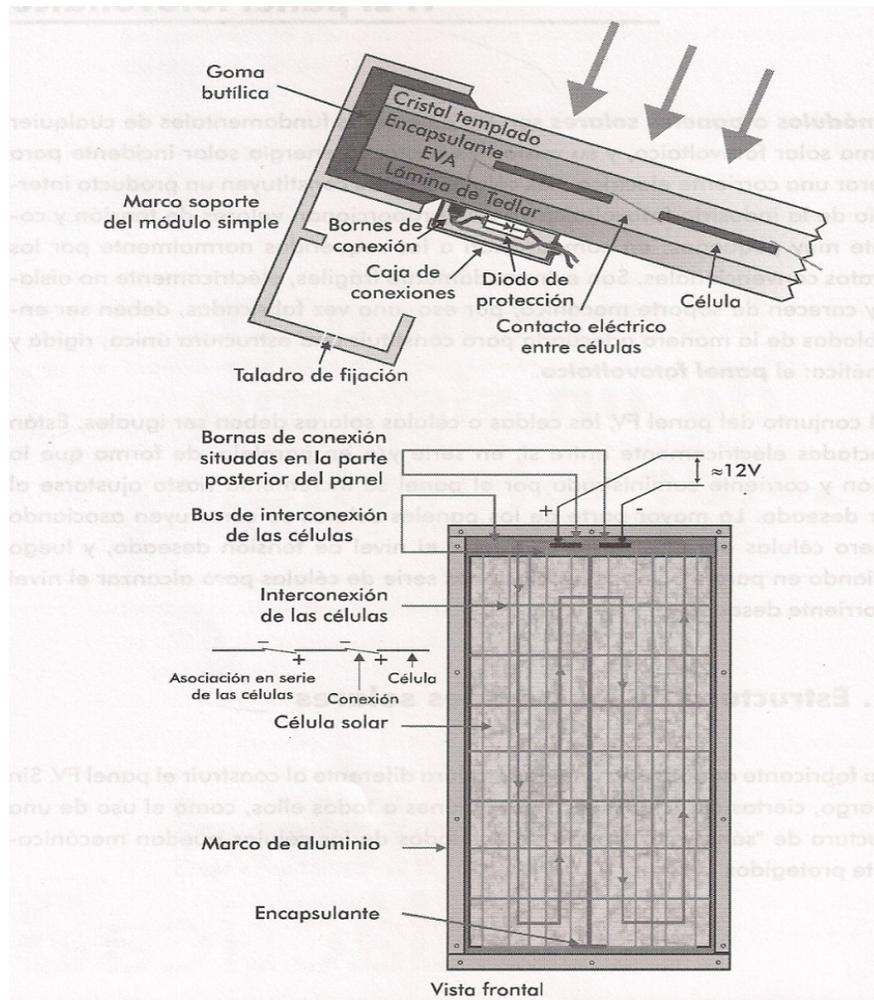
En el conjunto del panel FV, las celdas o células solares deben ser iguales. Están conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado.<sup>18</sup>

**7.6.1 Estructura de los paneles solares.** Cada fabricante adopta una empaquetadura diferente al construir el panel FV. Sin embargo, ciertas características son común a todos ellos, como el uso de una estructura de "sándwich", donde ambos lados de las células quedan mecánicamente protegidos. Los paneles solares están formados por los siguientes elementos: cubierta frontal, material encapsulante, células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, cubierta posterior, y marco metálico otros elementos que pueden llegar a formar parte del sistema son mecanismos de seguimiento y

---

<sup>18</sup> Ibídem. Pág. 59

Figura 9. Panel fotovoltaico



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

## 7.7 BATERÍAS

Las baterías (o acumuladores), sirven para acumular la energía que los paneles generan diariamente, y así poderla usar en horas donde la energía consumida es

<sup>19</sup> Ibídem. Pág. 59

superior a la generada, como sucede de noche. Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos. Además, el acumulador proporciona un volt\* estable y constante independiente de las condiciones de incidencia luminosa, que puede ser lo más adecuado para el funcionamiento de los aparatos eléctricos.<sup>20</sup>

Figura 10. Batería



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

Al acumulador que ha de ser usado para aplicaciones solares se le debe exigir el cumplimiento de unas condiciones básicas, como son:

- Aceptar todas las corrientes de carga que suministre el panel solar.
- Mantenimiento nulo o mínima.
- Fácil transporte e instalación.
- Baja auto descarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

Una batería está constituida por uno o varios elementos electroquímicos capaces

---

<sup>20</sup> Ibídem. Pág. 73

de transformar una energía potencial química en energía eléctrica. Cuando las reacciones químicas que se producen son irreversibles, la batería puede usarse solo una vez y recibe el nombre de primaria (por ejemplo, las pilas). Si las reacciones químicas son reversibles y se puede recargar el elemento convirtiendo la energía eléctrica en química, la batería es denominada secundaria (por ejemplo, las baterías propiamente dichas).

Las baterías se componen esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen las reacciones químicas en los procesos de carga o descarga.

**7.7.1 Tipos de baterías.** Se encuentran diferentes tipos de baterías en el mercado, pero fundamentalmente se pueden hacer dos grandes grupos: las de níquel-cadmio (Ni-Cd) y las de plomo-acido. Las primeras presentan unas cualidades excepcionales, pero debido a su elevado precio se usan con menos frecuencia.

Por el contrario, las baterías de plomo-acido en sus diferentes versiones son las más usadas para las aplicaciones solares, adaptándose a cualquier corriente de carga, teniendo un precio razonable.<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> Ibídem. Pág. 74

**7.7.1.1 Baterías de plomo-acido.** Este tipo de baterías se aplican ampliamente en los sistemas de generación fotovoltaicos. Más del 90% del mercado corresponde a este tipo de baterías, que en general, y siempre que puedan realizarse un mantenimiento. Son las que mejor se adaptan a los sistemas de generación fotovoltaica. Están compuestas por dos electrodos inmersos en un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua. El electrolito puede estar en el recipiente en forma de líquido o de gel. Los dos electrolitos son uno de dióxido de plomo (ánodo) y otro de plomo metálico (cátodo).

Existen varios tipos, siendo las de plomo-antimonio (Pb-Sb) y plomo-calcio (Pb-Ca) las más comunes.<sup>22</sup>

Composición de una batería solar de Pb-acido

En términos simples la batería de plomo-acido se compone de los siguientes elementos:<sup>23</sup>

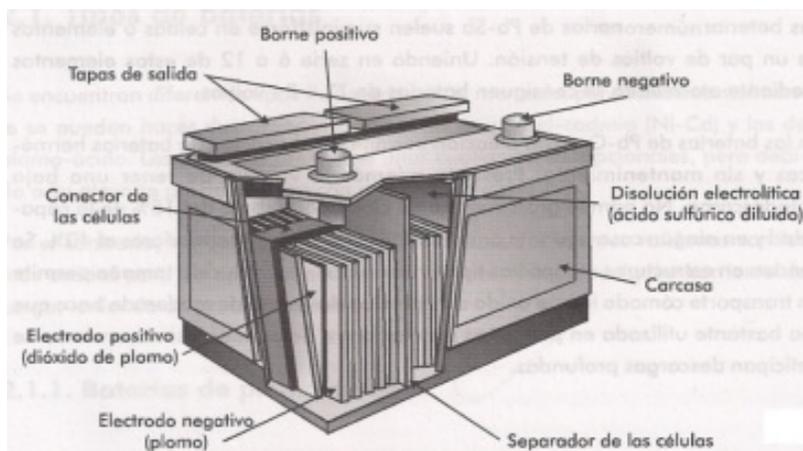
- Placa positiva construida con óxido de plomo (PbO<sub>2</sub>).
- Placa negativa formada por plomo esponjoso.
- Separadores, que tiene como fin separar las placas evitando el contacto eléctrico.
- Electrolito, formado por ácido sulfúrico diluido en agua.
- Carcasa, construida de material plástico (polietileno o propileno, normalmente) y que está encargada de contener los anteriores elementos.
- Terminales de conexión.

---

<sup>22</sup>Ibíd. Pág. 74

<sup>23</sup> Javier María Méndez, Rafael Cuervo García; ECA, Instituto de Tecnología y formación, *Energía solar fotovoltaica*, Madrid; 2 Ed, FC Editorial, Página 107

Figura 11. Partes de una batería de plomo-acido



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

**7.7.1.2 Baterías de Níquel-cadmio.** Las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) o alcalinas, tienen una estructura física similar a las de plomo-acido. Las placas son de acero inoxidable, con depresión es donde se coloca el material activo, y en lugar de plomo, se utiliza hidróxido de níquel para las placas positivas y Oxido de cadmio para las negativas. El electrolito es hidróxido de potasio, que forma parte del proceso químico como conductor, y que suele ser una disolución acuosa al 20%. Se requiere una fina capa de aceite en la superficie superior para evitar su oxidación por el oxígeno del ambiente.

Durante la descarga el oxígeno pasa de la placa positiva a la negativa, dando lugar a Oxido de cadmio. Es durante la carga cuando el oxígeno vuelve a pasar de la placa negativa a la positiva.

El electrolito juega un papel de mero conductor, motivo por el que apenas sufre, todo lo contrario que en las baterías de plomo, no siendo peligroso, ya que no es ácido y además no produce el típico fenómeno de la sulfatación.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> SÁNCHEZ MAZA, Miguel Ángel. Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010, Pág. 80

Las materias activas se encuentran en las placas en forma de polvo, contenidas en bolsas de fleje de acero perforado. Las placas positivas y negativas están separadas de tal forma, que las burbujas de gas que se desprenden al final de la descarga ascienden libremente a lo largo de la placa ejerciendo una libre circulación del electrolito, lo que evita la formación de puentes entre las placas, que son la causa de su cortocircuito.

Las baterías de níquel-cadmio están diseñadas específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. El voltaje nominal de un elemento de batería de Ni-Cd es de 1,2 V, en lugar de los 2 V de los elementos de batería de plomo-acido. Las baterías de Ni-Cd aguantan procesos de congelación y descongelación sin ningún efecto sobre su comportamiento. Las altas temperaturas tienen menos incidencia que en las de plomo-acido. Los valores de auto descarga oscilan entre 3 y 6% al mes.

Les afectan menos las sobrecargas. Pueden descargarse totalmente sin sufrir daños. Su capacidad para aceptar un ciclo de carga es independiente de la temperatura.

El costo de una batería de Ni-Cd es mucho más elevado que el de una de plomo acido; no obstante tiene un mantenimiento mes bajo y una vida mes largo, por lo que, en ciertas aplicaciones, su costo por ciclo de vida útil puede resultar mes bajo. Esto las hace aconsejables para lugares aislados o de acceso peligroso. Las baterías de Ni-Cd no pueden probarse con la misma fiabilidad que las de plomo-acido. Por tanto, si es necesario controlar el estado de carga, las baterías de Ni-Cd no son la mejor opción.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> Ibídem. Pág. 81

**7.7.2 Capacidad.** Es la cantidad de energía que puede suministrar la batería en unas determinadas condiciones de trabajo. Se expresa en amperios-hora (Ah). La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. Teóricamente una batería de 200 Ah puede suministrar 200 A durante una hora, o 50 A durante 4 horas, etc. Pero existen factores que pueden hacer variar la capacidad de la batería. En general si la batería se descarga a un nivel más lento, su capacidad aumenta ligeramente, si el ritmo es más rápido la capacidad se reducirá. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 h. También al igual que para módulos solares puede definirse el voltaje de circuito abierto y el voltaje en carga. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12, 24 V, aunque siempre varíe durante los distintos procesos de operación.

Es importante el voltaje de carga, que es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado. La capacidad se ve influenciada por la temperatura de la batería y la de su ambiente. Si una batería se cataloga a una temperatura de 25 grados, temperaturas más bajas reducen su capacidad significativamente, y las temperaturas más altas provocarían un ligero aumento de su capacidad, pero esto último puede incrementar la pérdida de agua, disminuyendo así el número de ciclos de vida de la batería.<sup>26</sup>

## **7.8 REGULADORES DE CARGA**

Teniendo en cuenta que la energía solar es variable y estacional, es de suma importancia disponer de un elemento que permite controlar la relación que establecen batería y generador FV. Supongamos que el consumo es fijo durante todos los días del año. Cuando se calcula el número de módulos solares

---

<sup>26</sup> *Ibidem*. Pág. 82

necesarios, se hace tomando como base la radiación invernal para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, ya que esa es la peor época.

Pero cuando llega el verano, el valor de la radiación puede duplicarse, por lo que la producción será el doble de la calculada para el invierno, mientras el consumo es el mismo. Si no existiera un sistema regulador, se produciría un exceso de corriente que sería capaz de hacer hervir el electrolito con la consiguiente pérdida de agua y deterioro del grupo acumulador, al no estar limitada la tensión.<sup>27</sup>

El regulador o controlador de carga, es el equipo que se encarga de gestionar el consumo directo de las placas, las baterías, y la carga de estas evitando sobrecargas o descargas profundas, alargando así su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga. Los reguladores se instalan entre el sistema generador y las baterías, tomando de estas la energía para su funcionamiento.

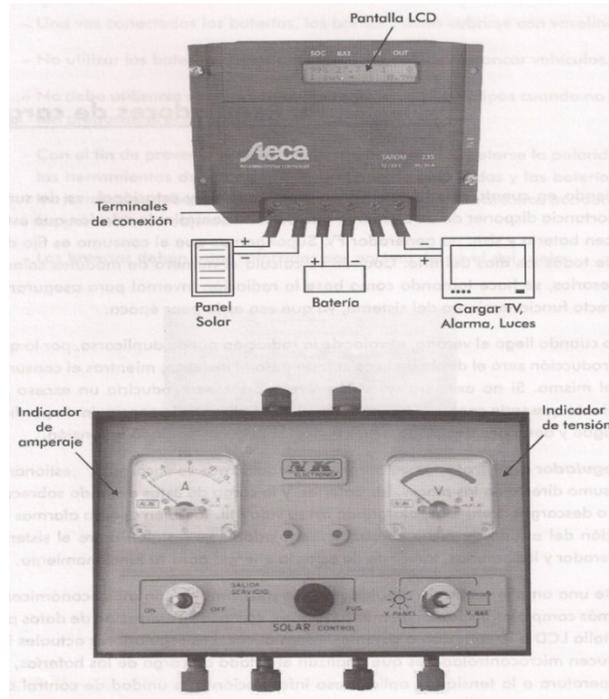
Existe una amplia gama de reguladores, los más simples son más económicos y los más complejos disponen de más funciones, como la visualización de datos por pantalla LCD o la conexión a sistemas informáticos. Los reguladores actuales introducen micro controladores que analizan el estado de carga de las baterías, su temperatura o la tensión, y aplican esa información a la unidad de control del regulador para modificar las condiciones de carga. Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Incluso los hay que memorizan datos que permiten conocer cuál ha sido la evolución de la instalación durante un tiempo determinado<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> *Ibíd.* Pág. 85

<sup>28</sup> *Ibíd.* Pág. 86

Figura 12. Regulador de carga



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

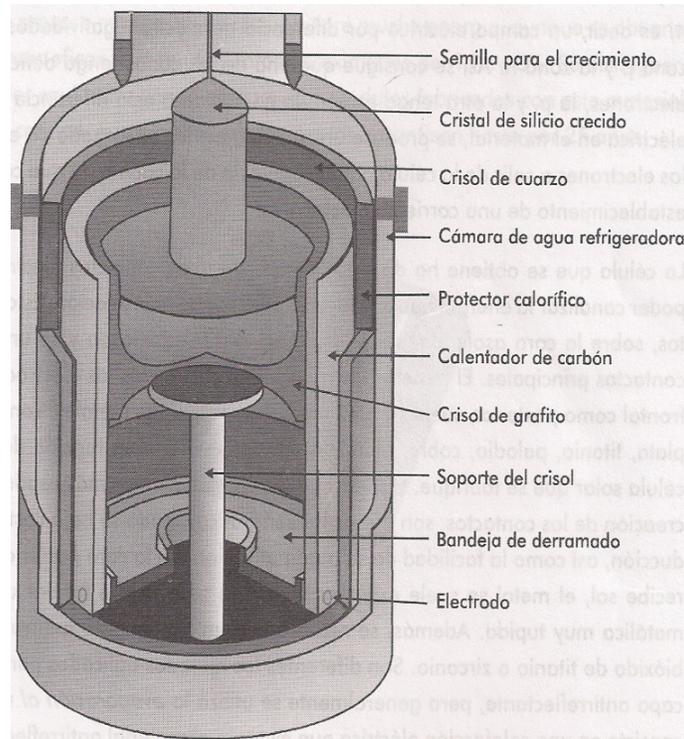
## 7.9 CÉLULAS DE SILICIO CRISTALINO

**7.9.1 Silicio monocristalino.** Las planchas monocristalino son de una pureza elevada y una estructura cristalina casi perfecta, ya que se han obtenido en un largo, sofisticado y delicado proceso de elaboración.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Ibídem. Pág.43

Figura 13. Célula de silicio cristalino



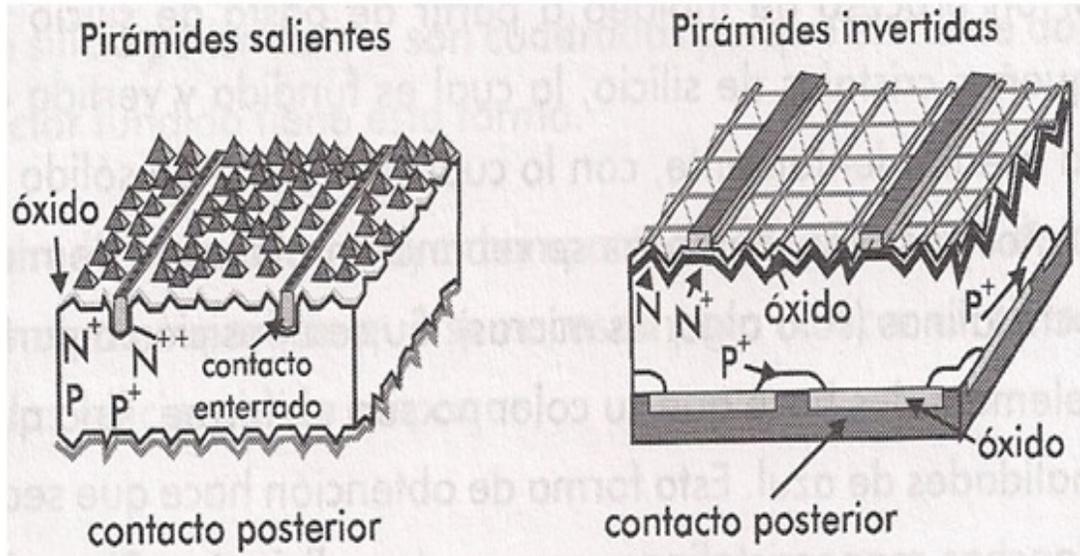
Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

**7.9.2 Las Células de Silicio Monocristalino.** Se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol a una temperatura de unos 1.400 °C, junto con una pequeña proporción de boro (material menos electronegativo que el silicio). Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un "cristal germen" de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma, tras unas 8 horas de elaboración, se obtiene un monocristal dopado, con cierta carencia de electrones (tipo p), que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una Cara y alcanzan una

cierta profundidad en su superficie. Con este tratamiento químico se crea la unión p-n, es decir, un campo eléctrico por diferencia de electronegatividades entre la zona p y la zona n. Así se consigue que una de las zonas tenga deficiencia de electrones, la p, y la otra tenga exceso, la n. Debido a esta diferencia de carga eléctrica en el material, se produce un campo eléctrico encargado de empujar a los electrones a salir de la célula por la superficie de la capa n, lo que conlleva el establecimiento de una corriente eléctrica.

La célula que se obtiene ha de estar dotada de unos contactos eléctricos para poder canalizar la energía que produce cuando recibe la insolación. Estos contactos, sobre la cara asoleada, se reparten en forma ramificada y se unen a dos contactos principales. El material de que estén constituidos los electrodos, tanto frontal como posterior, suele ser una aleación de diversos metales, como son: la plata, titanio, paladio, cobre, aluminio, etc., que varían en función del tipo de célula solar que se fabrique. Hoy en día, los procedimientos más usados para la creación de los contactos, son quizás los gráficos, dado su bajo costo de producción, así como la facilidad de su automatización. En la cara posterior, que no recibe sol, el metal se suele extender a toda la superficie o formar una malla metálica muy tupida. Además, se recubre con un tratamiento anti reflexivo de bióxido de titanio o zirconio. Son diferentes los métodos aplicados para crear la capa anti reflectante, pero generalmente se utiliza la evaporación al vacío, que consiste en una calefacción eléctrica que evapora el material anti reflectante depositado previamente. Otro método cada vez más utilizado consiste en la reacción de pequeñas pirámides en la superficie del material, que realizan una función de rebote del rayo incidente, de forma que gran parte penetre dentro del semiconductor.

Figura 14. Las células de silicio monocristalino



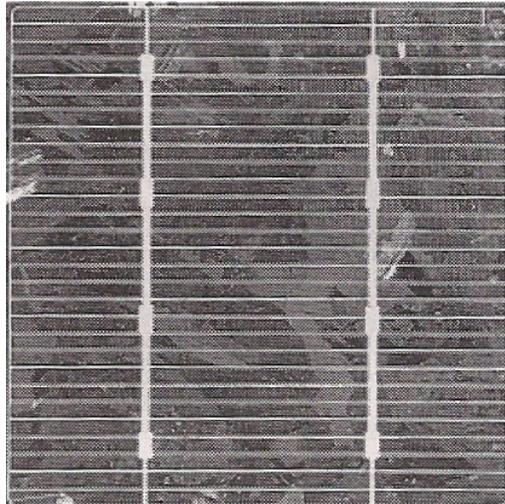
Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

Este es un proceso muy costoso y que requiere mucha energía, aunque se obtiene el cristal más eficaz, con rendimientos aproximados del 15 a 18%. Se distinguen por su color azul homogéneo o negro. Los módulos fabricados con este material tienen tal calidad, que algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Ibídem. Pág.43

**7.9.3 Silicio Policristalino.** Las células de silicio policristalino se obtienen de manera similar, salvo porque se parte de planchas policristalinas, que son más baratas. Estas planchas son obtenidas por un proceso de moldeo a partir de pasta de silicio formada por múltiples pequeños cristales de silicio, la cual es fundida y vertida en un molde donde se deja asentar lentamente, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales. Entonces se rebana en planchas de menor espesor que las monocristalinas (solo algunas micras). Su composición a partir de pequeños cristales elementales hace que su color no sea uniforme, sino que presenten diferentes tonalidades de azul. Esta forma de obtención hace que seas más barata que las planchas monocristalinas, pero no tan eficientes. El rendimiento más bajo es debido a las imperfecciones en la estructura cristalina Llegando hasta el 12 0 14%. Aunque su rendimiento es algo inferior a las monocristalinas, su menor coste ha contribuido enormemente a aumentar su uso. Tanto en este proceso como en el anterior, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el cortado. La garantía del producto puede ser hasta 20 años, dependiendo del fabricante.

Figura 15.Silicio Policristalino



Fuente: Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010

El método de fabricación determina, en gran parte, la forma geométrica de la Célula FV. Las primeras versiones de silicio monocristalino eran redondas, pues el cristal puro tenía una sección circular. Versiones más recientes tienen forma casi cuadrada, donde las esquinas tienen vértices a 45°.

Las células de silicio policristalino son cuadradas porque el molde donde se vierte semiconductor fundido tiene esta forma.

La forma cuadrada permite un mayor compactado de las mismas dentro del panel FV disminuyendo la superficie que se necesita para colocar un determinado número de células (eficiencia de empaque).<sup>31</sup>

## **7.10 ARSENIURO DE GALIO**

El arseniuro de galio es un semiconductor idóneo para la fabricación de células solares. Se trata de un material idóneo para la fabricación de células multifunción o tándem. Las cuales están formadas por múltiples películas delgadas cada una constituida por un semiconductor diferente. Las células multifunción de arseniuro de galio, son células altamente eficientes que han sido concebidas para ser utilizadas en aplicaciones especiales como los satélites, vehículos de exploración espacial, etc., que requieren un alto rendimiento, a la vez que un peso y dimensiones reducidas. Una célula de triple unión podría estar compuesta, por ejemplo, por GaAs, Ge y GaInP2.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Ibídem. Pág.46

<sup>32</sup> Ibídem. Pág.50

## 7.11 DISTRIBUCIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA

El país está caracterizado por las regiones: Andina, Atlántica, Pacífica, Orinoquia y Amazonia.

La intensidad de la radiación solar en la región Andina colombiana muestra que las zonas de los valles del Cauca y Magdalena poseen el mayor potencial de esta región, y a medida que se asciende hacia las cimas de las cordilleras ese potencial va disminuyendo gradualmente, con excepción de algunos núcleos localizados en zonas llamadas altiplanos, donde se observa un potencial solar mayor comparado con el de las laderas.

En las regiones costeras: atlántica y pacífica, los resultados de la evaluación del recurso solar del país muestran en la región noreste de la costa atlántica (La Guajira) un potencial solar promedio diario entre 5,0 y 6,0 kWh/m<sup>2</sup>, el mayor del país. Este valor va disminuyendo gradualmente en dirección sur-oeste hacia la costa pacífica, donde se presenta el menor potencial solar del país, con valores menores de 3,5 kWh/m<sup>2</sup>, aunque posee una gran zona con valores entre 4,0 y 4,5. Las regiones de la Orinoquia y Amazonia, que comprenden las planicies de los Llanos Orientales y zonas de las selvas colombianas, presentan una variación ascendente de la radiación solar en sentido suroeste-noreste, verificándose valores asimilables a los de La Guajira en el noreste (Puerto Carreño).

La Tabla 2 ilustra los rangos de disponibilidad de energía solar promedio multianual por regiones:<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> Mapas De Brillo Solar .[En Línea], Disponible En: [Http://Www.Upme.Gov.Co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/10-Apendice\\_D.Pdf](http://www.upme.gov.co/docs/atlas_radiacion_solar/10-Apendice_D.Pdf). (ultimo acceso 5 de junio del 2013 10:40 am)

Tabla 1. Rango anual de disponibilidad de energía solar por regiones

REGIÓN	kW h/m2/año
Guajira	1.980 - 2.340
Costa Atlántica	1.260-2.340
Orinoquia	1.440 - 2.160
Amazonia	1.440 - 1.800
Andina	1.080 - 1.620
Costa Pacífica	1.080 - 1.440

Fuente: Mapas De Brillo Solar. [En Línea], Disponible En: [Http://Www.Upme.Gov.Co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/10-Apendice\\_D.Pdf](http://www.upme.gov.co/docs/atlas_radiacion_solar/10-Apendice_D.Pdf). (ultimo acceso 5 de junio del 2013 10:40 am)

## 7.12 LA ENERGÍA A NIVEL MUNDIAL

Es evidente la importancia del sector energético como motor de desarrollo social y económico, aun cuando existen grandes diferencias entre los países desarrollados y aquellos que se encuentran en vías de desarrollo.

Estos desequilibrios, abrumadores en algunos casos, suponen para estos últimos la incapacidad de satisfacer sus necesidades energéticas básicas. Aun así, la transformación, transporte y uso de las distintas fuentes energéticas repercuten en el medio ambiente, y han originado una preocupación cada vez mayor por este impacto, y el compromiso internacional de reducir los niveles de contaminación actuales.<sup>34</sup>

**7.12.1 Los Recursos Energéticos En El Mundo.** Los recursos energéticos existentes en el planeta, por tipo de combustible, son los que se indican a continuación

<sup>34</sup> MANZANA MONZÓ, Diego. Evaluación Técnica y de Impacto Social de Proyectos Energéticos en el Marco de la Cooperación para el Desarrollo en el Occidente de Guatemala. Guatemala, 2009, 77 h. Proyecto Final de Carrera (ingeniería de diseño). universidad politécnica de valencia

**7.12.1.1 Carbón.** Las reservas probadas de carbón a finales del 2004 ascienden a 984,2 Gt, de las cuales 509,5 Gt corresponden a antracitas y carbones bituminosos, y 474,7 Gt a lignitos y carbones sub-bituminosos. Al ritmo de extracción actual, las reservas de carbón pueden abastecer el consumo durante 230 años.

Por países, destacan las reservas de los Estados Unidos con 246,6 Gt, el 25,1% mundial, seguido por la Federación Rusa con 157,0 Gt (15,9%) y la República Popular China con 114,5 Gt (11,5%).

**7.12.1.2 Petróleo.** Actualmente, las reservas recuperables probadas de petróleo se cifran en 140,4 Gt, lo cual supone un abastecimiento garantizado para 40 años si se sigue con el ritmo actual de consumo.

Por áreas geográficas destaca sobremanera Oriente Medio, que aglutina el 65,4% de las reservas mundiales (91,5 Gt.) El país que cuenta con las mayores reservas es Arabia Saudita con 36,0 Gt, el 25,5% mundial.

**7.12.1.3 Gas Natural.** En 2004, las reservas mundiales de gas natural ascendían a 135,4 TNm<sup>3</sup>. La antigua Unión Soviética, con el 38,7% del total, seguida por Oriente Medio, con el 33,8%, copan los primeros puestos en reservas probadas de gas natural. Al ritmo de consumo actual, las reservas existentes tardarán en agotarse 58,9 años

**7.12.1.4 Uranio.** En 2004, las reservas confirmadas de uranio natural a costes competitivos a nivel mundial se cifraron en 2,3 Mt, lo que representa 40 años de consumo al ritmo actual. Los recursos adicionales conocidos, aun sin explotar, ascienden a unas 850.000 toneladas (equivalentes a 15 años de consumo). Destacan las reservas de Australia, Kazajstán, Uzbekistán y Canadá.

**7.12.1.5 Energías Renovables.** Según el informe de la ONU “Energy and the Challenge of Sustainability” el potencial técnico de las energías renovables se estima en más de 7.600 exajulios al año (3,18 10<sup>14</sup> Mtep/año). En esta misma publicación se afirma que el potencial teórico de estas fuentes de energías es superior a 144.000.000 exajulios/año (6,03 10<sup>18</sup> Mtep/año). En la siguiente tabla se muestra la distribución por fuentes.<sup>35</sup>

Tabla 2. Potencial de las energías renovables

<b>FUENTE</b>	<b>POTENCIAL TÉCNICO</b>	<b>POTENCIAL TEÓRICO</b>
Hidráulica	50	147
Biomasa	>276	2.900
Energía solar	>1.575	3.900.000
Energía eólica	640	6.000
Energía geotérmica	5.000	140.000.000
Energía mareomotriz	n.d.	7.400
Total	>7.600	>144.000.000

Fuente: MANZANA MONZÓ, Diego. Evaluación Técnica y de Impacto Social de Proyectos Energéticos en el Marco de la Cooperación para el Desarrollo en el Occidente de Guatemala. Guatemala, 2009, 77 h. Proyecto Final de Carrera (ingeniería de diseño). Universidad politécnica de valencia

<sup>35</sup> Ibídem. Pág. 25

Tabla 3. Unidad: exajulios/año (exa = 1018) (1 exajulio = 4,1868 1010Mtep) n.d. no estimado

Con objeto de poder comparar los recursos energéticos mundiales anteriormente citados, en la siguiente tabla se expresan en una unidad homogénea (Mtep), habiéndose empleado para ello factores de conversión medios:<sup>36</sup>

Tabla 3. Potencial de las energías no renovables

<b>.FUENTE</b>	<b>RECURSOS MUNDIALES</b>
Carbón	4,20 x 10 <sup>5</sup> Mtep
Petróleo	1,43 x 10 <sup>5</sup> Mtep
Gas natural	1,33 x 10 <sup>5</sup> Mtep
Uranio	3,43 x 10 <sup>4</sup> Mtep
E. renovables	3,18 x 10 <sup>14</sup> Mtep/año

Fuente: MANZANA MONZÓ, Diego. Evaluación Técnica y de Impacto Social de Proyectos Energéticos en el Marco de la Cooperación para el Desarrollo en el Occidente de Guatemala. Guatemala, 2009, 77 h. Proyecto Final de Carrera (ingeniería de diseño). universidad politécnica de valencia

## 7.13 EQUIPOS DE MEDICIÓN

**7.13.1 Anemómetros.** Del griego, *anemos*, viento; *metron*, medida, el anemómetro es un instrumento que mide tanto la velocidad y la dirección del viento como su persistencia. Los anemómetros miden la velocidad instantánea del viento, pero las ráfagas (fluctuaciones habituales del viento) se producen con tal frecuencia que restan interés a dicha medición, por lo que se toma siempre un valor medio en intervalos de 10 minutos.<sup>37</sup>

**7.13.1.1 Para qué se utiliza el anemómetro.** Se lo utiliza para medir la velocidad del viento (km/h ò m/seg.) y, en algunos tipos, también la dirección (en grados).<sup>38</sup>

<sup>36</sup> Ibídem. Pág. 45

<sup>37</sup><http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/medidores/anemometro/anemometro.html>

<sup>38</sup><http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/anemometro.html>

Tabla 4. Descripción del anemómetro

Velocidad del viento (Kp/h)	Término	Descripción
0-5	Calma	El humo sube verticalmente
6-20	Ligero	Se siente el viento en la cara; las veletas giran; las hojas se mueven ligeramente
21-39	Moderado	Levanta polvo; las banderas ondean
40-61	Fuerte	Las gamas grandes se mueven; las sombrillas se vuelven al revés
62 o más	ventarrón	

Fuente:<http://www.oni.esuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/anemometro.html> 1 30

**7.13.1.2 Tipos de anemómetros.** El anemógrafo registra continuamente la dirección del viento (m/s) así como se recordó, y registra ambos valores en dependencia del tiempo, del recorrió del viento y el tiempo, puede obtenerse sin dificultad la velocidad media de cada intervalo de tiempo de observación.

Consta de una veleta que determina la dirección del viento. El recorrido del viento es medido por la estrella de cazos situado encima de la veleta. La veleta están apoyados girablemente, bajo la influencia de la presión del viento gira la estrella con un numero de revoluciones dependientes de la presión y esto determina la velocidad del viento.

- **De empuje:** tiene una esfera hueca (tipo Daloz) o una pala (Wild), cuya posición respecto a un punto de suspensión varía con la velocidad del viento.

- **De rotación o de copelas:** está dotado de cazoletas (tipo Robinson) unidas a un eje de giro vertical, o de una hélice con un eje horizontal. La velocidad de giro es proporcional a la velocidad del viento.
- **De compresión:** se basa en el tubo de Pitot (un tubo con forma de L, con un extremo abierto hacia la corriente de aire y el otro conectado a un dispositivo medidor de presión), y está formado por dos pequeños tubos, uno de ellos con orificio frontal (que mide la presión dinámica) y lateral (que mide la presión estática), y el otro sólo con un orificio lateral. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.
- **De hilo caliente:** detecta la velocidad del viento mediante pequeñas diferencias de temperatura entre un hilo enfrentado al viento y otro a sotavento.<sup>39</sup>

Figura 16. Anemómetro



Fuente: Foto tomada por el equipo investigador

---

<sup>39</sup>Ibídem.

**7.13.2 Multímetro.** El Multímetro o Multitester es un conjunto de accesorios que se comportan como instrumentos de múltiples propósitos. Así como los más comunes, que tienen la propiedad de medir intensidad de corriente, tensión, en señal continua o alterna, y además medir resistencia eléctrica. Estas serían las condiciones mínimas que se podrían exigir a un instrumento para definirlo como Multitester.

Poseen diferentes escalas, que suelen distraer la medición, provocando los típicos “Errores de Lectura” que en ocasiones traen como consecuencia la pérdida parcial o total del instrumento, ya sea por sobrecarga o error de conexión al circuito.

Los Multitester, sobre las unidades básicas de medición, también se le agregan otras funciones, como pueden ser por ejemplo: medir continuidad en diodos, tipo de polaridad en transistores, continuidad con sonido, nivel de ruido, temperatura, etc.<sup>40</sup>

Figura 17. Multímetro



Fuente: Foto tomada por el equipo investigador

<sup>40</sup> <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CGwQFjAH&url=http%3A%2F%2Fllcm2.files.wordpress.com%2F2010%2F03%2FEl-multimetro.doc&ei=uH2nUYuDFPG54APWv4BA&usg=AFQjCNGW9GI3e-QBWiGUbXgYwfnZovnfXw&sig2=ojKjStRUvePDxp9XUr8GVw>

## **8. METODOLOGIA.**

La metodología a desarrollar comprende las siguientes fases

### **8.1 FASE UNO ANALIZAR**

Buscar temas relacionados con la investigación. Para desarrollar esta fase se el contenido temático se dividió entre los integrantes del grupo para buscar fuentes de información, como son, libros de la biblioteca de la universidad autónoma del Caribe bases de datos electrónicas, ensayos, reportes, y demás escritos referentes a celdas fotovoltaicas usadas en la conversión de anergia solar a energía eléctrica para minimizar el uso de hidrocarburos.

### **8.2 FASE DOS DEFINIR**

En este parte de la investigación ya se ha obtenido la documentación que se necesita en el desarrollo del diseño de los paneles solares fotovoltaico para disminuir la contaminación del medio ambiente y observar el comportamiento de las variables significativas que puedan afectar en el rendimiento del panel.

### **8.3 FASE TRES APLICAR**

La instalación de los paneles solares fotovoltaicos se realizó en la plazoleta de la nueva biblioteca de la universidad autónoma del Caribe, debido a que está ubicado en una zona tropical y la radiación solar va hacer mayor, en los primeros meses del año la energía que emite el sol en esta zona va aumentar, en el lapso de tiempo de un mes es donde se llevara a cabo la experimentación. En esta fase se realizó la formulación de preguntas y finalizar completamente con la

metodología que sea diseñado previamente. En esta fase los resultado obtenido son en su mayoría recomendaciones del diseño, se hizo cambios y mejoras, se buscaron e identificación en el diseño las partes más débiles y los factores con mayor impacto. Se aplicaron la metodología que permitirá hacer correcciones, recomendaciones en la metodología de la fase anterior.

Procedimiento para la toma de datos.

- Se seleccionó el panel solar suministrado por la Universidad, con el fin de recolectar los datos de voltaje, dependiendo de las variables del sistema.
- Se escogió el mes de Marzo, debido a que este mes presenta altos índices de radiación solar, dado el tiempo seco presente en esa época del año.
- Se tabuló la información arrojada por el panel, para su posterior análisis.

Equipos utilizados

Multímetro: Ver figura 17.

Se utilizó para medir el voltaje arrojado por el panel solar, dependiendo cada una de las condiciones a evaluar (ángulo del panel solar, hora del día, temperatura, índice de radiación)

Termómetro: Se empleó para tomar la temperatura al momento de realizar la medición de voltaje.

Anemómetro: Ver figura 16.

Se utilizó para medir la velocidad del viento.

#### **8.4 FASE CUATRO CONCLUIR**

En esta fase se realizó una discusión de los resultados obtenidos en la metodología y en la aplicación del diseño experimental de los paneles solares fotovoltaico, mirar cuales son las variables más significativas del sistema que

aumentara o disminuirá la eficiencia energética del diseño. Se realizó<sup>12</sup> la conclusión y las recomendaciones sobre la metodología utilizada, y los resultados obtenidos en la práctica.

## 9. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO.

En el presente estudio se realiza el diseño de un sistema que permite hacer un control de las variables de un panel solar fotovoltaico. De esta forma se logra conocer cuáles de estas variables son significativas para captar la energía por el panel solar y por supuesto se alcanza a mejorar la eficiencia del sistema para condiciones de radiación solar establecidas por cada una de las variables que analizamos: (ángulo del panel, las horas del día, el voltaje, la radiación y la velocidad del viento.)

- Ángulo del panel: Se seleccionó para esta prueba tres tipos diferentes de ángulos para observar en cuál de estos, el panel solar fotovoltaico arroja un mayor valor de voltaje.
- Las horas del día: Si bien es conocido que durante el día se presentan horas de mayor intensidad de radiación solar, con esta afirmación se determinaron las horas del día en las cuales se realizaron las mediciones, para con esto poder obtener mejores resultados en cuanto a la intensidad del voltaje generado por el panel, las horas del día seleccionadas fueron las 10:00 a.m.; 12:00 p.m.; 14:00, en este rango se presenta la mayor radiación solar.

## **SELECCIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES.**

### **Variable independiente y Variable dependiente.**

Frecuentemente, el objetivo de una investigación es explicar o describir cambios o variaciones que observamos en una variable en función de los cambios o variaciones que observamos en otra. A aquella variable cuyos cambios o variaciones pretendemos explicar o describir la denominamos variable dependiente. A la variable que utilizamos para describir o explicar los cambios la llamamos variable independiente. Descrito de esta forma, la variable independiente es aquella que influye en otra, mientras que la variable dependiente es la que se ve influida por otra.<sup>41</sup>

De acuerdo con la anterior referencia definimos como variable independiente, la hora del día y el ángulo del panel solar ya que estas variables intervienen de manera directa sobre la generación de voltaje.

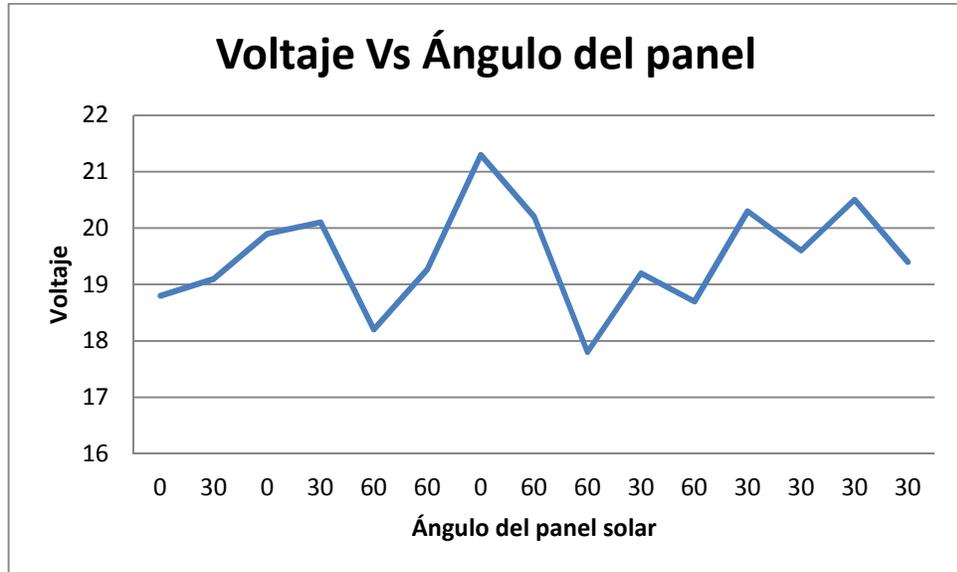
Con relación a lo anterior se representa gráficamente el voltaje Vs el ángulo de posición del panel solar, y Voltaje Vs hora del día.

---

<sup>41</sup> Técnicas de análisis estadístico en ciencias sociales, pág., 23.

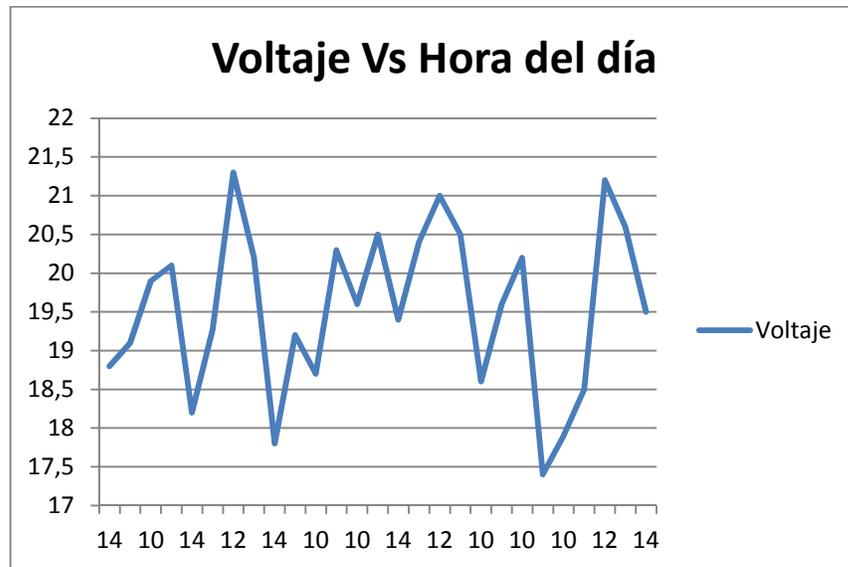
## Representación gráfica.

Gráfica.1 Voltaje Vs Ángulo del panel solar



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Gráfica 2.Voltaje Vs Hora del día



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Para cada punto de la gráfica, se observa la variación de voltaje de acuerdo con cada hora del día seleccionada para realizar el ensayo, igualmente se contempla en la gráfica –voltaje Vs ángulo de panel solar- la tendencia de los puntos indicando como picos máximos los valores correspondientes a un ángulo cero.

- El voltaje: Es la variable que se mide directamente en el panel solar fotovoltaico, este va a variar dependiendo de las horas del día y el ángulo de panel fotovoltaico.

La radiación: esta variable se tomó de forma cualitativa dependiendo de las condiciones del clima, las horas del día y los meses del año.

Cada una de las anteriores variables se evaluó en nuestro diseño y arrojó la siguiente tabla de resultados:

Tabla5. Datos del Panel

Angulo (°)	Hora (a.m.)(p.m.)	Radiación	Voltaje (V)	Temperatura (°C)	Viento (K/h)
0	14	0	18.8	30°C	7 k/h
30	10	1	19.1	29°C	5 k/h
0	10	1	19.9	30°C	9k/h
30	12	1	20.1	31°C	13k/h
60	14	1	18.2	29°C	4k/h
60	10	0	19.27	32°C	4k/h
0	12	1	21.3	33°C	14k/h
60	12	-1	20.2	32°C	7k/h
60	14	0	17.8	32°C	15k/h
30	14	-1	19.2	30°C	7k/h
60	10	-1	18.7	29°C	4k/h
30	12	-1	20.3	33°C	9k/h
30	10	-1	19.6	30°C	6k/h
30	12	0	20.5	30°C	12k/h
30	14	1	19.4	31°C	8k/h
60	12	0	20.4	34°C	11k/h
0	12	-1	21	33°C	15k/h
0	14	1	20.5	31°C	17k/h
60	10	1	18.6	30°C	8k/h
30	14	0	19.6	32°C	7k/h
0	10	-1	20.2	30°C	15k/h
60	14	-1	17.4	29°C	7k/h
30	10	0	17.9	27°C	10k/h
0	10	0	18.5	28°C	8k/h
0	12	1	21.2	31°C	11k/h
60	12	1	20.6	32°C	11k/h
0	14	-1	19.5	30°C	8k/h

Realizado por el Equipo Investigador

- ✓ Diseñar el experimento de pequeña escala para manipular las variables o factores que se obtienen en este sistema.

### 9.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

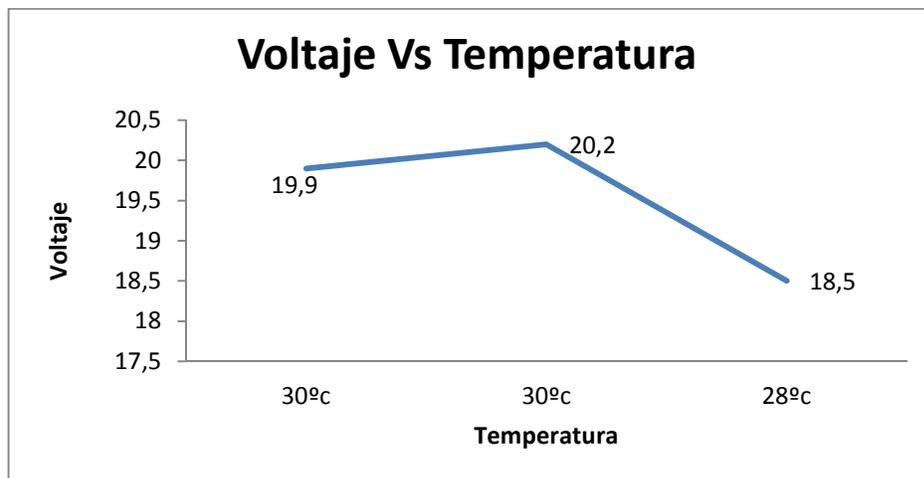
Las siguientes gráficas nos representan las condiciones de ángulo 0 y las tres horas del día en la cual registramos los datos, se realiza un análisis donde se agrupan las tres representaciones gráficas con el fin de contextualizar los resultados de cada una.

Tabla 6. Angulo (0°) vs Hora (10:00 a.m.)

Ángulo	Hora	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
0	10	19,9	30°C	9k/h
0	10	20,2	30°C	15k/h
0	10	18,5	28°C	8k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Gráfica 3. Voltaje (Angulo 0° vs Hora 10:00 a.m.)



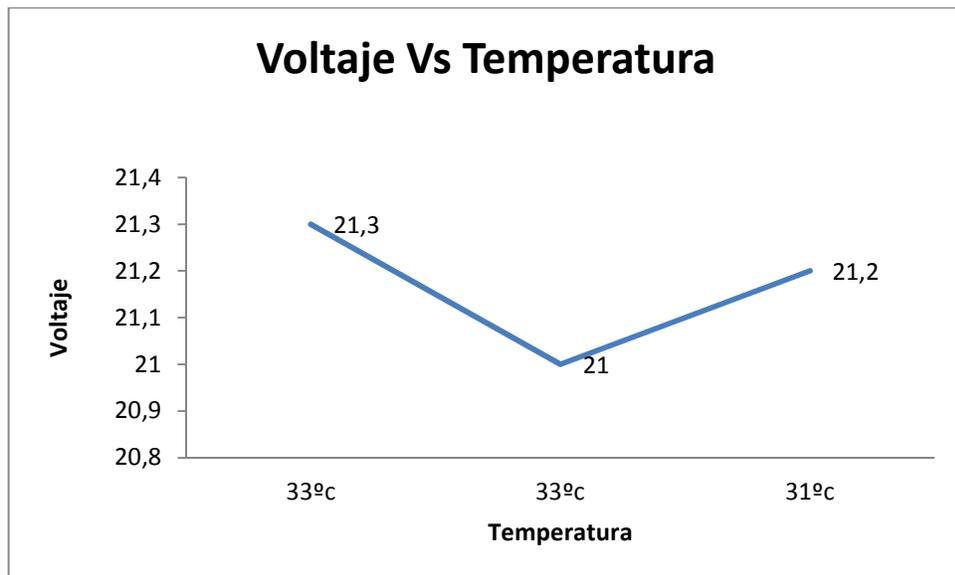
Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Tabla 7. Angulo (0°) vs Hora (12:00 p.m.)

Ángulo	Hora	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
0	12	21,3	33°C	14k/h
0	12	21	33°C	15k/h
0	12	21,2	31°C	11k/h

Realizado por el Equipo Investigador

Grafica 4. Voltaje (Angulo 0° vs Hora 12:00 p.m.)



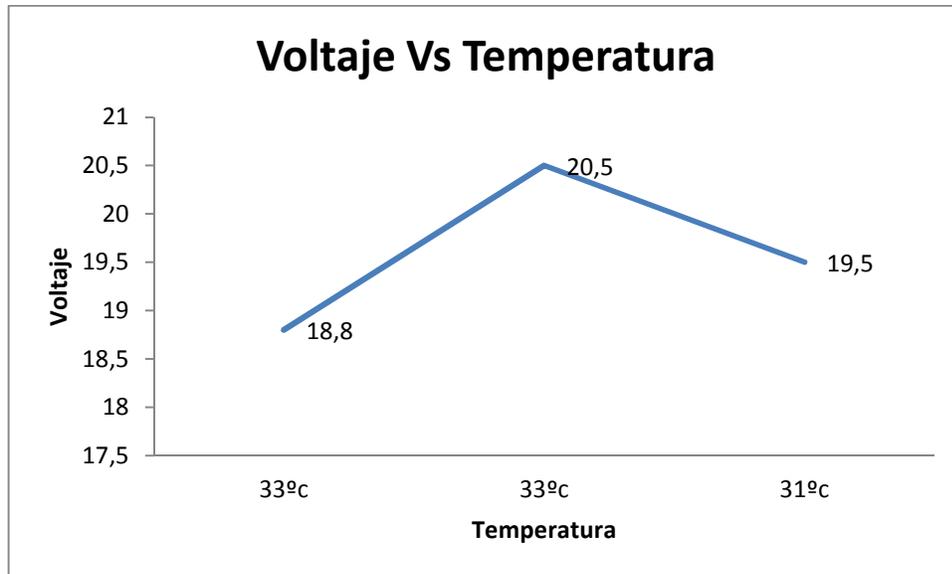
Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Tabla 8. Angulo (0°) vs Hora (14:00)

Ángulo	Hora	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
0	14	18,8	33°C	14k/h
0	14	20,5	33°C	15k/h
0	14	19,5	31°C	11k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Grafica 5.Voltaje (Angulo 0° vs Hora 14:00)



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

De acuerdo con las informaciones arrojadas por las anteriores gráficas, se precisa identificar la variabilidad en los datos de voltaje obtenidos por las condiciones de temperaturas en la posición del panel solar a un ángulo 0°, se evidencia que para valores de temperatura mayores a 30 grados centígrados, el valor de voltaje es superior, considerando además que la hora del día con mayor radiación solar corresponde a las 12:00 p.m. dentro de este lapso horario la generación de voltaje será mayor.

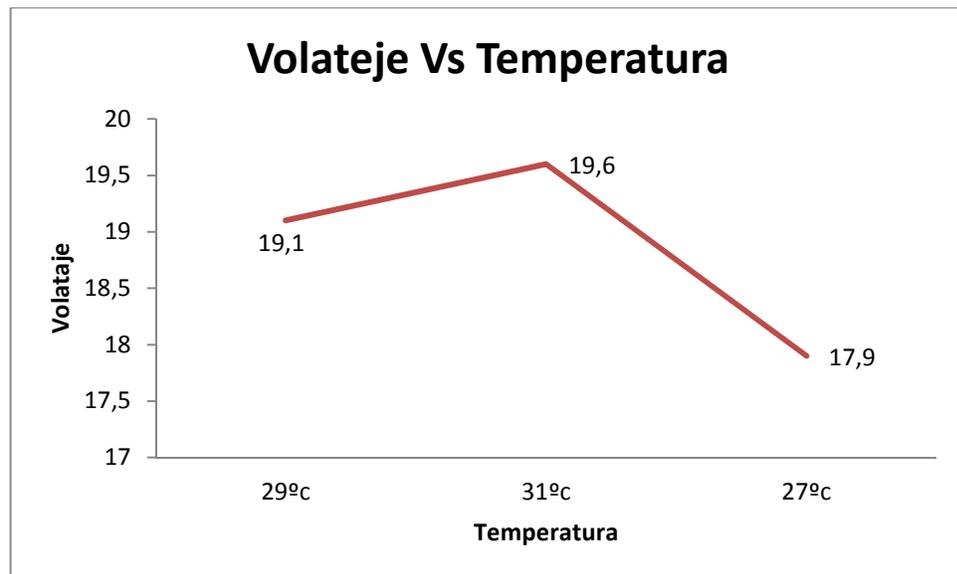
- Las siguientes gráficas representan las condiciones de ángulo 30 y las tres horas del día en la cual se registraron los datos.

Tabla 9. Angulo (30°) vs Hora (10:00 a.m.)

Ángulo	Hora	Radiación	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
30	10	1	19,1	29°C	5 k/h
30	10	1	19,6	31°C	13k/h
30	10	0	17,9	27°C	10k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Grafica 6.Voltaje (Angulo 30° vs Hora 10:00 a.m.)



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

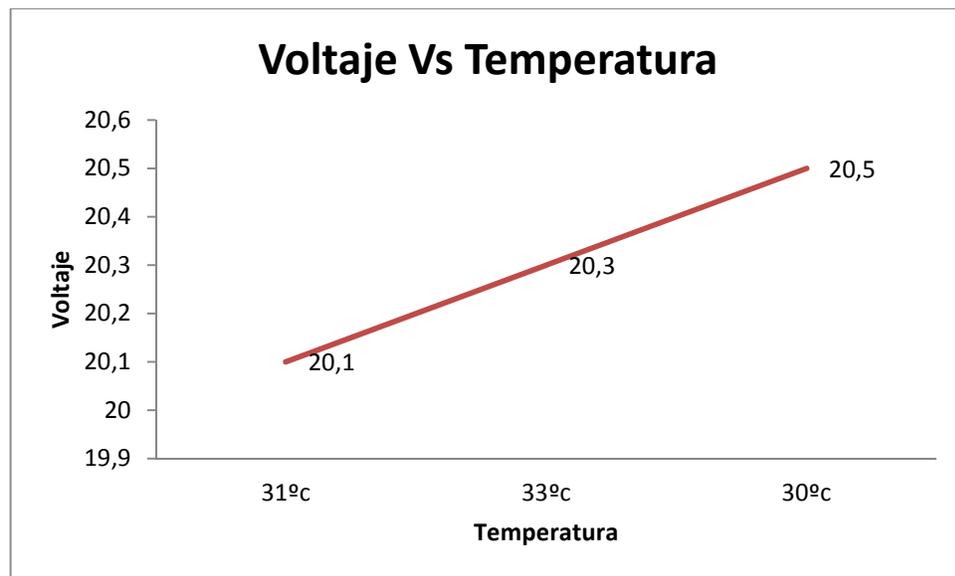
Se observa que para un valor de temperatura de 31°C existe un mayor valor de voltaje, esto refleja que la temperatura ambiental juega un papel importante en la generación de voltaje.

Tabla 10. Angulo (30) vs Hora (12)

Ángulo	Hora	Radiación	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
30	12	1	20,1	31°C	13k/h
30	12	-1	20,3	33°C	9k/h
30	12	0	20,5	30°C	12k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Grafica 7. Voltaje (Angulo 30° vs Hora 12:00 p.m.)



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Para valores de radiación negativa, como el que se observa en la tabla, nos infiere que la cantidad de radiación solar no es significativa en el día, por eso el

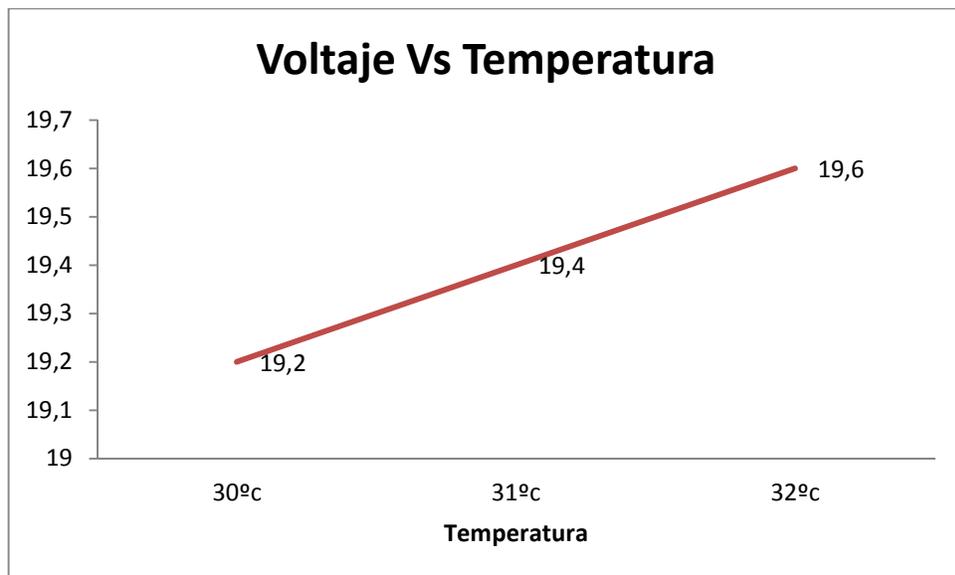
comportamiento para una temperatura de 33° c, es menor que el que se obtuvo para una temperatura de 31 ° c

Tabla 11. Angulo (30°) vs Hora (14:00)

Ángulo	Hora	Radiación	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
30	14	-1	19,2	30°c	7k/h
30	14	1	19,4	31°c	8k/h
30	14	0	19,6	32°c	7k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Gráfica 8. Voltaje (Angulo 30° vs Hora 14:00)



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Como se ha observado en las anteriores representaciones gráficas, el valor de temperatura más alta nos asegura una generación de voltaje mayor, que para valores de temperatura menores, siempre y cuando exista un buen índice de radiación solar

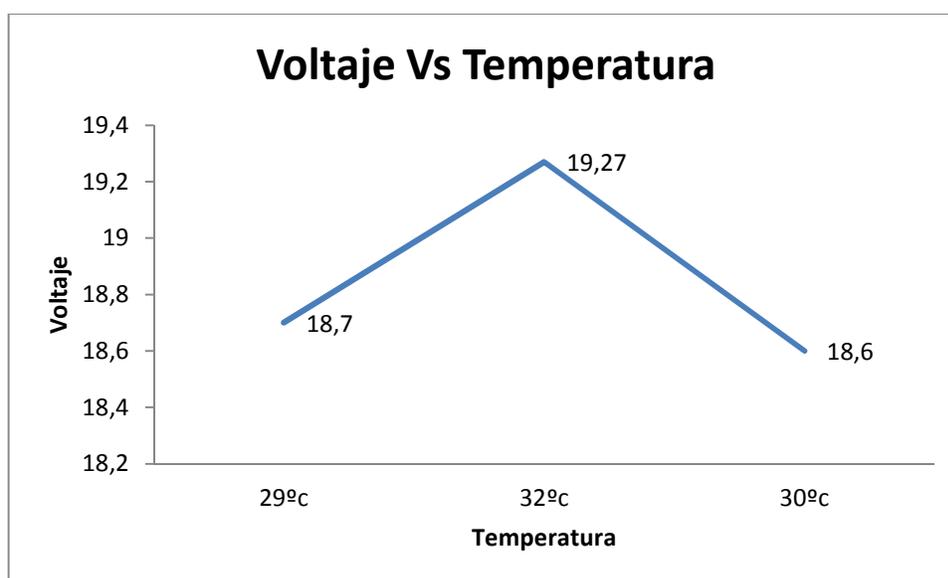
- Las siguientes gráficas nos representan las condiciones de ángulo 60 y las tres horas del día en la cual registramos los datos.

Tabla 12. Angulo (60°) vs Hora (10:00 a.m.)

Ángulo	Hora	Radiación	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
60	10	-1	18,7	29°C	4k/h
60	10	0	19,27	32°C	4k/h
60	10	1	18,6	30°C	8k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Gráfica 9. Voltaje (Angulo 60° vs Hora 10:00 a.m.)



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

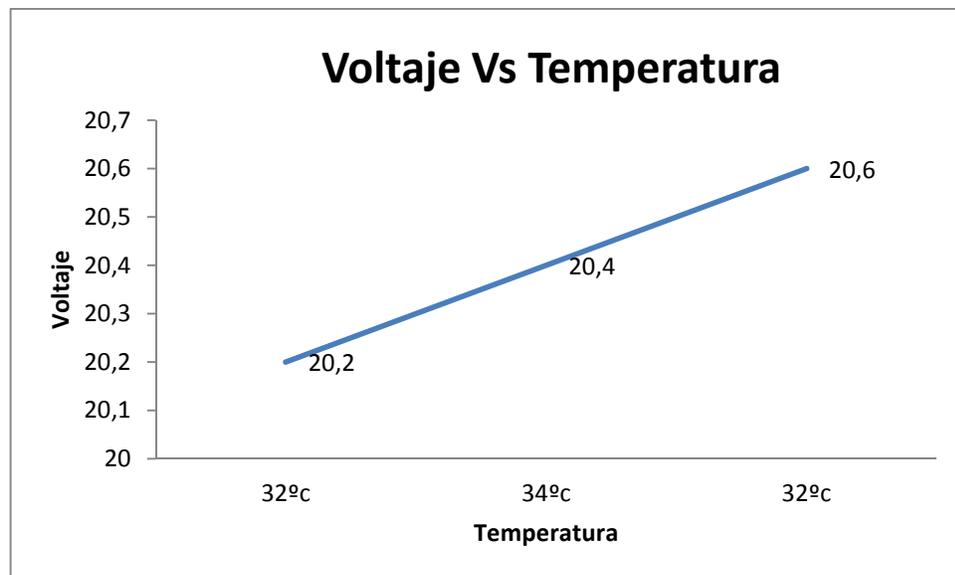
Realizando cotejos de la anterior gráfica, con las gráficas 3 y 6, se observa que para las condiciones en la cual el panel se encuentra ubicado a un ángulo de 60°, los valores obtenidos para el voltaje por el panel son menores que los observados en las gráficas 3 y 6, razón por la cual la posición del panel es fundamental a la hora de obtener valores óptimos de voltaje.

Tabla 13. Angulo (60°) vs Hora (12:00 p.m.)

Ángulo	Hora	Radiación	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
60	12	-1	20,2	32°c	7k/h
60	12	0	20,4	34°c	11k/h
60	12	1	20,6	32°c	11k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Grafica 10.Voltaje (Angulo 60° vs Hora 12:00 p.m.)



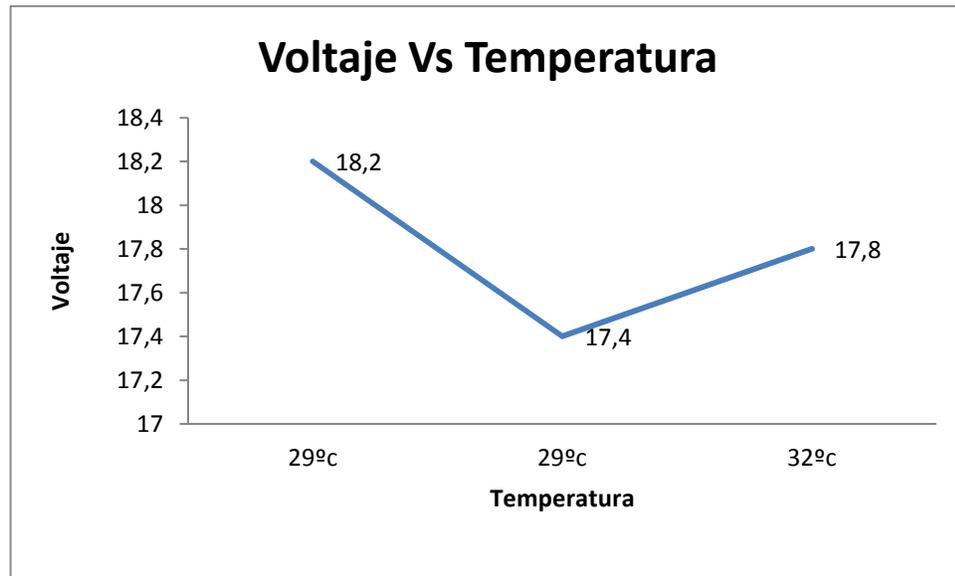
Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Tabla 14. Angulo (60) vs Hora (14:00)

Ángulo	Hora	Radiación	Voltaje	Temperatura	Vel. Viento
60	14	1	18,2	29°C	4k/h
60	14	-1	17,4	29°C	7k/h
60	14	0	17,8	32°C	15k/h

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Grafica 11. Voltaje (Angulo 60° vs Hora 14:00)



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

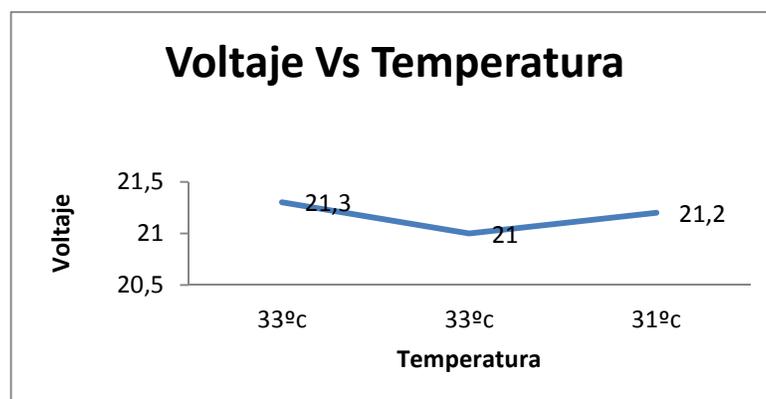
El comportamiento de la gráfica confirma, que para garantizar una mayor generación de voltaje, la radiación solar incidente sobre el panel, deberá tener un valor 1, dado que esto representa un índice de radiación solar alto.

## 9.2 ANÁLISIS GRÁFICO

Para los diferentes casos observados, el voltaje tiende a variar dependiendo de la temperatura en la cual se tomó la medición, esta variable es fundamental para obtener registros de voltaje óptimos; Se observó que el mejor ángulo de ubicación del panel fotovoltaico es 0 (ángulo nulo) debido a que los rayos de sol entran a la tierra de forma perpendicular es mayor el impacto sobre el panel solar, si este se encuentra a un ángulo nulo, de igual manera la temperatura adecuada para generar un mayor valor de voltaje corresponde a las doce del día, para este estudio hay que considerara además las condiciones de temperatura presentes a la hora antes mencionada, debido a que en la medida en la cual la temperatura esté alrededor de los 30 ° c, el nivel de voltaje será en su medida mayor si se tomase con otras condiciones de temperatura, además cabe señalar la importancia de la radiación solar, dado el caso que se evidenció que para valores negativos de radiación, el valor de voltaje era menor, esto indica que se hace necesario un valor positivo de radiación solar, para asegurar un óptimo valor de voltaje.

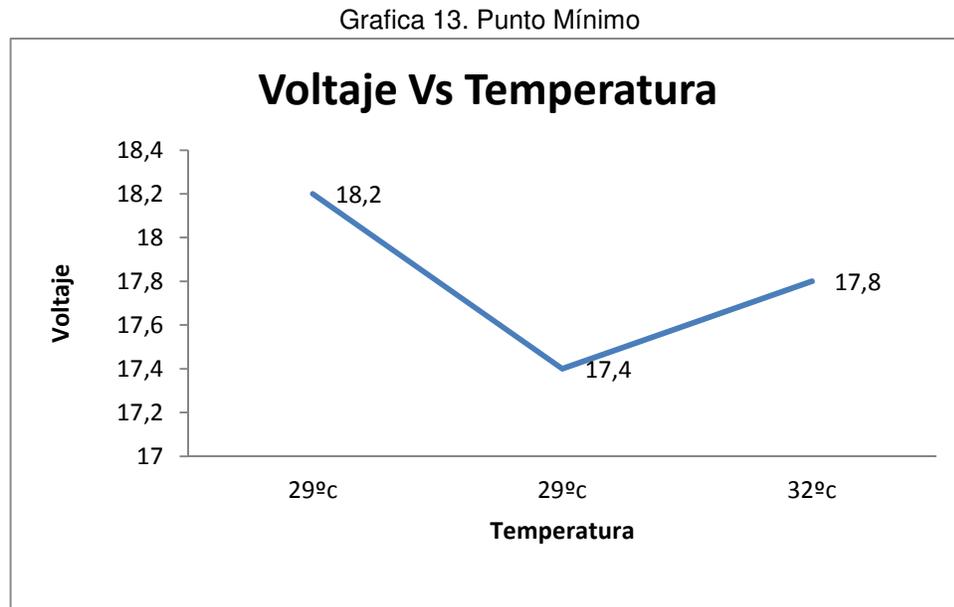
- ✓ Determinar los puntos óptimos mínimo y máximo de operación del sistema.

Grafica 12.Punto Máximo



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Las condiciones representadas anteriormente para la cual se obtuvo un valor de 21,3. Corresponden a un ángulo  $0^{\circ}$  del panel solar, la medición se efectuó a las doce del día con una temperatura de  $33^{\circ}\text{C}$ , estableciendo así estas condiciones como las más adecuadas para obtener un mayor aprovechamiento de generación de voltaje.



Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

Para este caso las condiciones señaladas representan ciertas limitaciones en la generación de voltaje, debido al ángulo del panel solar ( $60^{\circ}$ ) de otra parte la hora del día en la cual se efectuó la medición atañe a las catorce horas, con una temperatura de  $29^{\circ}\text{C}$ , la correlación de las anteriores variables generan un menor valor de voltaje.

## 10. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.

¿Cuáles son las variables que inciden en el desempeño térmico de un sistema de paneles solares de pequeña escala?

Al revisar a los resultados del experimento para los valores de voltaje generados por el panel solar, existen ciertas condiciones que maximizan dichos valores, estas variables son el ángulo de posición del panel solar y la hora del día para lo cual la intensidad de radiación es mayor, estas inciden de manera directa sobre la generación de voltaje, permitiendo a un ángulo de cero grado y a las doce horas del día, obtener un mayor voltaje gracias a las condiciones atmosféricas presentes a esa hora.

¿Qué capacidad tendrá los paneles solares para generar energía eléctrica de acuerdo a distintas configuración de operación?

La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación.

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. A continuación definiremos un ejemplo para poder calcular la capacidad de nuestro panel solar fotovoltaico.

Para conocer el tamaño del panel utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Ar = 1200 \cdot Ed / Id,^{42}$$

Donde.

Ar= Tamaño del panel solar (Wp)

Ed= Consumo de electricidad (kWh/Día)

Id= Irradiación. (KWh/ m<sup>2</sup> /Día)

Índice de Irradiación solar en Barranquilla.<sup>43</sup>

Se encuentra entre 5.5 y 6 KW/h/m<sup>2</sup>

Definiremos el consumo de electricidad promedio para una vivienda.

EQUIPO	CANTIDAD	POTENCIA (W)	HORAS DE USO	Energía Wh/Día
Nevera	1	250	24	6000
Computador	1	100	4	400
Televisor	2	60	5	300
Abanicos	3	50	10	500
Bombillas	5	20	5	100
				7300

Consumo Wh/día. 7300

Consumo kWh/Día. 7.3

Aplicaremos la fórmula.

$$Ar = 1200 \times \frac{Ed}{Id}$$

$$Ar = \frac{1200 \times 7.3 \text{ KW/h}}{6 \text{ KW/h}}$$

$$Ar = 1460 \text{ Wp}$$

---

<sup>42</sup>Del Campo Luis, S. G. (2007 de 02 de 2007). [www.intikallpa.org](http://www.intikallpa.org). Recuperado el 28 de 09 de 2013, de <http://www.intikallpa.org/wp-content/uploads/2010/08/srfv.pdf>

<sup>43</sup>Disponible en: <https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/2-RadiacionSolar.pdf>

Al analizar el anterior resultado, se evidencia que no existe un panel de tal capacidad, por ende se hace necesario el uso de dos paneles para que sumados obtener la capacidad necesaria para suplir la demanda de energía.

¿Cuáles es la condición óptima que contribuye un sistema de paneles solares de pequeña escala para un mejor desempeño?

De acuerdo con los resultados del experimento, para lograr un mejor cometido en la generación de voltaje, se hace necesario que exista sinergia entre los factores temperatura, ángulo y hora del día; debido a que estas variables impactan de manera directa la generación de voltaje. Para garantizar óptimas condiciones de funcionamiento es evidente que a las doce horas del día se logra una mayor obtención de voltaje debido a la incidencia directa de los rayos solares sobre la superficie.

- Condición Óptima del ángulo del panel solar: El panel solar deberá estar a un ángulo nulo ( $0^\circ$ ), con el fin de que la incidencia de los rayos solares sea directa.
- Condición Óptima de la hora del día: La hora del día en la cual existe una mayor presencia de radiación son las doce horas, en este período de tiempo los rayos solares son mucho más intensos, razón por la cual favorece de manera directa la generación de voltaje.
- Condición Óptima de temperatura: Para garantizar que la generación de voltaje por el panel sea satisfactoria, se requiere que el día este despejado y que la temperatura sea mayor de  $30^\circ \text{C}$ .

## CONCLUSIONES.

Se implementó un sistema de paneles solares de pequeña escala, midiendo el voltaje a través de la manipulación de las variables, hora del día, ángulo de inclinación del panel solar, temperatura e índice de radiación.

Se identificó que las variables relativas en un sistema de paneles solares de pequeña escala que mayor relevancia tienen son: Hora del día y el ángulo de posición del panel solar.

En el experimento diseñado se encontró que la hora del día propicia para garantizar óptimos valores de voltaje corresponde a las 12:00 p.m., la temperatura ambiental deberá estar en el rango de los 31°C - 33°C; de igual manera el panel solar deberá estar a un ángulo nulo (0°), y por último el índice de radiación solar deberá ser positivo, lo que indica una incidencia directa de radiación sobre la superficie terrestre.

Los puntos máximos y mínimos de operación del sistema, corresponden al valor de 21.3 voltios y 17.4 voltios respectivamente; para el punto máximo este se logró cuando se efectuó la medición a las 12:00 p.m., a un ángulo de posición nulo, bajo un índice de radiación solar positiva y una temperatura ambiental de 33°C.; las condiciones determinantes del punto mínimo corresponden a parámetros opuestos a los anteriormente descritos, la medición se efectuó a las 14:00 horas, bajo un índice de radiación solar negativo, a un ángulo de posición del panel inclinado a 60° y una temperatura ambiental de 29°C.

Con relación a lo anterior se logra identificar que la generación de voltaje se ve afectada por la hora del día, el ángulo de posición del panel y la influencia directa de la radiación solar.

Con el desarrollo de este proyecto se beneficiarán familias de zonas con difícil acceso a redes eléctricas convencionales, ayudando a mejorar la calidad de vida.

Para este proyecto no se tuvo en cuenta los impactos en la generación de voltaje cuando se presentan días nublados; la variable velocidad del viento se considera poco vital a la hora de realizar los respectivos análisis.

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Alicia Garrido Luque; José Luis Álvaro Estramiana; Técnicas de análisis estadístico en ciencias sociales.
2. Almada, Castro, Orquera, Velloso. “Energía Solar”. [En línea], disponible en: <http://www.suministrosolar.com/historiadelaenergiasolar> (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:18 am).
3. D`Force. La historia de la energía solar. [En línea], disponibles en: <http://www.gstriatum.com/energiasolar/blog/2009/02/12/la-historia-de-la-energia-solar/> (último acceso 5 de diciembre de 2012 10:30 am).
4. Del Campo Luis, S. G. (2007 de 02 de 2007). [www.intikallpa.org](http://www.intikallpa.org). Recuperado el 28 de 09 de 2013, de <http://www.intikallpa.org/wp-content/uploads/2010/08/srfv.pdf>
5. Disponible <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/medidores/anemometro/anemometro.html>
6. Disponible <http://www.oni.escuelas.edu.ar/2008/CORDOBA/1324/trabajo/anemometro.html>
7. Disponibles en: <http://www.sitiosolar.com/NOTICIAS/Se%20implementara%20programa%20piloto%20calentadores%20solares%20en%20Bogota.htm> (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:26 pm).

8. [documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/2-RadiacionSolar.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/019649/2-RadiacionSolar.pdf)
  9. Electricaribe. (s.f.). *Electricaribe s.a e.s.p.* Recuperado el 04 de 10 de 2013, de [www.electricaribe.com.co](http://www.electricaribe.com.co)
- Environmental impacts economic & planning. Elsevier 2004
- <http://www.dicyt.com/noticias/desarrollan-prototipo-de-hidratacion-con-energia-solar-para-el-secado-de-cafe-guadua-y-productos-agricolas> (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:26 pm).
- [Http://Www.Upme.Gov.Co/Docs/Atlas\\_Radiacion\\_Solar/10-Apendice\\_D.Pdf](Http://Www.Upme.Gov.Co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/10-Apendice_D.Pdf). (ultimo acceso 5 de junio del 2013 10:40 am)
10. <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&ved=0CGwQFjAH&url=http%3A%2F%2Fllcm2.files.wordpress.com%2F2010%2F03%2Fmultimetro.doc&ei=uH2nUYuDFPG54APWv4BA&usq=AFQjCNGW9GI3e-QBWiGUbxgYwfNZoVnfXw&sig2=ojKjStRUVePDxp9XUr8GVw>
  11. Ingeniería sin fronteras, Madrid Instituto de estudios políticos para América latina y África, Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo, Madrid 1999
  12. Javier María Méndez, Rafael Cuervo García; ECA, Instituto de Tecnología y formación, Energía solar fotovoltaica, Madrid; 2 Ed, FC Editorial, Página 107

13. LÓPEZ, Emilio, 03 de septiembre de 2012. "Desarrollan prototipo de hidratación con energía solar para el secado de café, guadua y productos agrícolas" [En línea], disponible en:
14. MANZANA MONZÓ, Diego. Evaluación Técnica y de Impacto Social de Proyectos Energéticos en el Marco de la Cooperación para el Desarrollo en el Occidente de Guatemala. Guatemala, 2009, 77 h. Proyecto Final de Carrera (ingeniería de diseño). Universidad politécnica de valencia.
15. Mapas De Brillo Solar. [En Línea], Disponible En:
16. Marcelo Romero Tous; Energía solar fotovoltaica, Barcelona, Ediciones CEAC, 2010,
17. SÁNCHEZ MAZA. Miguel Ángel, Energía Solar Fotovoltaica, México, Limusa 2010.
18. Secretaria Distrital de Bogotá. Susana Muhamad. 20 de Septiembre de 2012 "Colombia- Se implementará programa piloto para dotar de calentadores solares a próximas viviendas de interés prioritario a construir en Bogotá.
19. SORENCE Bent. Renewable energy 4<sup>o</sup> edition physics, engineering,
20. Universidad de Princeton. Yueh-LinLoo. "Powerhouse Solar Celular Inspirado por LeafBiomimicry". [En línea], disponible en: <http://cleantechnica.com/2012/04/28/plastic-solar-cell-inspired-by-leaf-biomimicry/> (ultimo acceso 5 de diciembre del 2012 10:26 pm).

## **ANEXOS**

## ANEXO A.

### COTIZACION PRELIMINAR

La siguiente tabla 1 muestra la cotización preliminar para el desarrollo del prototipo del esquematización de la implementación de un sistema de paneles solares para el consumo en un hogar, para determinar la tasa de retorno de la inversión del sistema solar, está sujeta a cambios.

#### Cotización preliminar

<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Subtotal</b>
PANELES SOLAR	1.500.000	1	1.500.000
CABLE	50.000	1	50.000
BATERÍA	229.000	1	229.000
REGULADOR	160.000	1	160.000
INVERSOR	180.000	1	180.000
PAPELERÍA	40.000	1	40.000
OTROS	50.000		50.000
<b>TOTAL</b>			<b>2.209.000</b>

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

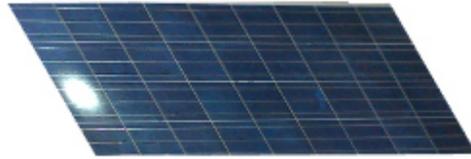
**ANEXO B.**  
**CRONOGRAMA**

	Actividades	Mes											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Estudiar conceptos y características de paneles solares	■	■	■	■	■							
<b>Diseño conceptual</b>	1. Descripción del problema 2. Objetivos 3. Justificación 4. Estado del arte	■	■	■	■	■	■	■	■				
<b>Diseño de detalle</b>	1. Desarrollar la teoría de un diseño experimental de paneles solares 2. Desarrollar los puntos óptimos bajo los cuales se trabajara en el diseño experimental. 3. Selección de componentes necesarios para el diseño experimental de paneles.					■	■	■	■	■	■		
	determinación de las variable que influyen en el rendimiento de los paneles solares fotovoltaico					■	■	■	■	■			
	Redacción de tesis. Elaborado en articulo científicos					■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador

## ANEXO C.

### Fotos del panel solar en los diferentes ángulos



Angulo de 0°



Angulo de 60°



Angulo de 30°

Fuente: Realizado por el Equipo Investigador