

Módulo didáctico para el análisis de la curvatura de eficiencia en paneles solares mediante la  
variación de parámetros físicos.

Andres Darío Suárez Guarnizo

Est. Ing. Mecatrónica

Trabajo de grado para optar por el título de ingeniero en mecatrónica

Director

Diego Armando Mejía Bugallo

Ing. En Mecatrónica.

MSc. Controles industriales

Universidad de Pamplona

Facultad de ingenierías y arquitectura

Ingeniería mecatrónica

Pamplona

2017

A mi padre que siempre fue fuente de inspiración y motivación, a mi madre Cecilia quien con su ayuda siempre podía superar cualquier obstáculo, y a mi esposa e hijo que sin ellos no podría haber sobrellevado esta ardua tarea, para todos ellos, la luz del panel solar de mi vida.

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Pamplona en Colombia durante el año 2017 y buscó el diseñar un banco didáctico donde se pudieran variar parámetros físicos tales como, la incidencia de la luz sobre el panel, así como la temperatura sobre este, de manera simple, para que el estudiante pudiera afianzar sus conocimientos sobre la energía solar. Para ello, se utilizó un dispositivo sencillo que en conjunto con un libro guía, orientará la manera en cómo debían tomarse los datos, y cuál era su posible interpretación.

Este trabajo se fundamentó en la teoría científica del efecto fotoeléctrico, de la pérdida de energía y de la absorbancia, en donde se fundamentará el por qué se tomó como parámetros físicos de variación, el ángulo de incidencia de la luz y el calentamiento del panel.

Se mostró la manera en cómo se puede variar la cantidad de energía suministrada a través del panel, al variar los parámetros mencionados anteriormente, y se mostrará en qué punto y bajo qué condiciones, la curvatura de eficiencia del panel está en su punto de máxima entrega y menor pérdida.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Construcción de un módulo didáctico para el análisis de la curvatura de eficiencia en paneles solares mediante la variación de parámetros físicos.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Construir la estructura mecánica encargada de dar soporte al sistema.

Construir el sistema electrónico encargado de la recopilación de la información entregada por el uso del panel.

Determinar bajo cuales variaciones, la eficiencia del panel es mejor.

## Tabla de Contenidos

Capítulo 1 Introducción e información general sobre los paneles solares .....	10
Introducción al porqué del proyecto .....	10
¿Qué es un panel solar?.....	11
Elementos básicos para el aprovechamiento de la energía solar .....	12
Placas solares: Encargadas de recolectar la energía solar y transformar esta en energía eléctrica. ....	13
Controlador de carga: Encargado de mantener un funcionamiento estable en las baterías al cargarlas, pues evita una sobrecarga de las mismas al notar un cierto voltaje, reduciendo la energía entregada por los paneles. ....	13
Baterías: Encargadas de recolectar la energía proveniente de las placas solares. ....	14
Inversor .....	14
Diferentes tipos de paneles: .....	15
Paneles solares de celdas de silicio. ....	16
Placas solares de capa fina:.....	16
Celdas flexibles.....	17
CARACTERIZACIÓN DE PANELES SOLARES. ....	18
Curva I-V .....	19
Curva P-V .....	21
Grafica P-V + I-V .....	22
Factor de Forma .....	23
MARCO LEGAL.....	24
Marco legal en Colombia.....	24
BIBLIOGRAFÍA ANOTADA.....	27
CARACTERIZACIÓN DE MINIPANELES FOTOVOLTAICOS PARA APLICACIONES INALÁMBRICAS .....	27
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA .....	28
DRIVERS OF COST REDUCTION IN SOLAR PHOTOVOLTAICS.....	28
SISTEMA PARA CARACTERIZACION DE PANELES SOLARES .....	29
SOLAR ENERGY FOR FUTURE WORLD: A REVIEW.....	30
POTENTIAL SOLAR ENERGY USE IN THE GLOBAL PETROLEUM SECTOR .....	31
SOLAR ENERGY UNDER COLD CLIMATIC CONDITIONS: A REVIEW .....	32
PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY: CONCEPTUAL FRAMEWORK.....	32
ESTADO DEL ARTE.....	33
Capítulo 2 Teorías físicas, y dispositivos de regulación en paneles solares.....	36
Efecto fotoeléctrico.....	36
Historia del efecto foto-eléctrico .....	36
Teoría del efecto fotoeléctrico .....	37
Leyes de la emisión fotoeléctrica: Existen unas leyes que resumen lo aportado por las teorías matemáticas, estas spn que:.....	39
El efecto fotoeléctrico y los paneles solares .....	40
Pérdida por calor .....	42

	vi
Efecto Joule y los paneles solares .....	42
Tipos de convertidores .....	44
Convertidores reductores .....	45
Convertidores elevadores .....	47
Convertidores elevadores-reductores .....	50
Capítulo 3 Diseño banco didáctico .....	53
Elementos que componen el banco didáctico .....	53
Diseño de estructura mecánica del panel solar .....	53
Diseño CAD estructura del panel .....	55
Base de la estructura .....	55
Diseño electrónico .....	57
Consideraciones especiales en el diseño .....	57
Elementos de diseño electrónico .....	58
Diseño general de relación de componentes .....	59
Diseño electrónico servomotor .....	59
Diseño electrónico sensor de temperatura .....	61
Diseño electrónico voltiamperímetros .....	63
Diseño electrónico convertidor reductor buck y convertidor elevador boost .....	65
Diseño electrónico PIC .....	69
Diseño electrónico Panel solar .....	71
Diseño electrónico fuente de alimentación .....	72
Diseño electrónico ventiladores .....	73
Tabla de costos .....	76
Matrices QFD .....	77
Conclusión matriz QFD .....	81
Capítulo 4 Toma de Datos y análisis del sistema .....	82
Toma de datos al variar el valor de la resistencia de carga .....	82
Toma de datos al variar el ángulo de incidencia .....	91
Análisis de la información obtenida .....	94
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones .....	97
Lista de referencias .....	99

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 Valores del coeficiente de transferencia térmica .....	43
Tabla 2 Características servomotor.....	61
Tabla 3 Funciones del mini termostato w1209.....	63
Tabla 4 Características voltiamperímetro .....	64
Tabla 5 Características regulador Buck XL4015.....	67
Tabla 6 Características regulador Boost XL6009.....	68
Tabla 7 Características panel solar .....	72
Tabla 8 Voltajes y corrientes en un panel a 17°C.....	82
Tabla 9 Voltajes y corrientes del panel solar a 20°C y 90° con respecto a cara de panel .....	85
Tabla 10 Voltajes y corrientes de panel solar a 25°C y 45° con respecto a cara de panel .....	91
Tabla 11 Análisis información obtenida.....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Elemento de un panel. (BKARKI, 2015) .....	11
Figura 2 elementos básicos obtención energía. (“100 watt polycrystalline solar panels,10a 12v solar charge controller 500w solar inverter,100W Solar System,12V battery charger,” n.d.) .....	12
Figura 3 Panel policristalino. (“PANEL SOLAR QXPV POLICRISTALINO 150W,” n.d.) .....	13
Figura 4 Controlador de carga. (“BSV20A BSV 20A CC002 12V/24V Solar Panel Charge Controller Battery Regulator Charging Control Safe Protection Home Wholesale,” n.d.) ..	14
Figura 5 Batería de ciclo profundo. (“Batería ciclo profundo,” n.d.) .....	14
Figura 6 Inversor onda senoidal. (“Inversor solar 6000w, onda senoidal pura,” n.d.) .....	15
Figura 7 Izquierda. Panel solar fotovoltaico. Derecha. Panel solar térmico. (“Paneles Fotovoltaicos vs Paneles Térmicos,” 2015).....	15
Figura 8 Panel solar de cobre (“EL COBRE CREA HOGAR,” 2011) .....	16
Figura 9 Panel solar flexible. (“Paneles Solares, Tipos y Eficiencias,” n.d.) .....	17
Figura 10 Configuración para encontrar curva I-V. (“Estudio y caracterización de células solares fotovoltaicas,” n.d.).....	20
Figura 11 Curva característica I-V. (“EDUCACIÓN SOLAR,” n.d.).....	20
Figura 12 Curva característica P-V . (Ricardo Ferreira, n.d.) .....	22
Figura 13 Curva caracterís.tica de la unión de la curva P-I y P-V. (“J218: Curvas genéricas de corriente y voltaje en células solares,” 2011) .....	23
Figura 14 experimento de Philipp. (Laura Morrón, 2013).....	36
Figura 15 Efecto de los fotones sobre una superficie metálica. (“Física del módulo fotovoltaico,” 2017) .....	37
Figura 16 Efecto fotoeléctrico y la frecuencia de los fotones. (“El efecto fotoeléctrico,” n.d.)...	39
Figura 17 Obtención energía por efecto fotoeléctrico. (Admin, 2016).....	41
Figura 18 Efecto fotoeléctrico, electrón absorbe energía de fotón. (“¿Qué es el Efecto Fotoelectrico?,” n.d.).....	42
Figura 19 Efecto fotoeléctrico en paneles solares. (“¿Cómo Produce Energía Eléctrica un Panel Solar?,” n.d.) .....	42
Figura 20 Dispositivo sin Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015).....	46
Figura 21 Dispositivo con Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015).....	46
Figura 22 Dispositivo sin Mosfet de switcheo. (“File:Buckboost conventions.svg,” n.d.) .....	48
Figura 23 Dispositivo con Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015).....	49
Figura 24 Dispositivo sin Mosfet de switcheo. (“File:Buckboost conventions.svg,” n.d.) .....	51
Figura 25 Dispositivo con Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015).....	51
Figura 26 Vista superior bandeja de panel.....	55
Figura 27 Izquierda. Renderizada bandeja del panel. Derecha. Formato Cad bandeja del panel solar.....	56
Figura 28 Izquierda. Parte interna de la bandeja, renderizada. Derecha. Parte interna de bandeja en formato CAD.....	57
Figura 29 Esquema general de relación de componentes electrónicos.....	59
Figura 30 Diseño en Proteus de control servomotor en PCB .....	60
Figura 31 Servomotor MG 995. (“Servomotor Mg995 TowerPro con engranes metalicos, 15Kg/cm,” n.d.).....	60



Figura 32 Minitermostato digital w1209 (“W1209 TEMPERATURE CONTROL SWITCH,” n.d.) .....	62
Figura 33 Voltiamperímetro con display de 7 segmentos. (“Voltiamperímetro 7 SEG Rojo 0V-100V DC/0A-10A DC,” n.d.) .....	64
Figura 34 Izquierda, dispositivo boost.(“Convertidor DC-DC Boost XL6009,” n.d.). Derecha, dispositivo Buck. (“Convertidor DC-DC Buck XL4015 de 5A,” n.d.) .....	65
Figura 35 Diseño en Proteus de mecanismo para variar voltajes en reguladores .....	69
Figura 36 Diseño en Proteus de electrónica de PIC 16F877A.....	70
Figura 37 Pines y funciones de PIC 16F877A. (“Conversor Pic 16F877A,” 2013).....	71
Figura 38 Fuente de voltaje de computador. (“Arquitectura del Computador - Fuentes de Alimentación - Parte 2 de 2,” n.d.) .....	73
Figura 39 Cooler de 12V. (“Cooling Fan 12 VDC 120 x 120 x 25mm 83 CFM,” n.d.) .....	74
Figura 40 Matriz de calidad .....	77
Figura 41 Matriz despliegue de las partes.....	78
Figura 42 Matriz planeación del proceso.....	79
Figura 43 Matriz planeación de la producción .....	80
Figura 44 Curva I-V del panel a 17°C .....	83
Figura 45 Curva P-V del panel a 17°C .....	83
Figura 46 Curva I-V y P-V del panel a 17°C.....	84
Figura 47 Curva I-V a 20°C.....	86
Figura 48 Curva P-V a 20°C.....	86
Figura 49 Unión curvas I-V y P-V en panel a 20°C .....	87
Figura 50 Curva I-V panel a 25°C .....	89
Figura 51 Curva P-V a 25°C.....	89
Figura 52 Unión curvas I-V y P-V en panel a 25°C .....	90
Figura 53 Curva I-V panel a 25°C y 45° respecto a cara de panel .....	92
Figura 54 Curva P-V de panel a 25°C y 45° con respecto a cara de panel.....	92
Figura 55 Curva I-V y P-V de panel a 25°C y 45° respecto a cara de panel .....	93
Figura 56 Curvas I-V con variación en °C .....	95
Figura 57 Curvas I-V con variacion en grados respecto a cara de panel.....	96



## Capítulo 1

### Introducción e información general sobre los paneles solares

#### Introducción al porqué del proyecto

Dada la necesidad estudiantil de poder realizar prácticas con paneles solares donde en ellos se pueden afianzar los conocimientos adquiridos en las clases, y ya que, está práctica también se fundamenta en la utilidad de conocer sobre la energía solar, se desarrolló un banco didáctico donde el estudiante puede variar parámetros físicos de relevancia que generaron en la curva de eficiencia en cuanto a la cantidad de energía suministrada, variaciones que al ser analizadas demuestran el punto de mayor provecho de este tipo de dispositivos.

Los criterios que se tuvieron en cuenta fueron la economía sin despreñar la calidad del elemento, la sencillez en cuanto a la variación de los parámetros físicos, y la estética en cuanto al prototipo externo.

Este trabajo se limitó al uso de paneles solares poli-cristalinos de silicio, pero no se descarta el hecho de que se puedan acoplar paneles de otros tipos para su investigación, siendo así un dispositivo que se puede adaptar a elementos para los cuales no se investigó su uso.

Podemos anunciar que el estudio de la energía solar es un tema muy importante en cuanto al futuro de la obtención de energía sin depender de combustibles fósiles.

### ¿Qué es un panel solar?

Son dispositivos cuya finalidad es la de transformar la energía lumínica en corriente eléctrica mediante la diferencia de potencial entre las placas que esta posee, esto se logra a través del dopaje de dos placas en donde una de ellas se carga con una cantidad mayor de electrones, mientras que la otra presenta un déficit del mismo, actuando de esta manera como si fuesen pilas, siendo que, una vez se iluminen, estos electrones adquieren un grado mayor de excitación y empiecen a dirigirse mediante un circuito cerrado a la otra zona de la placa, provocando así el flujo de estos. (BY-ACO, 2015)

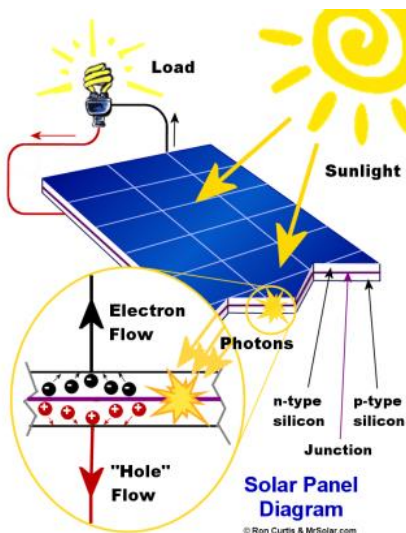


Figura 1 Elemento de un panel. (BKARKI, 2015)

La producción de energía solar fotovoltaica es una de las más conocidas y populares formas de obtención de energía renovable, y para mantener este peso, nuevos desarrollos han ido aumentando en cuanto se refiere a uso de materiales, consumo energético para la manufactura de estos, diseño de dispositivos, producción de tecnologías, también con nuevos conceptos para mejorar la eficiencia global de las celdas. (“Paneles Solares, Tipos y Eficiencias,” n.d.)

### Elementos básicos para el aprovechamiento de la energía solar

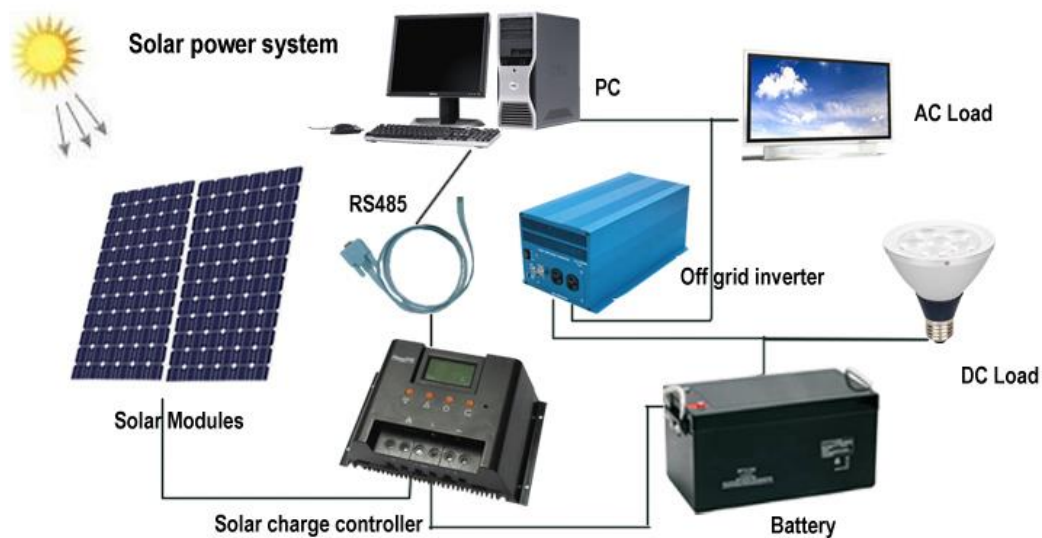


Figura 2 elementos básicos obtención energía. (“100 watt polycrystalline solar panels, 10a 12v solar charge controller 500w solar inverter, 100W Solar System, 12V battery charger,” n.d.)

Placas solares: Encargadas de recolectar la energía solar y transformar esta en energía eléctrica.



*Figura 3 Panel policristalino. (“PANEL SOLAR QXPV POLICRISTALINO 150W,” n.d.)*

Controlador de carga: Encargado de mantener un funcionamiento estable en las baterías al cargarlas, pues evita una sobrecarga de las mismas al notar un cierto voltaje, reduciendo la energía entregada por los paneles.



*Figura 4 Controlador de carga. ("BSV20A BSV 20A CC002 12V/24V Solar Panel Charge Controller Battery Regulator Charging Control Safe Protection Home Wholesale," n.d.)*

Baterías: Encargadas de recolectar la energía proveniente de las placas solares.



*Figura 5 Batería de ciclo profundo. ("Batería ciclo profundo," n.d.)*

Inversor

: Dado que la corriente entregada por las placas solares es continua, se hace necesaria la presencia de un inversor que genere un voltaje alterno para poder dar así un uso de elementos diseñados a este tipo de tensión.



*Figura 6 Inversor onda senoidal. (“Inversor solar 6000w, onda senoidal pura,” n.d.)*

### Diferentes tipos de paneles:



*Figura 7 Izquierda. Panel solar fotovoltaico. Derecha. Panel solar térmico. (“Paneles Fotovoltaicos vs Paneles Térmicos,” 2015)*

Si bien existen paneles solares fotovoltaicos y paneles solares térmicos, nuestra investigación se centra en los fotovoltaicos, dentro de los que se encuentran:

Paneles solares de celdas de silicio.

Son los más frecuentes y poseen una vida útil mayor a 20 años, se diferencia entre paneles mono cristalinos y policristalinos. La diferencia principal radica en su eficiencia, mientras que en los monocristalinos se presenta una mayor eficiencia en condiciones estándar, los policristalinos presentan una menor reducción de eficiencia<sup>3</sup> en condiciones adversas de temperatura. («Paneles Solares, Tipos y Eficiencias», s. f.)

Placas solares de capa fina:

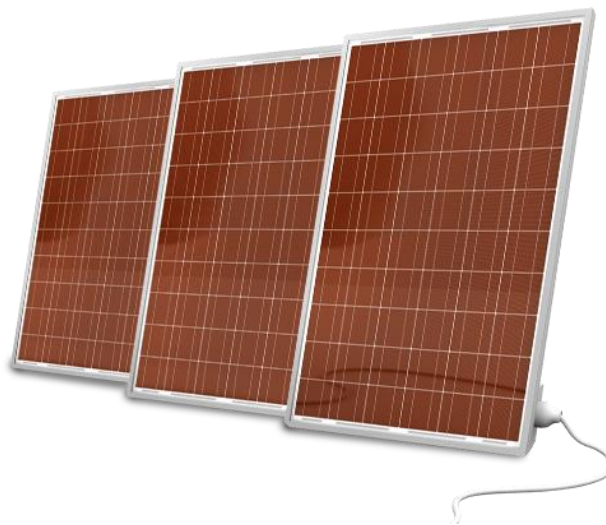


Figura 8 Panel solar de cobre (“EL COBRE CREA HOGAR,” 2011)



Debido a que encontrar silicio puro es costoso y se presenta de manera escasa, se vio la necesidad de ahondar en otros tipos de materiales, los más comunes son los módulos de capa delgada de cobre, indio y selenio (CIS) o de cobre, indio, galio y selenio (CIGS) y módulos de capa delgada a base de cadmio y telurio (CdTe).

En su mayoría se utilizan las placas solares de silicio debido a la eficiencia garantizada de estas, por lo que en otros proyectos en los cuales se han desarrollado laboratorios para la investigación, se ha optado por el uso de ellas para la comprensión sobre energías renovables que utilizan como fuente la energía lumínica.

#### Celdas flexibles

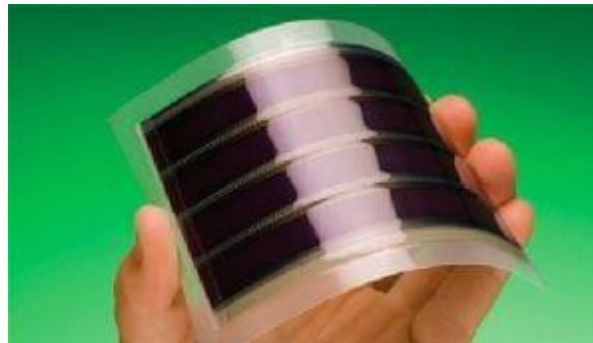


Figura 9 Panel solar flexible. (“Paneles Solares, Tipos y Eficiencias,” n.d.)

Gracias al avance de la tecnología y los medios de producción, se pueden también fabricar celdas flexibles, las cuales permiten un uso mucho más adaptado a las

irregularidades de los dispositivos, tales como celulares, computadores, entre otros, proveyendo así de una solución en cuanto a la carga del material.

## CARACTERIZACIÓN DE PANELES SOLARES.

La caracterización de los paneles solares nos permite hallar parámetros que describen el funcionamiento del panel y con los cuales podemos hallar el punto de máxima potencia, así como la eficiencia de estos, esta caracterización se logra utilizando la toma de datos del voltaje y de la corriente ante una carga resistiva determinada, estas curvas formadas por esta práctica son:

- Curva I-V
- Curva P-V
- Curva P-V + I-V

Donde I es la corriente generada por el panel, V es el voltaje generado por el panel, y P es la potencia entregada por el panel. (Ricardo Ferreira, n.d.)

Es así que para poder determinar la eficiencia de un panel debemos conocer la potencia máxima que entregará ante determinada carga. Esto se logra generando las curvas I-V, P-I y P-V, las cuales son una relación de la corriente con el voltaje, la potencia, con la corriente, y la potencia con el voltaje respectivamente, de esta manera y al analizar la gráfica se encontrarán los siguientes parámetros:

- Pm. Potencia máxima
- Voc. Voltaje en circuito abierto
- Isc. Corriente en corto circuito
- FF Factor de forma

### Curva I-V

La curva I-V, relaciona la intensidad de corriente, con la tensión del voltaje. (“Curva I-V,” n.d.)

Para hallarla se siguen los siguientes pasos:

- Se enciende la fuente de iluminación con la que se trabajará.
- Se toma lectura del voltaje en los terminales.
- Se toma lectura de la corriente en corto circuito de sus terminales.
- Posteriormente se acopla un potenciómetro o reóstato en los terminales del panel solar de la siguiente forma.

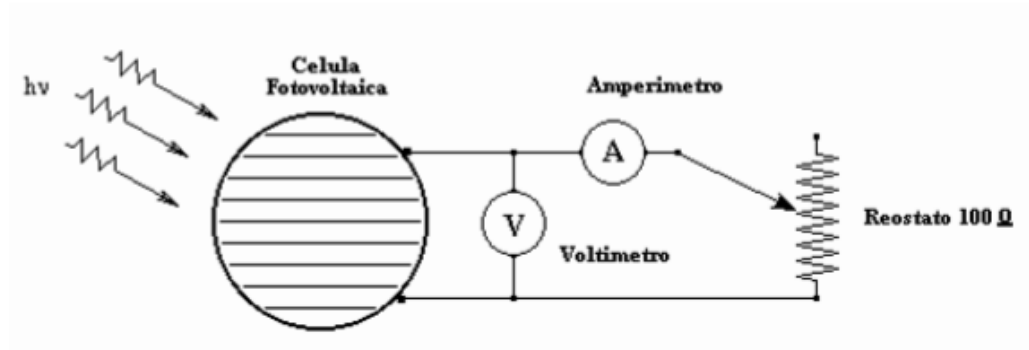


Figura 10 Configuración para encontrar curva I-V. (“Estudio y caracterización de células solares fotovoltaicas,” n.d.)

- Se variará, el valor de la resistencia y se irán tomando los datos, tanto de tensión como de corriente.
- Se graficarán estos voltajes en el eje x, y las corrientes en el eje Y, obteniendo una gráfica así:

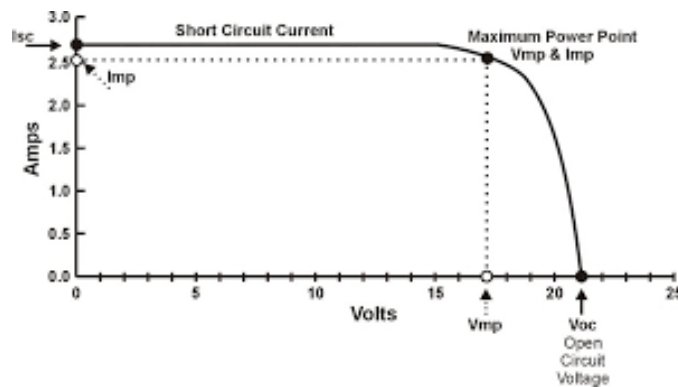


Figura 11 Curva característica I-V. (“EDUCACIÓN SOLAR,” n.d.)



En esta curva podemos observar que existe un punto en donde la relación  $V \cdot I$  es máxima, a este punto se le llama,  $P_m$  (potencia máxima) Para hallarla debemos generar la curva P-V

### Curva P-V

La curva P-V, relaciona la potencia entregada por el panel, con la tensión del voltaje, para hallarla se debe usar la fórmula:

$$P = V * I$$

Donde:

P es la potencia

V es el voltaje

I es la corriente

El voltaje y la corriente que se usarán serán los adquiridos en el experimento anterior de la curva V-I, donde multiplicaremos cada par de valores obtenido, y graficaremos estos datos, obteniendo una gráfica así:

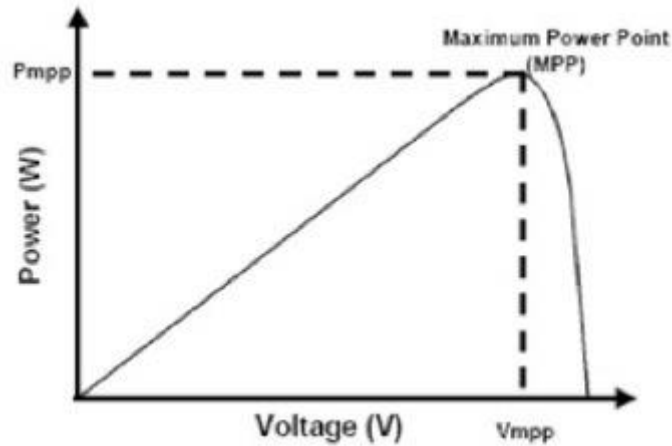


Figura 12 Curva característica P-V . (Ricardo Ferreira, n.d.)

De esta forma podemos encontrar el punto de máxima potencia, pero si se desea ver mejor, los valores de voltaje y de corriente que llevaron a ese punto se deben unir las gráficas y formar la gráfica P-V con I-V.

#### Gráfica P-V + I-V

En esta gráfica podemos ver mejor la relación entre voltaje corriente y la potencia entregada, para hallarla, lo único que tenemos que hacer es superponer una gráfica sobre otra, teniendo en cuenta que se debe generar dos ejes en la zona horizontal, para que de esta manera se puedan observar mejor la relación de los datos.

Al realizarlo, nos quedará una gráfica así:

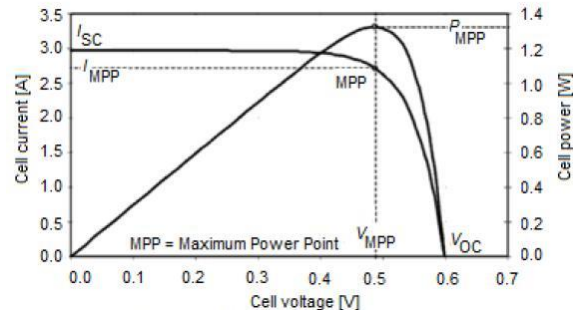


Figura 13 Curva característica de la unión de la curva P-I y P-V. (“J218: Curvas genéricas de corriente y voltaje en células solares,” 2011)

Ya con las tres gráficas podemos obtener:

- $V_m$  (Voltaje en el punto de máxima potencia)
- $I_m$  (corriente en el punto de máxima potencia)
- $P_m$  (potencia máxima)
- $V_{oc}$  (voltaje en circuito abierto)
- $I_{sc}$  (Corriente en corto circuito)

Con estos datos, podemos hallar el parámetro con el cual relacionaremos la eficiencia del panel, este es el factor de forma FF. (Cepeda Juan, 2017)

Factor de Forma



El factor de forma es el cociente entre la potencia entregada y la multiplicación del voltaje en circuito abierto con la corriente en corto circuito, así:

$$FF = \frac{P_m}{V_{oc} * I_{sc}}$$

Las células solares comunes poseen factores de forma por encima del valor de 0.7.

## MARCO LEGAL

Marco legal en Colombia

### Ley 1715 de 2014

"Mediante esta Ley se declaran las energías renovables como asunto de utilidad pública, de interés social y de conveniencia nacional, dado el carácter substancial que tiene la utilización de estas fuentes no convencionales en la protección del medio ambiente y en el uso eficiente de la energía". (Ministro Amylkar Medina, 2014).

La parte que compete principalmente a la regulación de la energía solar se encuentra presente en esta ley, en el artículo 19, donde se menciona:

1. La energía solar se considerará como FNCR. Se deberá estudiar y analizar las condiciones propias de la naturaleza de la fuente para su reglamentación técnica por parte de la CREG.



2. El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco de sus funciones, fomentarán el aprovechamiento del recurso solar en proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificaciones oficiales, en los sectores industrial, residencial y comercial.

3. El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía directamente o a través de la entidad que designe para este fin reglamentará las condiciones de participación de energía solar como fuente de generación distribuida estableciendo la reglamentación técnica y de calidad a cumplir por las instalaciones que utilicen la energía solar, así como los requisitos de conexión, mecanismos de entrega de excedentes, y normas de seguridad para las instalaciones.

4. El Gobierno Nacional considerará la viabilidad de desarrollar la energía solar como fuente de autogeneración para los estratos 1, 2 y 3 como alternativa al subsidio existente para el consumo de electricidad de estos usuarios.

5. El Gobierno Nacional, por intermedio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible determinará los parámetros ambientales que deberán cumplir los proyectos desarrollados con energía solar, así como la mitigación de los impactos ambientales que puedan presentarse en su implementación.

6. El Gobierno Nacional incentivará el uso de la generación fotovoltaica como forma de autogeneración y en esquemas de GD con FNCER.

7. El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía considerará esquemas de medición para todas aquellas edificaciones oficiales o privadas, industrias, comercios y residencias que utilicen fuentes de generación solar. El esquema de medición contemplará la posibilidad de la medición en doble vía (medición neta), de forma que se habilite un esquema de autogeneración para dichas instalaciones.

#### **Resolución UPME 143 de 2016**

Establece los requerimientos para el registro de proyectos de generación con fuentes no convencionales de energía.

#### **Resolución UPME 045 de 2016**

Procedimientos y requisitos para emitir la certificación y avalar los proyectos de fuentes no convencionales de energía (FNCE)

#### **Resolución UPME 0281 de 2015**

Define el límite máximo de potencia de la autoregeneración a pequeña escala en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)

#### **Decreto MME 2143 de 2015**



Reglamenta los lineamientos para la aplicación de incentivos establecidos en la Ley 1715.

## **BIBLIOGRAFÍA ANOTADA**

### **CARACTERIZACIÓN DE MINIPANELES FOTOVOLTAICOS PARA APLICACIONES INALÁMBRICAS**

**Autor:** Gerard Herrera Prat.

**Palabras clave:** Energía solar, curvas I-V, diseño, paneles fotovoltaicos.

**Descripción general:** Tesis sobre la caracterización de módulos fotovoltaicos, así como su funcionamiento, su configuración, eficiencias, y usos.

**Contenido:** Inicia explicándonos el funcionamiento físico de los paneles solares para posteriormente mostrarnos sobre el modelado teórico del sistema, la energía aportada por los paneles dada su configuración, para finalizar con las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. (Gerard Herrera Prat., 2010)

**Conclusiones:** Es importante conocer sobre las curvas I-V, P-V, P-I, para de esta manera poder determinar el punto de mayor potencia entre otros parámetros que nos ayudan a entender la eficiencia del panel, y cómo esta varía en funciones de aspectos físicos.



## DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA

**Autor:** Pedro Antonio Romero Díaz.

**Palabras Clave:** Energías, renovable, laboratorio.

**Descripción General:** Artículo sobre el diseño e implementación de un laboratorio de energías renovables, entre ellas, la solar y la eólica.

**Contenido:** El artículo inicia con énfasis en la utilidad y necesidad de las energías renovables, para posteriormente pasar a la etapa en donde muestran los implementos y las metodologías que se usaron en este trabajo, y finaliza con las características y el resultado de la implementación. (Pedro Antonio Romero Díaz., 2013)

**Conclusiones:** Se realizó la compra de un kit o material el cual contaba con todos los elementos necesarios para el desarrollo del laboratorio, pero no se ahondó en los cálculos para el desarrollo del mismo.

## DRIVERS OF COST REDUCTION IN SOLAR PHOTOVOLTAICS

**Autor:** Unni Pillai

**Palabras clave:** Fotovoltaicos, reducción de costos.

**Descripción general:** Artículo sobre el estudio de la reducción de los paneles solares a lo largo de la historia, y a qué se habrá debido esta situación.

**Contenido:** Inicia enseñando el valor de la generación de la energía solar a través de los años, para posteriormente mostrar el crecimiento de la eficiencia de los paneles, y de la reducción de precios del polisilicio, así como la comparación de los precios otorgados por la industria china y otros países, finalizando con la conclusión que la reducción del precio de los paneles solares se debe a la disminución del precio del polisilicio, del bajo precio de los paneles desde china, de la inversión en la investigación, entre otros temas.(Unni Pillai, 2015)

**Conclusiones:** La industria china ha sido una gran influencia para la disminución de los costos, así como el interés en aumento por utilizar este tipo de energía.

## SISTEMA PARA CARACTERIZACION DE PANELES SOLARES

**Autores:** Carlos Robayo L., Sergio Serna G.

**Palabras clave:** Caracterización de paneles solares, carga electrónica, Labview.

**Descripción general:** Uso de la herramienta Labview como interfaz para la visualización de los parámetros y las curvas características del panel.

**Contenido:** Inicia hablándonos sobre los modelos teóricos de los paneles, así como un vistazo a la teoría de como este modelo varía en función de qué parámetros físicos, para finalizar en cómo se desarrolló el sistema de interfaz en labview. (Carlos Robayo L., 2015)

**Conclusiones:** La caracterización de los paneles solares es útil conociendo de antemano los parámetros físicos presentes en el modelado teórico del sistema, así como se ve la necesidad de conocer las características de los paneles.

#### SOLAR ENERGY FOR FUTURE WORLD: A REVIEW

**Autores:** Nadarajah Kannan, Divagar Vakeesan

**Palabras Clave:** Energía renovable, energía solar, futuro del mundo.

**Descripción General:** Artículo sobre un vistazo sobre la energía solar, cómo funciona, sus aplicaciones, y la evolución que ha presentado y que se predice sucederá.

**Contenido:** El artículo inicia con una introducción al funcionamiento de los paneles, y del consumo de la población en cuanto a energía solar y las demás energías, para posteriormente finalizar con las aplicaciones de la energía solar. (Nadarajah Kannan, 2016)

**Conclusiones:** Se realiza un énfasis en cuanto a la necesidad de utilizar energías renovables dado el incremento acelerado de la población del planeta.

## POTENTIAL SOLAR ENERGY USE IN THE GLOBAL PETROLEUM SECTOR

**Autor:** Jingfan Wang, Jhon O'Donnell, Adam R. Brandt

**Palabras clave:** Petroleo, gas, aceite, energía solar.

**Descripción general;** Artículo sobre la utilidad de la energía solar en el ámbito petrolero, como por ejemplo en el uso de esta energía para los procesos de extracción, transporte y refinado del aceite.

**Contenido:** Inicia explicándonos, cómo es el gasto energético en la industria de la obtención del gas y el aceite, para posteriormente, mostrar la cantidad de energía que podría ahorrarse en caso de usar un sistema de energía fotovoltaica, y finalizar con la conclusión de la cantidad de energía que la industria petrolera podría ahorrarse en términos de GW. (Jingfan Wang & Adam R. Brandt, 2016)

**Conclusiones:** La energía solar puede ahorrar grandes cantidades de dinero en cuanto al gasto energético si se opta por el uso de la energía solar como fuente de energía incluida dentro de los gastos energéticos.

## SOLAR ENERGY UNDER COLD CLIMATIC CONDITIONS: A REVIEW

**Autor:** Maxime Mussard

**Palabras clave:** Páneles fotovoltaicos, energía solar.

**Descripción General:** Artículo sobre la revisión de los sistemas solares en condiciones de frío, mostrando entre ellos, los paneles solares fotovoltaicos, los térmicos, los híbridos, y en otras aplicaciones como granjas.

**Contenido:** Inicia con las evidencias mostradas sobre la disminución de la eficiencia en zonas con temperaturas bajas, donde se ve una disminución de los Kw/h que entra en estas zonas, posteriormente enseña modelos de invernaderos, y el cómo utilizar los paneles solares térmicos en estas y otras construcciones, así como sus esquemas de implementación, para al final concluir con la utilidad de implementar este tipo de sistemas incluso en zonas de las condiciones climáticas presentadas. (Maxime Mussard, 2017)

**Conclusiones:** Se comprobó la utilidad de los sistemas solares térmicos, tanto para el uso en invernaderos, como para el uso humano, así el cómo podría implementarse estos modelos.

## PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY: CONCEPTUAL FRAMEWORK

**Autor:** Priscila Gonçalves Vasconcelos Sampaio, Mario Orestes Aguirre González.



**Palabras clave:** Energía solar fotovoltaica.

**Descripción general:** Artículo sobre las generalidades de los paneles solares, dentro de lo que se incluye su venta, su evolución y su funcionamiento.

**Contenido:** Inicia explicando el funcionamiento de los paneles solares, y la cantidad de instalaciones solares en porcentaje por países, posteriormente nos enseña sobre las eficiencias según la composición de los paneles, y finaliza con una muestra del interés creciente por este tipo de energía renovable. (Priscila Gonçalves Vasconcelos Sampaio, 2017)

**Conclusiones:** La industria de la energía solar es una industria en crecimiento que requiere de mayores investigaciones para aumentar más la eficiencia de los paneles y de esta manera otorgar una mayor razón para el uso cotidiano de esta energía.

## ESTADO DEL ARTE

Desde el descubrimiento del científico francés Alexandre Edmon Becquerel sobre el efecto fotovoltaico, la luz solar se ha utilizado en innumerables aplicaciones, pero no fue sino gracias a científicos como W. Grylls Adams el cual experimento con el selenio y noto la conducción de energía y Charles Fritts que en 1893 inventa la primera célula solar, que esta no empezaría a vislumbrar un camino hacia un modo por el cual aprovecharíamos la energía del sol, no sin antes pasar por la mente de

hombres como Albert Einstein que describieron la física detrás de su funcionamiento, y a quien le debemos la explicación del efecto fotoeléctrico.

Pero una vez formuladas las teorías y los dispositivos se hizo necesario el conocer su eficiencia, y es así que artículos nos indican que se puede hallar la eficiencia del panel a través del análisis de las curvas I-V y P-V (Gerard Herrera Prat., 2010). Estas curvas esenciales, nos ayudan a entender cómo se comporta el panel solar frente a cargas y frente a variaciones de parámetros tales como la radiación, la temperatura, y el ángulo de incidencia de la luz, mostrándonos la necesidad de crear laboratorios para su correcto estudio (Pedro Antonio Romero Díaz., 2013). Pero, esto no sería posible sin la reducción de precios que nos permitirían al público en general el poder adquirir y realizar investigaciones de este tipo, siendo así que gracias a la reducción de precio del polisilicio y a la industria china, los paneles han visto un decrecimiento en cuanto a su precio, año tras año (Unni Pillai, 2015).

Hoy en día, y gracias al desarrollo de software y de las interfaces gráficas, el análisis de las curvas características de un panel, ha sido más fácil, ya que, software como Labview, nos permite, no sólo realizar el control de algún tipo de mecanismo de variación de los parámetros de incidencia en el panel, sino también poder observar en tiempo real, estas variaciones a través de una pantalla.(Carlos Robayo L., 2015).

Pero nada de lo anterior tendría sentido si no se le diera una aplicación pertinente a la magnitud de su investigación. Hoy en día vemos como las aplicaciones de los paneles solares son tan variadas entre ellas, y en industrias tan distantes tales como el sector petrolero, en donde se utiliza para los procesos de extracción, transporte y refinado del aceite. (Jingfan Wang & Adam R. Brandt, 2016), también en el sector agrícola para el uso en granjas y en donde se determina su mejor funcionamiento bajo condiciones climáticas adversas.(Maxime Mussard, 2017).

Con esto notamos, la necesidad y utilidad de los paneles solares fotovoltaicos a lo largo de la historia, y en cómo su investigación ha avanzado de tal manera que hoy en día se puede llegar a adquirir este tipo de dispositivos de manera mas fácil, así como el poder obtener energía más eficientemente a través de ellos.

## Capítulo 2

### Teorías físicas, y dispositivos de regulación en paneles solares

#### Efecto fotoeléctrico

##### Historia del efecto foto-eléctrico

Si bien Einstein fue el encargado de describir y dar una definición física sobre el efecto fotoeléctrico, este ya era conocido en tiempos atrás, desde la época en que Hertz descubrió de manera accidental este efecto, sin poder entenderlo, ya que para la época no existía el concepto de electrón aún.

Philipp Lenard, ayudante de Hertz, en el año de 1902, descubrió que al colocar dos placas metálicas en un tubo de vidrio al vacío, y al iluminarlo con luz ultravioleta, se generaba corriente. (Laura Morrón, 2013)

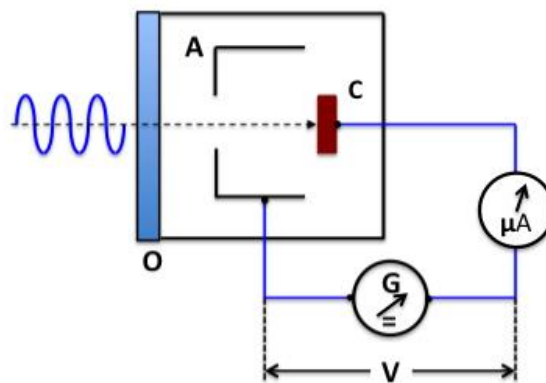
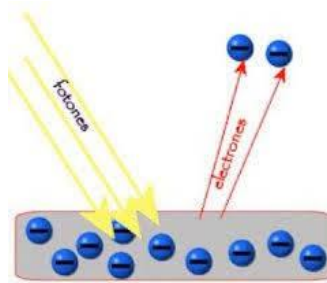


Figura 14 experimento de Philipp. (Laura Morrón, 2013)

Fue Einstein quien propuso el concepto de cuantos de luz, y que estos al incidir sobre la placa, generan un aumento de energía en los electrones lo que provoca su expulsión, lo cual fue comprobado experimentalmente por Robert Andrews Millikan. En estos planteamientos de Einstein se pudo notar que la energía con la que los electrones escapaban era proporcional a la frecuencia de la luz y no a su intensidad.

#### Teoría del efecto fotoeléctrico



*Figura 15 Efecto de los fotones sobre una superficie metálica. (“Física del módulo fotovoltaico,” 2017)*

Supongamos que existe un  $\phi$  el cual es una energía mínima para poder separar al electrón de la superficie del material, sabremos que una vez separado el electrón del material, este debe poseer una energía cinética con la cual se debe mover una vez liberado, a esta energía la llamaremos  $E_k$ , entonces la cantidad de energía total absorbida por el electrón viene dada por la ecuación:

$$E = E_k + \phi \quad [1]$$

Que se puede reescribir como:

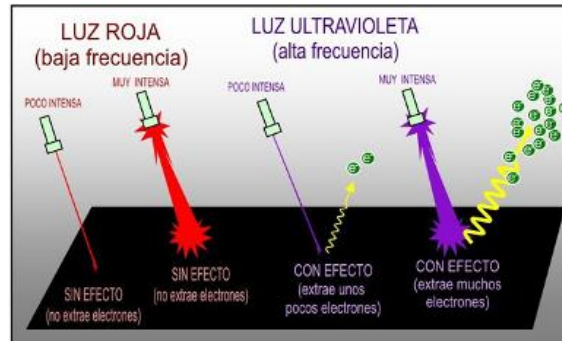
$$E_k = E - \phi \quad [2]$$

Como se sabe este efecto es provocado por el intercambio de energía de un fotón y un electrón, por lo que, la energía  $E$ , se puede escribir como la energía de un fotón, la cual viene dada por la ecuación:

$$E = hf \quad [3]$$

Donde  $h$  es la constante de Planck, y  $f$  es la frecuencia de la radiación electromagnética.

Eso genera un análisis y es, que, por la ecuación 2, si la energía del fotón, no es mayor a  $\phi$ , entonces, el electrón no se desprenderá del material, y no habrá electrones libres. (“El efecto fotoeléctrico,” n.d.)



*Figura 16 Efecto fotoeléctrico y la frecuencia de los fotones. (“El efecto fotoeléctrico,” n.d.)*

Leyes de la emisión fotoeléctrica:

Existen unas leyes que resumen lo aportado por las teorías matemáticas, estas son que:

1. La cantidad de fotoelectrones emitidos es directamente proporcional a la intensidad de la luz incidente.
2. Para cada metal dado, existe una cierta frecuencia mínima de radiación incidente debajo de la cual ningún fotoelectrón puede ser emitido. Esta frecuencia se llama frecuencia de corte, también conocida como "frecuencia umbral". La frecuencia de corte es aquella en que los fotones tienen exactamente la energía mínima para arrancar los electrones.

3. Por encima de la frecuencia de corte, la energía cinética máxima del fotoelectrón emitido depende de la frecuencia de la luz incidente.
4. El tiempo de retraso entre la incidencia de la radiación y la emisión del fotoelectrón es muy pequeña, menos de  $10^{-9}$  s. (juankorku55, 2010)

### El efecto fotoeléctrico y los paneles solares

Los paneles se fundamentan en el efecto fotoeléctrico debido a que se usa la propiedad de que, al incidir los fotones emitidos por el sol, se provoca un desprendimiento de electrones, que generan al ser recolectados, se puede obtener la energía eléctrica necesaria para otros trabajos, el siguiente es el proceso detallado de la obtención de energía a partir del efecto fotoeléctrico:

1. Los fotones emitidos por el sol viajan a la velocidad de la luz y terminan incidiendo sobre la placa solar.
2. La placa solar al ser un material hecho de dos capas, una N, con carga negativa, y una P, con carga positiva, siendo así que al incidir sobre la capa N, se produce la liberación de un electrón, que, por la diferencia de potencial, se dirige hacia la capa de tipo P.



3. Mientras se dirige, el flujo de electrones de la capa N se utilizan en algún sistema eléctrico o electrónico, y se fusiona luego con huecos en la capa P.
4. El proceso inicia desde 1 nuevamente. (“Efecto fotoeléctrico e instalaciones fotovoltaicas,” n.d.)

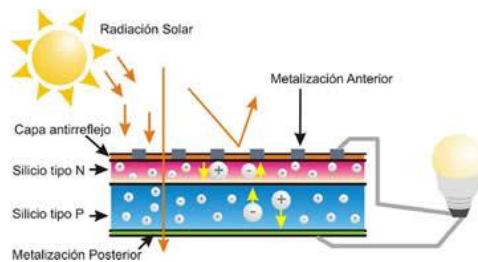
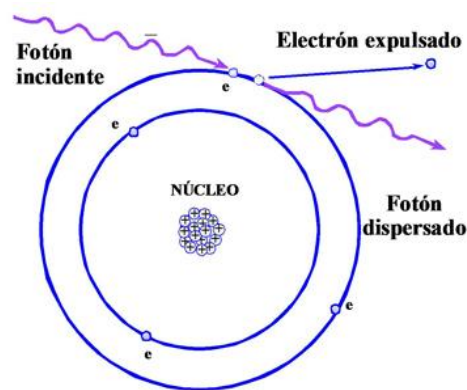
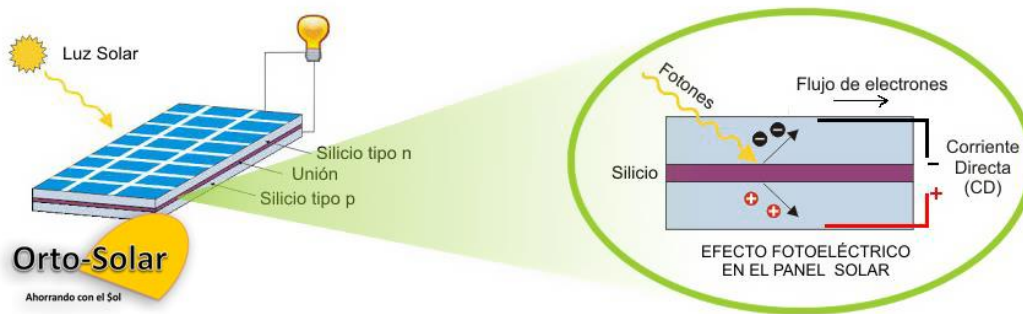


Figura 17 Obtención energía por efecto fotoeléctrico. (Admin, 2016)



*Figura 18 Efecto fotoeléctrico, electrón absorbe energía de fotón. (“¿Qué es el Efecto Fotoelectrico?,” n.d.)*



*Figura 19 Efecto fotoeléctrico en paneles solares. (“¿Cómo Produce Energía Eléctrica un Panel Solar?,” n.d.)*

## Pérdida por calor

### Efecto Joule y los paneles solares

Este efecto se produce cuando existe un flujo de electrones, los cuales, al chocar con los átomos de su entorno, van liberando energía en forma de calor, este calor reduce el rendimiento de los paneles en función de la temperatura alcanzada. (“El panel solar fotovoltaico,” n.d.).

Para lograr una disminución de la temperatura se opta por usar:

1. Un sistema de extracción del calor a través de un líquido

2. Un sistema de extracción de calor a través de aire.
3. Un sistema de extracción del calor a través de únicamente un disipador de calor.

Se puede escoger cual es la opción más adecuada en función de tres cosas:

1. El control variable sobre la temperatura. (si necesitamos una medida estándar o controlar a qué temperatura queremos que esté el sistema)
2. La eficiencia de extracción de calor. (lo cual varía en función de su coeficiente de transferencia de calor)

*Tabla 1 Valores del coeficiente de transferencia térmica*

<b>VALORES TÍPICOS DE <math>h_e</math></b>	
<b><i>Convección libre</i></b>	$h_c (W/m^2 \cdot ^\circ C)$
<i>Gases</i>	2-25
<i>Líquidos</i>	50-1000
<b><i>Convección forzada</i></b>	$h_c (W/m^2 \cdot ^\circ C)$
<i>Gases</i>	25-250
<i>Líquidos</i>	50-20000

3. La complejidad del diseño mecánico deseado. (esto varía en función de las necesidades del cliente y de la economía disponible).

Observando las diferentes opciones se puede notar que, para el uso de líquidos, el sistema debe poseer un sistema de tuberías o de contacto entre el

líquido y la superficie encargada de transmitir el calor. Este sistema es el más eficiente para la extracción de calor, pero requiere de una mecánica, y un diseño un poco más complejo.

Para el caso de uso del aire, el sistema debe contar con un disipador de calor y de un ventilador, este sistema no es tan eficiente en comparación al líquido ya que el coeficiente de transferencia térmica es menor. Sin embargo, la estructura mecánica y de diseño es menos compleja.

Para el caso del disipador de calor únicamente, el diseño es el menos complejo, pero a su vez, el menos eficiente, por lo que no se puede garantizar un control sobre la temperatura del panel a través de esta forma.

### **Tipos de convertidores**

Los convertidores son dispositivos encargados de variar la tensión de su entrada una vez pasan por ellos, pueden existir convertidores AC-DC, AC-AC, DC-DC, DC-AC, en el caso de estudio del proyecto actual, se enfocará en convertidores DC-DC.

“Los convertidores DC/DC son muy utilizados en la industria de amplio desarrollo tecnológico, gracias a sus numerosas ventajas en el área de conversión de potencia. Sus principales aplicaciones están orientadas a

fuentes de poder, sistemas de potencia fotovoltaicos, pilas de combustibles, vehículos híbridos, entre otros, como primeras etapas de acondicionamiento y administración de energía.” (Marcela Valencia, 2010)

Entre los tipos de convertidores DC-DC encontramos:

1. Convertidores Reductores (Buck)
2. Convertidores elevadores. (Boost)
3. Convertidores elevadores-reductores.

#### Convertidores reductores

Este tipo de convertidores se encargan de disminuir la tensión de su entrada, para ello utilizan un interruptor, que se utiliza para conmutar el voltaje entregado a la carga. Este interruptor puede ser reemplazado por un mosfet, el cual a través de un control con PWM (pulse width modulation).

El funcionamiento es el siguiente:

1. Al estar el switch en ON, el condensador empieza a cargarse.
2. Al llegar al voltaje deseado, el switch se pone en OFF, por lo que el condensador empieza a descargarse

3. Este proceso se repite, y el condensador dependiendo de su ciclo de encendido y apagado, entrega un voltaje determinado.

Cabe aclarar que, dependiendo de la frecuencia de este ciclo de trabajo, el rizado en el condensador puede ser mayor o menor.

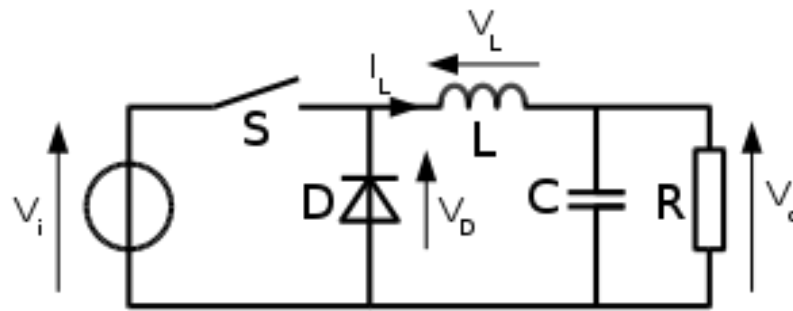


Figura 20 Dispositivo sin Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015)

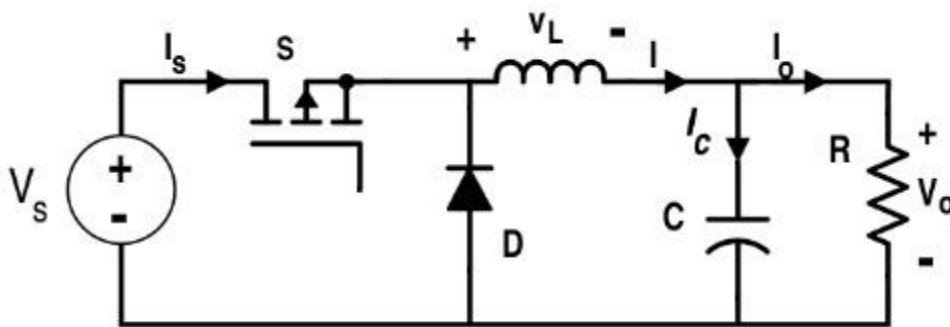


Figura 21 Dispositivo con Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015)

La ecuación que describe el comportamiento de la Salida con respecto a la entrada es:

$$V_o = D * V_i$$

Donde:

$V_o$  es el voltaje de salida

$V_i$  es el voltaje de entrada.

$D$  es el duty cycle. El cual varía entre 0 y 1.

De la ecuación se puede notar que el Voltaje de salida siempre será menor o igual a  $V_i$ .

### Convertidores elevadores

Este tipo de convertidores se encargan de aumentar la tensión de su entrada, para ello utilizan un interruptor, que se utiliza para conmutar el voltaje entregado a la carga. Este interruptor puede ser reemplazado por un mosfet, el cual a través de un control con PWM (pulse width modulation).

El funcionamiento es el siguiente:

1. Al estar el switch en ON, la corriente empieza a fluir y a incrementarse a través de la bobina.

2. Al llegar a la corriente deseada, el switch se pone en OFF, por lo que el condensador empieza a cargarse, hasta llegar al voltaje deseado.
3. El switch se cierra, y la bobina nuevamente se carga, mientras el condensador mantiene el voltaje en la carga e inicia a descargarse.
4. Este proceso se repite, y el condensador dependiendo de su ciclo de encendido y apagado, entrega un voltaje determinado.

Nuevamente, dependiendo de la frecuencia de este ciclo de trabajo, el rizado en el condensador puede ser mayor o menor.

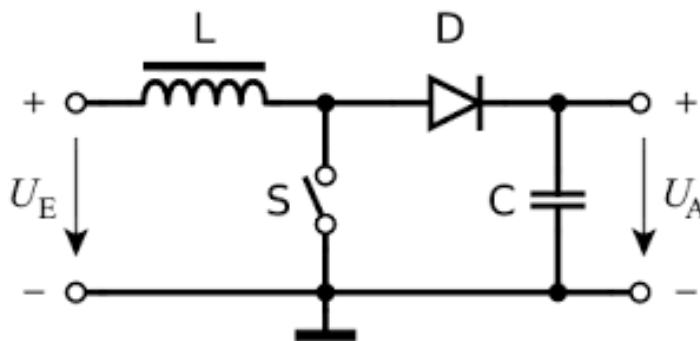


Figura 22 Dispositivo sin Mosfet de switcheo. ("File:Buckboost conventions.svg," n.d.)



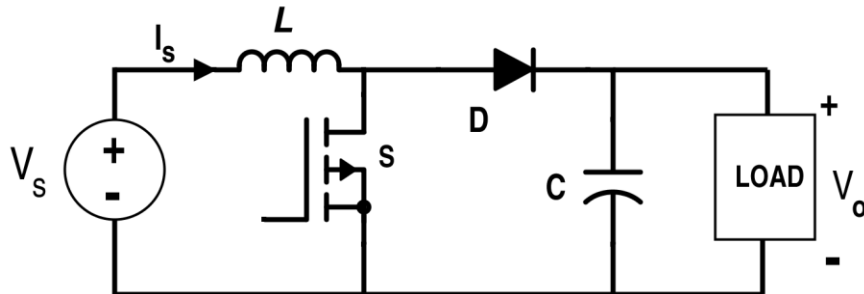


Figura 23 Dispositivo con Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015)

La ecuación que describe el comportamiento de la Salida con respecto a la entrada es:

$$V_o = \frac{1}{1 - D} * V_i$$

Donde:

$V_o$  es el voltaje de salida

$V_i$  es el voltaje de entrada.

$D$  es el duty cycle. El cual varía entre 0 y 1.

De la ecuación se puede notar que el Voltaje de salida siempre será mayor o igual a  $V_i$ .

## Convertidores elevadores-reductores

Este tipo de convertidores se encargan de aumentar o disminuir la tensión de su entrada, para ello utilizan un interruptor, que se utiliza para conmutar el voltaje entregado a la carga. Este interruptor puede ser reemplazado por un mosfet, el cual a través de un control con PWM (pulse width modulation).

El funcionamiento es el siguiente:

1. Mientras el switch se encuentra en ON la bobina empieza a acumular energía en forma de campo magnético.
2. Una vez se abre el switch, es decir, pasa a estado OFF, la energía acumulada se distribuye a través del circuito donde se encuentra la carga, y a su vez carga el condensador a un voltaje determinado, esto en una polaridad contraria al de la batería.
3. Una vez el condensador está en este voltaje deseado, el switch pasa a estado ON, donde el condensador empieza a descargarse.
4. Este proceso se repite, y el condensador dependiendo de su ciclo de encendido y apagado, entrega un voltaje determinado.

Nuevamente, dependiendo de la frecuencia de este ciclo de trabajo, el rizado en el condensador puede ser mayor o menor, además se recuerda también, que este tipo de sistema genera una salida de polaridad invertida.

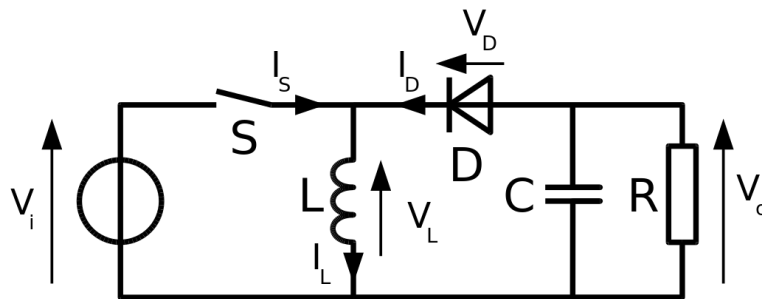


Figura 24 Dispositivo sin Mosfet de switcheo. ("File:Buckboost conventions.svg," n.d.)

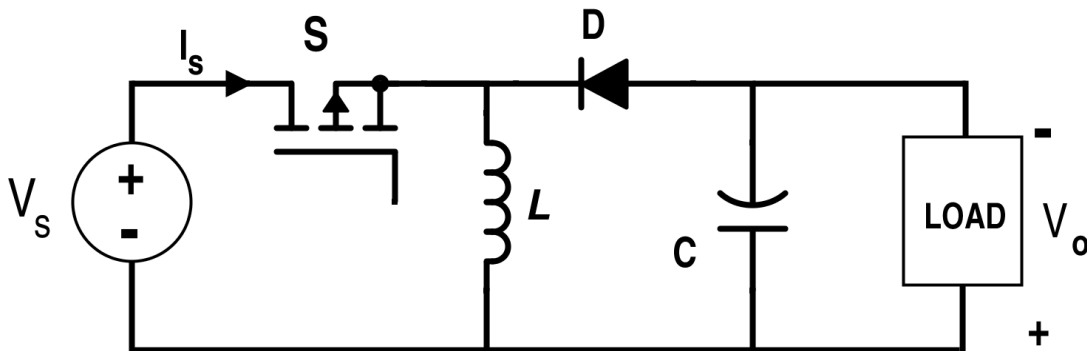


Figura 25 Dispositivo con Mosfet de switcheo. (Editorial Team, 2015)

La ecuación que describe el comportamiento de la Salida con respecto a la entrada es:



$$V_o = \frac{-D}{1-D} * V_i$$

Donde:

$V_o$  es el voltaje de salida

$V_i$  es el voltaje de entrada.

$D$  es el duty cycle. El cual varía entre 0 y 1.

De la ecuación se puede notar que el Voltaje de salida siempre será mayor o menor a  $V_i$  dependiendo del duty cycle, así como que, siempre será de polaridad contraria, respecto a su entrada.

DQS is member of:



## Capítulo 3

### Diseño banco didáctico

#### Elementos que componen el banco didáctico

- Buck
- Boost
- Panel solar
- Estructura mecánica
- Microcontrolador
- Voltiamperímetros
- Sistema regulación de ángulo
- Bombilla
- Sensor temperatura

#### Diseño de estructura mecánica del panel solar

El panel solar que se utilizó para el presente proyecto, posee unas dimensiones de 44 cm de alto y 35 cm de ancho, se tuvo en cuenta:

1. La economía de fabricación.
2. La estructura electrónica.
3. La estética del diseño.

Para el punto número 1, se tuvo presente 2 tipos de materiales y sus respectivas formas de fabricación:

1. Corte laser en acrílico
2. Corte en madera
3. Impresión 3D

Para la impresión 3D, se presentó el problema que el costo por fabricación de las piezas era el más alto, y si bien era la opción que presentaba una mayor facilidad en cuanto a un posterior diseño, se decidió no invertir mayor tiempo en esta opción debido al costo.

Para el corte en acrílico su diseño era un poco más complejo que el que se hubiera realizado en la impresora 3D, pero su costo era mucho menor, sin embargo, aún presentaba un coste alto en comparación a la tercera opción, principalmente por el material utilizado.

Para el corte en madera, se pensó en utilizar MDF, el cual presentaba un diseño y acabado ideales para el proyecto actual, y además era el que presentaba el menor costo de fabricación, el inconveniente que presentaba, era que su resistencia frente a impactos era menor que los otros materiales, especialmente en sus bordes, sin embargo, dada las condiciones en las que el proyecto actual se

mantendrá, se tomó esta desventaja, como algo despreciable, más sin embargo se dejará como observación para su correcto uso.

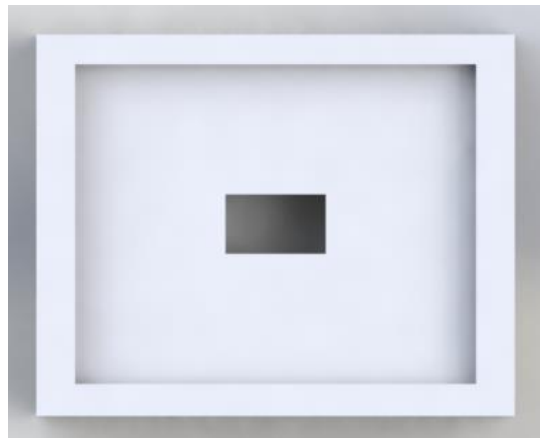
### **Diseño CAD estructura del panel**

Para el diseño en CAD se utilizó el programa SOLIDWORK Versión 2017.

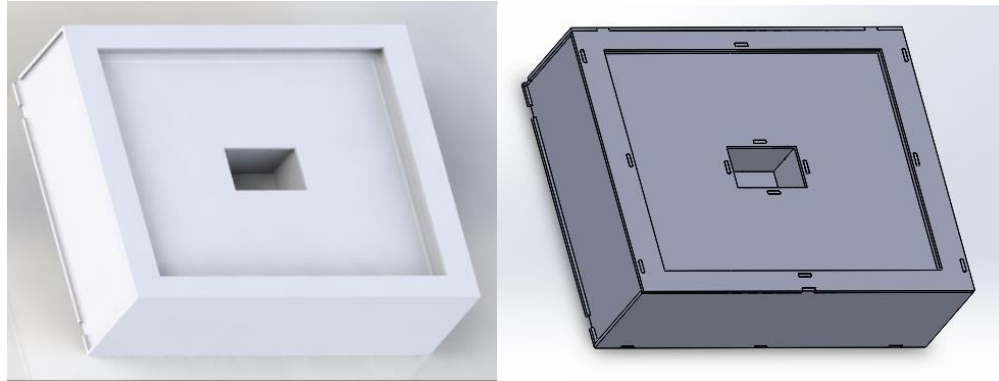
#### Base de la estructura

La base de la estructura se encarga de dar soporte y de contener a:

- El panel solar.
- Mecanismo de variación de ángulo de incidencia.
- Cableado del sistema.
- Fuente de alimentación del sistema.
- Sensores y demás electrónica.



*Figura 26 Vista superior bandeja de panel*



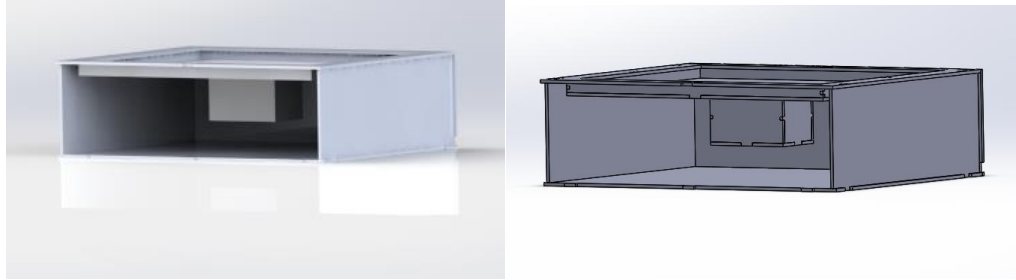
*Figura 27 Izquierda. Renderizada bandeja del panel. Derecha. Formato Cad bandeja del panel solar.*



*Figura 28 bandeja panel construida y ensamblada*

La bandeja del panel posee un espacio en el cual el panel se mantendrá posicionado, y a su vez contiene un pequeño espacio en el centro en el cual se instalará el mecanismo de calefacción.





*Figura 29 Izquierda. Parte interna de la bandeja, renderizada. Derecha. Parte interna de bandeja en formato CAD.*

### **Diseño electrónico**

Para el diseño electrónico se tuvo en cuenta:

- Sencillez y economía en el diseño.
- Dimensiones de máximo 20x20.
- Corrientes a través de las vías.

### **Consideraciones especiales en el diseño**

El sistema que se requería se buscaba que con una sola perilla se variara el valor a rectificar en el voltaje, ya sea para aumentarlo o disminuirlo, por lo que se extrajo el potenciómetro en ambos dispositivos y a través de la PCB se buscó unificar esto, siendo que únicamente con un switch se decidiera que regulador utilizar, y con una única perilla se variara el voltaje.

Dado que se variará con una sola perilla la salida de ambos reguladores, estos tendrán en común una salida, debido a esto, se utilizarán diodos 5104 los cuales pueden soportar hasta corrientes de 3<sup>a</sup>, y funcionarán como protección para evitar que la corriente ingrese por la salida de algún regulador.

#### Elementos de diseño electrónico

Los mecanismos que se tuvo que controlar o incluir como diseño, fueron:

- Servomotor.
- Sensor de temperatura.
- Voltiamperímetros.
- Reguladores Buck y Boost.
- PIC.
- Panel solar.
- Fuente de tensión.
- Ventiladores.
- Bombillo simulador de luz solar.

### Diseño general de relación de componentes

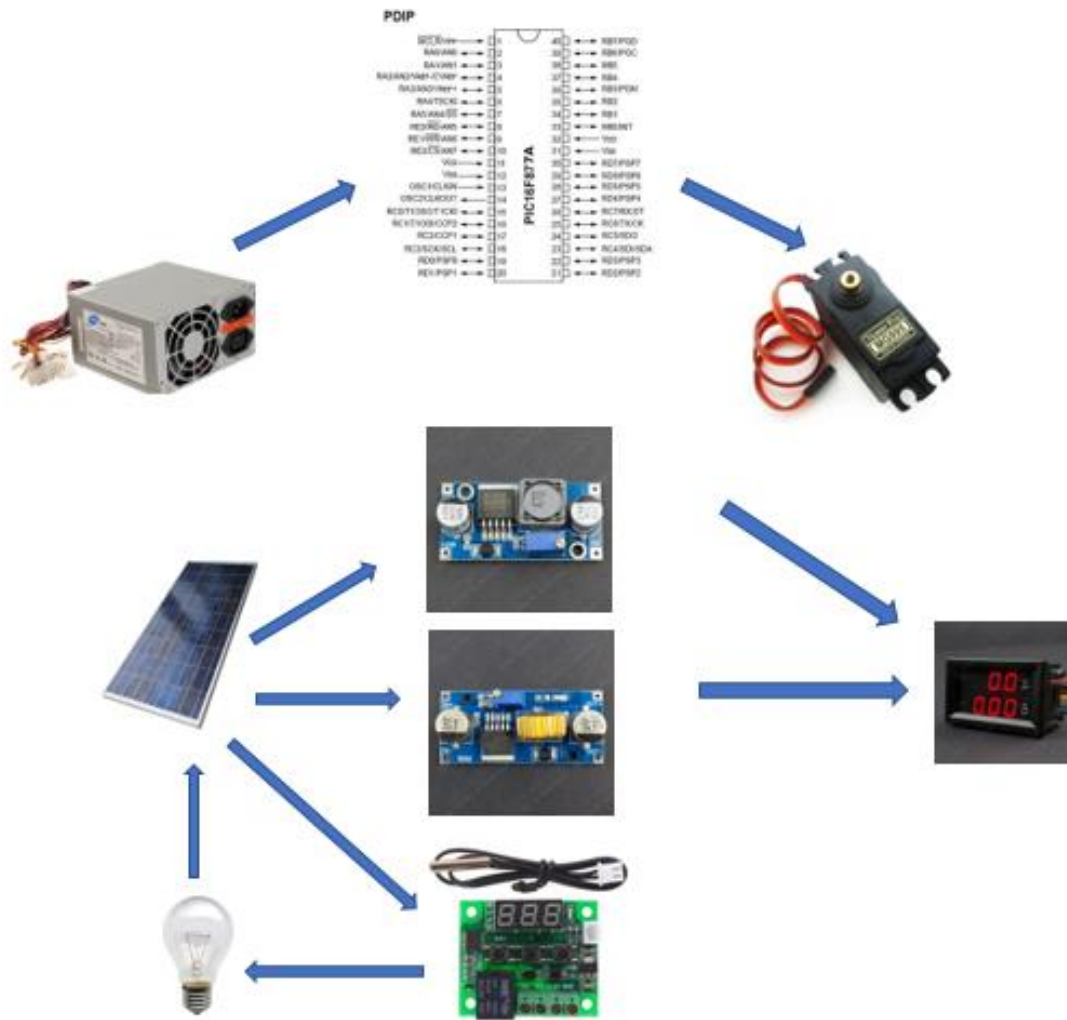
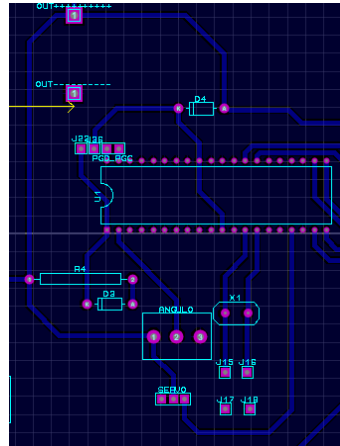


Figura 30 Esquema general de relación de componentes electrónicos

### Diseño electrónico servomotor



*Figura 31 Diseño en Proteus de control servomotor en PCB*

Como se observa se utilizará un PIC que se encargará de la variación del ancho de pulso PWM para que el servomotor varíe su ángulo, este ángulo varía gracias a un potenciómetro que funcionará como referencia para el ángulo de giro.

**Servomotor utilizado:**  
Servomotor MG995



*Figura 32 Servomotor MG 995. (“Servomotor Mg995 TowerPro con engranes metálicos, 15Kg/cm,” n.d.)*

**Características servomotor:**

Tabla 2 Características servomotor

<i>Modulation</i>	<i>Analog</i>
<i>Torque</i>	4.8V: 13 kg/cm 6V: 15 kg/cm
<i>Speed</i>	4.8V: 0.17 segundos / 60 grados 6.0V: 0,13 segundos / 60 grados
<i>Weight</i>	55 Gramos
<i>Dimensions</i>	Lenght: 42.9 mm Width: 19.7 mm Height: 40.7 mm
<i>Motor Type</i>	(add)
<i>Gear Type</i>	metal
<i>Rotation/support</i>	Bushing
<i>Rotational Range</i>	180°
<i>Temperature</i>	-30 to 60 °C
<i>Pulse Width</i>	500 – 3000 $\mu$ s
<i>Connector Type</i>	J

Diseño electrónico sensor de temperatura

Para el sensor de temperatura se optó por conseguir un sensor que entregará a su vez la lectura de la temperatura por medio de un display. Por lo que en la PCB no se aplicó ningún diseño referente a este.

### ***Sensor de temperatura utilizado***

Mini termostato digital w1209



*Figura 33 Minitermostato digital w1209 (“W1209 TEMPERATURE CONTROL SWITCH,” n.d.)*

### ***Características sensor:***

- Posibilidad de ver el valor de temperatura en display de 7 segmentos.
- Sensor de temperatura pt100.
- Pequeño tamaño.

- Posibilidad de agregar una carga en sus terminales, la cual actuará como sistema de calefacción en el proyecto actual.
- Posibilidad de variar, calibrar y definir la alarma de temperatura, a través de configuración programada, según la siguiente tabla:

*Tabla 3 Funciones del mini termostato w1209*

<b>CODE</b>	<b>FUNCTION</b>	<b>SETTING RANGE</b>	<b>INITIAL VALUE</b>
<b>P0</b>	Heating/cooling	C/H	C
<b>P1</b>	Hysteresis setting	0.1-30	2
<b>P2</b>	Set the temperatura upper limit	110°C	110
<b>P3</b>	Set the temperatura lower limit	-50°C	-50
<b>P4</b>	Temperature Calibration	-7°C /7°C	0
<b>P5</b>	Delay time	0 – 600 s	0
<b>P7</b>	High temperatura alarm	0 – 110 °C	Off
<b>P8</b>	Reset	C/H	C

### Diseño electrónico voltiamperímetros

El parámetro de selección para la selección de los voltiamperímetros fue determinado por el tipo de panel que se utilizaría en el proyecto, siendo este uno

que entregaba 18 V nominalmente, y una corriente máxima de 1.2 A, por lo que un voltiamperímetro que se encontrara dentro de estos rangos era adecuado. Es por ello, que los voltiamperímetros utilizados fueron los voltiamperímetros 7 SEG de 0V-100V DC y de 0A-10A DC



Figura 34 Voltiamperímetro con display de 7 segmentos. (“Voltiamperímetro 7 SEG Rojo 0V-100V DC/0A-10A DC,” n.d.)

**Características voltiamperímetro:**

Tabla 4 Características voltiamperímetro

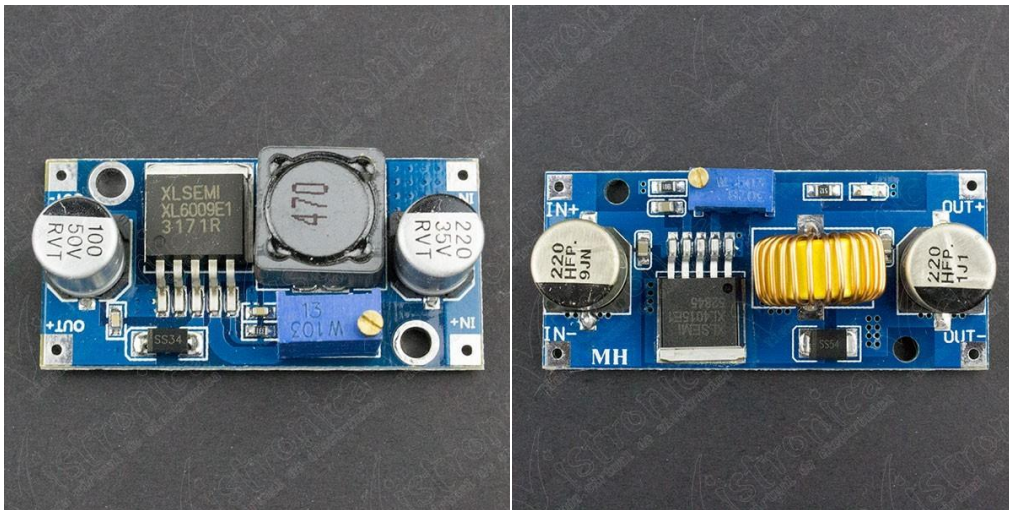
<i>Pantalla</i>	<i>3 displays de 0.8 pulgadas</i>
<i>Voltaje de entrada mínimo</i>	<i>3.5 V</i>
<i>Voltaje de entrada máximo</i>	<i>30 V</i>
<i>Rango de Voltímetro</i>	<i>0V – 100v DC</i>
<i>Rango de amperímetro</i>	<i>0A -10<sup>a</sup></i>
<i>Precisión</i>	<i>±1%</i>
<i>Frecuencia de actualización</i>	<i>500 ms</i>



## Diseño electrónico convertidor reductor buck y convertidor elevador boost

Para la selección del buck y del boost se tuvo en cuenta la potencia que eran capaces de manejar, dadas las especificaciones del panel, siendo este un panel de 20W. por lo que cualquiera que superar este valor sería un adecuado dispositivo buck o boost.

Fue por ello, que se seleccionaron, el convertidor DC-DC Buck XL4015 y el convertidor DC-DC Boost XL6009.



*Figura 35 Izquierda, dispositivo boost. (“Convertidor DC-DC Boost XL6009,” n.d.). Derecha, dispositivo Buck. (“Convertidor DC-DC Buck XL4015 de 5A,” n.d.)*

Los dispositivos reguladores se utilizarán para poder acercar al estudiante a los dispositivos de regulación frente al uso de fuentes, se mostrará también las



complicaciones que se puedan tener ante el uso de estos, ya que el voltaje de los paneles es variable, y se busca entender, como se comporta el buck y el boost frente a estos cambios.

DQS is member of:



### **Características regulador Buck XL4015**

*Tabla 5 Características regulador Buck XL4015*

Voltaje de entrada	4.0 V – 38V
Voltaje de salida	1.25 V – 36V
Rango de medición de voltímetro	0.0V – 40V
Corriente de salida	0A – 5 <sup>a</sup>
Potencia de salida	75W
Frecuencia de operación	180 KHz
Regulación de carga	0.8%
Regulación de voltaje	0.8%
Eficiencia	96%
Protección ante corto circuito	Sí
Protección de sobrecalentamiento	Sí
Protección frente a inversión de polaridad	Ninguna
Temperatura de funcionamiento	-40°C a 85°C

### **Características regulador Boost XL6009**

*Tabla 6 Características regulador Boost XL6009*

Voltaje de entrada	3V - 32V
Voltaje de salida	5V – 35V
Corriente de entrada	4 <sup>a</sup> (máximo)
Eficiencia	90%
Frecuencia de operación	400 KHz
Rizado de salida	50Mv
Potencia	30w
Regulación de carga	±0.5%
Regulación de voltaje	±0.5%
Temperatura de operación	-40°c A 85°c

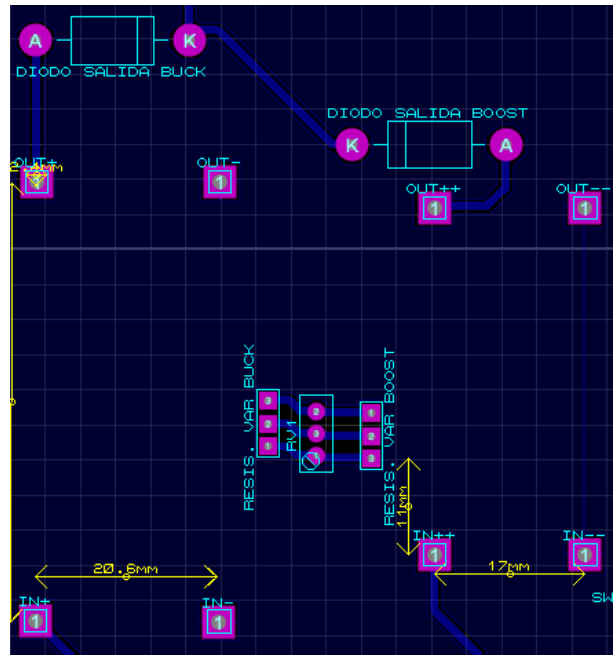


Figura 36 Diseño en Proteus de mecanismo para variar voltajes en reguladores

### Diseño electrónico PIC

Los parámetros de selección del microcontrolador fueron:

- Tener al menos una salida CCP para el control de un servomotor.
- Poseer 3 entradas análogas para la lectura de potenciómetros.
- Tener más de 20 pines para la posible inclusión de una pantalla LCD.

Fue por lo anterior que se escogió el PIC 16F877A, el cual posee:

- 2 salidas CCP
- Más de 5 pines de entrada análoga.

- 40 pines.

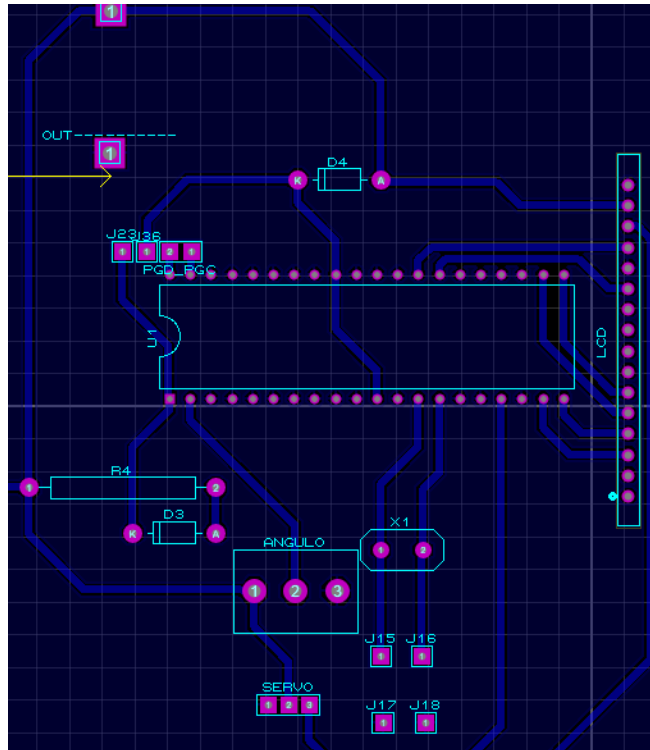


Figura 37 Diseño en Proteus de electrónica de PIC 16F877A

### Características PIC 16F877A

#### PDIP

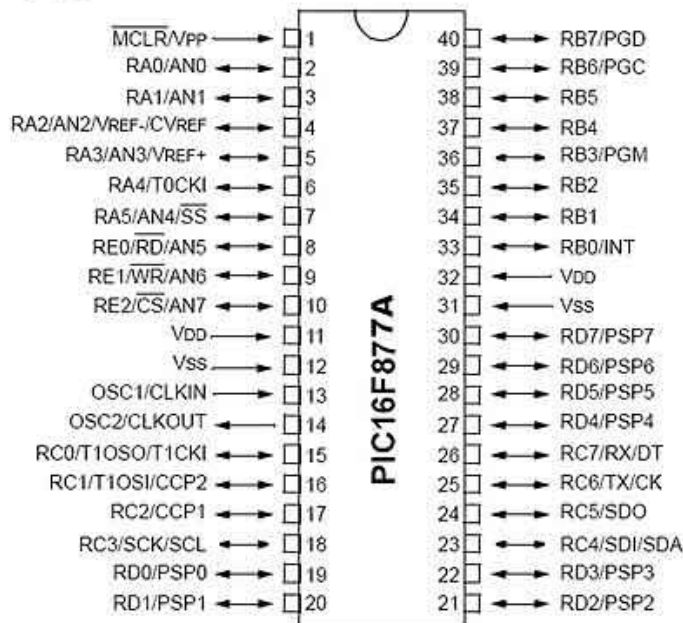


Figura 38 Pines y funciones de PIC 16F877A. (“Conversor Pic 16F877A,” 2013)

### Diseño electrónico Panel solar

Los parámetros que se tuvieron en cuenta para la elección del panel fueron:

- Tamaño pequeño para disminuir en costos de la estructura mecánica.
- Potencia no mayor a 30W

Por ello el panel seleccionado, fue un panel de 20W de medidas 44x35 cm.

**Características panel solar:**

*Tabla 7 Características panel solar*

<b>MODEL</b>	<b>SP020P</b>
<b>PEAK POWER</b>	<b>20 WATTS</b>
<b>MAXIMUM POWER CURRENT</b>	<b>1.11 A</b>
<b>MAXIMUM POWER VOLTAGE</b>	<b>18.00 V</b>
<b>SHORT-CIRCUIT CURRENT</b>	<b>1.202 A</b>
<b>OPEN-CIRCUIT VOLTAGE</b>	<b>22.50 V</b>
<b>POWER TOLERANCE</b>	<b>+ - 5%</b>
<b>WEIGHT</b>	<b>1.9 KGS</b>
<b>DIMENSION</b>	<b>440*350*25 mm</b>
<b>MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE</b>	<b>750 V</b>

Diseño electrónico fuente de alimentación.

Los parámetros que se tuvieron en cuenta fueron:

- Entrega de 12 V.



- Capacidad de soportar más de 3 A.
- Potencia mayor a 50 W

Fue por ello que se escogió por facilidad de obtención, y por economía de la misma, una fuente de computador, de 200W y con capacidad de entregar 12 V y 12 A por el mismo terminal.



*Figura 39 Fuente de voltaje de computador. (“Arquitectura del Computador - Fuentes de Alimentación - Parte 2 de 2,” n.d.)*

#### Diseño electrónico ventiladores

Los ventiladores, elementos necesarios para el control de la temperatura, se buscaron teniendo en cuenta la economía y facilidad de conseguirlos, fue por ello que se escogieron ventiladores cooler de 12 V y 250 mA.



*Figura 40 Cooler de 12V. (“Cooling Fan 12 VDC 120 x 120 x 25mm 83 CFM,”  
n.d.)*

#### Diseño sistema de iluminación

Dado que se desconocía cual fuente de iluminación daría el mejor resultado, se utilizaron distintos tipos de iluminación para su estudio, los cuales presentaban las siguientes características.



Tipo de bombilla	Voltaje en circuito abierto (V)	Corriente en cortocircuito (mA)
Bombilla ultravioleta de 35W	19.6	1.68
Bombilla incandescente de 20W	28.4	4.05
Lámpara de xenón de 6000k	25.3	8.45
Bombilla halógena con reflector de 130 W	29.3	67

Se decidió, por tanto, escoger la bombilla INCANDESCENTE ya que fue quien generó la mejor activación de las celdas del panel solar en relación al peso.

## Tabla de costos

Tabla 8 Tabla de costos

Dispositivo	Precio
Panel solar	70.000
buck	11.200
boost	12.700
PIC	12.000
Construcción mecánica	90.000
Voltiamperímetros	60.000
Servomotores	60.000
bombilla	2.000
Sensor de temperatura	15.000
Electrónica (diodos, resistencias, baqueta, etc.)	60.000
<b>Total aprox.</b>	<b>392.900</b>

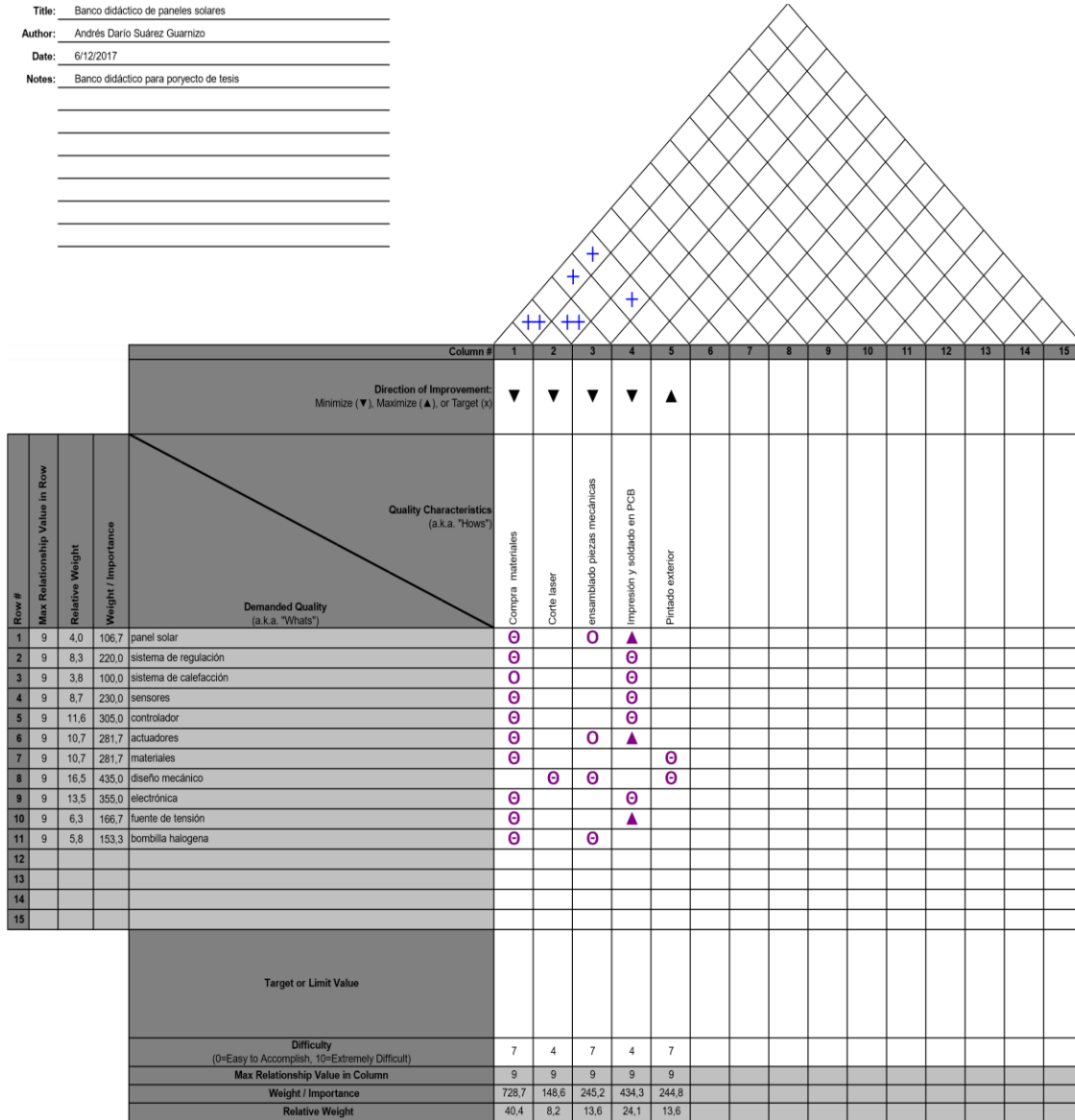






Title: Banco didáctico de paneles solares  
 Author: Andrés Darío Suárez Guarnizo  
 Date: 6/12/2017  
 Notes: Banco didáctico para proyecto de tesis

Legend	
⊙	Strong Relationship 9
○	Moderate Relationship 3
△	Weak Relationship 1
++	Strong Positive Correlation
+	Positive Correlation
-	Negative Correlation
▼	Strong Negative Correlation
▽	Objective Is To Minimize
▲	Objective Is To Maximize
X	Objective Is To Hit Target



Powered by QFD Online (<http://www.QFDOnline.com>)

Figura 43 Matriz planeación del proceso

DQS is member of:



Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz

Title: Banco didáctico de paneles solares  
 Author: Andrés Darío Suárez Guarnizo  
 Date: 6/12/2017  
 Notes: Banco didáctico para proyecto de tesis

Legend		
⊖	Strong Relationship	9
○	Moderate Relationship	3
▲	Weak Relationship	1
++	Strong Positive Correlation	
+	Positive Correlation	
-	Negative Correlation	
▼	Strong Negative Correlation	
▼	Objective Is To Minimize	
▲	Objective Is To Maximize	
X	Objective Is To Hit Target	

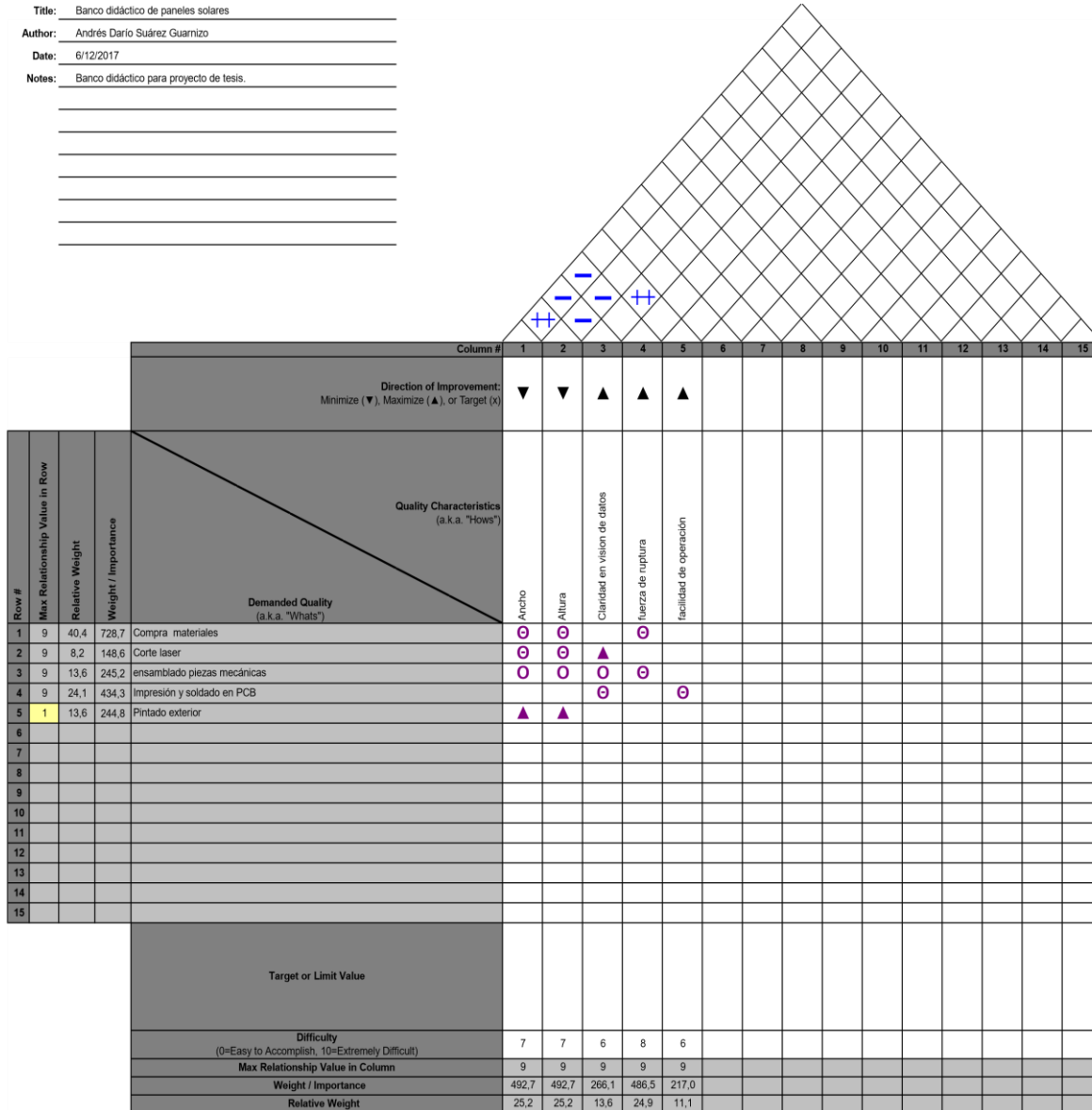


Figura 44 Matriz planeación de la producción

Powered by QFD Online (<http://www.QFDOnline.com>)





## Conclusión matriz QFD

Frente a los productos similares al del proyecto actual, el nuestro presenta unas características que pueden competir en el mercado frente a los ya vendidos.

DQS is member of:



## Capítulo 4

### Toma de Datos y análisis del sistema

#### Toma de datos al variar el valor de la resistencia de carga

Los valores entregados se tomarán teniendo en cuenta una temperatura de  $17^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$

Tabla 9 Voltajes y corrientes en un panel a  $17^{\circ}\text{C}$

Valor resistencia (ohms)	Voltaje obtenido (voltios)	Corriente obtenida (Miliamperios)	Potencia entregada (Wattios)
	Voc = 19,1 V	Isc = 63 mA	Voc*Isc=1,2033
short circuit.	0	63	0
100	5,4	60	0,324
200	7,2	59,4	0,42768
300	11	58	0,638
400	17,3	55,1	0,95323
500	18,3	44,1	0,80703
600	18,5	31,8	0,5883
700	18,6	28,3	0,52638
800	18,6	25,3	0,47058
900	18,7	23	0,4301
1000	18,9	20,9	0,39501
2000	19,1	10,4	0,19864
3000	19,1	7,5	0,14325
4000	19	5,52	0,10488
5000	19,1	4,5	0,08595
10000	19,1	2,3	0,04393
14000	19,1	1,7	0,03247
17000	19,1	1,3	0,02483
Open circuit.	19,2	0	0

Para las tablas de variación de temperatura, el ángulo de incidencia de la luz fue de aproximadamente  $90^\circ$  con respecto al plano formado por la cara del panel.

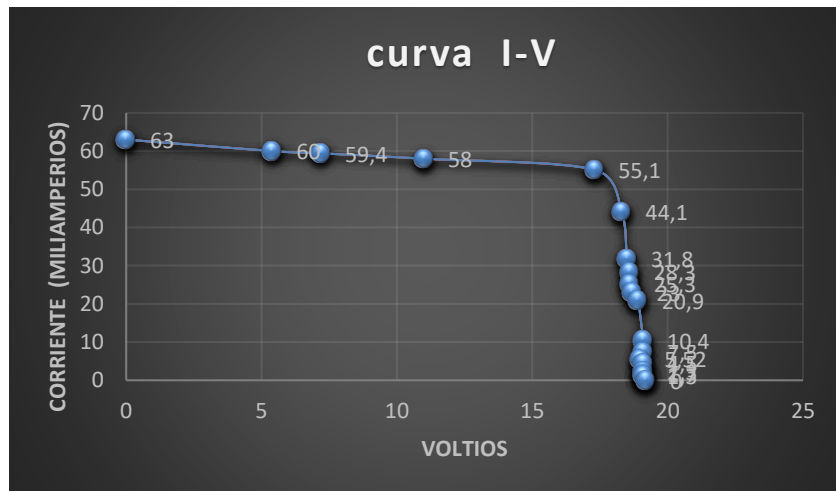


Figura 45 Curva I-V del panel a  $17^\circ\text{C}$

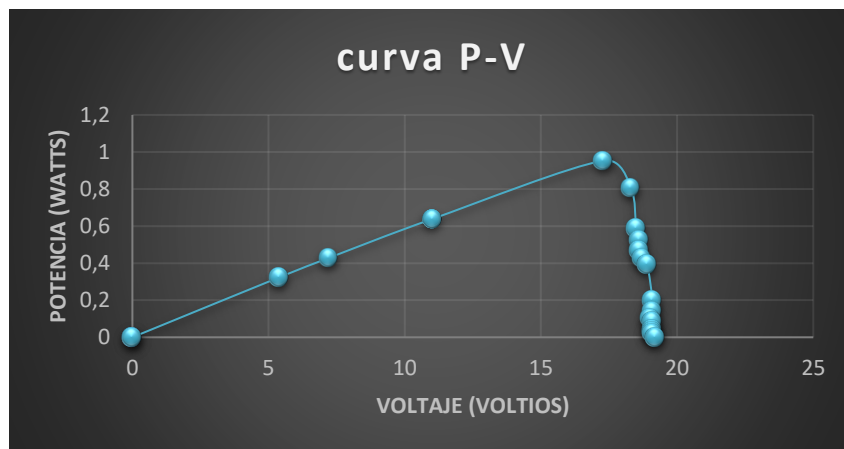
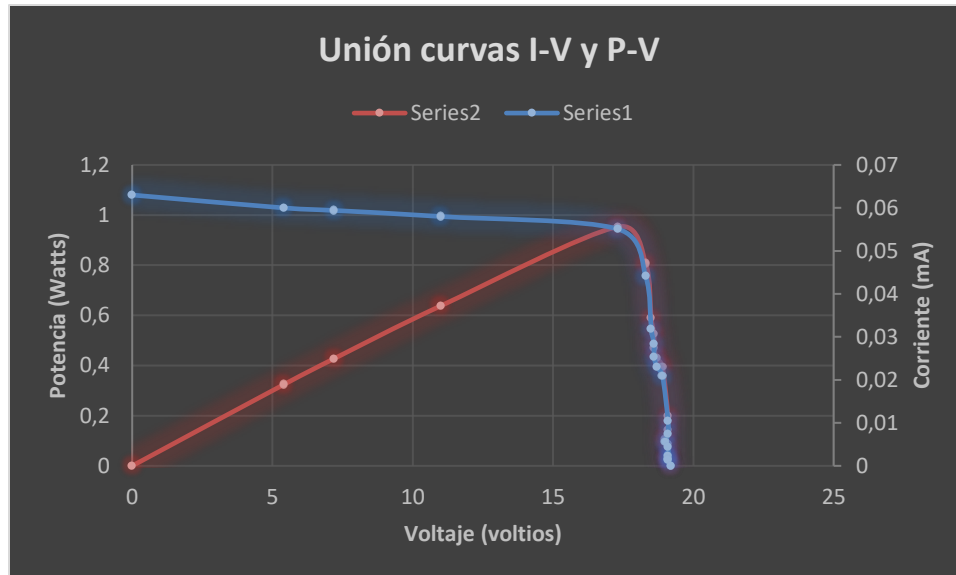


Figura 46 Curva P-V del panel a  $17^\circ\text{C}$



*Figura 47 Curva I-V y P-V del panel a 17°C*

Como se puede observar el punto de máxima potencia entregada, se encuentra cuando el valor del voltaje es de 17.3 V.

Así mismo se puede encontrar el factor de forma FF:

$$FF = \frac{0.95323}{1.2033} = 0.7921$$

Por lo que se puede observar el panel cuenta con un factor de forma optimo y por lo tanto las pérdidas generadas en el sistema son las adecuadas dentro de la eficiencia estándar que posee el panel.

Los valores entregados se tomarán teniendo en cuenta una temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$

*Tabla 10 Voltajes y corrientes del panel solar a  $20^{\circ}\text{C}$  y  $90^{\circ}$  con respecto a cara de panel*

Valor resistencia (ohms)	Voltaje obtenido (voltios)	Corriente obtenida (Miliamperios)	Potencia entregada (Wattios)
	Voc = 18.7 V	Isc = 61.5 mA	Voc*Isc=1,122
short circuit.	0	60	0
100	5,5	57	0,3135
200	11,4	57,8	0,65892
300	15,7	54,6	0,85722
400	17,7	48	0,8496
500	17,9	41,1	0,73569
600	18,1	33,3	0,60273
700	18,2	28,3	0,51506
800	18,3	25	0,4575
900	18,4	22,7	0,41768
1000	18,4	20,8	0,38272
2000	18,6	10,5	0,1953
3000	18,6	7	0,1302
4000	18,7	5,4	0,10098
5000	18,7	4,4	0,08228
10000	18,7	2,2	0,04114
14000	18,7	1,1	0,02057
17000	18,7	1,1	0,02057
Open circuit.	18,7	0	0

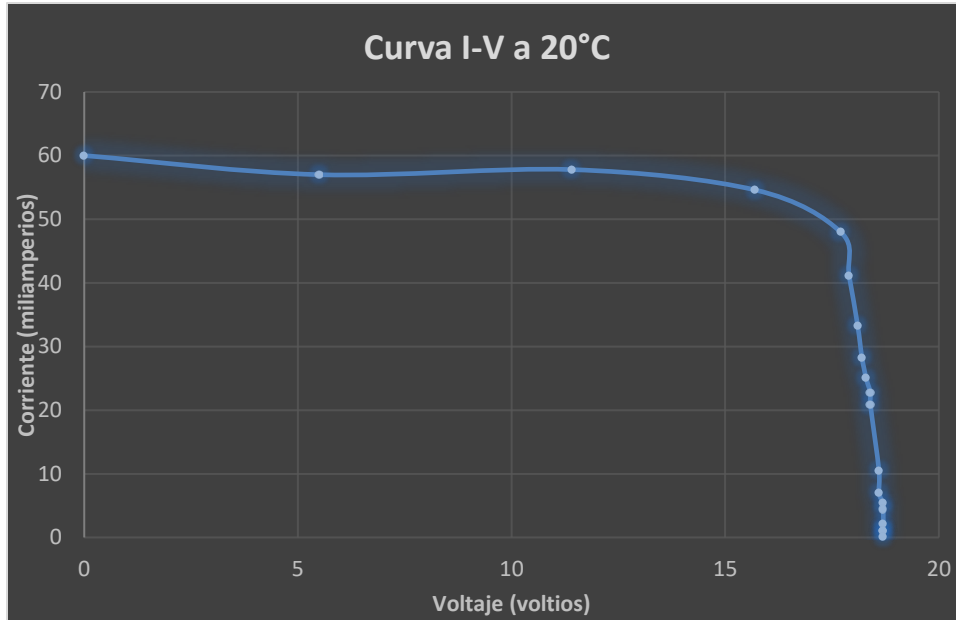


Figura 48 Curva I-V a 20°C

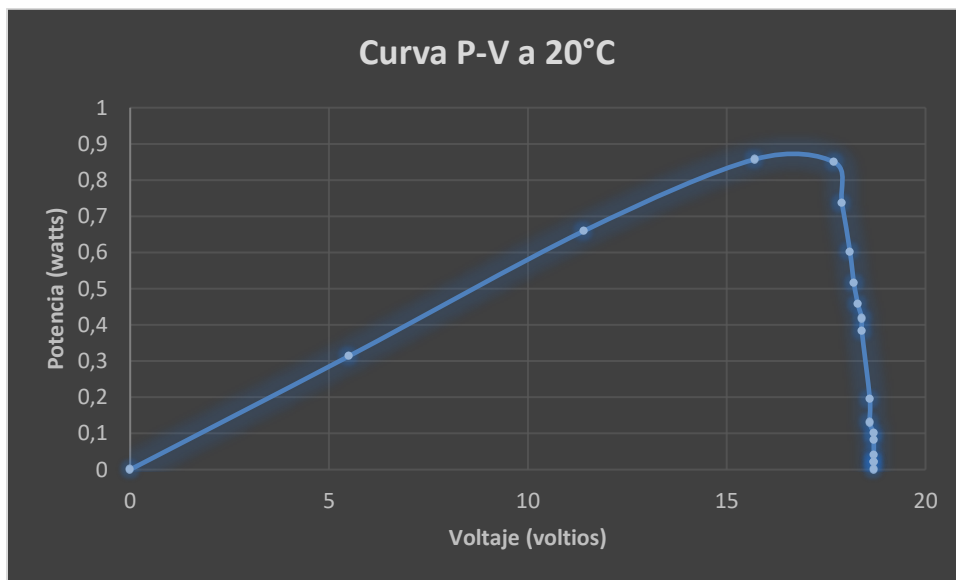


Figura 49 Curva P-V a 20°C

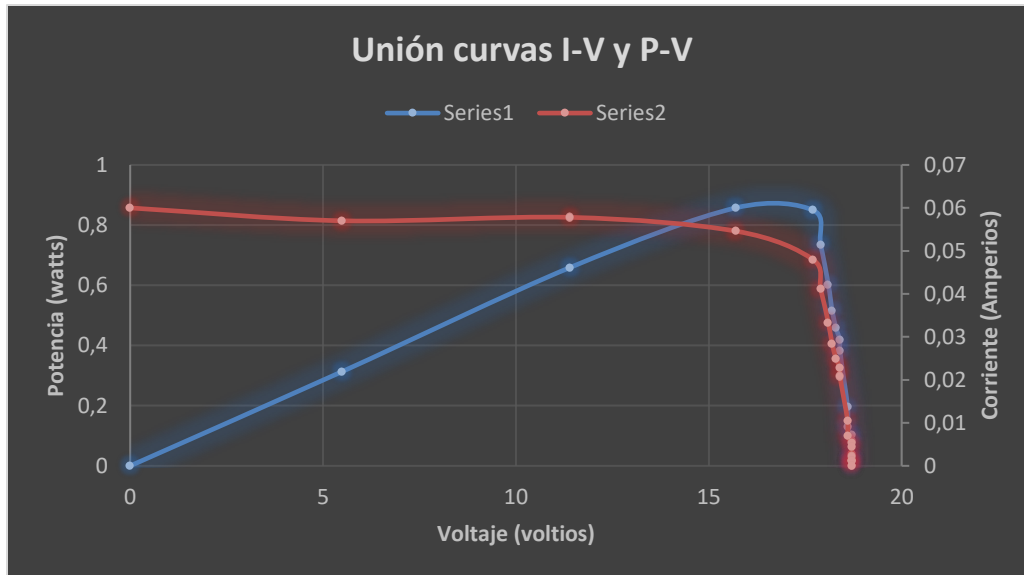


Figura 50 Unión curvas I-V y P-V en panel a 20°C

Como se puede observar el punto de máxima potencia entregada, se encuentra cuando el valor del voltaje es de 15.7 V.

Así mismo se puede encontrar el factor de forma FF:

$$FF = \frac{0.85722}{1.122} = 0.7640$$

Por lo que se puede observar el panel cuenta con un factor de forma optimo y por lo tanto las pérdidas generadas en el sistema son las adecuadas dentro de la eficiencia estándar que posee el panel

Los valores entregados se tomarán teniendo en cuenta una temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$

Tabla 11 Voltajes y corrientes de panel solar a  $25^{\circ}$

Valor resistencia (ohms)	Voltaje obtenido (voltios)	Corriente obtenida (Miliamperios)	Potencia entregada (Watios)
	Voc = 18.02 V	Isc = 62 mA	Voc*Isc = 1,117
short circuit.	0	62	0
100	6,5	61,8	0,4017
200	11,4	61,1	0,69654
300	12,6	61,1	0,76986
400	13,7	60	0,822
500	15,8	42,7	0,67466
600	17	31,7	0,5389
700	17,7	25,8	0,45666
800	18	23,4	0,4212
900	18,1	21,6	0,39096
1000	18,1	19,5	0,35295
2000	18,3	9,6	0,17568
3000	18,3	6,4	0,11712
4000	18,3	4,9	0,08967
5000	18,3	4	0,0732
10000	18,3	2,1	0,03843
14000	18,3	1,5	0,02745
17000	18,3	1,1	0,02013
Open circuit.	18,3	0	0



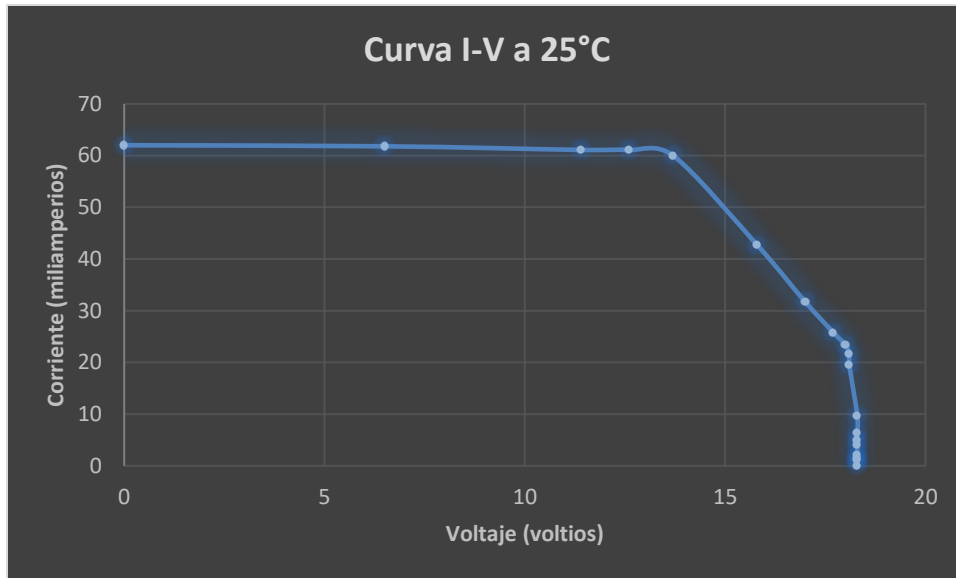


Figura 51 Curva I-V panel a 25°C

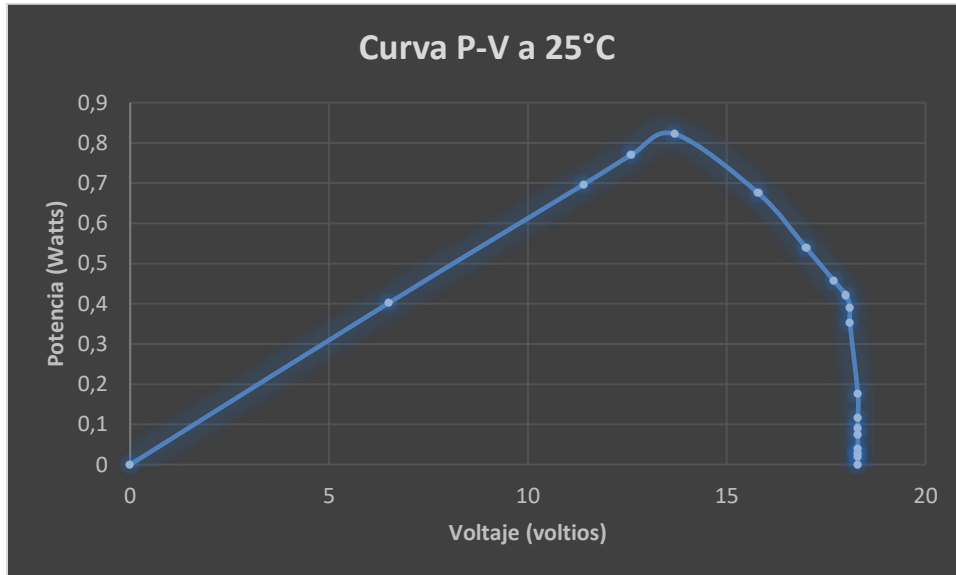


Figura 52 Curva P-V a 25°C

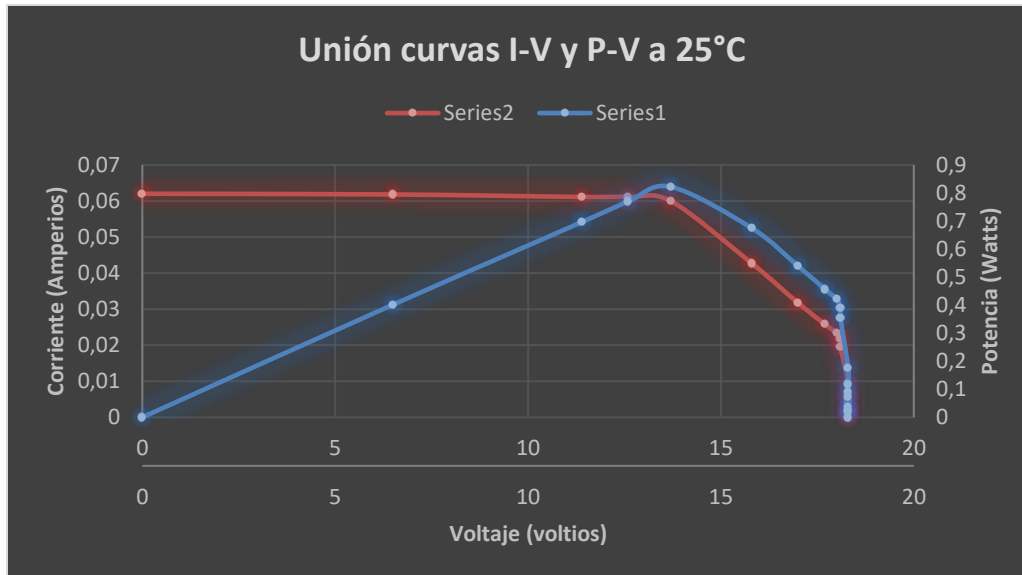


Figura 53 Unión curvas I-V y P-V en panel a 25°C

Como se puede observar el punto de máxima potencia entregada, se encuentra cuando el valor del voltaje es de 13.7 V.

Así mismo se puede encontrar el factor de forma FF:

$$FF = \frac{0.822}{1.117} = 0.7358$$

Por lo que se puede observar el panel cuenta con un factor de forma optimo y por lo tanto las pérdidas generadas en el sistema son las adecuadas dentro de la eficiencia estándar que posee el panel

## Toma de datos al variar el ángulo de incidencia

Los valores se tomaron a 25 grados y un ángulo de 45 °

*Tabla 12 Voltajes y corrientes de panel solar a 25°C y 45° con respecto a cara de panel*

Valor resistencia (ohms)	Voltaje obtenido (voltios)	Corriente obtenida (Miliamperios)	Potencia entregada (Wattios)
	Voc = 17.3 V	Isc = 21 mA	Voc*Isc=0,3633
short circuit.	0	21	0
100	0,8	20	0,01512
200	3,2	18,9	0,06048
300	5	18,9	0,0945
400	6,6	18,6	0,12276
500	8,2	18,4	0,15088
600	10	18,3	0,183
700	11,4	18	0,2052
800	12,4	17,7	0,21948
900	14,6	17,4	0,25404
1000	15,4	17	0,2618
2000	16,9	9,6	0,16224
3000	17,1	6,5	0,11115
4000	17,1	4,9	0,08379
5000	17,2	4	0,0688
10000	17,3	2,1	0,03633
14000	17,3	1,5	0,02595
17000	17,3	1	0,0173
Open circuit.	17,3	0	0

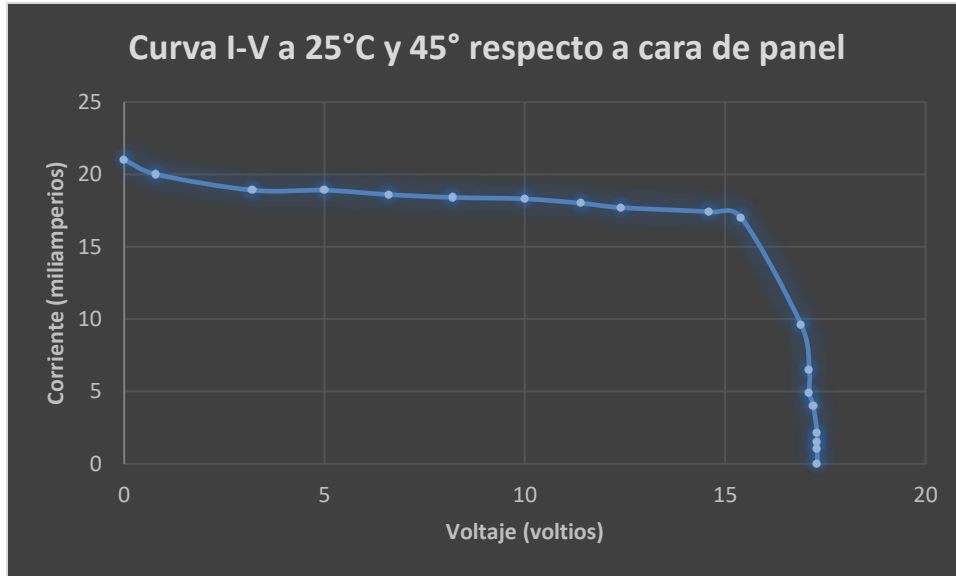


Figura 54 Curva I-V panel a 25°C y 45° respecto a cara de panel

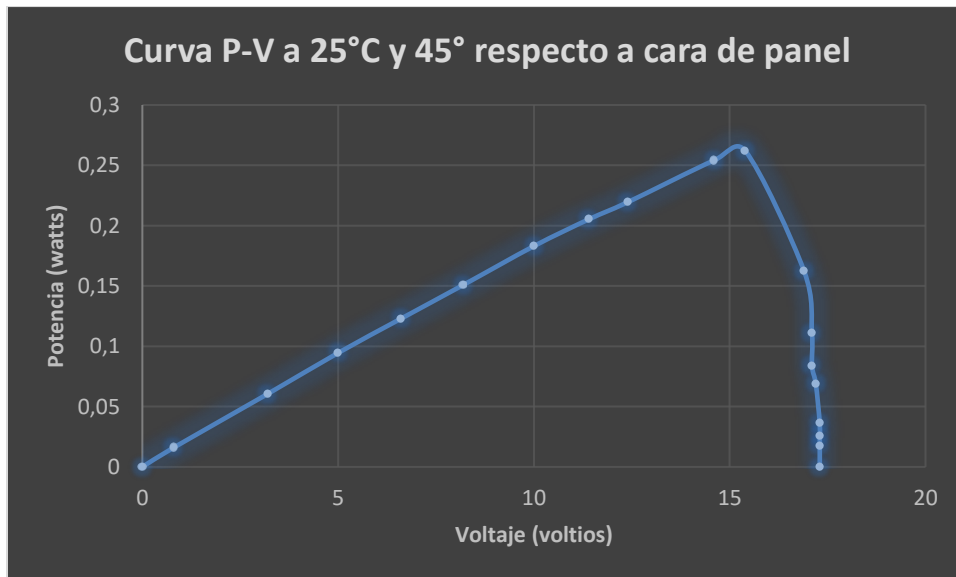


Figura 55 Curva P-V de panel a 25°C y 45° con respecto a cara de panel

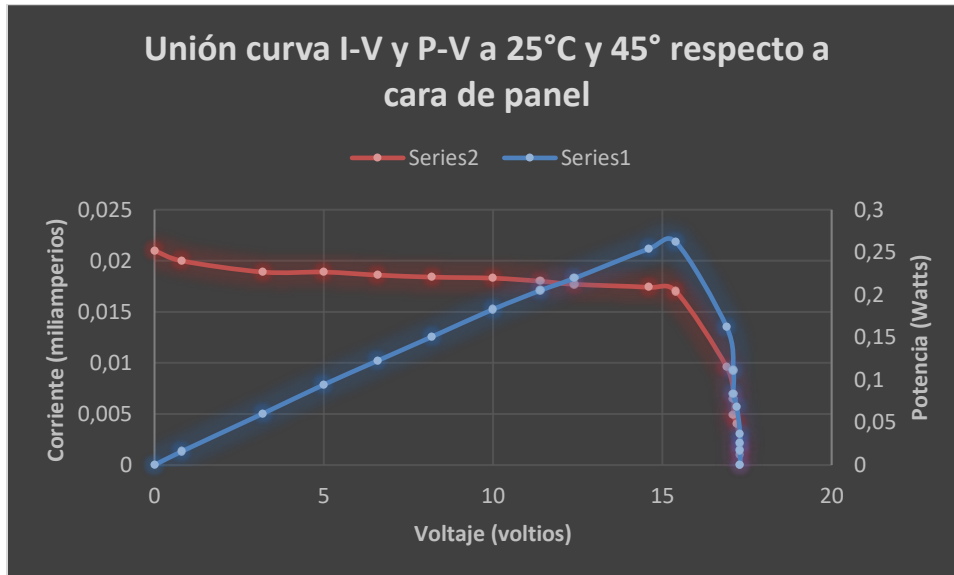


Figura 56 Curva I-V y P-V de panel a 25°C y 45° respecto a cara de panel

Como se puede observar el punto de máxima potencia entregada, se encuentra cuando el valor del voltaje es de 15.4 V.

Así mismo se puede encontrar el factor de forma FF:

$$FF = \frac{0.2618}{0.3633} = 0.7206$$

Por lo que se puede observar el panel cuenta con un factor de forma óptimo y por lo tanto las pérdidas generadas en el sistema son las adecuadas dentro de la eficiencia estándar que posee el panel.

### Análisis de la información obtenida

Para realizar los respectivos análisis de las curvas se tendrán en cuenta, los factores de forma, así como las temperaturas y el grado de inclinación al que fueron expuestos, por lo que en la siguiente tabla vemos que el panel obtuvo las siguientes características:

*Tabla 13 Análisis información obtenida.*

Temperatura (°C)	Ángulo de incidencia (deg)	Factor de forma
17	90	0.7921
20	90	0.7640
25	90	0.7358
25	45	0.7206

Con estos datos podemos observar que:

- El factor de forma disminuye con la temperatura.
- El factor de forma disminuye con el ángulo de incidencia de la luz.

Esto indica que al variar el ángulo de incidencia se generan mayores pérdidas en el sistema, y así a su vez, entre mayor sea la temperatura la eficiencia del panel decrece.

La alteración que recibe el panel se ve mejor con las siguientes gráficas, en donde se verán las variaciones de voltaje y corriente debido al cambio de la temperatura, y las variaciones del voltaje y la corriente al variar el ángulo de incidencia.

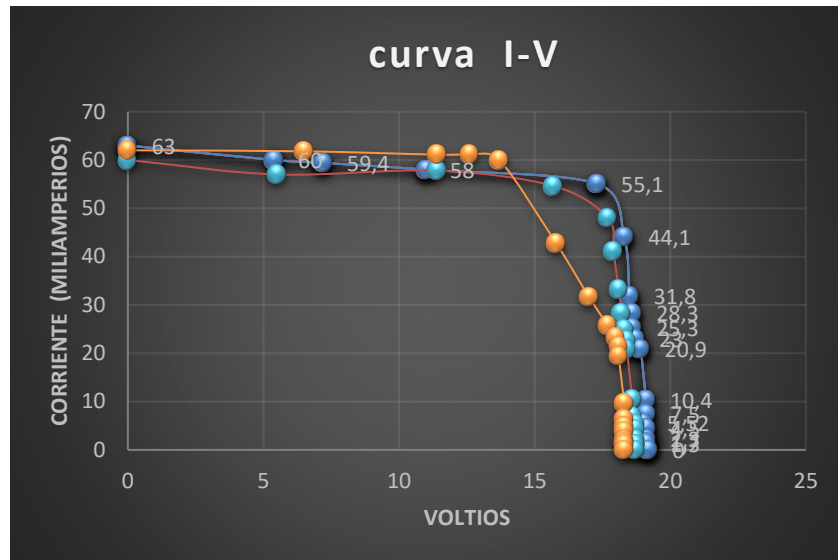


Figura 57 Curvas I-V con variación en °C

En ellas podemos apreciar como el voltaje de circuito abierto va disminuyendo significativamente en comparación con la corriente de corto circuito que tiene variaciones muy leves en su cambio.

Esto nos indica que a mayor temperatura, el voltaje que el panel puede entregar es menor, es por ello, que las estaciones solares, siempre deben contar con un sistema de enfriamiento que permita mantener al panel en una temperatura baja, para que su rendimiento siempre sea adecuado.

Ahora con respecto al cambio de variación por la inclinación.

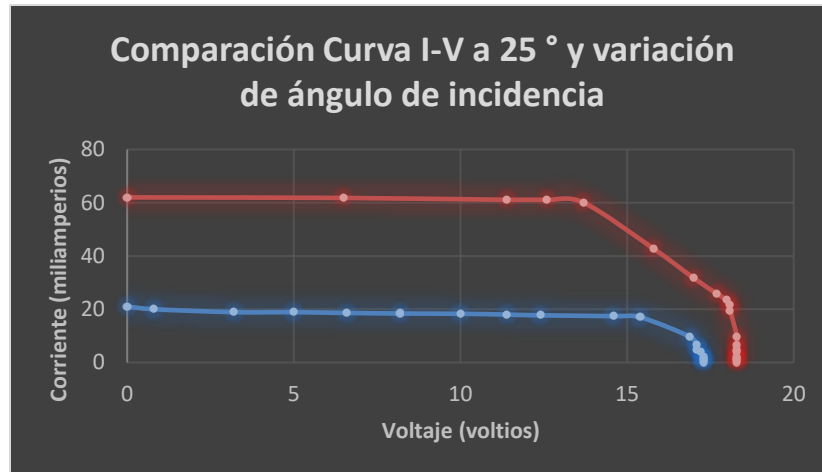


Figura 58 Curvas I-V con variación en grados respecto a cara de panel

Se puede observar la variación tan significativa en el voltaje, pero más en la corriente, es por ellos que, para equipos solares, siempre es conveniente estar a 90 grados con respecto a la incidencia del sol.



## Capítulo 5

### Conclusiones y recomendaciones

1. Se corroboró que el uso de luces de diferentes tipos, generaban una mayor o menor corriente, siendo las luces halógenas las que presentaron una mayor utilidad, sin embargo, se recomienda su cuidado ante la exposición por la temperatura, ya que esta puede causar graves daños en la salud.
2. Se confirmó que el movimiento de la luz en un ángulo generaba una variación del voltaje entregado por el panel solar, esto debido a la reflexión de la luz, dada por la ley de Snell, siendo la mejor posición, aquella que se encontraba perpendicularmente al panel.
3. Se comprobó que el factor de forma variaba con respecto a la temperatura y el ángulo de inclinación, provocando una disminución conforme aumentaba la temperatura y el ángulo variaba de 90 grados.
4. Se recomienda para futuras investigaciones ahondar en el campo de la variación de luces utilizadas para este tipo de prácticas.
5. Se verificó que el Buck y el boost pueden usarse en conjunto con el panel solar, pero su uso es muy inestable, debido a los cambios que se puedan generar en el panel, tales como temperatura y ángulo de incidencia, por lo que

se recomienda, utilizar siempre un sistema de carga de baterías y una batería para un mejor uso de un sistema solar.

6. Se observó que el ruido del sistema era un factor importante en el sistema, por lo que se recomienda ahondar en la mejoría del sistema en este aspecto.
7. Se recomienda la programación de una interfaz que se encargue de recolectar los datos del sistema, logrando así una mayor facilidad en cuanto a la representación de la curvatura característica del panel.

## Lista de referencias

- 100 watt polycrystalline solar panels,10a 12v solar charge controller 500w solar inverter,100W Solar System,12V battery charger. (n.d.). [Figura]. Retrieved from [https://www.aliexpress.com/store/product/100-watt-polycrystalline-solar-panels-10a-12v-solar-charge-controller-500w-solar-inverter-100W-Solar-System/700733\\_32235457140.html](https://www.aliexpress.com/store/product/100-watt-polycrystalline-solar-panels-10a-12v-solar-charge-controller-500w-solar-inverter-100W-Solar-System/700733_32235457140.html)
- Admin. (2016, December 21). PHOTOVOLTAIC EFFECT. *SOPELIA*. [Figura]. Retrieved from <http://www.energiasolar.lat/en/efecto-fotovoltaico/>
- Arquitectura del Computador - Fuentes de Alimentación - Parte 2 de 2. (n.d.). *INGENIERÍA SYSTEMS*. [Figura]. Retrieved from [http://www.ingenieriasystems.com/2012/10/arquitectura-del-computador-fuentes-de\\_7.html](http://www.ingenieriasystems.com/2012/10/arquitectura-del-computador-fuentes-de_7.html)
- b00083711. (2014, December 17). The greatest challenges facing the world in the 21st century: Make solar energy economical. [Figura]. Retrieved from <https://bn903.wordpress.com/2014/12/17/there-are-2-types-of-solar/>
- Batería ciclo profundo. (n.d.). [Figura]. Retrieved from <https://www.pinterest.com.mx/pin/667729082221763761/?autologin=true>
- BSV20A BSV 20A CC002 12V/24V Solar Panel Charge Controller Battery Regulator Charging Control Safe Protection Home Wholesale. (n.d.).

[Figura]. Retrieved from <https://www.dhgate.com/store/product/20a-12v-24v-solar-panel-charge-controller/387545867.html>

BY-ACO. (2015, October 27). ¿Qué es un panel solar? *cultivarsalud*. Retrieved from <http://www.cultivarsalud.com/vida-y-hogar-eco/paneles-solares-que-son-y-variedades/>

CanadianSolar MAXPOWER 325W Solar Panels - CS6X-P. (n.d.). *Canadian Solar*. [Figura]. Retrieved from <https://www.geewiz.co.za/solar/36432-canadiansolar-maxpower-325w-solar-panels-cs6x-p.html>

Carlos Robayo L., S. S. G. (2015). SISTEMA PARA CARACTERIZACION DE PANELES SOLARES. Retrieved from [https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiZm6\\_nt\\_XXAhVGKyYKHVROBaEQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Ffundacioniai.org%2Ffactas%2FActas1%2FActas%25201.7.pdf&usg=AOvVaw0084LNMfj\\_cPy05od-8PcS](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiZm6_nt_XXAhVGKyYKHVROBaEQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Ffundacioniai.org%2Ffactas%2FActas1%2FActas%25201.7.pdf&usg=AOvVaw0084LNMfj_cPy05od-8PcS)

Cepeda Juan. (2017). Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. Retrieved from <http://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/4196/cepedajuan2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¿Cómo Produce Energía Eléctrica un Panel Solar? (n.d.). Retrieved from

<http://www.ortoenergiasolar.com/energia-electrica-producida-por-paneles-solares.html>

Convertor Pic 16F877A. (2013, August 26). *Reto de diseño y análisis Conversión A/D*. [Figura]. Retrieved from

<http://retoconvertor2013.blogspot.com.co/2013/08/pic-16f877a.html>

Convertidor DC-DC Boost XL6009. (n.d.). *Vistronica*. [Figura]. Retrieved from

<https://www.vistronica.com/fuente-de-voltaje/conversores-dc-dc/convertidor-dc-dc-boost-xl6009-detail.html>

Convertidor DC-DC Buck XL4015 de 5A. (n.d.). *Vistronica*. [Figura]. Retrieved

from <https://www.vistronica.com/fuente-de-voltaje/conversores-dc-dc/convertidor-dc-dc-buck-xl4015-de-5a-detail.html>

Cooling Fan 12 VDC 120 x 120 x 25mm 83 CFM. (n.d.). *PARTS EXPRESS*. [Figura].

Retrieved from <https://www.parts-express.com/cooling-fan-12-vdc-120-x-120-x-25mm-83-cfm--250-062>

Curva I-V. (n.d.). Retrieved from <http://www.energetika.com.ar/Curva%20I-V.html>

Editorial Team. (2015, June 6). Analysis of Four DC-DC Converters in Equilibrium.

*ALL ABOUT CIRCUITS*. [Figura]. Retrieved from



<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/analysis-of-four-dc-dc-converters-in-equilibrium/>

EDUCACIÓN SOLAR. (n.d.). *GLOBALEM*. [Figura]. Retrieved from

<http://globalem.co/conceptos/>

Efecto fotoeléctrico e instalaciones fotovoltaicas. (n.d.). *energiza*. Retrieved from

<http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/625-efecto-fotoelectrico-e-instalaciones-fotovoltaicas>

EL COBRE CREA HOGAR. (2011, October). *BLOG YOUR COPPER SOLUTIONS*.

[Figura]. Retrieved from

<https://yourcoppersolutions.wordpress.com/2011/10/17/el-cobre-crea-hogar/>

El efecto fotoeléctrico. (n.d.). Retrieved from

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>

El efecto fotoeléctrico. (n.d.). *Estructura de la materia*. [Figura]. Retrieved from

<http://fisicap4.org/fisica/moderna/foto.html>

El panel solar fotovoltaico. (n.d.). *energetika*. Retrieved from

<http://www.energetika.com.ar/panelsolar.html>

Estudio y caracterización de células solares fotovoltaicas. (n.d.). Retrieved from

<https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjO9IK->

y\_XXAhXB7iYKHUWwDJ4QFggoMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.uam.es%2Fdocencia%2FexpIV%2Fguiones%2FCelulasSolares.pdf&usg=AOvVaw1K8SsRWYZBAYmh-GxfWpJr

File:Buckboost conventions.svg. (n.d.). *WIKIMEDIA COMMONS*. [Figura].

Retrieved from

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buckboost\\_conventions.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Buckboost_conventions.svg)

Física del módulo fotovoltaico. (2017, October 3). *Es renovable*. [Figura]. Retrieved from <http://esrenovable.blogspot.com.co/2007/10/fisica-del-mdulo-fotovoltico.html>

Gerard Herrera Prat. (2010). CARACTERIZACIÓN DE MINIPANELES

FOTOVOLTAICOS PARA APLICACIONES INALÁMBRICAS. Retrieved from

[https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi30\\_\\_RtvXXAhWB6iYKHTGZCpsQFgg0MAA&url=https%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fbitstream%2Fhandle%2F2099.1%2F9780%2FPFC\\_Gerard\\_Herrera\\_Pratt.pdf&usg=AOvVaw2\\_04f1sh8XaNZFuNfMdrma](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi30__RtvXXAhWB6iYKHTGZCpsQFgg0MAA&url=https%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fbitstream%2Fhandle%2F2099.1%2F9780%2FPFC_Gerard_Herrera_Pratt.pdf&usg=AOvVaw2_04f1sh8XaNZFuNfMdrma)

<http://www.solostocks.com/venta-productos/energia-solar/sistemas-energia-solar/inversor-solar-6000w-onda-senoidal-pura-7719281>. (2011, October).

[Figura]. Retrieved from

<https://yourcoppersolutions.wordpress.com/2011/10/17/el-cobre-crea-hogar/>

Inversor solar 6000w, onda senoidal pura. (n.d.). *SoloStocks*. [Figura]. Retrieved from

<http://www.solostocks.com/venta-productos/energia-solar/sistemas-energia-solar/inversor-solar-6000w-onda-senoidal-pura-7719281>

J218: Curvas genéricas de corriente y voltaje en células solares. (2011, March 28).

[Figura]. Retrieved from <https://jmirez.wordpress.com/2011/03/28/j218-curvas-genericas-de-corriente-y-voltaje-en-celulas-solares/>

Jingfan Wang, J. O., & Adam R. Brandt. (2016). POTENTIAL SOLAR ENERGY

USE IN THE GLOBAL PRETROLEUM SECTOR. Retrieved from

[https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjypO3juPXXAhUK7iYKHatRD5kQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0360544216315535&usg=AOvVaw1LN193mQX43bjBNhak\\_zO](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjypO3juPXXAhUK7iYKHatRD5kQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS0360544216315535&usg=AOvVaw1LN193mQX43bjBNhak_zO)

juankorku55. (2010, October 17). Efecto fotoeléctrico. *La web de física*. Retrieved

from [http://forum.lawebdefisica.com/content/83-Efecto-](http://forum.lawebdefisica.com/content/83-Efecto-fotoel%20C3%A9ctrico?s=a214ea7aec2d899a027a12b540f9b841)

[fotoel%20C3%A9ctrico?s=a214ea7aec2d899a027a12b540f9b841](http://forum.lawebdefisica.com/content/83-Efecto-fotoel%20C3%A9ctrico?s=a214ea7aec2d899a027a12b540f9b841)



Laura Morrón. (2013, May 28). La historia del Efecto Fotoeléctrico. *Los Mundos de Brana*. Retrieved from <https://losmundosdebrana.com/2013/05/28/la-historia-del-efecto-fotoelectrico/>

Marcela Valencia, A. A. (2010, June). Diseño estático de un convertidor DC/DC reductor-elevador bidireccional. *2010, 14*(Revista Tecnura), 7.

Maxime Mussard. (2017). SOLAR ENERGY UNDER COLD CLIMATIC CONDITIONS: A REVIEW. Retrieved from <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjBtqCgufXXAhULSiYKHev9BJgQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS1364032117303258&usg=AOvVaw2x3qFLepwW-0xhf-XCkKgP>

Nadarajah Kannan, D. V. (2016). SOLAR ENERGY FOR FUTURE WORLD: A REVIEW. Retrieved from [https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQstn5t\\_XXAhXK6iYKHWLhAZMQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS1364032116301320&usg=AOvVaw1MOW6\\_Dnx\\_ZAoyeTUSVC\\_1](https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiQstn5t_XXAhXK6iYKHWLhAZMQFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS1364032116301320&usg=AOvVaw1MOW6_Dnx_ZAoyeTUSVC_1)

PANEL SOLAR QXPV POLICRISTALINO 150W. (n.d.). [Figura]. Retrieved from <https://www.amvarworld.com/es/paneles-solares/1506-panel-solar-qxpv-policristalino-100w.html>

Paneles Fotovoltaicos vs Paneles Térmicos. (2015, March 23). *ANDES VOLTAIC*. [Figura]. Retrieved from <http://www.andesvoltaic.com/blog/paneles-termicos-vs-paneles-fotovoltaicos/>

PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS. (2017, October 15). [Figura]. Retrieved from <https://www.fuentesdeenergiarenovables.com/energia-solar/paneles-solares-fotovoltaicos/>

Paneles Solares, Tipos y Eficiencias. (n.d.). *DeltaVolt*. Retrieved from <http://deltavolt.pe/energia-renovable/energia-solar/paneles-solares>

Pedro Antonio Romero Díaz. (2013). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA. Retrieved from <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjB5MX0tvXXAhWLSCYKHeWxC5kQFggmMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.acofipapers.org%2Findex.php%2Facofipapers%2F2013%2Fpaper%2Fview%2F288%2F153&usg=AOvVaw3p-8qz5mswsNyBaMeznO-W>

Priscila Gonçalves Vasconcelos Sampaio, M. O. A. G. (2017). PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY: CONCEPTUAL FRAMEWORK. Retrieved from <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj3hYWJuvXXAhVIVyYKHW92A54QFggrMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.sciencedirect.com%2Fscience%2Farticle%2Fpii%2FS1364032117303076&usg=AOvVaw1lt5vj01D0792-aAiplqVZ>

¿Qué es el Efecto Fotoelectrico? (n.d.). *EFFECTO FOTOELECTRICO*. [Figura].

Retrieved from <http://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>

Ricardo Ferreira. (n.d.). Curvas de Funcionamento. Retrieved from [https://paginas.fe.up.pt/~ee03195/Carro\\_Solar/PaineisCurvasdeFuncionamento.html](https://paginas.fe.up.pt/~ee03195/Carro_Solar/PaineisCurvasdeFuncionamento.html)

Servomotor Mg995 TowerPro con engranes metalicos, 15Kg/cm. (n.d.). *Electronica Store.net*. [Figura]. Retrieved from <https://electronicastore.net/producto/servomotor-mg995-towerpro-con-engranajes-metalicos-15kg-de-fuerza/>

Unni Pillai. (2015). DRIVERS OF COST REDUCTION IN SOLAR PHOTOVOLTAICS. Retrieved from <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2>



&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj22eKat\_XXAhVC6CYKHfBPAAaAQFgg  
1MAE&url=https%3A%2F%2Fideas.repec.org%2Fa%2Feee%2Feneeco%2F  
v50y2015icp286-293.html&usg=AOvVaw2za7VN2\_n-O37qvIEUPBjJ

Voltiamperímetro 7 SEG Rojo 0V-100V DC/0A-10A DC. (n.d.). *Vistronica*.

[Figura]. Retrieved from

<https://www.vistronica.com/display/voltiamperimetro-7-seg-rojo-0v-100v-dc-0a-10a-dc-detail.html>

W1209 TEMPERATURE CONTROL SWITCH. (n.d.). *HOBBY COMPONENTS*.

[Figura]. Retrieved from <http://hobbycomponents.com/sensors/684-w1209-temperature-control-switch>