

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**RESIDENCIA PROFESIONAL**

**NOMBRE DEL PROYECTO:**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y  
ACONDICIONAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA DE  
MÁXIMO RENDIMIENTO (ENERGY HARVESTING).**

**TRABAJO:**

**INFORME TECNICO**

**ALUMNO:**

<b>DE AQUINO LÓPEZ JUAN DIEGO</b>	<b>13270829</b>
<b>FLORES ESTRADA HUGO ALEJANDRO</b>	<b>13270836</b>

**LUGAR:**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**ASESOR:**

**DR. HÉCTOR RICARDO HERNANDEZ DE LEÓN**

**Tuxtla Gutiérrez Chiapas; a 19 de diciembre de 2017.**

## ÍNDICE

CAPITULO I .....	4
<b>1.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>1.4 PROBLEMAS A RESOLVER .....</b>	<b>7</b>
<b>1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.1 ALCANCE .....</b>	<b>8</b>
<b>1.5.2 LIMITACIONES .....</b>	<b>9</b>
CAPITULO II .....	10
<b>2.1 CARACTERIZACIÓN EN EL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ .....</b>	<b>10</b>
CAPITULO III .....	11
<b>3.1 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1 ENERGÍA SOLAR DIRECTA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.2 SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA ..</b>	<b>13</b>
<b>3.2.3 VENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.2.4 DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2.5 ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.5.1 PANELES SOLARES .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2.5.2 SISTEMA DE ACUMULACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.5.3 INVERSOR .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.5.4 REGULADOR DE CARGA .....</b>	<b>22</b>
CAPITULO IV .....	25
<b>4.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES .....</b>	<b>26</b>

CAPITULO V .....	28
<b>5.1 RESULTADOS, PLANOS, GRAFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.1 MEDICIÓN Y GRAFICAS DE LOS PANELES SOLARES.....</b>	<b>28</b>
<b>5.1.2 INVERSOR.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1.3 SENSOR DE VOLTAJE.....</b>	<b>38</b>
<b>5.1.4 SENSOR DE CORRIENTE ACS712 DE 20 AMPERIOS.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1.5 TABLERO CON 2 FOCOS DE 12 VCD USADOS COMO CARGA. ....</b>	<b>45</b>
<b>5.1.6 CIRCUITO CONVERTIDOR DC - DC 12V a 5V .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1.7 REGULADOR DE CARGA .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1.8 MEDIDOR DE VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA EN PANELES SOLARES.....</b>	<b>54</b>
<b>5.1.9 OBTENCIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA EN PANELES MEDIANTE ALGORITMO MPPT DIGITAL Y CONVERTIDOR BUCK.....</b>	<b>61</b>
CAPITULO VI.....	77
<b>6.1 CONCLUSIÓN .....</b>	<b>77</b>
<b>6.2 REFERENCIAS .....</b>	<b>78</b>

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y  
ACONDICIONAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA DE  
MÁXIMO RENDIMIENTO (ENERGY HARVESTING)”**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**

**DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

**CAPITULO I**

**1.1 INTRODUCCIÓN**

En este trabajo se presentan las simulaciones y experimentos llevados a cabo en este proyecto de investigación el cual consta en desarrollar un sistema fotovoltaico de máximo rendimiento, comprobar cuanta energía continua puede captar el panel solar, según el día y según su ángulo de inclinación hacia el sol. De esta forma queremos comprobar la eficiencia de los paneles para nuestra sociedad y a la vez a la concientización del uso de paneles en nuestra sociedad para así minimizar el consumo de energía producida por las grandes hidroeléctricas.

Así como en analizar la viabilidad económica de fuentes de energía no convencionales como lo es la energía solar, lo cual se logra mediante paneles con celdas que contienen silicio (un semiconductor que se excita fácilmente con la luz) produciéndose así una corriente continua.

Después de esto pasa a una batería donde es almacenada y derivado al inversor donde se transforma en corriente alterna, la misma que es elevada a

un nivel de utilización (12 voltios). Este panel se coloca dependiendo de la cantidad de energía que se quiera producir (ángulo de inclinación).

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos que convierten la luz solar directamente en electricidad, sin necesidad de equipos mecánicos. La forma más popular de arreglo fotovoltaico está hecha de paneles planos y puede responder a la luz difusa del cielo, puede producir electricidad aun en días nublados, aunque su rendimiento disminuye. Los paneles fotovoltaicos planos pueden estar fijos en un soporte o moverse para seguir la trayectoria del sol [10].

La historia del Energy Harvesting se remonta a la época de los molinos de viento y a la rueda hidráulica. El Energy Harvesting también está motivado por un deseo de abordar la cuestión del cambio climático y el calentamiento global.

Se denomina Energy Harvesting, al proceso de captura de cantidades ínfimas de energía a partir de una o más fuentes naturales, su acumulación y almacenamiento para un determinado uso posterior. Los dispositivos de Energy Harvesting capturan, acumulan, almacenan, acondicionan y administran de forma eficiente y efectiva esta energía, y la suministran de forma que pueda ser utilizada para realizar una tarea útil.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un sistema recolector de energía solar fotovoltaica lo más eficiente posible, a partir de un modelo concreto de panel solar, mediante algoritmos que proporcionen un seguimiento de máxima potencia y voltaje de salida constante, independientemente de variaciones de carga y voltaje de entrada.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Conocer la teoría básica de los sistemas recolectores y acondicionadores de energía solar fotovoltaica de máximo rendimiento (Energy Harvesting).
- Identificar los algoritmos que proporcionen máxima potencia y voltaje de salida constante, independientemente de variaciones de carga y voltaje de entrada, del sistema solar fotovoltaico.
- Diseñar y construir una interfaz electrónica aplicada al sistema solar fotovoltaico mediante la identificación de sus variables características y los subsistemas: Controlador de carga, Acondicionador de energía, Conversión CD-CD, Inversión CD-CA, Almacenamiento y Gestión de energía.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En los últimos años se están planteando alternativas para mejorar los sistemas de recolección de energía (Energy Harvesting). La recolección de energía consiste de aprovechar la energía que proporciona el entorno con el objetivo de alimentar un circuito o sistema electrónico. Energy Harvesting es el proceso de obtener una cantidad de energía eléctrica proveniente de una o más fuentes existentes en la naturaleza.

En esta propuesta de Residencia profesional se pretende desarrollar una metodología integrada que permita analizar aspectos relacionados a las instalaciones fotovoltaicas mediante la identificación de sus variables características, el control de los parámetros en sus diferentes subsecciones (Controlador de carga, Acondicionador de energía, convertidor CD-CD, inversor CD-CA), encaminadas a incrementar la confiabilidad y rendimiento de la producción de energía.

### **1.4 PROBLEMAS A RESOLVER**

El uso de las energías renovables va teniendo día con día más importancia, ya que gracias ella se va sustituyendo las fuentes de energías que están a punto de extinguir.

Debido a esto, los sistemas usados para la recolección de estas energías son de vital importancia, en el caso de la energía solar, son utilizados los sistemas fotovoltaicos para la captación de energía. Cabe destacar que la eficiencia de un sistema fotovoltaico depende de la eficiencia de sus componentes. Como

es el caso del panel solar, no puede ser tan eficiente si no se encuentra en las condiciones climáticas adecuadas, así como su orientación respecto al sol.

A consecuencia de esto, surgen pérdidas de energía la cual no está siendo aprovechada, por ello mediante este proyecto, se enfocará en el constante monitoreo de los paneles solares, desarrollando dispositivos de medición, que faciliten y ayuden a ser más eficiente el monitoreo obteniendo datos inalámbricamente.

También se estudiará e identificará, algoritmos para obtener la máxima eficiencia de los paneles solares, como es el caso del algoritmo perturbar y observar. De igual forma se diseñará y construirá dispositivos que conforman al sistema fotovoltaico, como es el caso del controlador de carga, para poder tener un sistema más eficiente.

## **1.5 ALCANCE Y LIMITACIONES**

### **1.5.1 ALCANCE:**

- Se obtendrán mediciones de corriente, voltaje y potencia de los paneles solares, de manera más eficiente, mediante la construcción de una interfaz.
- Estudio e identificación de algoritmos para la obtención de la máxima eficiencia de los paneles solares.
- Diseño y construcción de dispositivos que conforman el sistema fotovoltaico.

### **1.5.2 LIMITACIONES:**

- Controladores de carga tipo MPPT, el cual es de alto coste.
- Las condiciones climáticas (invierno), donde se presentan días nublados bajando el rendimiento de los paneles solares.
- Tiempo comprendido en el que se realiza la residencia profesional.

## CAPITULO II

### 2.1 CARACTERIZACIÓN EN EL ÁREA EN QUE SE PARTICIPÓ

El proyecto se realizó en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en el laboratorio de control inteligente de la maestría en ciencias en ingeniería Mecatrónica, el laboratorio cuenta con los materiales e instrumentos necesarios para llevar a cabo prácticas e investigación.

La universidad se encuentra ubicada en el centro de Chiapas, la dirección exacta es carretera panamericana Km. 1080 C.P. 29050.



*Figura 2.1. Dirección exacta de la ubicación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.*

## CAPITULO III

### FUNDAMENTO TEORICO

#### 3.1 ESTADO DEL ARTE

En la actualidad las necesidades energéticas del mundo son cada vez mayores, la demanda de energía se incrementa como consecuencia del avance tecnológico, y debido a esto se tiende a buscar soluciones a estas necesidades que no solo sean optimas, eficientes y de bajo costo, sino que sean sistemas sostenibles, que no afecten el medio ambiente y además que aprovechen las fuentes de energía que este nos provee [1].

Actualmente la tecnología de las energías renovables todavía se encuentra en una etapa de desarrollo [2]. En particular para la energía solar fotovoltaica, el desarrollo se centra en mejorar su eficiencia y garantizar un almacenamiento adecuado de la energía producida [3].

Las celdas solares fotovoltaicas son dispositivos que convierten la luz solar directamente en electricidad, sin necesidad de equipos mecánicos [4].

Los paneles solares no son 100% eficientes en parte porque algo del espectro de luz es reflejado, otra parte es demasiado débil para crear electricidad (infrarrojos) y otro poco (Ultravioleta) genera energía en forma de calor en vez de energía eléctrica [5].

El rendimiento de un panel fotovoltaico depende de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares [6].

El hecho de poder aumentar su autonomía o, incluso llegar a hacerla ilimitada, es lo que pretende el campo de la investigación que ha venido a llamarse “Energy Harvesting”. Este ámbito pretende aprovechar las distintas y variadas

formas en que se halla la energía en el ambiente y convertirla en energía eléctrica [7].

El campo conocido como Energy Harvesting o recolección de energía, trata sobre un proceso mediante el cual la energía es capturada y almacenada para su posterior uso. Existen una variedad de diferentes fuentes para la recogida de la energía, tales como la energía solar, energía térmica, energía mecánica, radiofrecuencia, etc. Los avances en el ámbito del Energy Harvesting hacen pensar que se ha encontrado una respuesta a cómo alimentar estos sistemas directamente desde la energía hallada en el medio [7].

Los principales objetivos de un sistema de monitorización son: medir el rendimiento energético, evaluar el rendimiento del sistema fotovoltaico e identificar rápidamente los defectos de diseño o mal funcionamiento [8]. Muchas grandes instalaciones fotovoltaicas utilizan estos sistemas para evitar pérdidas económicas debido a problemas operativos.

El requisito para la monitorización analítica incluye un sistema automático de adquisición de datos para monitorizar un conjunto mínimo de parámetros. Un sistema de supervisión adecuado puede permitir la detección oportuna de problemas de funcionamiento, garantizando así un mayor rendimiento final de energía, que sería imposible sin vigilancia [9].

## **3.2 MARCO TEÓRICO**

### **3.2.1 ENERGÍA SOLAR DIRECTA**

La energía solar directa es el resultado del proceso de fusión nuclear que da lugar en la superficie del sol. Tomando en cuenta la cantidad de energía que genera este proceso, la tierra recibe menos de una millonésima parte, de la cual proporcionalmente con el tamaño de nuestro planeta es una gran cantidad de energía. La radiación solar que es percibida por la superficie terrestre puede ser transformada en energía eléctrica y/o calorífica, y que puede ser utilizada de manera directa como energía para la producción de vapor (Solar Térmica) y para la generación de energía eléctrica (Solar Eléctrica).

### **3.2.2 SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Los sistemas fotovoltaicos autónomos están considerados como una tecnología madura y una opción de gran utilidad práctica para dotar de acceso a electricidad a cientos de millones de familias que viven en las zonas más pobres del denominado tercer mundo.

El uso de sistemas fotovoltaicos para este tipo de aplicaciones aisladas a la red permite aprovechar la disponibilidad de una fuente de energía libre y gratuita en el mismo lugar de consumo, la flexibilidad y modularidad de las instalaciones y la amplia autonomía que estos sistemas proporcionan.

Una instalación fotovoltaica doméstica común consta de los siguientes elementos: módulo fotovoltaico y estructura soporte, batería, regulador de carga y aplicaciones de consumo (luminarias más toma corrientes para

electrodomésticos), además del cableado y los dispositivos de protección. La corriente que entrega la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan, funcionan con corriente alterna. Por este motivo se utilizan onduladores que convierten la corriente continua en alterna (inversores de carga).

Los sistemas fotovoltaicos aislados (sin conexión a la red) requieren de baterías, generalmente de tipo plomo-ácido o de gel, para almacenar la energía para uso posterior. En la actualidad existen nuevas baterías de alta calidad diseñadas especialmente para las aplicaciones solares (de gel y ciclo profundo), con tiempos de vida útil de más de 15 años. No obstante, el tiempo de vida de una batería depende en gran medida de la forma de utilización y del comportamiento del usuario.

La batería está conectada al Sistema fotovoltaico mediante un controlador de carga. El controlador de carga protege la batería contra las sobrecargas o descargas, y también puede proporcionar información sobre el estado del sistema o permitir la medición de la carga y la electricidad utilizada.

Si se necesita una salida de corriente alterna (CA), será preciso instalar un inversor que convierta la alimentación de corriente continua (CC) a corriente alterna.

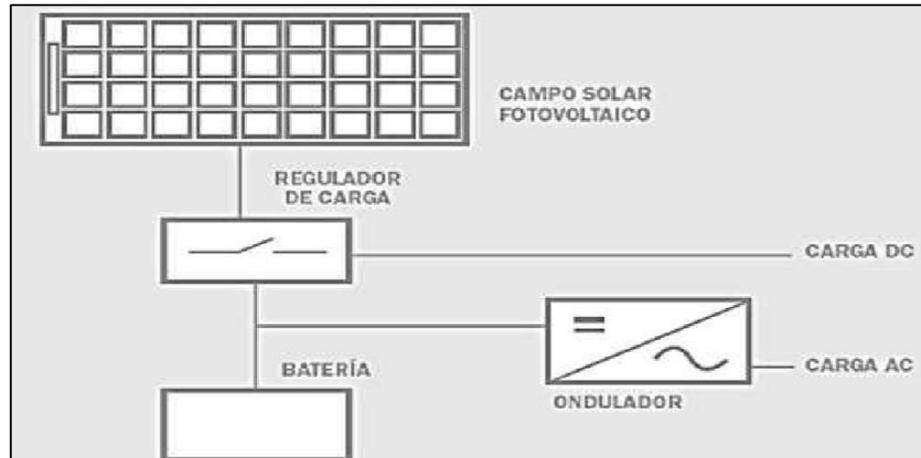


Figura 3.1 Esquema de un sistema fotovoltaico aislado.

Las aplicaciones típicas de los sistemas no conectados a la Red son los repetidores de telefonía móvil, los sistemas de electrificación de zonas distantes o rurales.

### 3.2.3 VENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Estas son algunas de las ventajas que conllevan el uso de la energía solar fotovoltaica:

- Es una tecnología madura y aceptada internacionalmente. Una instalación fotovoltaica se caracteriza por su simplicidad, silencio, larga duración, poco mantenimiento, una elevada fiabilidad, y no producir daños al medio ambiente.
- A diferencia de los combustibles fósiles y la energía nuclear, la energía fotovoltaica no contamina. No obstante, ninguna fuente de energía es absolutamente inocua.

- Posee bajos costos de operación y mantenimiento.
- Es la mejor opción en fuentes de energía renovable para introducir en el ámbito urbano.
- Permite un diseño modular. Es aplicable en los más diversos sitios y para diferentes usos.
- Fácil de producir a escala masiva y de instalar.
- Se trata de una tecnología renovable de generación de electricidad fácilmente instalable y cuya producción puede distribuirse directamente en los puntos de consumo de nuestros pueblos y ciudades, donde se consume la mayoría de la electricidad del país. De esta forma, cualquier edificio puede convertirse en una pequeña central generadora de electricidad.
- La característica más importante de los sistemas solares fotovoltaicos es que no producen emisiones de dióxido de carbono.

### **3.2.4 DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

Así mismo existen algunas desventajas de estos sistemas, tales como:

- el costo de compra es elevado debido a que este sistema de energía fotovoltaica no se encuentra masificado.
- Posee ciertas limitaciones con respecto al consumo ya que en períodos donde no hay sol no puede utilizarse más energía de la acumulada.
- Uno de los mayores problemas para la gente que está pendiente de la estética de su casa es la imagen que estos paneles dan; no son necesariamente agradables a la vista debido a sus grandes dimensiones.
- Falta de eficiencia por parte de los paneles solares.

### 3.2.5 ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

#### 3.2.5.1 PANELES SOLARES

Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo p y silicio tipo n. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas ("agujeros") de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico.

Los agujeros se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo p y los electrones hacia la negativa o capa tipo n. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interno. Por lo tanto, si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los agujeros positivos.

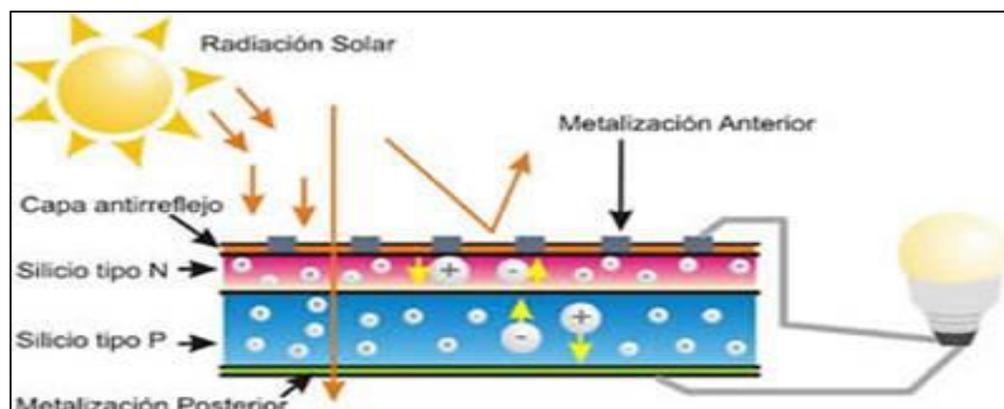


Figura 3.2 Funcionamiento de una celda fotovoltaica.

La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinada por: El tipo y el área del material, la intensidad de la luz del sol, la longitud de onda de la luz del sol, Por ejemplo, las celdas solares de silicio monocristalino actualmente no pueden convertir más el de 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material.

El silicio policristalino tiene una menor eficacia de conversión, pero también menor coste. Cuando es expuesto a luz solar directa, una celda de silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de  $90 \text{ W/m}^2$ , en un rango de usualmente  $50\text{-}150 \text{ W/m}^2$ , dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda). El arseniuro de galio es más eficaz que el silicio, pero también más costoso.

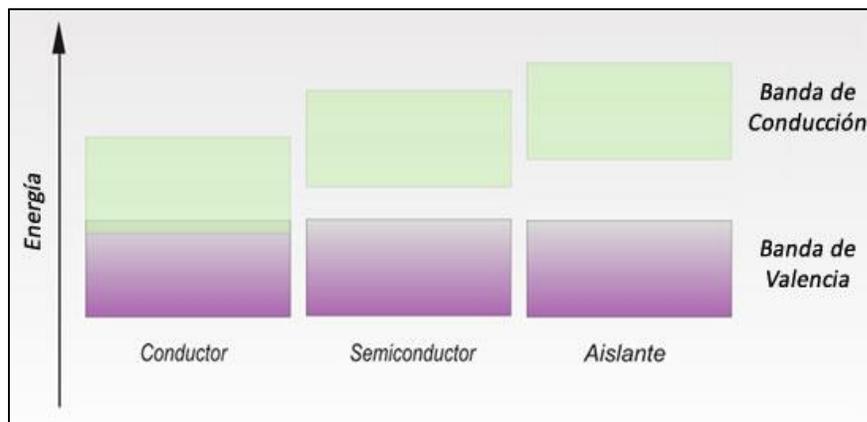


Figura 3.3 comportamiento de un conductor, semiconductor y aislante.

Una celda sólo entrega valores de voltaje de 0,5 V en promedio, y para poder generar energía más útil se requiere de sistemas de mayor capacidad que

entreguen valores de voltaje y corriente más elevados, que son necesarios para su uso en remplazo de los sistemas de generación convencionales.

Con este objetivo se requiere hacer módulos o paneles fotovoltaicos con los valores de voltaje requeridos. Para incrementar la corriente se debe conectar varias series en paralelo para llegar a los valores de corriente requeridos.

Los paneles deben tener rigidez en su estructura, aislamiento eléctrico y resistencia a los agentes climáticos. Por lo cual, una vez conectadas los grupos de celdas, son encapsuladas en un plástico elástico (Etilvinilacelato) que hace las veces de aislante eléctrico, un vidrio templado de bajo contenido de hierro, en la cara que mira al sol y una lámina plástica multicapa (Poliéster) en la cara posterior.

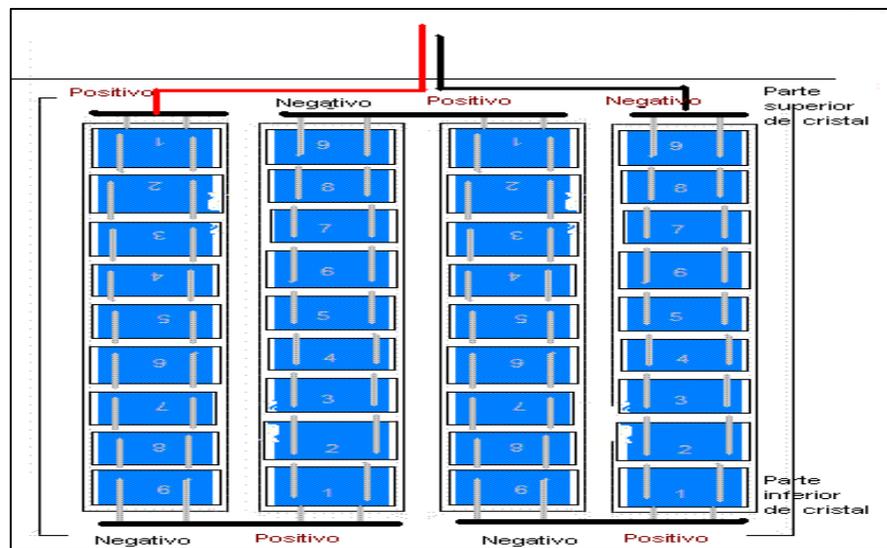


Figura 3.4 Conexión de las celdas fotovoltaicas en un módulo.

Un módulo fotovoltaico puede generar energía en días nublados, aunque su rendimiento baja con respecto a un día soleado. En efecto, la elevación del

lugar donde se instala no tiene ninguna relación con la eficiencia del sistema, es decir que la altura a la que van a ser instalados la célula fotovoltaica no va a influir en el rendimiento.

Los paneles se instalan a cierta altura para salvar sombras y tener así un contacto directo con el sol. Cuando se escoge un lugar para los módulos, se debe asegurar que tiene la luz directa a las superficies de los módulos. La luz filtrada como por ejemplo a través del follaje de los árboles va a disminuir mucho el rendimiento del módulo. La instalación de los módulos se hace con preferencia en una zona fuera del camino principal, como en el techo o una pared expuesta al sol.

### **3.2.5.2 SISTEMA DE ACUMULACIÓN**

La naturaleza variable de la radiación solar hace que los sistemas fotovoltaicos aislados incorporen elementos de almacenamiento de energía que permitan disponer de ésta, en los periodos en los que no hay radiación solar.

Dado que los requisitos exigibles a una batería de un sistema fotovoltaico son: la resistencia al número de ciclos de carga y descarga. Como cualquier otro sistema de energías renovables, los sistemas de energía solar utilizan baterías de ácido de ciclo profundo para el sistema de acumulación. Este tipo de baterías son distintas a las convencionales de vehículos motorizados, ya que están diseñadas para ser más tolerantes con distintos tipos de cargas de salida y con la descarga que se espera cuando llega a estar nublado. Este tipo de baterías solares duran más, aunque también son más costosas que las convencionales.

La mayor diferencia es que estas tienen placas sólidas de plomo; en las baterías convencionales las placas son de un material esponjoso.



Figura 3.5 Ilustración de distintos tipos de baterías.

### 3.2.5.3 INVERSOR

El inversor, o también llamado ondular de carga, tiene como función principal la de convertir o transformar una corriente continua, procedente de baterías o de la célula fotovoltaica, en una corriente alterna. El inversor fabricará una salida de corriente, normalmente a 120V o 220V (aunque también los hay a 380V), con una frecuencia de 50Hz o 60Hz. Esta forma de onda de salida podrá ser sinusoidal pura, sinusoidal modificada o cuadrada.

Los onduladores sinusoidales sirven para alimentar todo tipo de cargas, mientras que otros onduladores con otra forma de onda tienen ciertas limitaciones dado su efecto en cargas inductivas o capacitivas, también se debe destacar los ruidos o interferencias, que pueden causar un mal funcionamiento con equipos de telecomunicaciones y otros electrodomésticos. La ventaja que ofrecen estos onduladores es más bien económica ya que

pueden ser la mitad de baratos que los onduladores sinusoidales ofreciendo una potencia similar.

Los inversores más eficientes utilizan varios artificios electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule lo más cercano posible a una onda sinusoidal.



*Figura 3.6 Ilustración de un inversor.*

#### **3.2.5.4 REGULADOR DE CARGA**

Su función es regular la carga y la descarga de las baterías. Existen diversas tecnologías comercializadas para aplicaciones fotovoltaicas. Si nos referimos a la forma de conmutación con la batería, encontramos dos tipos de sistemas de regulación: en paralelo, donde el exceso de tensión se controla derivando la corriente a un circuito que disipa la energía sobrante, y en serie, que incorpora interruptores, electromecánicos o electrónicos, que desconectan el generador cuando la tensión excede de un determinado nivel de referencia. Es el dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas.

El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga.

En principio existen dos tipos de regulador de carga:

### 3.2.5.5 REGULADOR DE CARGA PWM

Un regulador de carga de carga PWM es un regulador de carga sencillo que actúa como un interruptor entre los módulos fotovoltaicos y la batería. Conectados a un regulador de carga PWM, los módulos fotovoltaicos están forzados a trabajar a la tensión de la batería (por ejemplo, cuando cargamos una batería a 13,5 V, los módulos también dan 13,5 V), lo que resulta en pérdidas de rendimiento respecto al punto de máxima potencia (MPP) de los módulos.

En cuanto llegamos a la fase de absorción de la batería (para más información mire el apartado "baterías" dentro de la biblioteca), el regulador de carga empieza a cortar parte de la posible producción de los módulos, modificando la anchura de los pulsos, para que no se sobrecargue la batería.



Figura 3.7 Ilustración de un regulador de carga PWM.

### 3.2.5.6 REGULADOR DE CARGA MPPT

Un regulador de carga MPPT lleva incorporado un seguidor del punto de máxima potencia (**M**áximo **P**ower **P**oint **T**racking = MPPT) y un convertidor CC-CC) (transformador de corriente continua de más alta tensión a corriente continua de más baja tensión - para la carga de la batería).

El MPPT se encarga de trabajar en la entrada de los módulos fotovoltaicos a la tensión que más conviene (para sacar la máxima potencia o para limitar la potencia en fases de "absorción" y "flotación").



*Figura 3.8 Ilustración de un controlador de carga MPPT.*

**CAPITULO IV**

**4.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS**

Las actividades para desarrollar durante el proyecto se planearon en torno al siguiente cronograma en un lapso de 16 semanas.

Actividad	Semana															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Recopilación de información e investigación de sistemas solares fotovoltaicos de máximo rendimiento (Energy Harvesting) (edo. del arte).	■	■	■													
Estudio e identificación de los algoritmos de máxima potencia y voltaje de salida constante, independientemente de variaciones de carga y voltaje de entrada del sistema solar fotovoltaico.		■	■	■												
Diseñar y construir una interfaz electrónica aplicada al sistema solar fotovoltaico que integre al controlador de carga, acondicionador de energía, conversión CD-CD, inversión CD-CA, almacenamiento y gestión de energía.				■	■	■	■	■	■	■						
Pruebas de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico utilizado.									■	■	■	■	■	■	■	
Informe de avance del proyecto.				■				■				■				
Entrega de informe de residencia.																■

## 4.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES

**1.- Recopilación de información e investigación de sistemas solares fotovoltaicos de máximo rendimiento (Energy Harvesting) (edo. del arte).** Recabar información y observaciones de los sistemas solares fotovoltaicos de máximo rendimiento (Energy Harvesting). Verificación de trabajos similares, apoyado en los registros e información generada en residencias anteriores, artículos de investigación y trabajos profesionales de tesis sobre el mismo tema.

**2.- Estudio e identificación de los algoritmos de máxima potencia y voltaje de salida constante, independientemente de variaciones de carga y voltaje de entrada del sistema solar fotovoltaico.** Identificar los algoritmos de máxima potencia y voltaje de salida constante, independientemente de variaciones de carga y voltaje de entrada del sistema solar fotovoltaico.

**3.- Diseñar y construir una interfaz electrónica aplicada al sistema solar fotovoltaico que integre al controlador de carga, acondicionador de energía, conversión CD-CD, inversión CD-CA, almacenamiento y gestión de energía.** Implementación de un circuito electrónico aplicada al sistema solar fotovoltaico que integre al controlador de carga, acondicionador de energía, conversión CD-CD, inversión CD-CA, almacenamiento y gestión de energía.

**4.- Pruebas de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico utilizado.** Realizar pruebas de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico en sus diferentes etapas en base a los datos de los sensores, para verificar el funcionamiento por partes y luego en su conjunto.

**5.- Informe de avance del proyecto y reporte final.** Cada mes como lo marca el programa se entregará un informe parcial de las actividades desarrolladas, en la residencia, así como el avance, problemática encontrada y estrategias para terminar a tiempo.

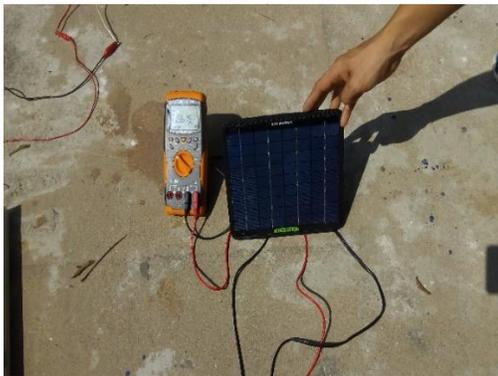
## CAPITULO V

### 5.1 RESULTADOS, PLANOS, GRAFICAS, PROTOTIPOS Y PROGRAMAS

#### 5.1.1 MEDICIÓN Y GRAFICAS DE LOS PANELES SOLARES

Las fotografías exhiben las mediciones de corriente y voltaje de los tres tipos de paneles solares con los que se está trabajando.

##### Fotos:



*Figura 5.1* Medición de voltaje en circuito abierto del panel = 19.65VDC.



*Figura 5.2* Medición de la corriente en corto circuito del panel = 158.55mA



*Figura 5.3* Medición de voltaje en circuito abierto del panel = 19.68VDC.



*Figura 5.4* Medición de la corriente en corto circuito del panel = 464.53mA



*Figura 5.5* Medición d voltaje en circuito abierto del panel = 20.6Avdc.



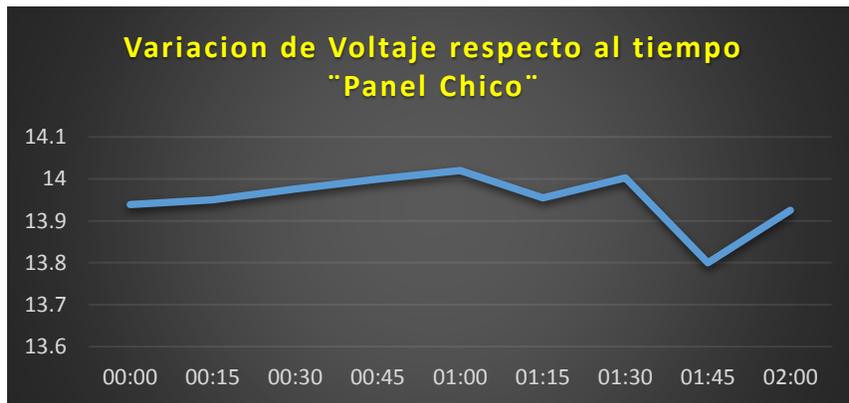
*Figura 5.6* Medición de la corriente en corto circuito del panel = 6.030A

Al realizar las mediciones que nos arrojó los paneles, se pudo observar cual es el más adecuado según sea el caso. Otro dato también impórtate es que cuando colocamos el panel en la sombra el reflejo de la luz solar hace que capte energía con un poco menos de intensidad que ponerla con el sol directo.

A continuación, se presentan las mediciones de corriente, voltaje y potencia de cada uno de los paneles solares con los que se está trabajando en este proyecto.

**a) PANEL CHICO**

Tiempo (min)	Voltaje (VDC)	Corriente (A)	Potencia (W)
00:00	13.939	0.112	1.561168
00:15	13.95	0.113	1.57635
00:30	13.976	0.126	1.760976
00:45	14	0.14	1.96
01:00	14.02	0.149	2.08898
01:15	13.955	0.104	1.45132
01:30	14.003	0.139	1.946417
01:45	13.8	0.1	1.38
02:00	13.925	0.092	1.2811



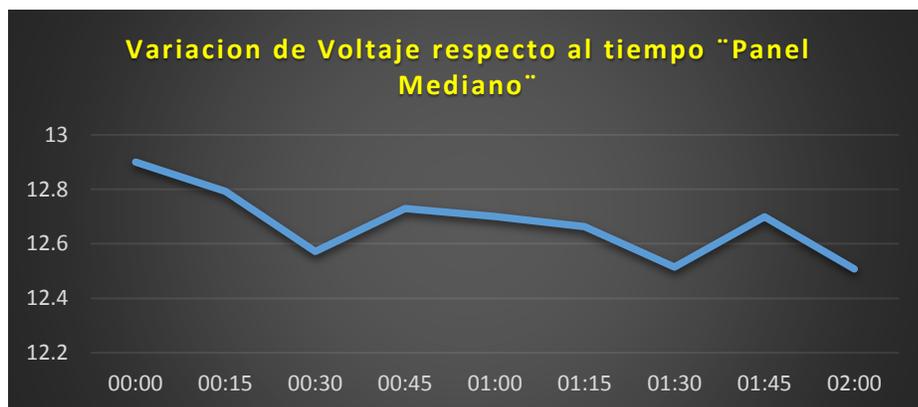


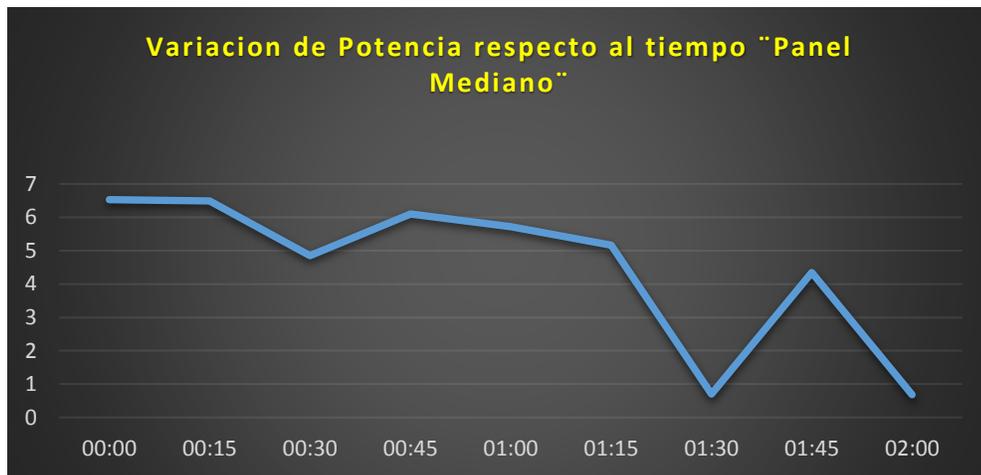
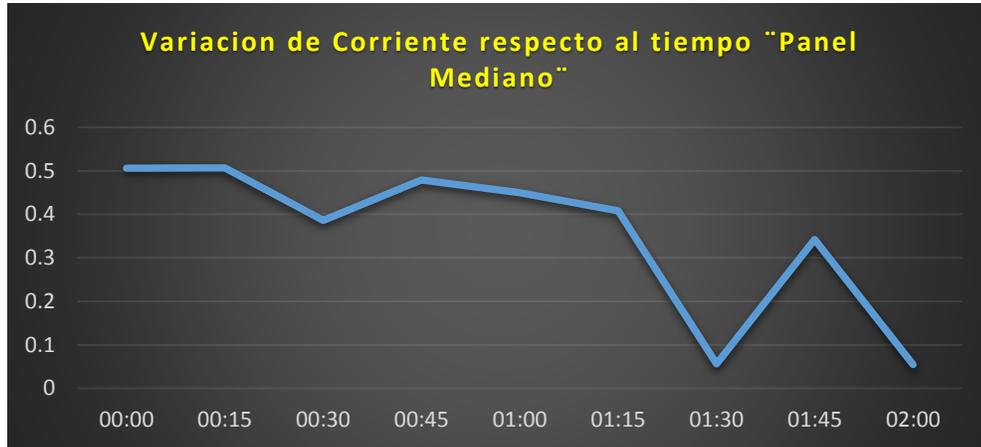
En las gráficas se puede apreciar las variaciones que presenta el panel solar con respecto al tiempo, tomando en cuenta las condiciones climáticas y la posición del panel solar.

b)

**PANEL MEDIANO**

Tiempo (min)	Voltaje (VDC)	Corriente (A)	Potencia (W)
00:00	12.9	0.506	6.5274
00:15	12.792	0.507	6.485544
00:30	12.572	0.386	4.852792
00:45	12.729	0.479	6.097191
01:00	12.7	0.45	5.715
01:15	12.663	0.408	5.166504
01:30	12.514	0.056	0.700784
01:45	12.699	0.342	4.343058
02:00	12.507	0.055	0.687885



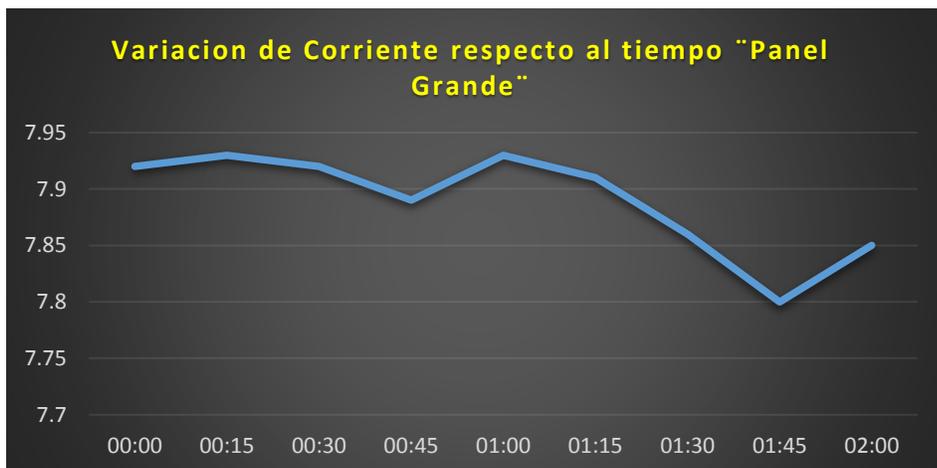
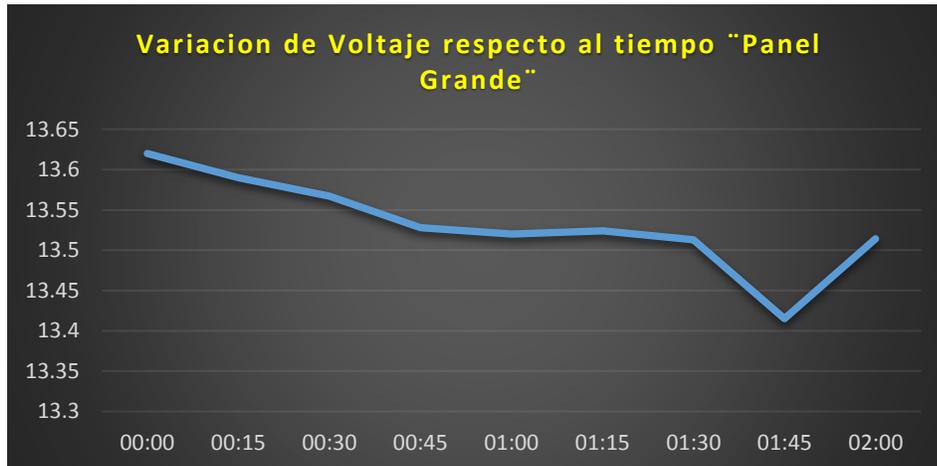


Con este panel también se aprecian las variaciones que presenta el panel solar con respecto al tiempo, tomando en cuenta las condiciones climáticas y la posición del panel solar.

**PANEL GRANDE**

c)

Tiempo (min)	Voltaje (VDC)	Corriente (A)	Potencia (W)
00:00	13.62	7.92	107.8704
00:15	13.59	7.93	107.7687
00:30	13.567	7.92	107.45064
00:45	13.528	7.89	106.73592
01:00	13.52	7.93	107.2136
01:15	13.524	7.91	106.97484
01:30	13.513	7.86	106.21218
01:45	13.415	7.8	104.637
02:00	13.514	7.85	106.0849





Para finalizar el análisis de los paneles, en este último se muestran las variaciones que presenta el panel solar con respecto al tiempo, tomando en cuenta las condiciones climáticas y la posición del panel solar.

### 5.1.2 INVERSOR

Se diseñó en Proteus y ares el circuito de un inversor de 12V continua a 127V de corriente alterna, este inversor es de 24 watts.

#### Materiales usados:

- C1 - 4700UF a 25V electrolítico.
- R1 - 4.7KOhm a ½ watt.
- R2 - 100KOhm a ½ watt.
- C2, C3 - 0.1UF cerámico.
- R3 - 10KOhm a ½ watt.
- R4 – 2.7KOhm a ½ watt.
- R5 – 470 Ohm a ½ watt.
- IC1 o U1 – Circuito integrado 555.
- Q1 – Transistor BC547.
- Q2, Q3 – Mosfet IRFZ44.
- T1 – Transformador de 24V a 127V de 1 ampere con derivación central.

**NOTA:** Para este diseño de inversor el transformador usado en todo caso será de 127 a 24V con derivación central. Si queremos aumentar la potencia del inversor tenemos que conseguir un transformador de 24V a 127V con derivación central pero que la corriente de este sea más grande por ejemplo si queremos un inversor de 48 watts debemos de tener un transformador de 24V a 127V de 2 ampere con derivación central ya que la fórmula para calcular la potencia de este inversor es multiplicar el voltaje de 24V del transformador por la corriente que maneja este mismo teniendo así  $24V \times 2 \text{ ampere} = 48 \text{ watts}$ .

También hay que tomar en cuenta los Mosfet utilizados ya que el que se está usando soporta potencias de máximo 200 watts si se requiere soportar mayor potencia se puede utilizar los IRFZ48 que soporta máximo 350 watts o el IRF3205 que soporta 600 watts máximo; para confirmar esta información checar los Datasheet.

***Este inversor no puede usarse con cargas inductivas como motores.***

A continuación, se muestran los diseños realizados para este inversor en Proteus y en Ares.

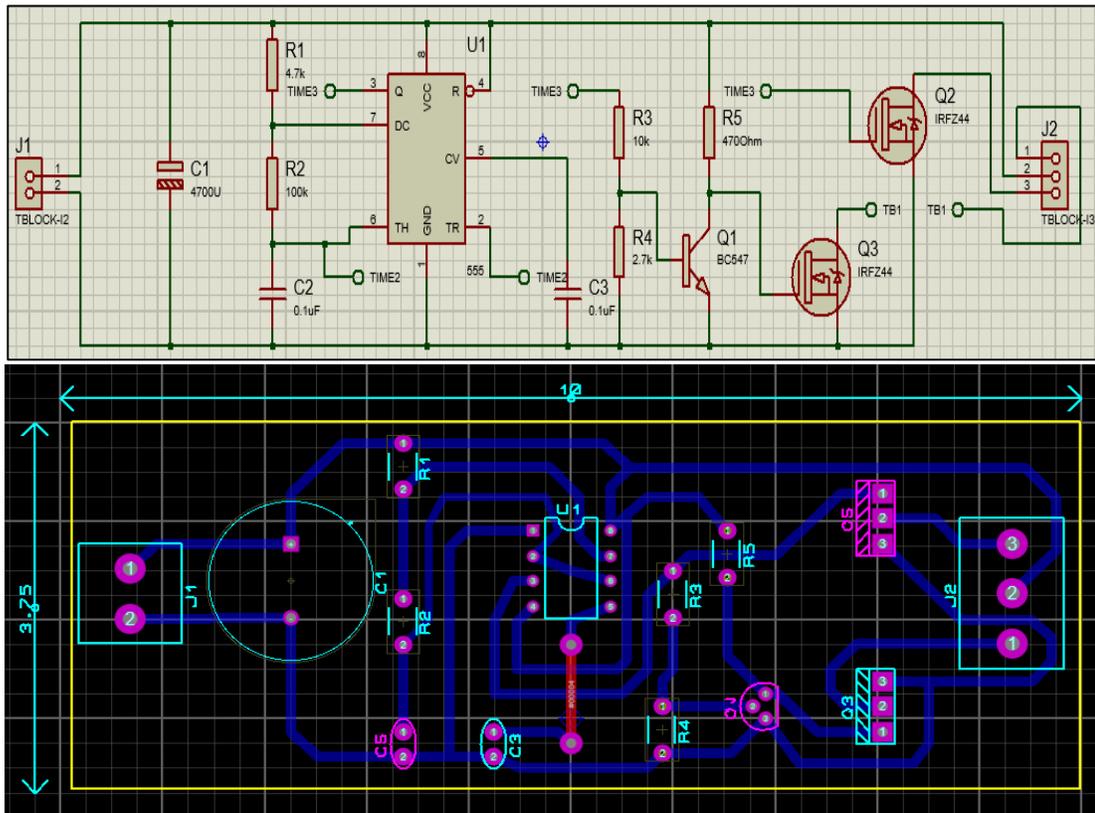


Figura 5.7 Diseño en Proteus y Ares del inversor.

❖ Conexiones para hacer el inversor.

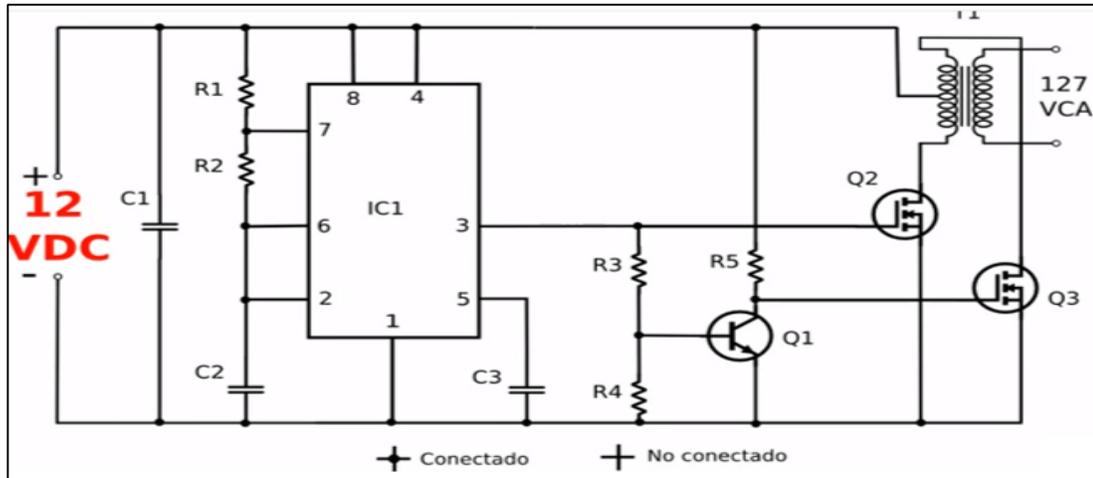


Figura 5.8 Ilustración del conexionado del inversor.

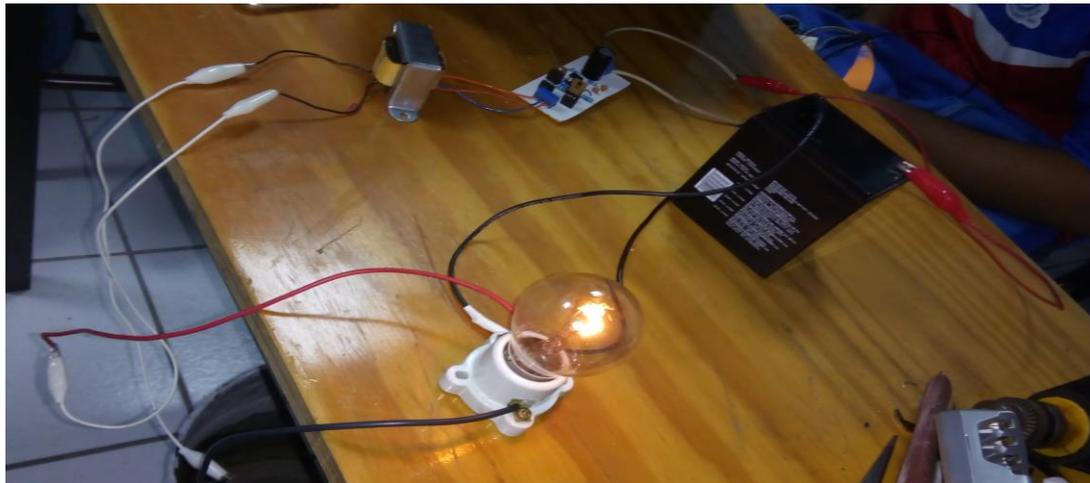


Figura 5.9 Ilustración del inversor de 12VDC a 127 VCA (24 watts) funcionando.

Aquí podemos observar claramente que en definitivo el inversor funciona correctamente y también notamos que la intensidad del foco de corriente alterna es muy poco y esto se debe a que el foco no es de 24 watts, sino que consume más por lo tanto se alcanza encender un poco.

### 5.1.3 SENSOR DE VOLTAJE

Para medir el voltaje en el sistema fotovoltaico con ayuda del Arduino se fabricó un divisor de voltaje el cual nos ayuda a medir de 0 a 30VDC como máximo, sin que el Arduino se dañe ya que como sabemos este puede medir máximo 5VDC en sus entradas.

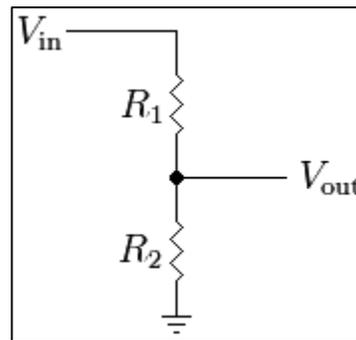


Figura 5.10 Ilustración del divisor de voltaje.

Para diseñarlo se realizaron los siguientes cálculos:

1. Proponemos el voltaje máximo que mediremos en este caso 30VDC y también ponemos que el voltaje en la resistencia 2 será de 5VDC por lo cual el voltaje en la resistencia 1 será de 25VDC, esto se aprecia a continuación:

$$V_{in} = V_1 + V_2 \quad 30VDC = 25V + 5V$$

$$\text{Por lo tanto, } V_1 = V_{in} - V_2 = 30VDC - 5VDC = 25VDC$$

2. Proponemos la resistencia **R1** la cual será de 100KOhm.
3. Tenemos que  $V_1 = I \cdot R_1$  y con esta fórmula calculamos la corriente:  

$$I = V_1 / R_1 = 25VDC / 100KOhm = 0.25mA$$
4. Tenemos que  $V_2 = I \cdot R_2$  y con esto calculamos **R2**:

$$R2=V2 / I = 5VDC / 0.25mA = 20KOhm$$

5. Si nosotros medimos el voltaje en R2 al hacer pasar 30VDC por el divisor de voltaje pues este nos debe de dar 5VDC eso sería lo que se está midiendo, pero lo queremos poder medir es el voltaje de 30VDC por lo cual aún nos falta hacer cálculos para obtener el factor multiplicador que se usara en la programación del arduino y así poder medir los 30VDC en este.
6. Tenemos que  $Vin = V1 + V2$ ,  $Vin=(R1 + R2) * I$  de esto tenemos que:

$$I = Vin / (R1 + R2)$$

$$Vin = R1 * I + V2$$

$$Vin = R1 * (Vin / (R1+R2)) + V2$$

$$Vin = (R1*Vin + V2*(R1+R2)) / (R1+R2)$$

Despejando tenemos que:

$$R1*Vin=Vin*(R1+R2) - V2*(R1+R2)$$

$$R1 = (Vin*(R1+R2) - V2 (R1+R2)) / Vin$$

$$R1 = R1 + R2 - (V2*(R1+R2) / Vin)$$

Despejando tenemos que:

$$Vin*(-R2) = -V2 (R1+R2)$$

Por lo tanto:

$$Vin = V2 * (R1 + R2) / R2$$

$$Vin = V2 * (100KOhm + 20KOhm) / 20KOhm =$$

$$Vin = V2*6$$

A continuación, se muestra los diseños en Proteus y ares del sensor de voltaje.

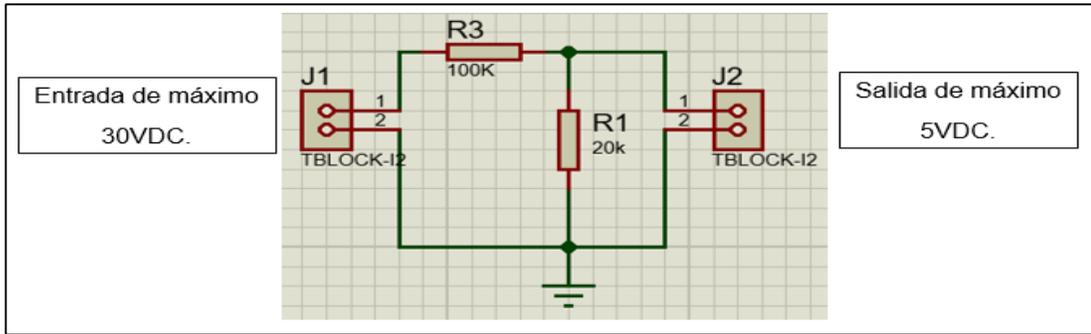


Figura 5.11 Diseño en Proteus del sensor de voltaje.

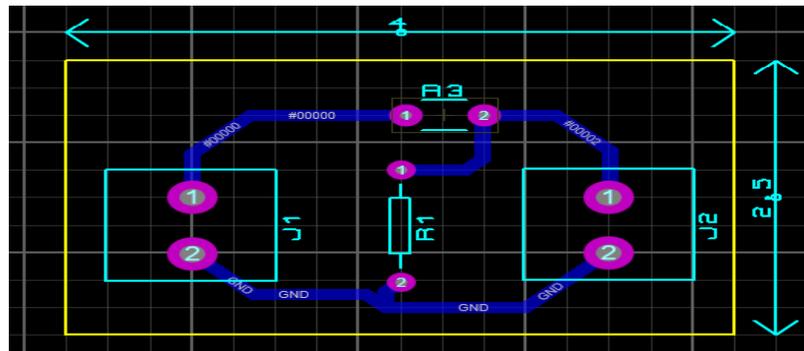


Figura 5.12 Diseño en Ares del sensor de voltaje.

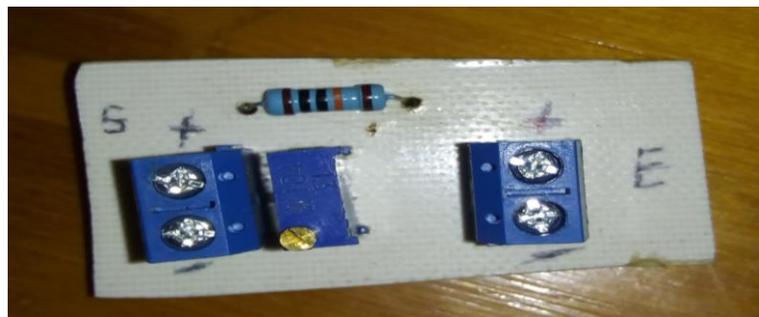


Figura 5.13 Ilustración del sensor de voltaje realizado.

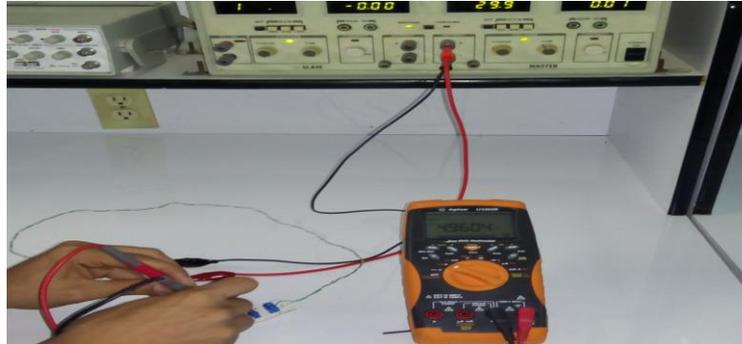


Figura 5.14 Pruebas físicas con el divisor de voltaje.

Aquí podemos observar como efectivamente cuando nosotros ingresamos un voltaje de 30VDC en este sensor en la salida de este nos arroja alrededor de 5VDC, cabe aclarar que este sensor puede medir valores de 0 a 30VDC por lo cual entre menor a 30VDC sea el voltaje de entrada en este, menor será el voltaje en su salida.

```
MEDIDOR_DE_VOLTAGE_MEDIANTE_DIVIS... - □ ×
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
MEDIDOR_DE_VOLTAGE_MEDIANTE_DMSOR_DE_VOLTAGE AXI
int medidorVoltaje=A1;
float voltaje=0;
float voltaje1;
String voltaje2;

void setup() {
  pinMode(medidorVoltaje, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  voltaje=analogRead(medidorVoltaje);
  voltaje1=(voltaje*5/1023)*6;
  voltaje2=String(voltaje1);
  Serial.println(voltaje2);
  delay(100);
}
```

NOTA: EL NEGATIVO DE LA SALIDA DEL SENSOR DE VOLTAGE VA A LA TIERRA DEL ARDUINO Y EL POSITIVO A LA ENTRADA ANALOGICA A1 DEL ARDUINO DE ACUERDO A ESTE CODIGO. EN LA ENTRADA DEL SENSOR DE VOLTAGE SE PONE EL VOLTAGE QUE SE DESEA MEDIR ENTRE 0 Y 30VDC MAXIMO.

Figura 5.15 Programa en Arduino para el sensor de voltaje.

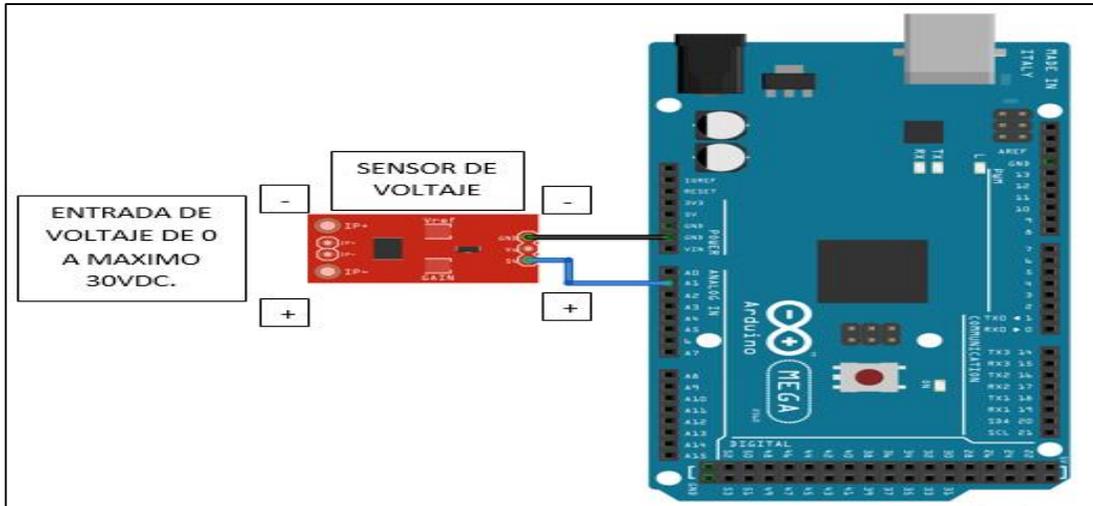


Figura 5.16 Diagrama de conexionado entre Arduino y sensor de voltaje.

A continuación, vemos una comparación del voltaje medido en este pequeño circuito con un multímetro y también con el sensor diseñado y programado.



Figura 5.17 voltaje medido: 12.49VDC.

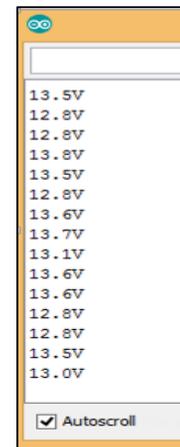


Figura 5.18 El voltaje medido varea de: 12.8VDC a 13.8VDC.

**Nota:** Sé seguirá trabajando en la calibración del sensor para obtener la medición de voltaje correcto.

### 5.1.4 SENSOR DE CORRIENTE ACS712 DE 20 AMPERIOS

El sensor de corriente ACS712 es una solución económica para medir corriente, internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. EL sensor nos entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente, dependiendo la aplicación podemos usar el ACS712-05A, ACS712-20A o el ACS712-30A, para rangos de 5, 20 o 30 amperios respectivamente

El ACS712 podemos encontrarlo en módulos, los cuales nos facilitan sus conexiones, traen una bornera para conectar la línea que queremos medir y 3 pines, dos para conectar la alimentación y un pin para la salida analógica.

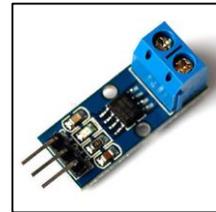


Figura 5.19 Ilustración de un sensor de corriente.

```

MEDIDOR_ACS712_CORRIENTE_CONTINUA
Float Sensibilidad=0.100; //sensibilidad en Voltios/Amperio. 5A=0.185, 20A=0.100, 30A=0.66,

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  float Idc=calculoCorriente(500); //obtenemos la corriente promedio de 500 muestras.
  Serial.print("Corriente: ");
  Serial.println(Idc,3);
  delay(100);
}

float calculoCorriente(int numeroMuestras)
{
  float leerAcs712 = 0;
  float intensidad = 0;
  for(int i=0;i<numeroMuestras;i++)
  {
    leerAcs712 = analogRead(A0) * (5.02/1023.0); //Lee tension en sensor A0.
    intensidad=intensidad+(leerAcs712-2.5)/Sensibilidad; //Calculamos corriente y sumamos.
  }
  intensidad=intensidad/numeroMuestras;
  return(intensidad);
}

```

Figura 5.20 Programación en Arduino para el sensor de corriente

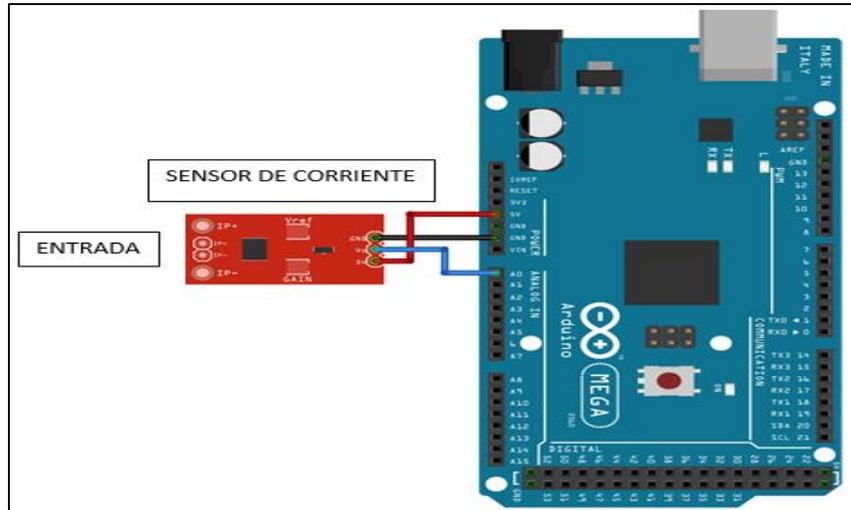


Figura 5.21 Diagrama de conexión entre Arduino y sensor de corriente.

A continuación, vemos una comparación de la corriente medida en este pequeño circuito con un multímetro y también con el sensor que se programó.



Figura 5.22 ilustración de corriente medida fue de:  
1.18A.

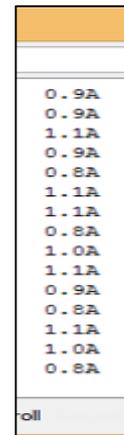


Figura 5.23 ilustración de corriente medida varea de:  
0.8A a 1.1A.

**Nota:** Sé seguirá trabajando en la calibración del sensor para obtener la medición de corriente correcto.

### 5.1.5 TABLERO CON 2 FOCOS DE 12 VCD USADOS COMO CARGA.

Se construyó un tablero para que este en determinado momento sea utilizado como carga dentro del sistema fotovoltaico, este tablero consta de dos focos de 12VCD, los cuales internamente se encuentran conectados en paralelo, estos tienen incluido un Switch cada foco para encender un foco a la vez o tener apagado o encendido los dos focos al mismo tiempo.



Figura 5.24 Ilustración del tablero de cargas.

Se muestra el tablero físico con dos focos, el cual cada uno de los focos tiene su propio interruptor.

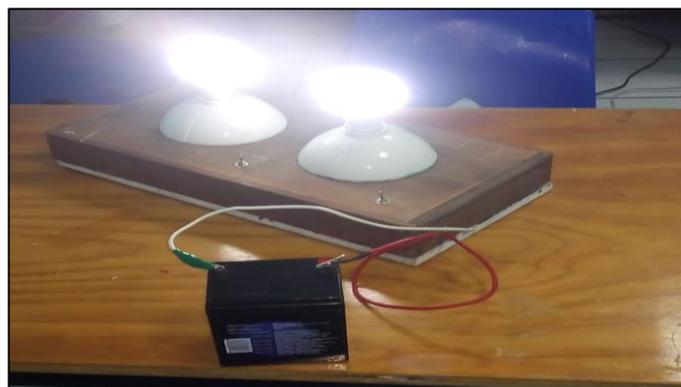


Figura 5.25 Ilustración del tablero en funcionamiento.

### 5.1.6 CIRCUITO CONVERTIDOR DC - DC 12V a 5V

Para este circuito, con ayuda de un software se diseñó en Proteus y ares el circuito convertidor DC - DC de 12V a 5V, con una corriente máxima de 10 A.

#### Materiales usados:

- C1 - 100UF a 25V electrolítico.
- C2 - 10UF a 25V electrolítico.
- R1 – 560 Ohm a ½ watt.
- R2 – 10 watts.
- Rv1- 10 K Ohm.
- U1 - Lm317t.
- Q1 – Tip147.

**Nota:** para este circuito que se implementó, se analizó que un transistor Darlington muestra una conducción muy por encima de la que permite un transistor PNP de uso común por lo que aplicar un transistor Darlington a nuestro diseño es lo más adecuado. Ya que un transistor Darlington es una configuración en la que se utilizan 2 transistores PNP con un colector común y en donde la base de uno va conectada al emisor del otro, provocando un aumento en la ganancia.

Los capacitores que se le agregaron funcionan como filtro para eliminar cualquier perturbación que se pueda dar en el voltaje. Este diseño podría proporcionar corrientes tan altas como 10 amperios.

A continuación se muestran los diseños realizados para este convertidor DC - DC en Proteus y en Ares.

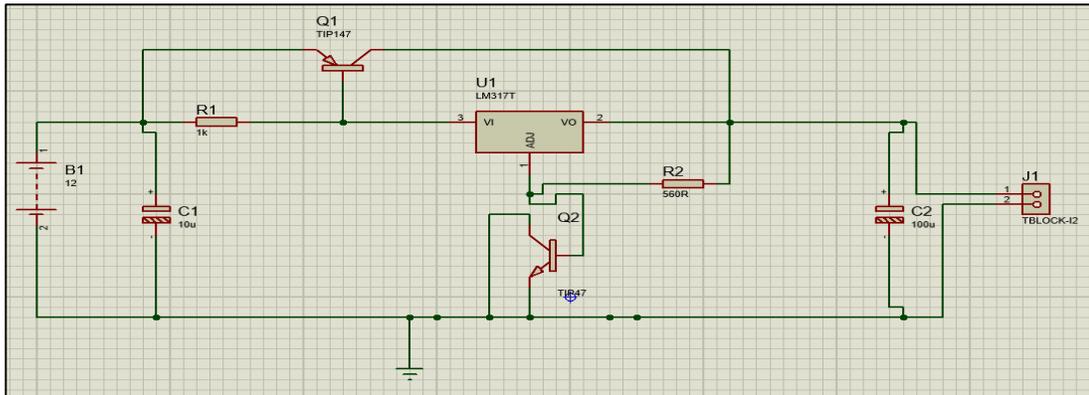


Figura 5.26 Diseño de convertidor DC-DC 12v a 5v en Proteus.

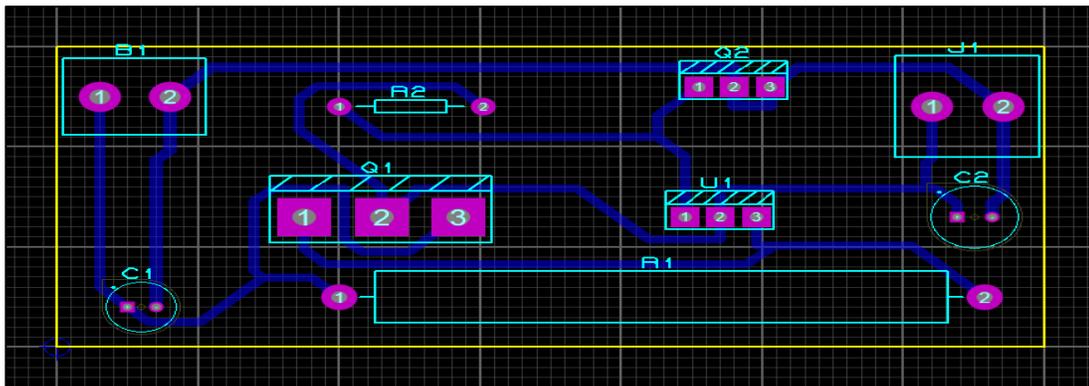


Figura 5.27 Diseño de convertidor DC-DC 12v a 5v en Ares.



Figura 5.28 Ilustración del convertidor DC-DC 12v a 5v realizado.

En esta imagen, se puede apreciar el aspecto físico en la cual quedo nuestro circuito DC – DC.



Figura 5.29 Ilustración del convertidor DC-DC 12v a 5v en funcionamiento.

Podemos observar claramente en la imagen, que el convertidor DC - DC funciona correctamente, arrojando los 5v en la salida, los necesarios para poder conectar cargas para celulares.



Figura 5.30 Ilustración del convertidor DC-DC 12v a 5v prueba con carga de celular.

Para concluir con este dispositivo, se observa como el convertidor DC - DC funciona correctamente, alimentando al celular sin ningún problema, el celular por lo consiguiente aprovecha solamente la corriente que necesita.

### 5.1.7 REGULADOR DE CARGA

El proyecto sigue en desarrollo, por lo tal se siguen implementando mejoras para mayor eficiencia en el servicio y una de ellas muy importante es la energía que se obtiene a través del sol por el panel solar y alimenta a todo el sistema electrónico.

Se hace un nuevo diseño e implementación de un driver de carga que trabaja con diferentes valores de potencia de los paneles solares para proporcionar mayor carga a la batería.

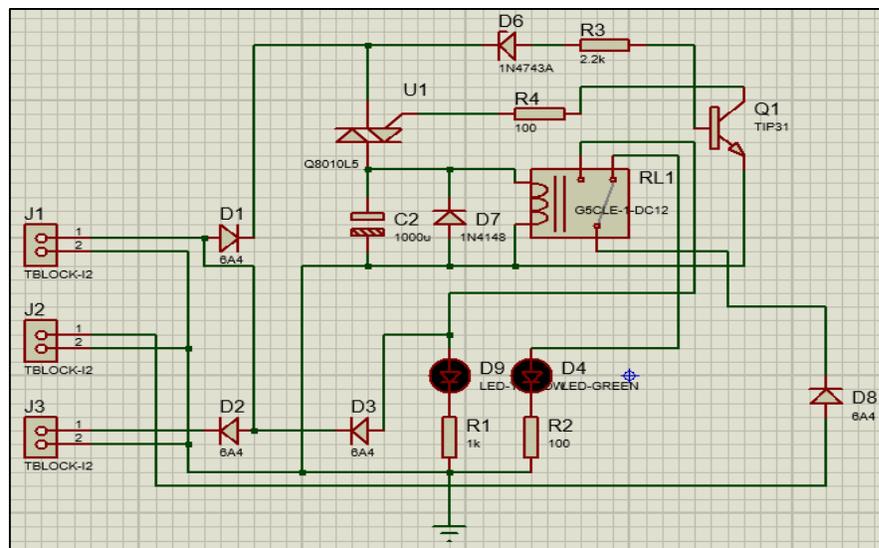


Figura 5.31 Diseño en Proteus del regulador de carga.

El diagrama muestra componentes electrónicos como el relevador, diodos rectificadores, un par de resistencias, un Triac, un transistor de potencia, un diodo zener y dos indicadores, un diagrama sencillo y muy práctico, que se encarga de limitar el paso de la corriente hacia la batería recargable para prolongar el tiempo de vida de la batería evitando sobrecargas y descargas por debajo del umbral mínimo de la batería; todo lo efectúa a través de una comparación de voltaje con un diodo zener d 12 volts, cuando el voltaje está

por encima de ese voltaje el relevador se activa y abre su contacto normalmente cerrado e impide el paso de la corriente proveniente del panel solar.

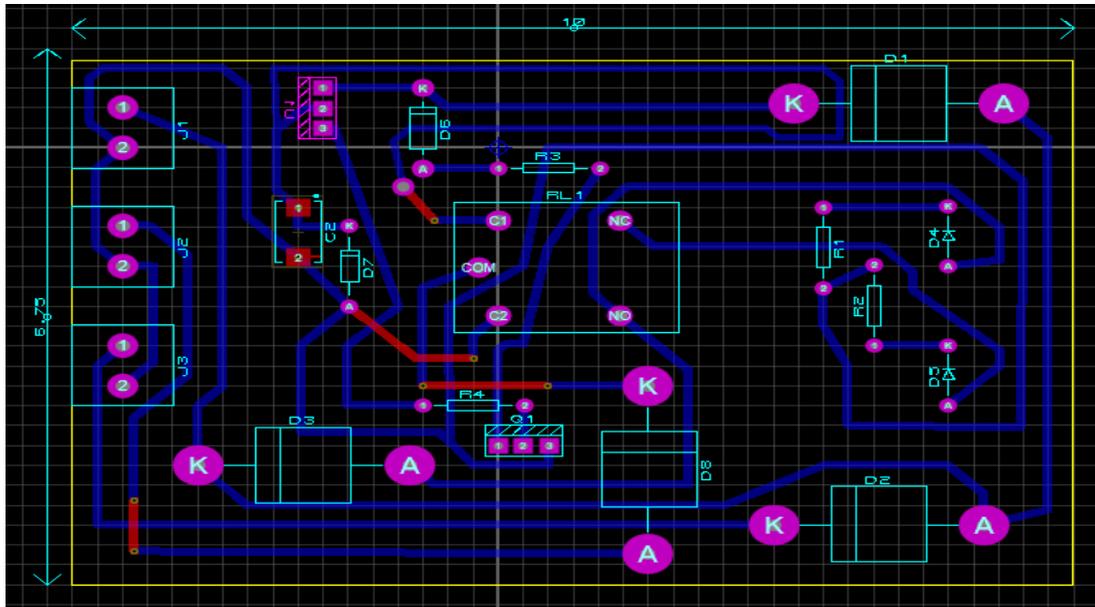


Figura 5.32 Diseño en Ares del regulador de carga.

La tarjeta cuenta con medidas de 7x10cm aproximadamente, un tamaño pequeño y óptimo para ser encapsulado en una carcasa como cualquier driver comercial; la placa cuenta con 6 bornes para las conexiones de la batería, del panel solar y de la carga de salida. Dos diodos led para indicar el proceso de carga y de carga completa, y para manejar corrientes altas se utilizaron diodos rectificadores de 6 amperes; con este nuevo diseño se evitan problemas de comparación como los que se tenían en el controlador anteriormente diseñado, que hacía comparación de voltajes de entrada con la batería a través de amplificadores operacionales configurados como comparador con histéresis.

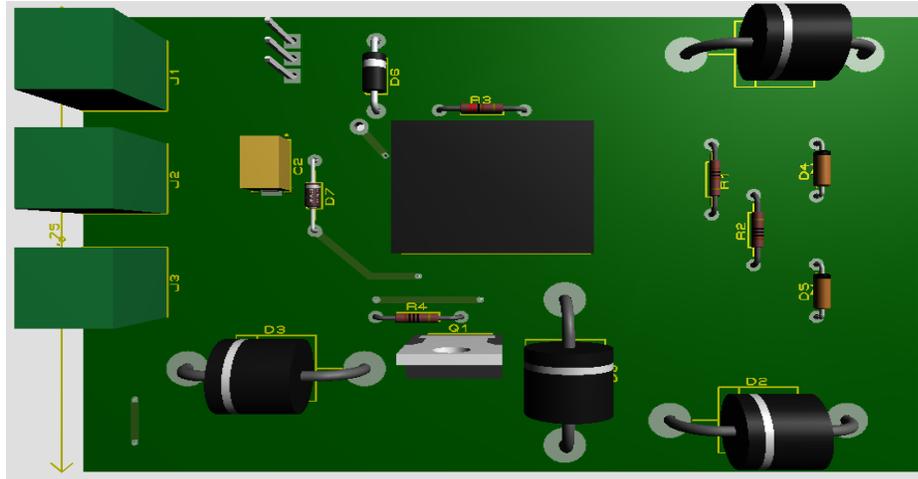


Figura 5.33 Diseño en 3D del regulador de carga.

Esta imagen representa una simulación en 3D para ver la colocación de cada uno de los componentes que se utilizaron y corroborar que todo esté bien en su lugar indicado, así como también el ruteo de las pistas electrónicas y los puntos de soldadura.



Figura 5.34 Ilustración de tarjeta electrónica regulador de carga soldada.

El circuito es plasmado en la placa fenólica para realizar las conexiones de todos los componentes electrónicos y realizar las pruebas de funcionamiento.



Figura 5.35 Ilustración de tarjeta electrónica regulador de carga.

La placa diseñada es colocada dentro de un gabinete de la marca Steren para darle mayor presentación y protegerla de la intemperie. Y posteriormente se realizan las conexiones de la batería y así como también las conexiones del panel solar para probar el procedimiento de carga y descarga de la batería.



5.36 Ilustración prueba de funcionamiento de la tarjeta electrónica regulador de carga.

Las pruebas que se realizaron fueron en un día nublado donde el voltaje proporcionado por el panel solar era de 18 volts y la batería con un voltaje inicial de 11.4 volts sin ninguna carga conectada; el tiempo que se tomó para alcanzar la carga máxima la batería fue de 7.02 minutos con un voltaje máximo

de 13.04 volts y el panel se desconecta para no seguir suministrando más corriente a la batería.

Ahora para la descarga se tomó un tiempo de 14.44 minutos para llegar a un voltaje de 10.44 volts y a ese voltaje se reactiva nuevamente el panel solar para suministrarle la carga a la batería.

### 5.1.8 MEDIDOR DE VOLTAJE, CORRIENTE Y POTENCIA EN PANELES SOLARES.



Figura 5.37 Ilustración del medidor de voltaje, corriente y potencia.

Este medidor cuenta con las siguientes características:

1. Mide voltajes de 0 a 30V de corriente directa máxima.
2. Mide corrientes de 0 a 20A de corriente directa máxima.
3. Calcula la potencia que genera un panel solar fotovoltaico utilizando los valores de voltaje y corriente medidos.
4. Cuenta con un LCD para visualizar las mediciones de voltaje, corriente y potencia.
5. Los datos de voltaje, corriente y potencia que se miden pueden ser enviados inalámbricamente vía Bluetooth hacia un computador para visualizarlos en el con ayuda de un programa que se elaboró en Visual Studio.

**Nota:** Conectar como se indica los cables del medidor ya que no posee protecciones contra polarización inversa ni corto circuito.

```

MVA_CON_LCD
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(13,12,11,10,9,8);

// Definición de constantes o variables

int analog_in=A1; //Puerto a leer
int val=0; //variable donde se guarda la lectura
float voltaje=0;
float volt=0;
float Sensibilidad=0.100; //sensibilidad en Voltios/Amperio. 5A=0.185, 20A=0.100, 30A=0.66,
float potencia=0;
String voltaje2;
String corriente10;
String potencial;
String voltaje3;
String corriente1;
String potencia2;

// Definición de Resistencias
float R1=100000;
float R2=20000;

// Definiciones de los puertos y librerías
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("MEDIDOR VIP");
  Serial.begin(9600); // Se utiliza inicializa el puerto serial
                        // para escribir allí las lecturas
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  for (int i=1; i<=1000; i++){
    val = analogRead(analog_in); //Se lee el puerto analógico
    delayMicroseconds(10);

    volt=(float) val * 5.0 / 1024.0+volt; //se convierte el valor entero a un valor en tensión
    // esto se debe a que el ADC entrega un número entre 0 1024.
    // además se promedian 100 lecturas para que el resultado mostrado sea mas estable
  }

  voltaje=(float) volt/1000.0*(R1+R2)/R2;
  voltaje2=String(voltaje,2);
  voltaje3=String(voltaje,1);
  volt=0.0;

  float Idc=calculoCorriente(500); //obtenemos la corriente promedio de 500 muestras.
  corriente10=String(Idc,2);
  corriente1=String(Idc,1);
  potencia=voltaje*Idc;
  potencial=String(potencia,2);
  potencia2=String(potencia,1);

  Serial.println((voltaje2)+"V"+" "+(corriente10)+"A"+" "+(potencial)+"W");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print((voltaje3)+" "+(corriente1)+" "+(potencia2));
  delay(100);
}

float calculoCorriente(int numeroMuestras)
{
  float leerAcs712 = 0;
  float intensidad = 0;
  for(int i=0;i<numeroMuestras;i++)
  {
    leerAcs712 = analogRead(A2) * (5.02/1023.0); //Lee tensión en sensor A0.
    intensidad=intensidad+(leerAcs712-2.5)/Sensibilidad; //Calculamos corriente y sumamos.
  }
  intensidad=intensidad/numeroMuestras;
  return(intensidad);
}

```

Figura 5.38 Código en Arduino para el medidor de voltaje, corriente y potencia.

Este código es una combinación del código del medidor de voltaje y el de corriente que se habían hecho con anterioridad, pero con algunas mejoras, además de que se anexa código para poner un Lcd y un Bluetooth para que la información adquirida por este medidor pueda ser visualizada en el Lcd y también pueda ser enviada a una computadora con bluetooth y sea visualizada posteriormente en un programa que se realizó y que será presentado posteriormente.

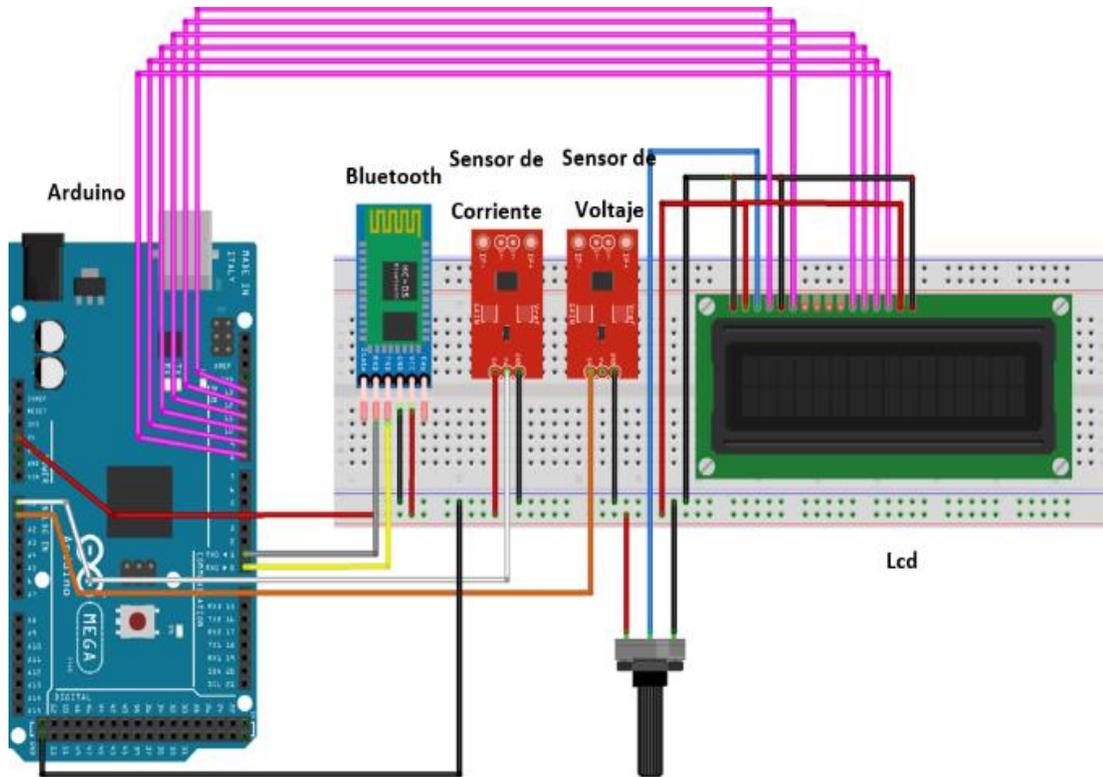


Figura 5.39 Diagrama de conexionado del medidor de voltaje, corriente y potencia.

fritzina

Aquí podemos observar cómo están conectados los componentes del medidor y con el código mostrado anteriormente debe funcionar correctamente en dado caso de no ser así hacer las correcciones necesarias en el código o ya sea checar el conexionado.

- ❖ Programa diseñado en Visual Studio para visualizar la información recabada por el medidor y que es recibida vía Bluetooth.

```
1 using System;
2 using System.Collections.Generic;
3 using System.ComponentModel;
4 using System.Data;
5 using System.Drawing;
6 using System.IO.Ports;
7 using System.Linq;
8 using System.Text;
9 using System.Threading.Tasks;
10 using System.Windows.Forms;
11
12 namespace MEDIDOR_DE_VOLTAJE
13 {
14     -referencias
15     public partial class Form1 : Form
16     {
17         string dato;
18         string puertoseleccionado;
19
20     -referencias
21     public Form1()
22     {
23         InitializeComponent();
24         string[] puertos = SerialPort.GetPortNames();
25         foreach(string mostrar in puertos)
26         {
27             comboBox1.Items.Add(mostrar);
28         }
29
30     1 referencia
31     private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
32     {
33         serialPort1.Close();
34         serialPort1.Dispose();
35         Close();
36     }
37
38     1 referencia
39     private void comboBox1_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
40     {
41         serialPort1.Close();
42         serialPort1.Dispose();
43         puertoseleccionado = comboBox1.Text;
44         serialPort1.PortName = puertoseleccionado;
45         serialPort1.Open();
46         CheckForIllegalCrossThreadCalls = false;
47         if (serialPort1.IsOpen == true)
48         {
49             label3.Text = "PUERTO ENCONTRADO";
50         }
51     }
52     else
53     {
54         return;
55     }
56 }
```

```
51     }  
52     }  
53  
54     1referencia  
55     private void serialPort1_DataReceived(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)  
56     {  
57         dato = serialPort1.ReadLine();  
58         label14.Text = dato;  
59     }  
60     1referencia  
61     private void Form1_Load(object sender, EventArgs e)  
62     {  
63     }  
64     }  
65     }  
66 }
```

Figura 5.40 Código en Visual Studio para el medidor de voltaje, corriente y potencia.

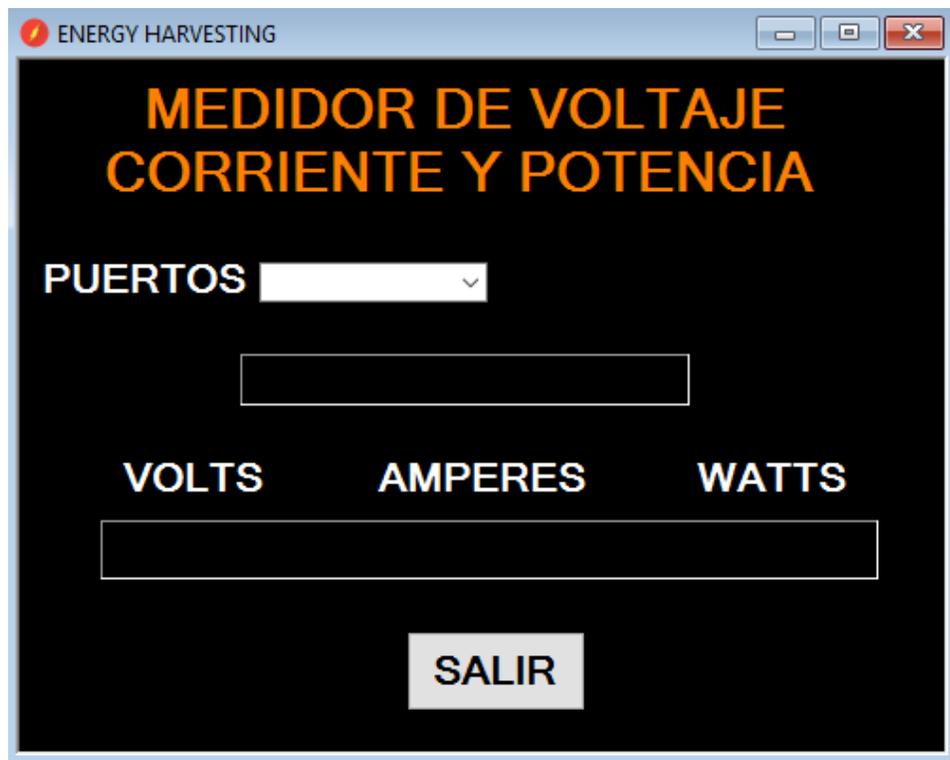


Figura 5.41 Ilustración de la interfaz en Visual Studio para el medidor de voltaje, corriente y potencia.

En este programa que se diseñó lo que se debe hacer después de haberlo ejecutado, es seleccionar el puerto, este puerto que se escogerá será el COM que nos genere el Bluetooth que agregamos en el Arduino, previo a todo esto se tuvo que haber hecho la conexión vía Bluetooth entre el Arduino y la computadora y la verificación de que COM genera el Bluetooth, una vez seleccionado el puerto para confirmarnos que se ejecutó correctamente la conexión nos aparecerá un texto que dirá “puerto encontrado” y por consiguiente nos aparecerán los valores de voltaje, corriente y potencia que se estén midiendo, para cerrar el programa tenemos 2 opciones ya sea presionar el botón salir o dar clic en la X que se encuentra en la parte superior derecha de la ventana del programa aunque se recomienda usar la primera opción preferentemente.

A continuación, se muestra fotos e imágenes donde podremos observar mediciones de voltaje, corriente y potencia con ayuda de multímetros para verificar si los datos que arroja nuestro medidor y nuestro programa son correctos.



Figura 5.42 Ilustración de la Interfaz del medidor de voltaje, corriente y potencia en funcionamiento



*Figura 5.43 Ilustración de las mediciones de voltaje, corriente y potencia con respecto a la interfaz.*

Como se aprecia en la foto y la imagen las mediciones que aparecen en nuestro medidor y en nuestro programa varen ligeramente, pero el error está dentro de un rango aceptable, ya que también nos da la ventaja de monitorear la potencia otorgada por un panel solar estando a unos cuantos metros.

### 5.1.9 OBTENCIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA EN PANELES MEDIANTE ALGORITMO MPPT DIGITAL Y CONVERTIDOR BUCK.

#### ❖ Análisis del convertidor BUCK

La estructura típica de un BUCK se puede ver en la figura 5.44, en la cual se puede apreciar que el interruptor es un transistor MOSFET.

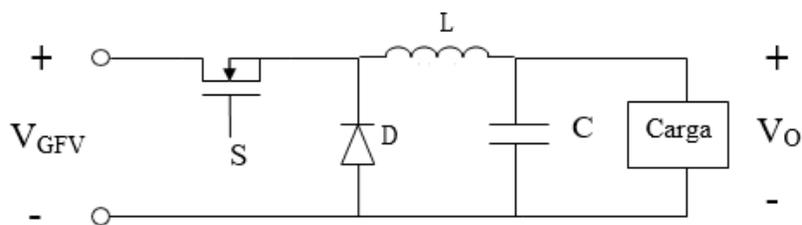


Figura 5.44 Estructura típica de un BUCK.

Una característica deseable a la hora de analizar cualquier circuito es la utilización de técnicas lineales. Sin embargo, los convertidores conmutados no son lineales y discontinuos, por tanto, para su análisis se empezará por descomponerlo en subcircuitos cuyo funcionamiento sea lineal [11]. En todos los convertidores conmutados existen dos modos de funcionamiento, dependiendo de la continuidad o no de la corriente que circula por el inductor. Estos modos son:

Modo continuo: Este modo se da cuando la corriente en el inductor sea siempre mayor que cero durante todo el periodo de conmutación.

Modo discontinuo: Por el contrario, este modo se da cuando la corriente en el inductor en algún instante es nula.

Estudiando el circuito para el modo continuo se puede dividir en dos análisis diferentes, uno mientras el transistor MOS está en conducción (TON), y otro cuando está cortado (TOFF) y no deja circular corriente.

Durante el intervalo de TON empieza a circular una corriente por el inductor, oponiéndose el inductor al paso de esta al principio y siendo un cortocircuito cuando ya está cargada. El circuito equivalente se puede observar en la figura 5.45.

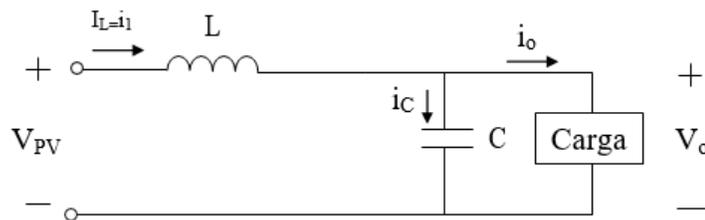


Figura 5.45 Circuito equivalente durante el intervalo TON.

Durante el intervalo de TOFF el transistor deja de conducir, dejando abierto el circuito. En este momento la bobina se descarga a través de la carga y del diodo que ahora equivale a un circuito cerrado puesto que la corriente le entra por el ánodo. El circuito equivalente durante el intervalo de TOFF está representado en la figura 5.46.

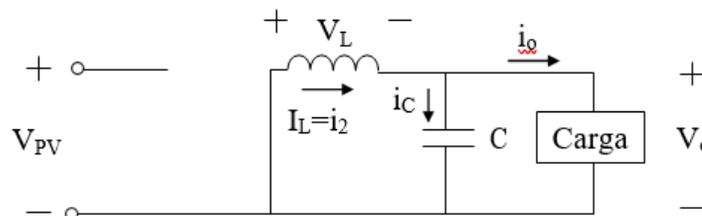


Figura 5.46 Circuito equivalente durante el intervalo TOFF.

Para analizar un convertidor CC/CC primero se hace la suposición de que es ideal, donde la potencia de entrada es igual a la de salida (POPI). La tensión media en un inductor durante un periodo completo es cero, esto implica voltios/segundo entregados igual a voltios/segundo aplicados. Ahora para saber la relación existente entre la tensión de entrada y la de salida del

convertidor se tiene que cumplir que la tensión media en el inductor sea cero, por tanto:

$$\begin{aligned} (V_{in} - V_o) \cdot D \cdot T &= V_o \cdot (1 - D) \cdot T \\ \Downarrow \\ V_{in} \cdot D \cdot T - V_o \cdot D \cdot T &= V_o \cdot (1 - D) \cdot T \end{aligned} \quad \text{EC. 5.1}$$

La igualdad (Ec 5.1) se obtiene sabiendo que la tensión media en bornes de la bobina debe ser cero, de ahí que:

$$V_o = V_{in} \cdot D \quad \text{EC. 5.2}$$

Donde el ciclo de trabajo D es un número comprendido entre cero y uno.

$$D = \frac{T_{ON}}{T} \quad \text{EC. 5.3}$$

Donde T es la inversa de la frecuencia y TON:

$$T_{ON} = T - T_{OFF} \quad \text{EC. 5.4}$$

Después se analiza los niveles de carga y descarga de la bobina. Durante TON la bobina se carga a una tensión  $V_{in} - V_o$  y se descarga en TOFF hasta  $V_o$ .

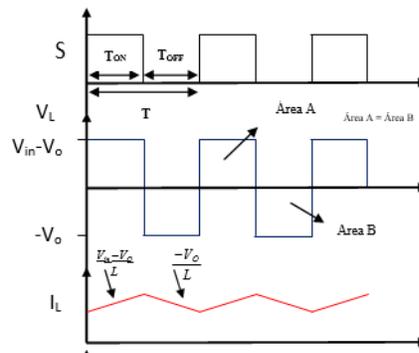


Figura 5.47 Gráfica de tensión y corriente de la bobina.

En la figura 5.47 se puede ver la gráfica de la corriente de la bobina y la inclinación del tramo de TON y de TOFF, se muestra a continuación en la figura 5.48 con una gráfica más detallada de la corriente por el inductor.

La corriente justo en el momento en que empieza TON es  $I_1$  y el corriente justo donde empieza TOFF es  $I_2$ . Siendo  $i_1$  e  $i_2$  las corrientes instantáneas de TON y TOFF respectivamente, de modo que:

$$i_1 = I_2 \cdot e^{\frac{-R}{L}t} - \frac{V_o}{R} \cdot \left(1 - e^{\frac{-R}{L}t}\right) \quad \text{EC. 5.5}$$

$$i_2 = I_1 \cdot e^{\frac{-R}{L}t} + \frac{V_m - V_o}{R} \cdot \left(1 - e^{\frac{-R}{L}t}\right) \quad \text{EC. 5.6}$$

A continuación, se muestra la figura 5.48, que es una representación más detallada de la corriente en el inductor,  $i_1$  e  $i_2$  son las corrientes que están representadas en los circuitos equivalentes de TON y TOFF de las figuras 5.45 y 5.46 respectivamente, las exponenciales están representadas como rectas en la figura 5.48 porque los tiempos de TON y TOFF son mucho menores que la constante de tiempo del circuito, por lo que se pueden linealizar como rectas.

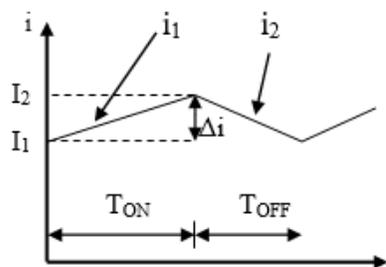


Figura 5.48 Gráfica de la corriente en el inductor.

Una vez se tiene el valor de  $I_1$  e  $I_2$  restándolos como se observa en (EC. 5.7) se obtiene el incremento de corriente ( $\Delta i$ ) que tendrá el inductor.

$$\Delta i = I_2 - I_1 \quad \text{EC. 5.7}$$

El incremento de la corriente en el inductor es lo primero que se tiene que saber para calcular el valor del inductor, además de la tensión que tendrá que soportar y la frecuencia a la que funcionará el convertidor, de modo que el inductor tendrá el valor:

$$L = \frac{V_L}{4 \cdot f \cdot \Delta i} \quad \text{EC. 5.8}$$

El convertidor BUCK es un convertidor reductor, de modo que como máximo la tensión de salida será la misma que la entrada para un Duty-Cycle igual a uno, y la tensión mínima serán cero volts para un Duty-Cycle igual a cero.

### ❖ Algoritmo MPPT digital

Para realizar la adaptación de impedancias necesaria para conseguir la máxima transferencia de potencia, se inserta entre el GFV y la carga un convertidor DC-DC, en el caso de este proyecto, reductor, porque la carga es una batería de una tensión inferior a la del GFV. En el apartado anterior se ha analizado el convertidor BUCK y en él se ha obtenido la relación entre la tensión de entrada y la de salida que se puede ver en (EC. 5.9), siendo E la tensión de la batería y D el ciclo de trabajo.

$$V_N = \frac{E}{D} \quad \text{EC. 5.9}$$

A continuación, se estudiará la variación de un punto de potencia entregada por el panel a otro cualquiera mediante la variación del ciclo de trabajo. En la figura 5.49 se puede apreciar una gráfica donde se ve la correspondencia de dos puntos de potencia del GFV, P1 y P2 con las tensiones V1 y V2. Para cada punto de potencia del GFV corresponde un ciclo de trabajo diferente.

Si se desea variar el punto de trabajo de un panel de P1 a un punto P genérico se tiene:

$$D_P(t) = D_1 + \alpha t \quad \text{EC. 5.10}$$

Donde  $\alpha$  es una constante positiva. Así pues, la expresión de VP es:

$$V_P = \frac{E}{D_1 + \alpha} \quad \text{EC. 5.11}$$

Por otra parte, el punto P1 corresponde con:

$$V_1 = \frac{E}{D_1} \quad \text{EC. 5.12}$$

A partir de (EC. 5.10) y (EC. 5.11) se puede escribir:

$$V_P(t) = \frac{V_1 \cdot D_1}{D_1 + \alpha t} \cdot \frac{E}{D_1 + \alpha t} \quad \text{EC. 5.13}$$

En este análisis se puede ver que, para una transición con un incremento positivo en el ciclo de trabajo, VP disminuye y la corriente entregada por el GFV aumenta. De la misma manera para un incremento negativo en  $\alpha$ , el ciclo de trabajo disminuye, la VP aumenta y la corriente entregada por el GFV disminuye.

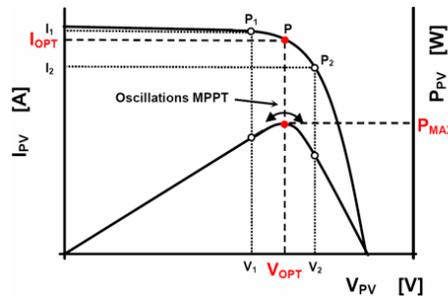


Figura 5.49 Características IFV y VFP para diferentes puntos de trabajo de un GFV [12].

A continuación, se muestra un ejemplo donde el algoritmo tiene que buscar el punto de máxima potencia del panel, para ello habrá que comparar dos puntos de potencia en dos instantes de tiempo diferentes y estudiar el signo de la derivada. Si para P1 en t-1 hay menos potencia que para P2 en t, significa que la derivada es positiva, la búsqueda es correcta y se está acercando al máximo, ver figura 5.50.

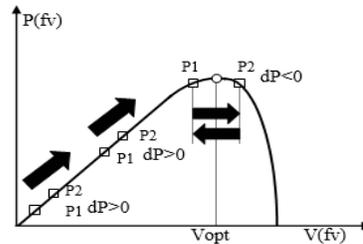


Figura 5.50 Principio de funcionamiento de un algoritmo MPPT [13].

Si la derivada es negativa significa que se ha pasado del máximo y está realizando la búsqueda en sentido erróneo, por lo que ha de cambiarse el sentido de ésta. Cuando se inicia el sistema la búsqueda es un proceso gradual que empieza en el origen de coordenadas en búsqueda de un primer máximo, que una vez encontrado se mantendrá oscilando alrededor de él.

Los cambios bruscos de iluminación y de la carga pueden suceder de forma aleatoria, lo que supone que el generador podrá tener un PMP diferente para cada una de las situaciones, tal y como se puede ver en el ejemplo de la figura 5.51.

En el ejemplo de la figura 5.51 la búsqueda de la potencia se había alejado en el instante  $t-1$  donde la potencia  $P_0$  había pasado el máximo, por ello el algoritmo invierte el sentido de búsqueda y en el instante  $t$  cuando la potencia corresponde a  $P_1$  se produce un cambio de iluminación y pasa al nivel de potencia  $P_2$  donde ésta es menor, lo cual implica que la derivada sea negativa y el algoritmo tenga que cambiar el sentido de búsqueda, alejándose así aún más del PMP pero cuando vuelva a evaluar la derivada cambiará el sentido de la búsqueda acercándose hacia el máximo hasta encontrarlo.

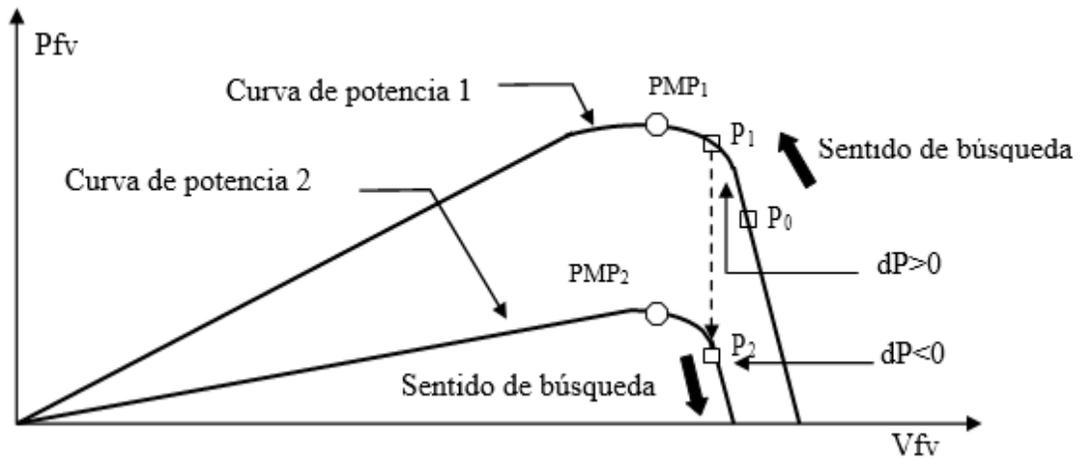


Figura 5.51 Cambio de iluminación y en consecuencia las curvas de un generador de energía fotovoltaica [13].

- La implementación de este algoritmo será digital.

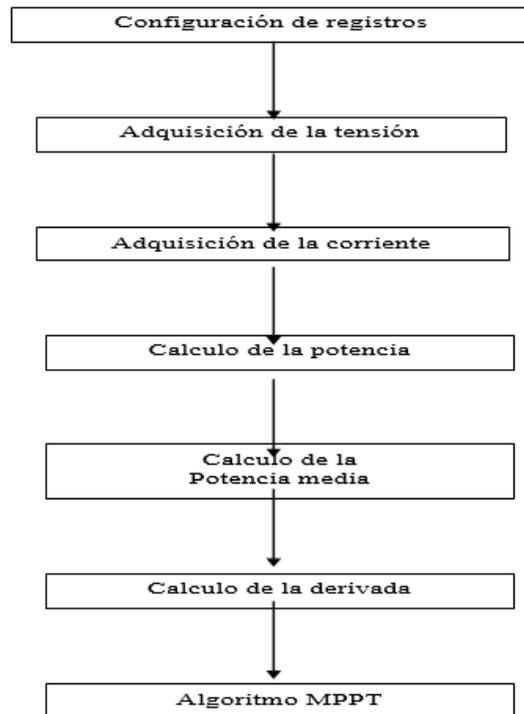


Figura 5.52 Diagrama de bloques del algoritmo MPPT digital.



➤ **Código en C del algoritmo MPPT para PIC18F1220**

```
//Programa en C para control del MPPT digital para PIC18F1220[7].

#include <p18f1220.h>
#pragma config WDT = OFF

//Variables globales
unsigned char derivada_pot,tension_baja,intensidad_baja;
unsigned short int i,H,Ha,Hb,m;
unsigned short int tension_alta,tension_convertida,tension_alta_total;
unsigned short int intensidad_alta,intensidad_convertida;
unsigned short int intensidad_alta_total,tension_panel;
unsigned long int potencia,potencia_old,potencia_total;

/* Funcion de interrupcion del Timer 0: El timer0 genera una
interrupción al desbordarse. La variable H se pone 1. Paramos el
timer0 para que vuelva a empezar con el valor deseado introducido por
software.*/

void traiteIT(void);
#pragma code it=0x08
void saut_sur_spIT(void)
{
    _asm
    goto traiteIT
    _endasm
}
#pragma code
#pragma interrupt traiteIT
void traiteIT(void)
{
    if (INTCONbits.TMR0IF)
    {
        INTCONbits.TMR0IF=0; /* Flag de interrupcion del
timer 0*/
        H=1; // Indica que el timer ha finalizado

        if (PORTBbits.RB1==0)
        {
            TMR0H=0x37;
            TMR0L=0x10;
        }
        else
        {
            TMR0H=0x6E; //TMR0H=0x37;
            TMR0L=0x20; //TMR0L=0x10;
        }
        TOCONbits.TMR0ON=0; // Reinicializacion del timer 0
    }
}
```

```
/*Funcion de inicializacion: Configuramos todos los registros del PIC
para el buen funcionamiento del sistema */

void configurar_registros (void)
{
    i=0;
    m=0;
    H=1;
    potencia=0;
    potencia_old=0;

    ADRESH=0x00; // Poner a 0 el registro de conversion mas alto
    ADRESL=0x00; // Poner a 0 el registro de conversion mas bajo

    //TIMER 0
    INTCONbits.TMR0IE=1; // Permitimos la int. por desbordamiento
    del timer0
    INTCONbits.GIEH=1; // Permitimos todas las interrupciones
    enmascaradas
    INTCONbits.TMR0IF=0; //Desactivamos el flag del timer0
    INTCON2=0x00; //Todas las int. seran en el flanco de bajada
    INTCON3=0x00; //Deshabilitamos las interrupciones externas
    PIR1=0x00; //Deshabilitamos los flags de los timer 1 y2
    PIE1=0x00; /*deshabilitamos la interrupcion de conversion y no
    permitimos la interrupción de los timers 1 y 2*/
    IPR1=0x00; /*Configuramos la prioridad de las interrupciones
    como baja(convertor, comparador, timer1 y 2*/
    PIR2=0x00; //Deshabilitamos el flag del timer3
    PIE2=0x00; //No permitimos la interrupcion del timer3
    IPR2=0x00; /* Configuramos la prioridad de las interrupciones
    como baja (fallo en el oscilador, memoria EEPROM, detector nivel
    bajo,timer3)*/
    RCON=0x00; //Deshabilitamos la prioridad de nivel en las
    interrupciones
    TOCON=0x00; //configuramos el timer 0 con una división de 2 la
    frecuencia del oscilador

    //Conversion analogico-digital
    ADCON1=0x7C; // Config. de los pines AN0 y AN1 como entradas
    analogicas
    ADCON2=0x92; // Resultado justificado a izquierda

    //Periféricos
    PORTA=0x00;
    TRISA=0x03; //AN0 y AN1 configuradas como entradas
    PORTB=0x00;
    TRISB=0x00; //Puerto B configurado como salida
}

/*Funcion de conversion de intensidad: Convertimos la intensidad del
panel al valor de referencia del PIC (5V).*/

unsigned short int intensidad (void)
{
    intensidad_alta=0;
    intensidad_alta_total=0;
    intensidad_baja=0;
}
```

```

for (i=0;i<1;i++) { }
ADCON0=0x05;
for (i=0;i<10;i++){ }
ADCON0=0x07; /* Corriente de conversion : conversion en el canal
1, empieza la conversion */
while (ADCON0!=0x05) { }
intensidad_alta=ADRESH; /* Se guardan los 8 bits altos de la
conversion en el registro ADRESH */
intensidad_alta_total=intensidad_alta<<8; /* Realizamos un
desplazamiento para capturar posteriormente los dos bits de
menor peso de la conversion ya que utilizamos una conversion
sobre 10 bits*/
intensidad_baja=ADRESL;
//Se guardan los 2 bits de menor peso en el registro ADRESL
intensidad_convertida=intensidad_alta_total+intensidad_baja;
//Capturamos los 10 bits de la conversion (intensidad
convertida)
return(intensidad_convertida);
}

/*Funcion de conversion de tension: Convertimos la tension del panel
al valor de tension de referencia del PIC16F1220 (5V) para poder
trabajar.*/
unsigned short int tension (void)
{
    tension_alta=0;
    tension_alta_total=0;
    tension_baja=0;

    for (i=0;i<1;i++) { }//Esperamos un poco antes de empezar la
conversion
    ADCON0=0x01;
    for (i=0;i<10;i++) { } //Tiempo de adquisicion correcta de la
señal
    ADCON0=0x03; /* Tension de conversion: conversion en el canal 0,
empieza la conversion*/
    while (ADCON0!=0x01) { } // Esperamos hasta finalizar conversion

    tension_alta=ADRESH; /*Guardamos los valores de la tension
convertida en los registros de conversion del PIC*/
    tension_alta_total=tension_alta<<8;
    tension_baja=ADRESL;
    tension_convertida=tension_alta_total+tension_baja; //Tension
convert.
    return (tension_convertida);
}

//Funcion calculo de potencia

unsigned long int calculo_potencia (void)
{
    unsigned long int x,y;
    x=tension(); // Conversion tension.
    y=intensidad(); // Conversion corriente.
    potencia_total= x * y; // Calculo de la potencia: producto de
    V*I.
    return (potencia_total);
}

```

```
/*Funcion calculo de potencia media: Calculamos la potencia media de
la señal para posteriormente hacer un mejor cálculo de la derivada de
potencia, para aislar los ruidos de las señales analógicas y obtener
una mejor resolución de la grafica de potencia.*/

unsigned long int potencia_media (void)
{
    unsigned long potencia_media_total,muestreos_P,c_potencia;
    potencia_media_total=0;
    muestreos_P=0;
    c_potencia=0;
    for (m=0;m<16;m++) //Muestreamos 16 puntos de la grafica de
    potencia
    {
        c_potencia=calculo_potencia();
        /*Para hacer el muestreo vamos capturando los valores, los
        vamos sumando y posteriormente los dividimos por 16*/
        muestreos_P=muestreos_P+c_potencia;
        potencia_media_total=muestreos_P>>4;
    }

    //Division por 16 (desplazar 4 posiciones los bits hacia la
    derecha)
    return (potencia_media_total);
}

/*Funcion de cálculo de derivada: Calculamos la derivada de potencia
para detectar las variaciones de la potencia. Si nos acercamos o nos
alejamos del punto maximo de potencia.*/

unsigned char derivada_potencia (void)
{
    unsigned char derivada;
    potencia = potencia_media(); //Capturamos un valor de potencia

    if (potencia>(potencia_old+30))
    {
        derivada=1; //Si es mayor, la derivada es positiva
        PORTBbits.RB0=1; //Visualizamos el valor de la variable
        derivada
        potencia_old = potencia; //El valor anterior pasa a ser el
        actual.
    }
    else if (potencia<(potencia_old-30))
    {
        derivada=0;
        PORTBbits.RB0=0; //Visualizamos el valor de la variable
        derivada
        potencia_old = potencia; //El valor anterior pasa a ser el
        actual.
    }
    return (derivada);
}

// ***** PROGRAMA PRINCIPAL ***** //
void main()
{
```

```
configurar_registros();
tension_panel=tension();
while(1)
{
    derivada_pot = derivada_potencia();//Capturamos el valor de la
derivada
    PORTBbits.RB3=H;
    if ((derivada_pot==1)&&(PORTBbits.RB1==1))
    {
        PORTBbits.RB1=1;
    }
    else if ((derivada_pot==0)&&(PORTBbits.RB1==1))
    {
        if (H==0)
        {
            PORTBbits.RB1=1;
        }
        else
        {
            PORTBbits.RB1=0;
            H=0;
            //Timer
            TOCONbits.TMR0ON=1;
        }
    }
    else if ((derivada_pot==1)&&(PORTBbits.RB1==0))
    {
        PORTBbits.RB1=0;
    }
    else if ((derivada_pot==0)&&(PORTBbits.RB1==0))
    {
        if (H==0)
        {
            PORTBbits.RB1=0;
        }
        else
        {
            PORTBbits.RB1=1;
            H=0;
            //Timer
            TOCONbits.TMR0ON=1;
        }
    }
}
else
{
}
}
```

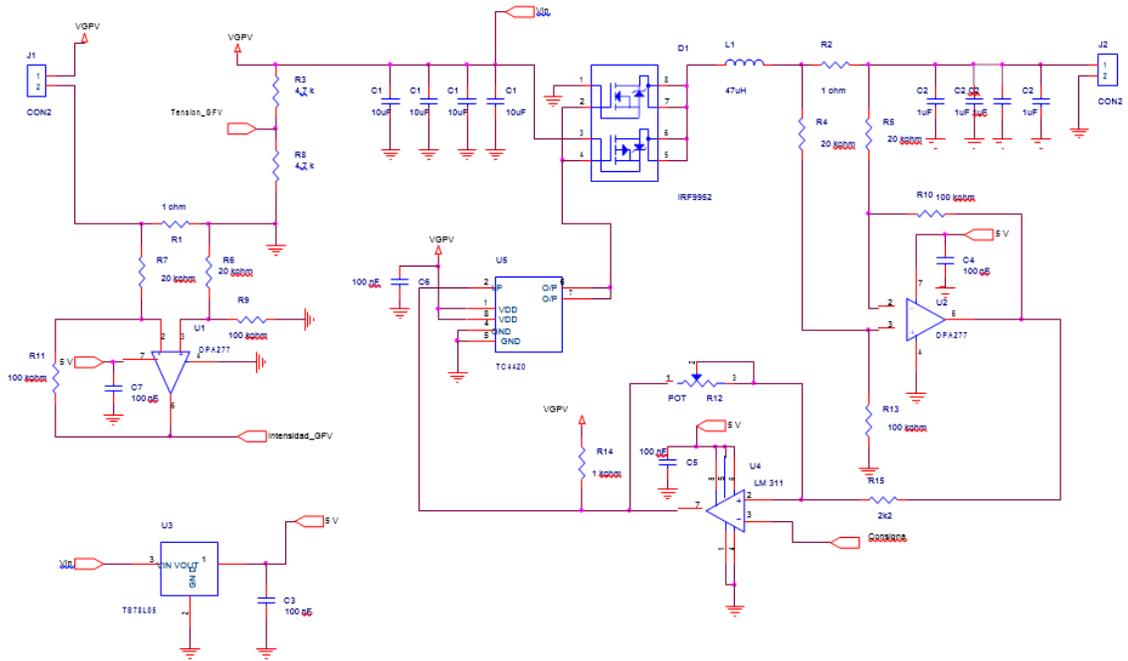


Figura 5.54 Esquema electrónico del convertidor BUCK.

Como se puede apreciar en las figuras 5.53 y 5.54 se nos muestran circuitos los cuales interconectados se encargarán de obtener el PMP del panel solar. Esta información es la esencial para lo que requerimos, pero si se requiere más información se puede revisar la referencia [14].

## CAPITULO VI

### 6.1 CONCLUSIÓN

Hoy en día, la preocupación más apremiante a la comunidad científica es el ahorro de energía en el consumo. Por lo cual el uso de las energías renovables, como es el caso de la energía solar, es una necesidad, de igual forma los sistemas usados para captar, almacenar y suministrar este tipo de energía. En el caso de los sistemas fotovoltaicos, es de vital importancia que los dispositivos utilizados en estos sistemas sean lo más eficientes posibles para poder captar la mayor cantidad de energía solar y que a su vez sea utilizada.

La investigación fue enfocada principalmente en el diseño y construcción de dispositivos que conforman al sistema fotovoltaico, así como tener un panorama general de su funcionamiento bajo diferentes condiciones de operación, características eléctricas y principio de funcionamiento. Se realizó un monitoreo de los paneles con los que se contaba en el laboratorio, para su monitoreo se desarrolló un dispositivo medidor de voltaje, corriente y potencia, gracias a este dispositivo se hizo más eficaz las mediciones de dichos parámetros en los paneles solares, ya que este dispositivo es inalámbrico y envía los datos en tiempo real.

## 6.2 REFERENCIAS

1. Bagula, Febrero 2012. Recuperado de:  
<http://wireless.ictp.it/wpcontent/uploads/2012/02/WSN-Applications.pdf>. (Consulta: Septiembre 2017).
2. Hollander, J.M. (2003). *The Real Environmental Crisis*. University of California Press.
3. Luque, A., Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, John Wiley & Sons.
4. Del Sol, N. E., & Cabrera Fernández, E. R. (2008). *Sistemas Fotovoltaicos*. Tono: *Revista Técnica De La Empresa De Telecomunicaciones De Cuba, S.A*, 5(1), 21-26.
5. Solar Energy Industries Association, «SEIA,» Recuperado de:  
<http://www.seia.org/policy/solar-technology/photovoltaic-solar-electric>. (Consulta: Septiembre 2017).
6. La célula fotovoltaica. (2005). Recuperado de:  
<http://www.epsea.org/esp/pdf2/Capit03.pdf>. (Consulta: Agosto 2017).
7. González Romo, J. M. (2014). *Autonomía en sistemas de alimentación. Trabajo Fin de Máster en Electrónica, Tratamiento de Señal y Comunicaciones (pp. 135)*.

8. MÜLLER, B. et al. "Maximizing the yield of large PV Power Plants: What can we learn from Monitoring and Simulation?" 27th EUPVSEC, Frankfurt, Germany, 2012, pp. 3775-3781.
9. RANSOME, S.J. et al. "Advanced analysis of PV system performance using normalized measurements data". Conference Record of The Thirtyfirst IEEE Photovoltaic Specialists Conference, EE.UU, 2005, pp.1698-1701.
10. Introducción a los Sistemas Fotovoltaicos. (2005). Recuperado de: [http:// saecsaenergiasolar.com/fotovoltaico/introduccion/](http://saecsaenergiasolar.com/fotovoltaico/introduccion/). (Consulta: Septiembre 2017].
11. Apuntes Asignatura Electrónica de Potencia, de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Electrónica Industrial URV. Javier Maixe ETSE-URV.
12. A. Cid Pastor "Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques" PhD Dissertation of Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, LAAS-CNRS Report Number 06688 Toulouse, France, September 2006 (en francés).
13. Imagen proceso de fabricación de una célula fotovoltaica <http://images.google.es/>.

14. Víctor García Pérez. (Noviembre del 2008). Seguimiento del punto de máxima potencia de un panel solar para la carga de baterías de sistemas portátiles. Septiembre del 2017, de Departament d'Enginyeria Electrònica, Elèctrica i Automàtica Universitat Rovira i Virgili.