



Diseño de un sistema de energía fotovoltaica controlado a través de PIC18F4550 para una carga de 3w

YILAN SEBASTIÁN FLOREZ CARRILLO

Universidad ECCI
Escuela Colombiana de Carreras Industriales
Facultad de Ingeniería
Bogotá, Colombia
2021

Diseño de un sistema de energía fotovoltaico controlado a través de PIC18f4550 para una carga de 3w

YILAN SEBASTIÁN FLOREZ CARRILLO

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al
título de:

TÉCNOLOGO EN AUTOMATIZACIÓN Y ROBOTICA INDUSTRIAL

Director (a):

MSc. Fabián Barrera Prieto

Línea de Investigación:

Energías renovables

Grupo de Investigación/Semillero:

GIDRA

Universidad ECCI

Escuela Colombiana de Carreras Industriales

Facultad de Ingeniería, Cundinamarca

Bogotá, Colombia 2021

Resumen

En este trabajo de investigación se diseña un sistema de aprovechamiento energético, contenido en una placa PCB descrito de la siguiente manera: se extrae la radiación solar con ayuda de una celda fotovoltaica, llevando esta energía a la parte de control que recibe la información de los sensores INA219, y por medio del PIC18F4550 determina cuando hay que suministrar corriente a una batería, se tienen dos baterías una es la que suministra la energía al inversor y al sistema, la otra se utiliza de respaldo para cuando la batería número uno se quede sin carga, se implementa la interfaz de visualización gráfica utilizando una pantalla GLCD con la finalidad de que el usuario pueda observar los voltajes en las dos baterías utilizadas. El inversor DC - AC que tiene la función de convertir la corriente DC de las baterías en corriente AC, para poder proporcionar energía a la carga que es un bombillo LED de 3W. El resultado obtenido fue instalar el sistema en una habitación para poder aprovechar la energía eléctrica en luz, obteniendo 13 horas de autonomía con el sistema conectado al panel solar y 10 horas de autonomía con el sistema sin el panel y las baterías cargadas. Se investiga sobre el aprovechamiento de la energía solar ya que es de fácil acceso y no se necesita gran infraestructura para poder utilizarla o convertirla.

Palabras clave: Radiación Solar, Panel Fotovoltaico, Inversor, Controlador de carga, Microcontrolador.

Abstract

In this research work, an energy use system is designed, contained in a PCB board described as follows: solar radiation is extracted with the help of a photovoltaic cell, taking this energy to the control part that receives the information from the INA219 sensors, and through the PIC18F4550 determines when to supply current to a battery, there are two batteries, one is the one that supplies power to the inverter and the system, the other is used as backup for when battery number one runs out. load, the graphical display interface is implemented using a GLCD screen so that the user can observe the voltages in the two batteries used. The DC - AC inverter that has the function of converting the DC current of the batteries into AC current, to be able to provide power to the load, which is a 3W LED bulb. The result obtained was to install the system in a room to be able to take advantage of the electrical energy in light, obtaining 13 hours of autonomy with the system connected to the solar panel and 10 hours of autonomy with the system without the panel and the batteries charged. Research is being done on the use of solar energy since it is easily accessible and does not need a large infrastructure to be able to use or convert it.

Keywords: Solar Radiation, Photovoltaic Panel, Inverter, Charge Controller, Microcontroller.

Contenido

Sumario

1. Introducción	11
1.1 Planteamiento	12
1.2 Justificación.....	13
1.3 Delimitaciones.....	14
1.4 Objetivo general	14
1.5 Objetivos específicos	14
2. Marco teórico.....	15
2.1 Interruptores electrónicos:	15
2.2 Diodo:.....	15
2.3 Transistores:	16
2.4 BJT Y MOSFET	17
2.5 Circuitos electrónicos de potencia:	17
2.6 Inversor DC – AC	18
2.7 Convertidor en puente de onda completa:	18
2.8 Inversor de onda cuadrada:.....	19
2.9 Transformador.....	20
2.10 Uso de los transformadores:	21
2.11 Protocolo de comunicación I2C	21
2.12 PIC 18F4550	23
2.13 Panel solar:	24
2.14 Baterías:.....	26
2.15 Sensor INA219:.....	29
2.16 Pantalla GLDC:	30
2.17 CD4047	31
2.18 Estado del arte	33
3. Sistema de potencia.....	37
3.1 Composición del Sistema Fotovoltaico	37
3.2 Inversor DC - AC.....	38
3.3 Características técnicas del inversor	39
3.4 Lista de componentes	40
3.5 Cálculo de las baterías:	42
3.6 Selección y características del panel.....	43
3.7 Diseño del circuito	44
3.8 Diseño de la tarjeta PCB:	46

4. Programación PIC18F4550	48
4.1 Integración con Pantalla GLCD	49
4.2 Diseño de texto	50
4.3 Texto en pantalla.....	51
4.4 Números en pantalla:	52
4.5 Texto de letra V.....	53
4.6 Adquisición de datos con sensor INA219	54
4.7 Escritura I2C:	55
4.8 Lectura I2C:.....	55
4.9 Configuración de los INA219	55
4.10 Control de carga.....	56
4.11 Programación.....	57
5. Impacto del proyecto	58
5.1 Tiempo de autonomía	58
5.2 Tiempo de carga	59
5.3 Costos del proyecto.....	59
5.4 Huella de carbono	60
6. Conclusiones y recomendaciones.....	62
6.1 Conclusiones.....	62
6.2 Recomendaciones.....	63
7. Referencias.....	64

Lista de figuras

Ilustración 1: Gráfica Diodo	16
Ilustración 2: Gráfica Transistor.....	17
Ilustración 3: Interruptores Electrónicos.....	19
Ilustración 4: Transformador.....	20
Ilustración 5: Modelo Transformador Ideal.....	21
Ilustración 6: Conexión I2C.....	22
Ilustración 7: Trama de datos bus I2C	22
Ilustración 8: Panel Solar.....	24
Ilustración 9: Batería polo abierto	26
Ilustración 10: Batería AGM.....	26
Ilustración 11: Batería GEL	27
Ilustración 12: Batería estacionaria.....	27
Ilustración 13: Batería litio	28
Ilustración 14: Regulador de voltaje.....	28
Ilustración 15: INA219	29
Ilustración 16: Trama de datos	30
Ilustración 17: Pantalla GLCD	31
Ilustración 18: CD4047	32
Ilustración 19: Conexiones CD4047	33
Ilustración 20 Sistema Fotovoltaico	37
Ilustración 21: Sistema de Potencia.....	38
Ilustración 22: Diagrama esquemático Inversor	45
Ilustración 23: Diagrama PIC, INA219, Cto Control	45
Ilustración 24: PCB Capa Inferior	46
Ilustración 25: PCB Diseño final	47
Ilustración 26: PCB componentes.....	47
Ilustración 27: Diagrama de flujo	49
Ilustración 28: Conexión pantalla GLCD.....	50
Ilustración 29: Diseño de texto	51
Ilustración 30: Diseño de texto	52

Ilustración 31: Píxeles GLCD.....	52
Ilustración 32: Número 1	53
Ilustración 33: Letra V.....	54
Ilustración 34: Interfaz gráfica.....	54
Ilustración 35: Circuito INA219 Proteus	56
Ilustración 36: Circuito Control Carga	57
Ilustración 37: Cálculo consumo.....	61

Lista de ecuaciones

Ecuación 1: Consumo diario.....	34
Ecuación 2: Perdidas.....	34
Ecuación 3: Energía panel.....	35
Ecuación 4: Capacidad de la batería.....	42
Ecuación 5: Potencia fotovoltaica.....	43

Lista de tablas

Tabla 1: Características PIC18F4550.....	23
Tabla 2: Tipos de panel solar.....	25
Tabla 3: Monoestable y Astable.....	32
Tabla 4: Características del inversor.....	39
Tabla 5: Lista de componentes.....	40
Tabla 6: Características panel solar.....	43
Tabla 7: Consumo diario.....	58
Tabla 8: Costo energía mes.....	58
Tabla 9: Costos del proyecto.....	59

1. Introducción

La energía eléctrica es un recurso vital para el desarrollo de las actividades que se realizan diariamente, desde mantener informada a la sociedad, hasta generar un ambiente digno para poder vivir, ayudar en nuestras labores etc. En la actualidad los servicios de energía provienen de plantas eléctricas, o terceros, generando así un consumo que se ve evidenciado en costos. Esto a su vez genera una dependencia y necesidad del servicio que cada ser humano utiliza como lo es la energía eléctrica. En Colombia, el primer alumbrado público para las calles de la ciudad se encendió en Bogotá a finales del siglo XIX, en el ejercicio de la red eléctrica tienen un papel fundamental cuatro actividades: generación, transmisión, distribución y comercialización, se basa en ser transportada desde el lugar donde nace, hasta el lugar donde se va a utilizar. Asimismo, el consumo de energía anual en Colombia es cerca de los 70.000GWh/año, y se estima por parte del UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) un crecimiento del 2% con todos los cambios que actualmente se están presentando. (Arango, 2019), de tener este recurso tan valioso, pero no en todos los lugares de Colombia se tiene ese privilegio. Hay diferentes sitios en los que no es posible la obtención de diferentes recursos esenciales, por tal motivo en este trabajo se investiga sobre una de las energías renovables más importante y con más auge en estos tiempos, la energía solar. Dicha fuente de energía es asequible por cualquier persona y en cualquier lugar que se encuentre en el planeta tierra, el costo para la obtención del recurso es reducido en comparación del costo asociado a la generación de energía

eléctrica ya sea en centrales termoeléctricas, centrales hidroeléctricas, centrales geo - termoeléctricas, centrales nucleares etc.

1.1 Planteamiento

Durante el año 2019 se tuvo un crecimiento del 4.02% de demanda energética, este crecimiento fue principalmente impulsado por la industria de la manufactura que tiene como propósito la transformación de las materias primas (Mesa, 2020). De igual forma en abril de 2021 se logró tener un crecimiento del 8% también relacionado con la demanda energética. (Feria, 2021). Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, es observable la necesidad de uso que la población tiene de este recurso, así mismo, dicha necesidad será de vital importancia en los próximos años.

Con la obtención de la energía eléctrica los combustibles fósiles que son tres: petróleo, carbón y gas natural juegan un papel fundamental en la formación de la energía eléctrica. No son renovables esto quiere decir que son limitados y en algún momento van a expirar. La energía que proviene al momento de quemar estos combustibles se convierte en electricidad, cuando se realiza este procedimiento el carbón e hidrogeno tienen reacción con el oxígeno produciendo CO₂ y H₂O, y se requiere la transformación de energía mecánica (calor) por medio de turbinas o generador para poder producir la energía eléctrica. Por otra parte, las hidroeléctricas que mediante la implementación de la energía hidráulica se obtiene la energía eléctrica, impactan no solamente en el lugar donde se ejecuta la actividad sino también dentro y fuera del agua tiene repercusiones negativas, afectando la flora, la fauna y la desestabilización de las comunidades biológicas. Según investigaciones por parte de Fernanda Souza-Cruz-Buenaga, explica que con el ejercicio de extraer esta energía se tiene que detener el flujo natural del río, lo que conlleva a la caída en la supervivencia de los animales que habitan allí.

(Ambrosio, 2018). Viendo la demanda energética que se tiene actualmente y el daño que generan las actividades para la extracción de dicho recurso, se investigan energías alternativas que no generen daño y que su uso contenga menos costos, que sea limitada y fácil de obtener.

1.2 Justificación

La energía solar en ocasiones se puede conseguir en todo el mundo, y genera un impacto menor en el medio ambiente en comparación de los combustibles fósiles que ocasionan un mayor daño al medio donde vivimos. La energía solar no emite gases de efecto invernadero en consecuencia, por lo tanto, no contribuye al calentamiento global. Con el uso de la energía solar se disminuye la utilización de sustancias tóxicas en el proceso de obtención, solamente se implementan en la producción de los materiales requeridos para el diseño del sistema. No se genera costos de transporte ya que en cualquier rincón se puede obtener y de manera gratuita. La instalación de los sistemas fotovoltaicos es muy simple y no requiere de mayor infraestructura para realizarlo. Se puede utilizar en hogares a pequeña escala, en industrias que tienen una mayor demanda energética. Por tal motivo se tiene el interés de poder dar uso de este recurso en cualquier rincón del planeta, ayudando así a las personas que no pueden tener acceso a la energía. Departamentos como Nariño, Chocó, Cauca y Valle del Cauca son los departamentos que encabezan la lista de los cuales no están conectados a una red eléctrica, y según el ministro de Minas y Energía asegura que esta problemática es a raíz de toda la población que se encuentra ubicada en la zona rural y por ende se tiene difícil acceso a este recurso. (VIVAS, 2019). No solo a los lugares donde es difícil tener energía eléctrica, también en nuestras viviendas para poder notar un cambio en el estilo de vida y en los costos que pagamos por este recurso. En un futuro no muy lejano algunos recursos vitales ya no estarán disponibles o se verá escasez de estos, debido a diferentes factores, es por esto por lo que se opta por el uso de las energías renovables.

1.3 Delimitaciones

Para este proyecto se tendrá la limitación con respecto a la carga a utilizar, en este caso y con el diseño del inversor DC/AC se tendrá como carga una bombilla LED a 3W, para poder tener el recurso de energía eléctrica en una habitación proporcionando una autonomía de 13 horas, con ayuda de 1 batería recargable de 12V 5Ah para la alimentación del sistema, y el aprovechamiento de energía mediante un panel solar de 30W de potencia.

1.4 Objetivo general

Diseñar un sistema de energía fotovoltaica controlado a través de PIC18F4550 para una carga de 3W.

1.5 Objetivos específicos

1. Diseñar un inversor DC/AC para el aprovechamiento de la potencia generada en una carga de 3W.
2. Implementar un sistema de control y monitoreo a partir del microcontrolador PIC18F4550.
3. Realizar las pruebas del montaje del sistema de energía fotovoltaica integrando la electrónica analógica y digital.
4. Analizar el retorno de la inversión del sistema de energía fotovoltaica

2. Marco teórico

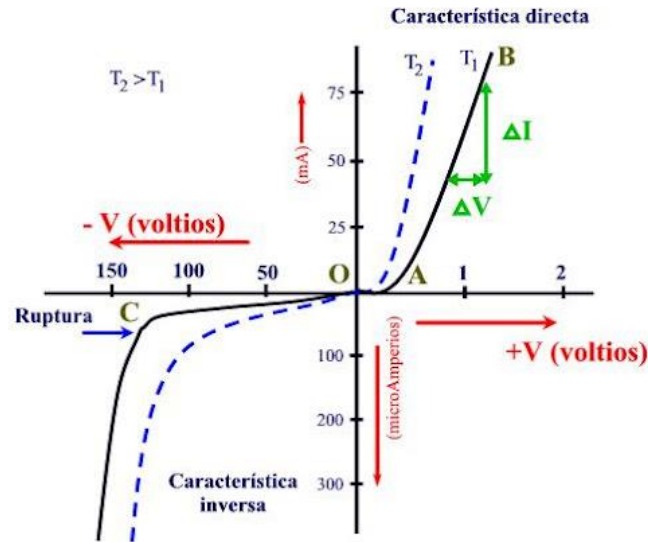
2.1 Interruptores electrónicos:

En los circuitos electrónicos se necesitan de aparatos que puedan bloquear el paso o dejar fluir la corriente eléctrica. Existen diferentes tipos de interruptores los cuales cuentan con características y funcionalidades diferentes según como se requiera. El comportamiento de estos en un circuito electrónico, como corto circuito cuando están activados, y como circuitos abiertos cuando están desactivados. (Hart, 2001). Hay diferentes aplicaciones para los interruptores ellos se pueden implementar en fuentes de alimentación, circuitos que manejen altos niveles de corriente o voltaje, reguladores de voltaje, dentro de los cuales los siguientes:

2.2 Diodo:

El diodo es un interruptor que no es controlado, y para el existen dos estados: conducción (activado) y en corte (desactivado), se determina según el voltaje que pase por dicho dispositivo semiconductor. Cuando un diodo está polarizado en directa se comporta como un corto circuito, y cuando esta polarizado en inversa se comporta como un circuito abierto (Hart, 2001).

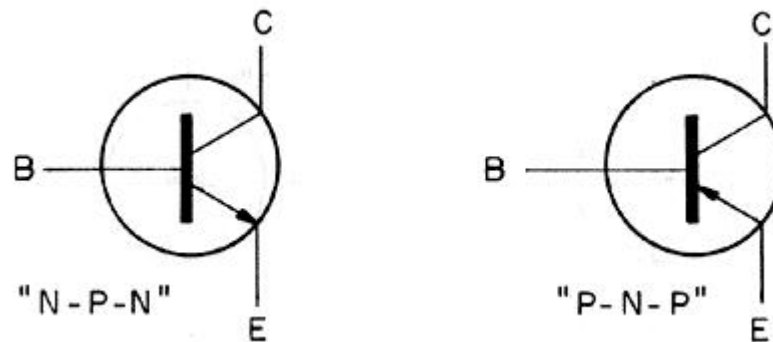
Ilustración 1: Gráfica Diodo

Tomado de: www.ifent.org

2.3 Transistores:

Se pueden catalogar como interruptores y amplificadores utilizados en potencia, y su funcionalidad es dejar o bloquear el paso de energía controlado. Y es la ventaja que se tiene a la hora de tener control en un circuito de corriente eléctrica (Hart, 2001). Los transistores operan con el flujo de corriente que reciben sobre la base, puede trabajar de dos formas como amplificador y como interruptor, se determina sobre la posición que ocupe, por ejemplo: activa permite el paso de flujo de corriente, en corte como su nombre lo indica no permite pasar corriente eléctrica, y en saturación deja pasar toda la corriente máxima del circuito. Dentro de los tipos de transistores existen: de contacto puntual, unión bipolar, efecto de campo y fototransistores (ETECÉ, 2021).

Ilustración 2: Gráfica Transistor



Tomado de: www.es.wikibooks.org

A la hora de seleccionar un dispositivo conmutador se debe tener en cuenta varios aspectos, no solamente las tensiones que van a pasar por él, sino también los requisitos de conmutación que se deben tener. Puesto que en diferentes circuitos electrónicos se utiliza una frecuencia para hacer este paso o bloqueo de corriente.

2.4 BJT Y MOSFET

El transistor BJT es de unión bipolar, y permite tener control con el paso de la corriente en una dirección, tiene dos uniones PN lo que da como resultado colector, emisor y base (Chala, 2019). El transistor MOSFET a diferencia del BJT es controlado por voltaje suministrado por el gate, su aplicación es comúnmente utilizada como switch y con respecto al BJT que necesita una resistencia en la base para poder generar la corriente, este transistor no la necesita, pero si es comúnmente utilizada una resistencia entre el común y el gate (Orendain, 2019).

2.5 Circuitos electrónicos de potencia:

Se tiene como finalidad adecuar la tensión que se tiene proporcionada por la fuente de energía. Los circuitos electrónicos de potencia convierten una forma de onda de corriente o tensión de un cierto tipo o nivel en otro; por eso se

denominan convertidores. (Hart, 2001). En los circuitos electrónicos de potencia se utilizan diferentes tipos de elementos semiconductores para el control del flujo energético, elementos pasivos, circuitos de mando o control. Los convertidores se clasifican según su relación existente entre la entrada y la salida, y para este caso se utilizará un circuito cuya entrada sea CC y su salida respectivamente sea AC, llamado inversor el cual trasfiere potencia de un voltaje DC extraído de una batería de 12V 5Ah a un voltaje AC comúnmente de 120v a 60Hz de frecuencia.

2.6 Inversor DC – AC

Los inversores tienen la finalidad de transformar la corriente continua en corriente alterna, como objetivo es crear la fuente de AC partiendo de una fuente de corriente continua como por ejemplo de uso las baterías de ácido de plomo de 12V 5Ah, las aplicaciones de los inversores son para motores de alterna, sistemas de alimentación interrumpida (SAI) y dispositivos que requieran corriente alterna y que se utilice como fuente de alimentación, la batería de un vehículo. (Hart, 2001)

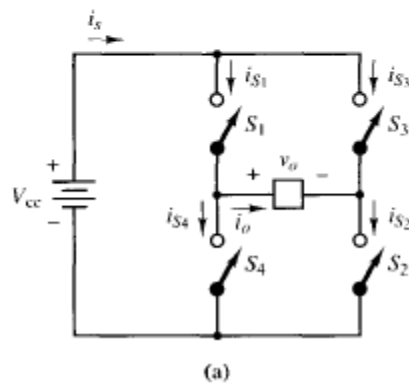
Inversores: Inversor de onda senoidal pura, Inversores cargadores reguladores, Inversor aislado, Inversor monofásico, Inversor de baja frecuencia, Inversor trifásico.

2.7 Convertidor en puente de onda completa:

La idea es tener una salida de corriente alterna con ayuda de una fuente de energía que contenga corriente continua, cerrando y abriendo interruptores en determinada secuencia. (Hart, 2001)

Ilustración 3: Interruptores Electrónicos

Interruptores cerrados	Tensión de salida, v_o
S_1 y S_2	$+V_{cc}$
S_3 y S_4	$-V_{cc}$
S_1 y S_3	0
S_2 y S_4	0



Tomado de: Libro Daniel W Hart.

2.8 Inversor de onda cuadrada:

Este inversor genera una onda cuadrada de salida los interruptores conectan la carga a +VCC cuando S_1 y S_2 están cerrados, y a -VCC cuando S_3 y S_4 están cerrados. Dicha conmutación de +VCC y -VCC generan una tensión cuadrada en la carga. La forma de onda de corriente en la carga dependerá de los componentes de la carga. En una carga resistiva la forma de onda de corriente se corresponde con la forma de tensión de salida. Para la carga inductiva tendrá corriente con más calidad sinusoidal, por causa de propiedades de filtrado de las inductancias. En una carga R-L serie se forma una tensión de salida de onda cuadrada, (Hart, 2001).

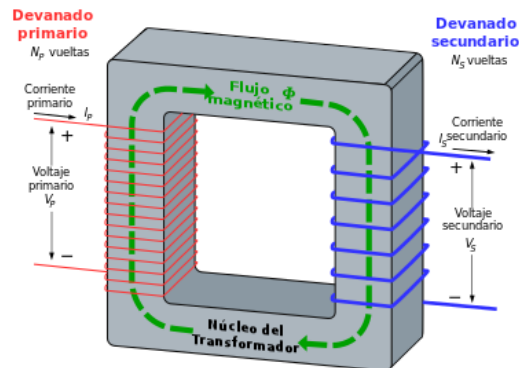
Los interruptores del circuito en puente de onda completa deben ser capaces de transportar tanto corrientes positivas como negativas para cargas R-L. Los dispositivos electrónicos reales suelen conducir corriente en una sola dirección.

Este problema se resuelve usando diodos de realimentación en paralelo con cada interruptor. Existen 3 tipos de inversores: Inversor onda cuadrada: Cargas resistivas, inversor onda sinusoidal modificada: Cargas resistivas y capacitivas, inversor de onda sinusoidal pura: Aptos para todo tipo de cargas (Hart, 2001).

2.9 Transformador

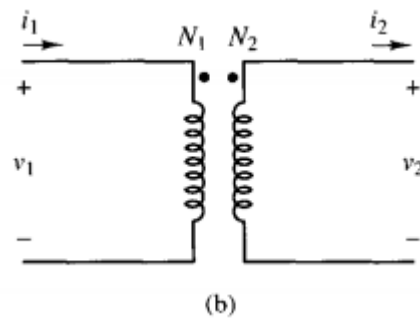
Los transformadores tienen dos funciones como proporcionar un aislamiento con las partes funcionales del circuito, incrementar o disminuir tensión de acuerdo con lo que ingrese por sus devanados por medio de un campo magnético. Se compone de dos bobinas con diferente cantidad de vueltas, el voltaje dependerá de la cantidad de vueltas que tenga el devanado primario, cantidad de vueltas que tenga el devanado secundario y el voltaje aplicado en el devanado primario. (R, s.f.)

Ilustración 4: Transformador



Tomado de: www.wikipedia.com

Ilustración 5: Modelo Transformador Ideal



Tomado de: Libro Daniel W Hart.

2.10 Uso de los transformadores:

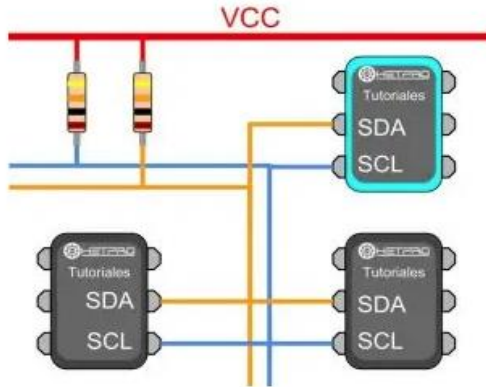
Los transformadores se les da diferentes usos como, por ejemplo: la distribución de energía eléctrica ya sea para manejar voltajes altos, para aumentar o disminuir dicho voltaje. Para protección de maquinaria eléctrica, para aislar los equipos electrónicos en la industria, y para generar grandes cantidades de voltaje para maquinaria pesada que lo requiera. Existen diferentes tipos de transformadores: elevador, reductor, de variables, de aislamiento, de pulsos, diferencial de variación lineal, diodo dividido, de impedancia, estabilizador de tensión. (R, s.f.)

2.11 Protocolo de comunicación I2C

Es un protocolo de comunicación serial, en el cual se envía una trama de datos con ayuda de conexiones físicas, se transfieren bits entre dispositivos. Se realiza mediante dos puertos de comunicación SDA (Señal de datos) y SCL (Señal de reloj), este protocolo admite hasta 127 dispositivos conectados a estas dos líneas anteriormente mencionadas, con velocidades que llegan a los 100, 400 y 100kbts/s. Es un método de comunicación más utilizado para sensores en comparación de la comunicación con puerto serial el I2C tiene confirmación de

recibido de datos. En la trama de datos en I2C se tiene 1 byte de confirmación, la dirección del registro, la dirección del esclavo. (HETPRO, s.f.)

Ilustración 6: Conexión I2C



Tomado de: www.hetpro-store.com

Ilustración 7: Trama de datos bus I2C

Configurar la hora 0x08 del registro 0x02 del RTC DS1307 que tiene la dirección 0x68



Tomado de: www.hetpro-store.com

En la primera trama Se envía 1 bit por parte del Maestro iniciando la comunicación seguido a esto se envían los 7 bits de la dirección, el bit de escritura

o lectura, y por último el acuse recibido ACK. En la segunda trama de datos se envían los bits de memoria y el último bit de acuse recibido ACK. En la última trama se envía la información o los datos seguido del acuse recibido ACK y por último el bit de parada por parte del Maestro (HETPRO, s.f.).

2.12 PIC 18F4550

Es un circuito integrado programable que ejecuta y controla varias actividades, posee una memoria flash, el MCU cuenta con 8bits, 48Mhz, 32KB, 2KB y 40 pines. Este Microcontrolador se usa para el control de dispositivos, control de procesos, comunicaciones y demás (ELECTRONICS, s.f.), a continuación, las características más relevantes de este microcontrolador.

Características:

Tabla 1: Características PIC18F4550

Voltaje de operación	4.2v a 5.5v
Comunicación	UART, A/E, USART, SPI, I2C, MSSP (SPI/I2C)
Interfaz	USB 2.0 de alta velocidad (12Mbits / s)
Dimensiones	13.8mm x 3.8 mm x 52.2 mm
Peso	6g
Pines	40
ADC de 10 bits	13 canales
I/O disponibles	35 pines
Comparadores Analógicos	2
EEPROM	256 Bytes
Memoria Flash	32Kb
Memoria de datos SRAM	2048 Bytes
Máxima frecuencia de trabajo	48Mhz
Timer:	Uno de 8 bit y tres de 16 bit
Temperatura de trabajo	-40°C a 85°C

Tomado de: Datasheet

2.13 Panel solar:

Es un dispositivo utilizado para aprovechar la energía solar y así producir energía o calor, los paneles fotovoltaicos generan electricidad a partir de la radiación solar que reciben las células fotovoltaicas del panel. Los paneles solares poseen células fotovoltaicas que convierten la radiación solar en energía eléctrica, esta energía se produce debido a los fotones que generan cargas positivas y negativas en dos semiconductores, se genera un campo eléctrico que produce dicha energía (SOLAR, 2015).

Ilustración 8: Panel Solar



Tomado de: www.erenovable.com

Los materiales comúnmente utilizados para fabricar los paneles son semiconductores, como el arseniuro de galio (GaAs), el silicio (Si), estas células de silicio son mayormente utilizadas debido al bajo costo, el rendimiento de las células fotovoltaicas se determina a partir de la estructura tridimensional que tengan las láminas de silicio (SOLAR, 2015). De esta manera se pueden clasificar:

- Células de silicio monocristalino: un cristal que se corta en láminas de color diferencial azul tiene un costo elevado de fabricación, pero un rendimiento superior.

- Células de silicio policristalino: a diferencia del monocristalino se compone de varios cristales de igual forma de color azul.
- Células de silicio amorfo: no está conformado por cristales, de bajo costo y de menor rendimiento, se usa en dispositivos como calculadoras relojes. Producen electricidad en baja cantidad.

Existen diferentes tipos de paneles solares:

Tabla 2: Tipos de panel solar

Tipo de Panel Solar	Característica
Panel solar a 12v	Tienen una potencia entre 5W y 200W, se utilizan en instalaciones de menor dimensión, para iluminación, señalización.
Panel solar a 24v	Tienen una potencia entre 200W, y 450W se utilizan para instalaciones donde se tiene gran demanda energética y para sistemas aislados.
Panel solar de conexión a red	Se usa para grandes instalaciones de conexión a red, se debe instalar un regulador MPPT.
Panel solar flexible	Se puede aprovechar el espacio y tiene grande eficiencia, se puede utilizar en caravanas, carritos de golf y campings, ya que se adaptan a las condiciones o situaciones

Tomado de: www.solar.com

2.14 Baterías:

Son necesarias para suplir corriente al circuito inversor, existen diferentes tipos y a continuación se describirán algunos modelos.

Batería de plomo abierto: se conocen también por plomo ácido, tienen seis compartimientos separados dentro de una caja o envase de polipropileno para ser aislada y resistente al ácido, cada célula tiene placas negativas y positivas, se usa para instalaciones aisladas, tiene bajo costo (ALIBABA, s.f.).

Ilustración 9: Batería polo abierto



Tomado de: www.alibaba.com

Baterías de AGM: o también llamadas VRLA se utilizan para instalaciones que tienen una alta demanda energética, es una batería recargable sellada de ácido de plomo no requiere mantenimiento ni ventilación (ALIBABA, s.f.).

Ilustración 10: Batería AGM



Tomado de: www.alibaba.com

Baterías de GEL:

Son utilizadas en instalaciones solares aisladas o sin conexión a la red, tienen una larga durabilidad y no necesitan mantenimiento, de igual forma no generan gases nocivos (ALIBABA, s.f.).

Ilustración 11: Batería GEL



Tomado de: www.alibaba.com

Baterías estacionarias:

Su característica principal es estar distribuida en diferentes vasos, en comparación de las baterías de plomo tienen mayor durabilidad. Son ideales para instalaciones solares de uso permanente (ALIBABA, s.f.).

Ilustración 12: Batería estacionaria



Tomado de: www.alibaba.com

Baterías de Litio:

Cuentan con una excelente vida útil y de igual forma no requiere mantenimiento ni generan gases nocivos, puede ser instalada en interiores (ALIBABA, s.f.).

Ilustración 13: Batería litio

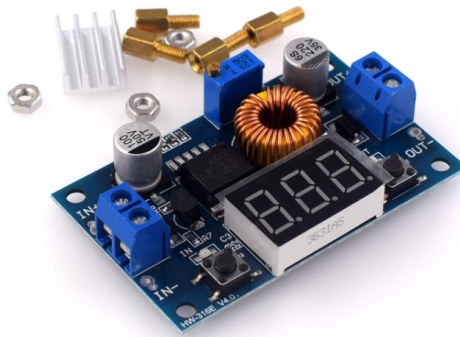


Tomado de: www.alibaba.com

Regulador de tensión HW-316E:

Tienen la finalidad de como su nombre lo indica reducir un voltaje que ingresa al circuito, esto se puede controlar mediante un potenciómetro, estos reguladores pueden ser fijos o variables, este regulador posee un rango de 4V-38V de entrada y una salida de tensión de 0.25V- 36V, corriente de salida de 5A, y una eficiencia del 96%. Posee una pantalla la cual nos indica el valor de entrada o salida en voltios, el error del voltímetro está entre los +- 0.05V. (ALIBABA, s.f.)

Ilustración 14: Regulador de voltaje

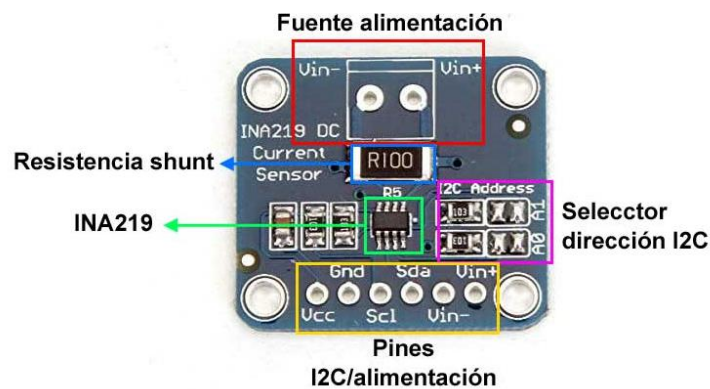


Tomado de: www.mactronica.com

2.15 Sensor INA219:

Se basa en la medición de la caída de voltaje a través de una resistencia denominada shunt, si se conoce la corriente que pasa por ella podemos encontrar el voltaje o la potencia, posee unos pines por donde se conecta la carga a medir, la resistencia shunt, el chip INA219, los pines para la configuración del I2C, y conexiones a VCC, GND y el bus I2C SDA y SCL. La resistencia shunt tiene un valor de 0.1Ω tolerancia del 1%. Este sensor utiliza un ADC de 12 bits (INSTRUMETS, 2008)

Ilustración 15: INA219



Tomado de: www.programarfacil.com

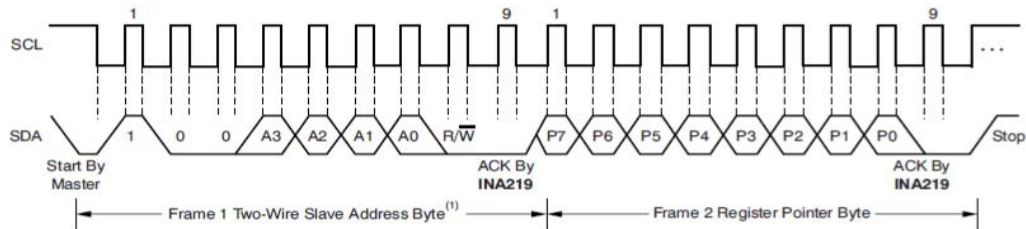
El sensor INA219 posee dos entradas análogas que son IN+ e IN- que se conectan a la resistencia shunt, con una alimentación del sensor de entre 3.3V a 5.5V, cuando el sensor está operando convierte el voltaje de la resistencia shunt hasta el número establecido en el registro del bus, los datos de corriente y voltaje se realizan en segundo plano continuamente. Existe un modo de apagado el cual no recibe las corrientes entrantes del sensor para volver a tomar mediciones toma 40us (INSTRUMETS, 2008).

Lectura / escritura del sensor:

Para acceder a un registro en particular, escribiendo el valor adecuado en el puntero de registro, se envía la dirección del esclavo en un byte con el ultimo bit de

R/W, el esclavo debe generar un acuse recibido, seguido a esto se envía la dirección del registro donde se va escribir los datos, el sensor genera un acuse recibido luego de cada byte enviado, y el maestro tiene la opción de terminar la transferencia de datos enviando condición de arranque o parada (INSTRUMENTS, 2008).

Ilustración 16: Trama de datos



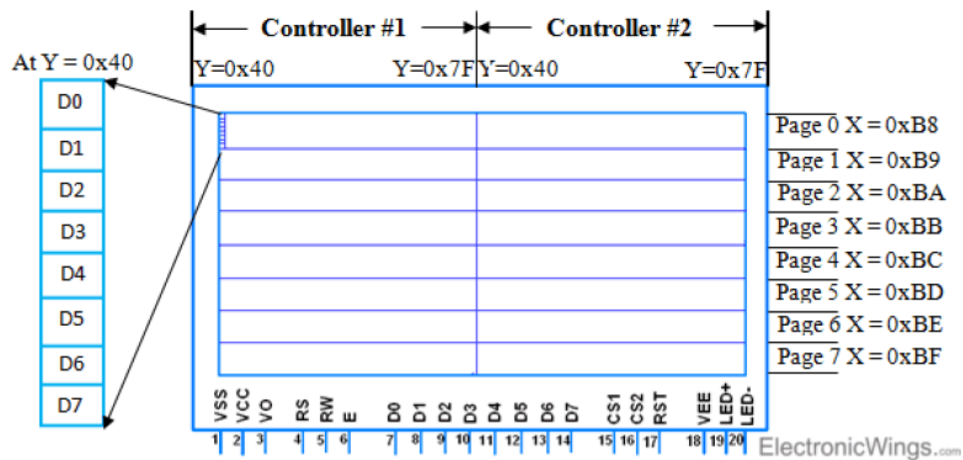
NOTE (1): The value of the Slave Address Byte is determined by the settings of the A0 and A1 pins. Refer to Table 1.

Tomado de: Hoja de datos INA219

2.16 Pantalla GLDC:

Pantalla gráfica de cristal líquido, monocromática que utiliza un controlador KS0108B para cada columna de 64 columnas, se divide en dos la pantalla con los controladores denominados CS1 y CS2. Cuenta con 8 páginas por controlador, y en cada página se tiene 8 pixeles que serán de igual forma las direcciones.

Ilustración 17: Pantalla GLCD



Tomado de: www.electronicwings.com

Se tiene alimentación de 5V, conexión a tierra, el pin 3 VO es para la intensidad de la pantalla debemos conectar un potenciómetro para graduarlo manualmente, del pin 4 al 11 es por donde se transmiten los bits para poder graficar en la pantalla, el 11 y 12 son los pines dedicados a los controladores, RST señal para reset, el pin 15 es para seleccionar si queremos escribir low, o leer el pin en high, 17 pin de enable, 18 VEE voltaje negativo se conecta al otro lado del potenciómetro, pin 19 se conecta a 5V o también se puede conectar una resistencia para controlar la luminosidad, el pin 20 es conexión a tierra.

2.17 CD4047

Es un multivibrador permite un pulso negativo o positivo, para el modo de operación se debe conectar un capacitor c-timing y una resistencia r-timing, y una resistencia puede ser variable conectado entre la c-timing y r-timing. Una operación astable es cuando hay un nivel high en la entrada astable y un nivel low en la entrada astable. Posee tres salidas de frecuencia la 13 es la principal y las otras dos son una positiva y la otra negativa, permite una entrada de voltaje de 3V – 15V (Sergio Eberlein, 2012). Entre sus características posee un bajo nivel de consumo, con la configuración especial de CMOS del oscilador, es monoestable o astable, y solo requiere una resistencia y un condensador externo.

Ilustración 18: CD4047

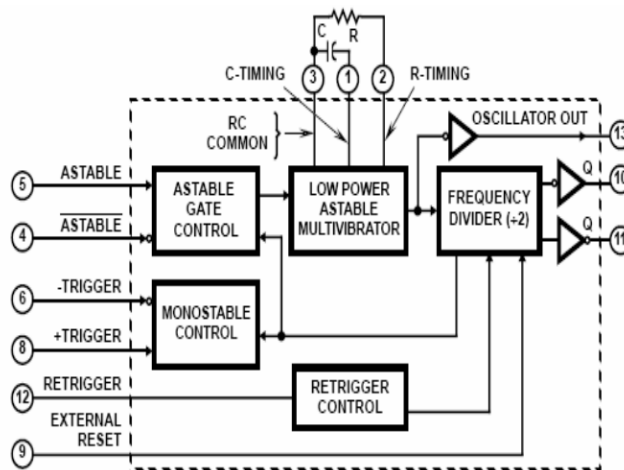
Tomado de: ww.fceia.unr.edu.ar

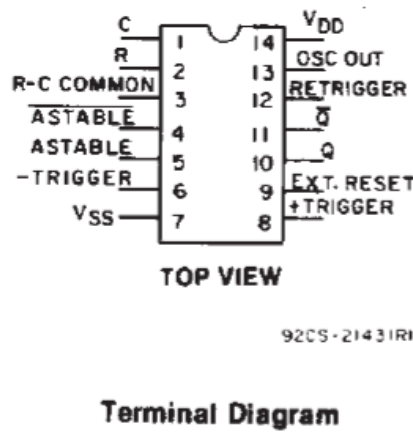
Tabla 3: Monoestable y Astable

Multivibrador Monoestable	Multivibrador Astable
Disparo positivo o negativo	Modos de funcionamiento libre, o con compuerta
El pulso a la salida es independiente de la duración del disparo	50% de ciclo útil
Circuito interno de power-on	
Un largo pulso se obtiene con componentes pequeños RC	

Tomado de: ww.fceia.unr.edu.ar

Sus aplicaciones se pueden llevar a cabo en los equipos digitales donde haya bajo nivel de potencia como, por ejemplo: multivibrador de frecuencia, divisor de frecuencia, discriminador de frecuencia, circuitos de temporización, circuitos de tiempo de retardo. (Sergio Eberlein, 2012)

Ilustración 19: Conexiones CD4047



Tomado de: Hoja de datos CD4047

2.18 Estado del arte

Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá.

Se establecen los parámetros para la instalación de un sistema fotovoltaico en una vivienda de Bogotá, estimaciones del consumo, las dimensiones que puede llegar a tener el panel, estimaciones de pérdidas, también sobre el ángulo óptimo para la obtención de la radiación. Con estudios de la radiación que llega a la ciudad de Bogotá. Se establecen las partes de un sistema fotovoltaico (PV) como lo es el bloque de generación está conformado por los paneles solares que se pueden configurar de acuerdo con las necesidades del usuario. El bloque de acumulación que es el encargado de controlar la carga y descarga del sistema, dentro del cual encontramos: el banco de baterías. Fusibles o llaves de protección, tienen la función de proteger el sistema en caso de sobre cargas o un corto no deseado. Medidor de carga, con este dispositivo podemos conocer el estado de carga de nuestro banco de baterías. Bloque de carga, es el encargado de recibir la energía proveniente del panel solar y convertirla en corriente AC (Avila, 2017).

Se aplica para una vivienda de la ciudad de Bogotá donde el consumo promedio por persona es de 1.6KWh/día, y el consumo total es de 1130 Wh/día, se dimensiona el sistema solo para algunos electrodomésticos:

- Cinco bombillos de bajo consumo de 10W
- Computador portátil de 90W
- Dos celulares de 10W
- Un decodificador digital de 30W
- Un televisor de 40" de 100W

El documento nos enseña la siguiente ecuación que es para la estimación de consumo diario de energía eléctrica, donde #Equip es la cantidad de equipos a utilizar, por las horas que se tienen encendidos los aparatos, y Peq es la potencia total de los equipos.

$$Ecc = \sum \# Equip * Horas * Peq \quad (1)$$

Tomado de: (Avila, 2017)

Ecc: consumo diario.

Equip: cantidad de equipos.

Horas: horas totales de uso de los aparatos encendidos.

Peq= potencia total de los equipos.

Estimación de perdidas:

$$nt = nb * ninv * nr * nx \quad (2)$$

Tomado de: (Avila, 2017)

Nb: eficiencia según el rendimiento de la batería entre 75% y 90%.

Ninv: rendimiento del inversor está entre los 85% y 98%.

Nr: eficiencia debido al regulador implementado valor predeterminado 90%.

Nx: eficiencia por pérdidas no contempladas.

Dimensiones de los paneles

$$E_{panel} = W_p(t) * HSP * \frac{v_{np}}{v_p} \quad (3)$$

Tomado de: (Avila, 2017)

E_{panel} es la energía diaria generada por el panel, W_p potencia nominal o pico del panel, Hsp hora solar pico, V_{np} tensión nominal del panel, V_p tensión pico del panel.

Diseño e implementación de un módulo solar fotovoltaico, para la determinación del punto máximo de potencia de carga, mediante el uso de microcontroladores e interfaz con ordenador.

El objetivo principal es por medio de un microcontrolador PIC16F887 y un ordenador, tener la interfaz de recolección de datos para su posterior validación y análisis. Parámetros necesarios para realizar la instalación en el país de Ecuador. Implementación de un seguidor de luz para la captura más eficiente de la radiación (MONTENEGRO, 2017).

Funcionalidades:

- Determinar el PPM (Punto de potencia máximo)

- Determinar valor de tensión y corriente
- Adquisición de datos
- Interfaz de usuario
- Análisis de datos
- Diagrama de flujo

El prototipo que diseñan tiene 4 fotorresistencias LDR, que desempeñarán la función de seguimiento de luz solar para enviar la señal a los motores y que estos tengan la facilidad de llevar el panel solar a donde haya más luz, para poder alcanzar la potencia máxima. El sistema tiene una interfaz de monitoreo en LabView, con encendido y paro de sistema, activación y método de funcionamiento, la programación se ingresan los datos de la hora donde empezará en funcionamiento, el ángulo en el cual el panel se establecerá, y la forma del panel fijo solo es necesario el ángulo para iniciar la prueba (MONTENEGRO, 2017).

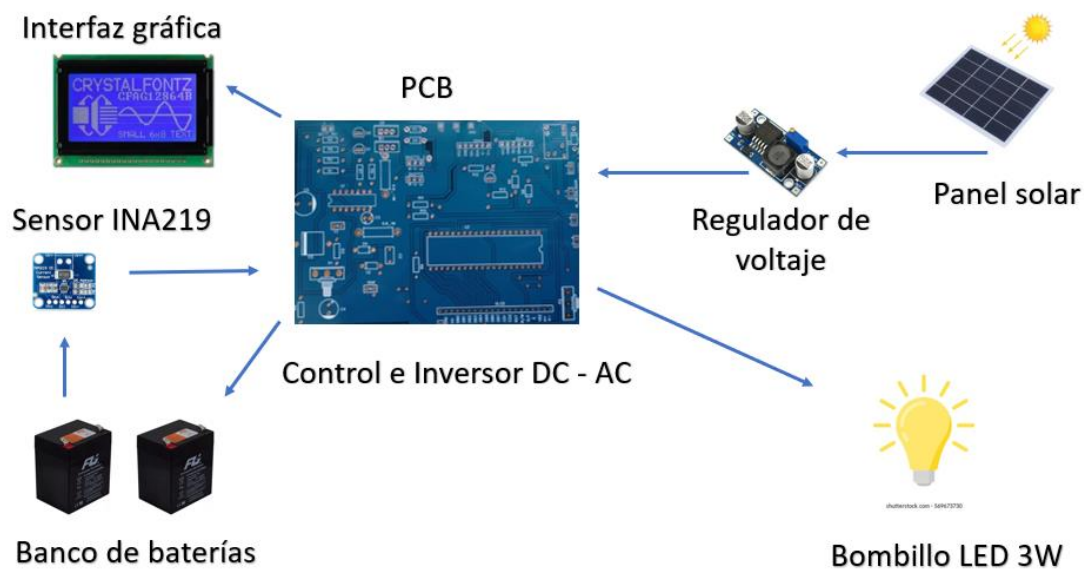
La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable

El objetivo es analizar el uso de los paneles solares para el abastecimiento de energía eléctrica y la importancia del uso adecuado y mayor aprovechamiento. Los lugares con más potencia transformada con la ayuda de sistemas fotovoltaicos son China produce 15.2GW, Japón 11GW, EE. UU 7.3GW. Se investiga la energía solar como fuente de energía renovable, y su implementación en la industria. Explica la manera en que los paneles trabajan y cómo se hace el desarrollo para las celdas solares, que material se utiliza para la fabricación. Por otra se evidencia un recorrido a lo largo de la historia de antecedentes y el desarrollo de la energía solar para generar electricidad. Los avances que se ha tenido desde la década de los 80 en Colombia donde ciudades como Bogotá y Medellín juegan un papel fundamental en el desarrollo de la energía solar. (Mieles, 2017)

3. Sistema de potencia

3.1 Composición del Sistema Fotovoltaico

Ilustración 20 Sistema Fotovoltaico



Tomado de: Elaboración propia

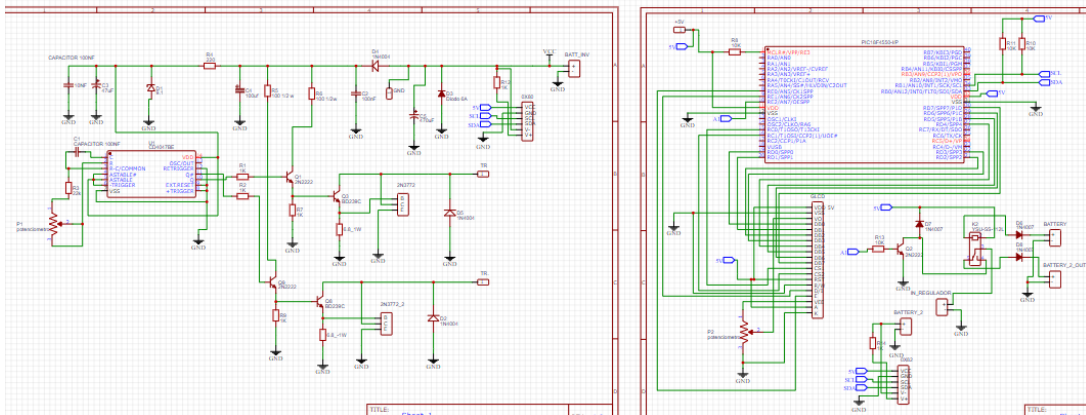
En la ilustración 20 podemos observar cómo es la composición del sistema Fotovoltaico, partiendo desde el panel solar el cual capta la radiación o energía y la lleva directamente a la placa PCB, es necesario un regulador de voltaje ya que el voltaje pico que puede generar el panel solar es de 20V y las baterías necesitan 14.7 V aproximada para cargarse. Dentro de la PCB se tiene la interfaz gráfica la cual permite observar los niveles de voltaje de las dos baterías, la parte de control por medio de las lecturas de los INA219 determina a qué batería se le debe

suministrar la corriente para ser cargada. El voltaje que hay en la batería ingresa directamente al Inversor DC-AC el cual transforma la corriente continua a corriente alterna, y con ayuda del transformador de logra aumentar el voltaje de sus devanados a 120V para poder alimentar la carga que es un bombillo de 3W.

3.2 Inversor DC - AC

En los sistemas fotovoltaicos que capta y aprovechan la energía solar, debe contar con un sistema de potencia capaz de recibir la energía generada por el banco de baterías y convertirla en corriente que se adapte a los requerimientos de la carga. Es por eso por lo que un inversor DC – AC juega un papel fundamental en el sistema. Transformar los 12V DC que recibe de las baterías a 120V AC que son necesarios para que nuestra carga que es un bombillo LED de 3W funcione. Utilizamos un transformador ya sea para reducir o aumentar la tensión que se recibe por los devanados, una dificultad que se tiene es que los transformadores requieren de una corriente AC o una corriente que oscile para poder funcionar, por tal motivo el CD4047 que es un multivibrador que posee dos salidas las cuales son inversa una de la otra, es decir mientras tenemos una en alto la otra se encuentra en bajo y por tal motivo se genera la oscilación necesaria para que el transformación reciba esa corriente (Pablin, 2020).

Ilustración 21: Sistema de Potencia



Tomado de: Elaboración propia

Entre el pin 1 C-Timing, 2 R-Timing y 3 RC- Común va conectado a un capacitor y una resistencia para poder graduar manualmente la frecuencia que se desea tener en el circuito, para este caso se utiliza un capacitor de 100nf acompañado de una resistencia de 22k y un potenciómetro de 10k, hacemos uso de un potenciómetro para poder regular a la frecuencia necesaria que son 60Hz. Llevamos los pines 4 ASTABLE, 5 ASTABLE, 6 -TRIGGER, 14 VDD conectados entre sí al paralelo de los condensadores y resistencias en donde se recibirá el voltaje suministrado por la batería de 12V 5Ah. Los pines 7 VSS, 8 +TRIGGER, 9 EXTERNAL RESET, 12 RETRIGGER se llevan a tierra. Pin 10 Q que es la salida inversa al terminar 11 se lleva al controlador compuesto por los 3 transistores, pin 11 Q salida inversa al terminal 10 de igual manera se lleva al otro controlador de transistores. Estas señales son débiles para que el transformador las pueda tomar, es por eso por lo que se debe usar un controlador formado por 3 transistores en cadena, 2N222 transistor bipolar NPN, BD239 transistor NPN, 2N3772 transistor de potencia. Un diodo en paralelo a cada arreglo de transistores es el encargado de la corriente inversa producida al retirar la corriente del bobinado quemando los transistores, un diodo de 6A acompañado de un fusible son los encargados de proteger el circuito en caso de que se polarice de otra forma. Con ayuda del diodo Zener de 9V y los capacitores de 10nF y 47uF se realiza el proceso de filtrado que aseguran 9v para el oscilador. El transformador que se utilizará es uno de 9V 0 9V a 110V con tap central de 800mA, que utilizaremos el devanado de los 9v para alimentarlo y tener la salida de 110V. Para los transistores de potencia se recomienda un disipador de calor por separado ya que en ocasiones se alcanza a aumentar la temperatura (Pablin, 2020).

3.3 Características técnicas del inversor

Tabla 4 Características del inversor

Descripción	Rango
Tensión de entrada	12V – 120V Según la configuración de las baterías
Tensión de salida	120V – 220V
Corriente Max entrada	32A
Corriente Max salida	Con una tensión DC de entrada 120V se obtiene 6.45A
Frecuencia de salida	50Hz – 60Hz variable con el potenciómetro


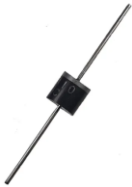


Tipo de onda salida	Onda cuadrada
Tipo de inversor	Monofásico
Potencia máxima de salida	996 W con una tensión de entrada de 120V
Protección de corto circuito	Diodo 6A









Tomado de: Elaboración propia

Estos datos son con referencia de una entrada al inversor de 120V (Diez baterías de 12V 5Ah en serie), para este caso se obtendría una potencia máxima de salida de 996W que equivaldrían a 107 bombillos de 9W que se podría utilizar con el sistema, para nuestro caso solo se utilizó 1 bombillo de 3W con una batería de 12V 5Ah.

3.4 Lista de componentes

Tabla 5 Lista de Componentes

Componente	Foto
Batería 12V 5Ah	
Diodo 6A	
Condensadores cerámicos	
Diodo 1N4007	

Resistencias a ½ W	
Capacitores electrolíticos	
Resistencias convencionales	
Dido Zener 9V	
CD4047	
Potenciómetro 50K	
Transistor 2N222	
Transistor BD239	

Transistor 2N3772	
Transformador Tap central	

Tomado de: Elaboración propia

3.5 Cálculo de las baterías:

Energía total por almacenar [Wh] = 39Wh

Voltaje del inversor [V] = 120V

$$\text{Capacidad de la batería Ah} = \frac{\text{Energía total a almacenar [Wh]} \cdot \frac{104Wh}{120V}}{\text{Voltaje del Inversor [V]}} = \quad (4)$$

$$0.86Ah$$

Tomado de: Dimensionamiento de sistemas de generación Fotovoltaicos
localizados en la ciudad de Medellín

Debemos calcular la capacidad en Ah que tendrá nuestra batería de 12V, se tiene la energía total a almacenar que es de 39Wh lo que corresponde a multiplicar la potencia que requiere el bombillo 3W por las 13 horas de uso, más el consumo del sistema que es de 5Wh multiplicado por las 13 horas es de 65Wh, sumamos y nos da 104Wh y lo dividimos por el voltaje emitido del inversor 120V nos da una batería de capacidad mínima de 0.86Ah de preferencia de tipo plomo acido.

3.6 Selección y características del panel

Se debe garantizar la potencia óptima que requiera nuestro circuito y el banco de baterías, ya que la implementación de un panel solar se puede llevar a cabo con configuraciones diferentes, de esta manera se debe asegurar que el voltaje y corriente requeridos se encuentren con la configuración a realizar, existen tres formas: paralelo, serie y combinada serie-paralelo.

Cálculo de los módulos fotovoltaicos:

$$\text{Potencia ideal [W]} = \text{Area del panel [m}^2\text{]} * 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 229.5 \text{ m}^2 * 100 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 22.9 \text{ W} \quad (5)$$

Tomado de: Dimensionamiento de sistemas de generación Fotovoltaicos localizados en la ciudad de Medellín

En la ecuación (5) podemos determinar la potencia ideal que tiene nuestro panel fotovoltaico se logra multiplicando el área del panel que es de 510mm * 410mm pasándolo a metros 229.5 m², nos da una potencia de 22.9W ideal.

Características técnicas del panel fotovoltaico:

Tabla 6: Características panel solar

Tipo de modulo	Poli – Cristalino
Potencia máxima	30W
Tolerancia salida de potencia	±3%
Voltaje de circuito abierto	21.3 VDC
Corriente de cortocircuito	1.80A
Voltaje de potencia máxima	18.0 VDC

Corriente en potencia máxima	1.67A
Eficiencia	13.1%
Max serie de fusible	10A
Caja de conexiones (grados de protección)	SI
Máxima tensión del sistema	600 VDC
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C a 85°C
Peso	2.8kg
Celda (cantidad / material / número de barras colectoras)	36 / silicio multicristalino / 4 o 5
Dimensiones (Altura * Ancho * Profundidad)	510 mm / 450 mm/ 25 mm

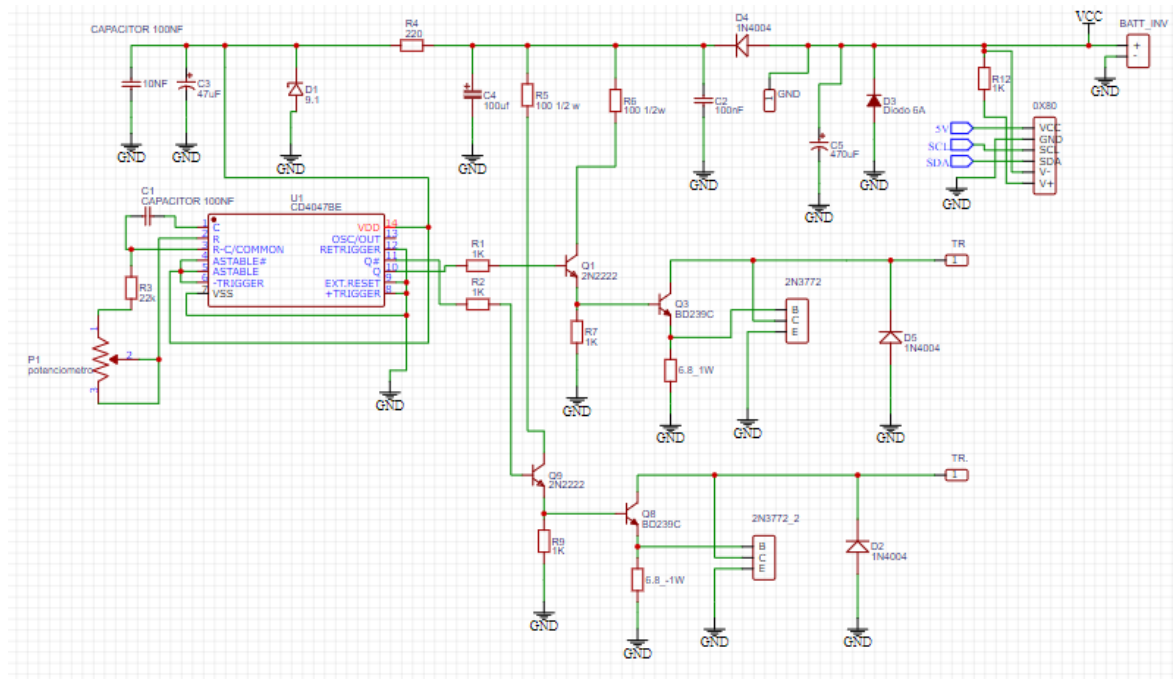
Tomado de: Elaboración propia

3.7 Diseño del circuito

Se utiliza la herramienta de desarrollo de circuitos EasyEDA, con la cual podemos simular, compartir, desarrollar circuitos electrónicos, con la facilidad de visualizar la medida real de los componentes y la ubicación en la placa PCB, además de eso en este mismo programa tendremos la oportunidad de cotizar el valor de la placa y solicitar su fabricación. Se realizó el diagrama esquemático del sistema junto con sus pruebas de funcionamiento y luego al diseño de la placa PCB.

Diagrama esquemático del Inversor DC-AC

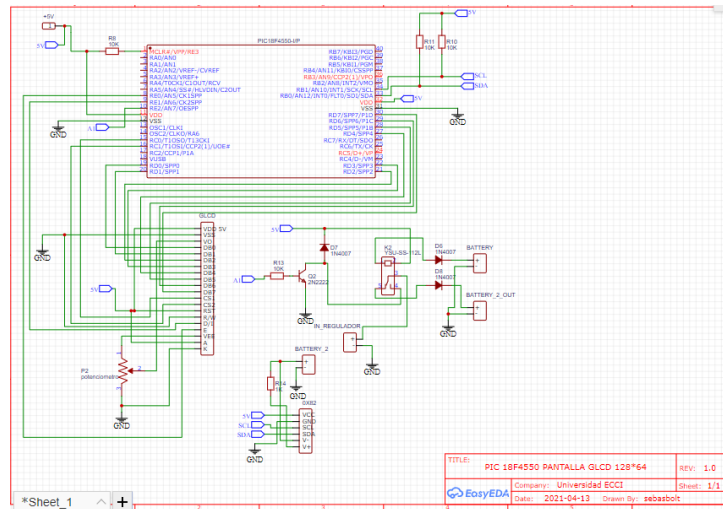
Ilustración 22: Diagrama esquemático Inversor



Tomado de: Elaboración propia

Diagrama esquemático de circuito PIC18FF4550, pantalla GLCD 128*34 y controlador de carga.

Ilustración 23: Diagrama PIC, INA219, Cto Control

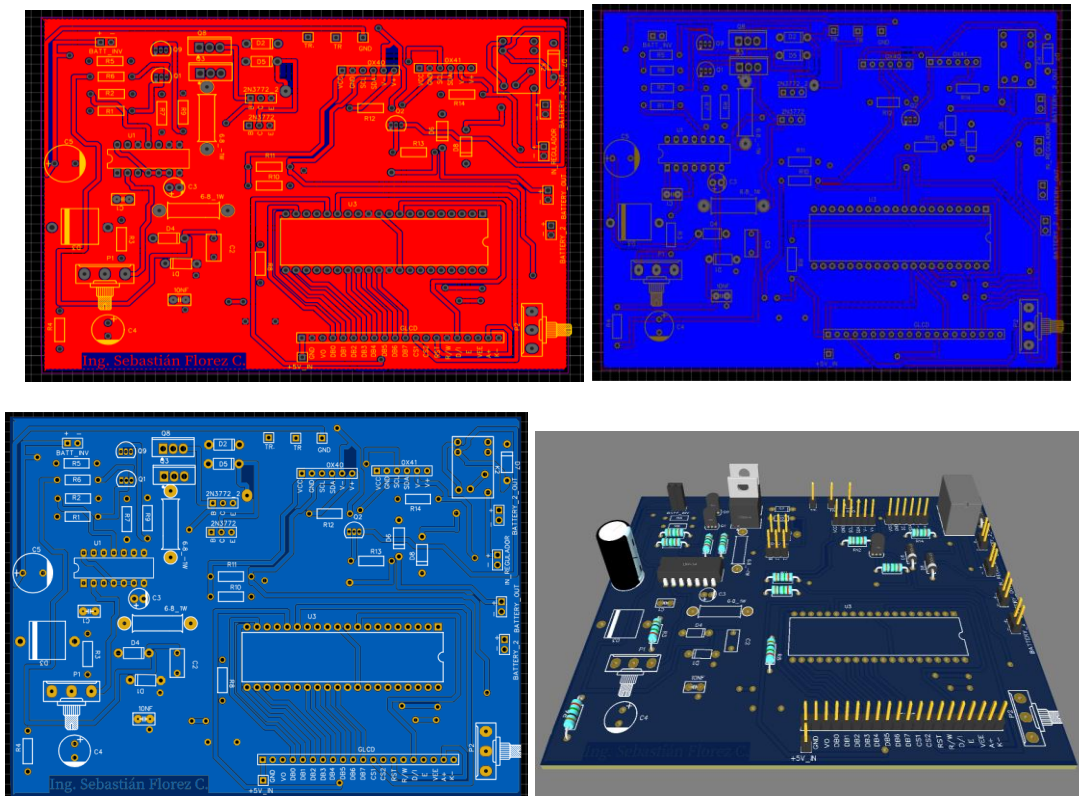


Tomado de: Elaboración propia

3.8 Diseño de la tarjeta PCB:

Luego de realizar el esquemático se desarrolla la tarjeta PCB la cual tiene dos capas hechas en material cobre, con una anchura de 1mm en cada pista, se establece la capa exterior con conexión a tierra.

Ilustración 24: PCB Capa Inferior



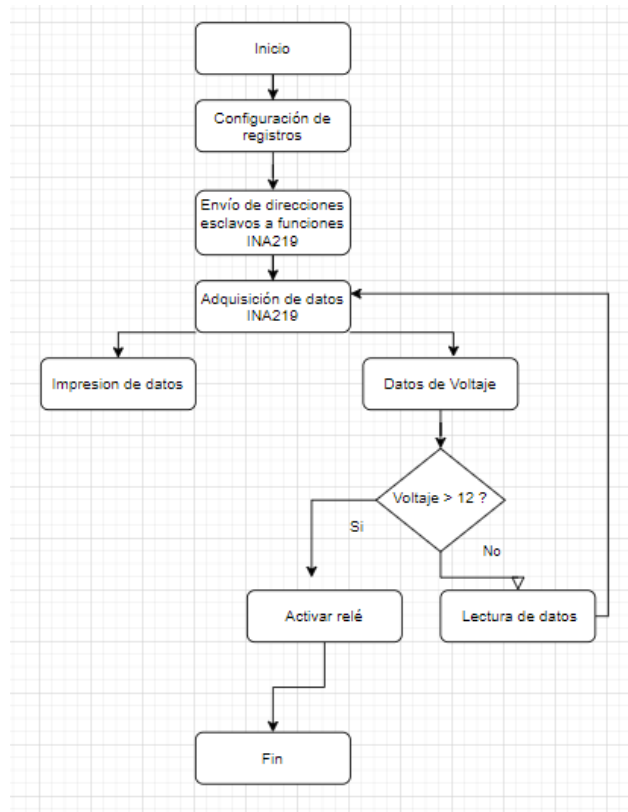
Tomado de: Elaboración propia

4. Programación PIC18F4550

El microcontrolador PIC18F4550, será el encargado de tomar los valores de voltaje que los sensores INA219 leen, de igual forma estos datos los plasmará en una pantalla GLCD 128*64 para que el usuario pueda saber los niveles de voltaje de las dos baterías conectadas, de igual forma con las lecturas de los INA219 el pic tendrá la función de controlar el voltaje suministrado a estas baterías. Se hará uso del programa MPLAB X IDE v5.30 con lenguaje de programación C.

A continuación, se explicará la programación necesaria con microcontrolador PIC18F4550, primeramente, realizamos el llamado de las librerías <xc.h> que nos permite que el código a realizar tenga lenguaje en C, <studio.h> estándar entrada /salida y <string.h> contiene constantes, funciones y memorias. Seguido a esto la frecuencia del oscilador estará en alta, desactivamos el watch dog time (o perro guardián) y el LVP ya que no trabajaremos con bajos niveles de voltaje, establecemos la frecuencia del oscilador interno a 8M.

Ilustración 27: Diagrama de flujo

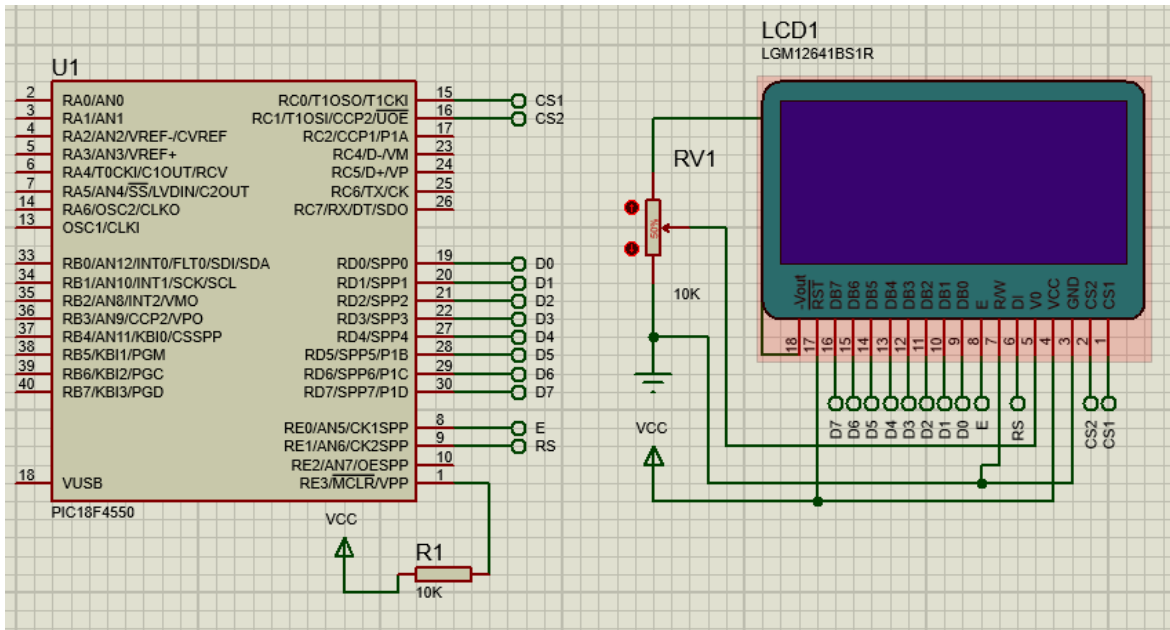


Tomado de: Elaboración propia

4.1 Integración con Pantalla GLCD

La pantalla gráfica GLDC cuenta pixeles los cuales se deben programar con ayuda de direcciones para cada espacio de píxel y páginas, se hará uso del puerto D del PIC18f4550 para el envío de los datos, los pines RC0 Y RC1 para la señal de los controladores, el pin E0 para E enable, E1 para RS selección de registro datos o configuración, un potenciómetro de 10k para controlar la intensidad lumínica de la pantalla gráfica.

Ilustración 28: Conexión pantalla GLCD

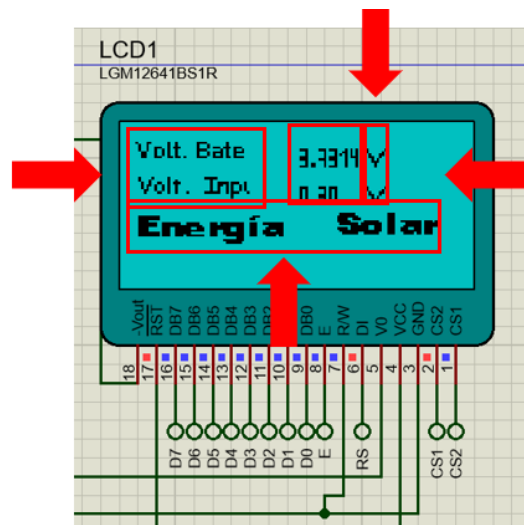


Tomado de: Elaboración propia

4.2 Diseño de texto

Se debe realizar el cada texto por separado, primeramente “Volt Bate”, “Volt. Input”, los números que contienen la lectura de los sensores INA219, la letra V para cada número, y el texto completo de “Energía solar”.

Ilustración 29: Diseño de texto



Tomado de: Elaboración propia

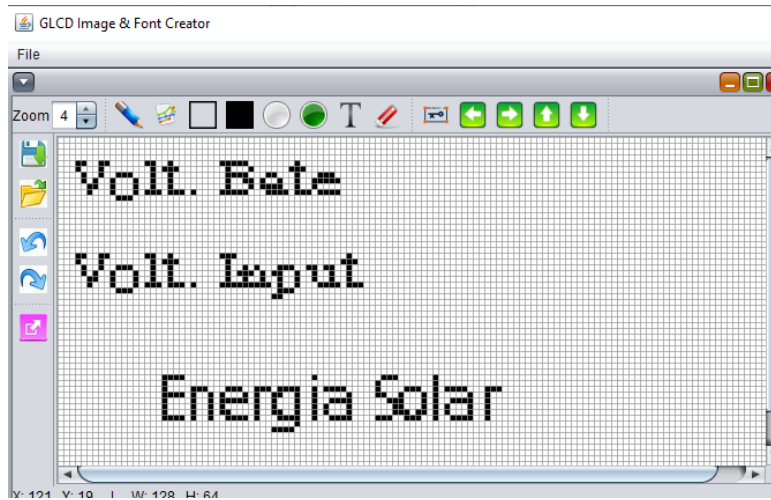
4.3 Texto en pantalla

“Volt Bate”, “Volt Input.” Y “Energía solar”

En la pantalla se tendrá un texto “Volt Bat.” acompañado de un número en la parte derecha que indicará el voltaje en la batería, otro texto “Volt Input” de igual forma con indicador numérico para visualizar el voltaje de la segunda batería y por último un texto “Energía Solar” que se encuentra en la parte inferior de la pantalla.

Para la creación de los tres textos es necesaria la aplicación GLCD Image & Font Creator la cual tiene la interfaz de pixeles de la pantalla, solo basta con establecer la posición donde estará el texto, y se convierte a un archivo hexadecimal, se crea vector que contenga la información, y con ayuda de un ciclo for hacemos que recorra la sección de la pantalla y grafique el texto.

Ilustración 30: Diseño de texto

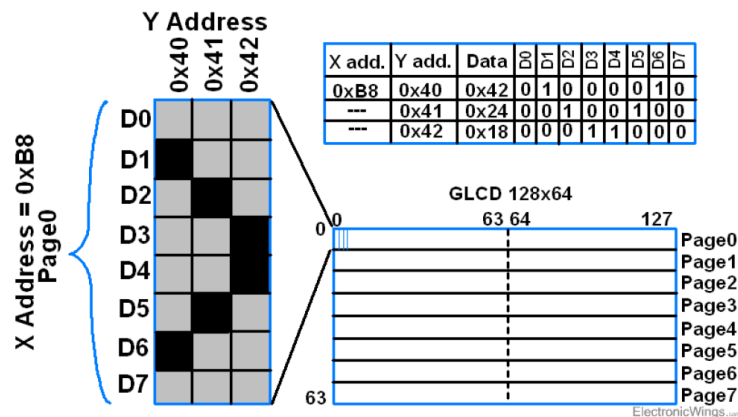


Tomado de: Elaboración propia

4.4 Números en pantalla:

Los números se realizaron por medio de puntos en cada dirección de la pantalla, ya que se cuenta con 7 páginas las cuales tienen 8 bits del D0 a D7, se debe realizar número por número y enviar los parámetros con la función WriteGLCD().

Ilustración 31: Píxeles GLCD



Tomado de: www.electronicwings.com

Ilustración 32: Número 1

	0x04	0x02	0xFF	0x00
D7	0	0	█	0
D6	0	█	█	0
D5	0	0	█	0
D4	█	0	█	0
D3	0	0	█	0
D2	0	0	█	0
D1	0	0	█	0
D0	0	0	█	0

Tomado de: Elaboración propia

Como ejemplo se realiza el número 1 tiene las siguientes direcciones:

Para la parte numérica se debe tener un vector que contenga el número a imprimir, y con un ciclo for hace que recorra cada función de los números en texto anteriormente descrita y dependiendo del número se envían la dirección para que la pantalla lo grafique:

4.5 Texto de letra V

De igual forma que se hicieron los números, realizamos la letra V, debemos por medio de las direcciones hacer la forma de la letra, seguido a esto enviamos cada dirección por la función WriteGLCD(), hay que tener en cuenta el valor que se debe pasar a la función Coordinate() un valor para la fila y el otro para la columna donde se va ubicar la letra.

Ilustración 33: Letra V

	0x03	0x0C	0x38	0xE0	0x30	0x0C	0x06	0x01
D7	█	0	0	0	0	0	0	█
D6	█	0	0	0	0	0	█	0
D5	0	█	0	0	0	█	█	0
D4	0	█	█	0	0	█	0	0
D3	0	0	█	0	█	0	0	0
D2	0	0	█	█	█	0	0	0
D1	0	0	0	█	0	0	0	0
D0	0	0	0	█	0	0	0	0

Tomado de: Elaboración propia

Diseño final de la interfaz gráfica

Ilustración 34: Interfaz gráfica



Tomado de: Elaboración propia

4.6 Adquisición de datos con sensor INA219

El sensor INA219 trabaja por medio de comunicación I2C, es necesario un bus de datos el cual tenga conexión a los puertos SDA y SCL respectivamente al microcontrolador, acompañado de dos resistencias de 10K pull up. Para la programación se hace uso y adecuación de la librería Adafruit de Arduino. Se hará uso de dos sensores INA219 los dos con la función de medir el voltaje existente en las dos baterías.

4.7 Escritura I2C:

Debemos hacer uso del registro SSPCON2 y establecemos el SEN = 1 que significa iniciamos la condición de los pines SDA y SCL, nos aseguramos de que en registro SSPCON2 haya un 0, al igual que el registro SSPSTAT al hacer una and con 0x04 nos aseguramos de que el registro tenga el SSPBUF vacío. En la función de escritura enviamos la dirección del esclavo, el registro de configuración o calibración, enviamos el contenido del puntero en Data con un corrimiento a la derecha de 8 bits y realizamos una and con 0xFF, seguido a esto enviamos de nuevo el puntero Data haciendo and con 0xFF, detenemos la comunicación con el registro PEN = 1.

4.8 Lectura I2C:

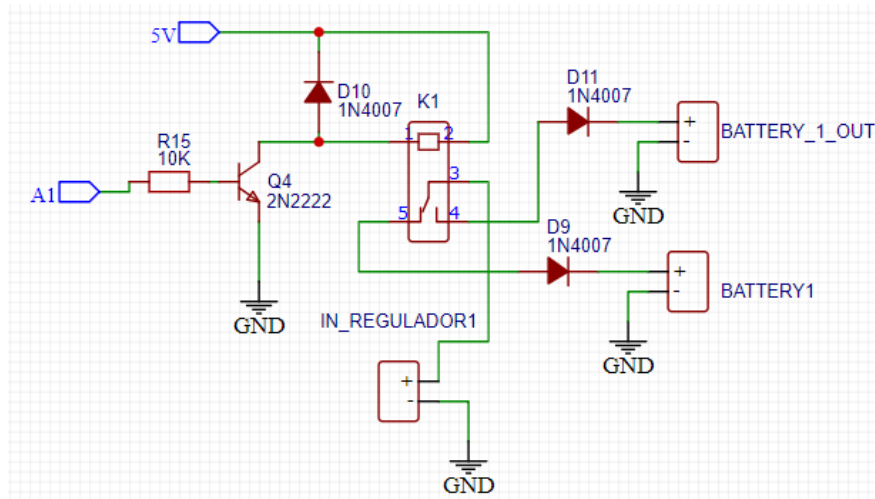
Iniciamos la comunicación I2C SEN = 1 que significa iniciamos la condición de los pines SDA y SCL, enviamos el registro ya sea de configuración o calibración, nos aseguramos de que en registro SSPCON2 haya un 0, al igual que el registro SSPSTAT al hacer una and con 0x04 nos aseguramos de que el registro tenga el SSPBUF vacío, repetimos la condición de los pines SDA y SCL, enviamos la dirección del esclavo y hacemos una and con 0x01 para establecer el modo lectura. Para la confirmación de los datos hacemos uso de un ciclo for el cual recorrerá un byte y si el iterador $i + 1$ es igual al byte entonces el puntero Data le enviara un 1 a la función de recibir, de lo contrario enviamos un 0, aumentamos Data y detenemos la comunicación. La función de recibir cuando llega un 1 establecemos el acuse recibido por medio de ACKDT, y ACKEN.

4.9 Configuración de los INA219

Se pueden tener 16 INA219 en un bus I2C, el primer INA219 lo vamos a configurar de tal manera que su dirección sea la primera configuración existente que es 0x80, debemos llevar los pines A0 y A1 respectivamente a tierra, para la configuración del segundo sensor 0x82 llevamos A1 a tierra y A0 a la conexión VCC.

de la bobina está conectada a los 5V, de esta manera cuando se active el transistor se energizará la bobina con positivo y negativo.

Ilustración 36: Circuito Control Carga



Tomado de: Elaboración propia

4.11 Programación

Según los datos obtenidos por las lecturas de los INA219 se crea una función llamada decisión en la cual se establecen condicional If, si la lectura del primer batería supera los 11.5 voltios entonces activará la salida E2 lo que hará que el relé intercambie sus estados de NO y NC y permita el paso de corriente a la segunda batería. Esta función siempre se estará ejecutando en el main.

5. Impacto del proyecto

5.1 Tiempo de autonomía

El sistema teniendo la conexión de carga del panel solar constante a la batería de 12V 5Ah tiene una autonomía de 10 horas, luego el sistema durará 3 horas con el porcentaje restante de la batería, y una profundidad de descarga de aproximadamente 10%, en total la habitación tendrá energía eléctrica por 13 horas.

Tabla 7: Consumo diario

Equipo	Potencia (kW)	Cantidad	Total (kWh)	Horas de uso al día	Consumo (kWh)
Bombillo LED	0.003	1	0.003	13	0.039

Tomado de: Elaboración propia

En la tabla (7) muestra la carga que vamos a utilizar, un bombillo de 3W, la potencia total que requiere, las horas de uso al día que son 13 horas en total, y para tener el consumo multiplicamos las horas por la potencia total, en este caso es de 0.039kW/h.

Tabla 8: Costo energía mes

Horas	Horas al mes	Consumo día (kWh)	Consumo mes (kWh)	Costo kW/h	Costo diario	Costo Mes
13	390	0.039	15.21	\$498.60	\$19.4	\$583.36

Tomado de: Elaboración propia

Nuestra carga va a ser utilizada por 13 horas diarias, que multiplicándolo por 30 días nos da 390 horas al mes que son las horas que nos estaríamos ahorrando, tenemos un consumo de 0.039 kW/día, y un costo de \$498.60 kW/h según información se del recibo de energía eléctrica. Ahora para determinar el costo diario multiplicamos el consumo diario por el costo en kW/h que nos da

\$19.4, para hallar el costo al mes se multiplica el costo diario por 30 días nos daría \$583.36 que sería el costo por mes ahorrado utilizando nuestro bombillo LED.

5.2 Tiempo de carga

La duración aproximada en la que se demora el panel solar en cargar 1 batería con descarga menos del 50% es 3 horas, entonces el sistema fotovoltaico está diseñado para brindar energía eléctrica en forma de luz por 13 horas, de esta manera se utiliza el sistema con 1 batería cargada al 100% la cual tendrá una autonomía de 6.5 horas, mientras que se carga la otra batería de respaldo, para cuando la batería número 1 se quede sin energía se disponga de la otra totalmente cargada. En este lapso la intensidad de la radiación disminuye para lo cual la batería número 1 se cargará de forma más lenta, completando así las 13 horas y el día siguiente se tiene la batería 1 cargada lista para ser utilizada.

5.3 Costos del proyecto

Se determinan los costos por cada elemento a utilizar en el sistema discriminado por cantidad, se establece un 5% adicional por imprevistos, 10% de más por costos de materiales o mano de obra para un total de \$409.630. Con la carga que se está utilizando, un bombillo LED de 3W no se tendrá un ahorro notable ya que la carga consume muy poco. De igual forma se tiene una autonomía de 13 horas de energía eléctrica en este caso iluminación, y un total de 390 horas del servicio de luz eléctrica si se mide el consumo mensual.

Tabla 9: Costos proyecto

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Resistencias	Unidad	16	\$100	\$1.600
2	Condensadores	Unidad	10	\$200	\$2.000
3	Transistores 2N222	Unidad	3	\$300	\$900
4	Transistores BD239	Unidad	2	\$500	\$1.000
5	CD 4047	Unidad	1	\$2.000	\$2.000
6	Transistores	Unidad	2	\$3.000	\$6.000

	2N3772				
7	Diodos	Unidad	7	\$200	\$1.400
8	Fusible	Unidad	1	\$800	\$800
9	Potenci6metro	Unidad	2	\$500	\$1.000
10	Transformador	Unidad	1	\$18.000	\$18.000
11	Cable calibre 18	Metros	1	\$5.000	\$5.000
12	Cable Instalaci6n Panel	Metros	3	\$5.000	\$15.000
13	Panel Solar 30W	Unidad	1	\$90.000	\$90.000
14	PIC 18F4550	Unidad	1	\$24.000	\$24.000
15	INA219 Sensor	Unidad	2	\$12.000	\$24.000
16	Pantalla GLCD 128x64	Unidad	1	\$30.000	\$30.000
17	Rel6 5v	Unidad	1	\$500	\$500
18	Batería 12V 5Ah	Unidad	1	\$47.000	\$47.000
19	Regulador de voltaje	Unidad	1	\$18.000	\$18.000
20	Placa PCB	Unidad	1	\$18.000	\$18.000
21	T6cnico Electricista	Hora	8	\$6.250	\$6.250
	Subtotal				\$356.200
	Imprevistos				\$17.810
	Costo mayor de los materiales y/o mano de obra				\$36.520
	TOTAL				\$409.630

Tomado de: Elaboraci6n propia

5.4 Huella de carbono

Es un indicador el cual va ligado a la medida de emisi6n de gases de efecto invernadero, medidas de CO₂, las cuales son generadas por las actividades diarias que los seres humanos realizamos, como por ejemplo se aplica el indicador a una f6brica de alimentos, se tiene en cuenta todas las actividades que implican la creaci6n del producto final (AMBIENTE). Se tienen diferentes enfoques y para cada uno se utiliza una metodología diferente en este caso ser6 de enfoque personal, el

cual se puede medir mediante un indicador donde se evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero (directas o indirectas), de acuerdo con las actividades que se generen diariamente (ambiente). Utilizaremos la calculadora online que la oficina de cambio climático ha puesto a nuestra disposición.

Se realiza el cálculo para 1 persona y se establece los 40kWh/meses equivalentes a las 390 horas al mes del bombillo de 3W en función.

Ilustración 37: Cálculo consumo

The image shows a web interface for calculating household energy consumption. The title is "VIVIENDA". The form contains the following fields:

- ¿Cuántas personas viven en tu hogar? (How many people live in your home?): 1
- ¿Cuál es el promedio mensual de energía en tu hogar? (kWh/mes) (What is the average monthly energy consumption in your home? (kWh/mes)): 40
- Indica el consumo de los siguientes combustibles en tu hogar (coloca 0 en aquellos que no utilices) (Indicate the consumption of the following fuels in your home (put 0 in those you do not use))
- Gas Natural (m3/mes) (Natural Gas (m3/mes)): 0
- GLP (kg/mes) (LPG (kg/mes)): 0
- Carbón (kg/mes) (Coal (kg/mes)): 0
- Leña (kg/mes) (Firewood (kg/mes)): 0

Tomado de: www.caem.org.co

Se tiene como resultado 0.11 toneladas de Co₂-eq (Dióxido de carbono equivalente), aproximadamente 110kg de Co₂-eq, que no estaríamos emitiendo o contaminando al medio ambiente si utilizamos nuestro sistema por 1 año.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

Para concluir se logró diseñar una placa PCB donde esta integra la parte de potencia, que hace referencia al inversor DC-AC y se logra transformar los 12V DC provenientes de la batería de plomo a 120V AC para poder alimentar la carga de 3W con corriente alterna. De igual manera se integró la parte de adquisición de voltaje con ayuda de dos sensores INA219, y se estableció la comunicación I2C con dichos sensores. Se integró una pantalla GLCD para la visualización de los datos obtenidos por los sensores. En la parte de control por medio de un relé y un arreglo de transistor - resistencia tiene control de carga para las dos baterías de plomo. Todo el sistema es controlado con el PIC18F4550, la comunicación I2C, la interfaz gráfica y el control de carga.

El sistema tuvo una autonomía de 13 horas en total distribuidas de la siguiente manera, 10 horas con la conexión directa del panel solar a la batería recibiendo carga constante, y 3 horas en donde ya no está la radiación solar. Por otra parte, si el sistema no se utiliza durante el día se pueden cargar las dos baterías 12V 5Ah en un promedio de 3 horas cada una con una carga de 100%. Haciendo este procedimiento se obtuvo 13 horas de autonomía del sistema, 6.5 horas con cada batería. El aprovechamiento de esta energía es de gran impacto debido a que en un día solar que son de aproximadamente 10 horas de radiación solar se logró cargar 3 baterías 12V 5Ah.

Este proyecto no genera ganancia monetaria debido a la carga mínima que se está utilizando, y los costos asociados no son elevados, utilizando un bombillo LED de 3W y el bajo consumo que este genera. No obstante, el proyecto produce un impacto positivo en el medio ambiente y en la generación huella de carbono, de esta manera utilizando el sistema fotovoltaico por 1 año ayudaremos al planeta tierra en no crear 110kg de Co₂-eq, lo que importante en estos tiempos donde se tiene contaminación por todas las actividades que efectuamos diariamente.

Desde el momento de instalación del sistema fotovoltaico completo se debe tener en cuenta la vida útil de la batería de plomo ácido que permiten hasta 1.500 ciclos de vida (Linde, s.f.), por lo cual se tendrá que realizar un cambio de baterías dentro de 4.1 años. Teniendo una capacidad de descarga del 50%, hay que tener en cuenta que una profundidad de descarga del 100% afecta el funcionamiento de la batería. Con respecto al panel solar y a la exposición que tiene puede durar 25 años y si se hace una respectiva limpieza anual puede durar hasta 30 años, la potencia que este genera puede bajar durante el año 20 por el desgaste de las células (AutoSolar, 2021)

6.2 Recomendaciones

Para el ensamble de la tarjeta PCB se deben probar cada componente por separado antes de ser soldado, es necesario aislar los elementos de potencia, en este caso el transformador se ubica fuera del sistema y se llevan las conexiones de 9v 0v 9v a bornes de la placa, los transistores de potencia 2N3772 no se pueden unir debido a que estaríamos interconectando los dos colectores, se recomienda un disipador de calor por separado para estos dos transistores debido a que en la utilización del sistema su temperatura puede aumentar. Los sensores INA219 se establecen fuera del sistema llevando las conexiones de igual forma con bornes hacia la placa PCB, esto para evitar las interferencias en las mediciones.

7. Referencias

ALIBABA. (s.f.). *alibaba.com*.

ambiente, M. d. (s.f.). Obtenido de <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>

AMBIENTE, M. (s.f.). *El Ambiente es de todos* . Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/index.php/mitigaci/huella-de-carbono>

Ambrosio, M. D. (30 de 10 de 2018). *20 SCI DEV NET*. Obtenido de <https://www.scidev.net/america-latina/news/el-dano-escondido-de-las-hidroelectricas/>

Arango, M. C. (05 de 03 de 2019). *Grupo Bancolombia* . Obtenido de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/especial-energia-2019/panomara-energetico-colombia>

AutoSolar. (02 de 09 de 2021). Obtenido de <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/vida-util-de-los-paneles-solares>

Avila, S. S. (2017). *Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica caso de aplicación en la ciudad de Bogotá*. Bogotá.

Chala, E. F. (18 de 11 de 2019). *VISTRONICA* . Obtenido de <https://www.vistronica.com/blog/post/conozca-cuales-son-las-diferencias-entre-los-transistores-bjt-y-fet.html>

ELECTRONICS, U. (s.f.). *UNIT ELECTRONICS*. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/pic18f4550-microcontrolador/>

ETECÉ, E. (05 de 08 de 2021). *CONCEPTO*. Obtenido de <https://concepto.de/transistor/>

- Feria, E. (14 de 05 de 2021). *LR La República* . Obtenido de <https://www.larepublica.co/economia/demanda-de-energia-electrica-crecio-15-en-abril-y-presento-cifras-de-recuperacion-3170449>
- Hart, D. W. (2001). *Electrónica de Potencia*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Hernández, L. d. (s.f.). *PROGRAMAR FACIL*. Obtenido de <https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/sensor-ina219-arduino-esp8266-esp32/>
- HETPRO. (s.f.). *HETPRO*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/i2c/>
- INSTRUMETS, T. (2008). *DATASHEET INA219*.
- Linde. (s.f.). *Linde material Handling*. Obtenido de <https://www.linde-mh.es/es/Acerca-de-Linde/Blog/diferencias-bateria-litio-bateria-plomo/>
- Mesa, L. V. (19 de 02 de 2020). *LR La República* . Obtenido de <https://www.larepublica.co/especiales/colombia-potencia-energetica/el-consumo-de-energia-en-colombia-crecio-402-en-el-trascurso-del-ano-pasado-2966316>
- Mieles, R. M. (2017). *Uso de paneles solares como energía renovable para el abastecimiento de energía eléctrica*. . Sucre.
- MONTENEGRO, J. A. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO, PARA LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO MÁXIMO DE POTENCIA DE CARGA, MEDIANTE EL USO DE MICROCONTROLADORES E INTERFAZ CON ORDENADOR*. GUAYAQUIL.
- Orendain, M. S. (10 de 11 de 2019). *Circuitos Listos*. Obtenido de <https://circuitoslistos.com/cual-es-la-diferencia-entre-un-transistor-bjt-y-un-mosfet/>
- Pablin. (12 de 2020). *Pablin circuitos para laboratorio*. Obtenido de <https://www.pablin.com.ar/>
- Prueba. (2018). *Mecatronica*. Bogota: Funza.
- R, J. L. (s.f.). *Como Funciona*. Obtenido de <https://como-funciona.co/un-transformador/>
- Ramshaw, R. (1993). *Power Electronics Semiconductor Switches*. Ontario, Canadá: Chapman & Hall.

- Sabato, L. E. (9 de Junio de 2020). *Hablemos de Minería*. Obtenido de <https://hablemosdemineria.com/2020/07/colombia-3-la-poblacion-no-cuenta-energia-electrica/>
- Sergio Eberlein, O. V. (2012). *Multivibradores CD4047 y CD4541*. Obtenido de https://www.fceia.unr.edu.ar/eca2/Files/Apuntes/MULTIVIBRADORES,%20el%20CD4541%20y%20el%20CD4047%20%20_V-2012-1_.pdf
- SOLAR, A. (19 de 04 de 2015). *AUTO SOLAR*. Obtenido de <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/que-es-un-panel-solar>
- Solar, D. (10 de 03 de 2016). *Damia Solar* . Obtenido de https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/conexion-paneles-solares-en-serie-en-paralelo_1
- VIVAS, J. (2019). *EL TIEMPO*.
- Vivas, J. (s.f.). *Periódico el Tiempo* . Obtenido de <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>

