



Universidad del Azuay
Facultad de Ciencia y Tecnología
Escuela de Ingeniería Electrónica

**Estudio e implementación de un árbol solar inmótico
autosustentable desarrollado en software libre.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de tercer nivel en:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Autor

JUAN BERNARDO CORNEJO GAIBOR

Director

ING. FRANCISCO EUGENIO VÁZQUEZ CALERO

CUENCA, ECUADOR

2015

DEDICATORIA

Dedico esta tesis de manera especial a mi madre Lourdes y a mi padre Iván pues ellos son el principal cimiento en el desarrollo de mi vida profesional, sentaron en mí las bases de responsabilidad y superación, sus virtudes son infinitas y sus corazones me llevan a admirarlos cada día más.

A mi hermano quien desde siempre me abrió los ojos y me indico el camino hacia el éxito, por enseñarme lo que no sabía y por ayudarme en lo que no podía.

A mis abuelitos y toda mi familia que siempre estuvieron ahí para apoyarme.

Tú, quien ha sido mi mano derecha estos últimos años; te agradezco por darme una mano cuando más la necesite, por apoyarme en mis más locas ideas y por estar conmigo en los buenos y malos momentos. Gracias Angie.

Bernardo Cornejo.

Debe ser simple para ser cierto.
Sino es simple, probablemente no podremos descifrarlo.

A.Einstein

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi director de tesis, Ing. Francisco Vázquez quien aportó con sus ideas y materiales para el desarrollo de este trabajo. También agradezco al tribunal, a los ingenieros Bolívar Méndez y Eduardo Sempertegui, quienes me aportaron con sus sugerencias y su experiencia.

A todos mis amigos, compañeros, profesores y maestros que conocí en mi vida estudiantil.

Bernardo Cornejo.

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ÁRBOL SOLAR INMÓTICO
AUTOSUSTENTABLE DESARROLLADO EN SOFTWARE LIBRE.**

RESUMEN

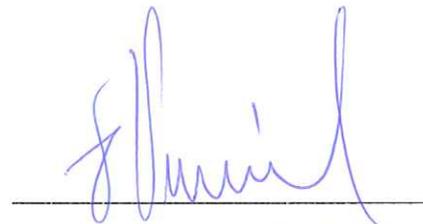
“Árbol Solar” es un dispositivo que aprovecha la luz del Sol, orientado hacia nuevas tecnologías y desarrollado con software libre para generar, almacenar y ahorrar energía limpia evitando emitir al medio ambiente alrededor de 89m^3 de CO_2 cada 7 días. Actualmente la matriz energética del país está cambiando y la energía solar es una de ellas a la cual nuestros gobernantes están apostando para un futuro con conciencia social ecológica. Este trabajo de grado integra electrónica de control y de potencia, de esta manera “Árbol Solar” reúne todas estas bondades tecnológicas con fines energéticos de uso libre, habilitando un lugar para cargar dispositivos electrónicos portátiles dependientes de pequeñas fuentes de energía o baterías.

Palabras Clave: Árbol solar, autosustentabilidad, inmótico, arduino, azimut, irradiancia, STC, GaAs, DNER, Boltzman, h.p.s.



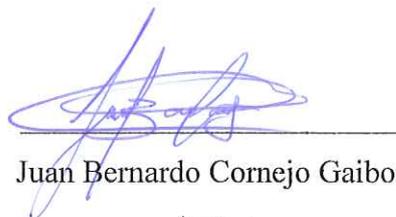
Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea

Director de Escuela



Ing. Francisco Eugenio Vázquez Calero

Director de Tesis



Juan Bernardo Cornejo Gaibor

Autor

STUDY AND IMPLEMENTATION OF AN INMOTIC SELF-SUFFICIENT SOLAR TREE DEVELOPED IN FREE-SOFTWARE.

ABSTRACT

"Solar Tree" is a device that uses sunlight, aimed to new technologies and developed with free-software to generate, store, and save clean energy preventing from emitting to the environmental around 89m³ of CO₂ every 7 days. Currently, the country's energy matrix is changing, and solar power is one of which our government is considering for a social-ecological consciousness future. This graduation work integrates control and power electronics; hence, "Solar Tree" combines all these technological advantages for free-use energy purposes, enabling a place to upload portable electronic devices that dependent on small power sources or batteries.

Keywords: Solar Tree, Self-Sufficient, Inmotic, Arduino, Azimuth, Irradiance, STC, GaAs, DNER, Boltzmann, H.P.S



Ing. Hugo Marcelo Torres Salamea
School Director



Ing. Francisco Eugenio Vázquez Calero
Thesis Director



Juan Bernardo Cornejo Gaibor
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDOS	PAG.
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO 1: CARACTERISTICAS DEL ÁRBOL SOLAR Y TECNOLOGIAS PARA APLICAR ARDUINO.

1.1 Introducción.....	3
1.2 Árbol Solar.....	3
1.2.1 Concepto de “Árbol Solar”.....	5
1.2.2 Características del Árbol Solar.....	5
1.2.3 Paneles Solares.....	5
1.2.4 Paneles Solares Fotovoltaicos.....	6
1.2.4.1 Tipos Paneles Solares Fotovoltaicos.....	7
1.2.4.2 Rendimiento.....	13

1.2.4.3 Eficiencia.....	13
1.2.4.4 Pérdidas.....	15
1.2.4.5 Parámetros de Funcionamiento.....	19
1.2.4.6 Curva Característica de un Panel Fotovoltaico I-V.....	21
1.2.5 Acumuladores o Baterías.....	23
1.2.5.1 Parámetros de un Acumulador o Batería.....	24
1.2.5.2 Baterías de Plomo-Ácido (Pb-Ácido).....	26
1.2.5.3 Tipos de batería de Plomo Ácido (II).....	32
1.2.6 Regulador de Carga.....	33
1.3 Cálculos Eléctricos y Orientación de Paneles Fotovoltaicos.....	35
1.3.1 Cálculos Eléctricos.....	35
1.3.2 Orientación de Paneles Fotovoltaicos.....	40
1.3.2.1 Azimut (α).....	40
1.3.2.2 Inclinación (β).....	41
1.3.2.3 Cálculo por pérdida de inclinación.....	41
1.4 Arduino.....	45
1.4.1 Concepto.....	46
1.4.2 Características.....	46
1.4.2.1 Alimentación de Energía para Arduino Mega.....	48
1.4.2.2 Memoria.....	49
1.4.2.3 Puertos de Entradas y Salidas.....	49
1.4.2.4 Comunicación.....	50

1.4.2.5 Carga y Restablecimiento de código (Software).....	50
1.4.3 Características Físicas.....	50
1.4.4 Programación.....	51
1.4.4.1 Características de Arduino IDE 1.0 o Arduino 0019.....	53
1.4.4.2 Entorno de Desarrollo.....	53

CAPITULO 2: DISEÑO DEL HARDWARE PARA EL ÁRBOL SOLAR.

2.1 Introducción.....	54
2.2 Etapa 1. Generación de Electricidad.....	55
2.2.1 Cálculo de la Demanda.....	56
2.2.2 Cálculo del Calibre para Conductores.....	60
2.2.3 Conexión y Desconexión de Paneles y Salidas de Voltaje.....	62
2.2.3.1 Características del Circuito Conexión y Desconexión de Paneles y Salida de Voltaje.....	62
2.3 Etapa 2. Acumulación de Energía.....	63
2.3.1 Cálculo de la Capacidad de la Batería.....	63
2.3.2 Control de corriente generada y acumulada.....	64
2.3.3 Circuito Regulador de Voltaje.....	64
2.4 Etapa 3. Distribución de Energía.....	65
2.4.1 Circuito de Salida DC.....	65
2.4.2 Circuito Controlador para la Salida AC.....	66
2.5 Etapa 4. Filtración.....	67

2.5.1 Circuito de amplificación y filtración de señales.....	67
2.6 Etapa 5. Diseño PCB.....	68

CAPITULO 3: DISEÑO DEL SOFTWARE PARA ARDUINO.

3.1 Introducción.....	70
3.2 Etapa 1. ATMEL ATMEGA 2560. Esquema.....	71
3.3 Etapa 2. Diagrama de funcionamiento del programa (Firmware), para el Árbol Solar.....	72
3.4 Etapa 3. Enlace.....	74
3.5 Etapa 4. Control.....	75
3.6 Etapa 5. Visualización.....	76
3.7 Etapa 6. Código de Programa.....	77

CAPITULO 4: IMPLEMENTACIÓN DEL ÁRBOL SOLAR.

4.1 Introducción.....	84
4.2 Etapa 1. Construcción e instalación de la estructura del Árbol Solar.....	85
4.3 Etapa 2. Unión Software-Hardware.....	94
4.3.1 Fase 1. Cableado.....	95
4.3.2 Fase 2. Comunicación.....	96

**CAPITULO 5: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS
EXPERIMENTALES.**

5.1 Introducción.....	100
5.2 Estadísticas.....	100
5.2 Resultados.....	106
5.3 Costo unitario aproximado.....	111
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comportamiento de la vida útil de una batería a diferentes temperaturas	29
Tabla 1.2 Características de Arduino ATmega2560.....	48
Tabla 2.1 Cálculo de Demanda.....	56
Tabla 2.2 Cálculo de número de Paneles.....	58
Tabla 4.1 Presupuesto para el Árbol Solar.....	94
Tabla 5.1 Cuadro de consumo real del árbol solar basado en consumo real.....	106
Tabla 5.2 Cálculo de la demanda y el número de paneles.....	108
Tabla 5.3 Cálculo de la capacidad del banco de baterías.....	109
Tabla 5.4 Resultado final en uso de paneles solares y capacidad de banco de baterías.....	110
Tabla 5.5 Costo unitario Aproximado de el Árbol Solar.....	111

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Cálculo de la eficiencia de un panel solar en condiciones STC.....14

Ecuación 1.2 Cálculo para el Factor de Forma.....20

Ecuación 1.3 Cálculo para la Potencia Máxima.....20

Ecuación 1.4 Ecuación característica de la corriente de un panel solar.....22

Ecuación 1.5 Ecuaciones de corrientes y voltaje en condiciones determinadas.....23

Ecuación 1.6 Ecuación química de una reacción dentro de la batería de Pb-
Ácido.....26

Ecuación 1.7 Ecuación de Shockley. E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los
sistemas fotovoltaicos.....36

Ecuación 1.8 Ecuación de Voltaje de Circuito Abierto. E. Lorenzo Energía Solar:
Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos.....37

Ecuación 1.9 Ecuación del consumo diario de un sistema fotovoltaico.....37

Ecuación 1.10 Ecuaciones para la determinación de los rangos de voltajes máximos
de funcionamiento.....37

Ecuación 1.11 Ecuación para el cálculo del número de módulos fotovoltaicos en
paralelo.....38

Ecuación 1.12 Ecuación de consumo expresado en corriente al día.....38

Ecuación 1.13 Ecuación de la producción de un panel al día.....38

Ecuación 1.14 Ecuación del cálculo de la sección de área de un conductor.....40

Ecuación 1.15 Ecuación de pérdida por inclinación.....42

Ecuación 2.1 Amplificador No Inversor.....68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Árbol solar, plaza de San Juan, Londres.....	4
Figura 1.2	Generación de Electricidad en Panel Solar.....	6
Figura 1.3	Pasos para la creación de una Célula Solar Monocristalina.....	9
Figura 1.4	Formas de las células de monocristalinas vs policristalinas.....	10
Figura 1.5	Panel Solar de Silicio Amorfo.....	11
Figura 1.6	Curva característica de la eficiencia del GaAs con respecto a los otros materiales. Ancho del “ gap “.....	12
Figura 1.7	Variación del rendimiento en función de la irradiancia incidente para una $T_{panel}=25^{\circ}C$	18
Figura 1.8	Curvas de una célula solar fotovoltaica en función de la temperatura..	19
Figura 1.9	Parámetros de un Panel Fotovoltaico.....	21
Figura 1.10	Curva característica I-V, con sus principales elementos, de una célula fotovoltaica.....	22
Figura 1.11	Proceso de carga y descarga de baterías de Pb-Ácido.....	27
Figura 1.12	Comportamiento de una batería de Pb-Ácido a $25^{\circ}C$ (Revista Home Power, 2012).....	30
Figura 1.13	Comportamiento de una batería de Pb-Ácido a $1^{\circ}C$ (Revista Home Power, 2012).....	30
Figura 1.14	Diagrama de Bloques del Funcionamiento de un Sistema Solar.....	34
Figura 1.15	Sentido de la corriente de I_L y de I_D de una panel fotovoltaico.....	36
Figura 1.16	Tabla de Irradiancia. Software RETScreen 4.....	39
Figura 1.17	Ángulos Azimut e Inclinación.....	41

Figura 1.18 Atlas Solar del Ecuador. Insolación Difusa Promedio Anual.....	43
Figura 1.19 Atlas Solar del Ecuador. Insolación Directa Promedio Anual.....	43
Figura 1.20 Atlas Solar del Ecuador. Insolación Global Promedio Anual.....	44
Figura 1.21 Rendimiento del panel y el ángulo de inclinación en Cuenca Ecuador Software PVSyst 6.3.4.....	44
Figura 1.22 Módulo Arduino Mega 2560.....	47
Figura 1.23 Estructura de un programa sencillo en lenguaje C.....	51
Figura 1.24 Imágenes del Software Arduino IDE 1.0 o 0019 para Ubuntu.....	52
Figura 2.1 Curva característica del funcionamiento de un panel solar.....	55
Figura 2.2 Imagen del programa Censol 5.0 con los niveles de radiación mensual en la ciudad de Cuenca.....	59
Figura 2.3 Imagen del programa Censol 5.0 calculado cantidad de paneles y baterías.....	59
Figura 2.4 Tabla del Calibre de Conductor norma Americana (AWG).....	60
Figura 2.5 Imagen del circuito de conexión y desconexión del panel y salidas de voltaje.....	62
Figura 2.6 Imagen del circuito regulador de voltaje.....	64
Figura 2.7 Imagen del circuito salida DC.....	66
Figura 2.8 Imagen del circuito salida AC.....	66
Figura 2.9 Imagen de un circuito amplificador no inversor.....	67
Figura 2.10 Diseño de la huella PCB para la elaboración de la tarjeta electrónica que controlará todos los periféricos que se encuentran en el árbol solar. (Altium Designer 10.8 2011.).....	69
Figura 3.1 Esquema de distribución de pines del & microcontrolador ATMEGA 2560.Fuente: (Atmel, Datasheet ATMEGA 2560).....	71

Figura 3.2 Diagrama de funcionamiento del programa que está desarrollado para Arduino.....	73
Figura 3.3 Esquema de comunicación de los sensores con Arduino.....	74
Figura 3.4 Esquema de circuito amplificador de señales para su procesamiento dentro de Arduino.....	76
Figura 3.5 identificación de cada dato en la visualización del display en el Árbol Solar.....	77
Figura 4.1 Esquema de funcionamiento del Árbol Solar.....	85
Figura 4.2 Árbol de Faique en la ciudad de Cuenca.....	86
Figura 4.3 Estructura del Árbol Solar.....	87
Figura 4.4 Estructura del Árbol Solar. (Dimensiones).....	88
Figura 4.5 Coordenadas y dirección de salida del sol en Cuenca.....	89
Figura 4.6 Imagen debajo de la banca donde se sitúan el equipo, sensores y las baterías.....	90
Figura 4.7 Módulo que entrega la energía DC a diferentes dispositivos, este se encuentra por encima de la banca.....	91
Figura 4.8 Señaletica e información de modo de uso del módulo que entrega la energía DC.....	91
Figura 4.9 Toma corriente incrustado en la estructura del Árbol Solar.....	92
Figura 4.10 Señaletica e información de modo de uso del módulo que entrega la energía AC.....	93
Figura 4.11 Fase 1 de construcción, comunicación y prueba de funcionamiento de puertos.....	95
Figura 4.12 Fase 1 Construcción, estructura metálica.....	96
Figura 4.13 Fase 2. Circuitos integrados. Equipo del Árbol Solar.....	96

Figura 4.14 Fase 2. Protector del equipo controlador del árbol solar.....	97
Figura 4.15 Fase 2. Módulo, banco de baterías, sensores y equipo ubicados debajo de la banca, funcionando en un solo conjunto.....	98
Figura 4.16 Implementación del Árbol Solar.....	99
Figura 5.1-5 Gráfica de comportamiento del voltaje, la corriente y consumo en el Árbol Solar.....	101-105
Figura 5.6 Resultado final: “Árbol Solar”.....	110

Juan Bernardo Cornejo Gaibor.

Trabajo de Graduación

Ing. Francisco Eugenio Vázquez Calero.

Septiembre, 2015

**ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ÁRBOL SOLAR INMÓTICO
AUTOSUSTENTABLE DESARROLLADO EN SOFTWARE LIBRE.**

INTRODUCCIÓN

En estos últimos años, en el país se incrementó un interés en el desarrollo de las denominadas fuentes alternativas de generación de energía, como consecuencia del agotamiento de los combustibles fósiles, motivada por una creciente conciencia en la necesidad de cuidar el medio ambiente.

Por otro parte el Ecuador cuenta con el plan de cambio de matriz energética, actualmente en ejecución, donde la DNER tiene como objetivo principal fomentar el desarrollo de proyectos de generación de energía renovable. El viento, el agua, el sol... son algunas de las fuentes de energía que se encuentran en todo nuestro alrededor y cada día somos más las personas que las utilizamos en nuestra vida diaria. Específicamente la energía solar y los artefactos que aprovechan su radiación para convertirla en energía eléctrica y luego en lumínica, se encuentran cada vez más en diferentes lugares de nuestro planeta, por ejemplo en el Oriente Ecuatoriano, donde las comunidades que habitan estas zonas aprovechan del sol y su radiación para iluminar sus casas en las noches, en otras partes del mundo, como en Europa, la energía solar es aprovechada a tal punto que en algunos países, Italia específicamente, en la provincia de Lecce, tiene proyectos para levantar plantas de energía renovable para satisfacer la demanda de unos 3000 hogares, al mismo tiempo que se reducirán las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

¿Porque nosotros no podríamos realizar el mismo aporte en nuestra universidad?, de aprovechar esta energía limpia para poder cargar nuestros teléfonos, laptops o lo que llevemos encima que dependa de baterías para mantenerse funcionando.

De esta manera se hace un aporte al medio ambiente reduciendo las emisiones de dióxido de carbono y dar una alternativa diferente para obtener energía a partir de este tipo de proyectos autosustentables.

CAPÍTULO 1

CARACTERÍSTICAS DEL ÁRBOL SOLAR Y TECNOLOGÍAS PARA APLICAR ARDUINO

1.1 Introducción.

El sol es el elemento más grande del sistema solar y la estrella más cercana al planeta tierra. Por siempre ha sido la principal fuente de vida y origen de los diferentes tipos de energía que el hombre ha utilizado desde un principio, puede llegar a satisfacer todas nuestras necesidades energéticas si diariamente aprovecharíamos casi toda la luz que llega a la tierra.

Existen muchas maneras de aprovechar la energía solar, una de las más importantes es la que se genera electricidad a partir de paneles fotovoltaicos, produciendo una cantidad suficiente de corriente para poder utilizarla en cualquiera de nuestras necesidades energéticas.

En el presente capítulo se da una descripción de lo que es un árbol solar, sus características y beneficios que estos podrían llegar a obtener, además de las tecnologías y nuevas tendencias en electrónica para crear equipos que puedan llegar a mejorar su funcionamiento siendo desarrollados en software libre.

1.2 Árbol Solar.

El término “árbol solar”, es algo nuevo que se está implementado a nivel mundial para generar energía, preservar el medio ambiente e iluminar ambientes con un funcionamiento independientemente a la red eléctrica.

El árbol solar fue ideado por Ross Lovegrove, (Lovegrove, 2012), diseñador industrial que crea una nueva tendencia en iluminación con farolas experimentales que unen el diseño, la ecología y el ahorro energético. Desde el principio de su trayectoria, se distinguió por realizar un tipo de diseño sostenible, que partía estéticamente de formas orgánicas, como células, especies vegetales, vinculándose con la selección de los

materiales que utiliza para realizar sus diseños, el minimalismo y el ahorro son también característicos al momento de presentar sus creaciones.

El primer prototipo de un árbol solar fue presentado en Viena en el 2007 y con algunas modificaciones en la semana de diseño de Clerkenwell, que se celebra anualmente en Londres, se observa muchas de las características de Ross, un conjunto estructural en donde se ramifica a partir de un único tallo de los que se proyectan en todas las direcciones, alguna especie de ramas, en donde contienen paneles solares, que cuya cara interior está integrada con iluminación led.



Figura 1.1 Árbol solar, plaza de San Juan, Londres.

Fuente: (<http://www.miprv.com/plantan-un-arbol-solar-en-inglaterra/>)

La imagen anterior muestra un árbol solar plantado en la plaza de San Juan en la ciudad de Londres, como un proyecto de iluminación pública, con el objetivo de mostrar una alternativa diferente para aprovechar la energía del sol, proyecto impulsado por Ross Lovegrove en conjunto con una empresa italiana que fabrica luminarias, estos árboles funcionaron todo el tiempo que duraron los juegos olímpicos y paraolímpicos celebrados en ese país en el 2012.

Esta tesis consiste en realizar un prototipo similar a un árbol solar mejorado, aumentando tecnología para economizar energía y utilizarla en más de un beneficio, satisfaciendo diferentes necesidades que en la actualidad se nos vienen presentando.

1.2.1 Concepto de “Árbol Solar”

Dispositivo autosustentable basado en tecnología, que aprovecha la luz del sol para generar electricidad, con el fin de satisfacer necesidades energéticas, favorecer su entorno y al medio ambiente.

1.2.2 Características del Árbol Solar.

Este sistema autosustentable está compuesto por varios elementos, que hacen que la energía proveniente del sol sea aprovechada, transformada, acumulada, administrada y posteriormente ocupada para diferentes tipos de usos y necesidades.

Los Acumuladores, los reguladores, las luminarias son necesarios pero sin duda las partes más importantes de este sistema son los módulos que aprovechan la radiación solar, para aquello es necesario el uso de paneles solares.

1.2.3 Paneles Solares.

Son módulos que utilizan la energía del sol que llega a la tierra, un invento que se ha creado con el fin de contribuir a la ecología y al medio ambiente. Este término comprende a dos tipos de paneles solares, el primero es el que sirven para calentar agua y los otros que sirven para generar una corriente eléctrica, ambos por medio de la captación de la energía lumínica.

Estos dispositivos basados en la acción de radiación lumínica sobre algunos materiales, metales en su gran mayoría, pueden ser de tres tipos:

Efecto Fotoemisivo. Provoca el arranque de los electrones con la liberación de los mismos.

Efecto Fotoconductor. Provoca que se modifique la conductividad eléctrica del material.

Efecto Fotovoltaico. Esta crea una fuerza electromotriz en el material.

En esta última es en donde las células fotovoltaicas son integradas, generando un paso de corriente proporcional al flujo luminoso que se recibe y las que utilizan comúnmente para estos sistemas autosustentables.

1.2.4 Panel Solar Fotovoltaico.

Es un conjunto de células conectadas entre sí, cumpliendo algunas condiciones básicas, de tal manera que en su funcionamiento se optimiza para su posterior integración en un sistema de generación de energía.

La compatibilidad, tanto en tensión como en potencia, están dadas según las necesidades y usos, se habla de paneles de 6V, 12V y 24V con una potencia que varía entre los 2.5W hasta los 180W.

Los parámetros eléctricos de un panel deben estar dados en un rango muy pequeño, para evitar las descompensaciones que se produzcan en el interior del módulo, cuando una de ellas produce más corriente que otra.

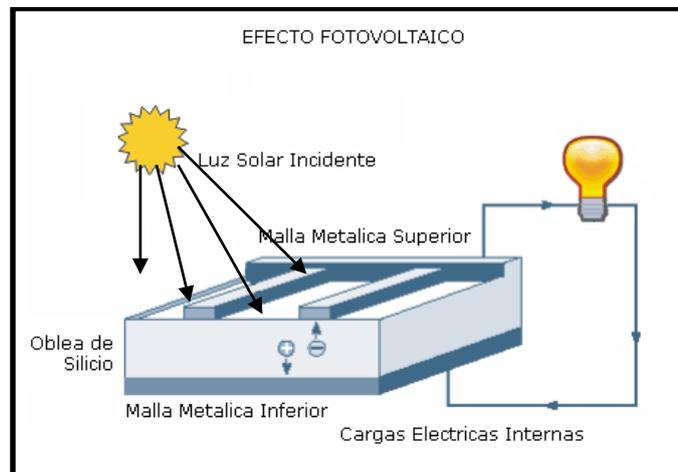


Figura 1.2 Generación de Electricidad en Panel Solar.

Fuente: (<http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/>, Pag 8, 2010)

Los materiales usados en las células fotovoltaicas son de tipo semiconductor, ya que la energía que enlaza a los electrones con el núcleo es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar.

Dentro de los semiconductores se crea un campo eléctrico, producto de la unión de dos regiones de un cristal de silicio puro, los mismos que son tratados químicamente para su respectiva adición de impurezas.

La región llamada n , es dopada con fósforo, el cual tiene cinco electrones de valencia, uno más que el de silicio, de manera que la región dopada con fósforo muestra una afinidad por los electrones menores que los de silicio puro. La región llamada p , es dopada con boro, el mismo que tiene sólo tres electrones de valencia, uno menos que el de Si, y por ello el silicio dopado con boro tiene una afinidad por los electrones superiores a los del silicio puro.

De esta manera, la unión $p-n$ presenta una diferencia de potencial, la misma que hace que los electrones tengan menos energía en la zona n que en la zona p . Esto provoca que el campo eléctrico de la zona n en dirección a la zona p comience a enviar los electrones hacia la zona n y los espacios con carga positiva hacia la zona p . Estos espacios de carga positiva se llaman espacios huecos.

De esta manera cuando inciden los fotones sobre la parte superior de una célula, comienzan a romperse los enlaces entre estos elementos, generándose pares de electrón-hueco, al suceder esto es donde se obtiene una corriente eléctrica que va desde la zona n hasta la zona p .

1.2.4.1 Tipos de Paneles Solares Fotovoltaicos.

Existen diferentes tipos de paneles fotovoltaicos, entre estos se encuentran los paneles monocristalinos, policristalinos, paneles de silicio amorfo y paneles de arseniuro de galio.

Paneles “Si” Monocristalinos.

Dentro de los tipos celdas solares, el silicio monocristalinos tienen una estructura cristalina, con átomos estrictamente situados en una posición pre-ordenada que muestra un comportamiento predecible y bastante uniforme. Cuando se elaboran estos paneles, los fabricantes dejan las células en forma circular u octogonal, sin embargo, debido a los avances en el reciclaje, las células son cortadas en cuadrados sin esquinas para elevar la densidad de empaquetamiento de los módulos.

En la fabricación de la célula monocristalina, se pueden distinguir dos pasos: Elaboración y purificación del silicio.

El silicio se obtiene principalmente de la sílice, óxido de silicio, de la que por el método de reducción, se extrae el silicio de grado metalúrgico, la cual dispone de una pureza del 98%, la misma que se vuelve a purificar hasta alcanzar a un grado del 99,999%, llamado el silicio de grado electrónico.

Una vez obtenido este nivel de pureza del silicio, se introduce en un crisol junto con impurezas de boro, para formar una masa fundida, llevando el conjunto a una temperatura aproximada de 1400°C. Una vez que todo el material se encuentra en estado líquido, se dispone de una varilla cuyo extremo tiene un germen de silicio que, al ponerse en contacto con la masa, da comienzo al proceso de solidificación. Esta varilla tiene un movimiento rotativo y ascendente, de tal manera que va solidificando una especie de cilindro metálico de un diámetro que corresponde a la velocidad de ascenso y giro de la varilla. Ésta es la razón por la cual la mayoría de las células solares tienen forma circular. En el caso de querer hacerlas cuadradas, tendríamos que cortar los cuatro trozos laterales hasta dejar el cuadrado inscrito en dicho círculo. Este método de realizar estos “cilindros” lleva el nombre de Czochralsky.

Una vez obtenido el cilindro de silicio monocristalino, se corta en finas capas u obleas de espesor de 0,3mm. En esta etapa se llega a desperdiciar en polvo de silicio hasta un 40% del material, el mismo que es nuevamente reciclado.

La siguiente fase consiste en restablecer los efectos perniciosos que se han producido por el efecto del corte. Esto se realiza introduciendo las finas capas en baños con sustancias químicas que restauran la capa superficial dañada, quedando una superficie de silicio dopado con una pequeña cantidad de boro.

El siguiente proceso consiste en la propia creación de la célula o mejor dicho, la unión $p-n$ que formará estas células. Para este proceso, se introduce en hornos especiales a una temperatura entre 800°C y 1000°C durante un tiempo establecido, y en una atmósfera que se encuentra cargada de átomos de fósforo que se van difundiendo sobre la cara de la oblea que se quiere dopar con material n . Depende mucho de la temperatura y del tiempo que dure este proceso para obtener una buena penetración del fósforo en la superficie que se quiere dopar. De esta forma, se obtiene una unión $p-n$ creada en el parte interior

de la oblea, que puede producir una corriente eléctrica en el momento que incida en ella una radiación.

Después de terminada la célula, esta presenta una superficie que rechaza aproximadamente el 33% de la radiación, esto gracias a su aspecto metálico, para evitar este elevado porcentaje de pérdida se aplica una capa anti-reflectante, reduciendo este valor de un 10% hasta un 12%.

Los contactos eléctricos son capaces de recolectar los electrones que se liberan por acción de los fotones que contiene la luz, sirven para hacer útil la energía que proporciona la célula, mientras más contactos se pongan, mayor cantidad de electrones serán capturados.



Figura 1.3 Pasos para la creación de una Célula Solar Monocristalina.

Fuente: (<http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/> Pag 11, 2010)

Paneles “Si” Policristalinos.

Este tipo de paneles son muy similares a los monocristalinos, pero con una diferente composición del silicio, visiblemente son muy reconocibles, ya que, presentan una superficie de aspecto granulado producto de una cristalización diferente, con una eficiencia menor y más económicos.

Esta estructura policristalina está formada por partículas muy pequeñas y que están cristalizadas. Estas regiones de silicio cristalino, se mantienen juntos a través de un enlace covalente y separadas por límites de grano. El silicio pasa a través de un menor número de ciclos de filtración intensiva de energía que los procesos de separación de las celdas monocristalinas y por lo tanto son menos costosos. Las uniones entre los granos tienen un efecto interesante en la eficiencia de la celda solar. En la siguiente imagen, figura 1.4, se observa la diferencia visual entre estos dos tipos de paneles.



Fig 1.4 Formas de las células de monocristalinas vs las policristalinas.

(<http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2013/04/que-panel-comprar-monocristalino-o-policristalino.html> 2012)

Paneles de Silicio Amorfo (a-Si).

Al igual que los dos tipos de paneles anteriormente mencionados, este también depende del silicio, la diferencia es que este material no sigue ninguna línea de estructura cristalina. Su denominación está dada por el símbolo del silicio y una, a, minúscula que denota su carencia de forma (a-Si).

Estos paneles están formados por la unión de diferentes tipos de silicio. En primer lugar, un óxido conductor transparente denotado con las siglas TCO, se aplica al sustrato de vidrio, el mismo que es cortado con láser para establecer los límites entre las celdas, por último, las capas de silicio de tipo p-i-n, se

depositan en el TCO. Cuando este proceso termina las capas de tipo p-i-n permiten que los fotones exciten a los pares electrón-hueco, las capas de silicio son nuevamente trazadas y se incorporan los contactos que conectan a las celdas.

En la fabricación este tipo de paneles, se utiliza silicio de menor calidad y su eficiencia disminuye con el aumento de la temperatura. Está disponible en formatos de módulos pequeños, muy baja eficiencia por lo que, son de menor costo. Estos paneles se usan en diversas aplicaciones, desde calculadoras hasta proyectos de generación eléctrica.

Cuando se habla de potencia de los paneles de silicio amorfo, estos de encuentran entre los 0,1 y 150 Wp y la eficiencia entre los 6% y 9% de la conversión de la energía. La inversión del sistema fotovoltaico oscila entre unos 1.500 y 2.250 donde incluye las estructuras de montaje, inversores, cables, etc, más los costos de operación y mantenimiento para esta tecnología corresponden aproximadamente al 1% de la inversión. (IEA 1974-2014, Tech.Roadmap). (IEA, International Energy Agency, 2010).

En la siguiente imagen podemos observar la forma peculiar que tienen estas celdas de silicio amorfo y sus separaciones entre ellas.



Fig 1.5 Panel Solar de Silicio Amorfo.

(<http://cifes.gob.cl/tecnologias/solar/fotovoltaica-pv/silicio-amorfo-a-si/> 2014)

Paneles de Arseniuro de Galio (GaAs).

“El arseniuro de galio (GaAs) es un semiconductor cuyo ordenamiento cristalino se denomina estructura “zinc-blende” similar a la estructura diamante y del Si cristalino pero con dos átomos diferentes por celda unidad del cristal.”, (Martínez Bogado, 2004). Las propiedades electrónicas de este tipo de paneles permiten lograr que las celdas lleguen a obtener una mayor eficiencia de conversión. Posee el fosfato de galio (gap), más apropiado y un coeficiente de absorción de la radiación solar más elevado. El “gap” del GaAs está cerca de lo ideal y por su desarrollo tecnológico, estas son las celdas solares con mayor eficiencia y están realizadas a partir de este material. En condiciones normales de instalación se alcanzaron eficiencias superiores al 27% y 20% en términos comerciales, también existen estructuras más complicadas tipo (GaAs/GaSb) se obtuvieron eficiencias de 35% bajo iluminación concentrada. En la siguiente imagen, Figura 1.6, se puede observar la curva de eficiencia con respecto al “gap” del semiconductor, en la parte más alta de la curva encontramos al GaAs.

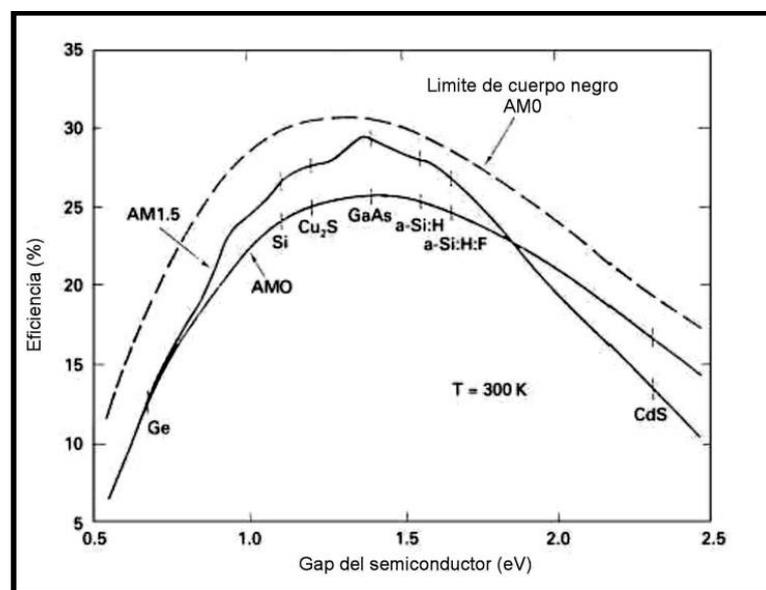


Figura 1.6 Curva característica de la eficiencia del GaAs con respecto a los otros materiales. Ancho del “gap”.

Fuente: (M.A. Green. Solar cells-Operating Principles, Technology and System Applications, Published by The University of New South Wales 1996).

Como el GaAs es un semiconductor de “gap”, la luz es absorbida cerca de la superficie del dispositivo, haciendo que solo sean necesarios unos pocos micrones de espesor para la fabricación de una celda. Las desventajas de la fabricación se pueden mencionar la escasez del galio en la naturaleza, por lo que se vuelve costoso, a esto le sumamos la toxicidad del arseniuro. Por ello es importante estudiar las consecuencias ambientales, que podrían ser severas, al momento de una instalación de sistemas solares basados en este semiconductor. GaAs se ha desarrollado bajo un alto interés comercial para la fabricación de LEDs (“light emitting diode”), y en láseres de semiconductores.

1.2.4.2 Rendimiento.

Dentro de un sistema autosustentable, este parámetro es crucial al momento de generar eficiencia, el mismo que se define como el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula fotovoltaica y la potencia luminosa incidente sobre su superficie.

El rendimiento de las células de silicio monocristalinas, en un laboratorio, pueden llegar a ser del 22% al 24%, en mejor de los casos, pero normalmente los paneles actuales, por efecto de fabricación en serie, la efectividad es alrededor del 15%, lo que en otras palabras quiere decir que, de cada 100 vatios que recibimos del Sol, solo son 15 los que se aprovechan para cualquier tipo de uso.

De la misma manera el rendimiento de los paneles de Arseniuro de galio, GaAs, el porcentaje de laboratorio es del 35% y en condiciones normales de luz y temperatura se alcanza unos 27%, pero por los efectos de fabricación este porcentaje se ve disminuido a un 20%, la cual sigue siendo superior a los otros tipos de paneles de silicio antes mencionados.

1.2.4.3 Eficiencia.

Existen varias maneras de definir la eficiencia de un panel solar fotovoltaico, estas dependen del área del módulo solar que se tenga en cuenta. En las bibliografías de referencia y catálogos de los fabricantes se puede encontrar:

Eficiencia con respecto al área total. Esta eficiencia define a la relación que existe entre la máxima potencia generada por el panel y la cantidad de radiación solar incidente en el área total del módulo, incluyendo células, espacio intercelular, contactos y marco del mismo. Donde η , ecuación 1.1, es la eficiencia con respecto al área total, P_{max} , ecuación 1.3, es la potencia máxima que puede generar el dispositivo, A_t es el área total del panel y E_t , valor por catálogo y estadísticas, es la radiación solar incidente total.

Eficiencia con respecto al área de célula. Es una versión parecida a la anterior, pero la diferencia es que sólo se considera el área cubierta por las células dentro del módulo despreciando el espacio entre células y el marco del módulo. Con este método se evita el efecto de marcos muy grandes, que en realidad no afectan a la calidad de la célula FV. La expresión sería la misma que la de la ecuación, sustituyendo el área total por el área de células A_c , dato de catálogo.

Eficiencia con respecto al área activa de la célula. Este método define la eficiencia solamente en el área del dispositivo que está expuesta a la luz solar incidente. Las áreas sombreadas por los contactos de las células no estarían incluidas. Este valor siempre es mayor, aunque normalmente sólo se utiliza para células individuales y en resultados de pruebas de laboratorio, y no en dispositivos comerciales.

Cálculo de la Eficiencia de un Panel Fotovoltaico.

La eficiencia de un panel fotovoltaico, es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica, absorbida de la luz solar por un panel, cuando éste está conectado a una carga o circuito eléctrico. Este término se le conoce con el signo de “ η ”, (η), y se calcula usando el punto de potencia pico o máxima, P_{max} , dividido entre la cantidad total de irradiancia “ E_t ”, (W/m^2), bajo condiciones estándar STC (Standard Test Conditions), y el área superficial de la célula solar “ A_t ”, (m^2).

$$\eta = \frac{P_{max}}{E_t * A_t}$$

Ecuación 1.1 Cálculo de la eficiencia de un panel solar en condiciones STC (η , η)

La potencia pico o máxima se entrega bajo algunas condiciones que se les considera como estándar, STC, donde especifica una cierta temperatura, la irradiancia con una cierta masa de aire espectral correspondiente a un espectro de luz incidente sobre una superficie solar inclinada en un ángulo de $41,81^\circ$ sobre su horizontal.

- Condiciones de simulación:
- Irradiancia 1000 W/m^2
- Masa de aire espectral 1,5 AM
- Temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (no temperatura ambiente).

1.2.4.4 Pérdidas.

Los sistemas que generan energía a partir de la luz solar, siempre están expuestos a pérdidas denominados rendimientos bajos, que los definimos como ineficiencias o pérdidas, los mismo que se producen por diferentes factores y que son muy comunes si no los tenemos presente en el instante de efectuar un ambiente autosustentable. Estas ineficiencias existentes son de dos tipos:

Evitables o reversibles. Pérdidas que se deben a la suciedad depositada sobre el generador de electricidad, por las sombras proyectadas sobre el mismo, en el inversor o diversos factores visibles sobre el módulo. Una vez identificadas estas pérdidas pueden eliminarse o disminuirse en lo posible.

Inevitables o irreversibles. Son provocadas por la temperatura o debido a la irradiancia incidente. Una vez situada la instalación el valor de ambas dependerá de las condiciones ambientales del lugar en el que se encuentra el sistema, no pudiéndose hacer nada para evitarlas.

El rendimiento bajo se debe fundamentalmente a los siguientes factores:

- Pérdidas por tolerancia respecto a valores nominales en los módulos.
- Pérdidas por dispersión de parámetros.
- Pérdidas por polvo o suciedad.
- Pérdidas por sombras.

- Pérdidas por temperatura.
- Pérdidas en cableado.
- Pérdidas en seguidor del punto de máxima potencia (PMP).
- Pérdidas en inversor.
- Pérdidas por irradiancia.
- Pérdidas por desconexión de la red.
- Pérdidas por operaciones de mantenimiento.
- Pérdidas por recombinación.
- Pérdidas por los contactos eléctricos.
- Pérdidas por reflexión.
- Pérdidas por resistencia serie.

Pérdidas por tolerancias respecto valores nominales en los módulos. La desviación de la máxima potencia que el panel entrega producen las pérdidas por tolerancia respecto a los valores nominales del panel. En las características de cada módulo, los fabricantes muestran la tolerancia referente a la máxima potencia que el panel puede producir suponiendo unas condiciones de 1000W/m² y temperatura del panel de 25°C, (STC).

Pérdidas por dispersión de parámetros. Estas pérdidas se producen por consecuencia de las variaciones en la inclinación y orientación de los módulos solares presentes en un sistema de generación de energía solar.

Pérdidas por polvo o suciedad. La suciedad del ambiente y el polvo que se levanta por las corrientes de viento hacen que se acumulan sobre los módulos causando bajas en el rendimiento de los sistemas solares. La acumulación de la suciedad dependerá de la ubicación de la instalación. En el Ecuador, para evitar estas pérdidas en lo máximo posible, es necesario inclinar el panel mínimo unos 10°. La autolimpieza es la mejor opción para garantizar siempre una recepción óptima de la energía del sol.

Pérdidas por sombras. Cuando en un panel fotovoltaico se proyecta una sombra, esta influye de manera negativa en la generación de energía, variando

su curva característica y afectando al rendimiento de la misma. Para evitar este tipo de pérdidas se debe instalar los módulos lejos de objetos que por su altura o cercanía pudieran producir sombras sobre ellos, como edificios, árboles, estructuras de altura, etc. Para minimizar estas pérdidas hay que optimizar las estructuras de soporte, sin que el uno sombree al otro, como en esta tesis, que gana en altura no permite sombra del exterior y soporta a más de un módulo fotovoltaico. Cuando existe sombra sobre los módulos fotovoltaicos, es posible que se llegue a un estado de funcionamiento denominado punto caliente. Este efecto es muy perjudicial cuando se tiene un amplio sistema de paneles instalados en un mismo sitio, consiste en que las células de un mismo módulo absorben corrientes de otros módulos, provocando un calentamiento elevado, que por la presencia de este problema frecuentemente puede llegar a dañarlas. Es posible evitar este problema, haciendo conducir un corriente a través de un diodo bypass en paralelo al panel solar.

Pérdidas eléctricas. Estas pérdidas se producen tanto en la parte de corriente alterna como en directa. Un buen cálculo de la sección de los conductores que conforman el cableado y a la distancia entre los distintos componentes que tiene un proyecto aislado de energía, disminuyen considerablemente este factor. Los diferentes elementos electrónicos como fusibles, diodos y demás elementos de maniobra también producen pérdidas. El inversor de corriente es un dispositivo electrónico de potencia, que en esta tesis, se encarga de adecuar la energía generada por el panel fotovoltaico transformando de corriente continua a alterna, este proceso también genera pérdidas por lo que el factor de conversión también es considerado para los cálculos en las pérdidas eléctricas.

Al momento de generar energía con los módulos fotovoltaicos, se debe garantizar que, para cualquier condición climática el rango de tensiones de salida sea lo más parecida a los rangos de tensiones de seguimiento del punto de máxima potencia a la entrada del inversor.

Pérdidas en el seguimiento del PMP. Este tipo de pérdida se produce en zonas que no están cercanas a la línea ecuatorial, debido a que el seguidor de sol no está bien calibrado, de esta manera el módulo fotovoltaico no alcanza el punto de máxima potencia.

Pérdidas por diferencia de eficiencia con la irradiancia. Al momento de medir el rendimiento de un panel fotovoltaico, se lo puede determinar como el cociente entre la energía que genera en determinadas condiciones de irradiancia y temperatura medida en un determinado lapso de tiempo.

La curva característica de funcionamiento cambia si la irradiancia incidente también cambia, si ésta aumenta, también aumenta la máxima potencia que el panel entrega. En la siguiente figura (Figura 1,7), se muestra la curva de máximos rendimientos para un panel donde varía la irradiancia que incide sobre el plano de los módulos, considerando en todos los casos una temperatura del panel constante e igual a 25°C.

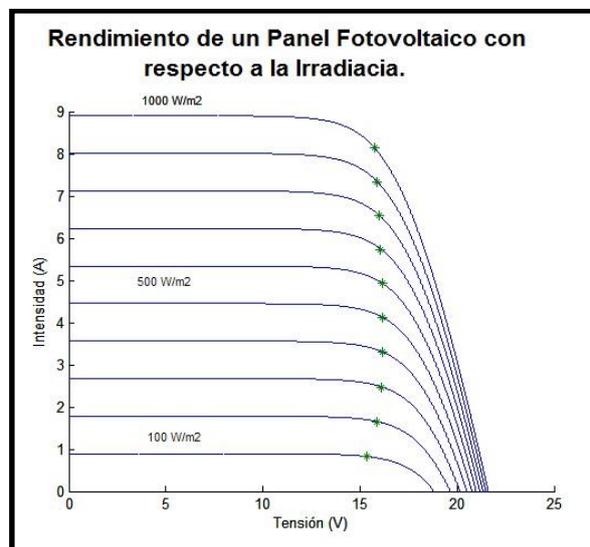


Figura 1.7 Variación del rendimiento en función de la irradiancia incidente para una Tpanel=25°C

Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/> Pag 19, 2011)

Pérdidas por Temperatura del panel. La temperatura que puede alcanzar un panel fotovoltaico en el día, es uno de los parámetros principales, de la mismas manera, como la irradiancia incidente y la tensión de funcionamiento, que determinan la potencia eléctrica que éste puede alcanzar a producir, ya que influye significativamente sobre la curva característica de funcionamiento.

“La temperatura del panel viene determinada básicamente por la irradiancia global incidente sobre el plano del panel “I”, la temperatura equivalente del ambiente “Tc”, la velocidad del viento “Vv”, dirección del viento “Dv”,

características térmicas y ópticas de los materiales que constituyen el módulo “Cg” y del tipo de montaje del mismo “Cm”.“, (Cruz Fajardo, 2007).

En la siguiente ecuación ejemplar la temperatura del panel, “Tp”, se muestra como una respuesta generada por los diferentes factores.

$$T_p = f(I, T_c, V_v, D_v, C_g, C_m)$$

Cuando se produce un aumento de temperatura, la tensión de circuito abierto disminuye (2,3 mV/°C en el caso del silicio), mientras que la intensidad se mantiene casi constante (aumenta ligeramente: 1,5 mA/°C en el caso del silicio), lo cual supone una disminución de la eficiencia al aumentar la temperatura (0,5%/°C para los paneles de silicio).

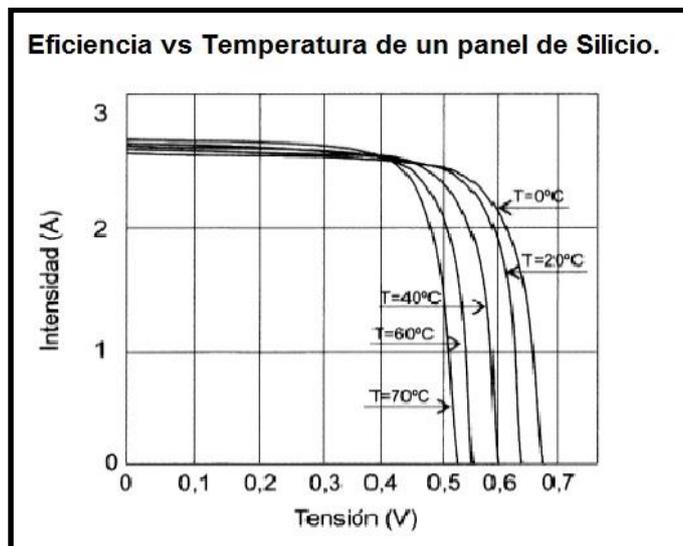


Figura 1.8 Curvas de una célula solar fotovoltaica en función de la temperatura.

Fuente: (<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/> Pag 20, 2011).

1.2.4.5 Parámetros de Funcionamiento.

Siempre en condiciones reales, aparte de los parámetros eléctricos de un panel, existen los parámetros de operación y los parámetros mecánicos. Estos cambian según su fabricante y tipo de panel. Los parámetros que están presentes dentro de un sistema autosustentable son:

Intensidad de cortocircuito (Isc): Es aquella que se produce a tensión cero y con algunas condiciones definidas de iluminación y temperatura.

Tensión de circuito abierto (V_{oc}): Representa la tensión máxima que puede dar una célula bajo algunas condiciones de iluminación y temperatura correspondiente a un corriente igual a cero.

Factor de forma (FF): Nos indica la calidad de la célula fotovoltaica, valor expresado en tanto por ciento o tanto por 1. Donde:

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

Ecuación 1.2 Cálculo para el Factor de Forma.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006.

Rendimiento o eficiencia. (η): Cociente entre la potencia pico o potencia máxima y la potencia de radiación incidente. Ecuación 1.1

Potencia pico (P_{max}): Es la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula fotovoltaica.

$$P_{max} = I_{pmp} * V_{pmp}$$

Ecuación 1.3 Cálculo para la Potencia Máxima.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006.

Corriente en el punto máximo de potencia (I_{pmp} o I_{max}): Es el valor de corriente para P_{max} en condiciones determinadas de iluminación y temperatura.

Voltaje en el punto máximo de potencia (V_{pmp} o V_{max}): Es el valor de voltaje para P_{max} en condiciones determinadas de iluminación y temperatura.

El panel fotovoltaico de silicio monocristalino que se utiliza en este sistema autosustentable, Figura 1.9, es un “Isofotón”, y tiene los siguientes parámetros de funcionamiento:

- $P_{max} = 150W$
- $V_{oc} = 22,6V$
- $I_{sc} = 8,70A$
- $V_{pmp} = 18,5V$

- $I_{pmp} = 8,12A$
- $\eta = 15\%$
- Tolerancia de $P_{max} = +/- 3\%$

ISOFOTON
MÓDULO MONOCRISTALINO ISF-150

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Comportamiento en STC: Irradiancia 1.000 W/m², temperatura de célula 25°C, AM 1,5

	ISF-150
Potencia nominal (P _{max})	150 W
Tensión en circuito abierto (V _{oc})	22,6 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	8,70 A
Tensión en el punto de máxima potencia (V _{max})	18,5 V
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{max})	8,12 A
Eficiencia	15,0%
Tolerancia de potencia (% P _{max})	0/+ 3%

Comportamiento a Irradiancia 800 W/m², TONC, temperatura ambiente 20°C, AM 1,5; velocidad del viento 1m/s

	ISF-150
Potencia máxima (P _{max})	109 W
Tensión en circuito abierto (V _{oc})	20,9 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	7,02 A
Tensión en el punto de máxima potencia (V _{max})	16,6 V
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{max})	6,55 A

Reducción de eficiencia desde 1.000 W/m² a 200 W/m² 5% (+/-3%)

Figura 1.9 Parámetros de un Panel Fotovoltaico

Fuente: (<http://www.isofoton.com/sites/default/files/ESP%20ISF%20145-150.pdf> 2012)

1.2.4.6 Curva Característica de un Panel Fotovoltaico I-V.

Una vez revisado todos los parámetros que benefician y perjudican al funcionamiento normal de un panel fotovoltaico podemos empezar analizar la curva característica de su funcionamiento en un plano de corriente y voltaje.

La curva que se muestra en la siguiente imagen, Figura 1.10, representa las posibles combinaciones de corriente y voltaje para un dispositivo fotovoltaico bajo determinadas condiciones ambientales como la radiación solar incidente, irradiancia, y temperatura. El punto en concreto de corriente y voltaje en el que el dispositivo fotovoltaico trabajará vendrá determinado por la carga a la que esté conectado.

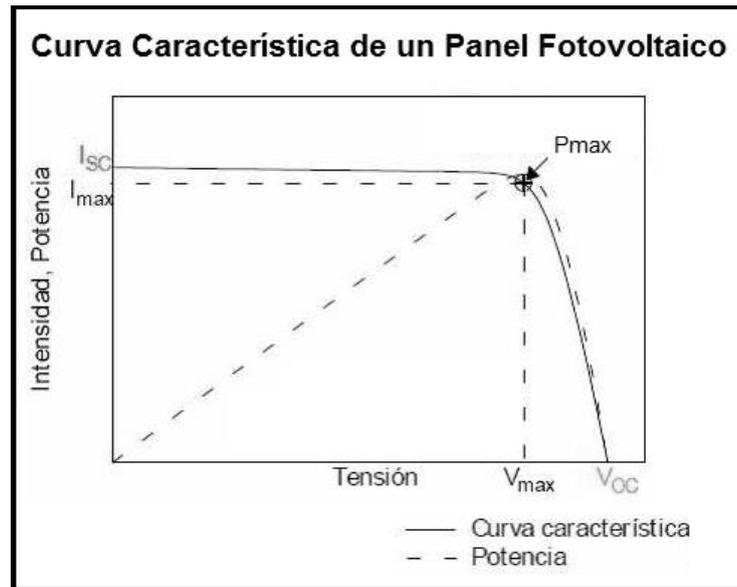


Figura 1.10 Curva característica I-V, con sus principales elementos, de una célula fotovoltaica.

Fuente: (<http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/>)

Ecuación característica

La curva característica de la corriente en función del voltaje de una célula fotovoltaica puede describirse con la siguiente ecuación: “

$$I = I_1 - I_0 \left(\exp \left(\frac{V + IR_S}{m v_t} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_S}{R_p} \right)$$

Ecuación 1.4 Ecuación característica de la corriente de un panel solar.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006.

Donde I_1 es la corriente generada, I_0 es la corriente inversa de saturación del diodo, v_t es el voltaje térmico ($v_t = KT/e$, donde “K” la constante de Boltzman, “T” la temperatura en grados Kelvin y “e” la carga del electrón), m es el factor de diodo ideal, R_S es la resistencia serie y R_p la resistencia paralelo.”, (Alonso García, 2006).

En el caso de un panel fotovoltaico, la característica eléctrica dependerá del número de células en serie y paralelo que este tenga. Suponiendo que todas las células de un módulo fueran iguales, la corriente generada por el módulo sería igual a la corriente de la célula multiplicada por el número de células en paralelo, y el voltaje sería igual al voltaje de la célula multiplicado por el número de células en serie:

$$I_{mod} = I_c * N_p$$

$$V_{mod} = V_c * N_s$$

Ecuación 1.5 Ecuaciones de corrientes y voltaje en condiciones determinadas.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006.

1.2.5 Acumuladores o Baterías.

Los acumuladores o baterías son los elementos más caros, voluminosos, pesados e indudablemente uno de los más importantes de un sistema autosustentable, por lo tanto, el conocimiento de las mismas en profundidad se considera de gran importancia.

Las baterías son dispositivo que transforma una energía potencial química en energía eléctrica. Estos artefactos se dividen en primarias, baterías que solo se pueden descargar y secundarias, baterías que se descargan y se recargan. En todo sistema autosustentable las baterías de mayor uso son las secundarias, donde el principio fundamental del funcionamiento de este tipo de acumuladores es llevado a cabo mediante un proceso electro-químico llamado doble conversión de energía. La primera conversión, la energía eléctrica se transforma en energía química, esto sucede cuando la batería está en el proceso de carga. En la segunda conversión, la energía química pasa a convertirse en eléctrica, ocurre cuando la batería está conectada a una carga o está en el proceso de descargada. Estas conversiones se llevan a cabo por dos electrodos metálicos que están sumergidos en un electrolito, medio que les vincula dentro de la capsula que los contiene.

La misión principal de un acumulador dentro de un sistema autosustentable en funcionamiento conjunto con paneles fotovoltaicos, es el de suministrar energía tal y como es demandada por la carga, muy independientemente de la producción eléctrica del panel, en ese preciso momento. Otras de las funciones de los acumuladores alimentar a la carga durante varios días, cuando la producción del panel es baja debido a las condiciones meteorológicas adversas.

1.2.5.1 Parámetros de un Acumulador o Batería.

Al momento de elegir una batería para una determinada aplicación, es necesario conocer sus parámetros de funcionamiento, con esto, es posible saber si se ajustarán a las necesidades solicitadas. Por lo tanto, a continuación se describen los parámetros generales existentes en todos los tipos de acumuladores:

Tensión. Factor determinante para elegir un tipo de batería, es la cantidad de voltaje proporcionado por cada elemento, las baterías pueden colocarse en serie, paralelo o combinados para obtener el potencial deseado.

Capacidad. La cantidad de carga eléctrica que es capaz de almacenar o suministrar, factor importante a la hora de escoger un tipo de batería, puesto que en ocasiones se requieren para usos especiales, como por ejemplo, en el arranque de un motor, donde se exigen corrientes elevadas. Este parámetro se mide en amperios hora (Ah).

Capacidad eléctrica. Parámetro que hace referencia a los tiempos de carga y descarga, se mide en Culombios (C), esta unidad equivale a la cantidad de carga transportada durante un segundo por una corriente de un Amperio, de manera que: $1Ah = 3.600 \text{ Culombios}$

La cantidad de energía que una batería puede llegar a suministrar durante todos sus ciclos de vida posibles se mide en vatios-hora (Wh).

La energía específica o energía por masa, es el parámetro que nos permite comparar las baterías, unas de otras, en función de la energía que puede suministrar, con relación a su peso. Se mide en Wh/Kg.

La densidad energética es el parámetro donde se involucra el volumen ocupado con la energía que entrega la batería. Se mide en Wh/litro.

Ciclo de vida. Parámetro indicativo de la duración del tiempo de vida de una batería. Es el número de ciclos de carga y descarga que estas pueden soportar manteniendo un porcentaje elevado de la capacidad completa para almacenar energía.

Tiempo o régimen de carga y descarga. La batería no puede almacenar toda la energía eléctrica que recibe, por lo que, la cantidad de electricidad suministrada debe ser mayor a la que esta necesita. Trabajando entre 5⁰C y 25⁰C el factor de carga es de 1,4, esto significa que debe suministrarse una carga que sea un 40% superior a la deseada. La explicación sobre este parámetro es cuando decimos que una batería que se encuentra en un régimen de descarga de 10 horas, 10h, en una batería de 300Ah es igual a 30A en un régimen C₁₀.

Tiempo de auto-descarga. Este parámetro muestra la pérdida de capacidad de una batería cuando se mantiene en circuito abierto. Un ejemplo valido para este caso se da cuando en el momento de descarga, el módulo la batería comienza a elevar su temperatura.

Rango de funcionamiento. Es el rango de temperatura a los que el funcionamiento es óptimo, es decir, aquel en el que la batería puede funcionar regularmente y sin daños.

Profundidad de descarga. Es la cantidad de amperios hora extraídos de una batería que está totalmente cargada, representada en un valor en tanto por ciento, resultado de dividir el valor extraído para el valor total del acumulador multiplicado por 100:

$$\frac{150Ah}{300Ah} 100 = 50\%$$

Estado de carga. Es la capacidad disponible de la batería expresada en tanto por ciento de la capacidad nominal.

Estado de ciclo es la secuencia de carga y descarga de la batería para una profundidad y régimen de descarga determinados.

El ciclo de vida de una batería es el número de ciclos que puede soportar determinadas condiciones manteniendo la capacidad y el rendimiento.

Existen en el mercado diversos tipos de acumuladores que se usan en distintas aplicaciones, pero uno de los más comunes y que cumplen las condiciones básicas para un sistema autosustentable son las baterías de

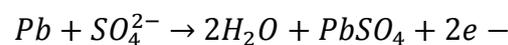
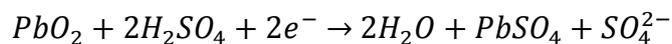
Plomo-Ácido, las mismas que son de:

- Larga vida.
- Rendimiento elevado.
- Baja autodescarga.
- Fácil transporte e instalación.
- Mantenimiento nulo o mínimo

1.2.5.2 Baterías de Plomo-Ácido (Pb-Ácido).

Este tipo de baterías comúnmente son una de las más utilizadas en los sistemas solares, ya sea por su comercialización y precios. Estos acumuladores contienen plomo y ácido en su electrolito líquido. En el interior, los electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico.

En la siguiente reacción química, se demuestra el funcionamiento principal de estos acumuladores, donde el material activo de la placa positiva es óxido de plomo (PbO_2), la placa negativa es plomo puro esponjoso y el electrolito es una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. En la siguiente ecuación química se observa el proceso que trascurren dentro de la batería:



Ecuación 1.6 Ecuación química de una reacción dentro de la batería de Pb-Ácido.

En el momento en que la batería comienza a descargarse baja la concentración del ácido sulfúrico, aumentando el plomo en su interior y liberando mayor cantidad de agua. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una mayor densidad a la del ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido sirve como indicador del estado de carga de la batería. No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente, porque, cuando el sulfato de plomo forma cristales de un tamaño considerado, ya no responden adecuadamente a los

procesos de carga o descarga, con lo que se pierde la característica de la reversibilidad, esencial en el funcionamiento. Cuando el acumulador pasa por todos los procesos normales de uso, este llega a sulfatarse y es necesario sustituirlo por otro nuevo. Normalmente este proceso comienza cuando la batería se descarga de forma acelerada y no conserva la energía.

Ventajas.

- Alta eficiencia.
- Tecnología totalmente establecida.
- Su tasa de auto-descarga mensual son bajas, aproximadamente un 5%.
- El voltaje ofrecido es de 2 Voltios/celda.
- No necesita mantenimiento.

Desventajas.

- Peso elevado.
- Largos períodos de recarga.
- Su energía específica es de aproximadamente 30-50 Wh/kg, una tasa bastante baja, que se usa para cubrir las necesidades de arranque, iluminación e ignición, ya que no es lo suficientemente grande como para mover el coche (en este caso se denominan baterías SLI: Starting, Lighting and Ignition).
- Corta vida cíclica: 500-600 ciclos de carga-recarga.

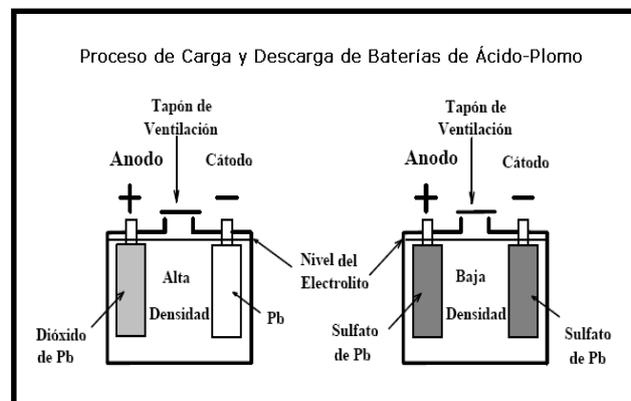


Figura 1.11 Proceso de carga y descarga de baterías de Pb-Ácido

Fuente: (Revista Home Power, 2012)

Profundidad de descarga (PD).

La profundidad de descarga representa la cantidad de energía que llegar a extraerse de la batería. Este valor está dado en forma porcentual. Como ejemplo, si la batería entrega 600 Wh, la PD es del 50%. Cuando se efectúa la prueba para determinar la capacidad en Ah de una batería solar la PD alcanza el 80%.

Existen tres características que definen una batería de acumulación: la cantidad de energía que puede almacenar, la máxima corriente que puede entregar y la profundidad de descarga que puede soportar.

Corriente de una batería de Pb-Ácido.

El valor de la corriente de carga o descarga, que normalmente expresa cada fabricante de baterías, lo muestra como un valor fraccional de su capacidad en Ah. Como ejemplo demostrativo, C/20 representa 10A y C/40 representa un valor de 5A. Este valor de corriente de carga o descarga requiere un número específico de horas de descarga como lo es la capacidad que esta expresado en Ah.

Voltaje de una batería de Pb-Ácido.

El voltaje de salida de una batería de Pb-ácido no permanece constante durante la carga o descarga. Existen dos variables que determinan su valor, uno de ellos es el estado de carga y el otro es la temperatura del electrolito. Las curvas que se muestran en las siguientes imágenes, Figura 1.12 y 1.13, muestran estas variaciones de voltaje, tanto para el proceso de carga como para el de descarga. Los valores están dados usando diferentes valores de corriente, para dos temperaturas de trabajo, una a 25°C y la otra a 1°C. Las curvas a 25°C reflejan el comportamiento de una batería trabajando en un ambiente con temperatura benigna. Las curvas a 1°C reflejan el comportamiento de la misma batería cuando la temperatura del electrolito es cercana al punto de congelación del agua. Los valores dados por las curvas corresponden a una batería de 12V nominales.

Temperatura de una batería de Pb-Ácido.

La temperatura es un factor muy importante, si consideramos temperaturas considerablemente bajas, estas retardan la reacción química dentro de las baterías, aumentando la resistencia interna, lo que provoca una mayor caída del voltaje, de la misma manera cuando la temperatura es elevada se produce una mayor actividad química, provocando una reducción en la vida útil de la batería.

Existen temperaturas que son muy perjudiciales para la vida útil de las baterías de Pb-ácido, el siguiente cuadro muestra la reducción de la vida útil de la batería trabajando a la temperatura correspondiente.

Tabla 1.1 Comportamiento de la vida útil de una batería a diferentes temperaturas.

Temperatura Electrolito	Reducción de la Vida Útil
°C	%
25	0
30	30
35	50
40	65
45	77
50	87
55	95

Fuente: (Revista Home Power, 2012)

La temperatura del electrolito está relacionada con el estado de carga de la batería. Si ésta está descargada, la cantidad de agua en la solución electrolítica es mayor. Al bajar la temperatura del electrolito hay una elevada posibilidad que el agua se congele, 0°C, y su volumen aumenta. Las causas de este estado del electrolito es la fuerza de expansión que llega a distorsionar los electrodos, dañando las celdas y la capsula que contiene a todo el mono bloque. El ácido del electrolito actúa como un anticongelante, de manera que es altamente importante mantener la carga de las baterías cuando la temperatura disminuye.

Las baterías de Pb-ácido, descargada en su totalidad, se congela a los -10°C o valores cercanos. Si está completamente cargada, el punto de congelación alcanza los -58°C ($\pm 3^{\circ}$).

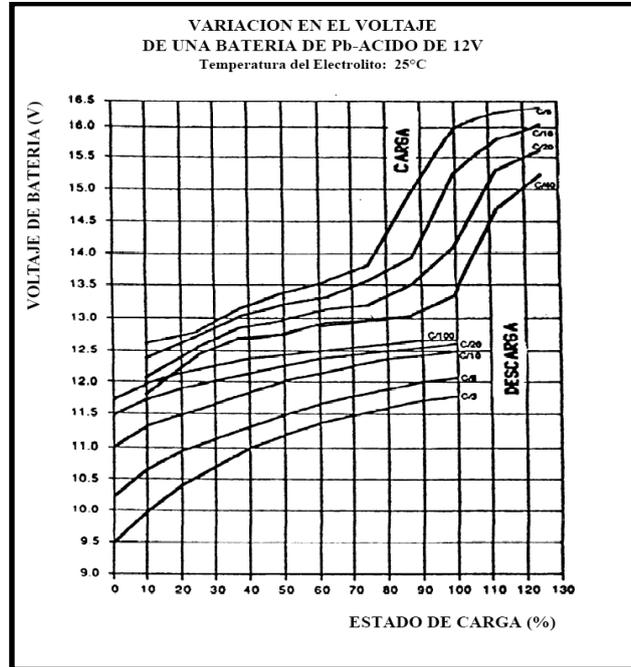


Figura 1.12 Comportamiento de una batería de Pb-Ácido a 25°C

Fuente: (Revista Home Power, 2012)

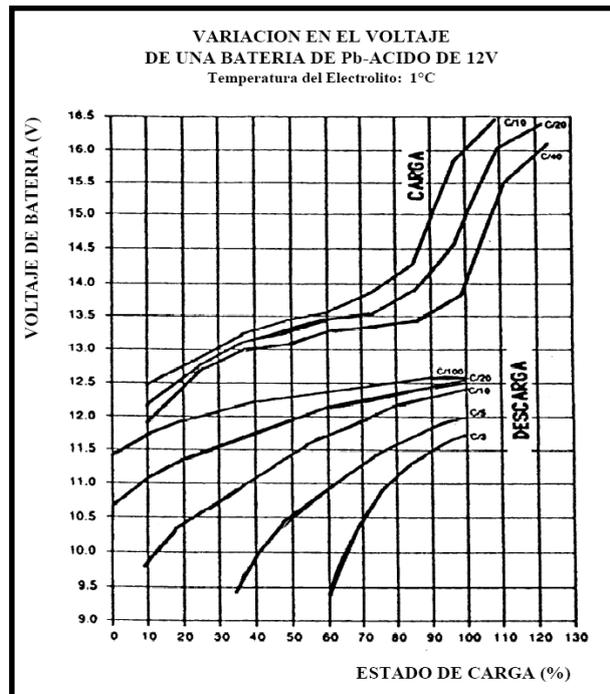


Figura 1.13 Comportamiento de una batería de Pb-Ácido a 1°C

Fuente: (Revista Home Power, 2012)

Autodescarga de una batería de Pb-Ácido.

La batería cuando se encuentra plenamente cargada y permanece inactiva, pierde su carga con el tiempo. La rapidez de la descarga depende de la temperatura ambiente, la misma que disminuye considerablemente la vida útil de los acumuladores, cuadro 1.1.

Masa.

La masa de la batería es la relación que existe entre esta y la capacidad eléctrica Ah/kg o la energía Wh/kg y en algunos casos puede ser también importante el volumen que ocupe Ah/m³ o Ah/litro.

Resistencia Interna de una batería de Pb-Ácido.

Este valor es muy inferior a la de las pilas normales comparadas con las baterías de plomo-ácido, lo que les permite suministrar cargas mucho más intensas. La resistencia varía entre 0,004 y 0,006 ohm. Casualmente la resistencia interna de los acumuladores que ocupamos para esta tesis es de 0,00427 ohm.

Rendimiento de una batería de Pb-Ácido.

La característica del rendimiento se conoce como la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida cuando carga y la que el acumulador entrega durante la descarga. La batería de plomo-ácido tiene un rendimiento alrededor del 90%.

Carga del Acumulador de una batería de Pb-Ácido.

Dado que todas las baterías sufren una autodescarga, se necesitan una corriente de mantenimiento para mantenerles parcial o totalmente cargadas incluso cuando no están trabajando. Esta corriente es suministrada por el panel, siendo el voltaje de alimentación de unos 0,2V por encima del voltaje de circuito abierto del acumulador, alcanzando una tensión de flotación de 2.34V, por placa, para mantenerla completamente cargada.

En un elemento de Pb-ácido el voltaje varía según el estado de carga, el peso específico del electrolito, ya sea que esté sufriendo una carga o una descarga.

La tensión de circuito abierto en una batería cargada es de 2.14V a 25°C y el peso específico de electrolito, de 1300.

Para que la batería se cargue más rápidamente se necesita un voltaje de carga mayor, que oscile entre los 2.60V y 2.65V/elemento.

Hay que tener en cuenta que, aproximadamente entre los 2.35V y los 2.40V, el elemento acumulador empieza a gasificar. Una gasificación excesiva arrastra parte del electrolito, el que es expulsado fuera de la batería, a través de los tapones de respiración. Este material contiene ácido sulfúrico, dañando los terminales de salida y disminuyendo la cantidad de ácido dentro de la batería.

Dimensionamiento.

La mayoría de las aplicaciones fotovoltaicas utilizan como parte fundamental del sistema varios acumuladores y estos deben cumplir algunos requisitos básicos, que son:

Asegurar la estabilidad de la tensión para el buen funcionamiento de los equipos que alimenta el sistema solar.

Garantizar el suministro en las horas de la noche, horas en que existe poca o nula insolación y meses del año que la producción de energía son más bajas con respecto a otros.

Proveer de energía a la carga a pesar de que se presentan días con bajo o nulo nivel de radiación, (días de independencia energética)

1.2.5.3 Tipos de batería de Plomo Ácido (II).

A lo largo de la historia en la fabricación de estas baterías existen diferentes tipos las cuales se debe tomar en cuenta algunos aspectos para su selección tomando en cuenta los aspectos y criterios más relevantes:

- El tipo de aleación en: Plomo antimonio, plomo - selenio y plomo - calcio.
- El tipo de placa en: Planas empastadas, tubulares y de planté.
- El tipo de mantenimiento en: con mantenimiento, si el nivel de antimonio en alto, bajo mantenimiento cuando las baterías son de plomo-selenio, libres de

mantenimiento las baterías de plomo-calcio y sin mantenimiento son las selladas.

- El tipo de electrolito en: Líquido, gelificado y absorbido.
- Del tipo para: autos de tracción, energía solar y eólica, las estacionarias.

El tipo de batería que se usa en esta tesis es de tipo estacionaria para aplicación solar de marca “Narada 12NDF155”, con la siguiente normativa de una batería de Plomo Ácido: IEC 610896.

1.2.6 Regulador de Carga.

Es un equipo capaz de evitar la sobrecarga del acumulador, el mismo que limita la tensión de la batería a valores adecuados para el mantenimiento, en estado de flotación, del grupo de baterías. La misión del regulador se centra, en evitar que, debido a una sobrecarga excesiva proporcionada por el panel, éste pueda en causar perjuicios al acumulador, perjudicando a las cargas al que se someta el sistema fotovoltaico aplicado y acortando la vida útil del acumulador o banco de baterías.

En la producción energética solar, uno o más módulos fotovoltaicos deben tener una tensión nominal superior a la tensión nominal de la batería o banco de baterías que se usan en los sistemas autosustentables. Esta producción debe ser necesaria para un buen funcionamiento de un sistema equilibrado y la máxima vida posible de los acumuladores.

Para cargar de manera adecuada a los acumuladores, el regulador debe garantizar una tensión controlada del módulo fotovoltaico, alcanzando los niveles óptimos para las baterías de 12V nominales, solicitadas por los fabricantes.

En este caso particular, nuestro regulador es configurable, con la posibilidad de que nos entregue valores cercanos a los 14V, ya que nuestras baterías necesitan 2.34V por placa, cada acumulador contiene 6 placas, valor necesario para una carga sea óptima, alargando la vida útil y potenciando el uso en horas de baja o nula producción energética.

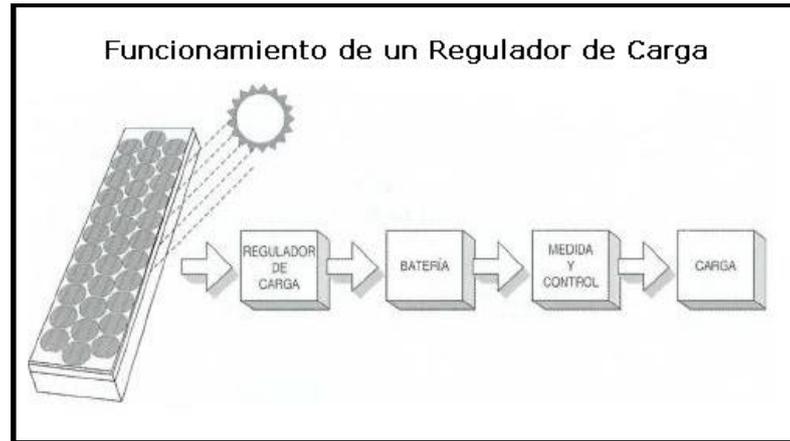


Figura 1.14 Diagrama de Bloques del Funcionamiento de un Sistema Solar.

Fuente: (<http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/>)

Existen diferentes tipos de reguladores que se diseñan y fabrican para sistemas solares, estos se diferencian según las necesidades y capacidades que presentan dichos sistemas y estos son:

- Regulador Shunt. El mismo que se conecta en paralelo al sistema solar y a la carga, cuando alcanza la carga completa, crea una vía de baja resistencia a través de los paneles, derivando la corriente y apartándola de las baterías.
- Regulador Serie. Es equivalente a un interruptor conectado en serie, que desconecta el grupo solar de las baterías cuando este haya alcanzado la plana carga.
- Sistema Autorregulado. Esto se debe a una propiedad de algunos tipos de paneles que no necesitan regulador, proporcionando ventajas de costos, manejo, soporte y fiabilidad.

Estos sistemas autorregulados, a pesar de que no necesiten un regulador conectado a la batería y a la carga, necesitan un sistema de control, de medida, de conexión y desconexión.

Para mejorar el funcionamiento y el manejo de la corriente, en este proyecto, se fusionarán dos tipos de reguladores, el primero, un regulador serie y el segundo, un sistema autorregulado. Esta unión proporcionará una eficiencia energética dentro del árbol solar en días de poca radiación sobre el panel solar, que son los momentos más críticos dentro de un sistema solar autosustentado.

Para el desarrollo del control de ingreso de la corriente que necesita el Árbol Solar, es necesario contar con la ayuda de un microcontrolador programable, la cual hablaremos posteriormente, y de la misma manera una plataforma que satisfaga todas las necesidades que se presenten.

1.3 Cálculos Eléctricos y Orientación de Paneles Fotovoltaicos.

En un sistema autosustentable es de suma importancia saber cuánta energía se produce, cuanta se puede llegar a producir y como se puede mejorar para obtener más energía. Para aquello se tiene que conocer la demanda a la que el sistema va a estar expuesto, las bondades y adversidades del entorno con respecto a la ubicación y el clima en el planeta.

1.3.1 Cálculos Eléctricos.

A partir de las características eléctricas del módulo fotovoltaico (ISF-150), los acumuladores (NARADA 12NDF155), el inversor de corriente, arduino y los diferentes elementos electrónicos, que conforman el control del árbol solar, se debe calcular la demanda energética para satisfacer las diferentes necesidades. Una vez calculado la cantidad total de energía que demanda este sistema se procede a calcular el número de paneles, capacidad de baterías y la sección de área de los conductores necesarios para que el árbol solar funcione en los niveles más altos de eficiencia y acumulación de energía.

Existen diferentes formas para calcular el dimensionamiento de un sistema autosustentables, entre ellas están los manuales, poco efectivos pero validos para estimaciones, también se encuentran los calculables por software que se basan en métodos estadísticos los cuales son muy aproximados a lo real, muchos de estos programas no contienen la información de algunas ciudades, valles, etc, por lo que los cálculos se deben hacer con las zonas o lugares más cercanos.

En diferentes textos sobre energía solar, en el libro de Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos: Energía Solar, E. Lorenzo, la corriente suministrada por una célula solar viene definida por la ecuación de Shockley:

$$I = I_L - I_D(V) = I_L - I_0 \left(\exp \frac{eV}{mkT} - 1 \right)$$

Ecuación 1.7 Ecuación de Shockley.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006.

“Donde la corriente I_L se define como la corriente fotogenerada debido a la generación de portadores que provoca la iluminación de la fotocélula. La corriente I_D , denominada como la corriente de diodo o de oscuridad, debida a la recombinación de los portadores, y por lo tanto su sentido es opuesto al de I_L . En la imagen se muestra el sentido de la corriente de I_L y de I_D .”, (Jiménez Sánchez, 2012). Las demás variables de la ecuación son:

$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{C}$: carga del electrón.

V : Voltaje en bornes de la célula.

$m = 1$ para tensiones bajas ($\leq 0,4 \text{V}$), $m = 2$ para tensiones altas ($> 0,4 \text{V}$).

$k = 1,381 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$: constante de Boltzman.

T : Temperatura absoluta.

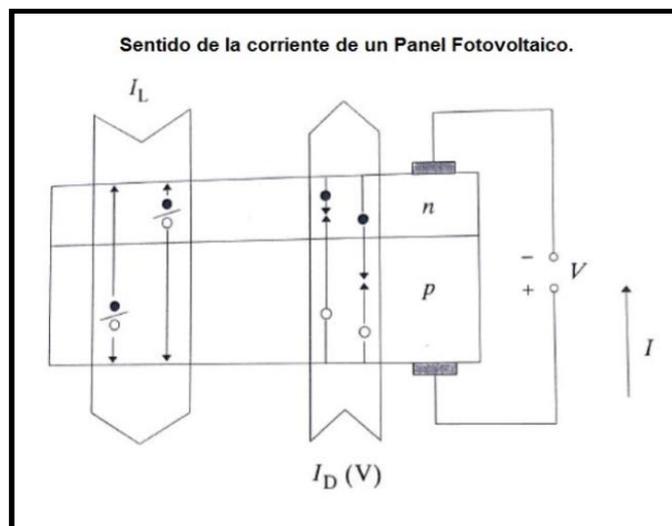


Figura 1.15 Sentido de la corriente de I_L y de I_D de una panel fotovoltaico.

Fuente: (<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle>)

La variación de las características de la célula se manifiesta en el término de la corriente de diodo, la cual disminuye al aumentar la temperatura, haciendo aumentar la corriente generada por la célula.

El voltaje de circuito abierto está definido por la ecuación:

$$V_{OC}(T) = \frac{E_{GO}}{e} - \frac{kT}{e} \ln \frac{KT^3}{I_L}$$

Ecuación 1.8 Ecuación de Voltaje de Circuito Abierto.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006.

Siendo K y E_{GO} constantes aproximadamente independientes de la temperatura. Observando la ecuación anterior se confirma que la tensión de circuito abierto disminuye a medida que la temperatura aumenta.

Una vez determinado el voltaje con el que se desea que el sistema funcione, la corriente se puede calcular estimando una cierta cantidad de consumo expresado en watts en un día. Este valor dependerá de la cantidad de dispositivos y del tipo que se vaya a utilizar. En este caso estimamos toda la carga y el uso en corriente continua.

$$W/dia = V_{sistema} * I/dia$$

Ecuación 1.9 Ecuación del consumo diario de un sistema fotovoltaico.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006

Para determinar el número de paneles se debe tener en cuenta que pueden ser necesarios un indeterminado número de paneles en serie, N_s , o en paralelo, N_p , para una cierta demanda de energía. Como en este caso se tiene un voltaje de 12V por panel, 12V por batería, podemos intuir que se necesita un solo panel en serie, con las siguientes ecuaciones se puede determinar la cantidad de paneles en serie, determinando valores de el voltaje máximo a diferentes temperaturas.

$$V_{max}(T_{min}) = V_{mp} * N_s(1 + \alpha(T_{min} - T_{amb}))$$

$$V_{max}(T_{max}) = V_{mp} * N_s(1 + \alpha(T_{max} - T_{amb}))$$

$$V_{oc}(T_{min}) = V_{oc} * N_s(1 + \alpha(T_{min} - T_{amb}))$$

Ecuación 1.10 Ecuaciones para la determinación de los rangos de voltajes máximos de

funcionamiento. Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006.

Cuando la temperatura varía:

$T_{min} = 10^{\circ}\text{C}$: temperatura mínima de los paneles.

$T_{max} = 60^{\circ}\text{C}$: temperatura máxima de los paneles.

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$: temperatura ambiente de los paneles en las condiciones STC.

El catálogo de funcionamiento del panel, Figura 1.8, indica que, el voltaje máximo a diferentes temperaturas es siempre superior a 12V por lo tanto:

$$N_s = 1 \text{ Panel}$$

El cálculo del número de paneles en paralelo depende del consumo diario en corriente dividido para la el producto entre el número de paneles en serie y la producción en corriente de un panel.

$$N^{\circ} \text{ módulos} = \frac{\text{Consumo}}{N_s * \text{Producción del Panel}}$$

Ecuación 1.11 Ecuación para el cálculo del número de módulos fotovoltaicos en paralelo.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006

$$\text{Consumo} = \frac{W/\text{dia}}{V}$$

Ecuación 1.12 Ecuación de consumo expresado en corriente al día.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006

$$\text{Produccion del Panel} = Ah/\text{dia}$$

$$Ah/\text{dia} = h.p.s * I_{generados} * \text{Cantidad de dias}$$

Ecuación 1.13 Ecuación de la producción de un panel al día.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006

Donde la $I_{generados}$, es igual al promedio de la corriente que genera el panel fotovoltaico, *Cantidad de días*, como su mismo nombre lo indica, es la cantidad de días para la cual se requiere hacer un estimado de generación, normalmente se hace a diario, y *h.p.s*, es la cantidad de irradiación expresada

en kWh/m² (kilo watts hora por metro cuadrado), es recomendable utilizar el “h.p.s” de menor valor para obtener mejores estimaciones durante todo el año.

En la siguiente imagen, Figura 1.16, podemos observar los diferentes valores de irradiancia que se obtiene en cada mes del año. Este valor depende de la posición de la tierra con respecto al sol o movimiento de traslación, en esta ocasión tenemos los valores de irradiancia de un sector cercano a la ciudad de cuenca calculados por el programa RETScreen 4.

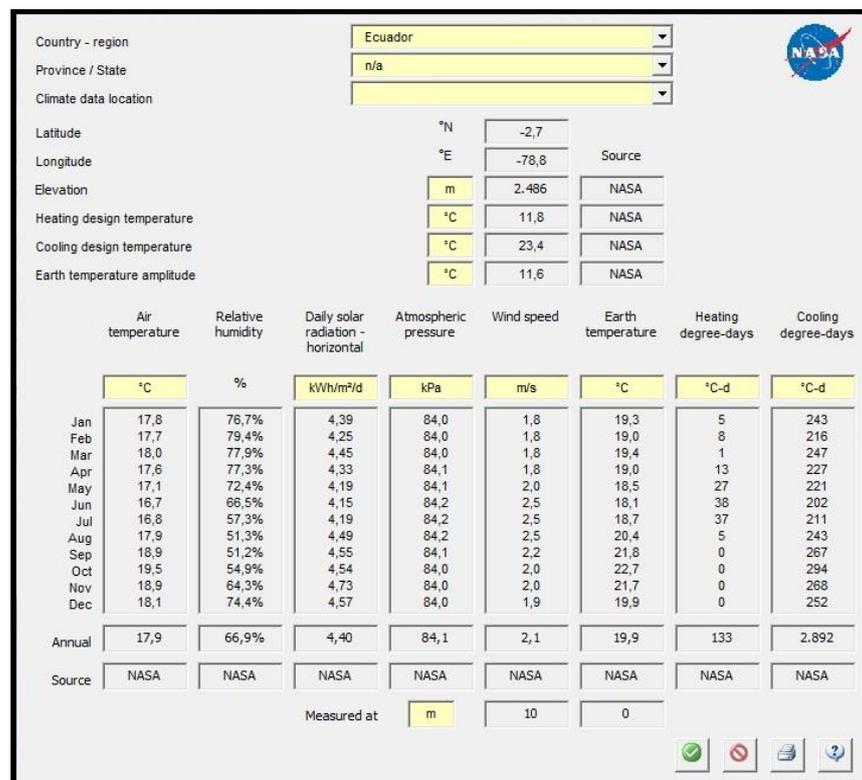


Figura 1.16 Tabla de Irradiancia. Software RETScreen 4.

Fuente: Autor.

La energía que el sistema genera diariamente debe ser almacena con la menor pérdida posible a causa de la resistencia de los conductores, de esta manera aseguramos que el sistema se equilibre y se pueda contar con todos los recursos de energía en el árbol solar. Para reducir la resistencia del conductor a causa del paso de la corriente, existe una ecuación para calcular el calibre específico en función de la longitud, la corriente, constante del tipo de metal y la variación del voltaje de un punto a otro.

$$S = 2 * \frac{(L * I)}{k * V_{1-2}}$$

Ecuación 1.14 Ecuación del cálculo de la sección de área de un conductor.

Fuente: E. Lorenzo Energía Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos. 2006

La instalación de los paneles en el árbol solar son de manera fija, esto significa que no tiene movimiento en los dos ejes para hacer un seguimiento al movimiento del sol. Para obtener la mayor cantidad de energía lumínica, el panel, este debe estar dirigido y ubicado en tal posición para cumplir este objetivo.

1.3.2 Orientación de Paneles Fotovoltaicos.

Dentro de los sistemas solares, la orientación de los paneles es uno aspectos más importantes, considerándolo un factor determinante al momento de generar energía y conservar la mayor cantidad de la misma. Al momento de orientar los módulos solares se deben posicionar de tal manera que, su dirección, ángulo y altura sean las más óptimas, y de esta manera puedan receptor la mayor cantidad de energía proveniente del sol. La instalación de los módulos fotovoltaicos está determinada por dos ángulos, el primero llamado acimut “ α ”, ángulo que mide la desviación respecto a la línea ecuatorial y el segundo que determina la inclinación o elevación, “ β ”, ángulo formado por la superficie del módulo y el plano horizontal.

1.3.2.1 Azimut (α).

Es el ángulo en la cual está orientado el panel, con el plano Norte-Sur. La posición idónea es cuando $\alpha = 0^\circ$, es decir, orientado hacia la línea ecuatorial, particularmente en nuestro caso dirigido hacia el norte, ya que nos encontramos en el hemisferio sur, el sol sale por el Este y se pone por el Oeste, permitiéndonos aprovechar la mayor cantidad de radiación posible durante el día. Las desviaciones con respecto a esta orientación producen pérdidas, más aun cuando son sistemas fijos como el “árbol solar”.

Previo a una instalación de paneles solares, aparte de tener en cuenta a este ángulo, también es necesario analizar el factor sombra, el mismo que se debe

evitar en su totalidad. Para evitar este factor es preciso analizar la ubicación y la altura de los soportes de los módulos.

1.3.2.2 Inclinación (β).

El ángulo inclinación es el que se forma con el panel y la tangente de la tierra en ese punto. La máxima altura que alcanza el sol en el día varía según las estaciones, teniendo su máximo en el solsticio de verano y su mínimo en el solsticio de invierno. En este caso, al estar situados en la zona tórrida, muy cerca de la línea equinoccial, este valor de ángulo es muy pequeño, lo que podemos prescindir de un seguidor del sol, ya que los rayos del sol inciden perpendicularmente haciendo que se aprovechen casi en su totalidad. El ángulo apropiado en este punto de la tierra es de 3° , Latitud $-2,7^\circ$, Azimut 0° , Longitud Este $-78,8^\circ$.

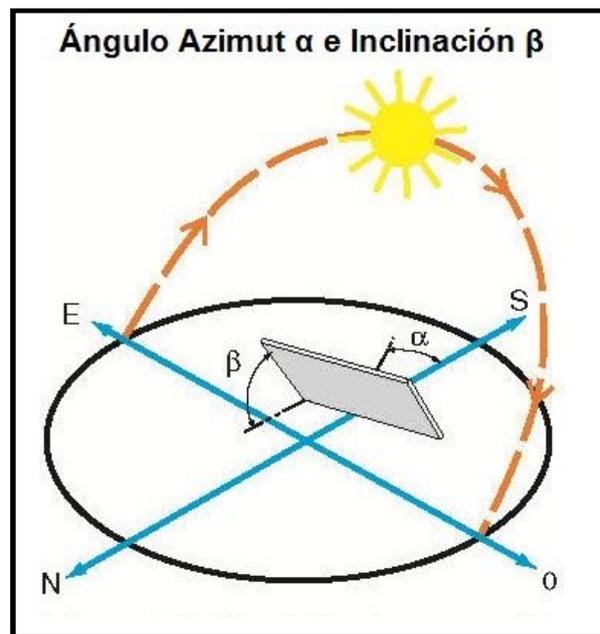


Figura 1.17 Ángulos Azimut e Inclinación.

Fuente: (<http://www.eoi.es/wiki/index.php/Conceptosdeconstrucci34on4sos34ten4356ible>)

1.3.2.3 Cálculo por pérdida de inclinación.

Las pérdidas por inclinación son muy comunes si a este dato no se le tiene en cuenta. Con el ángulo de inclinación y el azimut es posible determinar tal pérdida en la zona ecuatorial. En la siguiente ecuación demostraremos el bajo ángulo β y el azimut 0° .

$$Fl = 1 - \left[1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2 \right]$$

Ecuación 1.15 Ecuación de pérdida por inclinación.

Fuente: (<http://www.eoi.es/wiki/index.php/Conceptosdeconstrucci34on4sos34ten4356ible>)

Cuando:

- $15^\circ < \beta < 90^\circ$
- $\beta_{opt} = 3^\circ - 2,7^\circ = 0,3^\circ$
- $\alpha = 0^\circ$
- $Fl = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (15 - 0,3)^2 + 3,5 \times 10^{-5} 0^2]$
- $Fl = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (14,7)^2]$
- $Fl = 0,97406$

La dirección del panel en el árbol solar:

- Inclinación 15°
- Latitud $-2,7^\circ$
- Azimut 0°
- Longitud $78,8^\circ$ Este.

En el Ecuador, el atlas solar indica un nivel de irradiación es casi constante en el transcurso de todo el año, donde en meses como Junio y Julio, la tierra se encuentra en el punto más lejano que existe en la órbita alrededor del sol llamado como Solsticio de verano, el h.p.s de estos meses se ven un poco disminuidos. La Corporación para la Investigación Energética, CIE y el Nacional Renewable Energy Laboratory - NREL de los Estados Unidos realizó el Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, donde nos enseña mapas con zonas donde la radiación o insolación es mayor y en otras es menor. En las siguientes figuras nos enseña estos niveles de insolación sobre el territorio ecuatoriano continental.

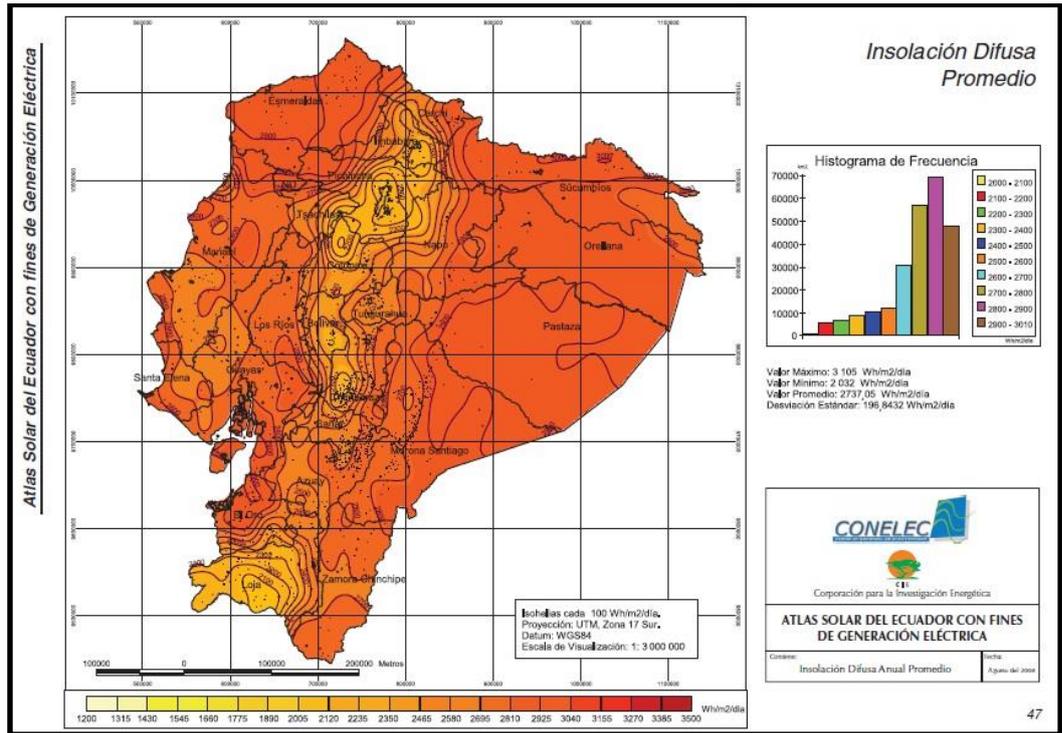


Figura 1.18 Atlas Solar del Ecuador. Insolación Difusa Promedio Anual.
 Fuente: (http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf , 2008)

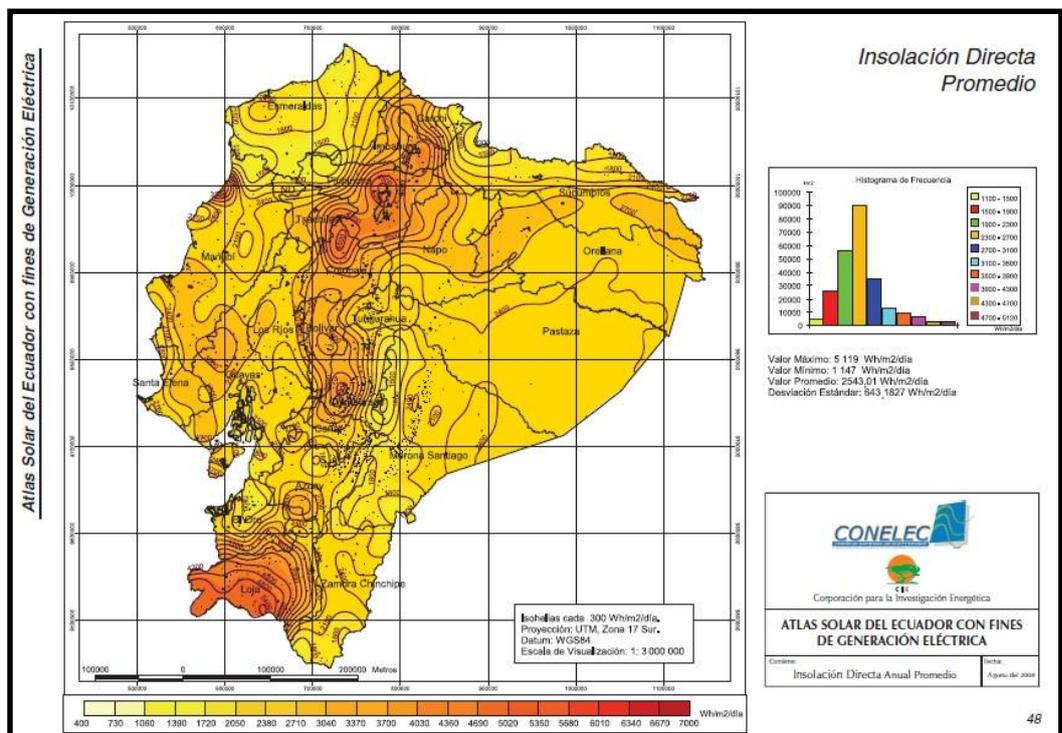


Figura 1.19 Atlas Solar del Ecuador. Insolación Directa Promedio Anual.
 Fuente: (http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf , 2008)

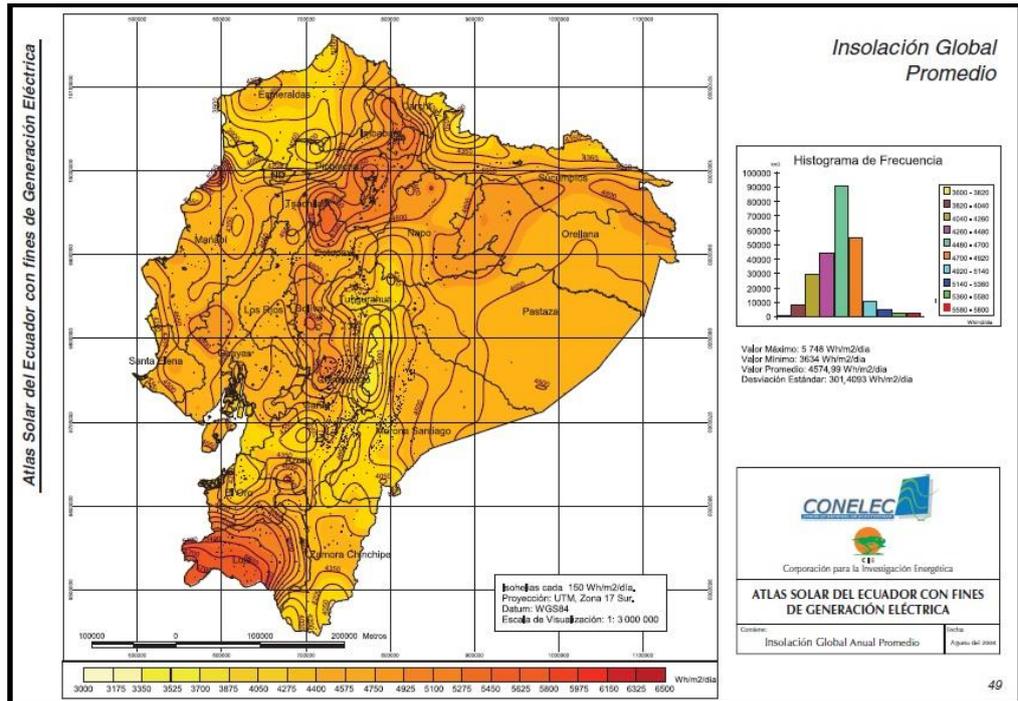


Figura 1.20 Atlas Solar del Ecuador. Insolación Global Promedio Anual.

Fuente: (http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf , 2008)

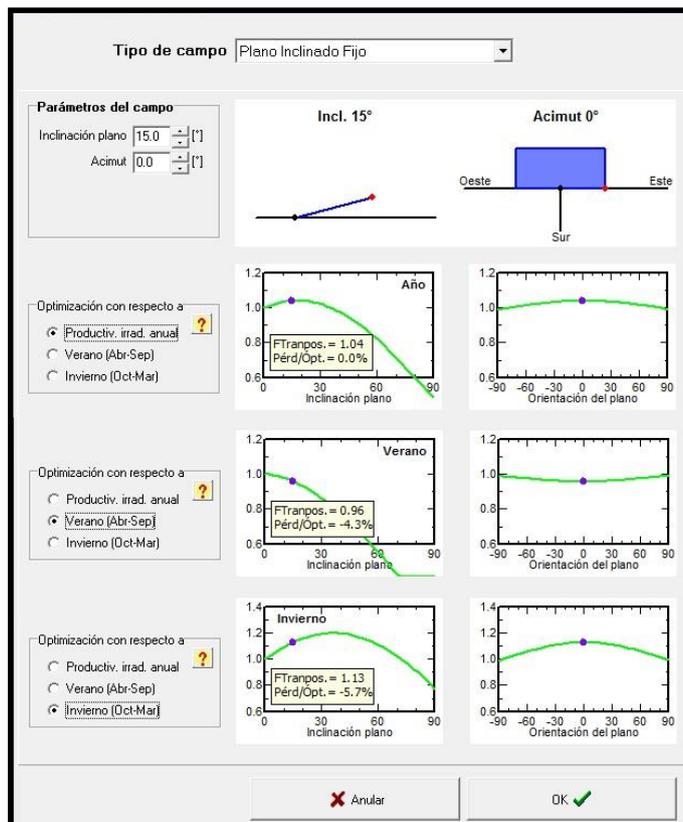


Figura 1.21 Rendimiento del panel y el ángulo de inclinación en Cuenca Ecuador. Software PVSyst 6.3.4.

Fuente: Autor.

1.4 Arduino.

“Arduino es una herramienta de fabricación de computadoras que puedan sentir y controlar el mundo físico a través de tu ordenador personal. Es una plataforma de desarrollo de computación física (physical computing) de código abierto, basada en una placa con un sencillo microcontrolador y un entorno de desarrollo para crear software (programas) para la placa. Puedes usar Arduino para crear objetos interactivos, leyendo datos de una gran variedad de interruptores y sensores y controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos. Los proyectos de Arduino pueden ser autónomos o comunicarse con un programa (software) que se ejecute en tu ordenador (ej. Flash, Processing, MaxMSP). La placa puedes montarla tu mismo o comprarla ya lista para usar, y el software de desarrollo es abierto y lo puedes descargar gratis.

Las placas de Arduino son relativamente baratas en comparación con otras, son multiplataforma, ya que funciona en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de los sistemas de microcontrolador se limitan a Windows.

El software de Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para la extensión por programadores experimentados. El idioma se puede ampliar a través de bibliotecas C++, y la gente con ganas de entender los detalles técnicos pueden dar el salto de Arduino para el lenguaje de programación AVR-C en la que se basa. Del mismo modo, puede agregar código AVR-C directamente en sus programas.

El Arduino se basa en ATMEGA8 y ATmega168 microcontroladores de Atmel. Los planes para los módulos están publicados bajo una licencia de Creative Commons, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo y mejorándolo. Incluso los usuarios con poca experiencia pueden construir la versión tablero del módulo con el fin de entender cómo funciona y ahorrar dinero.”, (Arduino, 2012).

1.4.1 Concepto.

“Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos.”, (Arduino, 2012).

1.4.2 Características.

Existen diferentes plataformas, como Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, y muchas otras que contienen funciones similares. Todas estas herramientas toman los desordenados detalles de la programación para un microcontrolador y la encierran en un paquete fácil de usar. Arduino simplifica el proceso de trabajo con microcontroladores, pero ofrece muchas ventajas para su uso, como son:

Multiplataforma: El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.

Barato: Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas. La versión menos cara del módulo Arduino puede ser ensamblada a mano.

Entorno de programación. Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo.

Código abierto y software extensible: El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C.

Código abierto y hardware extensible: Arduino utiliza microcontroladores Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia Creative Commons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo.

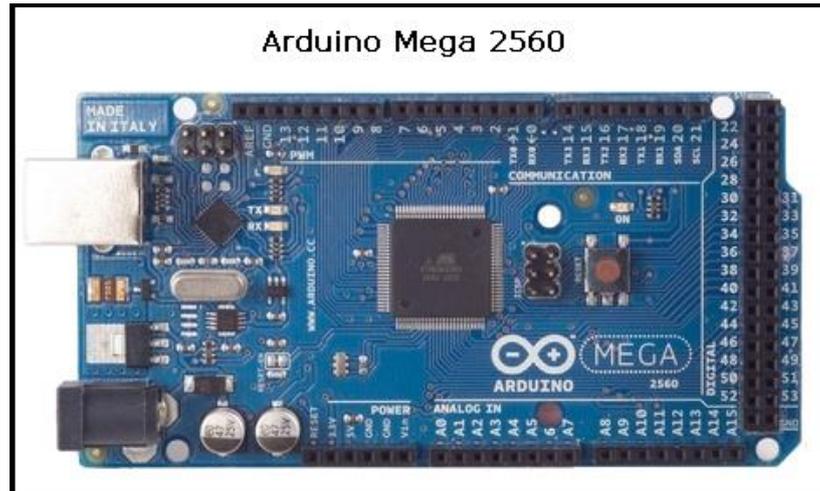


Figura 1.22 Módulo Arduino Mega 2560

Fuente: <https://www.arduino.cc/>

Existen también diferentes módulos fabricados por Arduino, cada uno con diferentes prestaciones, la diferencia principal entre cada uno es su microcontrolador y la cantidad de memoria que disponga, algunos de estos son:

- Arduino Mega
- Arduino Diecimila/Duemilanove y Arduino Bluetooth
- Arduino Pro
- Arduino Nano
- Arduino Mini

Esta tesis contará con unos de los mejores y más actuales módulos fabricados por esta empresa, es con mucha diferencia el más potente y el que más puertos i/o (entradas y salidas), tiene, apto para realizar trabajos más complejos, contiene más memoria de procesamiento que cualquier otro, hablamos del Arduino TMEGA 2560, cuyas propiedades son:

- Un oscilador de crystal de 16 MHz
- Posee 4 puertos seriales por Hardware (UART)
- Posee 16 entradas analógicas
- 54 entrada/salida digitales, de los cuales 14 pueden ser usados como salidas PWM

- Conector USB
- Un jack para alimentación
- Un conector ICSP
- Botón de Reset.

Algunas de sus características son:

Tabla 1.2 Características de Arduino ATmega2560

Características	
Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB (of which 8 KB used by bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Fuente: Autor.

1.4.2.1 Alimentación de Energía para Arduino Mega.

En esta placa electrónica, la fuente de alimentación se selecciona automáticamente, ya que, Arduino Mega puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente adaptador de CA a CC o la batería externa.

La placa puede funcionar con un suministro externo de 6V a 20V, considerando el rango óptimo de alimentación de 7v a 12v a una corriente de 100mA para evitar funcionamientos inestables y sobrecalentamiento.

1.4.2.2 Memoria.

ATmega1280 tiene una memoria flash de 128 KB para el almacenamiento del código de funcionamiento, de los cuales 4 KB se utiliza para el gestor de arranque, 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM que puede ser leído y escrito con la librería EEPROM.

1.4.2.3 Puertos de Entradas y Salidas.

Arduino Mega contiene uno de los microprocesadores más potentes para la gama de placas electrónicas que pueden realizar varias tareas con un nivel de programación estándar, con más puertos ya sean estos digitales o analógicos. La empresa fabricante de este microprocesador es Atmel, que apostó al desarrollo de este chip con 100 pines, dejando a disposición miles de posibilidades al usuario con respecto a otros encapsulados de otras marcas.

Este microprocesador contiene 54 pines digitales que se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando funciones como `pinMode ()` , `digitalWrite ()` , y `digitalRead ()`. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 5V a 40 mA con una resistencia de pull-up de 20 a 50 kOhm. Además existen pines con funciones especiales como los seriales que sirven para transmitir datos, “TX” y para recibir datos, “RX”, los PWM de 8bits, `analogWrite ()`, que sirven como generadores de onda para diversas funciones, pines 2 a 13 y 44 a 46.

También existen pines que pueden configurarse para activar una interrupción externa en un valor bajo, flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor, `attachInterrupt ()`. Estas interrupciones externas son: 2 (interrumpir 0), 3 (alarma 1), 18 (interrumpe 5), 19 (interrupción 4), 20 (interrumpir 3), y 21 (2) de interrupción.

Con respecto a los puertos analógicos, Arduino Mega tiene 16 entradas, cada uno de los cuales proporcionan 10 bits de resolución, que en otras palabras tienen 1.024 valores diferentes. Por defecto se miden desde 0V a 5V, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el pin AREF y función `analogReference ()`.

1.4.2.4 Comunicación.

Arduino Tmega2560 tiene una serie de caminos o formas para comunicarse con un ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores. ATmega2560 contiene diferentes alternativas en hardware UART para TTL (5V) de comunicación en serie. Un FTDI FT232RL en los canales de subida o cargada a uno de ellos a través de USB y los drivers FTDI, incluido el software de Arduino, proporcionan un puerto “Com” virtual para el software en el ordenador. El software de Arduino permite que los datos de configuración y líneas de comando puedan ser enviados desde y hacia la placa Arduino.

1.4.2.5 Carga y Restablecimiento de código (Software).

Arduino Mega está diseñado de manera que permite que sea restablecido por software desde un ordenador que se encuentre conectado. Una de las líneas de control de flujo por hardware (DTR) de la FT232RL está conectado a la línea de reposición de los ATmega2560 través de un condensador 100 nanofaradios. Cuando esta línea se afirma, flaco de bajada, la línea de restablecimiento obtiene un tiempo suficiente para restablecer el chip. De esta manera es que el software de Arduino permite que se cargue código o programas con sólo pulsar el botón de subida.

1.4.3 Características Físicas.

Las dimensiones en largo y ancho del PCB Mega2560 son 10,16cm o 4 pulgadas y 5,334cm o 2.1 pulgadas, respectivamente, el conector de alimentación y el conector USB hacen que su longitud sea un poco mas grande. El Mega2560 está diseñado para ser compatible con la mayoría de los protectores diseñados para el Uno, Diecimila o Duemilanove, (otras plataformas). Los pines del 0 a 13 y los pines adyacentes AREF y GND son digitales, las entradas analógicas de 0 a 5, a lado del encabezado de energía, y la cabecera ICSP están en puntos equivalentes, la UART, principal puerto serie, se encuentra en los pines 0 y 1, de la misma manera que las interrupciones externas 0 y 1 están en los pines 2 y 3, respectivamente. SPI está disponible a través de la cabecera ICS

1.4.4 Programación.

El Lenguaje de programación de Arduino se basa en lenguaje de programación C/C++. El Arduino Mega viene pre-cargado con un gestor de arranque que le permite cargar el nuevo código sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica usando el original STK500 protocolo.

El lenguaje C es un lenguaje de programación de propósito general, potente, rápido y eficaz en el desarrollo de sistemas operativos, como por ejemplo Linux, este sistema operativo permite trabajar con algunos tipos de datos similares como números enteros, flotantes y secuencias. C presenta ciertas características que permiten ejercer un elevado control sobre la eficiencia de los programas, tanto en la velocidad de ejecución como en el consumo de memoria.

La estructura típica de un programa C no es más que una colección de declaraciones de variables globales y de definiciones de constantes, macros, tipos y funciones. Una de las funciones especiales se llama main y contiene el código del programa principal.

Ejemplo básico de Programación C

```
//Fecha:5/4/2012
//suma
//Virginia y Esther

#include<studio.h>
int main () {
    int numero1;
    int numero2;
    int suma;
    suma=0;

    printf ("Introduce el valor del primer sumando:");
    scanf ("%d",&numero1);
    printf ("Introduce el valor del segundo sumando :");
    scanf ("%d",&nuemro2);

    suma=numero1+numero2;

    printf ("La solucion es :%d",suma);

}
```

Figura 1.23 Estructura de un programa sencillo en lenguaje C.

Fuente: Autor.

Este lenguaje es fundamental para el desarrollo de programas, diseñados para ejecutar órdenes y entender señales exteriores, en diferentes plataformas, como lo es Arduino, estos programas se los llama Firmware y contiene toda la información para controlar de las entradas y salidas, ya sea como señales On/Off, PWM, Puertos Seriales, etc.

El entorno de código abierto de Arduino hace fácil escribir un código y cargarlo a la placa E/S. Funciona en cualquier plataforma Windows, Mac OS X y Linux. Este Software diseñado especialmente para los usuarios y cada una de las plataformas diseñadas por esta empresa lleva el nombre de Arduino 0019, (última versión). Este entorno está escrito en Java y basado en Processing, avr-gcc y otros programas también de código abierto.



Figura 1.24 Imágenes del Software Arduino IDE 1.0 o 0019 para Ubuntu.

Fuente: Autor

1.4.4.1 Características de Arduino IDE 1.0 o Arduino 0019.

A comparación de las versiones anteriores, esta última versión de Arduino 0019, corrige pequeñas fallas al momento de compilar y grabar programas. Algunas otras correcciones y mejoras de este nuevo software:

- Añade las funciones `tone()` y `noTone()` para la generación de la frecuencia.
- Añade el comando `Serial.end()`.
- Añadido el parámetro precisión para imprimir los floats / doubles.
- Incorporada la última versión de Firmata.
- Solucionado el problema con desactivar el uso del pin RW en la librería `LiquidCrystal`.
- Ya no se deshabilitan interrupciones en `delayMicroseconds()`.
- Solucionado el problema con la función `micros()` que devolvía valores incorrectos desde dentro de una interrupción.
- Solucionado el problema que impedía el uso de entradas analógicas 8-15 en la Mega.

1.4.4.2 Entorno de Desarrollo.

El nuevo Arduino 0019 está sincronizado con la base de código de Processing 1.0.9, consiguiendo varias correcciones, incluyendo un error que provoca que falle la grabación al cerrar el último sketch, también se añade un soporte para un hardware de terceros en la carpeta `SKETCHBOOK/hardware folder`, que refleja la estructura actual de la carpeta de hardware en Arduino.

Al momento de mantener pulsada la tecla 'shift' mientras pulsamos los botones `Verify/Compile` o `Upload` de la barra de herramientas genera la salida detallada e incluyendo las líneas de comandos. Se encuentra movido el ejecutable generado (en la grabación de un "sketch") de la subcarpeta `applet/` del "sketch" a un directorio temporal, esto libera de problemas con la grabación en el microcontrolador de ejemplos desde dentro de la imagen de disco de Mac OS X o desde una carpeta de aplicaciones Linux.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL HARDWARE PARA EL ÁRBOL SOLAR

2.1 Introducción.

En el capítulo anterior hablamos sobre la plataforma Arduino, su programación y todos los medios para el mismo. Dentro de este entorno, los programas que se desarrollan para estos módulos electrónicos, necesitan un campo de acción, el mismo que sirve para enviar o recibir órdenes, ejecutarlas sobre sensores, actuadores, etc, al mismo tiempo obtener información del exterior, para tomar decisiones, mantener al firmware en un ciclo lógico y que esté funcionando constantemente. Este campo de acción, como lo hemos llamado, tiene un nombre más generalizado, llamado Hardware, muy útil al momento de querer observar a simple vista el funcionamiento de programas que cumplan diferentes funciones o estén creados para facilitar alguna actividad humana.

En este capítulo se realizará la descripción de todas las etapas de hardware que forma parte del equipo que controla el Árbol Solar.

Etapa 1. Generación de electricidad. La primera etapa de hardware comienza con la generación de la corriente eléctrica por parte de los paneles fotovoltaicos, pérdida mínima en la conducción de la corriente, conexión y desconexión de los paneles y salidas de voltaje.

Etapa 2. Acumulación de energía. Esta etapa de hardware consta en la acumulación de la energía recibida por los paneles, control del consumo de la corriente generada y acumulada, ahorro y optimización de la energía acumulada.

Etapa 3. Distribución de energía. La tercera parte de hardware está enfocada en la distribución de esta energía acumulada por diferentes tipos de salidas, sean estas en AC o DC.

Etapa 4. Filtración. Las señales que provienen de los sensores necesitan de su debido proceso de filtración para su correcta interpretación.

Etapa 5. Diseño. Esta etapa se hace el diseño del PCB para la placa electrónica que trabajará en conjunto con la tarjeta electrónica de arduino.

2.2. Etapa 1. Generación de Electricidad.

En el capítulo anterior hablamos sobre la manera de cómo es que se genera electricidad a partir de un panel fotovoltaico y de las diversas características que tiene este, en esta ocasión trataremos sobre la cantidad de energía que generamos, la forma en cómo se calcula y el porcentaje que aprovechamos.

En el árbol solar tenemos la cantidad de un panel fotovoltaico y sus características, a una temperatura promedio de 25°C, son las siguientes:

- Marca: ISOFOTÓN
- $P_{max} = 110W$
- $V_{oc} = 19.5V$
- $I_{sc} = 9.4A$
- $V_{max} = 14.7V$
- $I_{max} = 7,6A$
- $\eta = 15\%$ (catálogo)

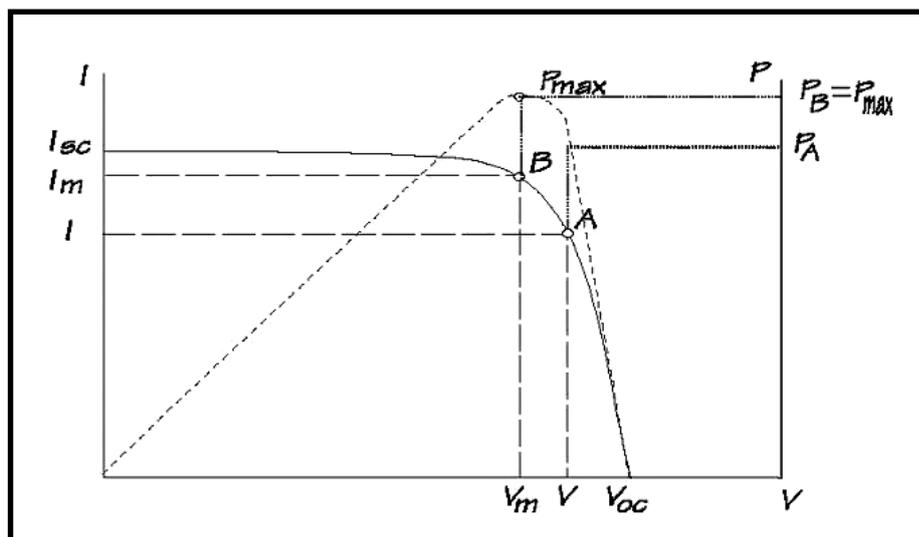


Figura 2.1 Curva característica del funcionamiento de un panel solar.

Fuente: (<http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6037/>)

Para todo sistema fotovoltaico, se requiere de un cálculo previo para determinar la cantidad de paneles, reguladores, convertidores y capacidad de baterías que se necesitan para satisfacer la demanda energética de un determinado sistema, es decir la cantidad de energía que necesitamos con respecto a la cantidad de energía que generamos. Para realizar este cálculo es necesario precisar el valor total del consumo energético del árbol solar, valor con el cual posteriormente podemos determinar la cantidad de energía que se debe generar para mantener el sistema en equilibrio.

2.2.1 Cálculo de Demanda.

Es necesario recordar que este sistema fotovoltaico va a suministrar energía a diferentes dispositivos portátiles, cada uno con diferente consumo de corriente, unos en corriente continua y otros en corriente alterna, por lo que a ciencia cierta no se puede determinar una cantidad de carga constante y el tiempo que estos permanezcan conectados, lo que nos obliga a proyectarnos una cierta cantidad de consumo:

Cuadro 2.1 Cálculo de Demanda.

Carga	Voltaje V	Corriente A	Potencia W	Horas/día	Total W/d
Iluminación	12	0,6	7,2	5	36
Salidas voltaje DC	12	3	36	3	108
Inverter	12	30	360	2	720
			403,2	Total	864

Fuente: Autor

Las 3 cargas que se observan en el cuadro anterior, funcionan a un voltaje de 12V que consumen una cierta corriente, el producto de estas dos, nos da como resultado el consumo en Watts. Cada una de estas cargas consumirá energía del árbol solar indistintamente, sea en la día o en la noche, (iluminación solo en la noche), y el tiempo que estas lo requieran. Se ha introducido una cierta cantidad de horas de consumo a cada carga para realizar este cálculo y de esta manera obtener un valor estimado de la demanda diaria.

Como resultado final obtenemos un valor es de 864W/d, el mismo que utilizaremos para determinar la cantidad de paneles que se necesitan diariamente para generar la suficiente energía para cubrir la demanda.

Para este cálculo es necesario obtener el o los valores de radiación más desfavorables del lugar en donde se instale un sistema solar, en este caso es en la ciudad de Cuenca, donde el mes más desfavorable es el de Junio con una cantidad de kWh/m² (kilo watts hora por metro cuadrado), h.p.s = 4,44. (Véase la figura 2.2).

Determinamos la cantidad de corriente generada por el módulo en un día multiplicando el h.p.s por la corriente del módulo y los días:

- $Ah/día = h.p.s * A \text{ generados módulo} * \text{días.}$
- $Ah/día = 4,44 * 4,1 * 1$
- $Ah/día = 18,204 A$

Determinamos la cantidad de corriente que se requiere diariamente dividiendo la potencia de consumo al día para el valor de voltaje del sistema:

- $W/día = V * I/día$
- $I/día = W/día / V$
- $I/día = 864W / 12V$
- $I/día = 72 A$

Para determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos basta con dividir la cantidad de corriente que se necesita diariamente para la corriente generada en un día:

- $N^{\circ} \text{modulos} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Producción del Panel}}$
- $N^{\circ} \text{modulos} = \frac{72 A}{18,204 A}$
- $N^{\circ} \text{modulos} = 3,955$

Este valor de 3,955, nos da un valor entero de 4 paneles fotovoltaicos para mantener este sistema en equilibrio.

En los siguientes cuadros tomaremos en cuenta los días del fin de semana, que son relativamente bajos en consumo para obtener un valor más exacto de la cantidad de módulos solares fotovoltaicos que se necesitan para satisfacer la demanda:

Tabla 2.2.Cálculo de número de Paneles.

Carga	Corriente	Horas al día	Días	Total
Iluminación	0,6	5	5	15
Salidas voltaje DC	3	3	6	54
Inverter	30	2	6	360
			Total	429

Número de Paneles	
h.p.s	4,44
Corriente Panel	4,1
Días	7
Consumo total	429
Total	3,366607

Fuente: Autor

A comparación del valor anteriormente calculado, donde se obtuvo una cantidad de 4 módulos, este nuevo valor calculado de 3,366, nos indica que podemos prescindir de un panel para este sistema fotovoltaico.

También existe un Software llamado Censol (versión 5.0, 2004), en donde podemos ingresar los datos de los niveles de radiación solar de un lugar específico, la inclinación del panel, la latitud, el consumo y tipo de baterías, e inmediatamente calcula la cantidad de paneles y baterías que en ese sitio se necesita para instalar un sistema solar.

Se han obtenido los valores de radiación solar en cada mes, los valores de h.p.s y la latitud que corresponde a la ciudad de Cuenca.

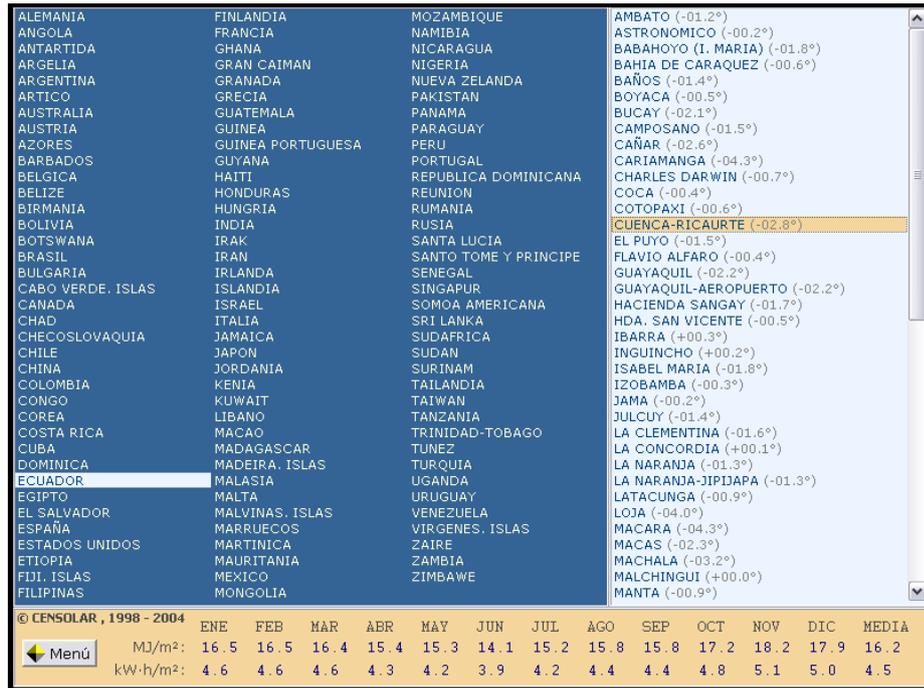


Figura 2.2 Imagen del programa Censol 5.0 con los niveles de radiación mensual en la ciudad de Cuenca. Fuente: CenSolar.

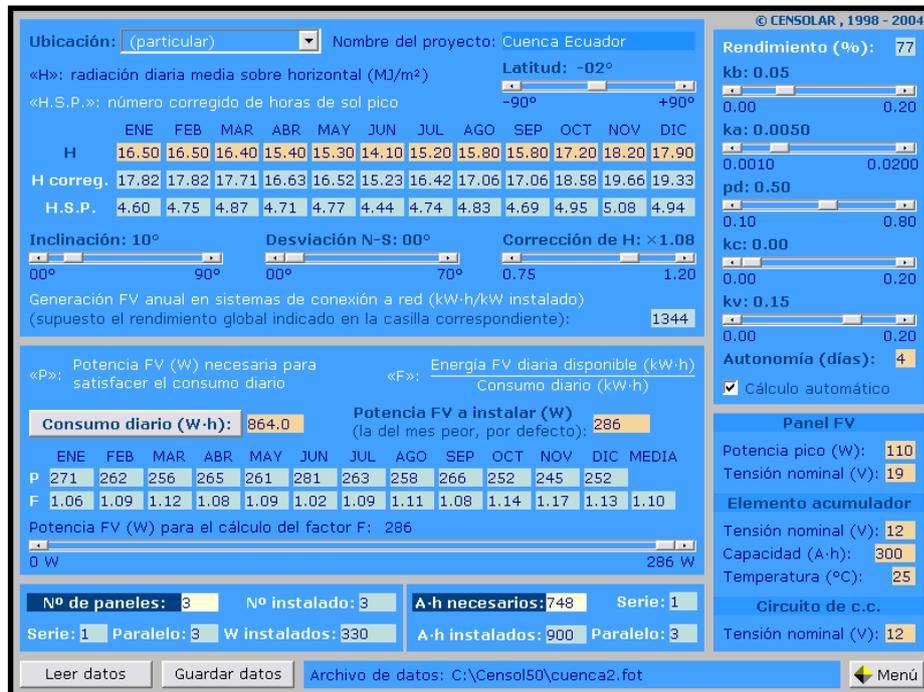


Figura 2.3 Imagen del programa Censol 5.0 calculado cantidad de paneles y baterías. Fuente: CenSolar.

En la imagen Figura 2.3, se puede observar como el programa Censol 5.0, realizó los cálculos para determinar la cantidad de paneles y la capacidad de las baterías para un determinado consumo en la ciudad de Cuenca.

Podemos ver claramente que los cálculos nos indican una cantidad de 3 paneles para mantener nuestro sistema en equilibrio con un consumo de 864Wh.

2.2.2 Cálculo del Calibre para Conductores.

En un sistema solar, una de las partes principales en la conducción de la energía es el conductor, encargada de transportar la corriente eléctrica generada en los paneles fotovoltaicos hacia el regulador, banco de baterías, etc.

Codigo AWG	Diametro del conductor (mm)	Ohmios por kilometro	Amperaje maximo para distancias cortas	Amperaje maximo para distancias largas	Codigo AWG	Diametro del conductor (mm)	Ohmios por kilometro	Amperaje maximo para distancias cortas	Amperaje maximo para distancias largas
0000	11.684	0.16072	380	302	15	1.45034	10.44352	28	4.7
000	10.40384	0.202704	328	239	16	1.29032	13.17248	22	3.7
00	9.26592	0.255512	283	190	17	1.15062	16.60992	19	2.9
0	8.25246	0.322424	245	150	18	1.02362	20.9428	16	2.3
1	7.34822	0.406392	211	119	19	0.91186	26.40728	14	1.8
2	6.54304	0.512664	181	94	20	0.8128	33.292	11	1.5
3	5.82676	0.64616	158	75	21	0.7239	41.984	9	1.2
4	5.18922	0.81508	135	60	22	0.64516	52.9392	7	0.92
5	4.62026	1.027624	118	47	23	0.57404	66.7808	4.7	0.729
6	4.1148	1.295928	101	37	24	0.51054	84.1976	3.5	0.577
7	3.66522	1.634096	89	30	25	0.45466	106.1736	2.7	0.457
8	3.2639	2.060496	73	24	26	0.40386	133.8568	2.2	0.361
9	2.90576	2.598088	64	19	27	0.36068	168.8216	1.7	0.288
10	2.58826	3.276392	55	15	28	0.32004	212.872	1.4	0.226
11	2.30378	4.1328	47	12	29	0.28702	268.4024	1.2	0.182
12	2.05232	5.20864	41	9.3	30	0.254	338.496	0.86	0.142
13	1.8288	6.56984	35	7.4	31	0.22606	426.728	0.7	0.113
14	1.62814	8.282	32	5.9	32	0.2032	538.248	0.53	0.091

Figura 2.4 Tabla del Calibre de Conductor norma Americana (AWG)

Fuente: (<http://asterion.almadark.com/2010/05/31/calibre-de-conductores-y-su-amperaje-maximo/>)

La caída de tensión es un efecto que normalmente se presentan en estos sistemas, ya sea por su bajo voltaje de generación, la resistencia y longitud del conductor, factores que provocan pérdidas de hasta un 15% de caída de tensión cuando este no es bien escogido para su uso en este tipo de instalaciones.

El conductor debe transportar toda la corriente sin ninguna dificultad, sin daños en el aislante o cobertura, ya sea por motivo de la temperatura o daños físicos en el cable. Para evitar estos inconvenientes de pérdidas, se debe determinar el conductor apropiado mediante un cálculo, donde se obtiene la sección del cable medida en milímetros cuadrados, la misma que es comparada con una tabla de la AWG

(American Wire Gauge), en español Calibre del Conductor en la Norma Americana. Esta tabla contiene la información del número del calibre del cable de acuerdo a su sección.

$$S = 2 * \frac{(L * I)}{k * V_{1-2}}$$

Ecuación 1.3

El valor de la corriente **I** es el valor de la corriente de los paneles, es un dato que se obtiene por catálogo, véase la figura 1.2.4; **L** es la longitud total del cable que se pretende utilizar; **k** es el factor de conductividad de el material del cable, cobre 56m/Ohm*mm² y **V₁₋₂** es la caída de tensión, este valor se obtiene de la multiplicación del valor nominal de voltaje del sistema por el porcentaje de pérdida que se quiere tener. En el árbol solar, aproximadamente vamos a tener los siguientes datos:

$$L = 5m$$

$$I = 8,70 * 3, \text{ tres paneles}$$

$$K = 56m/Ohm * mm^2$$

$$V = 12V, \text{ caída de tensión de un 5\%}$$

$$V_{1-2} = 12 * 5\% = 0,6$$

$$S = 2 * \frac{(L * I)}{k * V_{1-2}}$$

$$S = 2 * \frac{(5m * 26.1)}{\frac{56m}{Ohm * mm^2} * 0.6}$$

$$S = 7,76mm^2$$

$$S = 2,7856mm$$

Este valor calculado según la tabla AWG, nos indica que debemos utilizar un cable de calibre #10. Véase la figura 2.4.

Por motivos de aumentar la eficiencia y reducir resistencia el calibre en uso real es cable #6 AWG.

2.2.3 Conexión y Desconexión de Paneles y Salidas de Voltaje.

Existen diferentes maneras de abrir y cortar un flujo de corriente en DC, una de ellas, una especie de “switch” que está conformado por un MOSFET de potencia, que resiste elevadas cantidades de corriente, y transistor, con características similares, que lo activa y desactiva cuantas veces sean necesario. Muchos de estos pequeños “switch” están presentes dentro del Árbol, cerrando y abriendo los diferentes flujos de corriente desde y hacia el cerebro del sistema.

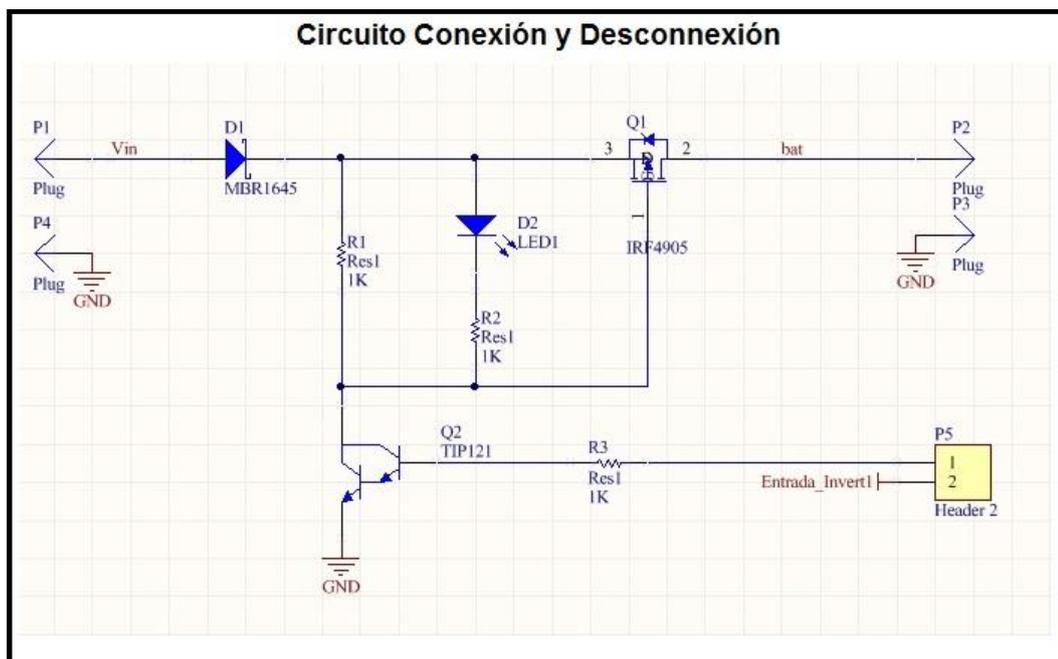


Figura 2.5 Imagen del circuito de conexión y desconexión del panel y salidas de voltaje.

Fuente: Autor.

La simplicidad de este circuito de conexión y desconexión, hace que sea inmune a ruido e impidiendo el ingreso de corrientes parásitas a la parte de control, otras de las cualidades es su baja corriente de consumo y muy económico. Este mismo circuito puede controlar diferentes valores de voltaje y corriente, dependerá de los componentes principales del circuito, como los son el MOSFET y el Transistor.

2.2.3.1 Características del Circuito Conexión y Desconexión de Paneles y Salida de Voltaje.

Este circuito se caracteriza por su simpleza en la cantidad de elementos electrónicos, pero la eficiencia es grande, ya que no depende de otros circuitos para su control de

apertura a la corriente. Es necesario puntualizar que el Mosfet en uso está considerado casi como un superconductor por su trabajo con corrientes elevadas, voltajes controlables y con una corriente de encendido supremamente bajo.

- MOSFET PNP IRF4905. Source $I_{max} = 74A$, $V_{max} = 55V$
- TRANSISTOR TIP 121. Collector $I_{max} = 5A$, $V_{max} = 100V$
- Resistencia 1 W. $10K\Omega$ y $\frac{1}{2}$ W. $10K\Omega$
- Diodo Led.

2.3 Etapa 2. Acumulación de Energía.

Esta etapa es fundamental para un sistema solar, una vez calibrado el grosor de los conductores y el sistema de conexión y desconexión, procedemos a acumular toda la energía, aprovechada por los paneles en el día, la misma que se utilizará en días de baja radiación y en las noches.

2.3.1 Cálculo de la Capacidad de la Batería.

Para calcular el valor de la capacidad que deben tener las baterías es necesario saber el consumo diario del sistema, valor que anteriormente ya fue calculado, pero en este caso se necesita plantear la cantidad de días en que el sistema va a ser autónomo, lo que quiere decir, son los días en donde el sistema va a recibir una mínima cantidad de radiación o por algún motivo que el o los paneles no carguen a las baterías.

- $I/día = 72 A$
- Días de Autonomía = 4 días.
- Capacidad de baterías = $I/día * días de autonomía$.
- Capacidad de baterías = $72 * 4$
- Capacidad de baterías = 288

La batería apropiada, que nuestro sistema necesita, es una que nos entregue 12V y 288 A/h o superior, cabe recalcar que la batería que utilizaremos en el árbol solar es un banco de 2 baterías conectadas en paralelo, cada una con una capacidad de 155 A/h a $25^{\circ}C$, otorgándonos una capacidad cercana o superior a los 300 A/h, una conductancia promedio de 75% y un rendimiento entre el 89%.

2.3.2 Control de corriente generada y acumulada.

Todo sistema solar debe tener un control del flujo de la corriente, circuito parecido a los reguladores de carga, impiden la sobre carga y descarga profunda de las baterías, conectando y desconectando los paneles de las baterías.

El hardware, en esta parte de la tesis, estará ligado a la conexión y desconexión de los paneles (véase la figura 2.5), el mismo que también podrá regular la carga de la batería y obtener salidas de voltaje para distintos usos.

Este circuito será comandado por el firmware que se ejecutará en el módulo Arduino, controlando los flujos de corriente en ambos sentidos, entrada y salida, de una manera inteligente, logrando una eficiencia energética, optimizando recursos y sin dejar de cumplir el objetivo de recargar diferentes dispositivos electrónicos.

2.3.3 Circuito Regulador de Voltaje.

Este esquema de un circuito regulador, obtiene el voltaje que proviene del panel solar, para que a la salida se obtenga un valor regulado apropiado para cargar las baterías. En días muy soleados el panel puede llegar a entregar voltajes que van desde los 16V a 19V, este valor sobre pasa el nivel de carga por placa de una batería convencional, el árbol solar tiene un acumulador que necesita un voltaje de carga por placa de 2,25V, si la batería es de 6 placas el voltaje apropiado para cargarla seria de 13,54V para no afectar su vida útil.

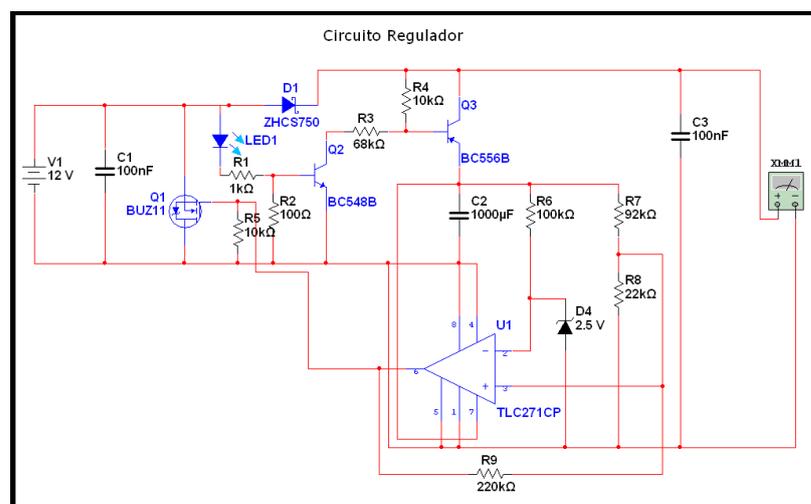


Figura 2.6 Imagen del circuito regulador de voltaje.

Fuente: Autor.

El funcionamiento de este regulador consiste en una entrada de voltaje, de 0V a 26V, entre C1, que permite que el sistema de activación del circuito inicie y comience su tarea de regulación, el transistor operacional trabaja como un comparador, la entrada es comparada con un rango de voltaje previamente programado (12,10V - 13,54V), en el momento que el voltaje de entrada es menor a 12,10V, la salida no está activada y el sistema ocupa la corriente directamente de las baterías. Cuando el voltaje oscila entre 12,11V y 13,53V el circuito está cargando las baterías y ocupando la corriente de ambas fuentes, si el estado de carga de la batería es del 100% y dependiendo del consumo en ese momento, solo se ocupará la corriente proveniente del o los paneles. Cuando en el voltaje del o los paneles, sea mayor a 13,54V, la salida de voltaje del regulador siempre será 13,54V, en este caso el paso de toda la corriente hacia las baterías pasa por el MOSFET y los transistores de potencia, asegurando una corriente de carga entre los 0,5A y los 8A. Al igual que en el caso anterior, cuando la batería esté completamente cargada, dependerá de la demanda en ese momento para decidir si se alimenta de las dos fuentes o solo de los paneles.

2.4 Etapa 3. Distribución de Energía.

En esta última etapa de hardware, está dedicada a la distribución de la energía generada en el día y durante la noche administrar la energía acumulada de las baterías. Este circuito considerado como circuito de salida, es el más básico pero muy funcional dentro del esquema general.

2.4.1 Circuito de Salida DC.

Consiguiente al circuito de conexión y desconexión, Figura 2.5, se encuentra el circuito de salida, parte del diagrama en donde se conectan los dispositivos electrónicos que se conectan eléctricamente del árbol solar. Se debe considerar que la mayoría de dispositivos actuales comparten un mismo conector para cargar la batería y transmitir datos, este conector es el USB (Universal Serial Bus), parte principal de este circuito.

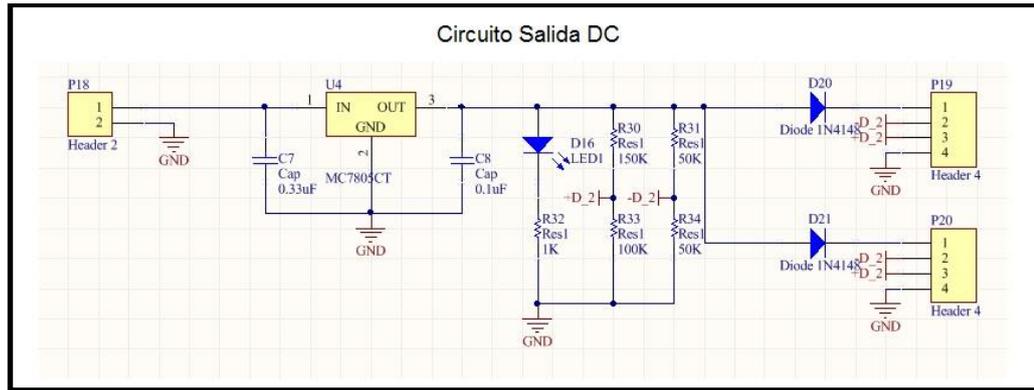


Figura 2.7 Imagen del circuito salida DC.

Fuente: Autor.

El funcionamiento de este circuito de salida DC se caracteriza por su simplicidad del mismo, consta de una alimentación de 12V seguido de un rectificador a 5V 1A, la cadena de resistencias están calculadas para generar un 1 y un 0 en d+ y d- respectivamente.

2.4.2 Circuito Controlador para la Salida AC.

Este circuito funciona de la misma manera que el circuito de salida DC, pero sin el rectificador de 5V ni el conector USB, básicamente es el mismo diagrama de conexión y desconexión, (figura 2.5), conectado directamente al inverter. Particularmente este circuito consta con componentes que manejan corrientes elevadas, más de lo que se manejan en DC, asegurando un manejo de corriente adecuado hacia las cargas en AC.

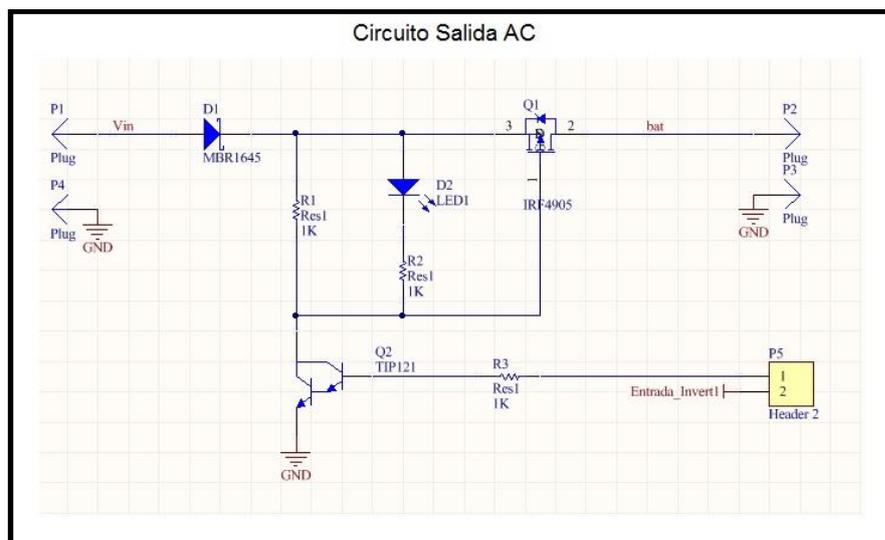


Figura 2.8 Imagen del circuito salida AC

Fuente: Autor.

2.5 Etapa 4. Filtración.

Al momento de contar con más de un circuito para realizar uno o más procesos dentro de un sistema, el manejo de las señales para controlar el mismo se vuelve problemático, ya que por diversas circunstancias se puede llegar a filtrar ruido por los conductores que van desde los sensores hacia el microcontrolador y viceversa.

Es necesario filtrar esta señales y muchas de ella amplificar para evitar errores de proceso al momento del funcionamiento de este sistema.

2.5.1 Circuito de amplificación y filtración de señales.

Este circuito amplificador se le conoce como un amplificador no inversor, consta de un amplificador operacional con una resistencia es su retroalimentación de la salida hacia su entrada negativa, creando un partidor de tensión en la entrada antes mencionada.

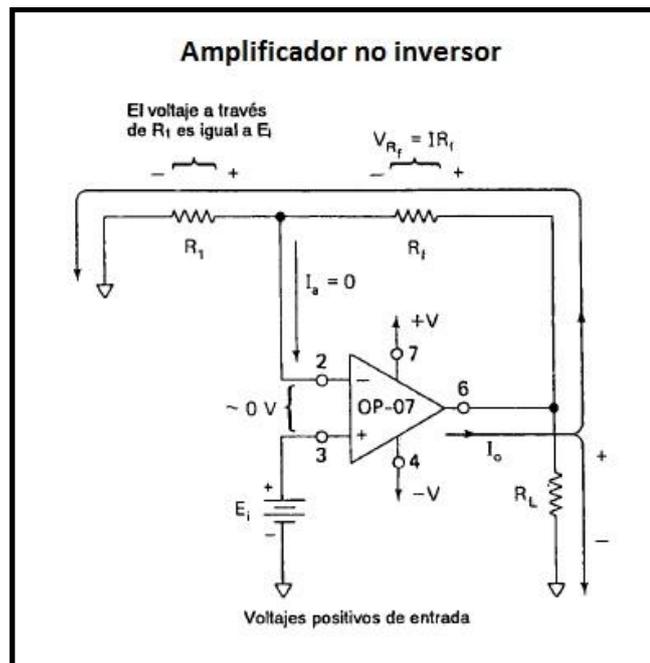


Figura 2.9 Imagen de un circuito amplificador no inversor

Fuente: (Libro Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrales Lineales. Pag 63 Cap 3. Imagen (a) Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll , 1999)

Esta configuración de circuito hace que la señal que ingresa por la entrada positiva del amplificador se vea afectada por la siguiente ecuación:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) E_i$$

$$I_L = \left(\frac{V_o}{R_L}\right)$$

Ecuación 2.1 Amplificador No Inversor.

Fuente: (Libro Amplificadores Operaciones y Circuitos Integrales Lineales. Pag 63. Cap 3. Imagen (a) Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll , 1999)

Aparte de amplificar la señal de ingreso sirve como amplificador de aislamiento, donde se evita el ingreso de cualquier fuente de ruido que se crean al paso de corrientes por la parte superior e inferior de la placa del circuito en general y al mismo tiempo de los dispositivos externos a las cuales estará expuesto el árbol solar.

2.6 Etapa 5. Diseño PCB.

Una de las partes más importantes en una tesis, que consiste en manejar señales con distintas intensidades para realizar un control sobre las mismas, a partir de un microcontrolador, es el diseño del PCB, elemento fundamental que contiene la distribución de los elementos electrónicos que se necesitan para el funcionamiento de este proyecto.

El éxito de un buen diseño de una placa electrónica es saber distribuir bien los elementos que lo conformaran, optimizando recursos como espacio, disminución de ruido y aislamiento para generar seguridad en el momento que la placa este trabajando con altas y bajas corrientes.

El diseño de la huella PCB está realizado en Altium Designer, versión 10.8, aquí se puede divisar la ubicación de los elementos de potencia en la parte central izquierda superior y los elementos para el manejo de señales pequeñas, como las de control, en la parte inferior y superior derecha. El tamaño de esta placa es 14,8 cm de ancho y 15,3 cm de largo y una cantidad alrededor de 250 elementos electrónicos entre resistores, capacitores, semiconductores y superconductores.

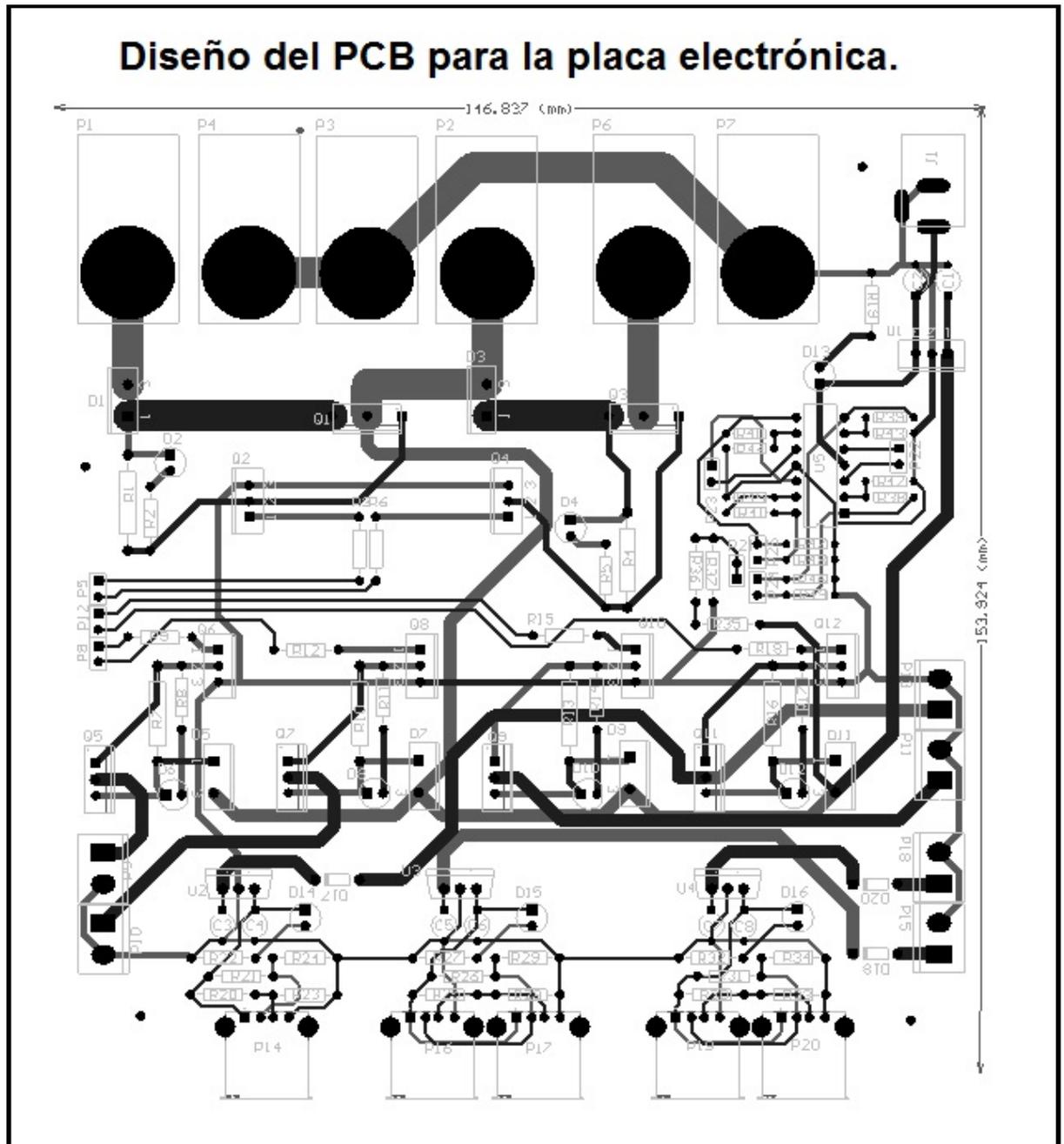


Figura 2.10 Diseño de la huella PCB para la elaboración de la tarjeta electrónica que controlará todos los periféricos que se encuentran en el árbol solar. (Altium Designer 10.8 2011.)

Fuente: Autor.

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL SOFTWARE PARA ARDUINO

3.1 Introducción.

En la actualidad, los equipos electrónicos están compuestos, en su hardware, por microcontroladores, estos pequeños “chips” han logrado grandes avances en la tecnología de cada dispositivo que los utiliza, reduciendo el tamaño, abaratando costos de fabricación, y simplificando funciones a los usuarios.

Para operación y funcionamiento óptimo de cada uno de estos microcontroladores, principalmente se debe que contar con un buen firmware donde maneje de manera ordenada, lógica y precisa cada una de las partes del hardware.

El firmware está ligado de manera directa con la electrónica del dispositivo, ya que es el software que controla todo el hardware, ejecutando todas las instrucciones externas.

Como habíamos hablado anteriormente, en el primer capítulo, la tarea de controlar todos los movimientos electrónicos dentro del Árbol Solar, lo realizará Arduino, con todo el software y hardware que lo componen.

En este capítulo se elaborará y describirá el programa que contendrá el microcontrolador para ejecutar las instrucciones y controlar cada parte de hardware que está instalado en el árbol solar.

Etapa 1. ATMEL ATMEGA 2560. Esquema y reconocimiento.

Etapa 2. Diagrama de funcionamiento de programa para el Árbol Solar.

Etapa 3. Primera etapa de programa de enlazar todas las partes del árbol solar, recibir todas las señales y asociales para su respectivo funcionamiento.

Etapa 4. Esta etapa censa, mide y controla el voltaje y corriente del sistema, también controla las salidas y entradas desde y hacia los paneles, baterías y salidas de voltaje.

Etapa 5. Visualización de las dos etapas anteriores.

Etapa 6. Código de Programa.

3.2 Etapa 1. ATMEL ATMEGA 2560. Esquema.

Este microcontrolador de 100 pines, tiene las características apropiadas para el funcionamiento del Árbol Solar, que consta en el control y manejo de todas las entradas y salidas de voltaje, de manera que se pueda aprovechar, acumular y ahorrar la energía proveniente del sol.

Para el desarrollo de un buen programa que controlen los diversos circuitos que contiene el hardware del árbol solar, es necesario conocer el microcontrolador, sus puertos y el uso de cada uno de ellos. Para el manejo de la corriente, entrada y salida, en necesario ocupar los puertos digitales, ya que, el circuito para el que fue diseñado solo necesita manejar dos estados, on/off, el mismo que se distribuyen en 86 pines de digitales, 16 pines analógicos y 12 PWM para una resolución de 16 bits.

En la siguiente imagen tenemos el esquema del ATMEGA 2560, donde se encuentra la distribución de los 100 pines que lo conforman:

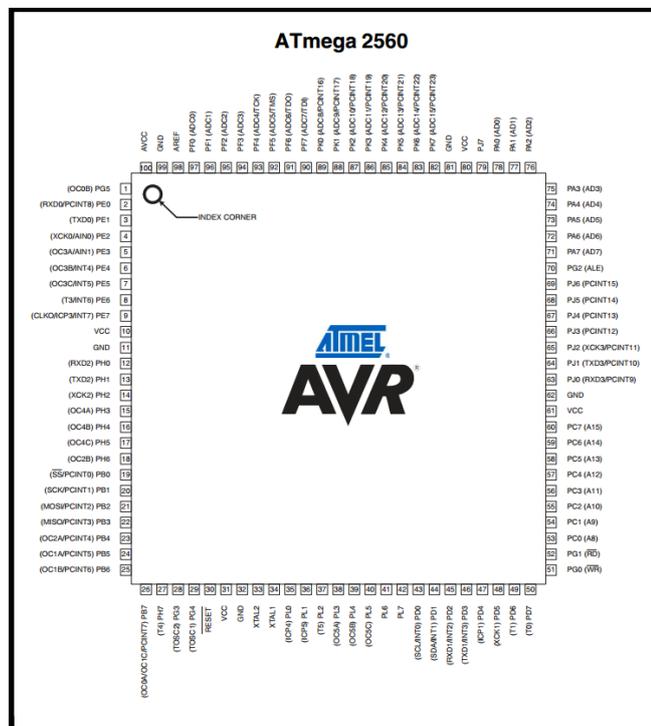


Figura 3.1 Esquema de distribución de pines del microcontrolador ATMEGA 2560.

Fuente: (Atmel, Datasheet ATMEGA 2560)

3.3 Etapa 2.

Diagrama de funcionamiento del programa (Firmware), para el Árbol Solar.

Este diagrama de bloques, proporciona una idea básica de cómo está elaborado el firmware que contiene el microcontrolador y que actúa sobre el hardware del Árbol Solar. Es necesario aclarar que este diagrama proporciona la forma lógica de cómo se comportan las compuertas de corriente que contienen el diagrama de circuito.

Al inicio del diagrama, Figura 3.2, el programa de funcionamiento, inicializa el visualizador, LCD, puertos y sensores. Al detectar un cierto flujo de corriente del panel y el estado de resistencia del LDR, la comparación de ambos entre sí, determina el día y la noche, si ambos son ciertos es positivo, día, si uno o dos de ellos son contrarios es negativo, noche. Cuando es negativo, la toma de decisiones en rutinas es necesaria, ya que se comienza a consumir los recursos almacenados en el día y la reserva de las baterías. Dependiendo de la demanda, la salida de corriente de los acumuladores esta en modo “on”, al igual que las luminarias y las salidas de voltaje DC y AC detecta la carga e inicia el funcionamiento, caso contrario no se activan y van al final del programa para iniciar un nuevo bucle. En el caso de que es positivo, la primera comparación, el switch principal entre en consumo del panel y la batería, está abierto, este permite la reserva de energía y consumo de la misma.

En el siguiente diagrama de flujo, figura 3.2, se explica gráficamente la toma de decisiones cuando existen diferentes consumos de corriente, donde compara niveles de carga y reserva para el funcionamiento de los switch para limitar la salida de corriente y preservar la vida útil del sistema. En el día, la toma decisiones son similares, pero con dos variables que son determinantes, como lo es la temperatura y la cantidad de radiación, ya que estas son factores que también condicionan el funcionamiento y el tiempo de vida útil del sistema. En el primer capítulo están todos los datos de temperatura, mínimos y máximos para un correcto uso de los acumuladores y panel. El hardware de funcionamiento y el inverter, están diseñados con su propio sistema de refrigeración, ya que también depende de la temperatura para su óptima distribución de corriente.

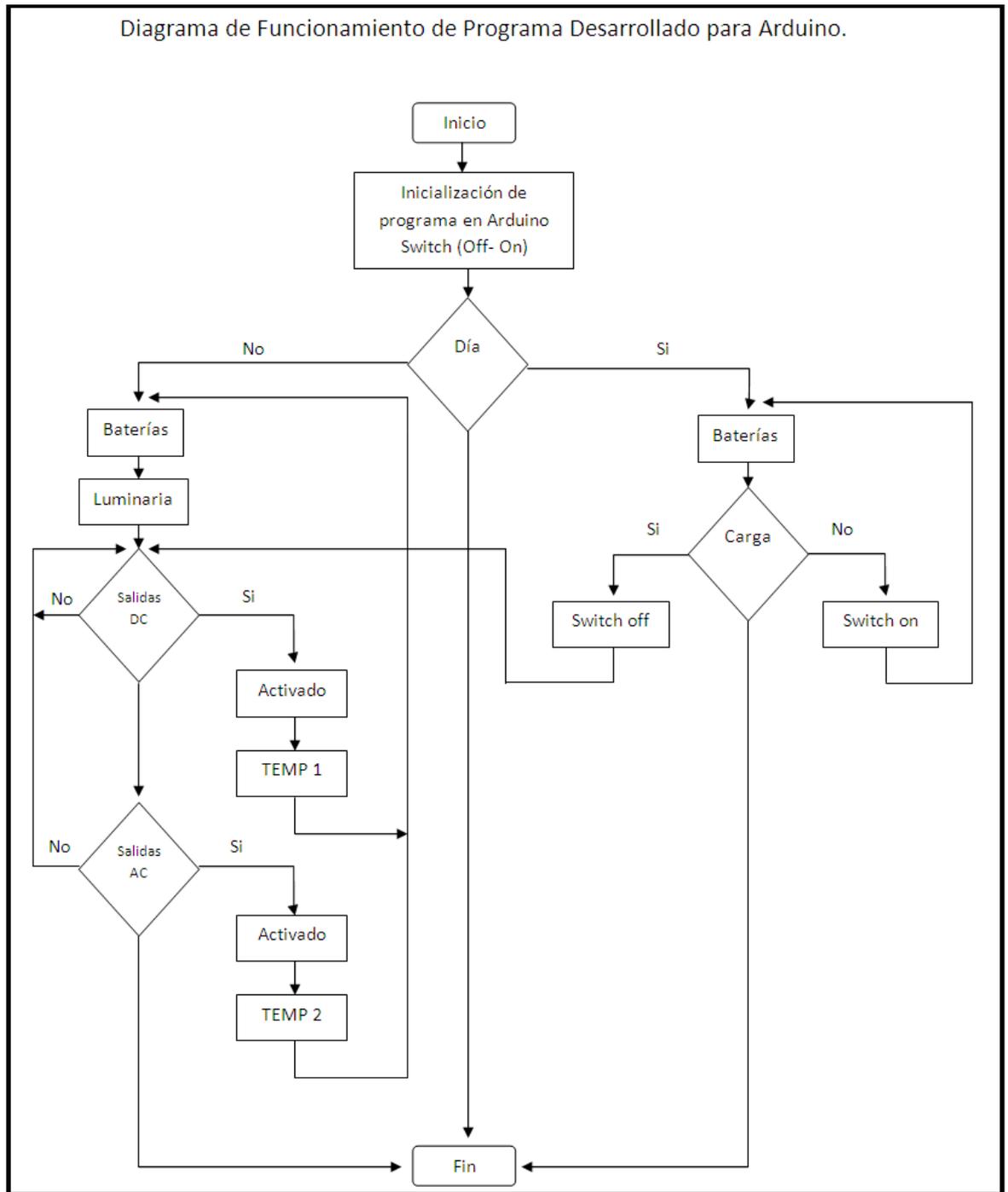


Figura 3.2 Diagrama de funcionamiento del programa que está desarrollado para Arduino.

Fuente: Autor

3.4 Etapa 3. Enlace.

En todo hardware es importante mantener enlazados o conectados cada una de sus partes que lo conforman, este trabajo lo realiza el software, el mismo que puede ser editado o reconfigurado las veces que sean necesarias para alcanzar el máximo porcentaje de funcionamiento. El firmware del Árbol Solar está diseñado para mantener la comunicación constantemente con su hardware, más aun con las entradas y las salidas, principal puerta para la apertura y pasó de la corriente hacia distintos dispositivos en uso.

Los sensores que actúan en el árbol solar, como el de temperatura, cantidad de lúmenes, corriente, están conectados mediante una entrada análoga hacia en microcontrolador, en donde se procesa la información y se la interpreta para visualizar en la LCD.

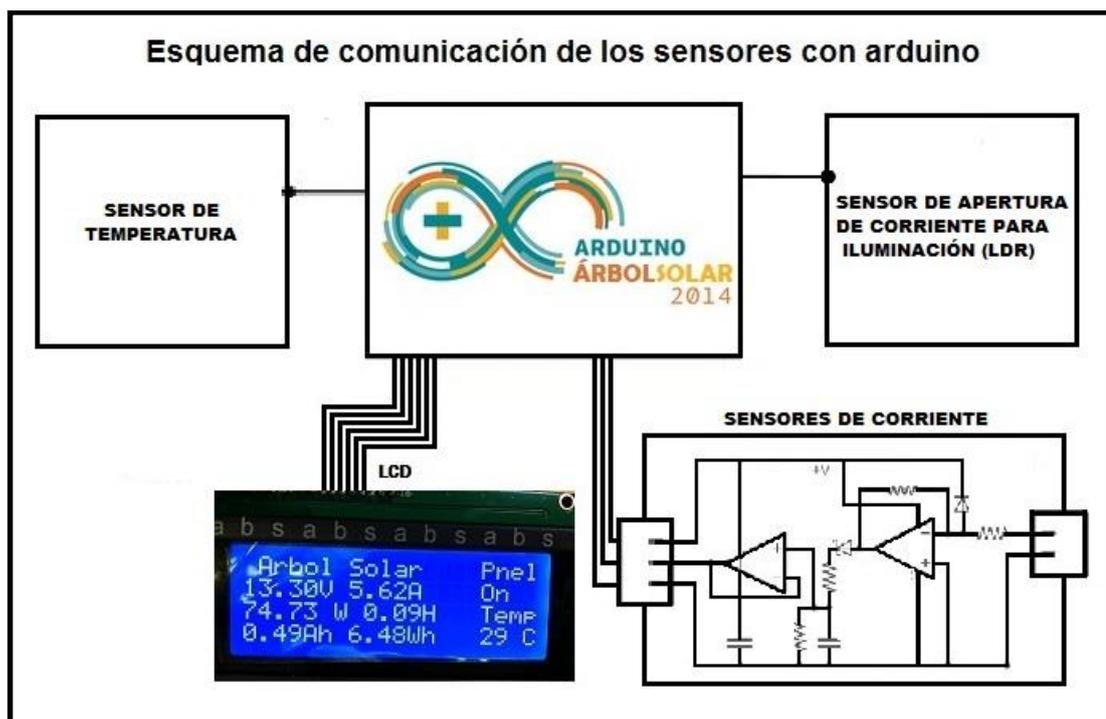


Figura 3.3 Esquema de comunicación de los sensores con Arduino.

Fuente: Autor.

La comunicación de la LCD con el micro controlador es de manera mixta, tanto análoga como digital, todas estas señales son fáciles de perderlas o no interpretarlas correctamente, para eso, toda la información tiene que ser filtrada previamente para su debido procesamiento en la cual consiste en recepción, interpretación, calculo y

visualización en el display ya sea en forma de letras o números. Los otros sensores tienen un nivel de interpretación con una resolución de 16 bits para un cálculo de valores más exactos.

3.5 Etapa 4. Control.

En el manejo de señales es indispensable contar con un sistema de control, el mismo que trabaja con todos los mecanismos externos para obtener la salida deseada en este proceso. El firmware que se diseñó para el árbol solar, se dedica a controlar la Etapa 3, en donde se actúa a medida que se va interpreta cada señal que se obtienen de los sensores, de manera ordenada para no crear conflictos de software, bucles infinitos, y menos desperdicio de energía, parte fundamental de este proceso.

En la imagen anterior, (Figura 3.3), la etapa de control actúa directamente sobre el esquema de los sensores, como el de temperatura, LDR y sensor de corriente, así mismo, como el de la apertura de entrada de corriente que ingresa a las baterías, proveniente del o los paneles, para su respectiva carga. (Figura 2.6).

En el siguiente diagrama de un circuito simulado de amplificación filtradora no inversora, se introducen 4 señales diferentes para ser tratadas y su respectiva interpretación. Aquí se manejan señales tan pequeñas que son fáciles de confundir con ruido. Su funcionamiento es como un filtro, evitando sensibles errores de visualización. Sensores de flujo de corriente producen un voltaje en niveles de milivoltios, los mismo que para cálculo interpretación y visualización correctos, es necesario de este útil amplificador que nos evita problemas de lectura, los mismo que el programa los tomaría como datos fuera de rango, provocando bucles infinitos o simplemente toma de decisiones erróneas en momentos donde la temperatura, radiación u otro factor sea determinante en la vida útil de algún elemento perteneciente al sistema.

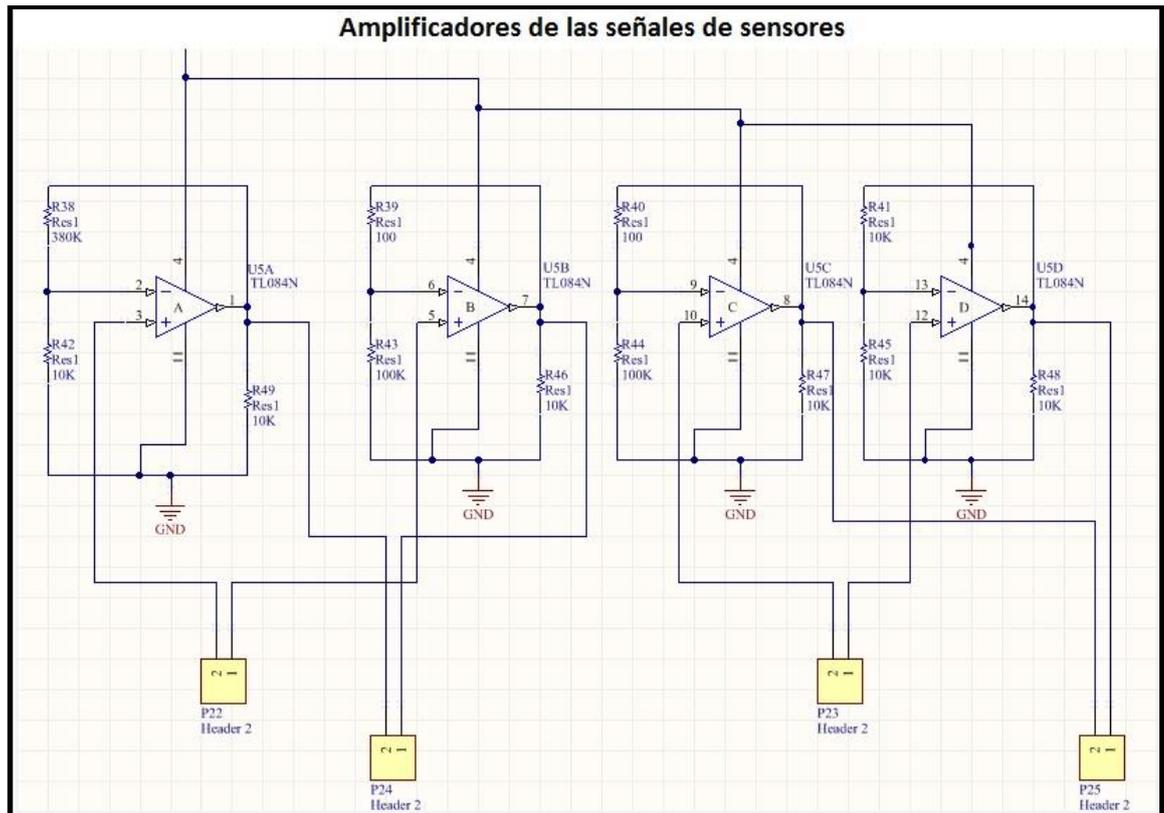


Figura 3.4 Esquema de circuito amplificador de señales para su procesamiento dentro de Arduino.

Fuente: Autor.

3.6 Etapa 5. Visualización.

Una vez que las señales se hayan filtrado, amplificado, receptado y procesado por el microcontrolador, el firmware procede a representar dicha información adquirida en forma visual. Esta visualización es de forma sencilla, fácilmente comprensible para personas que no están familiarizadas con los términos. En el LCD (liquid crystal display), la información es visualizada en forma de números y de letras donde se muestra voltaje, corriente, watts, amperios hora, watts hora, estado de carga, estado corriente del panel y temperatura, con esta información se mantiene al usuario al tanto del funcionamiento del árbol solar.

En la siguiente imagen se puede observar la visualización de cada una de las señales y estados que son importantes en un sistema auto sustentable.

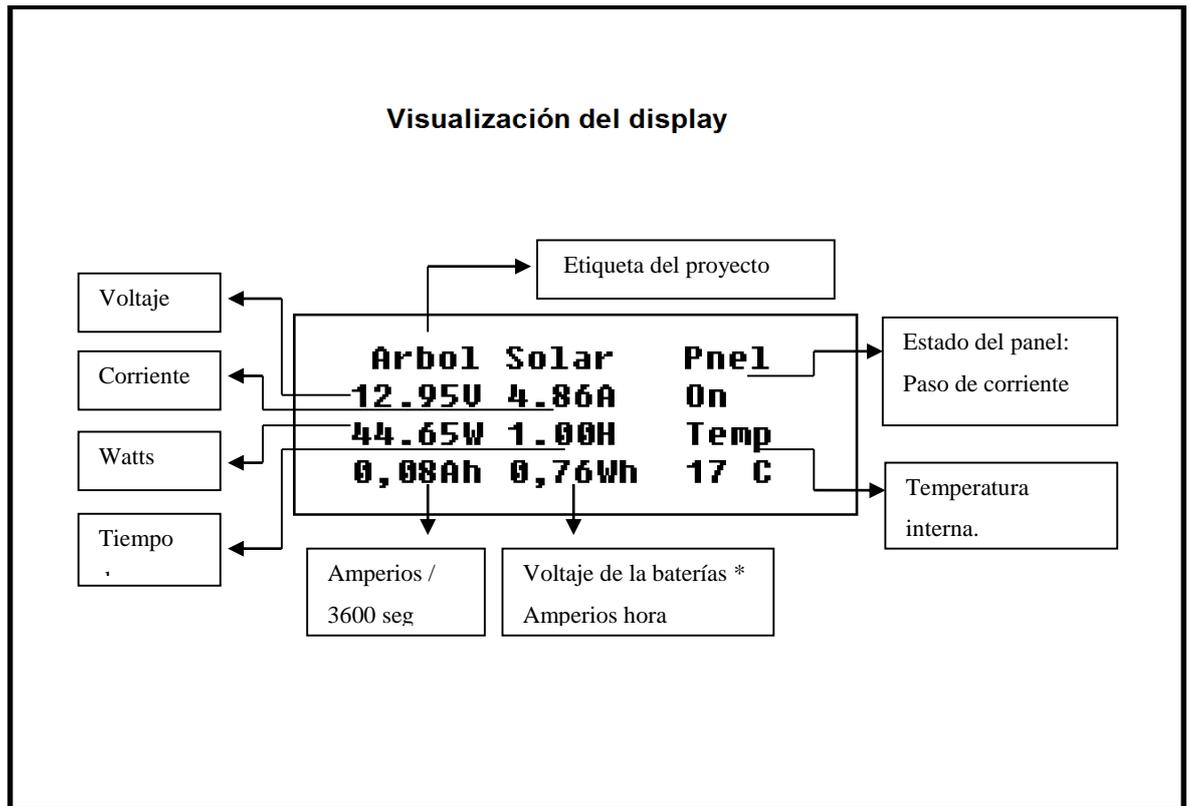


Figura 3.5 identificación de cada dato en la visualización del display en el Árbol Solar.

Fuente: Autor.

3.7 Etapa 6. Código de Programa.

Esta etapa contiene el código de programa, mejor llamado como “firmware”, este conjunto de comandos hacen que el módulo de arduino comande y controle todas las funciones que el sistema del árbol solar necesita que llevar a cabo el propósito de generar, acumular y ahorrar energía limpia.

En las siguientes líneas veremos toda la programación necesaria para que las demás etapas de este capítulo funcionen en conjunto.

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
#define Display 7
```

```
/* Firmware para Árbol Solar Versión beta 1.01
```

```
Proyecto de Tesis:
```

```
ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ÁRBOL SOLAR INMÓTICO  
AUTOSUSTENTABLE DESARROLLADO EN SOFTWARE LIBRE.
```

```
Realizado por: Juan Bernardo Cornejo.
```

Este programa realiza todo el control de las diversas funciones que el hardware realizado para el funcionamiento de manejo de Corriente, flujos, switch, luces y comunicación de Árbol Solar.

*/

```
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
```

/*

Inserte las pines de potencia en el circuito de cable positivo cargas.

Partidor de tensión para voltímetro.

4.3512

*/

```
int batMonPin = A2; // input pin para el partidor de tensión
```

```
int batVal = 0; // variable para guardar A/D
```

```
float pinVoltage = 0; // variable donde guarda A/D
```

```
float batteryVoltage = 0;
```

```
int analogInPin = A4; // Analog input sensor de Corrientes principal.
```

```
int sensorValue = 0; // lectura de valor para la corriente
```

```
int outputValue = 0; // salida en miliamperios
```

```
int panel = 8;
```

```
int inverter = 9;
```

```
int s1 = 22;
```

```
int s2 = 23;
```

```
int s3 = 26;
```

```
int s4 = 27;
```

```
unsigned long msec = 0;
```

```
float time = 0.0;
```

```
int sample = 0;
```

```
float totalCharge = 0.0;
```

```
float averageAmps = 0.0;
```

```
float ampSeconds = 0.0;
```

```
float ampHours = 0.0;
```

```
float wattHours = 0.0;
```

```
float amps = 0.0;
```

```
int R1 = 10900; // Resistencia R1 en ohms
```

```
int R2 = 2505; // Resistencia R2 en ohms
```

```
float ratio = 0; // R1 / R2
```

```
int led = 13;
```

```
int LDR = A1;
```

```
int luz = 0;
```

```
int valor_sensor = 0;

int Atemp = A0;
int Temp = 0;
char Grados = 'Â°';

void setup() {
pinMode(led, OUTPUT);
pinMode(panel, OUTPUT);
pinMode(inverter, OUTPUT);
pinMode(s1, OUTPUT);
pinMode(s2, OUTPUT);
pinMode(s3, OUTPUT);
pinMode(s4, OUTPUT);
pinMode(Display,OUTPUT);
digitalWrite(Display,HIGH);
// Inicio de LCD:
lcd.begin(20, 4);
// Mensajes LCD.
lcd.print("  Arbol Solar");
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" Bernardo Cornejo");
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print(" Version beta 1.01");
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Derechos Reservados");
delay(1000);
lcd.clear();

lcd.begin(20, 4);
}

void loop() {

int sampleBVal = 0;
int avgBVal = 0;
int sampleAmpVal = 0;
```

```
int avgSAV = 0;

for (int x = 0; x < 10; x++){ // loop 10x

// lectura de los valores en las entradas analogicas:
sensorValue = analogRead(analogInPin);
sampleAmpVal = sampleAmpVal + sensorValue;

batVal = analogRead(batMonPin);
sampleBVal = sampleBVal + batVal;

delay (10);

lcd.setCursor (0,0);
lcd.print(" Arbol Solar  Panel");

/* Esta parte del firmware decide los estados de carga
de la batería y toma daciones con respecto a la cantidad
de energía que receipta en el día. Si los niveles son altos
el funcionamiento es optimo si es bajo, el sistema se reserva,
lo mismo es loop funciona para la demanda de carga. Toma las
mismas decisiones.

*/
}
lcd.setCursor(15,1);
if ((batteryVoltage) > 13.65) // Set del nivel de voltaje máximo, desconectado
{
digitalWrite(panel, LOW); // Flujo de corriente del panel
digitalWrite(inverter,HIGH); // Salida voltaje AC
digitalWrite(s3,HIGH); // Salida voltaje DC
digitalWrite(s4,HIGH); // Salida voltaje DC cargadores
lcd.print("Off "); // Mensaje de estado de panel.
}

else if ((batteryVoltage) > 12.55 ) // Set del nivel de voltaje, conectado
{
digitalWrite(panel,HIGH);
digitalWrite(inverter,HIGH);
digitalWrite(s3,HIGH);
digitalWrite(s4,HIGH);
lcd.print("On ");
}
else if ((batteryVoltage) > 12.30) // Set del nivel de voltaje, conectado
```

```
{
digitalWrite(panel, HIGH);
digitalWrite(inverter,LOW);
digitalWrite(s3,HIGH);
digitalWrite(s4,HIGH);
lcd.print("Ok ");
}
else if ((batteryVoltage) > 12.10) // Set del nivel de voltaje, conectado
{
digitalWrite(panel, HIGH);
digitalWrite(inverter,LOW);
digitalWrite(s3,LOW);
digitalWrite(s4,LOW);
lcd.print("Loose");
}
else
{
lcd.clear();
}

delay(500);

valor_sensor = analogRead(LDR); // Inicio para luces nocturno.
luz = (5.0 * valor_sensor * 100.0)/1024.0;

delay(500);

if (luz >= 390) //resistencia serie ldr
{
digitalWrite (s1,LOW); //apagado
}
if (luz < 390) //Si es mayor que 490
{
digitalWrite (s1,HIGH); //prendido
lcd.setCursor(7,1);
lcd.print(0.00);
}

Temp = analogRead(Atemp); // Inicio para Temperatura.

// transformamos la lectura analógica de tensión a un valor de temperatura
Temp = ((5.0 * Temp * 100.0)/1024.0);
```

```
lcd.setCursor(15,2);
lcd.print("T=");
lcd.setCursor(19,2);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(17,2);

if(Temp < 20.0){ //aquí entramos si la temperatura es inferior a 20

digitalWrite(s2,LOW);
lcd.print(Temp );

} else{ //

digitalWrite(s2,HIGH);
lcd.print(Temp );

}

delay(500);

avgSAV = sampleAmpVal / 10;

// lectura de corriente y calculo con sensor.
outputValue = (((long)avgSAV * 5000 / 1024) - 2500) * 1000 / 100);

avgBVal = sampleBVal / 10;

pinVoltage = avgBVal * 0.00610; // calcula el voltaje en el pin A/D
/* A/D = 0.0048mV

*/

ratio = (float)R1 / (float)R2;
batteryVoltage = pinVoltage * ratio; // Calcula el voltaje real
// Voltaje de batería.

amps = (((float) outputValue / 1000)) * -1;
float watts = amps * batteryVoltage;

sample = sample + 1;

msec = millis();
```

```
/* Cálculos de los siguientes parámetros de
estado de la batería. con carga de los días
en funcionamiento.
```

```
*/
```

```
time = (float) msec / 1000.0;
```

```
totalCharge = totalCharge + amps;
```

```
averageAmps = totalCharge / sample;
```

```
ampSeconds = averageAmps*time;
```

```
ampHours = ampSeconds/3600;
```

```
wattHours = batteryVoltage * ampHours;
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print(batteryVoltage);
```

```
lcd.print("V ");
```

```
lcd.print(amps);
```

```
lcd.print("A ");
```

```
lcd.setCursor(0,2);
```

```
lcd.print(watts);
```

```
lcd.print(" W ");
```

```
lcd.print(time/3600);
```

```
lcd.print("H ");
```

```
lcd.setCursor(0,3);
```

```
lcd.print(ampHours);
```

```
lcd.print("Ah ");
```

```
lcd.print(wattHours);
```

```
lcd.print("Wh ");
```

```
// Siguiete loop cada 10 milisegundos.
```

```
delay(10);
```

```
}
```

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACION DEL ÁRBOL SOLAR

4.1 Introducción.

En este capítulo haremos referencia a la elaboración física del sistema de funcionamiento del árbol solar, diseño y construcción de la estructura que sostendrá el o los paneles, posicionamiento con respecto al movimiento del sol en el sitio de instalación, salidas de voltaje para los distintos dispositivos y la unión de la parte generadora, acumuladora y controladora de la energía.

Este capítulo hemos dividido en 2 etapas con la finalidad de explicar paso a paso cómo se elaboró esta importante fase de la tesis.

Etapa 1. Construcción e instalación de la estructura para Árbol Solar. Esta etapa diseña y construye la estructura capaz de soportar los elementos indispensables para que este sistema funcione y de cómo su forma hace referencia a su nombre de árbol.

Etapa 2. Unión software-hardware. Esta etapa es indispensable para el funcionamiento correcto de este sistema, donde hardware funciona comandado por el software que fue elaborado en el capítulo anterior.

En la siguiente imagen en donde se muestra de manera simplificada el funcionamiento del Árbol solar.

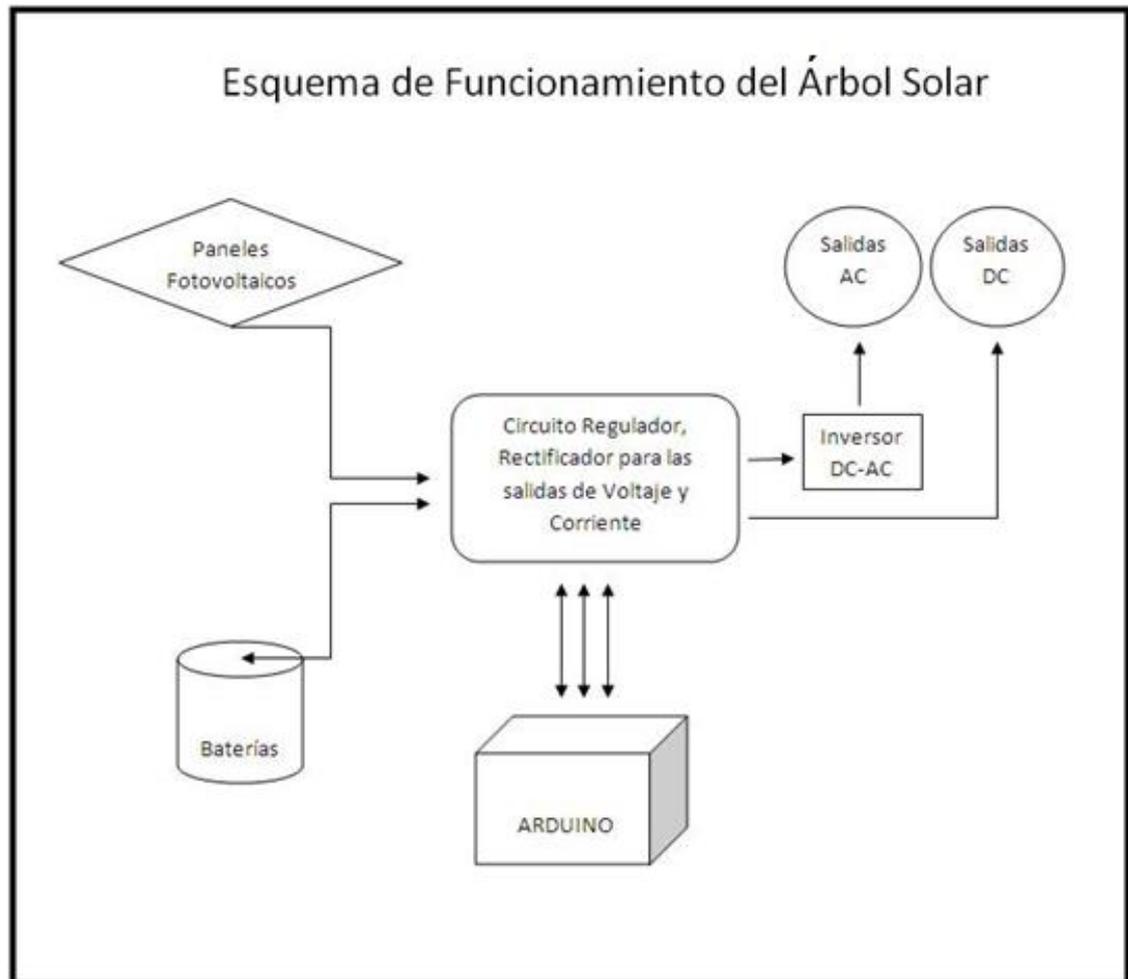


Figura 4.1 Esquema de funcionamiento del Árbol Solar.

Fuente: Autor.

4.2 Etapa 1.

Construcción e instalación de la estructura del Árbol Solar.

La estructura que sirve de soporte del o los paneles solares, está inspirado en la forma árbol en la naturaleza. Los árboles cumplen muchas funciones en la naturaleza y la civilización, como purificar el aire, habidad de muchas especies y para los humanos, crear sombra en días de sol, de la lluvia, mantiene el clima estable y suministra oxígeno para los seres humanos. Muchas de estas facultades que tienen los árboles naturales, los artificiales como el árbol solar, también puedan brindar algunas de estas bondades.

Un árbol solar cumple dos funciones que un natural no lo hace, la primera de ellas es generar electricidad y la segunda es la no emanación de CO_2 a la atmosfera al momento de realizar la primera. Al unir estas dos capacidades creamos un sistema auto

sustentable de generación de energía limpia para diversos usos pensando siempre en la preservación del medio ambiente.



Figura 4.2 Árbol de Faique en la ciudad de Cuenca (sector tres puentes).

Fuente: Autor.

Dentro de la naturaleza existen millones de especies de árboles y de diferentes formas, pero el que más me ha llamado la atención son los que tienen la copa plana, caso particular son los de los árboles de faique, un árbol con una altura promedio de 2,5 a 4 metros de altura, con una copa aparasolada, con frutos de color amarillo y muchas espinas, en la ciudad de Cuenca son muy raros encontrar ya que estos son típicos en zonas más cálidas.

El diseño del árbol debe ser capaz de sostener paneles en su estructura, para ello es necesario que la copa sea plana y paralela al suelo, como se observa en la figura 4.2, un diseño natural de cual nos hemos inspirado para la forma ideal, aprovechando la máxima radiación solar que se tiene en la zona, latitud 0 y la montaña solar es casi constante durante todo el año.

El diseño final del árbol solar, en forma y base, es muy similar a la del árbol anteriormente mencionado, con una estructura de metal que puede soportar el peso tres

paneles solares de 150w cada uno o 4 de 80w, que descansa sobre diferentes ramificaciones, el tronco necesariamente será autosoportada para mantener la estabilidad frente a la pronunciada inclinación del mismo que se tiene en la estructura con respecto al suelo y la base está conformada por una placa que esta atornilla a otra, empotrada a una profundidad de 80cm.

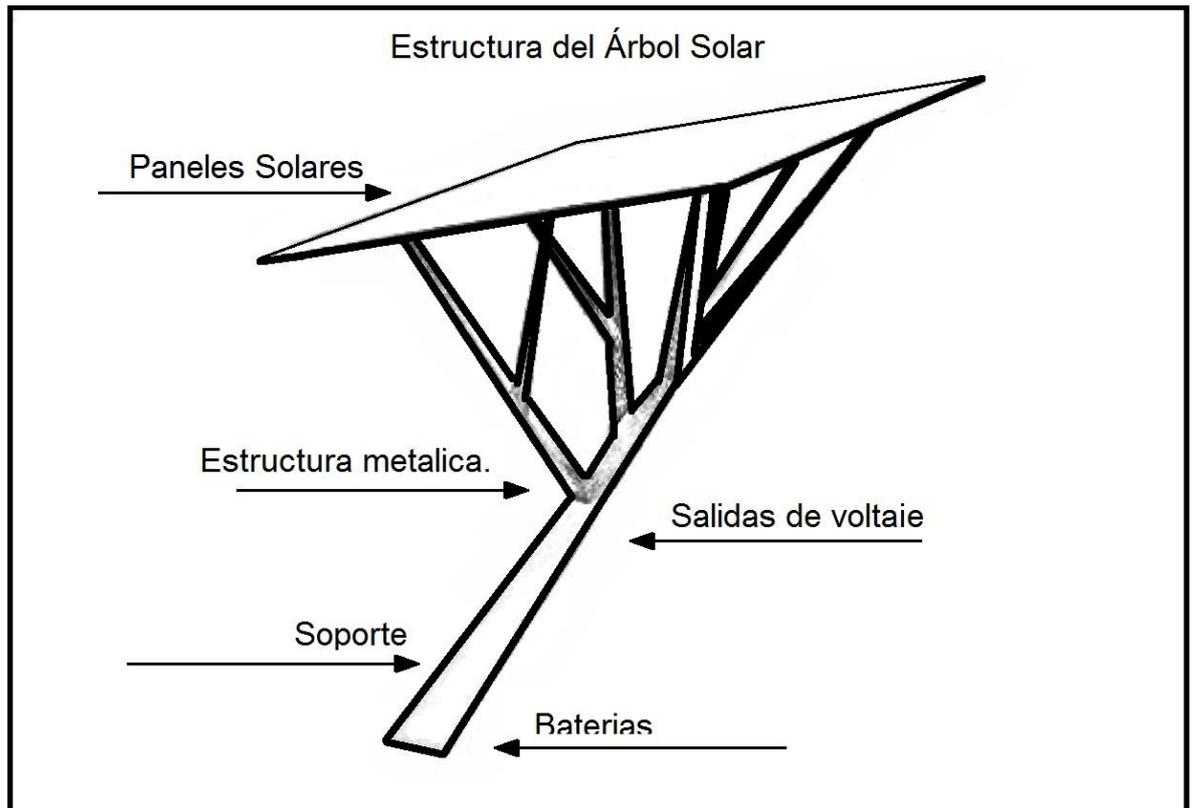


Figura 4.3 Estructura del Árbol Solar.

Fuente: Autor.

Las dimensiones de esta estructura están diseñadas para generar la suficiente cantidad de sombra, ubicación con respecto al sol, capacidad para tres paneles y soporte estructural. Esta estructura es de metal, por lo que su tamaño y forma, tiene su grado de dificultad con respecto a su instalación y ubicación en dirección del movimiento del sol para aprovechar su energía.

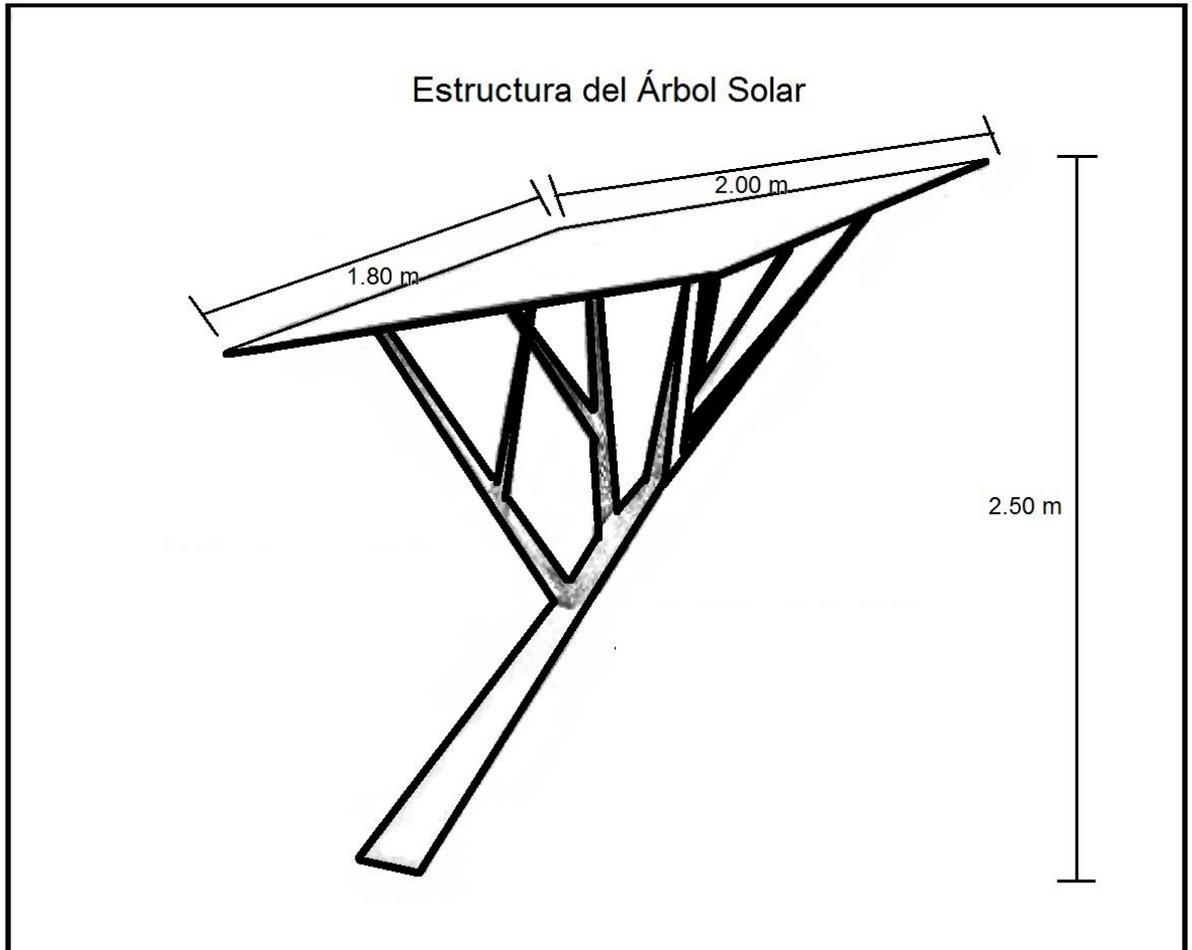


Figura 4.4 Estructura del Árbol Solar. (Dimensiones).

Fuente: Autor.

La dirección a la cual la estructura está dirigida la estructura, para recibir la mayor cantidad de energía proveniente del sol en el día, es la que podemos observar en la siguiente imagen, 78° hacia el Este, y se oculta en los 279° hacia del Oeste, con respecto hacia el Norte. Esta dirección está centrada para evitar posibles pérdidas a lo largo del año por los cambios de posición del planeta con respecto al sol.

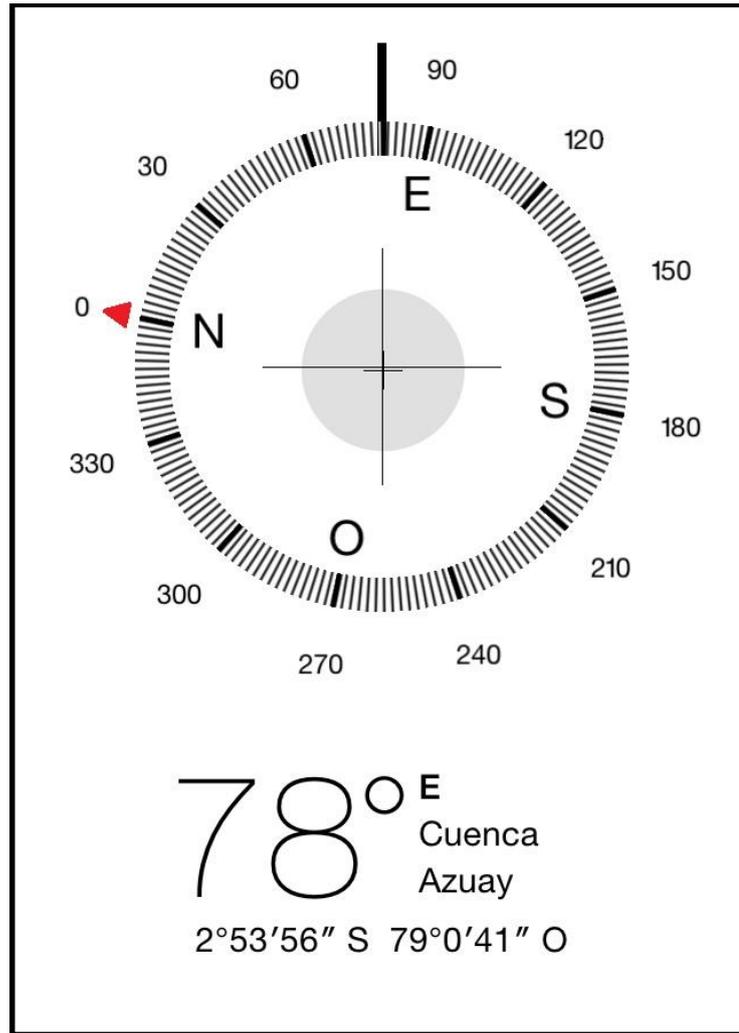


Figura 4.5 Coordenadas y dirección de salida del sol en Cuenca.

Fuente: Autor.

El módulo de control y el banco de baterías se colocaron por debajo de la banca, aislándolos de la luz directa del sol, agua, polvo, etc. Aquí se encuentra todo el sistema operacional y funcional del árbol solar, unos de los objetivos principales de este sitio es mantener todos los equipos a una temperatura estable para que la vida útil de las baterías no se vea afectada.



Figura 4.6 Imagen debajo de la banca donde se sitúan el equipo, sensores y las baterías.

Fuente: Autor.

El módulo que se encuentra en la parte superior de la banca, es la salida de voltaje para diferentes dispositivos electrónicos, contiene conectores que están dispuestos para todo tipo de equipo electrónico portátil y en el caso que no exista el conector, está a disposición 4 diferentes puertos USB para generar el mismo propósito. Cabe recalcar que este voltaje es directa. Cada una de estas salidas de voltaje entrega energía a diferente intensidad como indica la imagen 4.7



Figura 4.7 Módulo que entrega la energía DC a diferentes dispositivos, este se encuentra por encima de la banca.
Fuente: Autor.

ATENCIÓN

LEER ANTES DE USAR

Este tipo de cargador USB está diseñado para la mayoría de dispositivos móviles que existen en el mercado, en modelos y marcas, es importante saber cuál es el conector apropiado para tu teléfono, tablet, mp3, cámara, etc, y la capacidad de carga de corriente especificado por el fabricante.

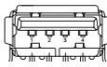
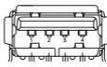
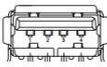
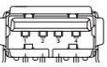
					
	USB 1	USB 2	USB 3	USB 3	USB 4
capacidad	carga lenta	carga rapida	carga rapida	carga lenta	carga lenta
dispositivos	teléfonos	teléfonos /tablest	teléfonos /tablest	teléfonos	teléfonos
corriente	1A	2A	2A	1A	1A

Figura 4.8 Señalética e información de modo de uso del módulo que entrega la energía DC.
Fuente: Autor.

Este sistema compacto con módulos que entregan energía en corriente directa, también existen módulos que entrega energía en corriente alterna, y es así, como en la estructura del árbol solar existe un espacio para que este toma corriente sea visible y fácil de usar. Es necesario indicar que esta toma de energía tiene un límite de corriente, alrededor de 1,5 - 2 amperios a 120 voltios, por lo que es necesario indicar al usuario de este importante detalle, Figura 4,10.



Figura 4.9 Toma corriente incrustado en la estructura del Árbol Solar.

Fuente: Autor.



Figura 4.10 Señalética e información de modo de uso del módulo que entrega la energía AC.

Fuente: Autor.

En el siguiente cuadro podemos observar el presupuesto para realizar este proyecto de tesis, tenemos que recalcar que el valor total puede variar debido a que se puede usar dos tipos de paneles los cuales pueden ser tres de 150W y cuatro de 80W.

Cuadro 4.1 Presupuesto para el Árbol Solar.

Presupuesto Árbol Solar				
Materiales Electrónicos.	Materiales	Cantidad	Valor	Total
	PCB	1	60	60
	Arduino	1	60	60
	Conectores Varios	14	0,8	11,2
	Sensores Corriente	4	6	24
	Sensores Tem	1	3	3
	Sensores Luz	1	2	2
	MOSFETS	6	10	60
	Diodos shockley	6	8	48
	Materiales Electronicos	40	1	40
	Materiales Varios	10	1	10
Total				318,2
Estructuras.	G	2	80	160
	Planchas	2	10	20
	Tubos	45	2	90
	Base	2	25	50
	Obra	1	60	60
Total				380
Solar	Paneles Solar 100W	0	0	0
	Baterias	2	189	378
	Cables	25	2,5	62,5
	Conectores	8	1	8
Total				448,5
Total 2				1146,7

Fuente: Autor

4.3 Etapa 2.

Unión software-hardware.

Terminado de realizar el respectivo software y hardware en los capítulos anteriores, se procede conectar estas dos partes, que son primordiales para el funcionamiento de este sistema autosustentable propuesto en este tema de tesis. Es necesario dividir esta etapa en dos fases para ampliar mejor la información de este capítulo.

4.3.1 Fase 1. Cableado.

La primera fase de esta unión está destinada a comprobar el funcionamiento de los puertos de la tarjeta arduino, que se comunican con la tarjeta de control del árbol solar, esta tarjeta fue diseñada previamente en el capítulo 2. La comunicación de estas dos tarjetas es de manera cableada. Estas dos importantes placas electrónicas controlan los sensores y switch que dan el paso a la corriente o simplemente lo mantienen cerrado.

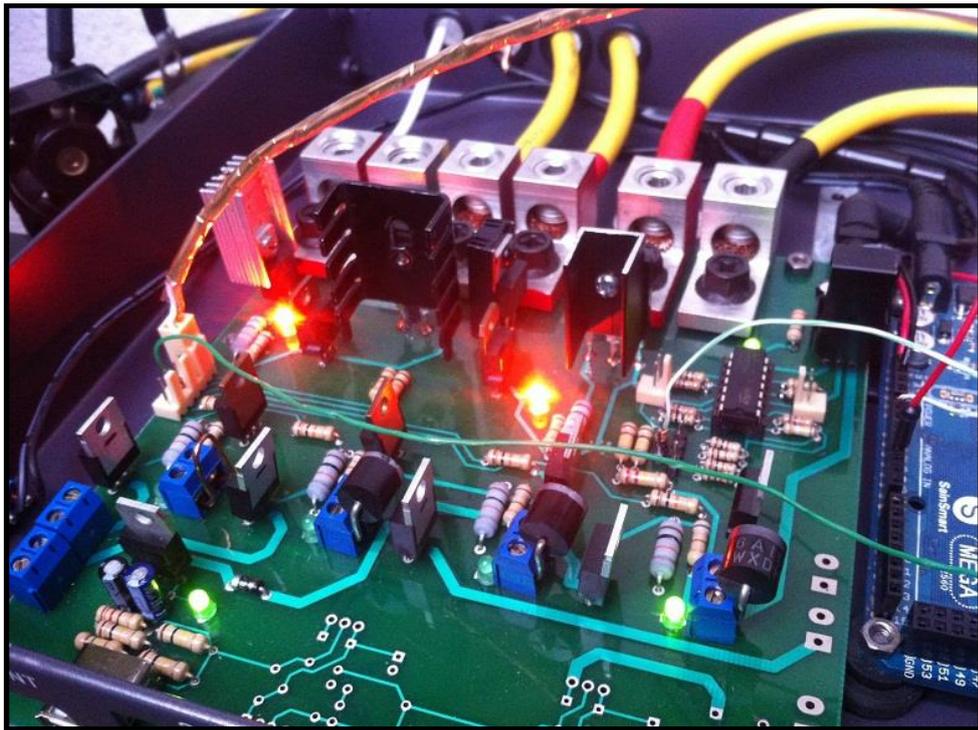


Figura 4.11 Fase 1 de construcción, comunicación y prueba de funcionamiento de puertos.

Fuente: Autor.

Como explicamos en el capítulo anterior, (capítulo 3, etapa 3), esta unión tiene que estar libre del ruido externo que normalmente se produce por malos contactos o el simple funcionamiento de la placa de control. En esta fase fue necesario utilizar una carcasa metálica para que las dos placas estén firmes y sujetas a un mismo cuerpo, esto hace que la comunicación cableada sea más estética y sencilla.



Figura 4.12 Fase 1 de construcción, estructura metálica.

Fuente: Autor.

4.3.2 Fase 2. Comunicación.

Esta fase comprueba el funcionamiento de la comunicación del grupo electrónico montado en la tarjeta elaborada con cada uno de los sensores, rectificadores, switch, módulos de entrega de voltaje en dc, ac y banco de baterías, estableciendo los diferentes protocolos que necesitan cada uno y verificando que no exista errores de lectura y pérdida de datos.

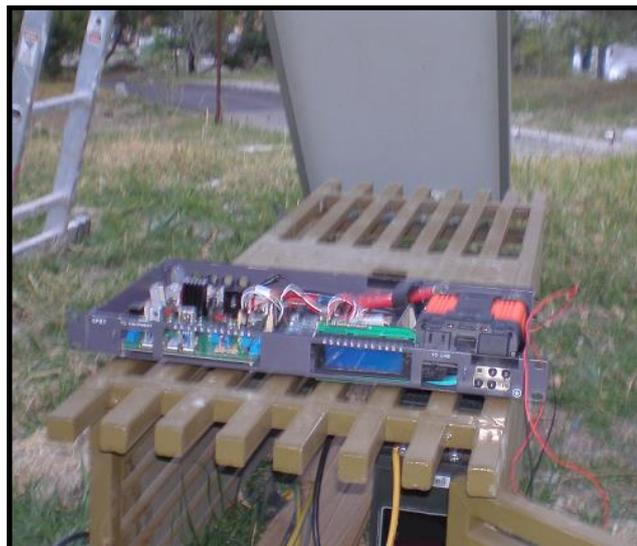


Figura 4.13 Fase 2. Circuitos integrados. Equipo del árbol solar.

Fuente: Autor.

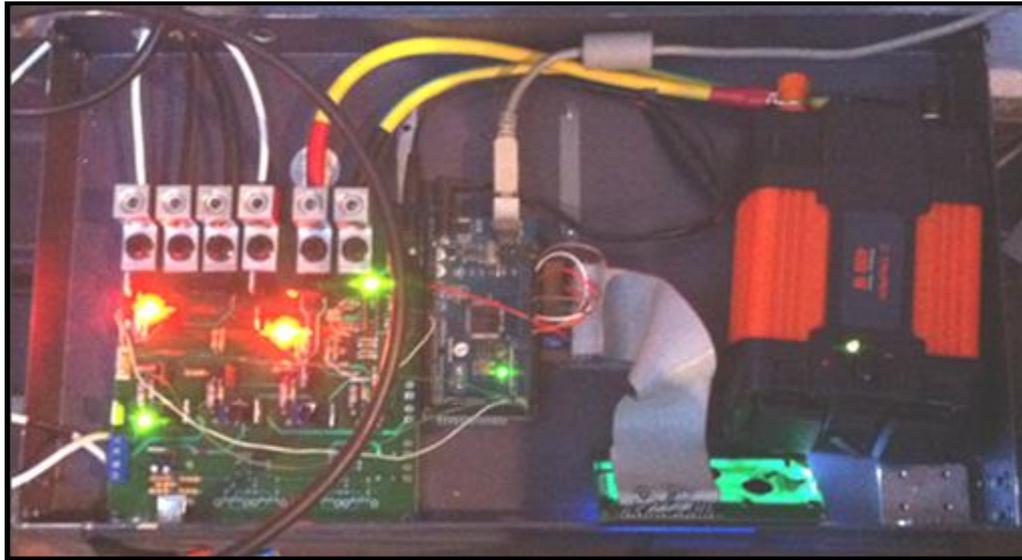


Figura 4.14 Fase 2. Protector del equipo controlador del árbol solar.

Fuente: Autor.

Para comprobar que el todo el sistema está funcionando, es necesario que la etapa de ensamblaje y el cableado, para la comunicación entre los diferentes terminales que tiene el árbol, hayan culminado. A partir de este momento el sistema empieza a calibrarse de manera manual y automática, analizando las diferentes variables que cambian según el entorno del lugar de instalación, los puertos de comunicación con datos del arduino y el exterior envía sus primeras tramas para verificar su inicialización. Los sensores, módulos de salidas de voltaje y banco de baterías y el equipo controlador están funcionando por primera vez, creando un sistema auto sustentable en potencia. Figura 5.6



Figura 4.15 Fase 2. Módulo, banco de baterías, sensores y equipo ubicados debajo de la banca, funcionando en un solo conjunto.

Fuente: Autor.

Al unir todas estas partes, software y hardware, nos queda el resultado de un gran árbol, que lo denominamos solar, por el hecho de que recepta energía proveniente del sol y acumularla en un banco para futuras descargas, ahorrarla cuando le es posible y suministrarla a diferentes dispositivos móviles. Esta gran idea está reflejada en la siguiente imagen, con el fin de preservar la naturaleza con proyectos simples a la vista pero potentes al momento de su uso.



Figura 4.16 Implementación del Árbol Solar.

Fuente: Autor.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 Introducción.

Una vez instalada todas las fases de unión de software y hardware que se necesitaron para esta tesis, es fundamental comprobar el funcionamiento correcto de cada una de las partes que lo conforman. Dentro de este sistema hay muchos elementos que tienen su función, las mismas que trabajan en conjunto para realizar la labor más importante y complicada de esta tesis, la optimización de la energía. El aprovechar toda la radiación del sol y transformarla en energía eléctrica para luego acumularla economizando recursos, este ha sido uno de los retos más grandes.

Este tipo de información solo puede ser demostrada mediante datos recolectados con todo el sistema funcionando al 100%, los datos fueron obtenidos en diferentes días, en diferentes circunstancias; tenemos que comprender que el clima de nuestra región es muy variante, por lo que, es necesario demostrar que un sistema auto sustentable que contenga eficiencia energética y ahorro de recursos es posible sacarlo adelante.

5.2 Estadísticas.

En los siguientes cuadros observaremos cómo se comporta el sistema en diferentes circunstancias, como el clima, uno de los factores más importantes que afectan directamente el estado de carga de las baterías, cuando existe variación en el clima, otro factor como la temperatura cambia, alterando el funcionamiento de algunos elementos dentro del árbol.

Es necesario indicar que las pruebas son realizadas con diferentes cargas, simulando descargas importantes en distintas horas del día y en diferentes circunstancias como cantidad, consumo y demanda.

Prueba #1

Día de prueba con variación importante del clima sobre la ciudad de Cuenca. Prueba realizada el día martes 4 de febrero del 2014.

Día	Hora	Voltaje	Carga	Consumo A	Consumo W
	9:00	0	0	0	0
	9:15	0	0	0	0
	9:30	0	0	0	0
Despejado	9:45	13,55	2,29	4	54,2
Despejado	10:00	13,13	2,4	4	52,52
Despejado	10:15	13	2,6	4,4	57,2
Despejado	10:30	12,98	2,6	4,5	58,41
Despejado	10:45	12,86	2,9	5	64,3
Despejado	11:00	12,8	2,9	3	38,4
Despejado	11:15	12,8	2,9	1,4	17,92
Despejado	11:30	13	2,9	1,4	18,2
Despejado	11:45	13,72	2,9	1,4	19,208
Despejado	12:00	13,64	2,93	1,4	19,096
Despejado	12:15	13,25	3,18	2,5	33,125
Despejado	12:30	12,73	1,18	2,8	35,644
Parcial	14:15	12,73	2,06	3	38,19
Parcial	14:30	12,7	2,35	3,2	40,64
Parcial	14:45	12,74	3,74	3	38,22
Parcial	15:00	12,66	2,93	3,8	48,108
Despejado	15:15	12,6	2,06	4,3	54,18
Despejado	15:30	12,66	3	3,5	44,31
Parcial	15:45	12,63	2,2	3,8	47,994
Nublado	16:00	12,62	1,23	3	37,86
Nublado	16:15	12,62	1,27	3	37,86
Nublado	16:30	12,63	1,13	3,6	45,468
Nublado	18:00	12,64	0	3,5	44,24
Noche	19:00	12,63	0	5	63,15
Noche	20:00	12,62	0	5,5	69,41

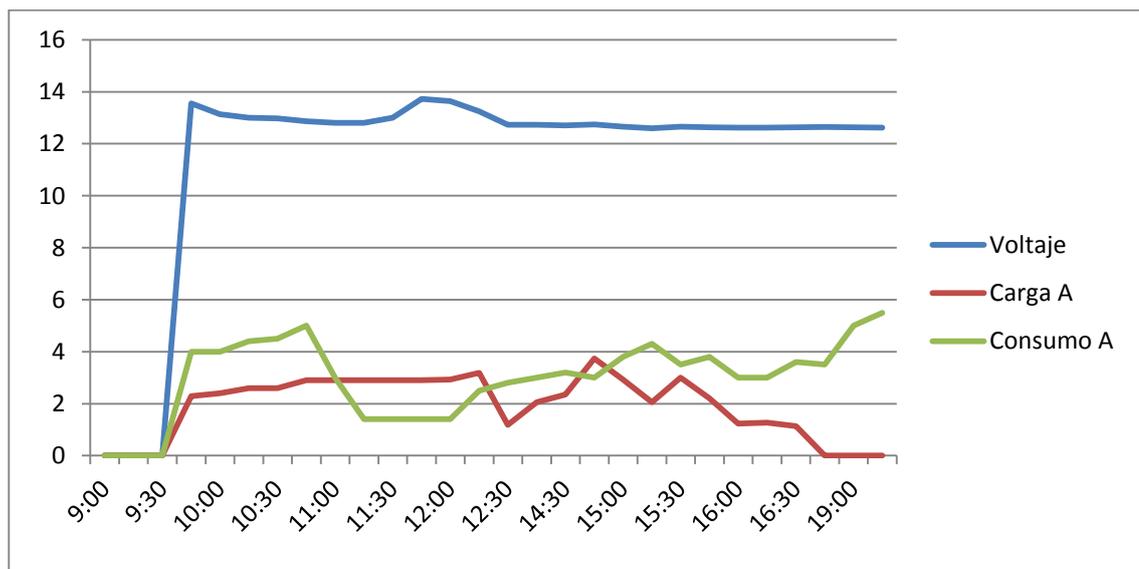


Figura 5.1 Gráfica de comportamiento del voltaje, la corriente y consumo en el Árbol Solar.

Fuente: Autor

Prueba #2

Día de prueba con variación importante del clima, totalmente nublado y lluvias, sobre la ciudad de Cuenca. Prueba realizada el día martes 5 de febrero del 2014.

Clima	Hora	Voltaje	Carga	Consumo A	Consumo W
nublado	9:00	12,65	0,56	1,5	18,975
nublado	9:15	12,69	0,98	1,5	19,035
nublado	9:30	12,69	1	1,5	19,035
nublado	9:45	12,7	1,1	1,5	19,05
nublado	10:00	12,69	1	1,5	19,035
nublado	10:15	12,7	1,3	1,5	19,05
nublado	10:30	12,7	1,2	1,5	19,05
nublado	10:45	12,73	1	1,5	19,095
nublado	11:00	12,75	1	1,5	19,125
nublado	11:15	12,77	1	1,5	19,155
nublado	11:30	12,8	1,5	1,5	19,2
nublado	11:45	12,88	1,71	0	0
nublado	12:00	13,09	2,15	0	0
nublado	12:15	12,81	2,35	2,5	32,025
nublado	12:30	13,07	2,1	0	0
nublado	12:45	12,73	2,06	0	0
nublado	13:00	13	1,8	0	0
nublado	13:15	13,13	1,23	0	0
nublado	15:00	13,13	1	0	0
nublado	15:15	13,03	0,4	0	0
nublado	15:30	13	0,2	0	0
nublado	15:45	13	0,1	0	0
lluvia	16:00	13	0,2	0	0
lluvia	16:15	12,97	0,3	1,5	19,455
lluvia	16:30	12,85	0,44	1,5	19,275
nublado	16:45	12,84	0,54	1,5	19,26
nublado	17:30	12,76	0,3	1,5	19,14
nublado	17:45	12,73	0,25	1,5	19,095
nublado	18:00	12,7	0,15	1,5	19,05
nublado	18:15	12,67	0,1	1,5	19,005
noche	19:00	12,65	0	1,5	18,975
noche	20:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	21:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	22:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	23:00	12,62	0	1,5	18,93

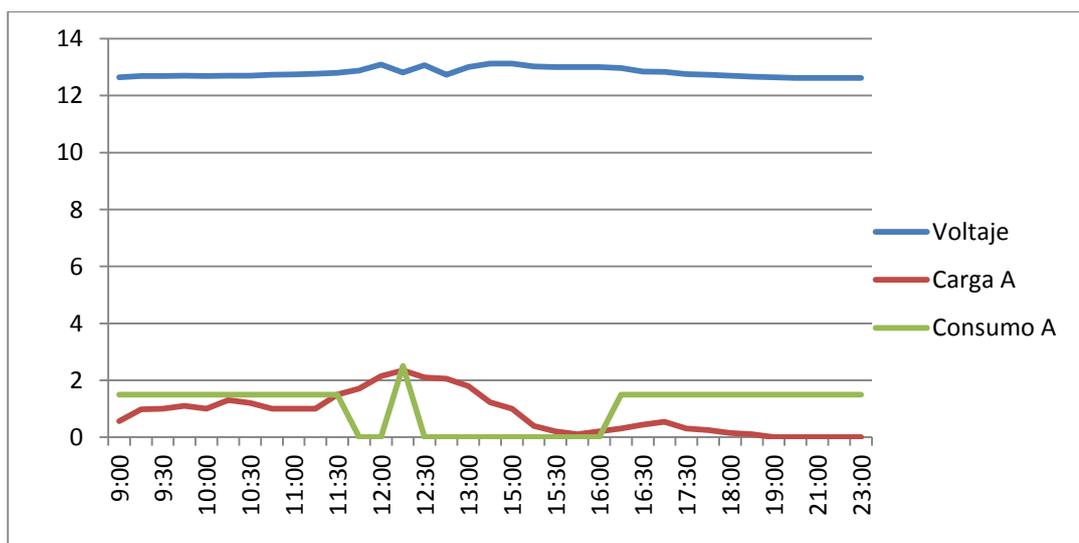


Figura 5.2 Gráfica de comportamiento del voltaje, la corriente y consumo en el Árbol Solar.

Fuente: Autor.

Prueba #3

Día de prueba con variación importante del clima, totalmente nublado y lluvias, sobre la ciudad de Cuenca. Prueba realizada el día sábado 15 de marzo del 2014.

Día	Hora	Voltaje	Carga A	Consumo A	Consumo W
Parcial	9:00	12,72	0,56	1,5	19,08
Parcial	9:15	12,83	0,98	1,5	19,25
Parcial	9:30	12,9	2	1,5	19,35
Parcial	9:45	12,99	3,52	1,5	19,49
Parcial	10:00	12,69	3,67	3,8	48,22
Parcial	10:15	12,65	3,78	4	50,60
Parcial	10:30	12,63	3,72	5,5	69,47
Parcial	10:45	12,6	3,72	5	63,00
Parcial	11:00	12,62	3,52	5,5	69,41
Parcial	11:15	12,87	3,42	2	25,74
Parcial	11:30	13,04	3,23	2	26,08
Parcial	11:45	12,88	2	2	25,76
Parcial	12:00	13,46	3,28	2	26,92
Parcial	12:15	13,47	3,23	2,5	33,68
Parcial	12:30	13,4	2,1	2	26,80
Parcial	12:45	13,3	0,6	2,5	33,25
Parcial	13:00	13,5	3,52	2,5	33,75
Parcial	13:15	13,5	3,28	2	27,00
nublado	13:30	13,4	0,64	2,5	33,50
nublado	15:15	13,4	0,4	0	0,00
Lluvia	15:30	13,35	0	0	0,00
nublado	15:45	13	0,1	0	0,00
lluvia	16:00	13	0,2	0	0,00
lluvia	16:15	12,97	0,3	1,5	19,46
lluvia	16:30	12,85	0,44	1,5	19,28
nublado	16:45	12,84	0,54	1,5	19,26
nublado	17:30	12,76	0,3	1,5	19,14
nublado	17:45	12,73	0,25	1,5	19,10
nublado	18:00	12,7	0,15	1,5	19,05
nublado	18:15	12,67	0,1	1,5	19,01
noche	19:00	12,65	0	1,5	18,98
noche	20:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	21:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	22:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	23:00	12,62	0	1,5	18,93

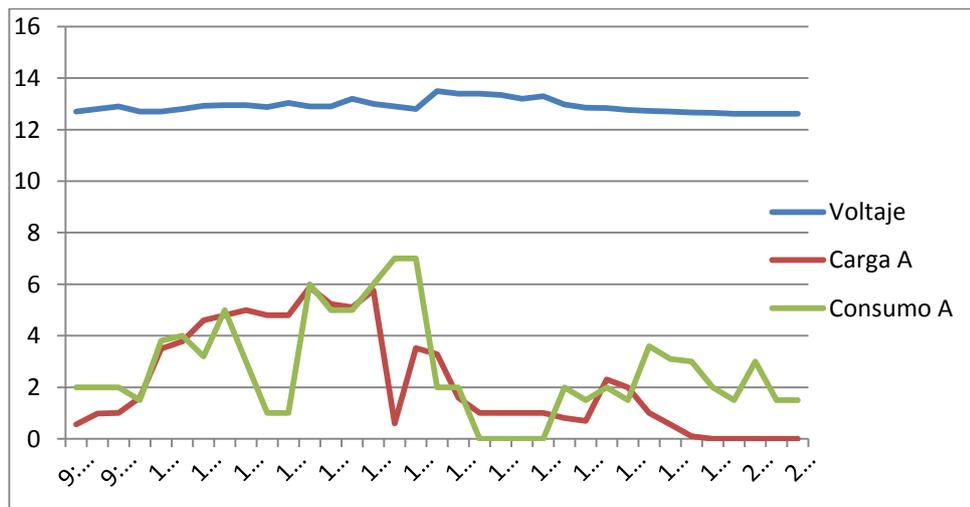


Figura 5.3 Gráfica de comportamiento del voltaje, la corriente y consumo en el Árbol Solar.

Fuente: Autor.

Prueba #4

Día de prueba con variación importante del clima, totalmente despejado en la mañana y parcialmente nublado en la tarde. Prueba realiza el día viernes 18 de julio del 2014.

Clima	Hora	Voltaje	Carga A	Consumo A	Consumo W
Despejado	9:00	12,7	0,56	2	25,40
Despejado	9:15	12,8	0,98	2	25,60
Despejado	9:30	12,9	1	2	25,80
Despejado	9:45	12,7	1,6	1,5	19,05
Despejado	10:00	12,7	3,5	3,8	48,26
Despejado	10:15	12,8	3,78	4	51,20
Despejado	10:30	12,92	4,6	3,2	41,34
Despejado	10:45	12,95	4,8	5	64,75
Despejado	11:00	12,95	5	3	38,85
Despejado	11:15	12,87	4,8	1	12,87
Despejado	11:30	13,04	4,8	1	13,04
Despejado	11:45	12,9	5,89	6	77,40
Despejado	12:00	12,9	5,23	5	64,50
Despejado	12:15	13,2	5,1	5	66,00
Despejado	12:30	13	5,76	6	78,00
Despejado	12:45	12,9	0,6	7	90,30
Despejado	13:00	12,8	3,52	7	89,60
Parcial	13:15	13,5	3,28	2	27,00
Parcial	13:30	13,4	1,6	2	26,80
Parcial	15:15	13,4	1	0	0,00
Parcial	15:30	13,35	1	0	0,00
Parcial	15:45	13,2	1	0	0,00
Parcial	16:00	13,3	1	0	0,00
Parcial	16:15	12,97	0,8	2	25,94
Parcial	16:30	12,85	0,7	1,5	19,28
Parcial	16:45	12,84	2,3	2	25,68
Parcial	17:30	12,76	2	1,5	19,14
Parcial	17:45	12,73	1	3,6	45,83
Parcial	18:00	12,7	0,56	3,1	39,37
Parcial	18:15	12,67	0,1	3	38,01
noche	19:00	12,65	0	2	25,30
noche	20:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	21:00	12,62	0	3	37,86
noche	22:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	23:00	12,62	0	1,5	18,93

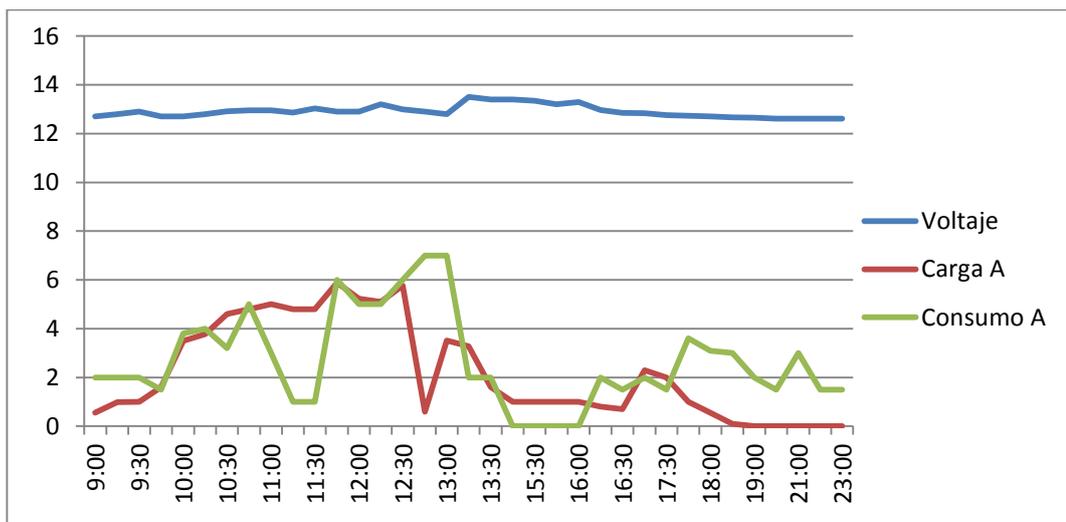


Figura 5.4 Gráfica de comportamiento del voltaje, la corriente y consumo en el Árbol Solar.

Fuente: Autor.

Prueba #5

Día de prueba, por la mañana estuvo nublado, al medio dia parcialmente nublado en la tarde despejado. Prueba realiza el día miércoles 25 de noviembre del 2014.

Día	Hora	Voltaje	Carga A	Consumo A	Consumo W
Nublado	9:00	12,72	0,2	0	0,00
Nublado	9:15	12,72	0,2	0	0,00
Nublado	9:30	12,72	0,2	1,5	19,08
Nublado	9:45	12,72	0,4	0	0,00
Nublado	10:00	12,69	0,6	2	25,38
Nublado	10:15	12,65	0,9	4	50,60
Nublado	10:30	12,63	1,2	3,3	41,68
Parcial	10:45	12,6	2	2,5	31,50
Parcial	11:00	12,62	2,1	5,5	69,41
Parcial	11:15	12,87	2	2	25,74
Parcial	11:30	13,04	2,7	2	26,08
Parcial	11:45	12,88	3,9	2	25,76
Despejado	12:00	13,46	3,8	2	26,92
Despejado	12:15	13,47	3,9	2,5	33,68
Despejado	12:30	13,4	4,5	2	26,80
Despejado	12:45	13,3	4	2,5	33,25
Despejado	13:00	13,5	4,2	2,5	33,75
Despejado	13:15	13,5	5,1	2	27,00
Despejado	13:30	13,4	5,2	2,5	33,50
Despejado	15:15	13,4	5,1	0	0,00
Despejado	15:30	13,35	4,9	0	0,00
Despejado	15:45	13	4,3	0	0,00
Despejado	16:00	13	3	0	0,00
Despejado	16:15	12,97	2	1,5	19,46
Despejado	16:30	12,85	2,7	1,5	19,28
Despejado	16:45	12,84	2	4	51,36
Parcial	17:30	12,76	2,4	1,5	19,14
Parcial	17:45	12,73	1	1,5	19,10
Parcial	18:00	12,7	0,4	3	38,10
Parcial	18:15	12,67	0,1	1,5	19,01
noche	19:00	12,65	0	1,5	18,98
noche	20:00	12,62	0	2	25,24
noche	21:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	22:00	12,62	0	1,5	18,93
noche	23:00	12,62	0	1,5	18,93

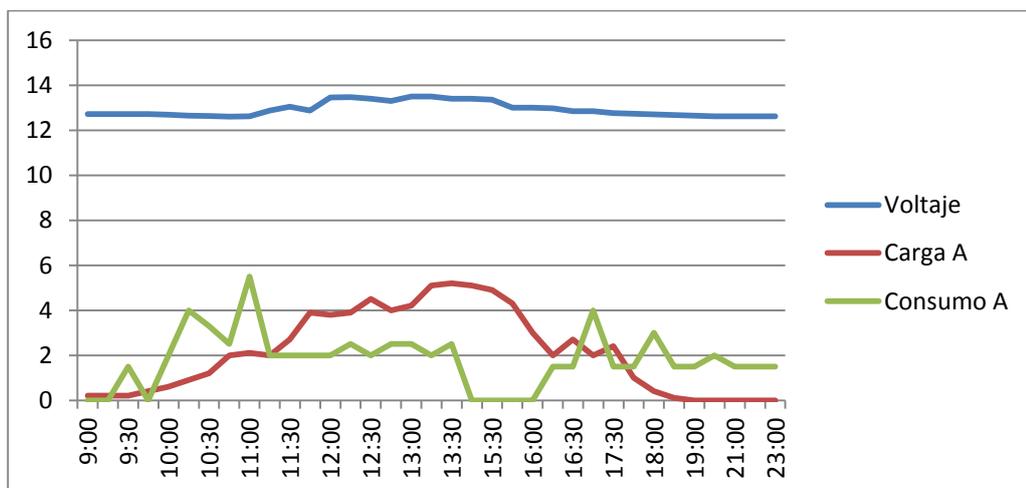


Figura 5.5 Gráfica de comportamiento del voltaje, la corriente y consumo en el Árbol Solar.

Fuente: Autor.

5.2 Resultados

Una vez terminada todas las pruebas de funcionamiento y recolección de datos, en los siguientes cuadros podemos observar el consumo real del árbol solar y el ahorro que en este provoca utilizar un sistema inteligente de eficiencia energética. Este sistema de eficiencia ayudó a reducir los recursos necesarios que servirían para mantenerse funcionando de manera autónoma por un tiempo más prolongado, con la misma cantidad de consumo durante una cierta cantidad de días y soportando el cambio repentino del clima. Es importante entender que estas pruebas fueron realizadas experimentalmente a partir de su fundamento matemático aplicado en el capítulo 2, donde se demuestra la cantidad de paneles y capacidad de baterías necesarias para un correcto funcionamiento del sistema.

Anteriormente según la cantidad de demanda, los cálculos nos indicaba que eran necesarios 864W/d y una corriente de 72A/d, estos valores se han logrado reducir con el sistema de ahorro de energía en uso real y comportamiento externo frente a los diversos cambios en el clima que presenta la ciudad de Cuenca, en los siguientes cuadros podemos observar los resultados:

Cuadro 5.1 Cuadro de consumo real del árbol solar basado en consumo real.

Artefacto	Voltaje	Corriente	Potencia	Horas/día	Total W/h
Iluminación	12	0,7	8,4	5	42
Salidas voltaje DC	12	2,5	30	3	90
Inverter	12	9	108	2	216
		Total	146,4		348

Fuente: Autor

Ahora tenemos una demanda de 378W/h, con este valor es posible calcular la corriente necesaria para el sistema:

- $W/día = V * I/día$
- $I/día = W/día / V$
- $I/día = 348W / 12V$
- $I/día = 29 A$

El valor de la generación del panel no ha variado, sigue siendo el mismo desde el momento de los cálculos anteriores: 18,204 A. Ecuación 1.11.

Con este valor de corriente podemos obtener el valor real de paneles que necesitamos:

$$N^{\circ} \text{ modulos} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Producción del Panel}}$$

$$N^{\circ} \text{ modulos} = \frac{29 A}{18,204 A}$$

$$N^{\circ} \text{ modulos} = 1,5930$$

Según los primeros cálculos, capítulo 2, obtuvimos un valor de 4 paneles fotovoltaicos y con un segundo método obtuvimos un valor de 3 paneles, claramente vemos que con el ahorro de recursos el consumo diario disminuyó y la cantidad de paneles también se redujeron, en el siguiente cuadro observaremos la cantidad de paneles que se necesitan para este sistema.

Cuadro 5.2 Cálculo de la demanda y el número de paneles.

Carga	Corriente A	Horas al día	Días	Total
Iluminación	0,7	12	7	58,8
Salidas voltaje DC	2,5	3	6	45
Inverter	9	2	6	108
			Total	211,8

Número de Paneles	
h.p.s	4,44
Corriente Panel	4,1
Días	7
Consumo total	211,8
Total	1,662115

Fuente: Autor.

Según estos nuevos cálculos se necesitan 1,66 paneles solares, un valor que físicamente es imposible, actualmente el árbol solar está funcionando con un solo panel solar.

Los bancos de baterías también se ven beneficiadas con una reducción del consumo diario en un sistema auto sustentable, como lo indica en el siguiente cuadro, donde anteriormente el valor de la capacidad de las baterías era de 288 A/h.

Cuadro 5.3 Cálculo de la capacidad del banco de baterías

	Corriente	Horas al día	Días Independencia	Total
Iluminación	0,7	5	4	14
Salidas voltaje DC	2,5	3	4	30
Inverter	9	2	4	72
			Total	135,6

Fuente: Autor.

- $I/\text{día} = 29 \text{ A}$
- Días de Autonomía = 4 días.
- Capacidad de baterías = $I/\text{día} * \text{días de autonomía}$.
- Capacidad de baterías = $29 * 4$
- Capacidad de baterías = 135,6

Estos resultados demuestran la eficiencia del sistema y el ahorro que representa para una cantidad de demanda diaria que podría llegar a generar y necesitar el árbol solar. En un inicio, los cálculos indicaban que eran necesarios más de dos paneles fotovoltaicos y un banco de baterías superior a los 288 A/h y en el siguiente cuadro se muestra el resultado final, una reducción de recursos del 50% aproximadamente.

Cuadro 5.4 Resultado final en uso de paneles solares y capacidad de banco de baterías.

Elementos	Cálculos	Eficiencia Actual
Paneles Fotovoltaicos	3,36	1,6
Baterías	288 A/h	135,6 A/h

Fuente: Autor.



Figura 5.6 Resultado final: “Árbol Solar”.

Fuente: Autor.

5.3 Costo unitario aproximado.

Basándonos en el tabla 4.1 y en los valores de los paneles solares, alrededor de \$ 350, el costo unitario aproximado de un árbol solar es de \$2196,7 listo para su funcionamiento, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.5 Costo unitario Aproximado de el Árbol Solar.

Presupuesto Árbol Solar				
	Materiales	Cantidad	Valor	Total
Materiales Electrónicos.	PCB	1	60	60
	Arduino	1	60	60
	Conectores Varios	14	0,8	11,2
	Sensores Corriente	4	6	24
	Sensores Tem	1	3	3
	Sensores Luz	1	2	2
	MOSFETS	6	10	60
	Diodos shockley	6	8	48
	Materiales Electronicos	40	1	40
	Materiales Varios	10	1	10
		Total		
Estructuras.	G	2	80	160
	Planchas	2	10	20
	Tubos	45	2	90
	Base	2	25	50
	Obra	1	60	60
	Total			380
Solar	Paneles Solar 100W	3	350	1050
	Baterias	2	189	378
	Cables	25	2,5	62,5
	Conectores	8	1	8
	Total			1498,5
	Total 2			2196,7

Fuente: Autor

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Al concluir esta tesis nos hemos podido dar cuenta de la capacidad que tenemos para desarrollar tecnología fiable, que esté al alcance de todos y pueda llegar a competir con las grandes marcas que se dedican a elaborar equipos para diferentes usos y necesidades, puntualmente la nuestra, en la cual nos hemos inspirado para realizar este proyecto. Otro gran objetivo fue abrirnos camino para entrar en el conocimiento nuevas y poderosas plataformas que son libres en programación y desarrollo, en una comunidad que es a nivel mundial, donde se encuentran a personas que son emprendedores y que se dedican a buscar y resolver problemas, que diariamente los humanos nos autogeneramos.
- Este sistema autosustentable está enfocado en la generación de electricidad a partir de paneles fotovoltaicos desarrollado con software libre, con eficiencia en todo el proceso de control de la energía que llega a los terminales del árbol solar, con satisfacción se puede decir que a pesar de las dificultades, especialmente prácticas, la investigación para el estudio y la implementación resulto exitosa.
- Para un funcionamiento óptimo de este proyecto, en cada fase de su elaboración, fue necesario calcular, calibrar y conocer cómo trabaja cada uno de los elementos que lo conforman. Todo análisis que se realice en un sistema fotovoltaico debe comenzar por su curva característica I-V, Figura 1.10, ya que define todos sus puntos característicos, así mismo como los conceptos de ubicación, generación y acumulación.
- En los últimos cuadros de cálculos y resultados, se puede apreciar a un sistema de eficiencia energética en pleno funcionamiento, en comparación con los

cuadros 2.1 y 2.2 del capítulo 2, los resultados muestran un ahorro de energía en consumo y aprovechamiento al máximo de lo adquirido. En el árbol solar, la reducción en casi un 50% en recursos para obtener y acumular energía, representa un gran ahorro económico ampliando la posibilidad de extender este tipo de proyectos a más lugares que los requieran. Tenemos que entender que cada sistema autosustentable tiene diferentes necesidades por lo que el porcentaje de reducción en recursos puede disminuir o aumentar. Estos sistemas pequeños de energía autosustentable pueden ser introducidos en la comodidad de nuestros hogares, trabajo o empresas generando conciencia de un mejor manejo de la energía.

Recomendaciones:

- Al proyectarse la fusión de un sistema solar con un inmótico, se debe tener en cuenta factores como la ubicación geográfica del lugar, la demanda energética y tipo de material de los elementos que lo conforman, para alcanzar el mejor beneficio, considerando que el Árbol Solar es un conjunto pequeño que ataca el problema de dependencia social al uso de tecnología móvil, esta fusión otorga de electricidad a cada uno de estos dispositivos con energía limpia optimizada para uso libre con flujo de corriente controlada.
- Cabe recalcar que algunos de los materiales electrónicos, como sensores, semi y súper conductores, que están presentes en el diseño de los circuitos de este proyecto, no se encuentran en el mercado nacional, lo que retraso un poco la culminación de este proyecto. La importancia de las simulaciones y cálculos previos a cualquier implementación, es de primordial importancia, ya que de esto depende el diseño de una tarjeta de circuito con buena estética para evitar ruido en la lectura de los diferentes elementos exteriores. Los capítulos 2, 3 y 4 representó un reto, por lo que debían acoplarse a un proceso anterior y posterior, gracias a la compatibilidad de los elementos electrónicos y a la programación del firmware, fueron superados con éxito logrando el funcionamiento final requerido.
- Los resultados de la investigación para el desarrollo de este proyecto se delimitó a cada uno de sus diferentes objetivos, sin embargo puede significar el camino a un número indeterminado de implementaciones de distinta índole, particularmente este tipo proyectos autosustentables son rentables por lo que la posición de nuestro país en el planeta hace que los sistemas de seguimiento del sol sean innecesarios, gracias a una montea solar casi constante durante

todo el año. En el ámbito de las energías renovables, el uso responsable de la misma para generar conciencia ecológica, existen diversos proyectos a nivel mundial que se están llevando a cabo como lo es el “Solar Impulse”, un avión que genera su propia energía para la propulsión de sus motores, en el 2015 emprendió el despegue para dar una vuelta al mundo, “Tesla” es una empresa que se dedica a desarrollar equipos para de carga rápida de baterías, como el Árbol Solar, pero destinado para vehículos, este 2015 implementará el primer sistema solar de carga en un BMW, existen también proyectos de generación de electricidad sin celdas solares como lo está investigando el científico Stephen Rand de la universidad de Michigan y en el Ecuador, el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, en su página web dice lo siguiente: “La Dirección Nacional de Energía Renovable tiene como objetivo el fomentar el desarrollo de la energía renovable en el país, para lo cual tiene como una de sus metas la identificación del potencial del recurso renovable que tiene el Ecuador. Dicho levantamiento permite posteriormente la implementación de proyectos que se encuentran enmarcados en la utilización de fuentes renovables.” (Dirección Nacional de Energía Renovable, 2014), por lo que este tipo de proyectos puede ser un buen inicio a desarrollar tecnología más robusta para manejar mayores cantidades de corriente. Como recomendación durante el desarrollo de esta tesis, se debe contar con todos los elementos electrónicos necesarios para su funcionamiento en el momento de su acople considerando una variedad de métodos, con éxito, la meta fue conseguida con la prueba del equipo en el Árbol Solar en óptimo funcionamiento. Se recomienda su instalación en el campus universitario en los lugares más concurridos por los estudiantes y transeúntes.

BIBLIOGRAFÍA.

LORENZO. Eduardo. 1994. Electricidad Solar: Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos, Universidad Politécnica de Madrid

ALONSO Abella. Miguel. 2005. Sistemas fotovoltaicos: introducción al diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar fotovoltaica, Era Solar, S.A.P.T. Publicaciones Técnicas, S.L. Madrid

COUGHLIN. Robert F. y Driscoll Frederick F. 2005. Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales. Editorial Prentice Hall.

FERNÁNDEZ Salgado. José María. 2008. Guía completa de la energía solar fotovoltaica y termoeléctrica. A.Madrid Vicente Ediciones. Madrid.

MUÑOZ. J. Lorenzo E. 2004. Capacitive loads based on IGBTs for on-site characterization of PV arrays. Universidad de Madrid – Madrid.

BOLZI, C.G., Bruno, C.J., Durán, J.C., Godfrin, E.M., Martínez Bogado, M.G., Merino, L.M., Plá, J.C., Tamasi, M.J.L., Barrera, M., “SAC-A satellite: first experiment of argentine solar cells in space”, Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 1344-1347, Anchorage, Alaska, EE.UU (2000).

ATLAS Solar del Ecuador. Con fines de generación eléctrica. [En Línea]. <<http://www.conelec.gob.ec>> [Información sobre niveles de radiación en la ciudad de Cuenca-Ecuador. 2008].

ATMEL. 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In System Programmable Flash [En Línea]. <<http://www.atmel.com/>> [Consulta sobre el microcontrolador en uso. 2012].

ARDUINO. Open source electronics platform based on easy to use hardware and software. [En Línea]. < <http://www.arduino.cc/> > [Información uso, manejo y programación de Arduino. 2010].

SUN Fields Europe. Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma. [En Línea]. <<http://es.scribd.com/doc/189716793/Sunfields-Boletin-Fotovoltaica-Autonomas#scribd>> [Consulta sobre sistemas solares autónomos. 2012].

COMPONENTES DE UNA INSTALACION SOLAR FOTOVOLTAICA. [En Línea]. <<http://www.mcgraw-hill.es>> [Información sobre instalaciones fotovoltaicas. 2012].

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO. EPIA Sistemas aislados estacionarios o con direccionamiento. [En Línea]. <<http://www.tech4cdm.com>> [Información sobre cálculos y orientación de los paneles solares. 2008].

COEFICIENTE DE RENDIMIENTO. Factor de calidad de una Instalación Fotovoltaica. [En Línea]. <<http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-UES100810.pdf>> [Información sobre el coeficiente de rendimiento en una instalaciones fotovoltaicas. 2012].

CALCULO INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA AISLADA DE LA RED. Campo Fotovoltaico: Orientación e Inclinación [En Línea]. <<http://calculationsolar.com/>> [Consulta sobre instalación de un panel fotovoltaico, inclinación e ubicación en el planeta. 2012].

DISEÑO, ELABORACION, CARACTERIZACION Y ENSAYOS DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS PARA USOS ESPECIALES. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencia y Tecnología. Universidad Nacional de General San Martín. Argentina. Por Lic. Mónica G. Martínez Bogado. [En Línea]. <<http://www.tandar.cnea.gov.ar>> [Consulta y referencia de técnicas de mejoramiento del rendimiento en el usos de paneles fotovoltaicos. 2004].

LOVEGROVE. Ross. 2012. <<http://nomadaq.blogspot.com/2012/05/ross-lovegrove-solar-tree.html?m=0>> [Consulta y referencia de técnicas de mejoramiento del rendimiento en el usos de paneles fotovoltaicos. 2004].

IEA. International Energy Agency. Technology Roadmap. Concentrating Solar Power, 2010. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Paneles_solares, características, tipos, avances tecnológicos y desarrollo.

Lic. MARTÍNEZ BOGADO. Mónica G. 2004. Diseño, elaboración, caracterización y ensayos de dispositivos fotovoltaicos para usos espaciales. Capítulo Introducción. Pag 12. <http://www.tandar.cnea.gov.ar/doctorado/Tesis/MartinezBogado.pdf>

CRUZ FAJARDO. Elena. 2007. Criterio de valoración del comportamiento de instalaciones fotovoltaicas. Capítulo IV Desarrollo general del proyecto. Pag 20. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4258/fichero/Memoria+PFC%252FIV.+Desarrollo+del+proyecto.pdf>

ALONSO GARCIA. M^o del Carmen. 2006. Máster en Energías Renovables y Mercado Energético. El Generador Fotovoltaico. Pag 10. http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45315/componente45313.pdf

JIMÉNEZ SÁNCHEZ. Macarena. 2012. Universidad Pontificia de Madrid. Diseño de planta solar fotovoltaica de 20MW en california y conexión a la red de distribución. http://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/6063/PFC_Israel_Blanco_Sardinero.pdf

DIRECCIÓN NACIONAL DE ENERGÍA RENOVABLE. (2014). Publicación de la página principal del ministerio de energía. <http://www.energia.gob.ec/direccion-nacional-de-energia-renovable>

ÁRBOL SOLAR. 2015. Energía Libre. Página propia del trabajo de tesis.

<http://bernardo2hd.wix.com/solar>