



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Diseño de un sistema de almacenamiento de carga de energía solar por medio de modulación de ancho de pulsos PWM para instalaciones eléctricas fotovoltaicas mediante semiconductores controlados y microcontrolador arduino.

**AUTORES**

Samuel Isaac Pertuz Hernandezcod: 1096227790  
Jhon Jairo Monsalve Duartecod: 13852558

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA  
BARRANCABERMEJA  
5-01-2020**



**TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Diseño de un sistema de almacenamiento de carga de energía solar por medio de modulación de ancho de pulsos PWM para instalaciones eléctricas fotovoltaicas mediante semiconductores controlados y microcontrolador arduino.

**AUTORES**

Samuel Isaac Pertuz Hernandezcod: 1096227790

Jhon Jairo Monsalve Duarte cod: 13852558

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
Tecnólogo En Operación Y Mantenimiento Electromecánico

**DIRECTOR**

Fredy Alberto Rojas Espinoza

Grupo de Investigación en Ingeniería y Ciencias Sociales – DIANOIA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERÍA**  
**PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
**BARRANCABERMEJA**  
**10-02-2020**

Nota de Aceptación

**APROBADO**

---

---

---

---



Firma del jurado



Firma del Jurado

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.3. OBJETIVOS.....	10
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	10
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	11
<b>2. MARCOS REFERENCIALES .....</b>	<b>13</b>
2.1. MARCO TEÓRICO .....	13
2.1.1.5 INVERSOR .....	20
2.2. MARCO HISTÓRICO .....	23
2.3. MARCO CONCEPTUAL .....	25
3.5.3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	27
2.3.2. MARCO LEGAL.....	30
<b>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>32</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>54</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regulador o controlador de carga.....	14
Figura 2.circuito comparador .....	14
Figura 3. Batería .....	18
Figura 4. Inversor.....	22
Figura 5. Medidor de energía y consumo .....	23
Figura 6. Concepción de la energía solar en la década de 1950.....	25
Figura 7: Paneles solares .....	26
Figura 8: Celda fotovoltaica monocristalinos.....	27
Figura 9. Celdas fotovoltaicas poli cristalinas.....	28
Figura 10. Celda fotovoltaica amorfa .....	29
Figura 11: Esquema del circuito a implementar .....	34
Figura 12: Estructura del panel solar .....	43
Foto 13: Panel solar.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 14: Dimensiones Base estructura panel solar .....	44
Figura 15: Sistema fotovoltaico.....	48
Figura 16: Tensión suministrada por batería.....	48
Figura 17: Prueba de tensión y corriente .....	49

## RESUMEN EJECUTIVO

El desarrollo del presente trabajo de grado se enfocó en disminuir el consumo de energía eléctrica entregada por la red eléctrica convencional, a través del aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica. En ese sentido se propuso el diseño de un sistema de almacenamiento de carga de energía solar por medio de Modulación de ancho de Pulsos PWM para Instalaciones eléctricas fotovoltaicas, mediante semiconductores controlados y microcontrolador Arduino. Inicialmente se dio a conocer una revisión del estado del arte, que permitía contextualizar el proceso de implementación de un sistema de generación fotovoltaica a partir de paneles solares para la obtención de la potencia requerida.

Posteriormente, se aplicó ingeniería de detalle para el proceso de selección de componentes y elementos a utilizar en el sistema de generación fotovoltaica y del regulador del almacenamiento de carga, haciendo una descripción de las variables identificadas, explicándolas a partir del uso de diagramas de flujo del sistema implementado. También se dio una descripción de los dispositivos usados tal como el panel solar, el regulador, inversor, generador, baterías y elementos de protecciones eléctricas.

Finalmente, se diseñó un pseudocódigo del micro controlador Arduino que permite revelar los resultados y las pruebas operacionales realizadas al sistema para demostrar la funcionalidad de la aplicación electrónica en el ahorro de la energía eléctrica utilizando una energía alternativa.

**PALABRAS CLAVE.** Microcontrolador, Arduino, carga, energía, solar.

## INTRODUCCIÓN

Ante el panorama energético mundial en el cual el ahorro y la eficiencia energética son temas de primera importancia en el diseño, construcción y operación de cualquier sistema, los sistemas fotovoltaicos son grandes protagonistas en ese panorama, ya que gran cantidad de la energía consumida en el mundo proviene de esta fuente, por tal motivo estos sistemas deben mantener altos niveles de desempeño haciendo que la energía se produzca de la manera más eficiente posible.

Una de las técnicas que más se ha implementado con éxito en los sistemas de generación de energía fotovoltaica es la modulación de ancho de pulsos PWM, el cual es un tipo de señal de voltaje utilizada para enviar información o para modificar la cantidad de energía que se envía a una carga. Este tipo de señales es muy utilizada en circuitos digitales que necesitan emular una señal analógica.

Con el objetivo de desarrollar una herramienta que facilite el estudio y análisis de los sistemas de generación de energía fotovoltaica a través de un sistema de regulación y de almacenamiento de carga de energía solar por medio de Modulación de Ancho de Pulsos PWM para instalaciones eléctricas fotovoltaicas mediante semiconductores controlados y microcontrolador arduino desarrolla este trabajo de grado por estudiantes de la tecnología en operación y mantenimiento electromecánico de las unidades tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja.

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las energías alternativas siempre han estado presentes en la cotidianidad de la humanidad, aunque muchas veces se ha desconocido la existencia por la necesidad de poner lo económico por encima del beneficio ambiental. Además de ser totalmente gratuitas son energías limpias y protectoras del medio ambiente; es por este motivo que entidades como el COCME2 (Comité Colombiano del WEC) incentiva y apoya el uso de energías alternativas, que se adaptan, dependiendo la ubicación geográfica del país, brindando un mayor aprovechamiento que otras (Cruz Ardila, 2013).

Actualmente el grupo de investigación DIANOIA de las Unidades Tecnológicas de Santander ha enfocado esfuerzos en proponer alternativas de solución que mitiguen los impactos ambientales en la producción de energía eléctrica, por tal motivo los estudios en el almacenamiento de energía solar cobran vital importancia.

La falta de referentes bibliográficos que integren temáticas relacionadas con generación de energía eléctrica, almacenamiento de energía solar y control, imposibilitan la creación de diseños robustos que sean cada vez más eficientes donde realmente se puedan proponer soluciones acordes a las dificultades en la implementación de energías alternativas.

Con base en el planteamiento anterior surge necesariamente una pregunta; ¿Bajo qué parámetros se puede diseñar un sistema de almacenamiento de carga de energía solar por medio de modulación de ancho de pulsos PWM para instalaciones eléctricas fotovoltaicas basado en semiconductores y microcontrolador Arduino?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo del presente trabajo de investigación busca plantear las bases conceptuales y teóricas requeridas para el diseño de un sistema de almacenamiento de carga de energía solar por medio de Modulación de Ancho de Pulsos PWM para Instalaciones eléctricas fotovoltaicas mediante semiconductores controlados y microcontrolador Arduino.

La razón por la cual se desea desarrollar el presente trabajo de investigación, obedece al compromiso que ha establecido el grupo de investigación DIANOIA con la sociedad del Magdalena Medio, en el ámbito de contribuir a la mejora de la calidad de vida de la sociedad, a través del desarrollo de proyectos de investigación que disminuyan los impactos negativos de la generación de energía eléctrica, razón por la cual el proyecto en cuestión cobra vital importancia, ya que se pretende establecer los parámetros de diseño requeridos para implementar un sistema regulador de almacenamiento de carga de energía solar por medio de modulación de ancho de pulsos PWM para instalaciones eléctricas fotovoltaica.

Con el desarrollo de este proyecto de investigación se busca también crear conciencia en los estudiantes de las Unidades Tecnológicas de Santander en temas relacionados con el uso eficiente de la energía eléctrica, y buscar alternativas de generación de energía eléctrica que conlleven a la disminución del impacto ambiental.

La alternativa de solución planteada se basa en el desarrollo de un sistema de control por medio de un controlador Arduino, en el cual se pueda realizar una medición de la curva característica de un panel fotovoltaico, que permita obtener en tiempo real mediciones de voltaje y corriente del panel, y así también se puedan establecer parámetros como: corriente de corto circuito, voltaje de circuito

abierto, potencia máxima, corriente en el punto de máxima potencia, voltaje en el punto de máxima potencia y factor de forma.

Motivar a los estudiantes de las Unidades Tecnológicas de Santander, sede Barrancabermeja, en la investigación de temas relacionados con energías alternativas e innovación tecnológica, es una de las principales razones por la que se debe llevar a cabo el proyectos de investigación, cuyo fin se basa en la profundización de conceptos tecnológicos que les permitan a los estudiantes enfrentar los desafíos que enfrenta la sociedad hoy en día.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un sistema de regulación y de almacenamiento de carga de energía solar por medio de Modulación de Ancho de Pulsos PWM para instalaciones eléctricas fotovoltaicas mediante semiconductores controlados y microcontroladorarduino.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aplicar criterios metodológicos de selección de componentes y elementos del sistema de generación y regulación de almacenamiento de carga fotovoltaica usando ingeniería de detalle para obtener información en cuanto a especificaciones técnicas, materiales, diseño, económicas y legales del proyecto.
- Realizar la implementación del sistema de generación fotovoltaica a partir de paneles solares para la obtención de una potencia de 50 Watts.

- Implementar el sistema de regulación y de almacenamiento de carga PWM para instalaciones eléctricas fotovoltaicas mediante convertidores electrónicos de potencia, dispositivos semiconductores y microcontrolador Arduino.
- Diseñar el pseudocódigo de programación del microcontrolador Arduino mediante estructuras computacionales que permitan generar la modulación del ancho de pulso PWM y las señales de control del sistema.

#### 1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES

La implementación de la energía solar fotovoltaica se ha visto como una solución para alimentar diversas cargas de diferentes instalaciones eléctricas, que se centren en la iluminación, como es el caso de la propuesta desarrollada en el año 2016 para el diseño de un sistema SFV para iluminación pista BMX Peñamonte ubicada a 3.5 kilómetros de Ubaté vía Ubaté - Bogotá. En tal caso se desarrollaron tres modelos de iluminación (iluminación en guayas, iluminación a través de postes laterales y una iluminación sobre graderías) y se tuvo en cuenta tres formas de diseño del SFV (sistema aislado, sistema de inyección a red y un sistema híbrido) de los cuales se eligió la mejor opción a partir de simulaciones, cálculos y análisis financieros desarrollados. Se recomendó tener en cuenta la iluminación tipo led ya que solamente se utilizó lámparas de sodio y lámparas de halogenuros metálicos (Sanchez, 2016).

Además de avanzar en la generación solar fotovoltaica también se han dado grandes mejoras en el tipo de iluminación a utilizar como es el caso de las bombillas tipo LED que muestra un gran ahorro con respecto a las antiguas tecnologías, en el año 2016 se desarrolló la tesis en la Universidad Distrital

Francisco José de Caldas sobre “Caracterización y viabilidad de la tecnología LED para el Diseño de Iluminación de los Laboratorios del sexto piso de la sede de Ingeniería de la UDFJC” por los estudiantes Edison Pachón y Diego Chaparro donde se realizaron diversas pruebas de caracterización a diversas tecnologías y se evaluaron las condiciones actuales de iluminación llegando a la conclusión que la tecnología LED en cuestión de ahorro e iluminancia son idóneos para todas las soluciones de iluminación que se requieran, pero su costo sigue siendo alto a pesar de que se encuentra en un gran auge.(Edison Pachón, 2016).

En el año 2013 se realizó un artículo buscando el enfoque de los sistemas fotovoltaicos para la iluminación por medio de diodos emisores de luz tipo led, titulado “Sistema fotovoltaico de iluminación solar” en donde se obtuvieron los siguientes aspectos: la mayor problemática radica en el almacenamiento de energía y no en la fuente, la tecnología LED es más eficiente, permitiendo así ahorrar energía y la alimentación de iluminación por medio de un sistemaSFV es una gran alternativa. (Benítez, 2013).

El uso de las energías renovables ha tomado gran fuerza en los últimos años como lo muestra el artículo desarrollado en el año 2012 “Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: Un enfoque dinámico” donde se evidencia que la generación de forma no convencional se muestra como una alternativa importante para la prestación del servicio de energía ya que permite aumentar la confiabilidad del suministro a corto, mediano y largo plazo. Los factores que han sido determinantes para el impulso de las formas de generación son el cambio climático y la inestabilidad de los precios de los combustibles fósiles, del anterior trabajo se concluye que la generación con energías renovables en Colombia es una opción viable de generar de manera eficiente, confiable y de calidad, también se establece que las leyes colombianas

no incentivan el uso de los recursos renovables y que se deberían dar beneficios regulatorios. (Carvajal, 2012)

En ese año también se desarrolló un análisis comparativo entre las bombillas tradicionales y el bombillo LED titulado “Illuminationbenefitsusing LED highbright Ness bulbcompare to traditionalilluminationssystem” en donde a partir de diferentes pruebas se obtuvo que el bajo consumo de potencia de los HB-LED comparado con los bombillos tradicionales los hace una excelente alternativa para trabajar con sistemas fotovoltaicos debido a que se reducen hasta en un 90% la potencia requerida para los paneles solares y la capacidad de corriente de las baterías. (Macías, 2012).

## 2. MARCOS REFERENCIALES

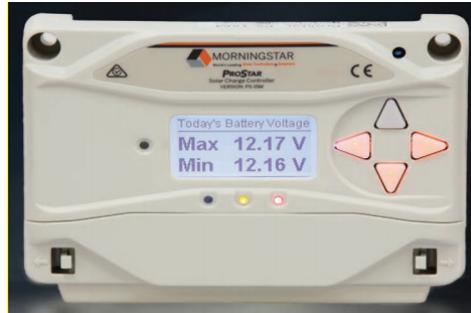
### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1.1 Parámetros de operación de un regulador de carga.

Según (Gómez, 2015) los parámetros más relevantes de los reguladores de cargas son:

- **Intensidad Máxima de carga o de generación.** Máxima intensidad de corriente procedente del campo de paneles que el regulador es capaz de admitir.
- **Intensidad Máxima de consumo.** Máxima corriente que puede pasar del sistema de regulación y control al consumo.
- **Voltaje final de carga.** Voltaje de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador fotovoltaico.

Figura 1. Regulador o controlador de carga.

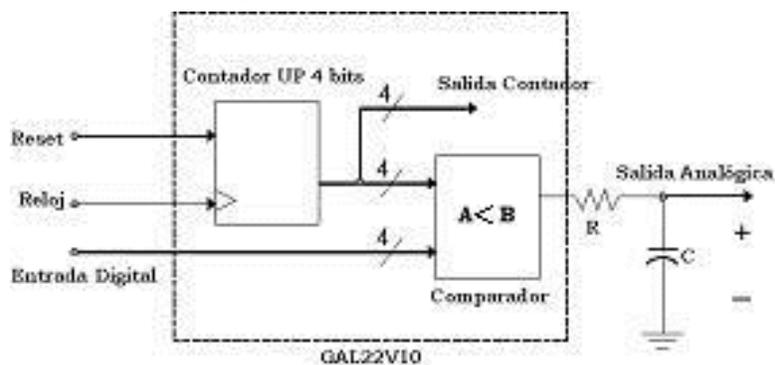


Fuente: Catalogo, morningstar-catalog-2018-es.pdf, recuperado de  
<https://2n1s7w3qw84d2ysnx3ia2bct-wpengine.netdna-ssl.com>

## CONTROLADOR PWM

(Lozad, 2010) establece que, por lo general, todo sistema que procesa información binaria para controlar un proceso analógico requiere una etapa de entrada analógico – digital y una etapa de salida digital –analógica (convertidores ADC y DAC). Para reducir costos en los diseños que no requieren alta resolución en la etapa de salida, es posible sustituir el DAC por un algoritmo de Modulación por Ancho de Pulsos (PWM - Pulse-Width Modulation). Una unidad PWM permite asignar cierta duración de tiempo en alto o en bajo a un dato digital de n bits que se considera salida de la etapa procesadora. Lo anterior se logra conectando un contador y un circuito comparador, tal y como se aprecia en la siguiente figura:

Figura 2. circuito comparador



Fuente: tomado de Lozad, J. C. (2010). Teoría PWM (Modulación por Ancho de Pulsos). México : CIDETEC.

El comparador determinará si el dato aplicado a la entrada de la unidad es igual al valor binario del contador que cambia constantemente. El tiempo que durará la señal en alto depende de la cantidad de pulsos de reloj que se apliquen hasta que el contador presente un dato binario mayor o igual al de la entrada. A la salida de la unidad PWM es necesario conectar un filtro RC (Pasa Bajas) para determinar el nivel analógico propuesto por el filtro. El periodo completo de un ciclo PWM es igual al producto del periodo del reloj de la señal de referencia (reloj del sistema) con  $2^n$ , donde n es el número de bits del contador propuesto. Obsérvese la relación siguiente:

$$T_{PWM} = (T_{reloj})(2^n) \quad (1)$$

Es posible advertir que si el contador es de 4 bits, se tendrá que  $T_{PWM} = 16 T_{reloj}$ , por lo que al aumentar el número de bits del contador para mejorar la resolución, el periodo PWM tenderá a hacerse más grande reduciendo drásticamente la frecuencia de salida. Lo anterior es sumamente importante cuando se desee realizar una aplicación que sí requiera sincronizar la señal analógica para controlar un sistema. Para los propósitos del diseño planteado, considérese una frecuencia de referencia de 60 Hz, con un contador de 4 bits, y sustituyendo en eq. 1, se obtiene una frecuencia PWM de 3.75 Hz, equivalente a un  $T_{PWM}$  de 0.26 seg.

La relación de los valores del filtro está dada por:

$$RC = \frac{1}{2\pi F_{PWM}} \quad (2)$$

por lo que eligiendo  $C = 1\mu F$ , se obtiene un valor para R de aproximadamente 42 KΩ (es posible ajustar a un valor comercial más exacto). En nuestro caso particular, se diseñará una unidad PWM de frecuencia baja por lo que no es necesario considerar aspectos de diseño más formales en el filtro. En diseños formales se recomienda estimar una frecuencia de corte menor a la frecuencia PWM y no es común considerarlas iguales, tal y como se hizo en la aproximación anterior. En tal situación será necesario sustituir la

frecuencia PWM por la frecuencia de corte en la eq. 2 ó tal vez, hasta considerar un filtro de mayor orden que permita una mejor estabilidad de la señal. Implementa tu diseño en un GAL22V10 y mide los voltajes analógicos obtenidos en la salida. Un valor 00002 debe estar en los 0 Volts, mientras que un valor 11112 debe concebir una salida de 5 Volts. Para mejorar el diseño es necesario incluir una etapa final de amplificación (un transistor o un OPAM) a la salida.

### 2.1.1.2 Batería o acumuladores

Según la tesis de grado de (Bermudes, 2010) estos son los elementos del sistema solar fotovoltaico que se encargan de almacenar la energía eléctrica para su uso posterior, debido al hecho de que la producción de energía de los módulos se da en cantidades y tiempo diferentes a los de la demanda.

Las baterías que se usan para aplicaciones fotovoltaicas son las que se conocen como baterías de ciclo de descarga profundo y difieren de las baterías de automóviles en que están diseñadas para entregar grandes cantidades de corriente en períodos cortos de tiempo, mientras que las baterías de ciclo profundo están diseñadas para descargas muy lentas sin que sufran daño alguno, por tal razón las placas de las baterías son mucho más gruesas y de menor área que las utilizadas para el arranque de automóviles.(Bermudes, 2010)

Existen varios tipos de baterías para aplicaciones fotovoltaicas, como por ejemplo las de Plomo-Ácido, las de Níquel-Cadmio (NiCd), las de Níquel-Hidruro Metálico (NiMH), las de Ion de Litio (Li-ion), las de Polímero de Litio (Li-poly) y las de Zinc. Las más comúnmente usadas son las de Plomo-Ácido debido a que es una tecnología ampliamente estudiada y que brinda una relación costo/beneficio mucho mayor a la proporcionada por los otros modelos.

Las baterías solares generalmente vienen en celdas de 2V cada una, debiéndose interconectar en serie para suministrar los voltajes normalmente utilizados, tales como: 6V, 12V, 24V y 48V.

El electrolito (agua destilada con ácido sulfúrico en bajas proporciones) puede estar en estado líquido o en forma de gel. La corriente de carga de las baterías debe ser controlada debido a que, si estando la carga próxima al 100% la corriente de carga se mantiene, se produce gasificación por exceso de oxígeno, dando lugar a la oxidación de los separadores de la batería.

### 2.1.1.3 Tipos de baterías

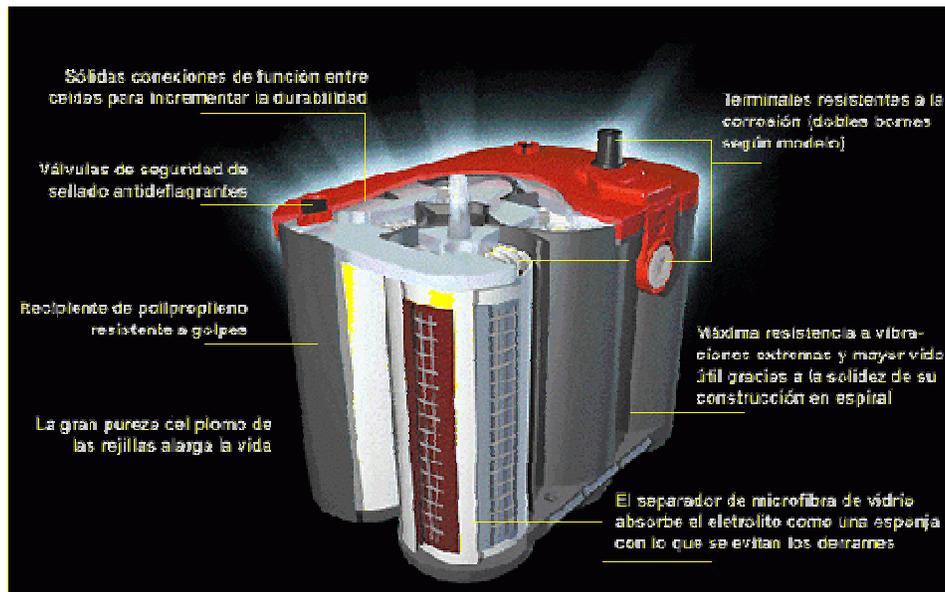
Según (Castejon, 2010) las baterías de Plomo-Ácido vienen en distintos tipos, dependiendo del grado de gasificación y de protección ante rotura del envase.

- **Acido abiertas:** poseen tapones de rellenado para agua destilada. En general son más robustas y más duraderas si se les hace mantenimiento (agregar agua) periódicamente.
- **Acido selladas (herméticas):** también se conocen como baterías estacionarias, sin mantenimiento, ya que no se les puede agregar agua; por tal razón suelen tener una vida más corta que las baterías abiertas. Producen poco oxígeno, por lo que se pueden emplear en sitios cerrados.
- **Gel selladas (herméticas):** Baterías libres de mantenimiento en las que el electrolito está en forma de gel para evitar el derrame de ácido sulfúrico en caso de rotura del envase.
- **AGM selladas (herméticas):** Baterías libres de mantenimiento en la que el gel está en forma de masas esponjosas. Incorporan una válvula de protección. También reciben la denominación de VRLA

(Valve Regulated Lead Acid) o Baterías de Plomo-Ácido con válvula de regulación. La principal característica es que presentan una vida larga.

Una característica importante que tienen las baterías es que, en las mismas, los portadores de carga se mueven más fácilmente que en una batería de gel, lo cual hace que las baterías AGM sean más adecuadas para entregar corrientes altas en períodos cortos de tiempo que las baterías de gel.

Figura 3. Batería composición interna.



Fuente: Catalogo: Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-ES.pdf, Recuperado de <http://www.piste4x4.com/pieces-4x4/optima-batteries.htm>

#### 2.1.1.4 Especificaciones eléctricas de las baterías

(Castro & Talancon, 2012) Argumenta que las principales características eléctricas de las baterías para aplicaciones fotovoltaicas se indican a continuación.

**Capacidad nominal (Cx):** Se refiere a la capacidad de almacenamiento de energía que tiene una batería. Este parámetro se mide en Amperios-hora

(Ah) y en el mismo se indican cuantos amperios puede suministrar una batería en un determinado número de horas, a la temperatura de 25°C y hasta que la tensión en los bornes alcance el valor de 1,85 V por celda (voltaje de corte), aunque la tensión de corte puede variar dependiendo del fabricante y del tipo de batería.

- **Régimen de carga o descarga:** Parámetro que relaciona la capacidad nominal con la intensidad de corriente a la que se realiza la carga o descarga de la batería.
- **Estado de carga:** Es una medida de la carga remanente en una batería expresada como un porcentaje de la capacidad nominal.
- **Profundidad de descarga:** Es una medida de la carga extraída de la batería expresada como un porcentaje de la capacidad nominal.
- **Ciclos de vida:** Parámetro que indica la cantidad de veces que es posible cargar completamente la batería durante la vida útil. El valor puede variar considerablemente de acuerdo a la temperatura de operación de las baterías y a la máxima profundidad de descarga a la que sean sometidas en ciclos de carga-descarga.
- **End of Life (EOL):** Algunos fabricantes definen el parámetro como el tiempo cuando la batería es descargada hasta el 80% de la capacidad nominal o cuando la resistencia interna de la batería se incrementa hasta el punto de que se ve limitada la capacidad de entregar potencia a la carga. En general, cuando se habla de la capacidad EOL, se está haciendo referencia al 80% de la capacidad nominal de la batería.
- **Voltaje nominal:** Corresponde al valor más estable en el que permanece el voltaje de una batería durante el proceso de descarga.

- **Voltaje de Corte:** es el nivel de tensión que alcanza la batería cuando está descargada. Para prolongar la vida de las baterías no se recomienda que la tensión de las mismas caiga por debajo del voltaje de corte
- **Voltaje de Carga:** es el valor de tensión al que deben ser sometidas las baterías durante el proceso de carga. Dicho valor es superior a la tensión nominal, a fin de garantizar la reacción química en las baterías y el mismo puede variar para una misma batería dependiendo del tipo de aplicación en el que se vaya a utilizar.

#### 2.1.1.5 Inversor

Los equipos están diseñados para convertir corriente continua de baterías a corriente alterna para alimentar equipos eléctricos o electrónicos.

En determinadas aplicaciones que trabajan en corriente continua, no es posible hacer coincidir las tensiones proporcionadas por el acumulador con la solicitada por todos los elementos de consumo. En tales casos la mejor solución es un convertidor de tensión continua.

En otras aplicaciones, la utilización incluye elementos que trabajan en corriente alterna. Puesto que tanto los paneles como las baterías trabajan en corriente continua, es necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente continua en alterna.

Un inversor viene caracterizado principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar a la del generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia.

La última se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada).

La eficiencia del inversor varía en función de la potencia consumida por la carga. Dicha variación es necesario conocerla, sobre todo si la carga en alterna es variable a fin de que el punto de trabajo del equipo se ajuste lo mejor posible a un valor promedio especificado.(Castejon, 2010)

#### 2.1.1.6 Tipos de inversores

Con base en lo planteado por (Bermudes, 2010), se establece que los tipos de inversores más comunes son:

- **Inversores de conmutación natural:** También son conocidos como inversores conmutados por la red, por ser la que determina el fin del estado de conducción en los dispositivos electrónicos. Se aplica a sistemas FV conectados a la red. Actualmente están siendo desplazados por los inversores de conmutación forzada tipo PWM, conforme se desarrollan los transistores de tipo IGBT para mayores niveles de tensión y corriente.
- **Inversores de conmutación forzada o auto conmutados:** Son para sistemas FV aislados. Permiten generar CA mediante conmutación forzada, que se refiere a la apertura y cierre forzados por el sistema de control. Pueden ser de salida escalonada (onda cuadrada) o de modulación por anchura de pulsos (PWM), con los que se pueden conseguir salidas prácticamente senoidales y por tanto con poco contenido de armónicos.

Figura 4. Inversor



Fuente: Catalogo: CatalogoEM2019.pdf, Recuperado de  
[http://construyasuvideorockola.com/proyecto\\_inversor\\_01.php](http://construyasuvideorockola.com/proyecto_inversor_01.php)

### 2.1.1.7 Medidor de energía y consumo

El Sistema de Control de Energía Eléctrica es un sistema integral desarrollado para la gestión de la energía eléctrica, la planeación y control en el entorno organizacional permite conocer minuto a minuto, si lo desea, cómo marcha en la entidad el cumplimiento del plan de consumo (Arango & Grisales, 2014).

A continuación, se muestran las características de un medidor de energía y consumo:

- Está diseñado en forma de módulos independientes que pueden ser implantados de modo secuencial y que mantienen interrelaciones útiles que van elevando el grado de efectividad.
- Es un sistema integral desarrollado para la gestión de la energía eléctrica, su planeación y control en el entorno organizacional.

- Está diseñado en forma de módulos independientes que pueden ser implantados de modo secuencial y que mantienen interrelaciones útiles que van elevando su grado de efectividad.

Figura 5. Medidor de energía y consumo



Fuente: catalogo: medicion\_energia.pdf, Recuperado de [http://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/medicion\\_energia.pdf](http://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/medicion_energia.pdf)

### 2.1.1.8 Transferencia automática

(Arango & Grisales, 2014) plantea que es un dispositivo que cambia los circuitos eléctricos entre la alimentación principal (normalmente la electricidad suministrada por una empresa de servicios públicos), y la generadora local, copia de seguridad que se mantiene en las instalaciones. Estos interruptores pueden ser, control automático de potencia de entrada por la utilidad y el cambio a una copia de seguridad cuando se va la luz, o el manual que requiere una persona para realizar físicamente la transición.

## 2.2. Marco Histórico

El físico francés Alexandre-Edmond Becquerel desarrolló su trabajo de investigación en la luminiscencia y la fosforescencia a través de estudios en el espectro solar, el magnetismo, la electricidad y la óptica. En 1839 descubrió que

una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas.

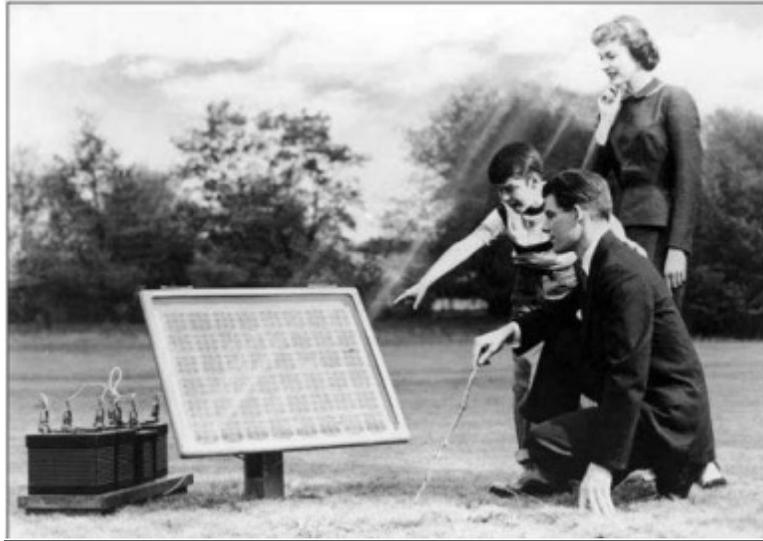
El proceso de usar la luz del sol para producir una corriente eléctrica en un material sólido paulatinamente se denominó Efecto Fotovoltaico (fundamental para las células fotoeléctricas), pero tomó casi un siglo entender el proceso. Los científicos aprendieron eventualmente que el efecto Fotoeléctrico o Fotovoltaico causaba que ciertos materiales convirtieran la energía de la luz en energía eléctrica a nivel de átomos.

### **2.2.1.1 Efecto Foto Eléctrico**

El efecto fue registrado por primera vez en 1877 al estudiar la acción en un material sólido (Selenio), este material fue utilizado durante muchos años para los fotómetros (medidor de la intensidad de la luz con muy pequeñas cantidades de energía). Se llegó a una mayor comprensión de los principios científicos después de 1905 con los aportes de Albert Einstein y en 1930 con la investigación del físico alemán Walter H. Schottky (una mejor interpretación del fenómeno derivó en celdas solares cada vez más eficientes).

Con el desarrollo de la investigación en el efecto fotovoltaico se desarrolló la primera celda capaz de convertir radiación solar en energía eléctrica, también se empezó a fabricar las primeras celdas solares de capa delgada, mediante la manipulación de contacto de diversos metales con Sulfuro de Cadmio. Simultáneamente fue desarrollada una celda solar de Silicio que convertía en electricidad el 6% de la luz solar que sobre ella incidía (desarrollada por Daryl Chapin, Gerald Pearson y Calvin Fuller entre 1945 y 1954 para Laboratorios Bell), esta es la clase de célula o celda que fue utilizada en usos especializados para satélites orbitales a partir de 1958.

Figura 6. Concepción de la energía solar en la década de 1950



Fuente: tomado de AT&T

A partir de año 1977 las investigaciones se han enfocado también en ciertos materiales plásticos que, bajo ciertas condiciones, pueden convertirse en semiconductores y ser aprovechados para la captación de energía solar.

### 2.3. Marco conceptual

A continuación, se presenta los tipos de paneles más usados en la industria de la generación de energía, que tienen su origen en energías limpias como la fotovoltaica.

#### 2.3.1.1 Paneles solares

Una célula fotovoltaica es una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir mediante una unión N-P, una batería que haga posible el efecto fotovoltaico. Los materiales tienen la propiedad de comportarse como

aislantes o conductores dependiendo de condiciones como la temperatura, energía aplicada (Ramos, 2007).

Figura 7: Paneles solares



Fuente: Catalogo: TECHNO-SUN-catalogo-productos-energia-solar.pdf, Recuperado de  
<https://energialimpiaparatodos.com/2014/09/12/using-solar-power/>

Estos materiales poseen electrones libres cuyos números varían en función de las condiciones mencionadas, pudiendo cambiar la conductividad intrínseca. Entre los conductores más importantes tenemos el arseniuro de galio, el telurio de cadmio y el silicio, este último es el más utilizado ya que posee 14 electrones, de los cuales 4 están en su capa de valencia de forma que son capaces de crear enlaces covalentes con otros átomos.

Casellas (2016) indica que podría parecer que los electrones de silicio están ocupados en formar enlaces, aunque esto sería un caso ideal ya que las temperaturas normales se estarán produciendo vibraciones de los enlaces, lo que tiene como consecuencia que los electrones se liberen en la red cristalina, dejando un hueco. Si aumenta la temperatura aumentara la vibración, multiplicándose el efecto. Los electrones libres hacen que el elemento se vuelva conductor.

### 3.5.3.2 Clasificación de las celdas fotovoltaicas

Existen diferentes materiales semiconductores con los cuales se pueden elaborar celdas solares, pero el que se utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación. Las celdas fotovoltaicas se clasifican en cristalinos, poli cristalinos y amorfos (Franco Garcia, 2016).

- **Celdas Fotovoltaicas Monocristalinos.** Las celdas de silicio mono cristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro a una temperatura de 1500 °C. “Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un cristal germen de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal” (Peña, 2003, pág. 49).

Figura 8: Celda fotovoltaica monocristalinos



Fuente: catalogo Solar-Center-Catalogo-Ago2018.pdf, Recuperado de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

- **Celdas Fotovoltaicas Poli cristalinas.** Se obtiene a temperaturas más bajas que el anterior con lo que se disminuyen las fases de cristalización (Peña, 2003). Se constituyen básicamente con silicio, mezclado con

Arsenio y galio, son agregados de materiales, casi es como un biscocho: en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas poli cristalinas.

Figura 9. Celdas fotovoltaicas poli cristalinas



Fuente. Catalogo:CatalogoFotov.cdr,Recuperado

de<http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

- **Celdas fotovoltaicas amorfas.** Este material ha encontrado casi el mismo amplio uso en fotovoltaica que el silicio mono cristalino. La tecnología y los procesos industriales se están implantando a gran escala, aunque el mercado se ha centrado en el uso para equipos electrónicos de consumo. La mayor ventaja del silicio amorfo es él poder depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico de muy bajo costo. Esto permite su abaratamiento y la posibilidad de técnicas de producción en serie, ya que grandes módulos se pueden depositar en un único proceso. (Peña, 2003, pág. 49).

Figura 10. Celda fotovoltaica amorfa



Fuente: Catalogo: la célula fotovoltaica, Recuperado de <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/tipos-de-paneles-solares-fotovoltaicos/>

### 2.3.1.2 Efecto fotovoltaico

Las células solares se fabrican con semiconductores. Los semiconductores son elementos sólidos que tienen una conductividad eléctrica inferior a la de un conductor metálico pero superior a la de un buen aislante. El semiconductor más utilizado es el silicio (Castejon, 2010). Cualquier aporte de energía, como una elevación de la temperatura o la iluminación del semiconductor, provoca que algunos electrones de valencia absorban suficiente energía para librarse del enlace covalente y moverse a través de la red cristalina, convirtiéndose en electrones libres.

### 2.3.1.3 Módulos fotovoltaicos

Castejón (2010) declara que la mayoría de los módulos fotovoltaicos tienen entre 36 y 96 células conectadas en serie. En algunos casos pueden incluir la conexión en paralelo de grupos de células conectadas en serie. Además, hay que

proporcionar al conjunto de células una protección frente a los agentes atmosféricos, un aislamiento eléctrico adecuado y una consistencia mecánica que permita su manipulación práctica. Al conjunto de células solares agrupadas en las condiciones descritas se le denomina módulo fotovoltaico.

### 2.3.2. Marco legal

A continuación, se expondrán una serie de leyes o regulaciones legales, a través de las cuales se promueva actualmente en el gobierno nacional el uso de paneles solares como alternativa en la generación de energía eléctrica, con lo cual se busca promover fuentes alternativas de generación sostenible de electricidad.

- Proyecto de ley 09 de 2012. Congreso de Colombia-Por medio de la cual se promueve e incentiva el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos. Cuyas consideraciones son las siguientes:

Objeto de la ley: La presente ley tiene por objeto, promover e incentivar el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos; y así obtener la reducción de consumos energéticos y la generación de energías no contaminantes (Ley-09, 2012). Incentivo para constructores. Con el propósito de incentivar la construcción de viviendas en las que se implementen paneles solares y paneles fotovoltaicos, se autoriza al Gobierno para que determine el porcentaje del IVA que se devolverá a las constructoras por la adquisición de paneles solares y paneles fotovoltaicos o por la adquisición de materiales para la fabricación de estos.

La ley 09 (2012) declara que deberá el Gobierno Nacional, deberá expedir la reglamentación, que establezca los requisitos para poder acceder a este beneficio tributario y la forma para su respectiva devolución, dentro de los

seis (6) meses siguientes, contados a partir de la expedición de la presente ley.

- NTC 5513, dispositivos fotovoltaicos parte 1: medida de la característica intensidad tensión de los módulos fotovoltaicos.

Esta norma describe los procedimientos de medida de la característica corriente-voltaje (I-V) para celdas solares de silicio cristalino, empleando luz natural o simulada (Alvarez, 2012). La norma establece requisitos generales para efectuar las medidas, como la calibración del dispositivo de referencia (aquel con el cual se efectúan las medidas de irradiación), su respuesta espectral, la precisión de  $\pm 1$  °C entre el dispositivo de referencia y la probeta, y las conexiones de ensayo.

- NTC 5512, ensayo de corrosión por niebla salina de módulos fotovoltaicos. Álvarez (2012) señala que esta norma describe el procedimiento para realizar un ensayo que permite determinar la resistencia de los módulos fotovoltaicos a la niebla salina, lo que puede resultar útil a la hora de evaluar la compatibilidad de los materiales usados en los módulos, así como la calidad y uniformidad de los recubrimientos protectores.

- NTC 5512 Ensayo De Corrosión Por Niebla Salina De Módulos Fotovoltaicos.

Esta norma describe el procedimiento para realizar un ensayo que permite determinar la resistencia de los módulos fotovoltaicos a la niebla salina, lo que puede resultar útil a la hora de evaluar la compatibilidad de los materiales usados en los módulos, así como la calidad y uniformidad de los recubrimientos protectores.

### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

#### 3.1. CRITERIO METODOLÓGICO PARA LA SELECCIÓN DE COMPONENTES

Se realizó una consulta acerca de cargadores para baterías utilizando paneles solares, se encontraron dos tipos de controladores reguladores, los cuales son:

- Regulador PWM (Pulse Width Modulation): Son reguladores sencillos que actúan como interruptores entre las placas fotovoltaicas y la batería. Estos reguladores fuerzan a los módulos fotovoltaicos a trabajar a la tensión de la batería, sin ningún tipo de instalación extra (AutosolarEnergy, 2014).
- Regulador MPPT (Maximum Power Point Tracking): O controladores MPPT, permiten obtener la máxima potencia de los paneles solares haciéndolos trabajar siempre en el punto de máxima potencia (AutosolarEnergy, 2014).

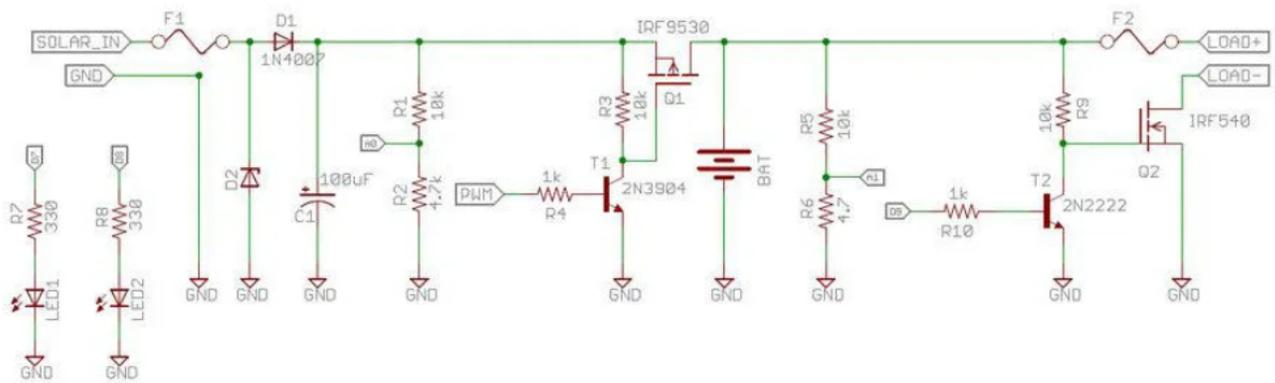
En el proyecto actual se desarrolló un controlador regulador PWM, por su facilidad de construcción y cantidad de información en la red acerca de este tipo de modulación. El objetivo principal de este controlador regulador es cargar las baterías conectadas a este y para esto debe cumplir con las siguientes funciones.

- Medir el voltaje que entrega en sus terminales el panel solar.
- Transferir el voltaje promedio correcto a la batería de acuerdo a su nivel de tensión en los bornes.
- En caso de no tener tensión el panel solar (este desconectado o sea de noche) deberá conectar las baterías a la carga eléctrica.

- Medir el voltaje de las baterías.
- Regular o el nivel de corriente a las baterías de acuerdo al nivel de voltaje.
- Indicar al usuario a través de una LCD (pantalla de cristal líquido) información de voltaje del panel, voltaje de la batería, porcentaje de carga de la batería.
- Indicar al usuario a través de dos indicadores LED si la batería está cargada o no lo está.

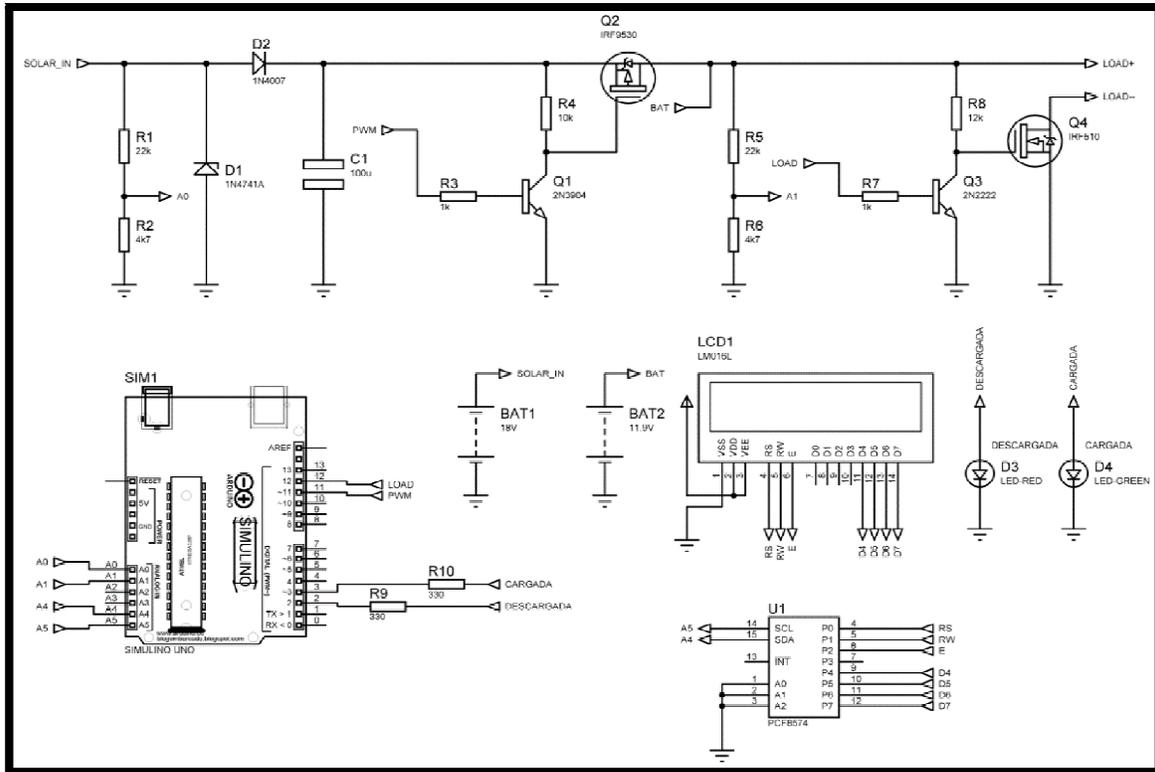
Se encontró un circuito base que se muestra en la figura 11, el cual se ajustó a las necesidades del proyecto como se muestra en la figura 12.

Figura 11: circuito base



Fuente: tomado de, <https://www.instructables.com/id/ARDUINO-SOLAR-CHARGE-CONTROLLER-PWM/>

Figura 12: Esquema del circuito a implementar



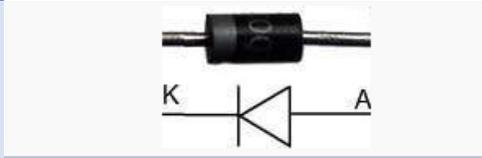
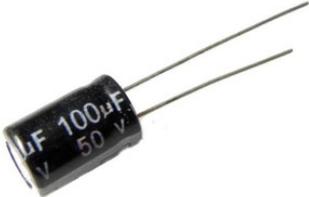
Fuente: Autor

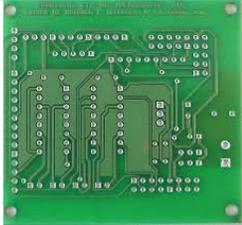
### 3.1.1. Materiales requeridos para su implementación

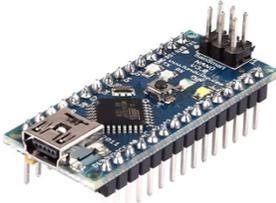
Para la selección de componentes se tuvo en cuenta los elementos que conforman el circuito base mostrados en la figura y la capacidad de generación del panel solar.

En la tabla 1 se muestra cada uno de los componentes y las cantidades de ellos que conforman el sistema.

Tabla 1: Catálogo de partes del sistema

Elemento	Cantidad	Descripción del elemento
<b>Diodo 1N4007</b>	1	
<b>Resistencias de 22k <math>\Omega</math> a 1/4W</b>	2	
<b>Resistencias de 4.7k <math>\Omega</math> a 1/4W</b>	2	
<b>Condensador de 100 <math>\mu</math>F</b>	1	
<b>Resistencias de 1k <math>\Omega</math> a 1/4W</b>	2	
<b>Transistores 2N3904</b>	2	

<p><b>Transistores IRF 9530</b></p>	<p>2</p>	
<p><b>Borneras</b></p>	<p>1</p>	
<p><b>Resistencias de 330 Ω a 1/4W</b></p>	<p>2</p>	
<p><b>Diodo LED rojo</b></p>	<p>1</p>	
<p><b>Diodo LED verde</b></p>	<p>1</p>	
<p><b>Placa virgen de 10 cm por 20 cm</b></p>	<p>1</p>	
<p><b>LCD con interfaz I2C</b></p>	<p>1</p>	

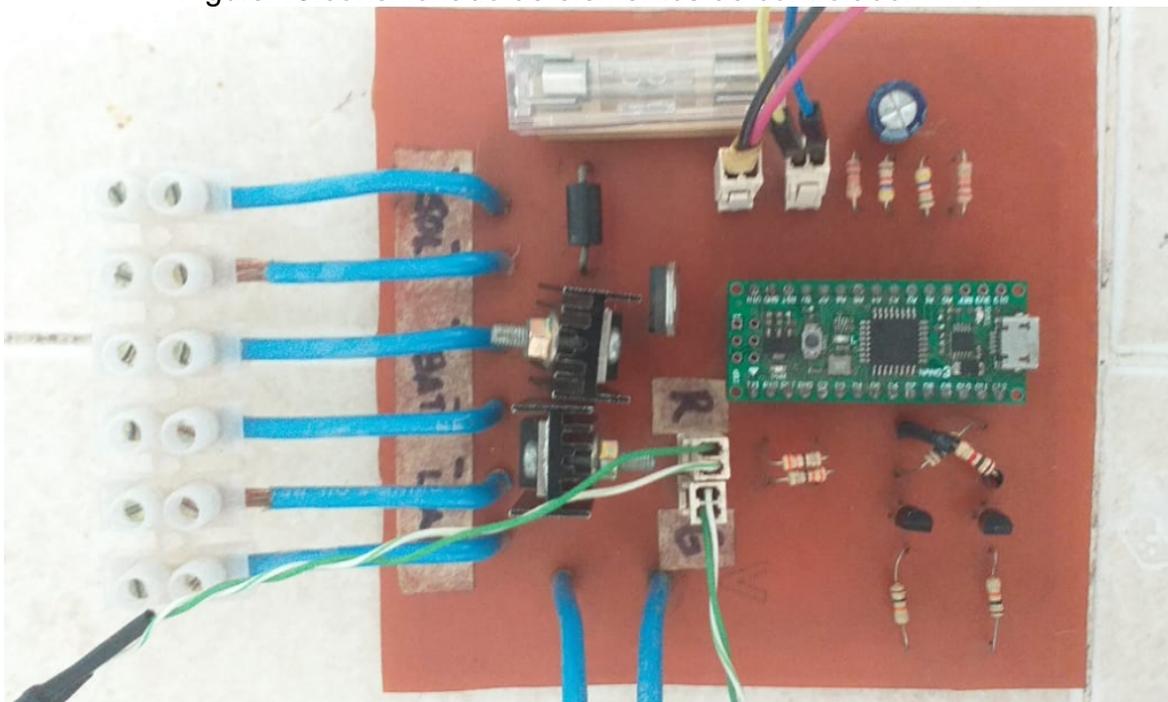
<p><b>Arduino NANO compatible con CH340</b></p>	<p>1</p>	
---	----------	--

Fuente: tomado de, <https://www.instructables.com/id/ARDUINO-SOLAR-CHARGE-CONTROLLER-PWM/>

### Conexión del sistema

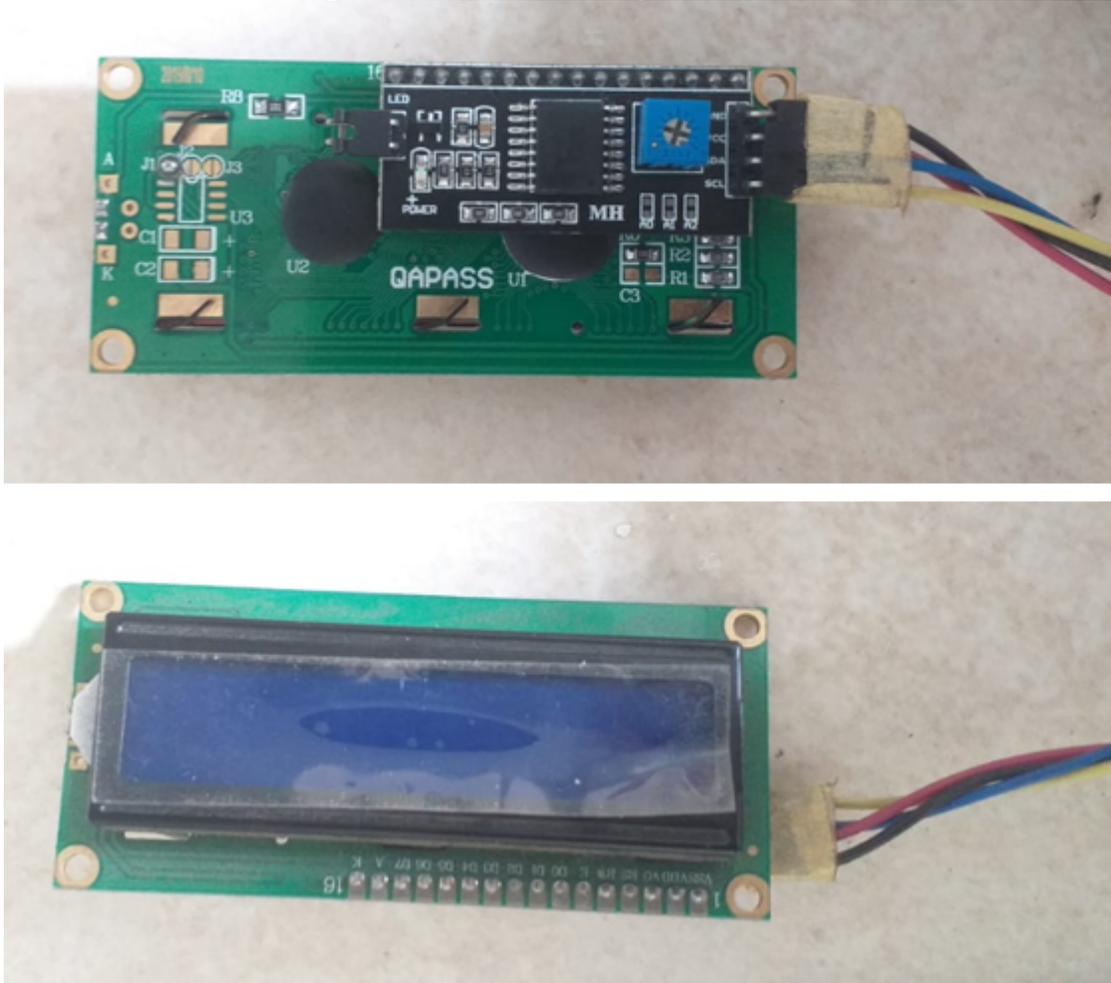
A continuación, se muestra la forma en la cual se conectaron los elementos mostrados en la tabla 1.

Figura 13: conexión de elementos de controlador PWM



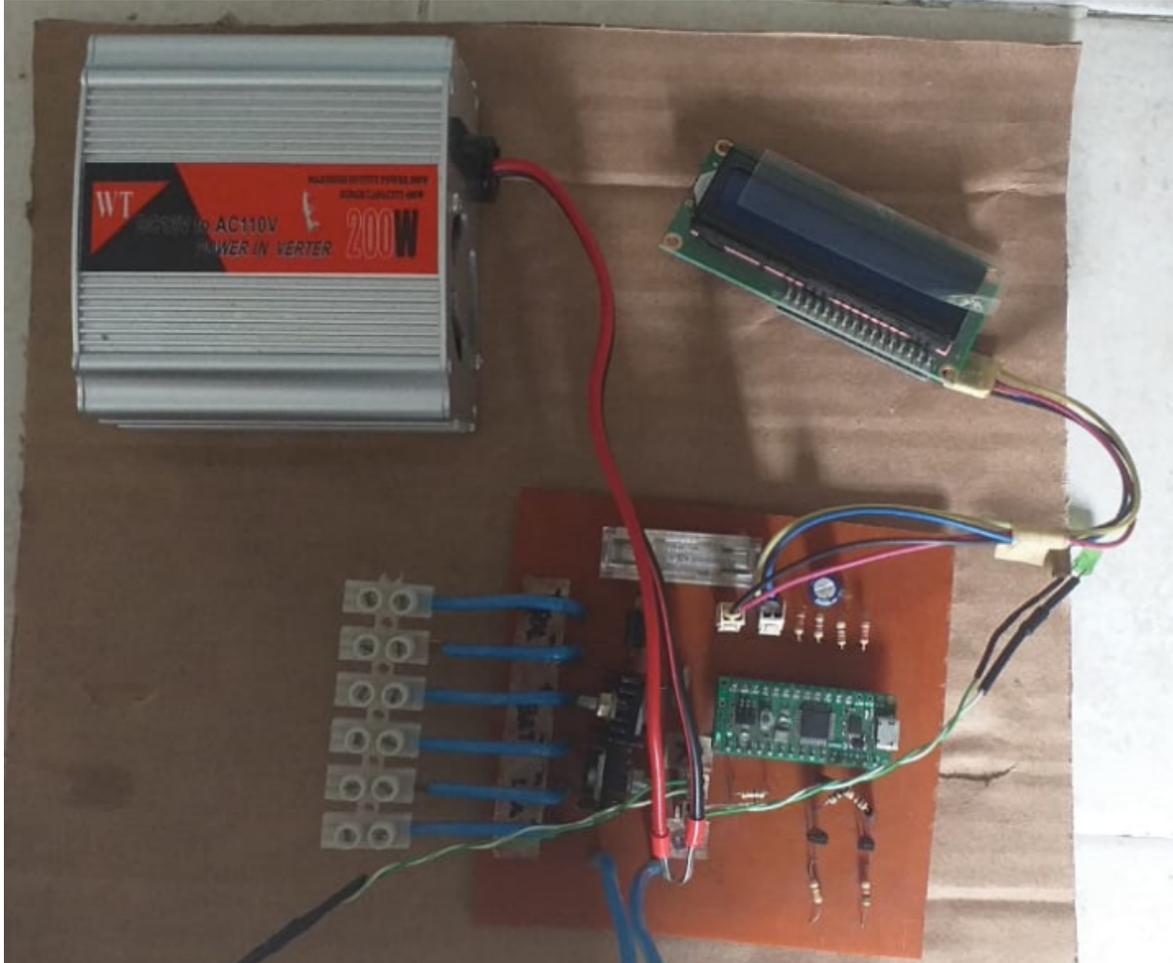
Fuente: Autor

Figura 14: Pantalla LCD para Arduino



Fuente: Autor

Figura 15:conexionado de todo el sistema



Fuente: Autor

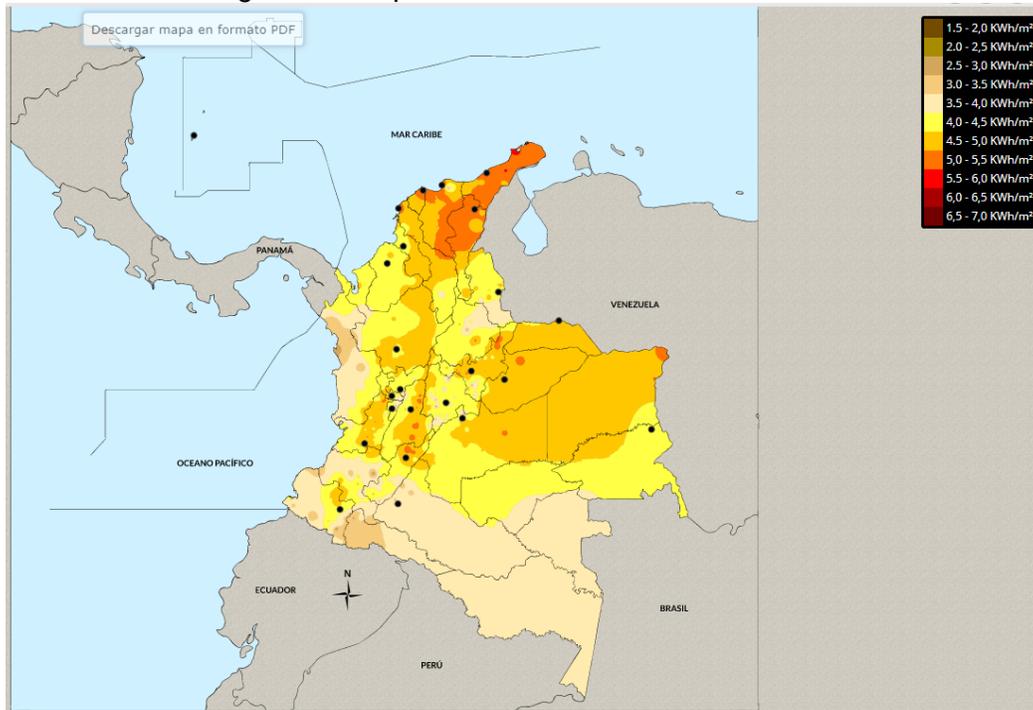
### 3.2. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACION FOTOVOLTAICA CON PANELES SOLARES

Cuando se habla de paneles solares, es importante aclarar que son módulos fotovoltaicos los cuales están formados por un conjunto de celdas que producen electricidad a partir de luz solar que incide sobre ellos, en el proceso de selección de paneles solares es imperativo tener en cuenta un parámetro estandarizado, que permita obtener la potencia máxima que el modulo pueda entregar, para ello

se contemplan unas condiciones que son la radiación solar y la temperatura ambiente.

Para poder seleccionar se utiliza información del atlas de radiación solar, mostrado en la figura.

Figura 16: mapa de radiación solar de Colombia



Fuente: tomado de, <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

En nuestro caso los valores de radiación y temperatura ambiente son  $4000 \text{ W/m}^2$  y  $30^\circ\text{C}$  respectivamente.

Para la selección del panel solar se establece una capacidad mínima requerida, según la demanda estimada la cual es de 50 W.

Para producir 50W se debe seleccionar el área requerida para tal fin:

$$\text{Radiacion} = \frac{\text{potencia}}{\text{Area}}$$

A partir de esta ecuación despejamos el área del panel requerido

$$Area = \frac{potencia}{Radiacion}$$

$$Area = \frac{50 W}{4000 \frac{W}{m^2}} = 0,0125m^2$$

El panel solar seleccionado debe tener mínimo un área de  $0,0125m^2$

Foto 17: Panel solar



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta el cálculo de área mínima requerida se selecciona un panel solar de 54 cm de ancho por 67 cm de largo, el cual tendría un área de:

$$A = bxh = 0.54 m \times 0.67 m = 0.3618 m^2$$

Como se logra ver el área del panel solar es superior al requerido, por tal motivo cumple perfectamente con el requerimiento, adicional a ello se muestra en la siguiente tabla las especificaciones técnicas del panel solar seleccionado, las cuales también se pueden apreciar en el anexo1

Tabla 2: Especificaciones panel solar

Especificaciones técnicas del panel solar		
Descripción	Unidad	Valor
Potencia máxima	W	50
Tolerancia de producción	%	+/- 3
Máxima potencia de corriente (Imp)	(A)	2.73
Máxima potencia de voltaje (Vmp)	(V)	18.9
Corriente de corto circuito (Isc)	(A)	2.9

### 3.3. IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE REGULACION Y DE ALMACENAMIENTO DE CARGA PWM

El corazón del controlador regulador es el Arduino NANO. Este mide el voltaje del panel solar y la batería utilizando dos pines analógicos. Dado a que el Arduino no soporta niveles de voltaje superiores a 5 V, se miden los voltajes utilizando un divisor de tensión con resistencias de 22 kΩ y 4.7kΩ. En el código se usará una conversión para adaptar el valor convertido al nivel de voltaje que realmente tiene tanto la batería con el panel solar.

En el diagrama el transistor Q2 es utilizado como switch para transferir un voltaje promedio que va a variar de acuerdo al porcentaje de ciclo útil de la señal PWM. El Arduino también es quien genera la señal PWM, pero dado que su nivel de voltaje es de 5 V y no tiene el nivel de voltaje requerido para la batería cuyo nivel es de 12 V, se utiliza el transistor IRF 9530. Como circuito de switcheo auxiliar se usan los transistores 2N3904.

De acuerdo a la presencia del panel solar o no y al nivel de voltaje de la batería, el Arduino decide qué porcentaje de ciclo de trabajo aplica al transistor y por ende cambia el voltaje promedio que ve la batería. Al alcanzar el 100% de carga la batería el Arduino mantiene desconectado el panel solar.

Figura 18: Estructura del panel solar

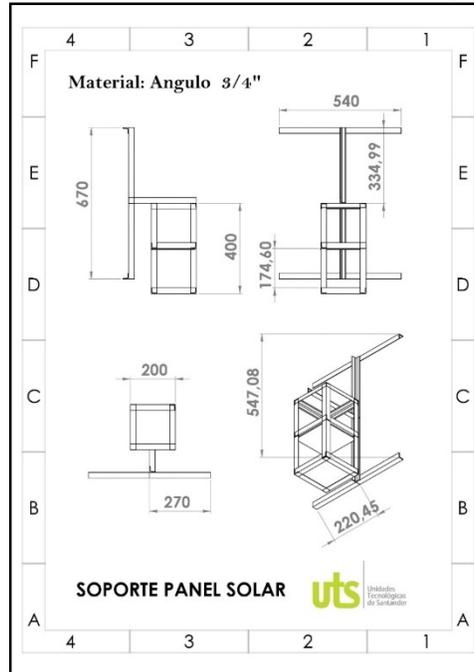


Fuente: Autor

La Figura 12 permite observar la estructura metálica realizada en ángulo de  $\frac{3}{4}$ " como soporte de las baterías y panel solar. Las dimensiones de la pieza son de 66 cm de alto por 53 cm de ancho.

La base cuenta con un soporte en ángulo de 54 cm de ancho por 67 cm de largo el cual se encarga de sujetar desde la parte superior e inferior el panel solar, con tornillos de avance rápido como se observa en la Figura 16.

Figura 19: Dimensiones Base estructura panel solar



Fuente: Autor

A continuación, se muestran los casos bajos los cuales se realiza el control de carga:

El primer caso que encontramos es cuando la batería está en buen estado y tiene un voltaje entre 11.6 V y 12.8 V. Estos niveles de voltajes los asume el Arduino como batería al 0% de carga y batería al 100% de carga. De acuerdo al porcentaje de carga el Arduino controla el ciclo PWM para la carga de la batería. En este caso al estar la carga menor al 75% el LED rojo enciende indicando que no está totalmente con carga.

El segundo caso es cuando la batería ya está al 100% de carga. En este caso le PWM está al 0% de ciclo de trabajo por lo cual no habrá transferencia de energía

del panel a la batería. En este caso el LED verde enciende indicando que la batería está cargada.

El tercer caso es cuando la batería tiene un voltaje menor a 11.5. De acuerdo a la literatura encontrada una batería con un voltaje inferior al 11.2 V se considera que la batería ya cumplió su vida útil y no mantiene su carga de energía.

### 3.4. DISEÑO DEL PSEUDOCÓDIGO DE PROGRAMACION DEL MICROCONTROLADOR

A continuación, se muestra un pseudocódigo en el cual se logra apreciar la lógica bajo la cual trabaja el microcontrolador arduino y la manera en la cual controla la carga de la batería a través del PWM.

#### Explicación del código en Arduino:

Inicialmente lo que se hace es la declaración de las variables dentro de las cuales se tiene “**solar\_volt**” para el voltaje del panel solar y “**bat\_volt**” para el voltaje de la batería.

Posteriormente se leen los voltajes de salida del panel solar y el voltaje de la batería.

```
for(int i=0;i<150;i++)  
{ sample1+=analogRead(A0); //lectura del voltaje de salida del panel.  
sample2+=analogRead(A1); // lectura del voltaje de la batería.  
delay(2);  
}
```

Ejecución del programa de acuerdo a la a los casos planteados inicialmente para el control de carga.

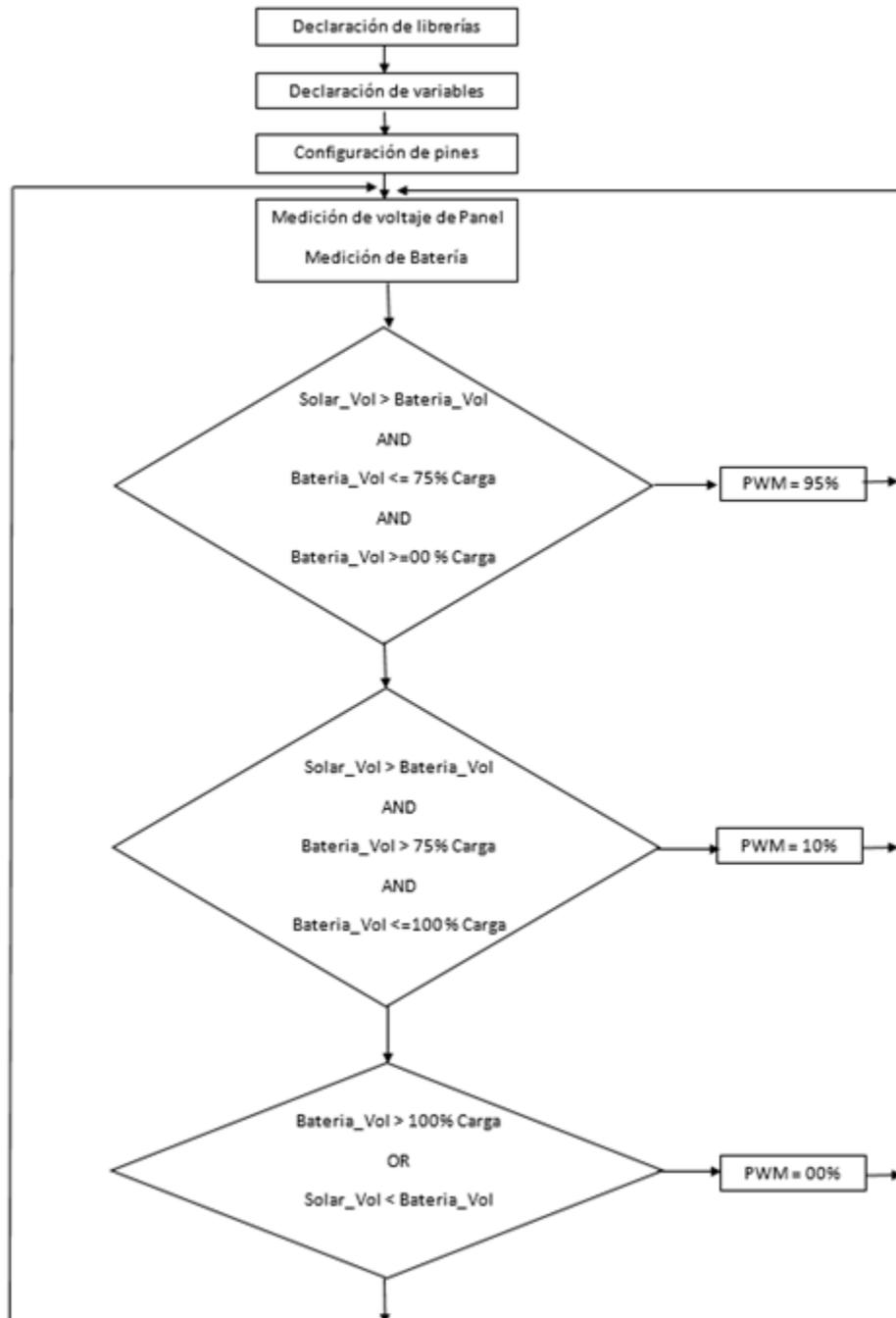
```
sample1=sample1/150;
```

```
sample2=sample2/150;  
solar_volt=(sample1*4.673* 3.127)/1000;  
bat_volt=(sample2*4.673* 3.127)/1000;
```

En el seudocódigo que se muestra en la figura 17 se logra observar los casos bajo los cuales trabaja el microcontrolador controla la carga de la batería a través de los siguientes condicionales:

1. Si el voltaje del panel solar es mayor al de la batería ( $\text{solar\_vol} > \text{Bateria\_vol}$ ) y el voltaje de la batería es menor o igual al 75% de la carga ( $\text{Bateria\_vol} \leq 75\% \text{ carga}$ ) y el voltaje de la batería es superior a 0 ( $\text{Bateria\_vol} \geq 0\% \text{ carga}$ ) entonces el PWM se encuentra a 95%.
2. Si el voltaje del panel solar es mayor al voltaje de la batería ( $\text{solar\_vol} > \text{Bateria\_vol}$ ) y el voltaje de la batería es mayor a la carga de 75% ( $\text{Bateria\_vol} > 75\% \text{ carga}$ ) y el voltaje e la batería es menor e igual al 100% entonces la carga del PWM es de 10%.
3. Si el voltaje de la batería es mayor al 100% de la carga ( $\text{Bateria\_vol} > 100\% \text{ carga}$ ) o el voltaje del panel solar es menor al voltaje de la batería ( $\text{Solar\_vol} < \text{Bateria\_vol}$ ) entonces la carga del PWM es de 00%.

Figura 20. Seudocódigo del controlador Arduino



Fuente: Autor

## 4. RESULTADOS

### Pruebas realizadas al sistema fotovoltaico

En las siguientes imágenes se muestra las pruebas realizadas al sistema de control fotovoltaico.

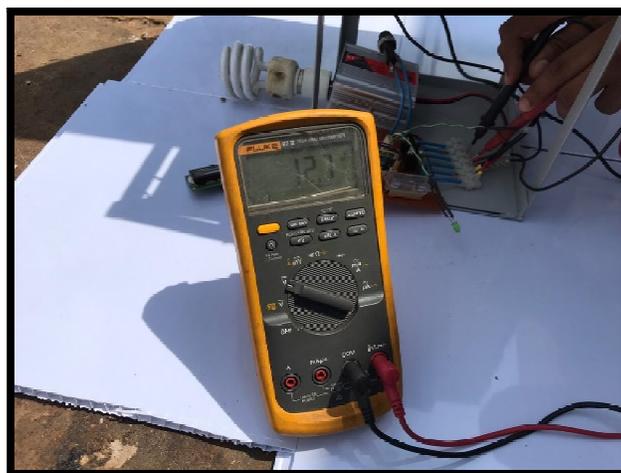
Figura 21: Sistema fotovoltaico



Fuente: Autor

En la figura 17 se puede observar el sistema en su conjunto y el funcionamiento a través del encendido de un bombillo de 40 W.

Figura 22: Tensión suministrada por batería



Fuente: Autor

En la figura 18 se muestra la prueba que es realizada a la batería en la cual se puede ver un valor de 12.1 volt.

Figura 23: Prueba de tensión y corriente



Fuente: Autor

Finalmente en la figura 19 se observa la prueba de tensión y corriente realizada al sistema de control de energía fotovoltaica.

## 5. CONCLUSIONES

- Con el desarrollo del presente trabajo de investigación se logró construir un sistema de control y monitoreo de un panel fotovoltaico utilizando microprocesadores y sensores de medición de bajo costo que permiten obtener datos en tiempo real con una visualización amigable y de fácil manejo.
- Durante la ejecución del proyecto se logró observar los puntos críticos generados mayormente en las atenuaciones y distorsiones que se tienen en el circuito eléctrico durante la toma de datos.
- Una de las mayores ventajas encontradas en el desarrollo del proyecto de investigación es la versatilidad de la información en el sistema, ya que dicha información procesada es obtenida y procesada en tiempo real y por lo tanto no se requiere un post procesamiento.
- Con la elaboración del pseudocódigo se logró entender y mostrar la programación que existe detrás de los microcontroladores y como con ellos es posible estructurar la operación de un dispositivo.

## 6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en el desarrollo de este tipo de proyectos se utilicen equipos de medición certificados al momento de realizar mediciones experimentales que sirvan para corregir las atenuaciones que generalmente se presentan en circuitos eléctricos.
- En caso de hacer modificaciones al sistema fotovoltaico se recomienda realizarlas a las resistencias del medidor de tensión ya que el sistema de control y monitoreo es adaptable a todo tipo de panel fotovoltaico.
- Se recomienda seguir trabajando en proyectos enfocados en energías alternativas, ya que con ello se logra identificar los puntos débiles en el desarrollo de estas tecnologías y en esa medida se pueden enfocar recursos de investigación en ese tipo de brechas.

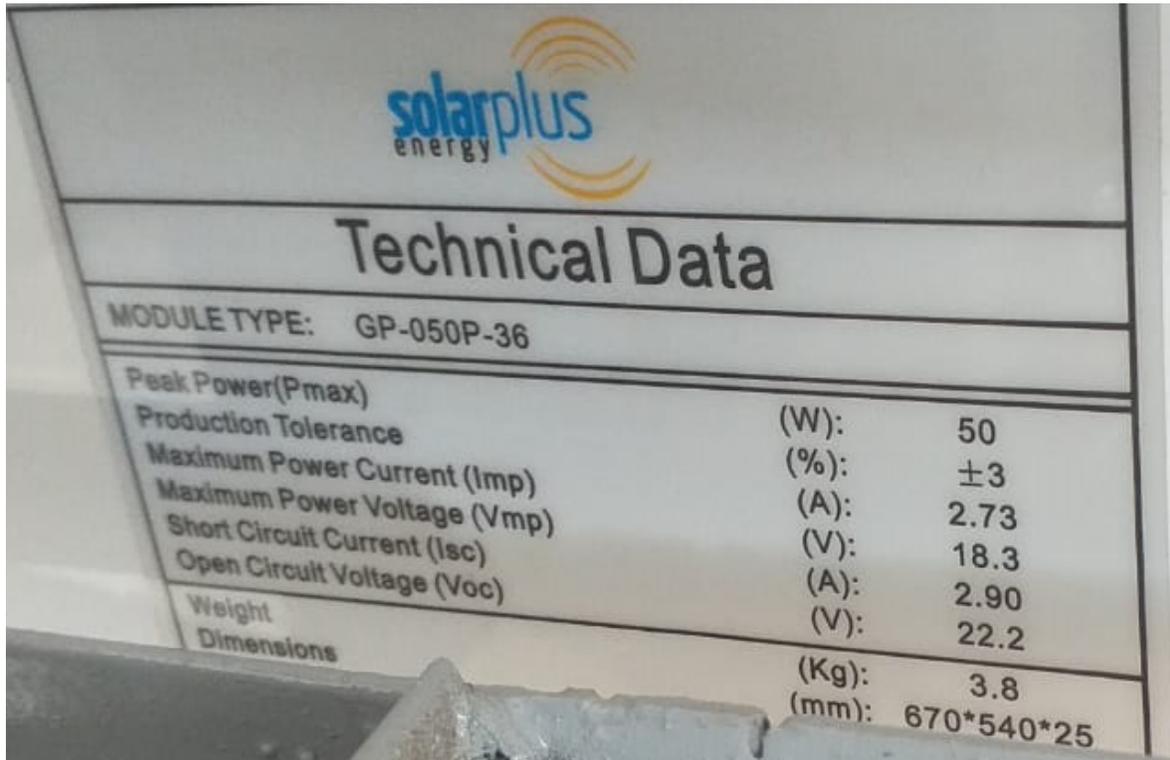
## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M., Martínez, M., & Rubén, E. (2014). *Implementación del sistema eléctrico subterráneo para obtener el suministro de energía eléctrica en media tensión de una tienda de calzados*. México D.F.: Instituto politécnico Nacional.
- Arango, A., & Grisales, A. (2014). *Diseño de la redes eléctricas, apantallamiento y sistema de puesta a tierra de ASIA LOFT AND HALL*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Bermudes, B. (2010). *Especificacion de un sistema de generacion de energia electrica usando paneles fotovoltaicos y convertidores DC/AC*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Casellas, F. (05 de Julio de 2016). *Smart Metering* . Recuperado el 14 de Marzo de 2019, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/9066/5025.pdf>
- Castejon, A. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaica*. Madrid: Editex.
- Castro, F., & Talancon, S. (2012). *Desarrollo y optimización para el suministro de energía eléctrica de un sistema eléctrico que conforma una tienda de autoservicio*. México D.F.: Instituto politécnico Nacional.
- Comellas, J. (2007). *Historia sencilla de la ciencia*. Madrid: Ediciones Rialp S.A.
- Cruz Ardila, J. (2013). Aplicacion electronica para el ahorro de energia electrica utilizando una energia alternativa. *Entramado* , 15.
- Diaz, C. (2011). *Las TICs y la modernizacion de las redes de Energia Electrica* . Bogota : Colciencias .
- Estupiñan , L. (2015). *Estudio de factibilidad tecnica y economica de soluciones de redes inteligentes para el sector electrico colombiano*. Bogota: Smart Grids Colombia.
- Flores, E., Nava, E. d., & Ramírez, A. (2012). *Diagnóstico y propuesta de una nueva red de distribución subterránea para el centro cultural universitario*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Franco Garcia, A. (2016). *Fundamentos Fisicos de Ingenieria*. Pais Vasco : Escuela Universitaria de Ingenieria Tecnica Industrial.
- Garrues, J. (2006). *Historia Industrial*. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Gerwen, R. (2006). *Smart Metering* . New York : LPQI.
- Gómez, R. M. (2015). *Análisis del suministro eléctrico, mejoras de los índices y niveles de calidad en la distribución de energía eléctrica*. Alicante: Universidad Miguel Hernández.
- Hoyos, M., & Paternina, M. (2012). *Propuesta de mejoramiento de la red eléctrica y de telecomunicaciones de la institución educativa Boyacá de Pereira*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ibarra, F. (2012). *Diseño de instalación eléctrica para tienda de autoservicio "supercenter patria"*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Josep, M. (2013). *Diseño de circuito de media tensión para alimentar el corregimiento de San José de Oriente (Cesar)*. Barranquilla: Universidad de la Costa.
- Lozad, J. C. (2010). *Teoria PWM (Modulacion por Ancho de Pulsos)*. Mexico : CIDETEC.

- Narvaez, Y., & Prado, K. (2012). *Diseño de redes de distribución eléctrica de media y baja tensión para la normalización del barrio el piñoncito de campo de la cruz*. Barranquilla: Universidad de la Costa C.U.C.
- Osorio, M. O. (2010). *Ciencias Andinas Aplicadas*. Lima, Perú: Mario Osorio Olazábal.
- Peña, I. (2003). *Celdas fotovoltaicas para energizar un sistema de bombeo de agua*. Mexico: UAMI.
- Przybylik, M. (2012). *Customer Empowerment*. Bombay: Sushel Kalia.
- Purcell, E. M. (2005). *Electricidad y magnetismo*. Barcelona: Reverté S.A.
- Ramos, C. (2007). *Uso eficiente y sostenible de los recursos naturales*. España: PRINTED.
- Rosas, R. M. (2003). *Tecnología eléctrica*. Barcelona: UPC.
- Sanchez, J. (2016). *Estimacion del impacto de las redes electricas inteligentes (Smart Grids) en el precio dela electricidad en colombia*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Tellez Gutierrez , S., & Rosero Garcia , J. (2018). Sistemas de medicion avanzada en Colombia:Beneficios Retos y Oportunidades . *Ingenieria Y Desarrollo* , 20.
- Tellez Gutierrez, S. (2018). *sistemas de medicion avanzada en Colombia: beneficios, retos y oportunidades*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.

## 8. ANEXOS

Anexo 1: especificaciones técnicas del panel solar



Technical Data		
MODULE TYPE: GP-050P-36		
Peak Power(Pmax)	(W):	50
Production Tolerance	(%):	±3
Maximum Power Current (Imp)	(A):	2.73
Maximum Power Voltage (Vmp)	(V):	18.3
Short Circuit Current (Isc)	(A):	2.90
Open Circuit Voltage (Voc)	(V):	22.2
Weight	(Kg):	3.8
Dimensions	(mm):	670*540*25

## Anexo 2. Diodo 1N4007

### Diodo 1N4007

El **Diodo 1N4007** es un dispositivos utilizado hoy en día en muchos proyectos electrónicos.



#### Sumario

- 1 Descripción
- 2 Principales características
- 3 Aplicaciones
- 4 Enlaces externos
- 5 Fuentes

### Descripción

1N4007 es uno de los diodos de una serie muy utilizados en infinidad de equipos electrónicos. Se utiliza principalmente para convertir la corriente alterna en directa. Su encapsulado es de tipo DO-41.

### Principales características

- Tensión inversa de pico máximo: 1KV (VRRM)max
- Tensión máxima en un circuito rectificador de media onda con carga capacitiva: 500 V (Vef)
- Rango de temperatura: - 65 °C a +125 °C
- Caída de tensión: 1,1 V (VF)max
- Corriente en sentido directo: 1 A (If)
- Corriente máxima de pico: 30 A (Ifsm)max

### Aplicaciones

Fuentes de alimentación.

Otros dispositivos que lo requieran.

### Anexo 3. Resistencia de 22kΩ 1/4W



### Resistencia de 22KΩ 1/4W

---

**Ref:** R-22K/1/4W

Resistencia de 22KΩ, potencia de 1/4W.

#### Descripción:

---

Resistencia de 22KΩ, potencia de 1/4W.

#### Características:

- Resistencia: 22KΩ
- Potencia: 1/4W
- Material: Carbón
- Tipo de montaje: Through hole

#### Anexo 4: condensador electrónico



#### Descripción

Condensador electrolítico de aluminio forma cilíndrica.

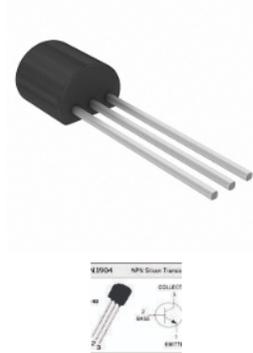
#### Características

- Tipo: Aluminio
- Capacidad: 100 uF
- Máximo voltaje corriente directa : 16VDC
- Tolerancia: 20%
- Forma volumétrica: Cilindro
- Tipo: Inserción (TH)
- Estilo de terminación: Radial
- Rango de temperatura de operación: -40°C hasta +85°C

#### Aplicaciones

- Fuentes de poder.
- Multipropósito.

## Anexo 5: transmisor



### Transistor 2N3904 NPN

\$3.00

739 disponibles

1

+

-

AÑADIR AL CARRITO

SKU: 0410191

Categoría: NPN

#### Descripción

## Descripción

### 2N3904

Transistor 2N3904 de pequeña señal. El 2N3904 es un transistor de conmutación rápida, corta apague y baja tensión de saturación, adecuado para la conmutación y amplificación.

El transistor es un dispositivo electrónico semiconductor utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada.

Actualmente se encuentra prácticamente en todos los aparatos electrónicos de uso diario tales como radios, televisores, reproductores de audio y video, relojes de cuarzo, computadoras, lámparas fluorescentes, tomógrafos, teléfonos celulares, aunque casi siempre dentro de los llamados circuitos integrados.

#### Especificaciones

- TRANSISTOR BIPOLAR, NPN, 40 V, TO-92
- Polaridad del transistor: NPN
- Voltaje V (br) ceo: 40 V
- Transición de frecuencia ft: 300 MHz
- Disipación de potencia Pd: 625 mW
- DC Corriente del colector: 200 mA
- Ganancia de corriente continua hFE: 100
- Rango de temperatura de funcionamiento en el empalme de -55 ° C a 150 ° C
- Colector emisor tensión de saturación es inferior a 300 mV en Ic = 10 mA
- DC ganancia de corriente es mayor que 30 en Ic = 100 mA
- Encapsulado TO-92
- 3 pines
- Sustituto: NTE123AP

### Anexo 6: placa de perforación



de microtivity

microtivity im408 doble cara Prototipos Junta (8 x 12 cm, pack de 2)

★★★★☆ 12 calificaciones

Precio: US\$ 6.29 + Sin depósito de derechos de importación y US\$ 23.12 de envío a Colombia [Detalles](#)

#### Especificaciones para este producto

Código UNSPSC	41000000
Ean	0721405251162
Nombre de la marca	microtivity
Número de pieza	IM408
Peso del producto	2.47 onzas
UPC	721405251162

[Lee la descripción completa del producto](#)

### Anexo 7: LCD visualización para Arduino



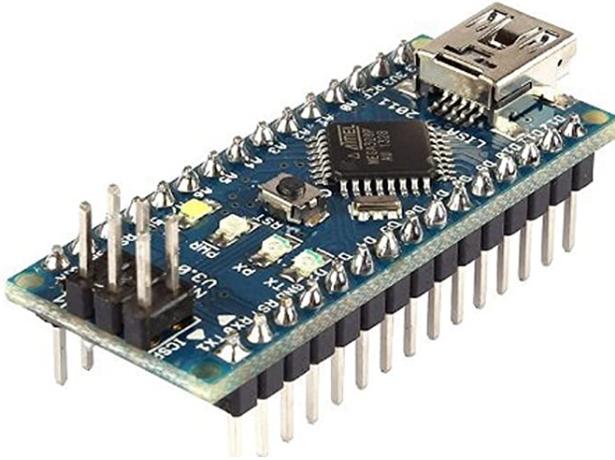
LCD visualización Módulo Para Arduino, Azul

de ESUMIC

★★★★☆ 17 calificaciones

- display 2-lines X 16-characters
- Operate with 5V DC
- Module dimension: 80mm x 36mm x 12mm
- Viewing area size: 64.5mm x 16mm
- LCD display module with blue backlight

### Anexo 8:Arduiono uno



SainSmart Nano v3.0 compatible con Arduino.

de SainSmart



189 calificaciones | 12 preguntas respondidas

Precio: **US\$ 5.90**

- Microcontrolador Atmel ATmega328
- Voltaje de funcionamiento (nivel lógico) 5 V
- Voltaje de entrada (límites) 6-20 V
- Pines de E/S: 14 digitales, 8 analógicos gratis.
- Memoria flash - 32 KB (2 KB utilizados por el gestor de arranque)