



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

DISEÑO DE CARGADOR DE BATERIAS FOTOVOLTAICO Y EOLICO PARA APLICACIONES DE IOT

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRONICA Y AUTOMATICA
INDUSTRIAL**

**Autor: HICHAM ABDESSAMIE
Director: JUAN SUARDIAZ MURO**



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, 2021



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero y antes de todo a mis padres que me han apoyado en toda la carrera y en todos los aspectos tanto económicos y mentales preparando ambientes de estudiar y sacar buenos resultados. Quiero también agradecer a mi pequeña familia mis hermanos y hermanas por animarme para seguir adelante y a veces ayudarme si fuera necesario.

Quiero agradecer también a todos mis profesores por dedicarnos su tiempo para enseñarnos y formarnos para ser buenos ingenieros en el futuro también por su ayuda fuera de la hora de clases y también por sus buenas tutorías que nos han dado. Y agradezco mucho a mi profesor y tutor Juan Suardiaz Muro por guiarme y ayudarme a desarrollar este trabajo fin de grado.

Por último, quiero agradecer a todos mis amigos y compañeros que me han acompañado durante todos los años de la carrera por su solidaridad y por los buenos momentos que hemos pasado en todos los edificios de la universidad como en la cantina, la biblioteca y en clases.



ÍNDICE GENERAL

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVO DEL PROYECTO	1
1.2	ALCANCE DEL PROYECTO	3
1.3	NORMAS Y REFERENCIAS.....	3
1.3.1	Disposiciones legales y normas aplicadas.	3
1.3.2	Programas de cálculo.	3
1.4	FASES DEL PROYECTO	4
1.5	ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	4
2	ESTADO DE LA TECNICA	7
2.1	INTRODUCCIÓN	7
2.2	Selección de batería.....	7
2.2.1	Introducción	7
2.2.2	historia de la batería	8
2.2.3	tipos de baterías	11
2.2.4	parámetros de una batería.....	16
2.3	Energía solar fotovoltaica.....	21
2.3.1	Introducción	21
2.3.2	funcionamiento	22
2.3.3	ventajas y desventajas	23
2.4	Energía eólica	24
2.4.1	Introducción	24
2.4.2	funcionamiento	25



2.4.3	ventajas y desventajas	25
3	ARQUITECTURA DEL SISTEMA	27
3.1	Desarrollo de hardware	27
3.1.1	Introducción	27
3.1.2	Circuito reductor de tensión	29
3.1.3	Sistema de control y visualización	39
3.1.4	Rectificador.....	45
3.1.5	Alimentación	53
3.1.6	Sensores de tensión e intensidad.....	55
3.2	desarrollo de software	56
3.2.1	Introducción	56
3.2.2	Configuración de la frecuencia de salida	58
3.2.3	Programa de protección de la batería.....	60
3.2.4	Programa de visualización de LCD.....	62
3.2.5	Programa de control del regulador de tensión de placa solar.....	64
3.2.6	Programa de control del regulador de tensión del aerogenerador	67
4	ANEXOS.....	71
4.1	CALCULOS DEL SISTEMA	71
4.1.1	Cálculo de los componentes del regulador de voltaje.....	71
4.1.2	Cálculo de disipador de LM7805	72
4.1.3	Cálculo de disipador del MOSFET.....	73
4.2	DATASHEET de los componentes	74
4.2.1	Datasheet del MOSFET IRF540.....	74
4.2.2	Datasheet de LM7805	76
4.2.3	Datasheet de atmega328P	78
4.2.4	Fotos de pruebas.....	79
4.2.5	DISEÑO DE LA PLACA.....	82



4.2.6	CODIGO FUENTE DEL PROGRAMA	85
5	CONCLUSIONES	89
5.1	CONCLUSIONES.....	89
5.2	planificación	91
5.3	presepuestos	94
5.3.1	PRESEPUUESTO DE TAREAS.....	94
5.3.2	PRESEPUUESTO DEL MATERIAL.....	95
	BIBLIOGRAFÍA	97
	DE INTERNET	97
	DE TEXTO.....	97



1 INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo principal de este trabajo es el diseño hardware y software de una placa para alimentar una central meteorológica mediante la energía solar y energía eólica. Estas dos energías cargan una batería cuando hay exceso de energía y la batería alimenta el circuito de medida de distintas magnitudes del tiempo como la temperatura , la velocidad del viento, etc. Con este trabajo se aprovechan las energías renovables y evitar el consumo de la energía que día tras día está dañando nuestro medio ambiente tirando miles de toneladas de dióxido de carbono al aire quemando los productos fósiles que contienen carbono como carbón, petróleo y gas natural, el aumento estos gases contaminantes crea el efecto invernadero que aumenta la temperatura de nuestra tierra. Otra cosa más importante es que también evita usar los cables para conectar este central que puede estar puesta en un sitio muy lejos y esto puede aumentar el coste de la instalación.



Figura 1.1 : ejemplo de una estación meteorológica fuente : www.darrera.com

Aplicando los conocimientos sobre la electrónica de potencia y diseño electrónico para diseñar, fabricar y probar una placa que reduce la tensión desde una tensión alta de la placa solar a una tensión baja de la batería por eso si usa un circuito reductor de tensión que utiliza varios componentes electrónicos. Lo mismo que se hacía con la parte solar se hace con el generador eólico pero la única diferencia que el aerogenerador genera una tensión altera y lo primero que se hace transformarla a tensión continua y después lo mismo que la placa solar reducir la tensión con un circuito reductor la tensión de la batería para almacenarla.

Otros objetivos secundarios son que diseñar un sistema para proteger la batería contra sobrecargas para evitar problemas a la batería como quemadoras o explosiones, medida de la carga de la batería media la media de tensión de la batería en el proceso de la carga y finalmente media de la intensidad que carga la batería para que la batería se cargue correctamente y evitar que se suba la temperatura de la batería y esto puede causar pérdida de su capacidad gradualmente.



1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Para llevar a cabo el proceso de alimentación de una central meteorológica, se hará mediante una placa solar y aerogenerador para alimentar la central en el mismo tiempo y la energía sobrada se almacena en una batería en el caso de reducción de energía generada. El alcance de este proyecto es fabricar una placa que una las fuentes de generación de energía, la batería y la central meteorológica.

Este proyecto abarca todos los procesos de fabricación hardware y software de una placa desde el diseño del circuito en programas de simulación hasta la fabricación y programación de la placa final pasando por diseño de varios circuitos de potencia y hacer pruebas de visualización y control de sistema.

1.3 NORMAS Y REFERENCIAS

1.3.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.

Durante el desarrollo de este proyecto se han tenido en cuenta las siguientes normativas:

- Norma UNE 50-132-94 referente a la numeración de las divisiones y subdivisiones de los documentos escritos.
- Norma UNE 15-170-01 referente a los criterios generales de redacción de un proyecto.

1.3.2 Programas de cálculo.

- Simulink de Matlab para hacer simulación.
- Diptrace para hacer diseño de la placa.
- Ltspice para hacer simulaciones.
- Entorno de Arduino para programación.
- Microsoft Excel y Word.
- Navegador de internet.



1.4 FASES DEL PROYECTO

El proyecto se hace dividido en varias partes así para facilitar el trabajo y evitar complicaciones durante la revisión y el funcionamiento de la placa y también para detectar fallos durante el periodo de diseño de la hardware y software del sistema. Las fases del trabajo consisten en :

- La primera fase consiste en colección de información relacionada sobre el funcionamiento de los circuitos del proyecto
- La segunda fase consiste en diseño hardware del proyecto y también el cálculo de los componentes de los circuitos del proyecto.
- La tercera fase consiste diseño software y la selección del microcontrolador.
- La cuarta fase consiste en hacer prueba de los distintos tipos de circuitos.
- La última fase consiste en la redacción del proyecto y documentarlo para presentarlo.

1.5 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto está estructurado por cinco capítulos, se va a explicar el contenido de cada capítulo de forma resumida

En el primer capítulo que se llama “INTRODUCCIÓN ” donde explica el objetivo del proyecto, las fases y la estructura de este.

El segundo capítulo que se llama “ESTADO DE LA TECNICA ” donde se explica la introducción a los sistemas de almacenamiento de energía y las energías renovables usadas para generar energía.



En el tercer capítulo que se llama “ARQUITECTURA DEL SISTEMA” donde se explica todo el desarrollo hardware y software del sistema detallados desde el diseño y la simulación de los circuitos hasta diseñar la placa final y su programación del microcontrolador.

El cuarto capítulo que se llama “ANEXOS” es donde se hacen todos los cálculos necesarios del proyecto , se ponen las imágenes de las pruebas realizadas durante el desarrollo del proyecto y donde se ponen las datasheet de los componentes más importantes del proyecto.

El quinto capítulo se llama “CONCLUSIONES ” es donde se hacen conclusiones importantes sobre el proyecta, se hace también la planificación de las tareas del sistema y los presupuestos del proyecto





2 ESTADO DE LA TECNICA

2.1 INTRODUCCIÓN

En esta parte se va a estudiar los tres partes que intervienen en el proyecto. Las dos fuentes de energía y el componente de almacenamiento de energía. Se va a hacer una introducción a los sistemas de almacenamiento (batería), historia del invento de ella, tipos que existen en el mercado, sus características importantes y tipos de conexionado.

Sobre la energía solar se explica una introducción a la energía solar, su funcionamiento y sus ventajas y desventajas. Finalmente, la energía eólica también se explica una introducción a esta energía renovable, su funcionamiento y como genera la electricidad y se explican también algunas ventajas y desventajas.

2.2 SELECCIÓN DE BATERÍA

2.2.1 Introducción

La batería, acumulador o pila eléctrica es un dispositivo eléctrico que sirve para almacenar energía mediante reacciones químicas. Está formada por celdas. Cada celda tiene tensión e intensidad nominal. Para sacar una tensión en concreto hay que poner las celdas en serie y paralelo. Hoy en día las baterías son muy importantes para almacenar energía ya que varios dispositivos electrónicos móviles necesitan una fuente de energía móvil para que funcionen en cualquier sitio independientemente de la red eléctrica. El mejor ejemplo es el satélite que se carga con placas solares, pero necesita una batería para almacenar energía y usarla cuando este en el lado oscuro de la tierra.

En España y otros países, el termino batería o acumulador son dispositivos que se pueden recargar, pero la pila es al contrario a los anteriores que no se pueden recargar, cuando se gasta toda la energía se desecha. Lo correcto es



que la pila se menciona a los dispositivos que tienen solo una celda y batería para dispositivos que tienen varias celdas conectadas entre sí.

Las baterías pueden tener distintas formas depende de los aparatos donde se ponen y también la energía almacenada en la batería depende del tamaño, cuando más grande más energía puede almacenar. Por ejemplo, hay baterías tan pequeñas como baterías de auriculares inalámbricos hasta batería grandes como baterías de coches eléctricos de tesla.

Hay algunos tipos de baterías presentan el riesgo de quemarse en caso de sobrecargarse porque usan un separador, que puede ser sólido o líquido (normalmente en batería grandes se usa algún ácido) que no soporta recibir mucha energía de golpe a un tiempo prolongado debajo del sol. Esto es debido a que, con el calor los componentes se expanden y corren el riesgo de que la separación entre las celdas se reduzca hasta llegar a contactar entre ellas, eso puede causar fuegos o explosiones por eso se necesita protectores a las baterías. Muchas veces se usa un pequeño circuito electrónico para controlar la corriente entrante y saliente de las baterías también para protegerlas contra cortocircuitos o sobrecargas. Hay algunos tipos de baterías que

Las baterías sirven para almacenar solamente la corriente continua ya que los electrones salen del polo negativo al polo positivo. Para convertir corriente continua a corriente alterna se necesita un convertidor y para cargar la batería se necesita un cargador.

2.2.2 historia de la batería

La primera batería fue inventada por el químico y físico italiano Alessandro Volta el 10 de marzo de 1800 con la sociedad científica Royal Society, que consistía en discos de plata o cobre y cinc colocados de forma alternas y separados por discos de cartón embebidos en salmuera. Estos discos estaban conectados en serie esto permitía aumentar la potencia de la batería.

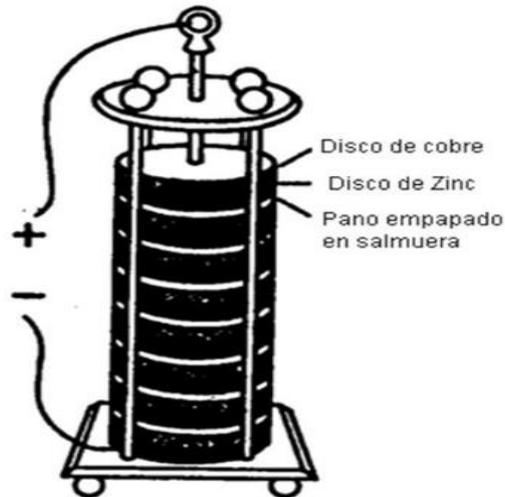


Figura 2.1 :Batería diseñada por Alessandro Volta www.elkronoscopio.blogspot.com

En el principio del siglo XIX y exactamente en 1803 el científico alemán Johan Wilhelm Ritter construyó el primer acumulador en la historia que fue formada por láminas de cobre separadas por láminas de cartón humedecido con agua salada. William Robert Grove el químico británico hizo mejoras sobre las baterías anteriores y creó su propia pila y fue gran avance de la batería ya que mejoró la capacidad de las baterías anteriores. Gaston Plante inventó en 1860 la primera pila recargable batería de ácido y plomo que fue un dispositivo muy usado en su época. Esa última pila tuvo mejor y éxito a finales de siglo XIX con el éxito y el despliegue que tuvo la electricidad.

En 1877, el científico alemán Carl Gassner creó el patente de la primera pila seca o celda seca, la que no tenía un electrolito líquido sino estaba formada por material sólido que era pasta de yeso de París, en el mismo año y paralelamente Federico Guillermo Luis Helessen desarrolló también su propia pila seca, pero el diseño de Hellesen, pero fue una mejora de la de Gassner. El modelo de Gassner fue el primero fabricado industrialmente para el público en general, pero si sustituyó el yeso de París por cartón y utilizaba electrodos de cinc y carbono.

A finales de del siglo XIX se hicieron grandes mejoras sobre las baterías debido al avance del uso de la electricidad y la gran necesidad de almacenar energía ya que el transporte de energía (antes de la invención de la corriente alterna) fue carísimo en esa época. En 1899 el científico sueco Valdemar Jungner inventó



el acumulador que le llamo batería de cadmio-níquel (Ni-Cd), que fue una batería recargable y estaba constituida por electrodos de cadmio y níquel metidos en una disolución de hidróxido de potasio. Esta batería entro al mercado de Suecia en 1910 pero llago a Estados Unidos en 1946. Después de eso experimento cambiando el hierro por el cadmio. Tomas Alva Edison aprovecho el invento del sueco para cambiar el cadmio por hierro y lo patento en su nombre en 1903 con el mismo disolución hidróxido de potasio. A mediados del siglo XX, el ingeniero canadiense Lewis Urry en 1955 invento las pilas alcalinas que estaban constituidas por un cátodo de dióxido de manganeso, ánodo de cinc y electrolito de polvo alcalino. Estas celdas o pilas tenían una vida útil larga comparada con las anteriores y fue comercializa en 1959.

En 1970 se comercializo las primeras pilas de litio que usa litio en el ánodo, pero en el cátodo se usa varias sustancias por ejemplo sulfuro de hierro, dióxido de manganeso, dióxido de azufre, cloruro de tionilo, mono fluoruro de carbono etc. En el mismo año inventaron la tecnología de níquel-hidrogeno, para satélites de comunicaciones comerciales pero estas pilas fueron comerciadas hasta 1989. El mejor invento de la batería fue el invento de las baterías de iones de litio(Li-ion) en 1980 que fue una bateria recargable y más estable que las de litio puro. Después de esto y en 1996 se comercializo la primera batería de polímero de ion de litio, en la que el electrolito estaba en forma solida por ejemplo puede ser un polímero solido compuesto. Los electrodos y separadores se laminas entre sí para aprovechar el espacio y almacenar más energía. En 2019 el científico estadounidense John B. Goodenough, el británico Stanley Whittingham y el japonés Akira Yoshino ganaron el premio Nobel de química por desarrollar la batería iones de litio “esta ligera, recargable y potente. Batería que se utiliza en la actualidad en todas partes desde los teléfonos móviles a los ordenadores portátiles y los coches eléctricos”. Hoy en día los científicos siguen desarrollando este tipo de batería para mejorar el tiempo de carga y almacenar más energía en poco espacio.

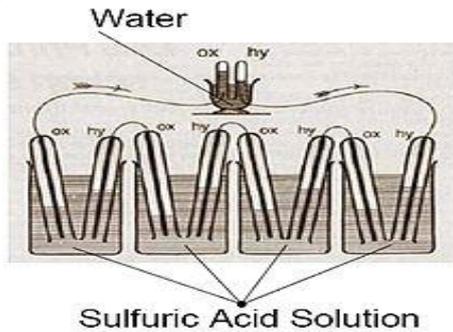


Figura 2.2 :Batería de Robert Grove www.es.wikipedia.org

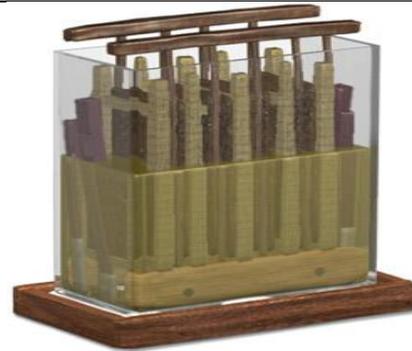


Figura 2.3 :Batería de Gastón Plante www.bateriasindustrialesytraccion.es

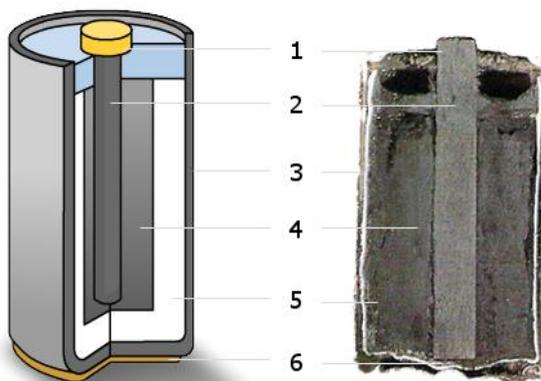


Figura 2.4 :Batería seca inventada por Carl Gassner y mejorada por Federico Guillermo Luis Helessen www.es.wikipedia.org

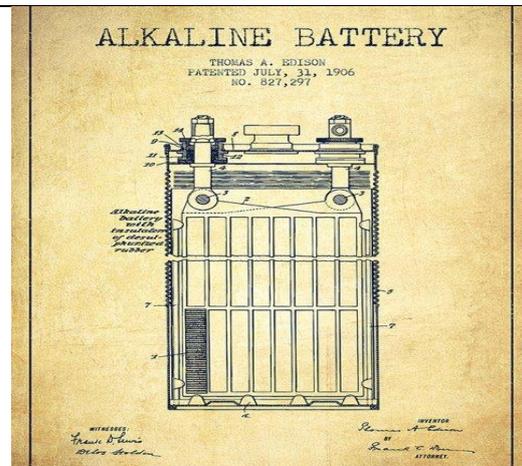


Figura 2.5 :Batería Tomas Alva Edison www.top-5.org

2.2.3 tipos de baterías

2.2.3.1 Baterías alcalinas

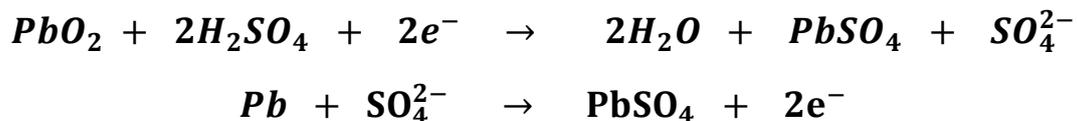
Son las baterías más usadas en la vida cotidiana ya que se pueden cargar y descargar varias veces y además tienen el electrolito en forma sólida eso implica que no requiere mucho mantenimiento. Este tipo de batería se usaba mucho en el principio de la primera década de siglo 21 y ahora mismo se usa mucho en mandos. Normalmente utiliza como ánodo el zinc pulverizado, como cátodo dióxido de manganeso y como electrolito algún material alcalino como hidróxido de potasio.



2.2.3.2 Baterías de plomo-acido

Estas baterías se usan mucho en vehículos (vehículos que funcionan con combustible) y sistemas solares fotovoltaicas para almacenar energía durante el periodo de oscuridad y la mayoría de estas baterías son de gran potencia. En estos tipos, el ánodo es una placa de plomo recubierta por oxido de plomo II (PbO₂) y el cátodo por plomo esponjoso (Pb). Se denominan baterías plomo-acido porque utilizan como electrolito una disolución de ácido sulfúrico.

Cuando la batería esta descargada, el electrodo está formado por sulfato de plomo (PbSO₄). Durante el proceso de carga utilizando una fuente de tensión externa, cada átomo del cátodo(el sulfato de plomo PbSO₄) pierde dos átomos o como se dice en química se reduce y se forma PbSO₂, pero en el ánodo se gana dos electrones, por lo tanto, se trata de un proceso de reducción-oxidación. En el proceso de descarga se ocurre el efecto contrario de la carga, el óxido de plomo(PbSO₄) del ánodo, que ahora funciona como cátodo pierde dos electrones y se reduce sulfato de plomo (PbSO₂) mientras que en el cátodo el plomo elemental(Pb) se oxida también para formar sulfato de plomo(PbSO₂). El movimiento de electrones intercambiados se aprovecha en forma de corriente eléctrica para alimentar a un circuito externo. Las reacciones químicas siguen las siguientes formulas.



Reacciones químicas de la descarga de una batería plomo-Ácido

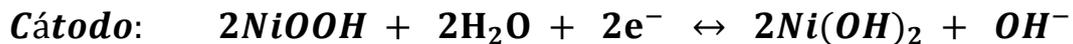
Algunas ventajas de este tipo es que tienen muy bajo coste y son fáciles de fabricación. Pero tiene también algunas desventajas que son, no admiten sobrecargas ni cargas profundas, eso implica que tienen una vida útil reducida. Son



muy contaminantes. Tienen baja densidad de energía y también tienen peso excesivo por eso hoy en día no se usan en coches eléctricos.

2.2.3.3 Baterías níquel-hierro (Ni-Fe)

Es una batería recargable y como se menciona en la introducción fue inventada por Valdemar Jungner en 1899 y se desarrolló por Tomas Alva Edison y se patentó en 1903. Consistía en tubos finos enrollados por láminas de acero niquelado, el ánodo está formado por aleaciones de níquel y en el cátodo aleaciones de hierro. Con un electrolito de óxido de potasio. Durante el proceso de carga/descarga los electrodos no se disuelven en el electrolito y las reacciones son completamente reversibles y la formación de cristales de hierro preserva los electrodos por lo cual no se produce efecto memoria lo que confiere a esta batería gran duración. Las reacciones de carga y descarga son las siguientes



(Descarga se lee de izquierda a derecha y carga de derecha a izquierda)

Reacciones químicas de carga y descarga de una batería de níquel hierro

Esta batería tiene bastantes ventajas como bajo coste, fácil de fabricación, admite sobrecargas, repetidas descargas totales e incluso cortocircuitos sin perder su capacidad, no es contaminante, no contiene metales pesados y el electrolito se puede usar en actividades agrícolas, tiene vida útil muy larga a veces llega hasta 100 años sin perder su capacidad, sus materiales son muy abundantes en la naturaleza como hierro y níquel. Aguanta un mayor rango de temperatura. Pero tiene solo pocas ventajas como que tiene poca eficacia.



2.2.3.4 Baterías níquel-cadmio (Ni-Cd)

Estas baterías tienen el cátodo formado por hidróxido de níquel y el ánodo por el cadmio. El electrolito es el hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada. También tienen el mismo funcionamiento que las baterías de níquel-hierro explicadas anteriormente. Ventajas de estas baterías son que trabajan en gran rango de temperatura y admiten sobrecargas, se puede seguir cargando cuando ya no admiten más cargas. Las desventajas son que tienen efecto de memoria muy alto y densidad de energía muy baja.

2.2.3.5 Baterías níquel-Hidruro metálico (Ni-MH)

La única diferencia de estas baterías con las dos anteriores es que utilizan el cátodo con un hidruro metálico y el ánodo es el mismo hidróxido de níquel y también el electrolito es el mismo. Este tipo de baterías se encuentran menos afectados por el llamado efecto memoria. No admite el frío extremo ya pierde sus características de entregar potencia que puede entregar.

2.2.3.6 Baterías de iones de litio (Li-ion)

Es una batería que tiene el ánodo formado por grafito y el cátodo por algún óxido que contiene litio por ejemplo óxido de litio, óxido de cobalto u óxido de manganeso. Pero el electrolito o el separador puede variar de uno a otro. Como se ha mencionado en definición las baterías de litio necesitan controladores electrónicos que regulan la carga y descarga para evitar sobrecargas y sobrecalentamientos que puede dañar su capacidad de carga.

Hoy en día este tipo de baterías tiene gran número de aplicaciones sobre todo en los aparatos electrónicos como móviles, portátiles hasta que llega a usarse en coches electrónicos. Su funcionamiento consiste en que cuando se aplica una fuente externa a la batería el litio tiende a perder un electrón que tiene en la última capa saliendo por el ánodo hacia el cátodo pasando por la batería (el separador solo deja pasar a los iones) y se depositan en las láminas de grafito y los iones de litio atraviesan el separador para que también se depositan en el grafito este movimiento crea una diferencia de potencia al aplicar una carga se repite el mismo proceso, pero, al contrario.

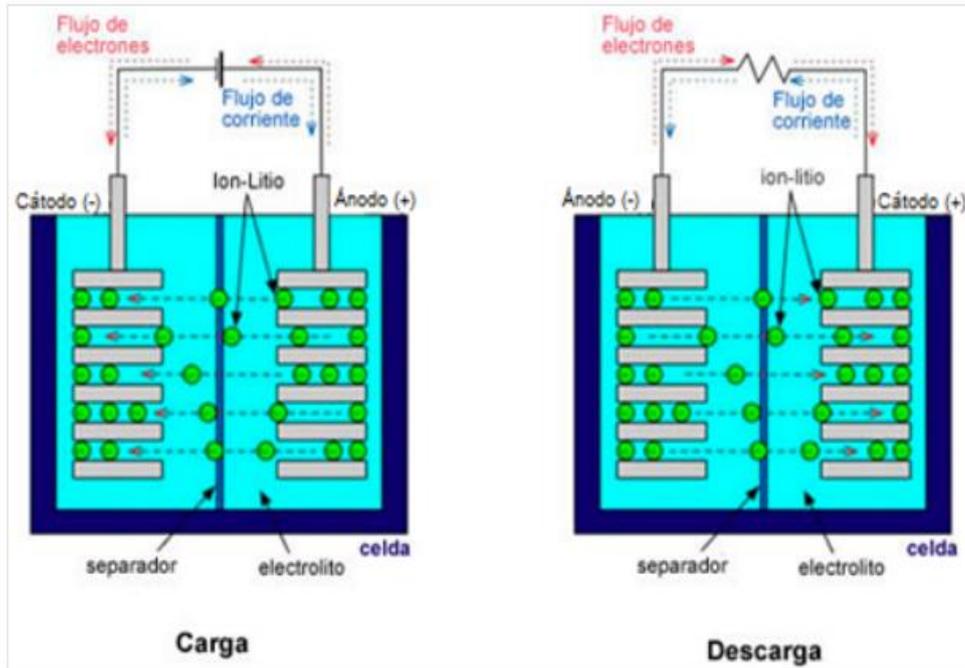


Figura 2.6 :Proceso de carga y descarga de una batería de litio Lion

Este tipo de baterías tiene más ventajas que pueden almacenar mucha energía en poco espacio, tienen mayor eficacia y rendimiento energética, tienen más tiempo de uso comparado con el tiempo de carga, tienen mayor vida útil comparado con la mayoría de las baterías, y no necesitan mantenimiento. Las desventajas son que no admiten el cambio brusco de temperatura y no admiten descarga completa y pierden sus propiedades si esto se ocurre.

2.2.3.7 Baterías de polímero de litio (LiPo)

Es una mejora de las baterías de iones de litio (Lion) y su funcionamiento es similar a los de iones de litio. La única diferencia con el Lion es que utilizan como electrolito un polímero. Tienen densidad mayor que Lion, también tienen tasa de descarga bastante mayor y su tamaño es muy pequeño comparado a todos los tipos de baterías que hay en el mercado. Estas baterías son muy delicadas ya que no aceptan cualquier tipo de cargador. Las baterías de LiPo tienen 4 grados llamados S, cada grado tiene una tensión diferente por ejemplo 1S tiene 1 celda, 3.7 V. 2S tiene dos celdas, 7.4 V. Este tipo como el anterior también tiene muchos usos en la electrónica.



Ventaja de este tipo son que tienen mayor densidad de carga y por lo tanto tamaño reducido. Y tienen también buena tasa de descarga bastante mayor que el de iones de litio. Tienen desventaja que se quedan inutilizados si su tensión baja de 3 voltios.

2.2.4 parámetros de una batería

2.2.4.1 Tensión o Fuerza electromotriz

La tensión es la diferencia de potencial entre dos puntos y su símbolo es la (V) por ejemplo entre el ánodo y el cátodo de las baterías. También es la magnitud física que impulsa los electrones a través de un circuito cerrado provocando un flujo de corriente eléctrica. Todas las baterías usan la tensión continua ya que la corriente sigue solo un sentido convencional del negativo al positivo. La tensión nominal que da el fabricante es la tensión que tiene la batería cuando está completamente cargada conforme baja su capacidad baja su tensión.

Para modificar la tensión se necesita circuitos electrónicos para elevar o reducir la tensión. Mediante la analogía mecánica se puede decir que la tensión es como la altura de una cascada. Cuanto más alta sea la cascada, mayor será la energía disponible para girar noria de agua. Su fórmula es la siguiente

$$V = \frac{dW}{dq} \quad (Ec \ 2.1)$$

Donde: **V**:es la tensión (V) **W**:es el trabajo (J) **q**:es la carga (C)

Hay distintos tipos de tensión:

- **Tensión nominal:** es la tensión que da el fabricante y es con la que suele funcionar la batería normalmente.
- **Tensión en circuito abierto:** es la tensión medida entre los polos de la batería cuando no esté conectada con cualquier carga.



- **Tensión cut off:** es la tensión mínima que se puede suministrar la batería cuando está completamente descargada y no es conveniente descargar las baterías a esta tensión.

2.2.4.2 Intensidad

Es la cantidad de electrones que se mueve en una sección de cable en un determinado tiempo. En analogía mecánica se parece al flujo de agua que se cae desde la cima de la cascada para mover la noria se mide culombios por segundo o amperios.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (Ec \ 2.2)$$

Donde: **I**: es la intensidad (A) **q**: es la carga (C) **t**: es el tiempo (s)

Hay dos datos importantes de la intensidad

- **Intensidad Nominal:** es la intensidad que habitualmente da la batería en su funcionamiento normal.
- **Intensidad Máxima:** es la intensidad máxima que se puede dar la batería sin que se dañe, esta intensidad solo la puede dar en corto tiempo sino si estropea la batería.

2.2.4.3 Capacidad de carga

Capacidad de carga o almacenamiento de la batería es la unidad más importante de las baterías porque define la intensidad que carga en la batería en un determinado tiempo y se mide en amperios por segundo, pero como esta unidad es muy pequeña se utiliza muchos la unidad de amperios por hora. La mayoría de las baterías de los móviles y portátiles se utiliza miliamperios por hora. Por ejemplo, si una batería tiene una carga de 1 A/h eso significa que esta puede dar un 1 amperio en una hora o puede dar 100 miliamperios por 10 horas eso depende la intensidad pedida por el circuito asociado con la batería. La mayoría de las baterías nuevas cuando llegan a la máxima carga se desconecta el cargador



automáticamente evitando problemas de sobrecarga, esa propiedad no las tenía las antiguas baterías. Formula de la carga es

$$Q = I * t \quad (Ec 2.3)$$

Donde: **Q**: es la carga (A/h o A/s) **I**: la intensidad (A) **t**: tiempo (s o h)

2.2.4.4 Energía almacenada

Es la cantidad de energía que puede almacenar una batería y si mide por wátios-hora (Wh), wátios-segundo (Ws) o julios (J)

$$W = P * t \quad (Ec 2.4)$$

Donde: **W**:es energía **P**:potencia (W) **t**:tiempo (h o s)

$$P = V * I \quad (Ec 2.5)$$

Donde: **P**:es la potencia(W) **V**:es el voltaje (V) **I**:es la intensidad (A)

2.2.4.5 Constante de carga o descarga

Este constante viene dado por los fabricantes para especificar la cantidad de intensidad con la que puede cargarse o descargarse la batería para evitar que se dañe la batería y pierda sus propiedades. Si el fabricante da la capacidad de la batería en miliamperios-hora se hace el siguiente calculo

$$C = \frac{X}{1000} \quad (Ec 2.6)$$

Donde: **C**: es constante **X**:capacidad de la batería

Por ejemplo, si el constante de la capacidad es C=10 Ah y pide que no hay que descargar la batería más de 5C y no tiene que cargarla 2C eso significa que



la corriente máxima de descarga se calcula $5C=5*10=50 \text{ A}$, y para la carga es $2C=2*10=20 \text{ A}$. Si la capacidad viene dada en miliamperios por ejemplo $c=10000 \text{ mAh}$ el constante se calcula aplicante la formula anterior $C=10000\text{mAh}/1000=10 \text{ Ah}$.

2.2.4.6 Resistencia interna

La resistencia interna de una batería es la suma de resistencias de reacciones químicas y los electrodos (electrodos metálicos) de todas las celdas de la batería. Este parámetro no se puede medir directamente sobre la batería por eso con la ayuda de la ley de ohm (utilizando tensión e intensidad de la batería) se calcula este parámetro. Su valor es muy pequeño y si puede llegar a miliohmios. Con intensidad muy grandes puede afectar mucho a los cálculos.

2.2.4.7 Rendimiento

Es la relación entre porcentual entre la energía entregada a la batería durante el proceso de carga y la energía extraída de la batería durante el proceso de descarga. Por ejemplo, las baterías de ácido-plomo tienen un rendimiento de más de 90 % y las baterías de níquel-cadmio más de 83 %.

2.2.4.8 Efecto memoria

Las baterías cuando se someten a cargas incompletas varias veces a lo largo plazo, una determinada capacidad de carga se congela eso implica que se reduce la carga de la batería ese efecto se llama memoria. Por eso se aconseja una descarga completa y una carga completa para prevenir del efecto de memoria y reducir la capacidad de las baterías.

2.2.4.9 Conexión de entre las celdas de una batería o entre baterías

Como se ha mencionado en la definición, la batería está formada por varias celdas. Para interconectar estas celdas o para interconectar entre distintas baterías se hace mediante 3 conexiones

- **Conexión Serie:** esta conexión sirve para aumentar la tensión de la batería sumando las tensiones de cada celda, pero manteniendo la intensidad constante.



Figura 2.7 :Conexión de dos batería en serio

- **Conexión Paralelo:** esta conexión para aumentar la intensidad de la batería sumando las intensidades de cada celda, pero manteniendo la misma tensión.

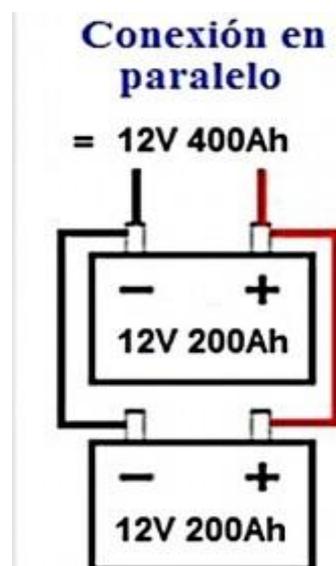


Figura 2.8 :Conexión de dos baterías en paralelo

- **Conexión Mixta o serie-paralelo:** esta conexión sirve para modificar la tensión y la intensidad mediante combinación de conexiones serie-paralelo.

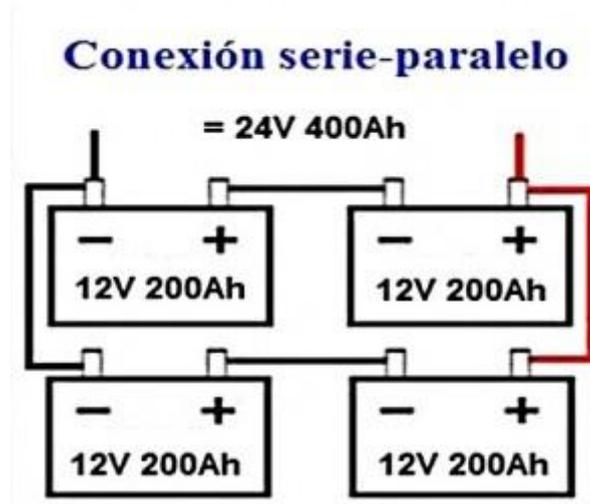


Figura 2.9 :Conexión de 4 baterías en serie-paralelo o mixta

2.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.3.1 Introducción

Hoy en día, todo el mundo está buscando alternativas para cubrir el consumo de la electricidad que está aumentando todos los días eso debido al aumento de ciudadanos en el mundo y esta se genera mediante fuentes contaminantes que emiten gases de efecto invernadero (aumento de la temperatura de la tierra mediante absorber los rayos del sol) una de las mejores soluciones fue la energía solar. Fue inventada en Reino Unido en 1849 y es una energía renovable que se obtiene transformando las ondas electromagnéticas o también se llama radiación solar que emite el sol a energía eléctrica mediante placas fotovoltaicas.

Las placas fotovoltaicas están fabricadas por material semiconductor cuando recibe radiación solar lo transforma a movimiento de electrones (electricidad). Esta energía se considera renovable ya que el sol es una fuente de ondas electromagnéticas muy abundante, también se considera una fuente de electricidad verde o no contaminante al medio ambiente ya que no emite nada al aire comparado con las fuentes de petróleo, gas, carbono y energía nuclear que es muy peligrosa al medio ambiente. Económicamente se considera menos costosa comparada con las otras fuentes, solo se necesita un espacio con periodos largos de tiempo por ejemplo Sahara es buen sitio para este tipo de fuentes. Para



mejorar el rendimiento de las placas solares en varios centros se usa un seguidor solar que sigue la posición del sol usando un motor para girarlas.

2.3.2 funcionamiento

Su funcionamiento consiste que los fotones que inciden desde el sol sobre las placas solares hacen que los electrones reciban energía y saltan fuera del átomo a otro hueco que está cerca y esta operación se repite con todos los átomos del metal. El movimiento de los electrones y los huecos genera una diferencia de potencial entre dos capas de material. Las células fotovoltaicas están constituidas por dos capas tipo P y tipo N.

La capa N está constituida por material semiconductor por ejemplo silicio, dopado por un material que tiene en la capa de valencia más electrones que tiene el material semiconductor (4 electrones) por ejemplo el fosforo (tiene 5 electrones en la capa de valencia). El silicio cuando se dopa con fosforo forma un enlace covalente un átomo de silicio se enlaza con 4 de fosforo eso implica que se quedan electrones libres dentro de la capa. La capa P esta dopada por un material que tiene menos electrones libres que el silicio por ejemplo el boro (tiene 3 electrones en la capa de valencia) y cuando forman el enlace entre los átomos se forman más huecos.

Las dos capas están neutras ya que todos los átomos de distintos materiales tienen el mismo número electrones (carga negativa) girando alrededor del núcleo donde existe el mismo número de protones(carga positiva). Cuando se juntan las dos capas en la misma placa, los electrones libres de la capa N saltan a los huecos de la capa P así rompen la neutralidad de los átomos de las dos capas y genera una zona de agotamiento en la unión entre las dos capas. Como la capa N pierde electrones se queda cargada positivamente y la capa P recibe electrones y se queda cargada negativamente. La diferencia de carga entre las dos capas forma una diferencia de potencial.

La célula fotovoltaica cuando recibe la energía fotónica, los electrones se juntan en la capa N (se convierte en polo negativo) y los huecos se juntan en la capa P (se convierte en polo positivo) y si se conecta una carga entre los polos



los electrones empiezan a fluir del polo negativo alimentando la carga y entran por el polo positivo para combinar con los huecos acumulados allí. Eso significa que las placas solares generan solamente la corriente continua para conectarlo a la red eléctrica se usa convertidores. Las células fotovoltaicas se conectan entre ellas en serie y en paralelo para generar una determinada tensión.

2.3.3 ventajas y desventajas

2.3.3.1 Ventajas

- Una de las más importantes ventajas es que esta fuente de energía es muy abundante y muy duradera.
- No es contaminante al medio ambiente ya que no emite gases contaminantes que influyen en el calentamiento global de la tierra. También ayuda a disminuir la contaminación que emite las otras fuentes de energía eléctrica como carbono y petróleo.
- No necesita mucho mantenimiento y el coste de mantenimiento es muy bajo.
- Aprovechar los espacios para generar energía eléctrica como las fachadas de las casas y los polígonos para ahorrar energía y venderla en caso de que sobre.
- Facilidad de montaje y conexión o sustitución en caso de deterioro.
- Es una fuente renovable y sostenible



2.3.3.2 Desventajas

- Coste muy alto ya que el precio de inversión es muy alto
- Mal tiempo por ejemplo si hay niebla o nubes a tiempo muy largo las placas no están sometidas directamente eso reduce la generación de electricidad.
- Los paneles solares no son totalmente eficientes.

2.4 ENERGÍA EÓLICA

2.4.1 Introducción

Es una energía renovable que aprovecha el viento para generar electricidad mediante aerogeneradores que están elevados sobre la tierra mediante torres gigantes para captar el viento con mayor velocidad porque cuando más altitud tiene el aerogenerador mayor es el movimiento del aire, mayor electricidad genera. Normalmente estos generadores se ponen en zonas con más corrientes de aire como montañas. Esta energía se considera la más barata comparada con todas las otras fuentes de energía. La energía eólica se puede generar en cualquier momento del día ósea puede ser por el día o por la noche ya que en unas capas de la atmosfera siempre existe movimiento del aire eso lo considera una fuente continua no como la otra energía renovable como energía solar que solo se puede generar por el día y siempre cuando hay sol.

Energía eólica es la fuente más antigua de la electricidad junto con la energía térmica. El primer uso del viento como fuerza motriz fue cuando los barcos que se mueven con las velas gracias al viento y para funcionar los molineros al mover las aspas. Los primeros usos de generadores de la electricidad con el viento fue en los años ochenta del siglo veinte. Pero el mejor avance lo dio el siglo XXI cuando todos los países y España una de ellas empezó a usar esta fuente de energía.



2.4.2 funcionamiento

El viento es el movimiento de una masa de aire desde atmosfera con presión alta a zonas con presión baja, este movimiento hace que giren las aspas. alas o hélices del aerogenerador para girar un material metálico dentro de un campo magnético esto resulta que genera la electricidad alterna gracias a la ley de Faraday. Su funcionamiento es exactamente igual a la centrales térmicas y nucleares , solo que en estos calientan agua hasta que se evaporige para girar el eje principal.

Los aerogeneradores convierten la energía cinética en corriente alterno y para alimentar algún circuito electrónico se necesita convertirlo a corriente continua mediante rectificadores y bajar la tensión si es necesario con reductores de tensión.

2.4.3 ventajas y desventajas

2.4.3.1 *ventajas*

- Es una energía renovable y limpia ya que no emite ningún tipo de material que puede contaminar la atmosfera.
- Es una energía muy barata porque puede durar hasta 25 años y no necesita mucho mantenimiento.
- Se puede adaptar a cualquier zona y también puede aprovechar sitios difíciles de vivir como las montañas y desiertos, incluso en algunos sitios como los mares.
- Fácil de montar e instalación ya que viene todos fabricados solo hay que juntarlos y ponerlos en marcha.



2.4.3.2 Desventajas

- Falta de seguridad en la existencia del viento ya que nadie puede garantizar la continua existencia del viento.
- La velocidad del viento excede la máxima que puede aguantar el eje del aerogenerador por eso en algunos tipos de aerogeneradores tienen sistemas de control para evitar que se dañe el aerogenerador.
- Los parques eólicos ocupan grandes espacios y tienen impacto ambiental que puede matar algunos tipos de aves como los murciélagos y pájaros.

3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

3.1 DESARROLLO DE HARDWARE

3.1.1 Introducción

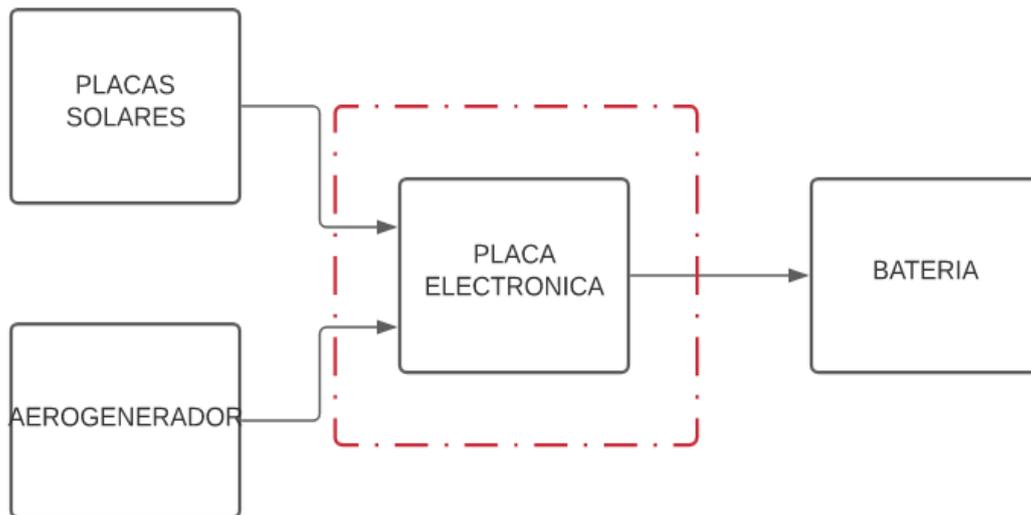


Figura 3.1: Diagrama general de los bloques del sistema

El hardware de este trabajo consiste en hacer una placa electrónica diseñada para alimentar una batería, y para facilitar el trabajo se divide en dos partes parte solar y parte eólica, pero todo se junta en la misma placa para cargar la batería simultáneamente. El circuito más importante en esa placa es el circuito reductor de tensión (Buck) ya que las placas solares y los aerogeneradores tienen la tensión más alta que la tensión de la batería y se necesita reducir la tensión de las dos fuentes de energía sin pérdidas considerable de la potencia.

En las entradas de esta placa se conectan los paneles solares y el aerogenerador y en la salida se conecta la batería y un sistema de visualización para monitorizar distintas magnitudes de la batería.

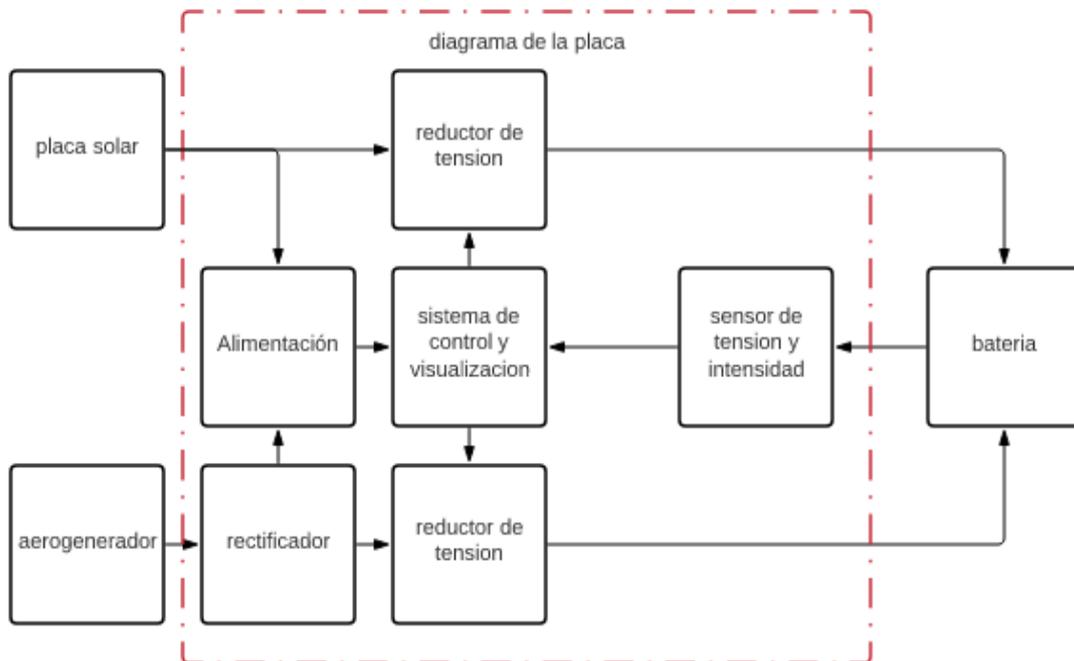


Figura 3.2 : diagrama de las partes de la placa

Los componentes que componen el sistema son:

- **Circuito reductor de tensión** para panel solar y también para el aerogenerador o dinamo.
- **Sistema de control y visualización** es el cerebro de la placa y sirve para controlar y visualizar el sistema.
- **Alimentación** para alimentar la electrónica del circuito como el Arduino y la visualización.
- **Sensores de tensión e intensidad** son componentes de medida para visualizarlo después
- **Rectificador y filtrado** para transformar corriente alterna del aerogenerador a corriente continua para reducirla con el otro reductor.

El sistema se va a desglosar en varias partes para facilitar el trabajo, cada circuito se va a diseñar y simular aparte para que se compruebe que está

funcionando bien y se puede detectar los fallos fácilmente y luego se juntan en un único diseño hacer un diseño general de la placa.

3.1.2 Circuito reductor de tensión

3.1.2.1 Definición

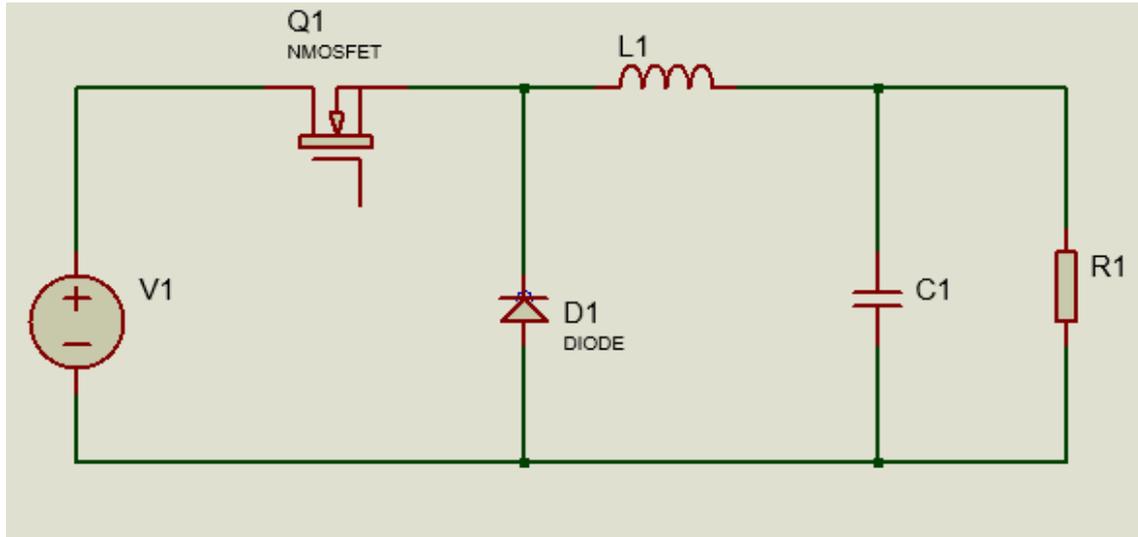


Figura 3.3 ; componentes de un reductor de tensión

El reductor de tensión o Buck como le llaman en inglés es el circuito más importante en la placa y su función es muy importante ya que reduce y mantiene una tensión estable sin grandes pérdidas de potencia comparado con otros reguladores. Es un regulador conmutado de tensión que funciona solamente con corriente continua y sirve para reducir la tensión utilizando componentes pasivos como el MOSFET, bobina y condensador. Estos dos últimos componentes son elementos reactivos que no consumen energía solo la utilizan para almacenar corriente para crear campo magnético en la bobina y creando campo eléctrico en el condensador. El voltaje de entrada en este trabajo viene de las placas solares y no es constante ya que depende de la orientación de la placa al sol y del periodo si es de día o de noche y para eso necesita un sistema para estabilizar la tensión en la salida. El voltaje de la salida es proporcional a la carga de la batería.



Las ventajas principales de este circuito es su eficiencia ya que no consume mucha potencia eso resulta que la temperatura sigue estable en el circuito y evitar a utilizar disipadores. Hoy en día la gran ventaja de los circuitos es el tamaño y como estos circuitos utilizan frecuencia de conmutación muy alta los componentes pasivos son pequeños. La única desventaja importante de este circuito es que el diseño es muy complejo y eso resulta que en caso de fallo su reparación puede ser costoso.

3.1.2.2 *Funcionamiento*

El funcionamiento de este circuito consiste en conmutar un componente que permite abrir o cerrar el circuito mediante una señal de control con una determinada frecuencia(en este circuito es el MOSFET) a gran frecuencia ya que cuando más alta es la frecuencia menos tamaño ocupan los otros componentes. El control del MOSFET se hace mediante un oscilador o microcontrolador (en este trabajo mediante el Arduino con una frecuencia de 62,5 kHz).El control del MOSFET se hace mediante una salida analógica del microcontrolador se llama PWM que puede regular el porcentaje de ancho de pulso de la onda creada. La conmutación del circuito reductor reduce su valor medio y creando una señal cuadrada con un determinado periodo calculado en la ecuación 3.1 esta onda no se considera una corriente continua y hay que filtrar los componentes de la corriente alterna mediante un filtro compuesto por circuito RLC. Hay dos casos importantes en el funcionamiento de este circuito cuando el MOSFET está cerrado y cuando está abierto.

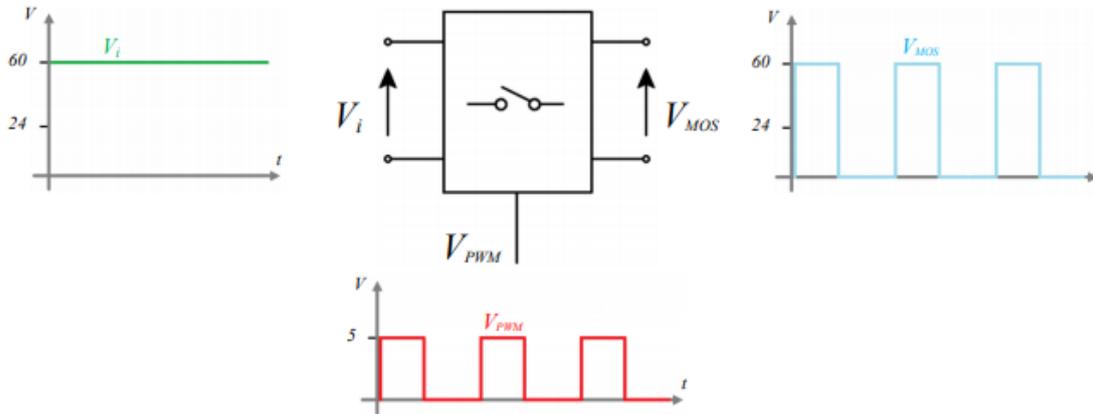


Figura 3.4 : señales en la entrada y salida de MOSFET

Periodo de conmutación $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{62500} = 16 \text{ ms}$ (Ec 3.1)

3.1.2.2.1 MOSFET cerrado

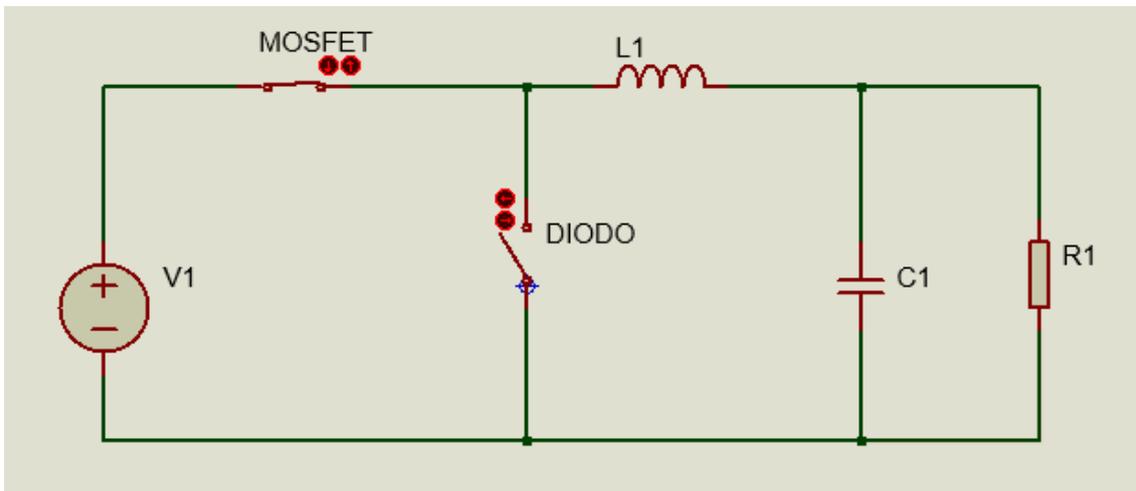


Figura 3.5 : circuito equivalente cuando el MOSFET está cerrado

Durante este periodo y como se ve en la figura 3.5 el MOSFET se comporta como un interruptor cerrado y el diodo como interruptor abierto ya que la tensión en el cátodo es más alta que el ánodo(esta polarizado en inversa). La corriente en la bobina empieza a aumentar linealmente y la carga se alimenta directamente de la fuente. La intensidad que atraviesa la bobina se divide entre la carga

y el condensador siguiendo la ley de Kirchhoff. La corriente que circula por la bobina se calcula con la siguiente formula:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{Vi - Vs}{L}$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{Vi - Vs}{L} \leftrightarrow \Delta i_L = \left(\frac{Vi - Vs}{L} \right) * DT \quad (Ec 3.2)$$

Donde :

- Δi_L incremento de la intensidad en la bobina
- Vi es el voltaje de la entrada
- Vs es el voltaje de salida
- L es la inductancia
- $\Delta t = DT =$ incremento de tiempo

3.1.2.2.2 MOSFET abierto

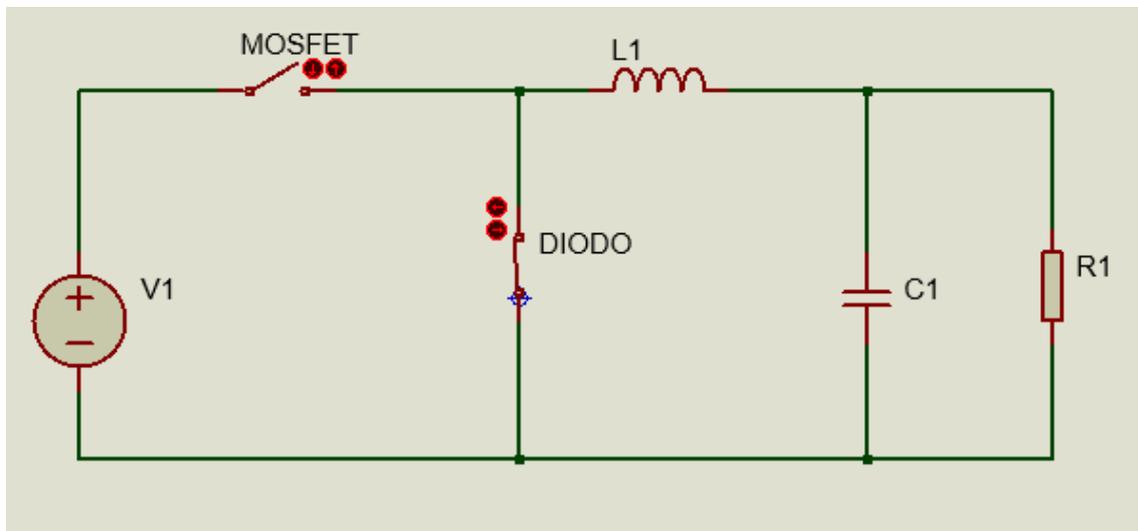


Figura 3.6 : circuito equivalente cuando el MOSFET está abierto

Como se ve en la figura 3.6 la fuente de alimentación ya está desconectada y el diodo se polariza directamente eso significa que conduce corriente a través de él. En este periodo la misma energía que quedo cargada en la bobina cuando el MOSFET estaba cerrado se descarga través de la carga para mantener la



tensión estable. El condensador elimina el rizado de la tensión de salida evitando grandes variaciones de voltaje que pueden ser muy peligrosas en algunas cargas sensibles. La bobina y el condensador funcionan como un filtro de paso bajo de segundo orden que elimina las frecuencias altas dejando pasar solamente la señal continua con un pequeño rizado. La corriente que circula por la bobina se calcula con la siguiente formula

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-Vs}{L}$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{-Vs}{L} \leftrightarrow \Delta i_L = \left(\frac{-Vs}{L}\right) * (1 - D)T \quad (\text{Ec 3.3})$$

Donde :

- Δi_L incremento de la intensidad en la bobina
- Vs es el voltaje de salida
- L es la inductancia
- $\Delta t = DT =$ incremento de tiempo

Para calcular la fórmula que relaciona el valor de la tensión de entrada y salida se igualan la fórmula (3.2) y (3.3) ya que la corriente que se carga en la bobina cuando el MOSFET está cerrado es la misma que cuando está abierto y la variación de la intensidad en la bobina es nula. Despejando en la ecuación nos da la siguiente fórmula.

$$Vs = Vi * D \quad (\text{Ec 3.4})$$

3.1.2.3 Cálculo de componentes del circuito

El primer componente y es uno de los más importantes en el circuito es la bobina y para calcularlo se necesita la siguiente formula (3.5) sacada del libro de electrónica de potencia y es el valor mínimo de la bobina para que no entre en



CAPITULO 3 : ARQUITECTURA DEL SISTEMA

modo de conducción discontinua y hay que multiplicarla por un constante para evitar estar cerca del límite y en este caso se multiplica por 2

$$L_{min} = \frac{(1 - D)R}{2f} \quad (Ec 3.5)$$

Donde :

- L_{min} es la inductancia mínima para que el circuito funcione en modo conducción continua.
- D es el ciclo de trabajo del circuito y en este proyecto se calcula dividiendo la tensión de salida por la tensión de entrada, pero se cambia en caso de que hay variaciones en la entrada o salida en el controlador.
- f es la frecuencia de conmutación que controla la puerta del MOSFET y para este trabajo se elige la frecuencia de 62,5k que es la máxima que da el Arduino uno.
- R es la resistencia de la carga y es la resistencia que tiene la batería.

El segundo componente es el condensador y se ve en los cálculos del inductor ambos componentes dependen de la frecuencia porque funcionan como filtro y para elegir el condensador hay siempre que elegir un valor cerca del nominal. Se calcula con la siguiente formula

$$C = \frac{1 - D}{8 * L * \left(\frac{\Delta V_S}{V_o}\right) * f^2} \quad (Ec 3.6)$$

Donde :

- C es la capacidad del condensador deseada
- L es la inductancia calculada del circuito.
- $\left(\frac{\Delta V_S}{V_o}\right)$ es valor del rizado en la salida respecto al valor de salida.
- f es la frecuencia de la conmutación del circuito.

3.1.2.4 simulación del circuito

para simular el circuito se usa un programa de Matlab que se llama simulink porque es un programa muy profesional para sistemas de control, pero también tiene una librería para simulación de circuitos eléctricos.

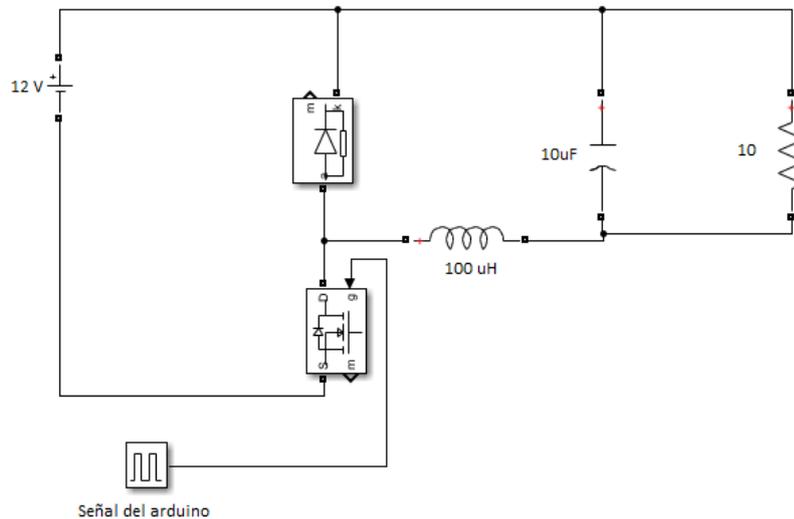


Figura 3.7 : circuito simulado en simulink

NOTA: la resistencia de carga incluye resistencia de medida de intensidad y la resistencia interna de la batería y otras pérdidas por otros componentes.

en las siguientes figuras se muestran las gráficas de tensión de distintos componentes del circuito interior. Por ejemplo, en la figura 3.8 se muestra la tensión de entrada que realmente es la tensión de los paneles solares se simula como una fuente de tensión de 12 V y en la figura 3.9 se muestra la tensión de la salida y como se ve es un poco gruesa ya que esta señal tiene un poco de rizado que no llega al 0.5% del valor teórico de salida que es 5 V.

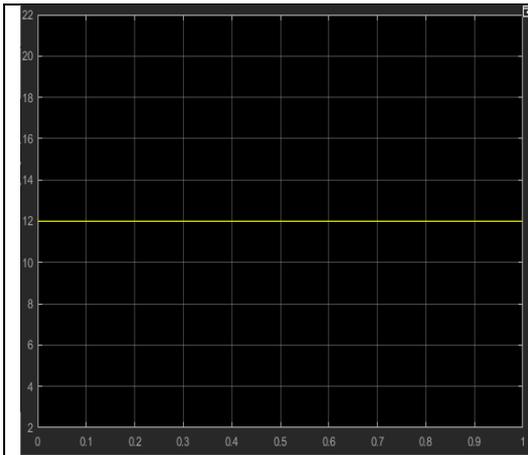


Figura 3.8 : señal de la entrada

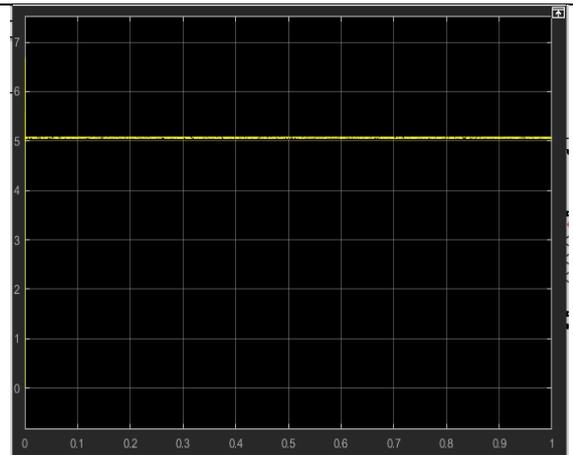


Figura 3.9 : señal de la salida

En la figura 3.10 se muestra la señal de entrada del Arduino con una frecuencia de 62500 hercios y periodo de 16 microsegundos y en la figura 3.11 se muestra la señal que está en los bornes del MOSFET para comprobar se está conmutando bien a altas frecuencias.

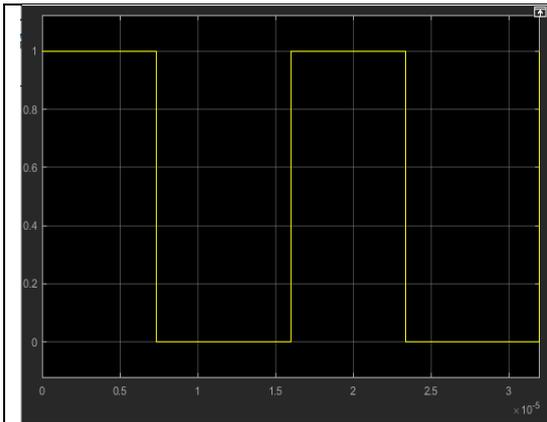


Figura 3.10 : señal de control del MOSFET

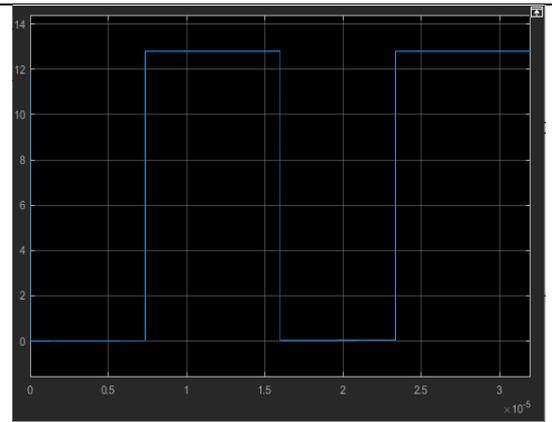


Figura 3.11 : señal en el drenador del MOSFET

3.1.2.5 selección de componentes

3.1.2.5.1 MOSFET

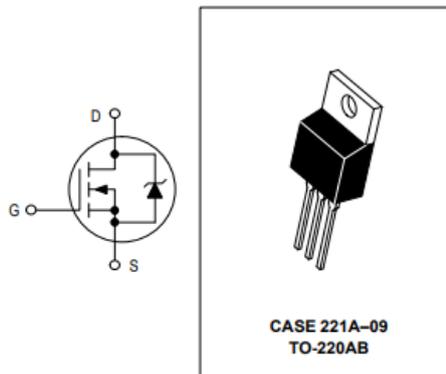


Figura 3.12 : foto del MOSFET sacada del datasheet del irf540

Es el componente más importante del circuito y sirve para reducir el valor medio de la tensión mediante la conmutación a alta frecuencia y para este proyecto se elige el MOSFET IRT540 ya que tiene características adecuadas para este proyecto como

- Tiene alta frecuencia de conmutación y que su frecuencia de conmutación llega a casi 9 MHz, este valor conviene muy bien para este proyecto ya que su frecuencia no pasa 62500 Hz. Suponemos que su frecuencia baja



con la temperatura, pero no llega a la frecuencia del de conmutación del proyecto porque es muy alta.

- Puede soportar gran cantidad de amperaje que puede atravesar el circuito en este MOSFET llega hasta un valor máxima continuo de 27 amperios, pero su temperatura sube a 100 °C baja a 19 amperios. También puede aguantar un pulso de intensidad máximo de 95 amperios.
- Puede aguantar una tensión entre drenador y surtidor de 100 voltios eso significa que sirve para este circuito ya que su tensión máxima no pasa 20voltios.
- Tiene baja resistencia durante el proceso de saturación que puede llegar a miliohmios y exactamente es 0.07 ohmios y esto valor es el máximo eso significa que este MOSFET no se calienta demasiado en saturación.

3.1.2.5.2 Diodo

El diodo seleccionado para este proyecto tiene que ser muy rápido en recuperación ya que se está funcionando el circuito en frecuencias altas para hacer este trabajo se selecciona un diodo de shottky que se llama 1N5819 que tiene las siguientes características

- Tiene un tiempo de recuperación inversa casi nulo eso significa que tiene respuesta muy rápido y hace su función de manera excepcional en ese circuito.
- Aguanta una tensión inversa repetitiva de 40 V y la máxima tensión que va a aguantar en el circuito no sobrepasa 28 V.
- Aguanta un rango de temperaturas entre -55 hasta +150 eso implica que podría poner el circuito en climas con tiempo muy cálido.
- Puede atravesarle una intensidad máxima de 1 A

3.1.2.5.3 Bobina

Como se ve en la simulación el valor de la bobina es 100 uH y este valor coincide con los valores comerciales de las bobinas. Para este proyecto se selecciona una bobina toroidal específica para circuitos reguladores de DC/DC y su nombre es 2112-RC se adjunta su datasheet en el anexo.

3.1.2.5.4 Condensador

El condensador se elige un condensador electrolítico con una capacidad de 10 μF y tensión máxima de 32 V. este condensador está fabricado por la empresa KEMET(en el anexo adjunto datasheet del condensador).

3.1.3 Sistema de control y visualización

3.1.3.1 Definición

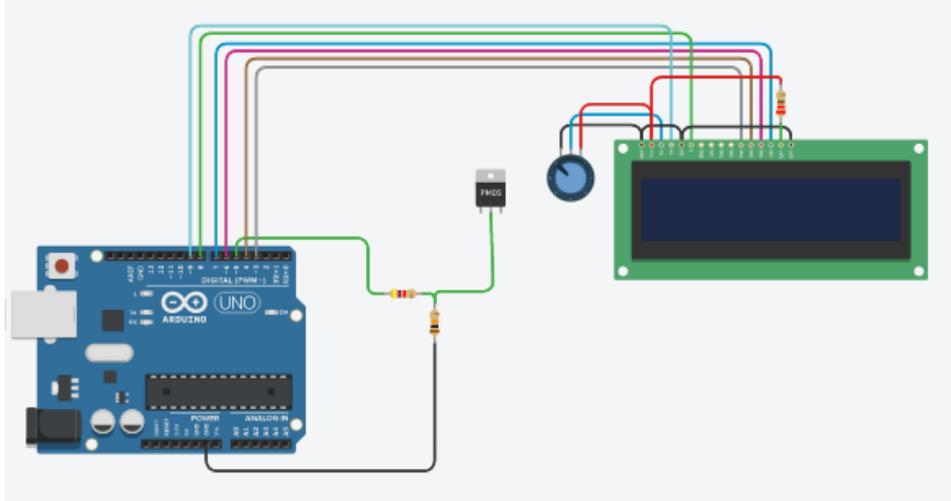


Figura 3.13 : componentes de control y visualización

Esta parte es el sistema central de la placa donde se hacen todos los tratamientos de los datos, se hace mediante un microcontrolador que recibe datos de sensores para controlar la conmutación de los reductores de tensión y también visualizar los datos importantes de la batería como la tensión y la intensidad. es un sistema de control digital que utiliza un software para comparar los valores de salida para calcular la señal de PWM que se va a dar a la puerta del MOSFET del reductor de tensión. Esta parte está compuesta por tres partes

- La parte principal es el microcontrolador es capaz de recibir todos los tipos de señales analógicas y digitales para mostrarlos en la pantalla y controlar mediante una salida analógica la puerta del MOSFET en este proyecto y también proteger la batería de sobrecargas. Para este proyecto se usa el microprocesador de Arduino uno atmega328



- Pantalla de visualización para visualizar los datos de la batería como la intensidad y la tensión durante el proceso de carga.
- Circuito de control de la puerta del MOSFET para que funcione bien en altas frecuencias que da el microcontrolador en la salida analógica.

3.1.3.2 *Funcionamiento*

El funcionamiento de este circuito consiste en hacer tres funciones

La primera función es recibir medidas de magnitudes de tensión e intensidad y transformarlos a valores digitales mediante conversores analógico a digitales que tiene el microcontrolador para luego hacer sobre ellas operaciones matemáticas y digitales (esto se explica detalladamente en la parte de software), después de estos tratamiento de datos el microcontrolador controla el ancho de pulso de la salida de PWM ya que cuando aumenta el ancho de pulso aumenta la tensión de salida y cuando baja el ancho pulso baja también la tensión de salida. otra misión más importante del microcontrolador es advertir al usuario cuando se carga la batería completamente para evitar problemas a la batería.

La segunda función de este sistema es visualizar constantemente los valores de la batería en una pantalla para que el usuario sepa las magnitudes que tiene la batería en cualquier momento o en caso de que falla algún componente del sistema advierte al usuario para reparar el fallo.

La tercera función es la que relaciona el microcontrolador con el reductor de tensión ya que para controlar el MOSFET se necesita un pequeño controlador para controlar la puerta del MOSFET y evitar fallos inesperados en la placa completa y se hace mediante resistencia ya que el MOSFET tiene impedancia de entrada muy alta y no consume intensidad.

3.1.3.3 simulación

3.1.3.3.1 simulación de LCD con micro

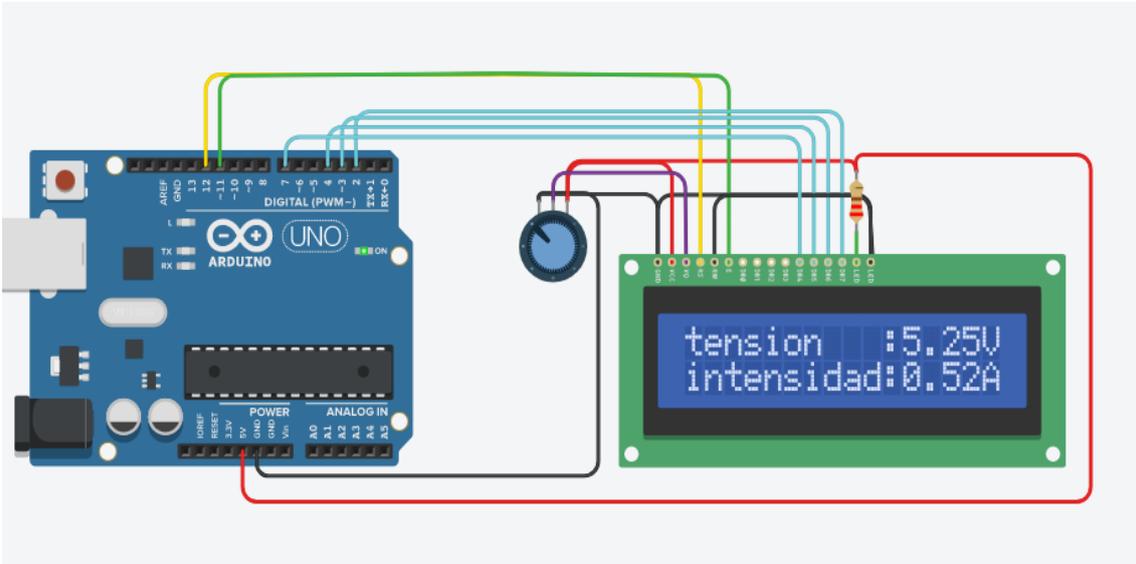


Figura 3.14 : sistema de visualización simulado en Tinkercad.com

Como se ve en la simulación es una prueba en un simulador online para mostrar cómo se visualizan los valores de magnitudes leídos por el microcontrolador y mostrarlos en la pantalla que hay en la foto. Como se ve es un circuito fácil de montar donde los cuatro cables azules son los cables de datos donde se mandan los datos del microcontrolador a la pantalla. El cable negro y rojo son cables de alimentación de la pantalla LCD. El potenciómetro sirve para aumentar o bajar el brillo de la pantalla para mostrar mejor las letras.

El microcontrolador usado en esa simulación es una placa de pruebas se llama Arduino R3 y ocupa mucho espacio y por eso en el diseño final de la placa se va a diseñar un pequeño diseño solo con el circuito integrado de dicha placa de prueba que es el atmega 328P y utilizar solo las salidas ocupadas para ahorrar espacio en la placa. El otro componente es una pantalla LCD que tiene dos líneas con 16 caracteres en cada línea y para este proyecto es suficiente para

mostrar las magnitudes y es fácil de manejar porque hay muchas librerías hechas para manejar este tipo de pantallas.

Esta simulación sirve solamente para verificar el correcto funcionamiento de la pantalla y Arduino ya que para confirmarlo se necesita hacer pruebas reales con placa Arduino real y LCD real también eso lo que intento hacer en casa. En el anexo se adjuntan fotos de pruebas reales de esta placa.

3.1.3.3.2 simulación de MOSFET con micro

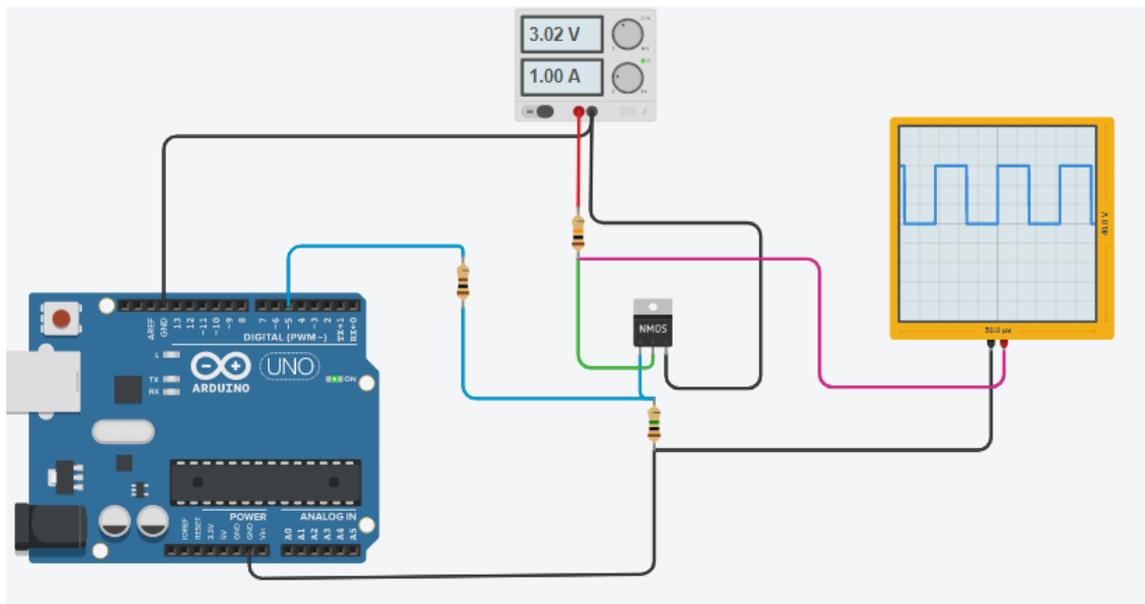


Figura 3.15 : simulación de control del MOSFET mediante salida PWM del Arduino

En esta simulación se simula un circuito de conmutación del MOSFET mediante una salida PWM para comprobar su funcionamiento a altas frecuencias ya que el Arduino en la salida analógica da una frecuencia de 62,5 kHz. Y como se ve en la puerta del MOSFET (en la simulación el pin izquierdo) se conecta una resistencia (valor grande entre 68 k hasta 1 Mega) entre la puerta y masa y otra resistencia de 100 Ohmios entre la salida del Arduino y la puerta porque el MOSFET no consume intensidad en la puerta solo funciona con tensión. En la gráfica se muestra la tensión en corte del MOSFET porque cuando está abierto el MOSFET no permite pasar intensidad por él.

3.1.3.4 Selección de componentes

3.1.3.4.1 Microcontrolador

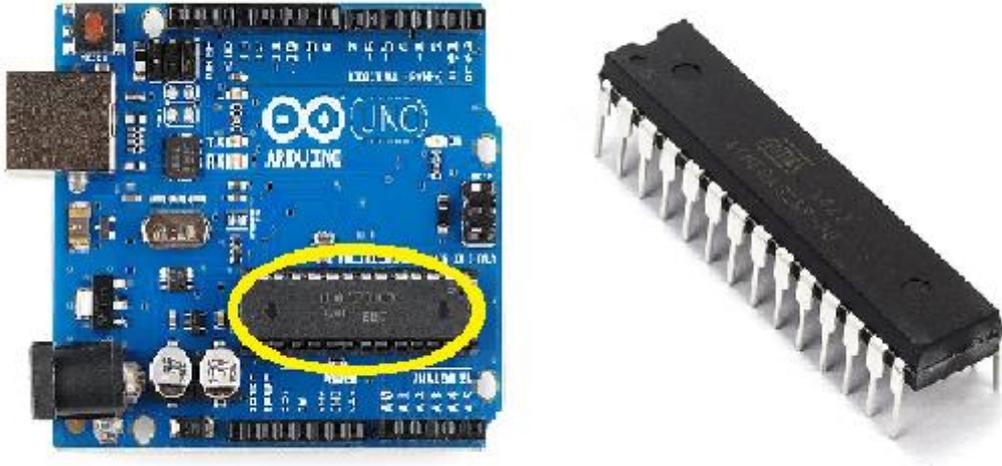


Figura 3.16 : imagen de Arduino y microcontrolador atmega 328P

El microcontrolador seleccionado para este proyecto es el Arduino uno y utiliza un microprocesador atmega 328P porque es un microcontrolador muy extendido actualmente y muy fácil de usar y programar. Utiliza un código abierto y tiene entorno de programación simple y directo, cualquier principiante en electrónica o programación puede manejarlo fácilmente. Utilizando el dicho microcontrolador o circuito integrado atmega 328P se puede fabricar placas caseras o integrarlo en cualquier diseño profesional. Para programarlo no se necesita ninguna licencia o complejidad solamente hay que instalar el entorno de Arduino y empezar a programar, para facilitar la programación el entorno contiene varios ejemplos de programas para probarlos o corregir otros programas.

El microcontrolador atmega 328P tiene 6 entradas analógica para captar señales analógicas de distintos sensores de la placa, pero se necesitan más entradas analógicas se busca otro microcontrolador que tiene más entradas analógicas como el Arduino mega o conectar otro microcontrolador atmega 328P. lo mismo que se ha dicho sobre entradas analógica se dice sobre salidas analógica y digitales porque el microcontrolador contiene 13 salidas que se pueden usar como salidas digitales pero hay 6 salidas que se pueden usar también como salidas analógicas.

Las salidas analógicas de este microcontrolador utilizan osciladores internos para dar una frecuencia en las salidas analógicas y para modificar la frecuencia de estas salidas se modifica los registros del microcontrolador donde llega la frecuencia máxima de los pines 5 y 6 hasta 62.5kHz y las otras salidas analógicas utilizan la mitad de esta frecuencia.

Para este proyecto se integra el microcontrolador de Arduino uno en la placa final para aprovechar el espacio y poder modificar sus pines de entradas y salidas y ahorrando la cantidad de cables entre la placa de Arduino y la placa final. En el anexo se adjunta la fecha de características del circuito integrado atmega 328P utilizado en la placa final.

3.1.3.4.2 Pantalla LCD



Figura 3.17 : pantalla LCD 16x2

La pantalla seleccionada para este proyecto es una pantalla LCD de dos líneas y en cada línea hay 16 caracteres, se selecciona este componente porque satisface todas las necesidades de la visualización de las magnitudes de la placa. Hoy en día este tipo de pantallas se usa muchísimo porque es muy barato y muy fácil de manejar ya que hay muchas librerías que facilitan la programación para conectarlas con Arduino.



La pantalla tiene cuatro cables para recibir datos del Arduino y se puede subir o bajar el brillo de la pantalla y también control del contraste de las letras mediante un potenciómetro se conecta con la pantalla. El único inconveniente que tiene esta pantalla es que ocupa mucho espacio y por se va en una esquina encima de la placa final del proyecto.

3.1.4 Rectificador

3.1.4.1 Definición

Es un circuito de potencia que utiliza dispositivos electrónicos de material semiconductor para transformar corriente alterna que tiene el voltaje variable con el tiempo y tiene componentes positivos y negativos con un valor medio cero a corriente continua que también tiene el voltaje variable, pero con el valor medio de la tensión positivo. Se necesita una etapa después del rectificador que se llama filtrado para tener en la salida una tensión casi constante y con un valor medio más alto que la salida del rectificador.

Se considera una forma muy barata y fácil para convertir corriente alterna a corriente continua ya que no utiliza muchos componentes complejos como las fuentes conmutadas que necesitan circuitos integrados para hacer la conversión, solo utiliza 4 diodos normales para rectificar las ondas de la corriente alterna y un condensador electrolítico para filtrar las ondas y convertirlas a un valor constante.

Este circuito tiene varias ventajas como es que este circuito es más barato comparado con otros, es sencillo de montar ya que no requiere componentes complejos, es sencillo de calcular por ejemplo cálculo del rizado en la tensión de salida porque este circuito no genera una tensión estable perfecta, la ventaja más importante de este circuito es que no ocupa mucho espacio y esto resulta que la placa final va a tener menos dimensiones. La desventaja de este circuito es que los diodos de rectificación consumen una determinada tensión normalmente 0.7 voltios y esta tensión puede afectar en la de salida si trabaja con una tensión pequeña por ejemplo en este proyecto la tensión de entrada es 12 voltios de aerogenerador y la tensión de salida es 5 voltios y por eso cuando se hacen los cálculos hay que tenerlo en cuenta.

3.1.4.2 Funcionamiento

El funcionamiento de este circuito se va a dividir en dos partes una parte es la parte de rectificación y la otra parte es del filtrado de la señal de salida rectificada

3.1.4.2.1 Rectificación

El componente más importante en esta parte es el diodo y su funcionamiento consiste en que conduce la corriente solo en un sentido desde el ánodo hasta el cátodo y se comporta como un interruptor abierto y al contrario se comporta como un interruptor cerrado esto significa que el diodo permite el paso de la corriente cuando la señal entre el ánodo y el cátodo es positiva y es mayor de 0.7 voltios.

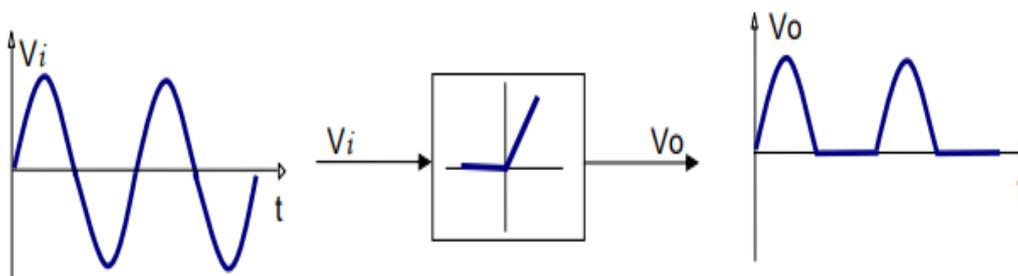


Figura 3.18 : rectificador de media onda

Como se ve en la figura 3.18 el rectificador de media onda utiliza un diodo y solo deja pasar la parte de la señal positiva cuando es mayor que 0.7 voltios y para resolver este problema se usan 4 diodos en forma de puente para dejar pasar la parte positiva e invertir la parte negativa de la señal esta inversión se llama rectificador de onda completa. Existe otro rectificador de onda completa que utiliza solo dos diodos, pero necesita un transformador de toma intermedia por eso se descarta esta opción y se elige la opción del puente de 4 diodos, el circuito rectificador de onda completa tiene dos formas de funcionamiento cuando la señal es positiva y cuando la señal es negativa y en la siguiente figura 3.19 se muestra cómo se conecta el puente de diodos tanto en la fuente de corriente alterna como en la carga.

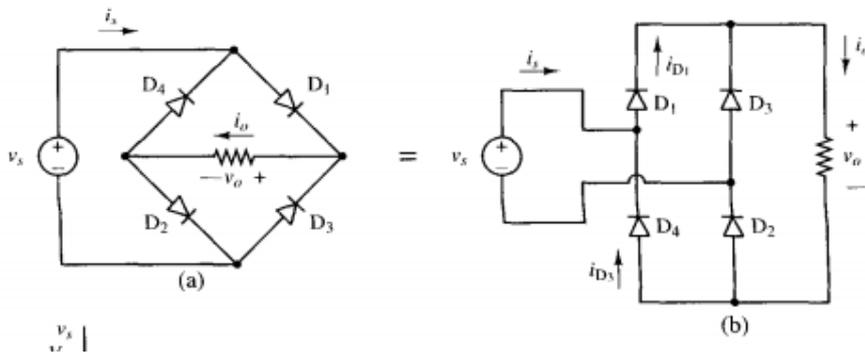


Figura 3.19 : rectificador de onda completa sacado de libro de electrónica de potencia

I. Semiciclo positivo

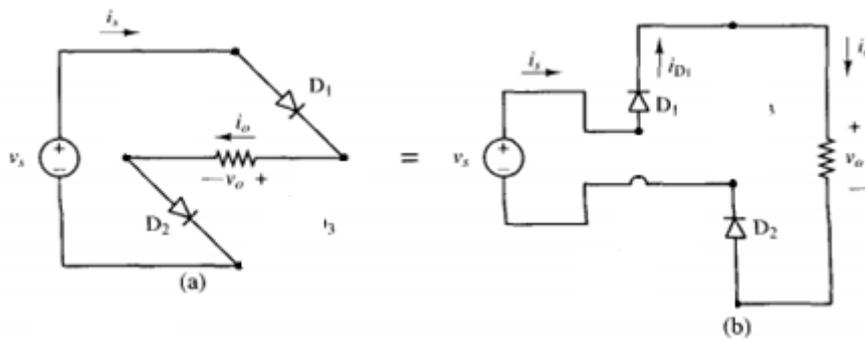


Figura 3.20 : camino de corriente durante el semiciclo positivo

Durante el semiciclo positivo de la señal alterna y como se ve en la figura 3.20 solo conducen los diodos D1 y D2 dejando pasar la corriente a través de ellos comportando como interruptores cerrados. Los diodos D3 y D4 no conducen y se comportan como interruptores abiertos por eso han sido borrados. Se muestra en la figura también el camino simplificado de la corriente en esta etapa. Los diodos D1 y D2 están polarizados en directa y los diodos D3 y D4 están polarizados en inversa.

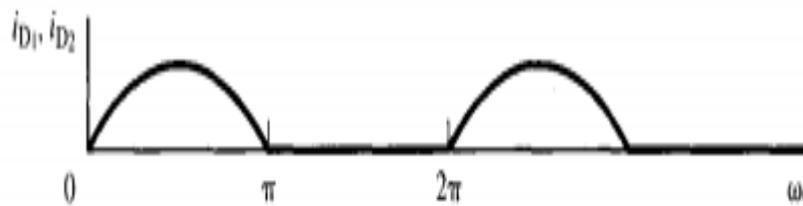


Figura 3.21 : la señal de la intensidad que atraviesa los diodos D1 y D2

II. Semiciclo negativo

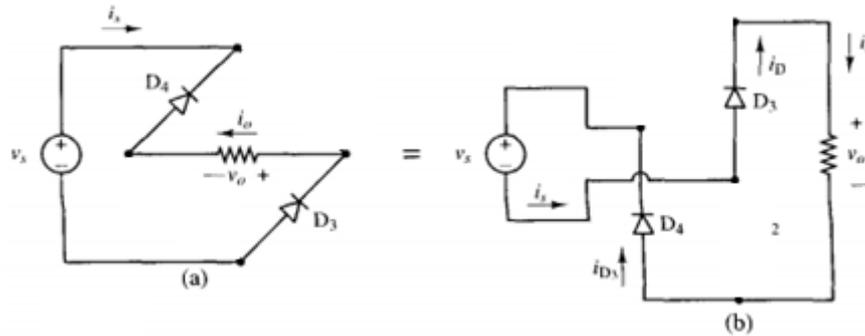


Figura 3.22 : camino de corriente durante el semiciclo negativo

En esta etapa se invierte el funcionamiento de los diodos, ahora conducen los diodos D3 y D4 y se polarizan en directa dejando la corriente pasar al través de ellos comportando como interruptor cerrado y al contrario del anterior los diodos D1 y D2 que han sido borrados en la figura 3.22 se polarizan en inversa comportando como interruptor abierto.

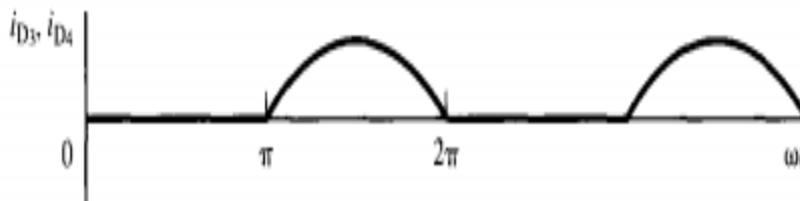


Figura 3.23 : la señal de la intensidad que atraviesa los diodos D3 y D4

Sumando las señales de la corriente de los semiciclos positivos y negativos da la señal del puente completo y como se ve en la siguiente figura aumenta considerablemente el valor medio de la tensión de salida, pero, aunque así la señal sigue sin la perfección que se necesita para ser reducida con un reductor de tensión y para eso se necesita una etapa de filtrado de tensión que se estudia en el siguiente circuito. En la siguiente figura 3.24 se muestra la tensión en la entrada y en la salida de un puente de diodos.

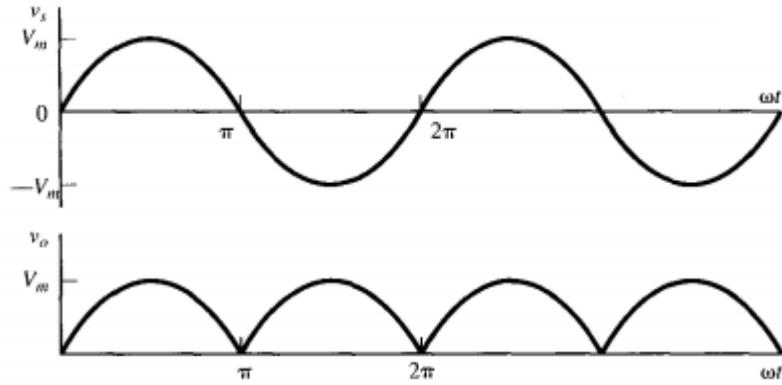


Figura 3.24 : señal de entrada y salida del puente de diodos

3.1.4.2.2 Filtrado

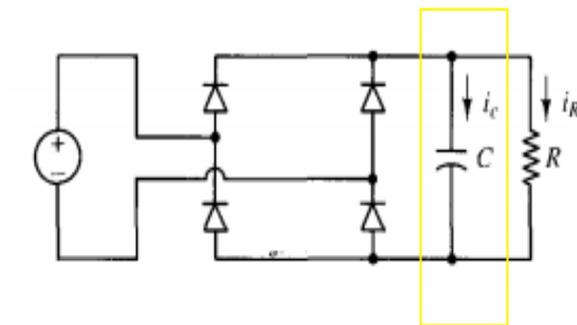


Figura 3.25 : rectificador de onda completa con filtro por condensador

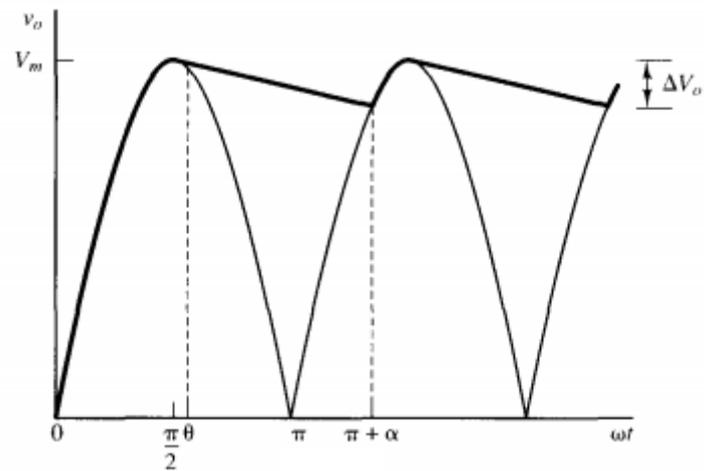


Figura 3.26 : señal de la salida con filtro



Esta parte del circuito transforma la señal de salida del rectificador que tiene una señal variable con el tiempo, pero la señal sigue siendo continua porque siempre tiene un único sentido y para mejorarlo se filtra mediante un filtro basado en un condensador de gran capacidad que se pone en paralelo con la carga (normalmente se usa un condensador electrolítico de gran capacidad). Cuando más capacidad tiene el condensador, más perfecta es la señal de salida porque el condensador funciona como fuente de energía durante el periodo de escasez de energía.

En la figura 2.33 se muestra la señal de la salida y como se ve el condensador se carga durante el periodo de aumento de la tensión para que almacene energía y entregarla cuando empiece a bajar la tensión de la salida del rectificado y mantener la corriente estable en la carga eso implica que la carga mantiene una tensión no es perfecta, pero es casi eso depende del tamaño del condensador y especificación del cliente por ejemplo la cantidad de rizado permitida en el circuito. Por eso se necesita calcular la capacidad del condensador y sabiendo la tensión máxima del circuito se puede elegir que condensador sirve para el sistema. Normalmente se usa el condensador electrolítico en estos circuitos.

Para calcular la capacidad del condensador del filtro se usa la siguiente fórmula

$$C = \frac{I_T}{2 * f * \Delta V_{pp}} \quad (Ec 3.7)$$

Donde

- C es la capacidad del condensador.
- I_T es la intensidad total de la carga.
- f es la frecuencia de la señal en la entrada del rectificador.
- ΔV_{pp} es el valor de pico a pico de la tensión de rizado deseado por el cliente.

3.1.4.3 Simulación

3.1.4.3.1 Simulación del rectificador

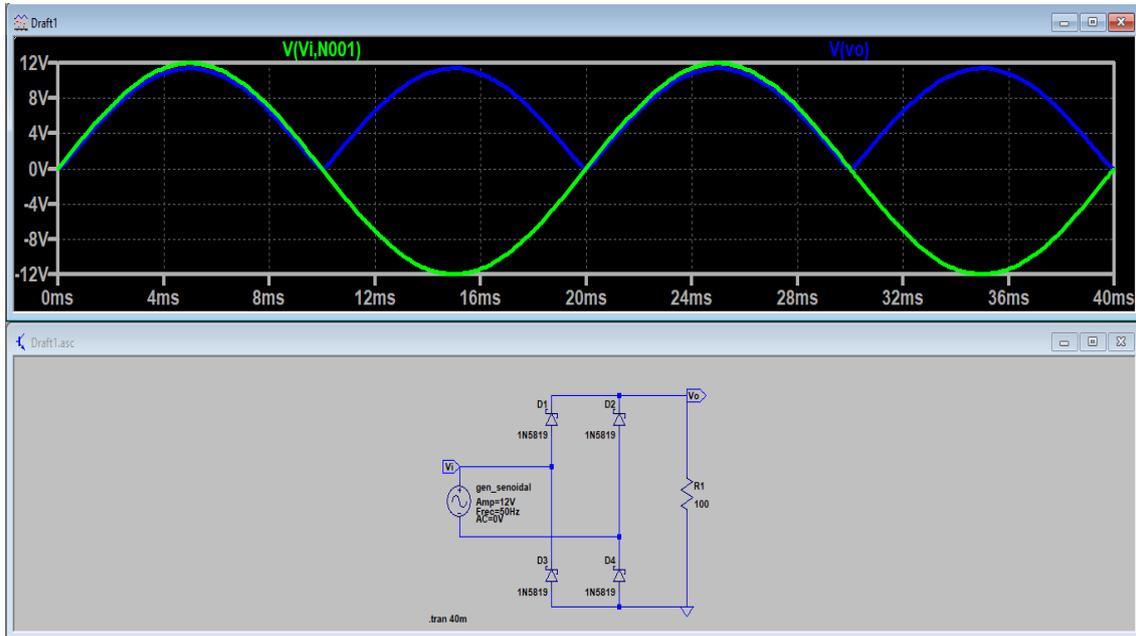


Figura 3.27 :simulación del circuito rectificador en Ltspice

La simulación se ha hecho en Ltspice porque es fácil de manejar y fácil para analizar las señales instantáneas. Como se ve en las señales de la salida, la señal verde es la señal de entrada del rectificador que viene del aerogenerador. La señal azul es la señal de salida del rectificador. El valor máximo de la señal de salida es menor que el valor máximo de la señal de entrada y eso debido a que los diodos tienen una pérdida de tensión debido a la barrera interna del diodo y para bajar esta pérdida se usan los diodos shottky que tienen una tensión menor que los diodos normales y también son muy rápidos comparados con otros diodos.

En la simulación sustituimos el aerogenerador por una fuente de alimentación de 12 voltios de corriente alterna y como ya se conoce tiene un valor medio de casi 0 voltios, pero en la salida el valor medio aumenta a casi 7 voltios ya se ha invertido la parte negativa de la señal. La frecuencia de la salida es el doble del valor de frecuencia de entrada.

3.1.4.3.2 Simulación del filtro

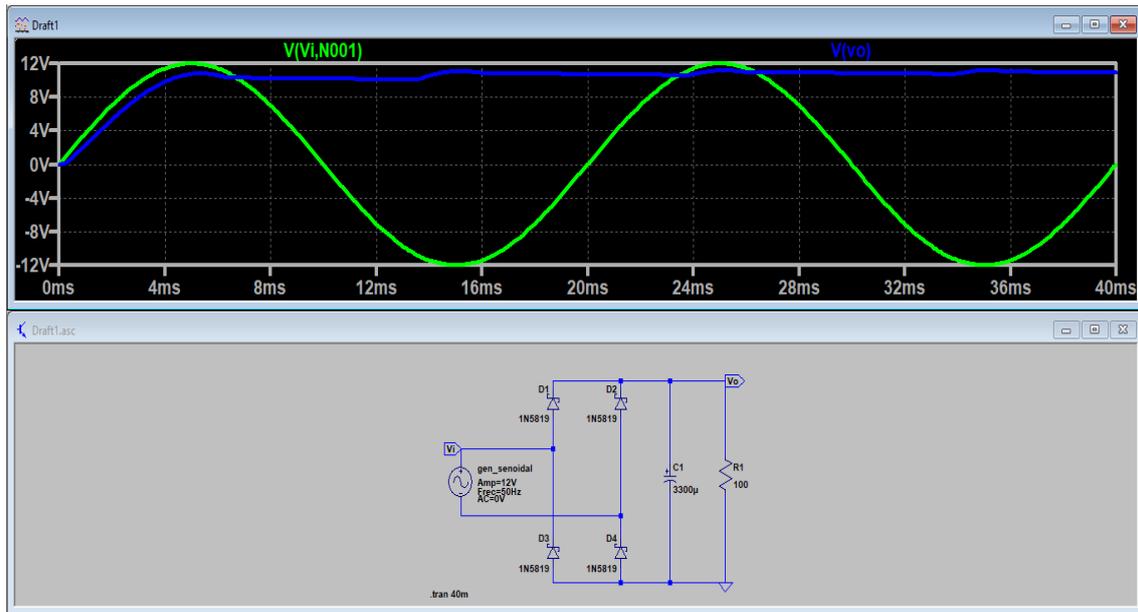


Figura 3.28 : simulación del rectificador con filtro por condensador

La señal con el filtro sale mejor y más estabilizada respecto al interior sin filtro ya que el condensador es como un barril para almacenar energía y entregarla en el descenso de la tensión. El condensador puesto es electrolítico con un valor de 3300 microfaradios y es un condensador grande. En la salida genera un rizado de casi 700 milivoltios de pico a pico, pero el valor medio de la tensión aumenta hasta 10 voltios.

3.1.4.4 Selección de componentes

3.1.4.4.1 Puente de diodos

Para hacer el puente de diodos se selecciona un diodo de shottky 1N5819 que tiene una tensión de barrera muy baja casi 0.5 voltios y además tiene una conmutación muy rápida. Para eso se seleccionan 4 diodos y en el diseño de PCB se hace un puente manualmente. Ha sido explicado sus características en el circuito reductor de tensión.

3.1.4.4.2 Condensador

El condensador seleccionado para el filtro es tipo electrolítico de gran capacidad. Es un condensador polarizado y por eso hay que ser cuidadoso en el momento de diseño y el montaje del circuito porque este tipo de condensadores se

explota en caso de sobretensión. Es de la empresa KEMET y tiene una capacidad de 3300 microfaradios y aguanta una tensión de 32 voltios.

3.1.5 Alimentación

3.1.5.1 Definición

El sistema de control y visualización contiene componentes que necesitan energía para mantener el circuito en funcionamiento continuo y para eso se diseña este circuito que es un circuito de potencia. Es un circuito muy simple que sirve para mantener una tensión estable independientemente de la tensión de la entrada siempre que la tensión de entrada sea mayor de que necesita los componentes de control y visualización como el microcontrolador y la pantalla LCD.

Es un circuito muy básico que necesita tres componentes uno es un circuito integrado se llama LM7805 y dos condensadores cerámicos para filtrar las señales de alta frecuencia. Este tipo de circuitos se utiliza para reducir la tensión de la placa solar a una tensión de alimentación de los componentes de control y visualización porque estos elementos no consumen mucha intensidad y por eso no hay muchas pérdidas en circuito integrado.

3.1.5.2 Funcionamiento

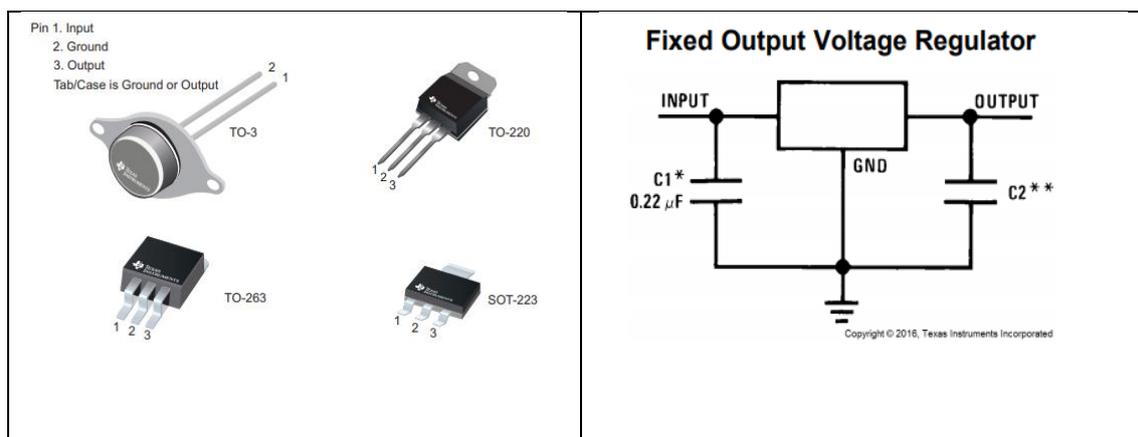


Figura 3.29 : imagen del circuito integrado con su esquema sacado del datasheet

El funcionamiento de este circuito es muy sencillo ya que todo el funcionamiento lo hace el circuito integrado que contiene componentes semiconductores como transistores que reducen la tensión. La tensión de entrada tiene que estar como la tensión de salida más 2 voltios para que el circuito puede reducir la tensión correctamente. El circuito integrado tiene tres terminales, el primero es

CAPITULO 3 : ARQUITECTURA DEL SISTEMA

el terminal de la tensión de entrada y para este circuito integrado tiene que ser entre 7 y 35 voltios, el segundo terminal es de la masa y el tercer terminal es la tensión de salida que alimenta de los otros componentes de control y visualización. Este circuito utiliza un condensador de 220 nanoFaradios en la entrada y un condensador de 100 nanoFaradios para eliminar las pequeñas variaciones de alta frecuencia en la tensión de entrada y salida.

3.1.5.3 simulación

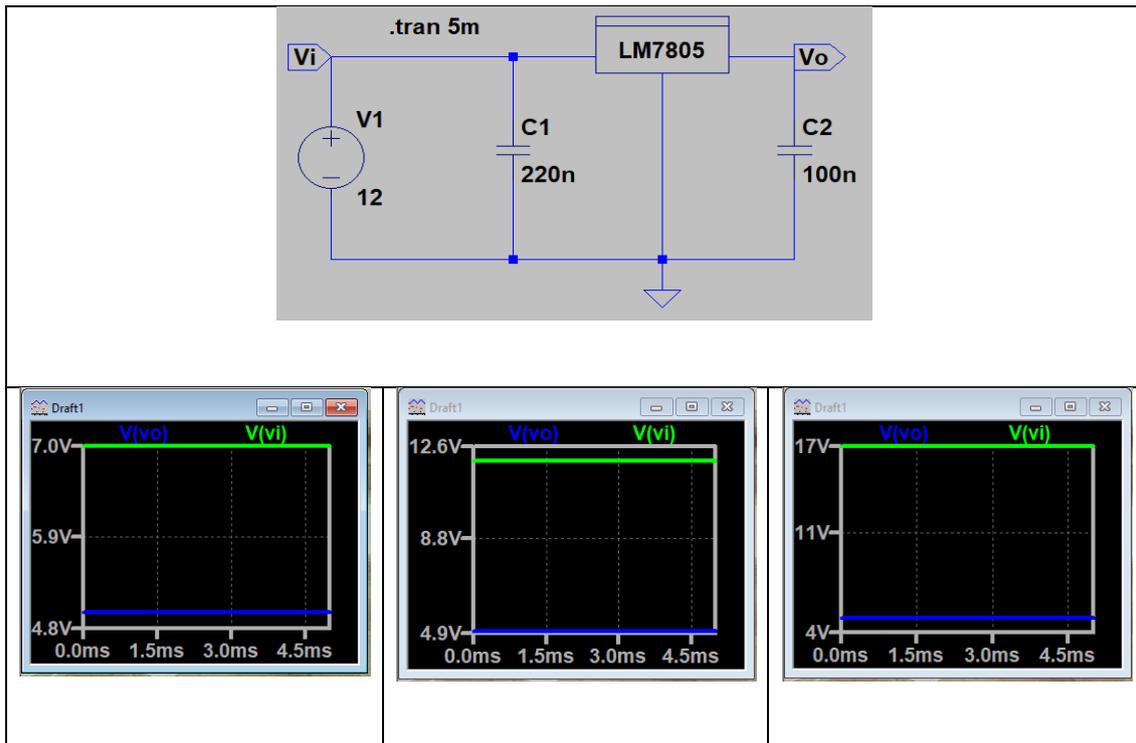


figura 3.30 :simulación del LM7805 con diferentes tensiones de entrada

como se ve las simulaciones del circuito integrado LM7805 en Ltspice independientemente de la variación de la tensión de entrada, la tensión de salida mantiene su valor siempre que la tensión de entrada sea superior a la salida con 2 voltios. La tensión de entrada necesaria para el funcionamiento de este circuito integrado es ente 7 y 35 voltios. Cuando más diferencia de tensión entre la entrada y la salida más potencia tiene disipar el circuito integrado eso resulta que hay que poner un disipador de tensión para bajar su temperatura y evitar problemas al circuito entero.



3.1.5.4 Selección de componentes

3.1.5.4.1 LM7805

Es el componente más importante de este circuito y este tipo está muy extendido en el mercado, sobre todo es muy barato y tiene varios tipos de encapsulados. Por eso se puede seleccionar cualquier circuito integrado con referencia de LM7805 de cualquier fabricante siempre que sea más económico al proyecto.

3.1.5.4.2 Condensadores

Los condensadores seleccionados para este circuito son dos condensadores cerámicos de 100 y 220 nanoFaradios con una tensión máxima de 20 voltios para filtrar las tensiones de entrada y salida. se puede elegir cualquier condensador de cualquier fabricante siempre que cumple con las características pedidas y que sea más económico.

3.1.6 Sensores de tensión e intensidad

Para hacer la realimentación del circuito de control y mantener una tensión fija en la salida se necesita medir la tensión de la salida en todos los momentos y por eso se explica cómo se va a medir la tensión de la salida. también sirven para proteger la batería de sobrecargas. En esta parte se va a explicar cómo se va a medir la intensidad que atraviesa la batería para evitar daños a la batería durante el proceso de carga.

3.1.6.1 Medida de tensión

Para medir la tensión no se necesita ningún sensor porque la batería de la salida tiene una tensión de 5 voltios y por eso se usa la entrada analógica del microcontrolador para medir la tensión directamente para ser mostrada en la pantalla LCD y para controlar la señal de control de la entrada del reductor de tensión.

3.1.6.2 Medida de intensidad

Para medir la intensidad se utiliza la fórmula de la ley de ohm que relaciona entre tensión, intensidad y resistencia. Se usa una resistencia con una



resistencia muy baja para no que no disipe mucha energía y se mide las tensiones de entrada y salida mediante las entradas analógicas del microcontrolador y aplicando la ley de ohm se calcula la intensidad que atraviesa la resistencia y como está conectada en serie con la batería es la misma que carga la batería.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{V_i - V_s}{R} \quad (\text{Ec 3.8})$$

Donde

- I es la intensidad que atraviesa la resistencia.
- $V = V_i - V_s$ es la diferencia de potencial entre terminales de la resistencia.
- R es el valor nominal de la resistencia.

3.2 DESARROLLO DE SOFTWARE

3.2.1 Introducción

Para completar el funcionamiento del proyecto la placa final contiene componentes que necesitan un software o programas para que el sistema de control de las tensiones adecuadas en la salida de la placa y por eso se usa el microcontrolador con código abierto Arduino porque es más fácil de programar ya que tiene muchas librerías que se pueden descargar por internet que te facilitan el programa del sistema. En esta parte se usan los conocimientos de asignaturas de sistemas basadas en microprocesador que maneja todo relacionado con los registros de microprocesador como la interrupción y los timers del Arduino y la asignatura de microrrobótica que utiliza el Arduino en sus proyectos.

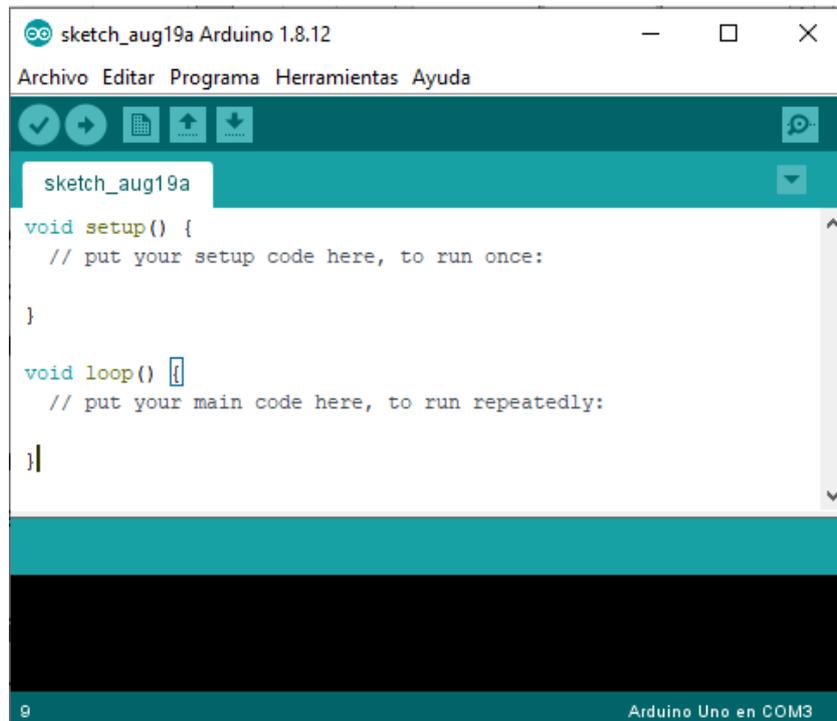


Figura 3.31 : entorno de programación de Arduino

El entorno que se usa para la programación se usa el IDE de Arduino que se puede descargar por la página de Arduino. Es un sistema de código abierto que se puede modificar por cualquiera. Es muy fácil de usar ya que tiene muchos ejemplos dentro del IDE y también se puede agregar varias librerías. En la siguiente figura se muestra el entorno de programación. La parte de setup es la parte de programa que se ejecuta solamente una vez y es donde se hacen distintos tipos de configuración, por ejemplo, configuración entradas y salidas. La parte de loop es la parte de programa que se repite indefinidamente hasta que se apaga el sistema. Las variables se pueden declarar en cualquier parte del entorno de programación. La parte que esta abajo es donde aparecen los errores durante la compilación del programa.

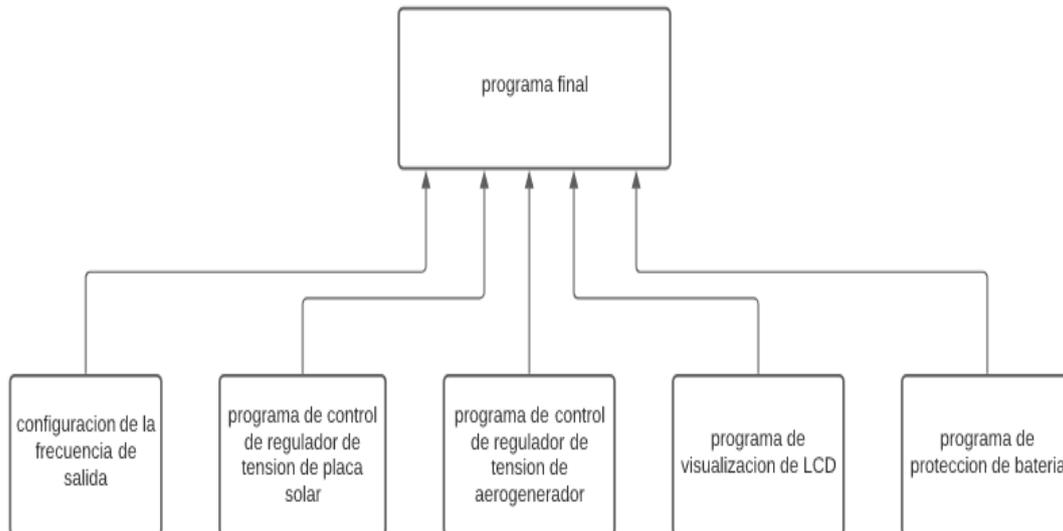


Figura 3.32 : partes del programa del Arduino

Como se ve la figura anterior el programa principal está constituido por varias partes y cada parte utiliza determinadas entradas y salidas que son analógicas y digitales. También hay partes que necesitan varias configuraciones para hacer su función correctamente.

3.2.2 Configuración de la frecuencia de salida

3.2.2.1 Definición

Normalmente las salidas analógicas (PWM) del Arduino tiene una frecuencia determinada que viene por defecto en cada salida porque el Arduino tiene varios timers. Cada dos salidas tienen un timer independiente, por ejemplo, las salidas 5 y 6 tienen el timer 0 que tiene un valor de frecuencia por defecto de 977 Hercios, las salidas 9 y 10 tienen el timer 1 con un valor de frecuencia por defecto de 490 Hercios y las salidas 3 y 11 que tienen el timer 2 y el mismo valor que el timer anterior.

Para cambiar la frecuencia de las salidas PWM se usa mediante el manejo de los registros de los timers durante la programación del Arduino, todos los timers tienen una frecuencia máxima, la frecuencia máxima de los timers 1 y 2 es 31250 Hercios y la frecuencia máxima del timer 0 es 62500 Hercios y es la necesaria para el funcionamiento para el control del MOSFETs de los reguladores

CAPITULO 3 : ARQUITECTURA DEL SISTEMA

de tensión. Los timers tienen unos registros donde se puede modificar sus funciones, por ejemplo, modificar su frecuencia mediante valores que se llaman preescalados. En la siguiente foto se muestra un ejemplo del registro de timer 1.

TCCR1A – Timer/Counter1 Control Register A									
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x80)	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	–	–	WGM11	WGM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

TCCR1B – Timer/Counter1 Control Register B									
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x81)	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 3.33 : ejemplo del registro timer 1

Como se ve en la figura anterior para variar la frecuencia hay que cambiar los últimos 3 bits menos significativos y los otros bits del registro se deja como estaba antes ya que el Arduino tenía el timer activado a una frecuencia determinada que venía por defecto.

3.2.2.2 Programa de variación de frecuencia

```
sketch_aug18a Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_aug18a $
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000001;
  pinMode(5, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);
}

void loop() {
  analogWrite(5,150);
  analogWrite(6,150);
}
13 Arduino Uno en COM3
```

Figura 3.34 : programa de variación de frecuencia de PWM de pines 5 y 6

Como se ve la figura anterior la configuración de la frecuencia de los PWM de las salidas 5 y 6 se hacen en la parte de programa que se llama setup y es la parte que se ejecuta solo una vez y es donde también se configuran las salidas 5 y 6 como salidas analógicas.

3.2.3 Programa de protección de la batería

3.2.3.1 Definición

Programa de protección de la batería consiste en proteger la batería de posibles sobrecargas que pueden ocurrir durante la carga de la batería ya que tiene dos suministros de energía. La carga de la batería es proporcional con la tensión eso significa que midiendo la tensión de la batería se puede medir el estado de carga de batería y por eso se usa una entrada analógica para medir la tensión de la batería en todos los momentos y cuando el programa detecta que la tensión ha llegado y la máxima corta el suministro de energía a la batería evitando problemas a la batería como explosiones o incendios.

CAPITULO 3 : ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En el programa se mide la tensión de la batería en todos los momentos con la entrada analógica y los compara con la tensión máxima o tensión carga completa y si se acerca a esta tensión se detiene el sistema esto se hace parando los MOSFETs de los reguladores de tensión poniendo el valor de PWM en valor nulo.

3.2.3.2 Programa

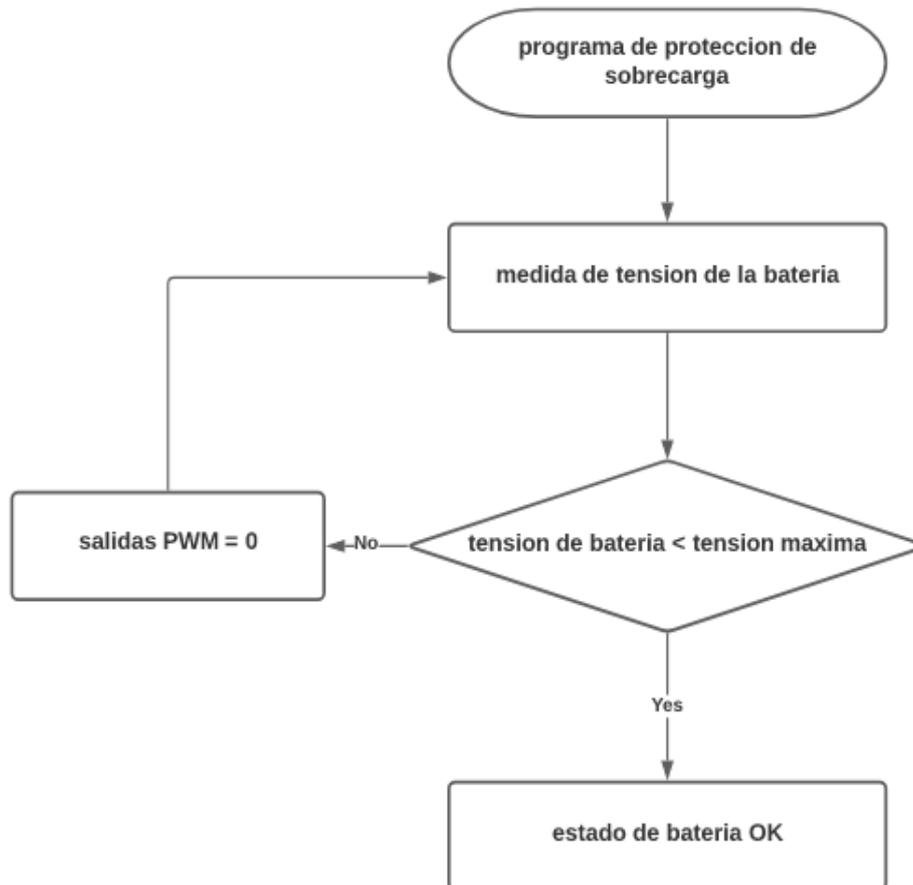


Figura 3.35 : diagrama de flujo de programa de protección de baterías

En la figura anterior se explica el funcionamiento de la parte de protección de la batería media diagrama de bloques donde lo primero que hace es medir la tensión de la batería y después compara con la tensión máxima que soporta la batería si es menor se sigue cargando la batería y si llega a la máxima se para el proceso de carga.

3.2.4 Programa de visualización de LCD

3.2.4.1 Funcionamiento

Esta parte de programa se muestra en la pantalla LCD valores de tensión e intensidad medidos en la batería. La pantalla LCD tiene dos líneas y en cada línea tiene 16 dígitos. En la primera línea se muestra el valor de la tensión y en la segunda línea se muestra el valor de la intensidad. no se utiliza ningún bucle o programación muy avanzada ya que la librería facilita muchísimo la programación de esta parte.

Lo importante de esta parte es que los valores no se van a mostrar en cada instante por cuestiones de energía, sino que se va a actualizar en un determinado tiempo depende de lo que se programa o las necesidades del consumidor, y para eso se utiliza una interrupción que salta en un tiempo programado. El contador de timer 1 aprovecha su desbordamiento para que se salte a la interrupción en una determinada frecuencia o tiempo (la frecuencia es la inversa del tiempo). Otra cosa que se usa en esta parte es la librería de la pantalla LCD que facilita mucho el manejo de la pantalla dentro del programa porque ya vienen ejemplos hechos con la pantalla.

3.2.4.2 Programa

```
sketch_aug20a $
#include <LiquidCrystal.h>
const int rs = 12, en = 11, d4 = 7, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
double valor1 ;
double valor2 ;
void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.print("visualizacion!");
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  // Configuração do timer1
  TCCR1A = 0; // El registro de control A queda todo en 0, pines OC1A y OC1B deshabilitados
  TCCR1B = 0; //limpia el registrador
  TCCR1B |= (1<<CS10)|(1<<CS12); // configura prescaler para 1024: CS12 = 1 e CS10 = 1
  TCNT1 = 0xBDD; // inicia timer para desbordamiento 1 segundo
  // 65536-(16MHz/1024/1Hz - 1) = 49912 = 0xC2F8
  TIMSK1 |= (1<<TOIE1); // habilita la interrupcion del TIMER1
}
```

Figura 3.36 : configuración del programa de visualización



En las primeras líneas se configuran la librería utilizada y los pines del Arduino conectados con la pantalla LCD y también se declaran los variables de tipo double ya que los valores de tensión e intensidad son valores con cifras decimales. Dentro del setup se inicializa la pantalla y se hace la configuración del timer 1, donde se configura el tiempo necesario para saltar la interrupción con la siguiente formula

$$R = D - \left(\frac{f_A * f_N}{Pr} - 1 \right) \quad (Ec 3.9)$$

Donde :

- R es el valor de donde se desborda el contador del timer.
- D es el valor máximo del contador del timer.
- f_A es la frecuencia del oscilador.
- f_N es la frecuencia deseada por usuario.
- f_N es el prescaler seleccionado en el programa.

El resultado se transforma a un número hexadecimal y se pone en registro TCNT1 para compararlo con el valor del contador del timer y cuando dicho contador llega a este valor se reinicia y se salta la interrupción.

```
sketch_aug20a$  
void loop()  
{  
  valor1 = analogRead(A0);  
  valor2 = analogRead(A1);  
}  
ISR(TIMER1_OVF_vect) //interrupcion del TIMER1  
{  
  TCNT1 = 0xBDC; // Renicia TIMER  
  digitalWrite(ledPin, digitalRead(ledPin) ^ 1); //invierte el estado do led  
  lcd.setCursor(0,0);  
  lcd.print("tension  :");  
  lcd.print(valor1);  
  lcd.print("V");  
  lcd.setCursor(0,2);  
  lcd.print("intensidad:");  
  lcd.print(valor2);  
  lcd.print("A");  
}
```

Figura 3.37 : ciclo fijo y la interrupción del programa de visualización

Se puede resumir que la pantalla solo se actualiza en un determinado tiempo esto puede ser muy útil para evitar solapamientos entre distintas partes del programa y además la pantalla va a tener un interruptor de encendido para que se encienda solamente cuando el usuario quiere comprobar o ver los valores de la batería. También se puede bajar el brillo de la pantalla con un potenciómetro que se conecta con la pantalla para ahorrar el consumo del sistema.

3.2.5 Programa de control del regulador de tensión de placa solar

3.2.5.1 Definición

Con este programa se pretende aprovechar al máximo la energía extraída de la placa solar mediante el algoritmo del seguidor del punto máximo de potencia. Esto se hace midiendo la intensidad que sale del regulador de tensión de la parte solar y compararlo con lo valor anterior.

Si el valor actual medido es mayor que el anterior entonces se aumenta el valor de PWM destinado al control del regulador de tensión y si el valor actual es menor que el anterior se disminuye el valor del PWM de control.

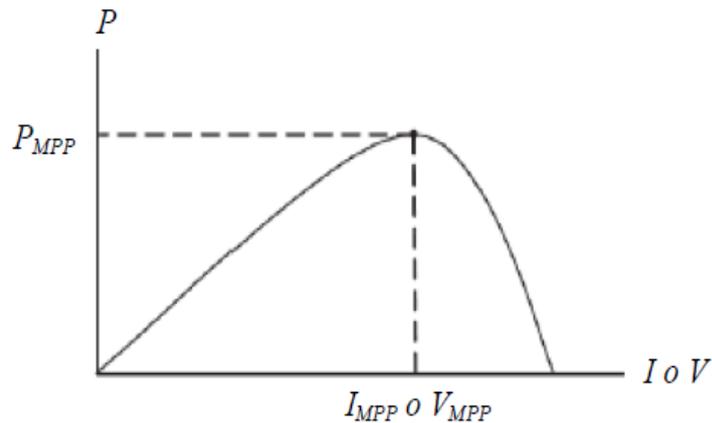


Figura 3.38 : grafica de P-I o P-V de una placa solar

Como se ve en la figura anterior la potencia se va incrementando con el incremento de la corriente y llega a un punto que se llama el punto máximo de potencia que es la máxima potencia que puede dar la placa solar, pero se sigue incrementando la corriente, la potencia va a empezar a bajarse por eso se hace el algoritmo que mantiene el funcionamiento de la placa alrededor del punto máximo de potencia para aprovechar la máxima potencia que puede dar la placa solar. En este programa se necesita leer los valores de la intensidad mediante el sensor de corriente que ha sido explicado en el desarrollo de hardware.

3.2.5.2 Programa

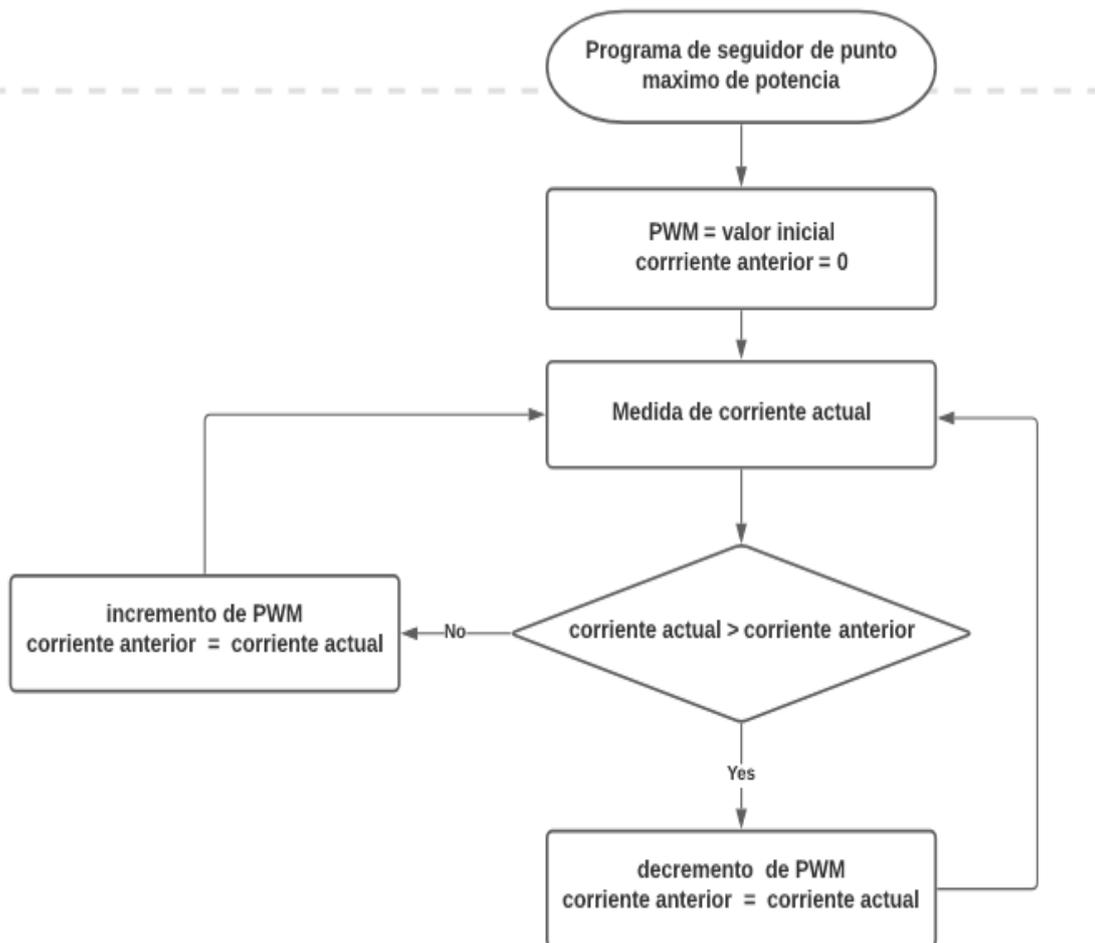


Figura 3.39 : diagrama de flujo de programa de control del regulador de tensión

En el diagrama de flujo se declaran tres variables la corriente actual, la corriente anterior y PWM. En el diagrama de flujo también se explica la función del programa de forma intuitiva y fácil de entender para que se interprete en el entorno del Arduino y se crea un programa con código para pasarlo al microcontrolador. Lo primero que se hace es dar un valor inicial a la salida de PWM que controla el regulador de tensión de la placa solar y también inicializar la corriente anterior en 0 ya que el sistema estuvo en reposo.

Después de eso se mide la corriente actual para que luego sea comparada con la corriente anterior y si el actual es mayor que el anterior eso significa que

la potencia entregada desde la batería está aumentando y eso resulta también que hay que aumentar el valor del PWM y si el actual es menor o igual a anterior eso implica que la potencia ha pasado la potencia máxima que puede dar la placa solar y por eso hay que mantener el funcionamiento alrededor de este punto. Cuando se incrementa o se decrementa el valor de PWM hay que sustituir el valor anterior por el actual porque se va a medir otro valor que va a ser actual. Este ciclo lo va a hacer durante todo el funcionamiento del circuito.

3.2.6 Programa de control del regulador de tensión del aerogenerador

3.2.6.1 Definición

En esta parte se va a utilizar el mismo algoritmo de la parte solar ya que también se necesita aprovechar lo máximo la energía generada por el aerogenerador. Se va a utilizar otro sensor que mide la corriente y el voltaje de la salida del regulador de tensión y se va a calcular la potencia actual.

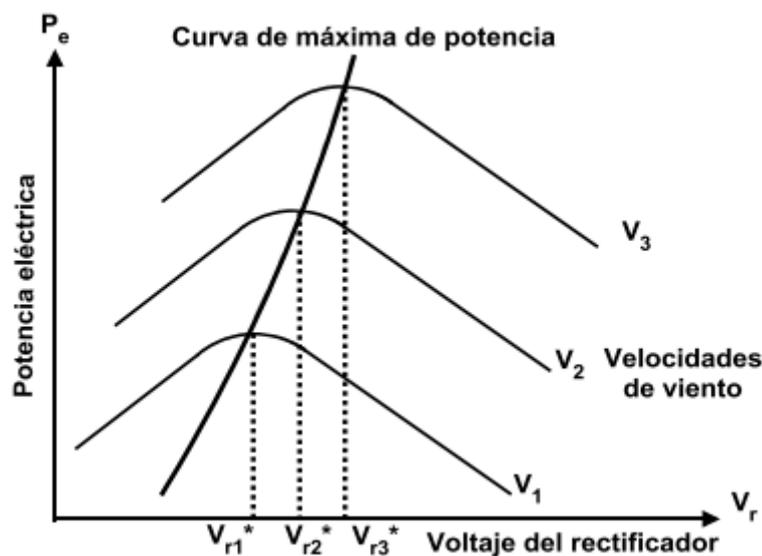


Figura 3.40 :grafica de la potencia generada frente a la tensión del generador a distintas velocidades de viento

Como se muestra en figura anterior la potencia aumenta cuando aumenta la tensión de salida del aerogenerador rectificadora pero esta potencia también aumenta cuando se aumenta la velocidad del viento como se ve en la figura 2.47, pero la tensión de rectificadora cambia muy poco, solo que el valor de máximo potencia se va desviando a la derecha dependiendo también de la velocidad del viento.

3.2.6.2 Programa

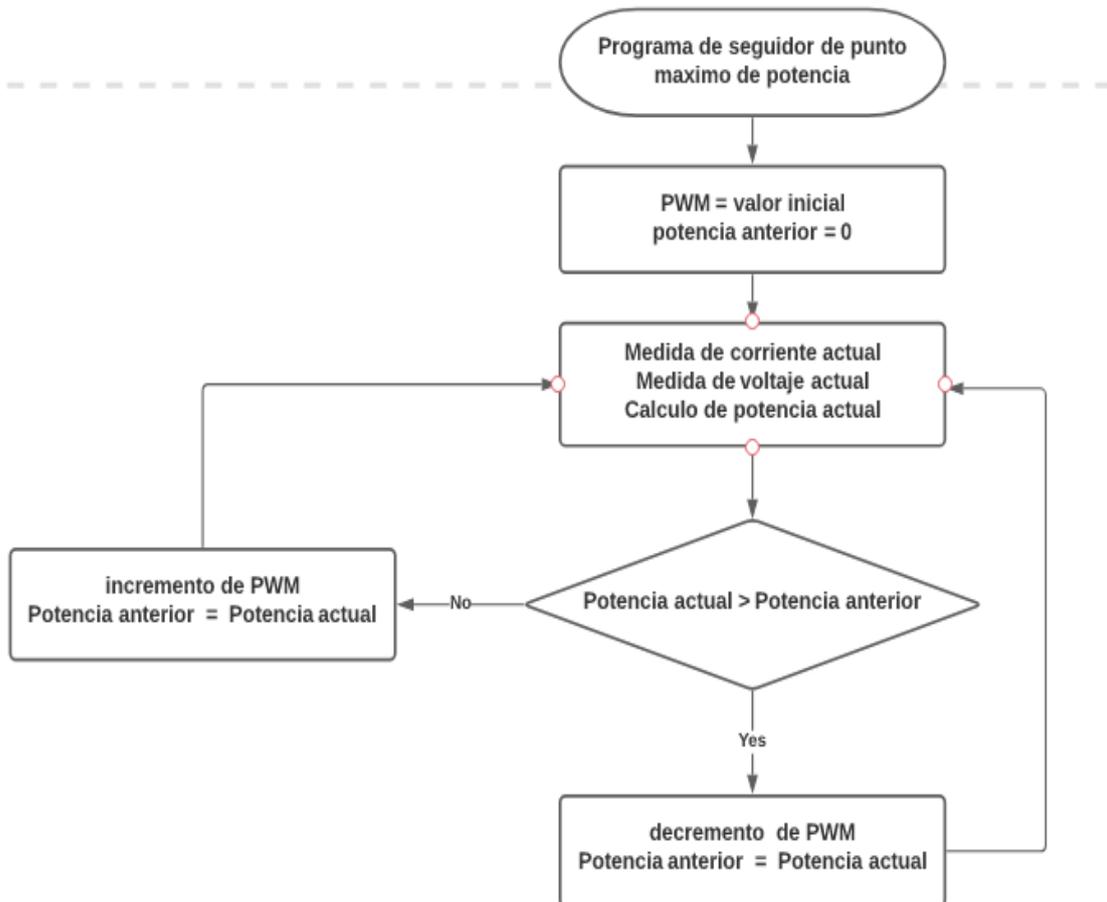


Figura 3.41 : diagrama de flujo de programa del seguidor de punto máximo de potencia

Como se ve el diagrama de flujo lo primero que hay que hacer es declarar tres variables 5 variables que son potencia actual, potencia anterior, corriente actual, voltaje actual y PWM. Se inicializa la potencia anterior a cero y el PWM a un valor elegido por el programador y que sea distinto a cero. En el siguiente



paso se mide la intensidad y voltaje con sensores de corriente y voltaje y se calcula la potencia actual multiplicando el valor de la corriente por el valor de voltaje.

El siguiente paso es comparar la potencia actual con la potencia anterior:

Si la potencia actual es mayor que el anterior eso significa que la potencia está incrementando esto resulta que todavía no está aprovechando la máxima potencia del aerogenerador, después se aumenta el valor de PWM que controla el circuito regulador de tensión.

Si la potencia actual es menor o igual que el anterior eso significa que ha llegado o ha pasado el punto de máxima potencia si sigue aumentando va a disminuir la potencia extraída del generador y por eso si decrementa el valor de PWM para mantener el funcionamiento del circuito alrededor del dicho punto.





4 ANEXOS

4.1 CALCULOS DEL SISTEMA

4.1.1 Cálculo de los componentes del regulador de voltaje

Se utiliza la ecuación 3.4 para calcular el ciclo de trabajo de cada circuito de los dos reguladores de la parte solar y la parte eólica, primero se calcula el ciclo de trabajo de la parte eólica ya que esta conocida la tensión de entrada y salida.

$$D1 = \frac{V_s}{V_i} = \frac{5}{12} = 0.4167$$

En la entrada del regulador eólico no está conectada directamente al aerogenerador y que entre ellos existe un sistema de rectificación y filtrada que implica una pérdida de tensión. Los diodos shottky tienen una pérdida de 0.5 voltios este dato fue sacado del datasheet del diodo. Y como en cada camino existen dos diodos las pérdidas son un voltio.

$$D2 = \frac{V_s}{V_i - 1} = \frac{5}{12 - 1} = 0.4545$$

Para calcular el valor de la bobina de los dos circuitos se utiliza primero el resultado de los ciclos de trabajo, la frecuencia de trabajo del PWM y el valor que se ha tomado como carga en este trabajo casi 10 ohmios

$$L1_{min} = \frac{(1 - D)R}{2f} = \frac{(1 - 0.4167) * 10}{2 * 62500} \cong 50 \mu H$$

$$L2_{min} = \frac{(1 - D)R}{2f} = \frac{(1 - 0.4545) * 10}{2 * 62500} \cong 50 \mu H$$



El valor seleccionado para la bobina de ambos circuitos es **100 uH (micro henrios)** ya que es mayor del valor mínimo calculado.

Otro componente que necesita calcular también es el condensador y se utiliza la fórmula 3.6. Los datos utilizados en esta fórmula son los valores de la bobina calculados anteriormente, los valores del ciclo de trabajo, el valor de la carga, la frecuencia seleccionada cuando se calculó la bobina y el valor de rizado que quiere tener en la salida que va a ser 0.5 % del valor de la salida.

$$C1 = \frac{1 - D}{8 * L * \left(\frac{\Delta V_S}{V_o}\right) * f^2} = \frac{1 - 0.4167}{8 * 0.0001 * (0.005) * 62500^2} \cong 40 \mu F$$

$$C2 = \frac{1 - D}{8 * L * \left(\frac{\Delta V_S}{V_o}\right) * f^2} = \frac{1 - 0.4545}{8 * 0.0001 * (0.005) * 62500^2} \cong 40 \mu F$$

Para los dos reguladores sale casi el mismo valor y por eso se elige un condensador con un valor comercial cerca del valor calculado anteriormente y el valor seleccionado es **100 uF (microfaradios)**.

4.1.2 Cálculo de disipador de LM7805

El consumo estimado del sistema de control y de visualización sacado de las datasheet de estos componentes es 50 miliamperios de Arduino uno y 25 miliamperios de la pantalla LCD y consideramos otras pérdidas de componentes es 25 miliamperios la suma total nos da casi 100 miliamperios. Con ese valor nos toca calcular la potencia disipada por el regulador lineal LM7805

$$P = (V_i - V_o) * I = (12 - 5) * 0.1 = 0.7 W$$

Cálculo de la temperatura máxima que llega la junta entre la carcasa de LM7805 y silicio

$$T_{max} = P(R_{THJC}) + T_{amb}$$

$$T_{max} = 0.7(65) + 25 = 70.5 C$$



Como se en los cálculos sale un valor muy inferior a la temperatura máxima que es 150 C y por eso no es necesario usar ningún disipador con el que tiene incluido es suficiente

4.1.3 Cálculo de disipador del MOSFET

Para calcular la potencia disipada por el MOSFET se necesita algunos datos que se sacan del datasheet del componente como la temperatura máxima que aguanta el componente que es 175 C, resistencia interna que es 0.04 ohmios, resistencia térmica del disipador que es 65 C/W y el valor de la tensión entre drenador y surtidor que prácticamente cero, pero se pone un valor aproximado sacado de la gráfica que está en el datasheet que es 0.1 V

$$P = I^2 * R_{MOS} + I * V = 1^2 * 0.04 + 1 * 0.1 = 0.14 W$$

Se aplica la misma la misma fórmula del LM7805 para calcular la temperatura máxima

$$T_{max} = P(R_{THJC}) + T_{amb}$$

$$T_{max} = 0.14 * (65) + 25 = 34.1 C$$

Como se ve en los cálculos la temperatura calculada del MOSFET es muy pequeña y por eso no es necesario poner ningún disipador.

4.2 DATASHEET DE LOS COMPONENTES

4.2.1 Datasheet del MOSFET IRF540



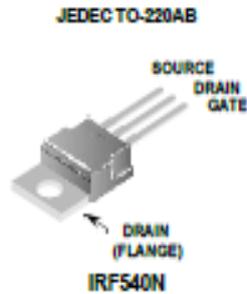
IRF540N

Data Sheet

January 2002

33A, 100V, 0.040 Ohm, N-Channel, Power MOSFET

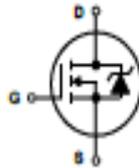
Packaging



Features

- Ultra Low On-Resistance
 - $r_{DS(ON)} = 0.040\Omega$, $V_{GS} = 10V$
- Simulation Models
 - Temperature Compensated PSPICE™ and SABER® Electrical Models
 - Spice and SABER® Thermal Impedance Models
 - www.fairchildsemi.com
- Peak Current vs Pulse Width Curve
- UIS Rating Curve

Symbol



Ordering Information

PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRF540N	TO-220AB	IRF540N

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ C$, Unless Otherwise Specified

	IRF540N	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1).....	100	V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1).....	100	V
Gate to Source Voltage.....	± 20	V
Drain Current		
Continuous ($T_C = 25^\circ C$, $V_{GS} = 10V$) (Figure 2).....	33	A
Continuous ($T_C = 100^\circ C$, $V_{GS} = 10V$) (Figure 2).....	23	A
Pulsed Drain Current.....	Figure 4	
Pulsed Avalanche Rating.....	Figures 6, 14, 15	UIS
Power Dissipation.....	120	W
Derate Above $25^\circ C$	0.80	W/ $^\circ C$
Operating and Storage Temperature.....	-55 to 175	$^\circ C$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s.....	300	$^\circ C$
Package Body for 10s, See Techbrief TB334.....	260	$^\circ C$

NOTES:

1. $T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$.

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.



IRF540N

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OFF STATE SPECIFICATIONS						
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$I_D = 250\mu\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 11)	100	-	-	V
Zero Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = 95\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$	-	-	1	μA
		$V_{DS} = 90\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $T_C = 150^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
Gate to Source Leakage Current	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20\text{V}$	-	-	± 100	nA
ON STATE SPECIFICATIONS						
Gate to Source Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	2	-	4	V
Drain to Source On Resistance	$r_{DS(ON)}$	$I_D = 33\text{A}$, $V_{GS} = 10\text{V}$ (Figure 9)	-	0.033	0.040	Ω
THERMAL SPECIFICATIONS						
Thermal Resistance Junction to Case	$R_{\theta JC}$	TO-220	-	-	1.25	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$		-	-	62	$^\circ\text{C/W}$
SWITCHING SPECIFICATIONS ($V_{GS} = 10\text{V}$)						
Turn-On Time	t_{ON}	$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = 33\text{A}$ $V_{GS} = 10\text{V}$, $R_{GS} = 9.1\Omega$ (Figures 18, 19)	-	-	100	ns
Turn-On Delay Time	$t_{d(ON)}$		-	9.5	-	ns
Rise Time	t_r		-	57	-	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{d(OFF)}$		-	40	-	ns
Fall Time	t_f		-	55	-	ns
Turn-Off Time	t_{OFF}		-	-	145	ns
GATE CHARGE SPECIFICATIONS						
Total Gate Charge	$Q_{g(TOT)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 20V	-	66	79	nC
Gate Charge at 10V	$Q_{g(10)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 10V				
Threshold Gate Charge	$Q_{g(TH)}$	$V_{GS} = 0\text{V}$ to 2V				
Gate to Source Gate Charge	Q_{gs}					
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}					
		$V_{DD} = 50\text{V}$, $I_D = 33\text{A}$, $I_{g(REF)} = 1.0\text{mA}$ (Figures 13, 16, 17)				
CAPACITANCE SPECIFICATIONS						
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{DS} = 25\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$, $f = 1\text{MHz}$ (Figure 12)	-	1220	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	295	-	pF
Reverse Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	100	-	pF

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Source to Drain Diode Voltage	V_{SD}	$I_{SD} = 33\text{A}$	-	-	1.25	V
		$I_{SD} = 17\text{A}$	-	-	1.00	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$I_{SD} = 33\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	112	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$I_{SD} = 33\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	-	-	400	nC

44-144

4.2.2 Datasheet de LM7805



LM340, LM340A, LM7805, LM7812, LM7815

SNOSBTDL – FEBRUARY 2000 – REVISED SEPTEMBER 2016

LM340, LM340A and LM7805 Family Wide V_{IN} 1.5-A Fixed Voltage Regulators

1 Features

- Output Current up to 1.5 A
- Available in Fixed 5-V, 12-V, and 15-V Options
- Output Voltage Tolerance of $\pm 2\%$ at $T_J = 25^\circ\text{C}$ (LM340A)
- Line Regulation of 0.01% / V of at 1-A Load (LM340A)
- Load Regulation of 0.3% / A (LM340A)
- Internal Thermal Overload, Short-Circuit and SOA Protection
- Available in Space-Saving SOT-223 Package
- Output Capacitance Not Required for Stability

2 Applications

- Industrial Power Supplies
- SMPS Post Regulation
- HVAC Systems
- AC Invertors
- Test and Measurement Equipment
- Brushed and Brushless DC Motor Drivers
- Solar Energy String Invertors

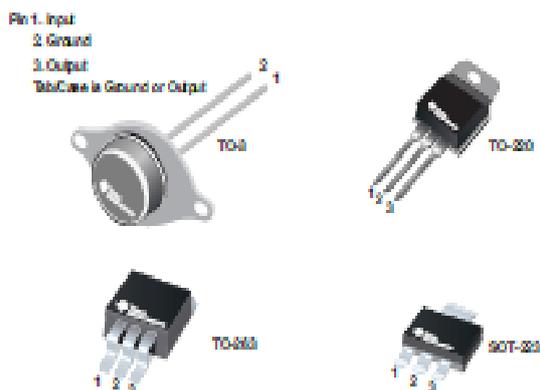
3 Description

The LM340 and LM7805 Family monolithic 3-terminal positive voltage regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.5-A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

Considerable effort was expended to make the entire series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

LM7805 is also available in a higher accuracy and better performance version (LM340A). Refer to LM340A specifications in the [LM340A Electrical Characteristics](#) table.

Available Packages

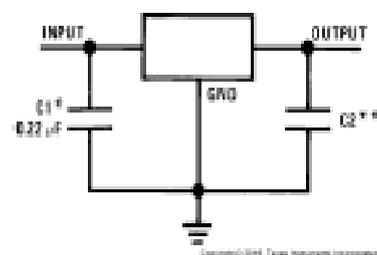


Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM340x	DDPAK/TO-263 (3)	10.18 mm X 8.41 mm
	SOT-223 (4)	6.50 mm X 3.50 mm
LM7805 Family	TO-220 (3)	14.986 mm X 10.16 mm
	TO-3 (2)	38.54 mm X 25.40 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

Fixed Output Voltage Regulator



^{*}Required if the regulator is located far from the power supply filter.

^{**}Although no output capacitor is needed for stability, it does help transient response. (If needed, use 0.1- μF , ceramic disc).



LM340, LM340A, LM7805, LM7812, LM7815

SNOSBTDL – FEBRUARY 2000 – REVISED SEPTEMBER 2016

www.ti.com

6.6 LM340 / LM7805 Electrical Characteristics,
 $V_O = 5\text{ V}$, $V_I = 10\text{ V}$

$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$ unless otherwise specified⁽¹⁾

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V_O	Output voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	4.8	5	5.2	V
		$P_D \leq 15\text{ W}$, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$ $7.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$	4.75		5.25	V
ΔV_O	Line regulation	$I_O = 500\text{ mA}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $7\text{ V} \leq V_{IN} \leq 25\text{ V}$	3	50	mV
			Over temperature $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$		50	mV
		$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$ $7.5\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$		50	mV
			Over temperature $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 12\text{ V}$		25	mV
ΔV_O	Load regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$	$5\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$	10	50	mV
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$		25	mV
		Over temperature, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$		50	mV	
I_O	Quiescent current	$I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		8	mA
			Over temperature		8.5	mA
ΔI_O	Quiescent current change	$0^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$, $5\text{ mA} \leq I_O \leq 1\text{ A}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O \leq 1\text{ A}$	0.5		mA
			Over temperature, $I_O \leq 500\text{ mA}$		1	mA
		$7\text{ V} \leq V_{IN} \leq 20\text{ V}$		1	mA	
V_N	Output noise voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$		40		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple rejection	$f = 120\text{ Hz}$ $8\text{ V} \leq V_{IN} \leq 18\text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O \leq 1\text{ A}$	62	80	dB
			Over temperature, $I_O \leq 500\text{ mA}$	62		dB
R_O	Dropout voltage	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O = 1\text{ A}$		2		V
	Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$		8		m Ω
	Short-circuit current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.1		A
	Peak output current	$T_J = 25^\circ\text{C}$		2.4		A
	Average TC of V_{OUT}	Over temperature, $I_O = 5\text{ mA}$		-0.6		mV/ $^\circ\text{C}$
V_{IN}	Input voltage required to maintain line regulation	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_O \leq 1\text{ A}$	7.5			V

(1) All characteristics are measured with a 0.22- μF capacitor from input to ground and a 0.1- μF capacitor from output to ground. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques ($t_w \leq 10\text{ ms}$, duty cycle $\leq 5\%$). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

4.2.3 Datasheet de atmega328P

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4K/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
In-System Programming by On-chip Boot Program
True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C
 - Active Mode: 0.2 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.75 µA (Including 32 kHz RTC)



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash

ATmega48A
ATmega48PA
ATmega88A
ATmega88PA
ATmega168A
ATmega168PA
ATmega328
ATmega328P

Summary

Rev. 8271CS-AVR-09/10



4.2.4 Fotos de pruebas

4.2.4.1 Regulador de voltaje

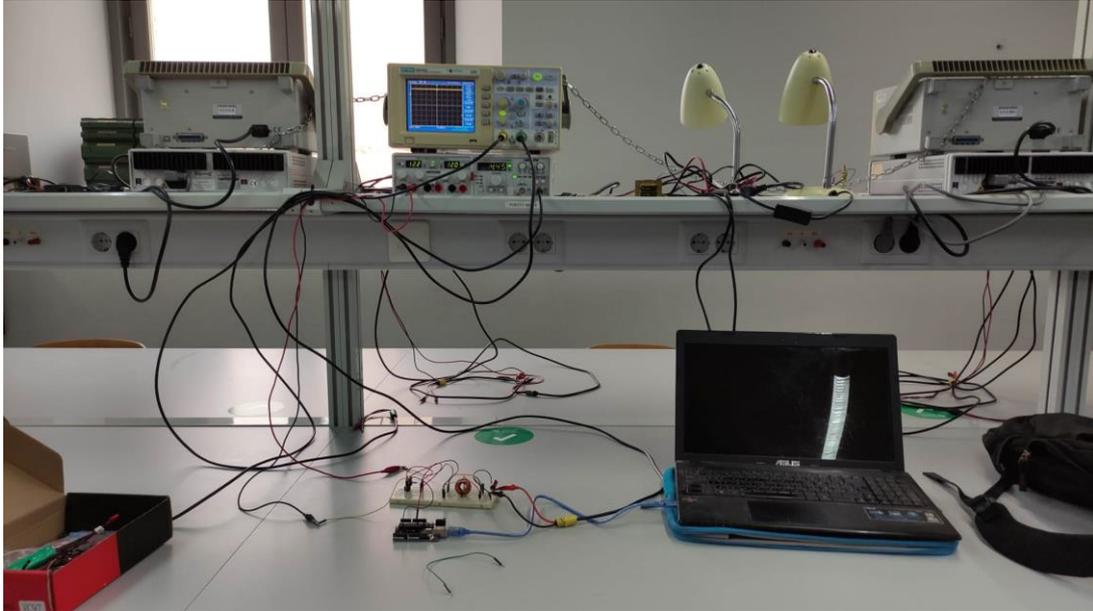


Figura 3.1 : foto del puesto de trabajo

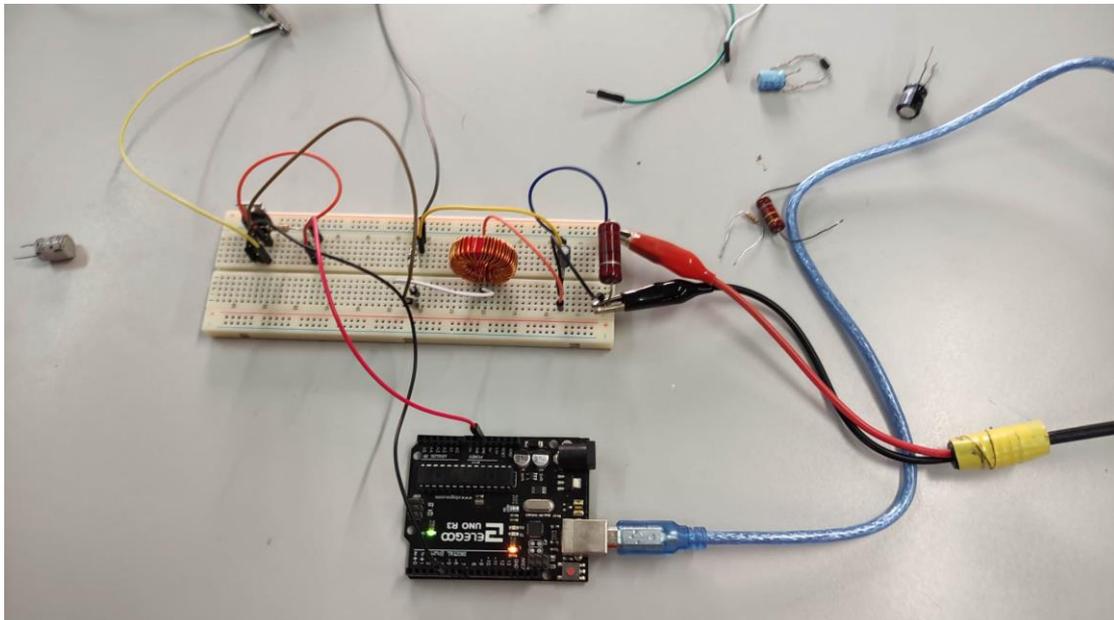


Figura 3.2 : foto de un circuito regulador de voltaje de prueba

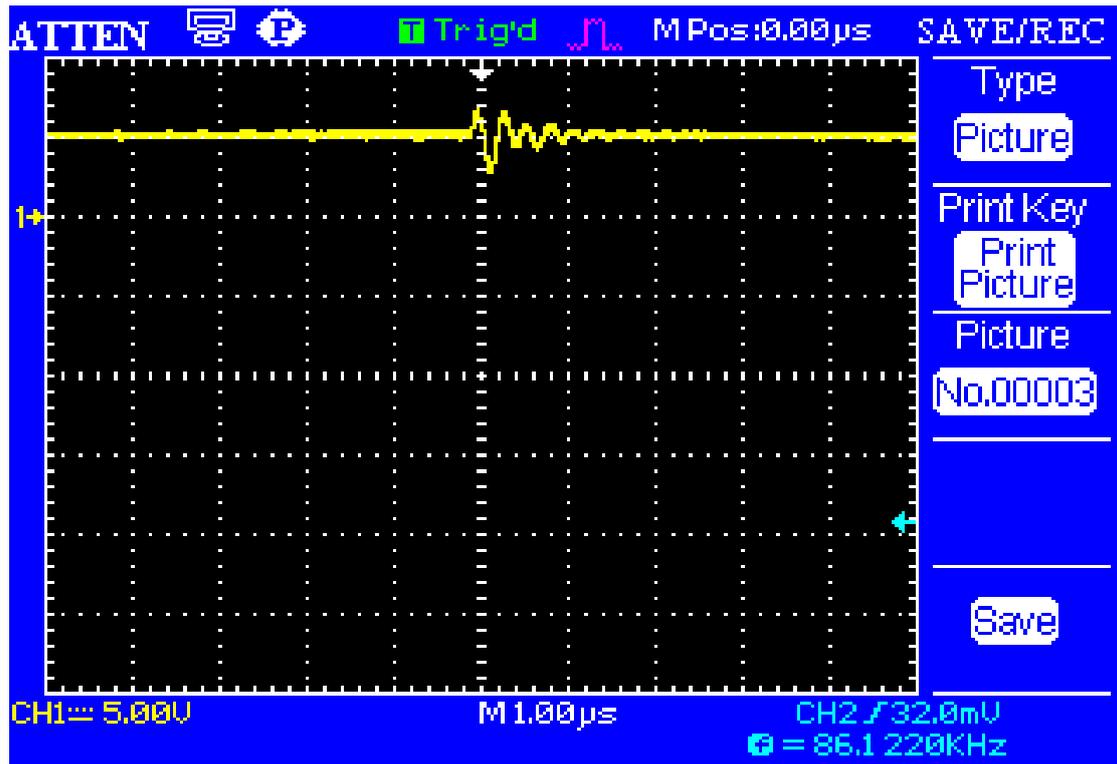


Figura 3.3 :tensión de salida del regulador de voltaje hecha con osciloscopio

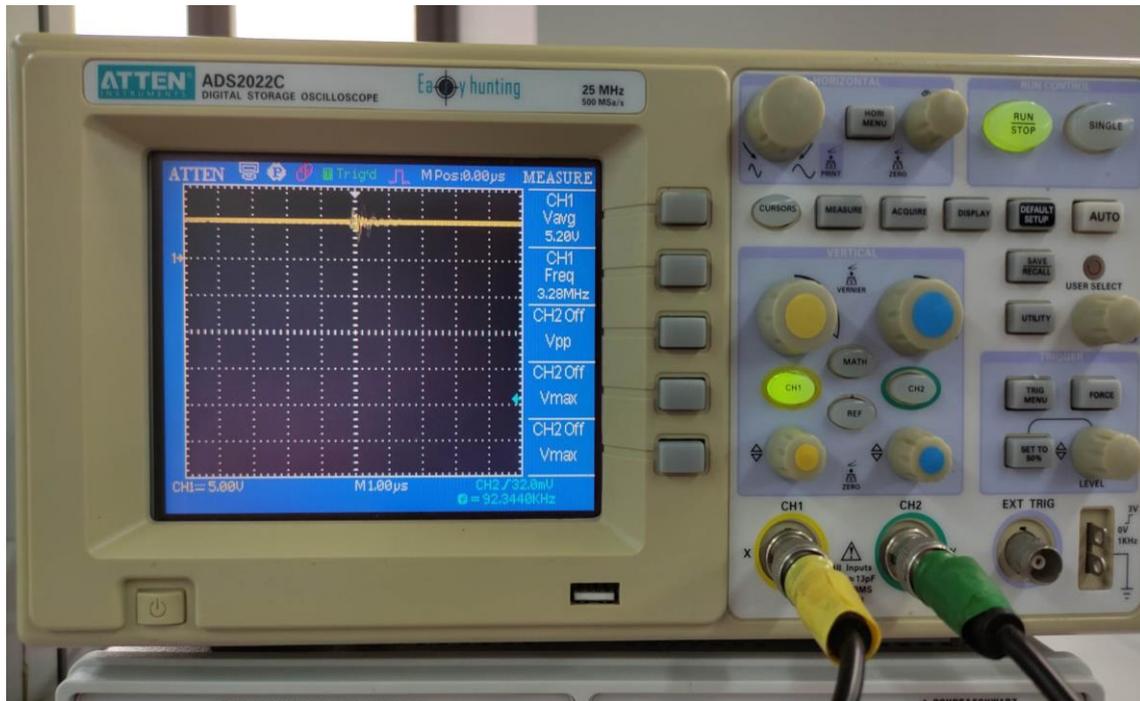


Figura 3.4 : foto de la señal de salida del osciloscopio hecha con el móvil

4.2.4.2 Sistemas de visualización

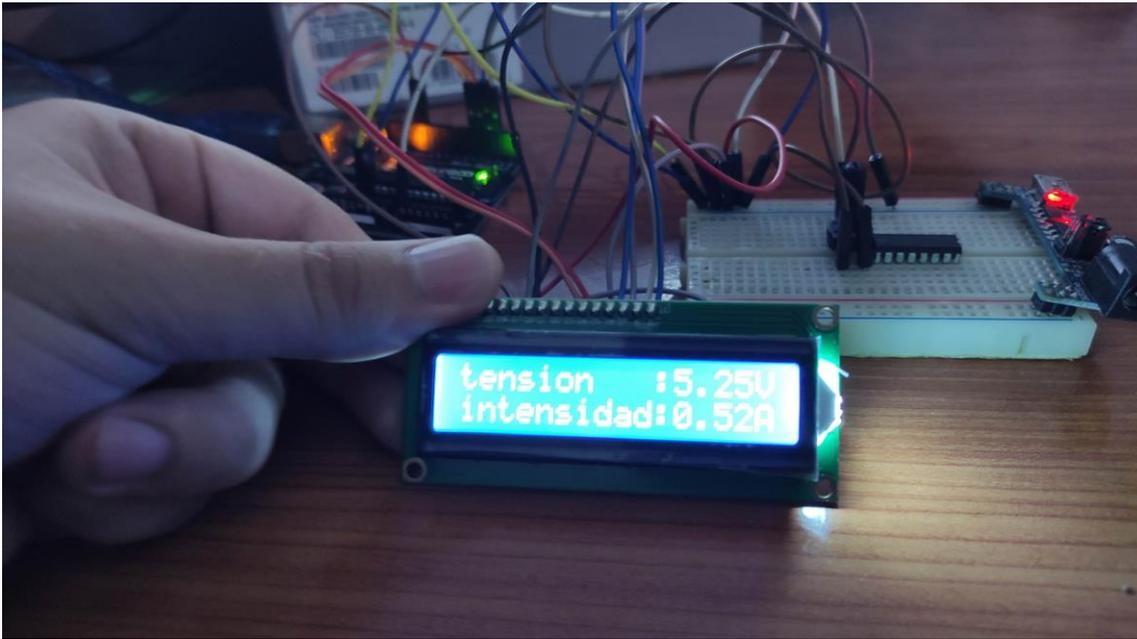


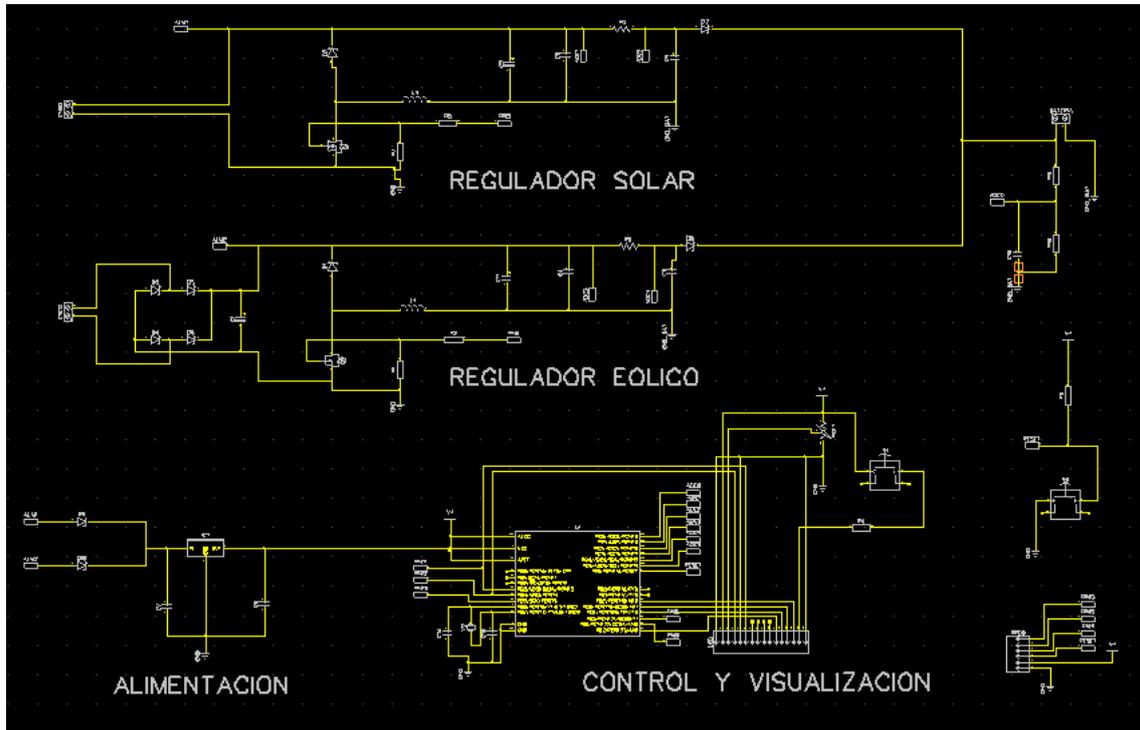
Figura 3.5 : foto de pruebas de visualización de pantalla LCD



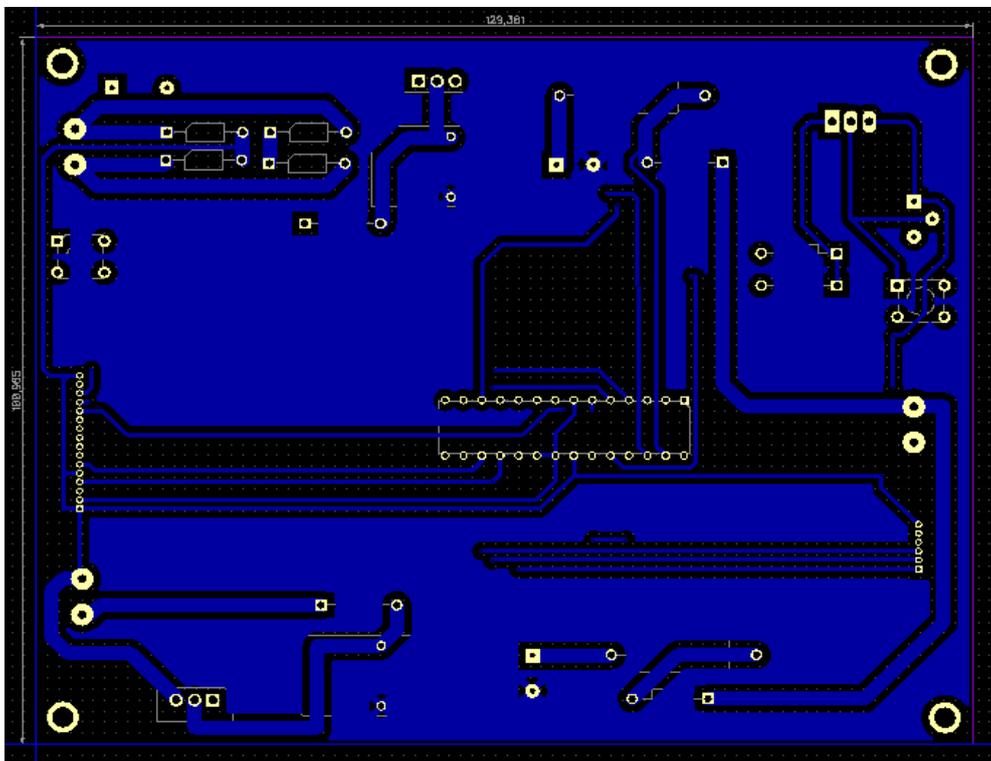
Figura 3.6 : foto del conexionado de la pantalla LCD

4.2.5 DISEÑO DE LA PLACA

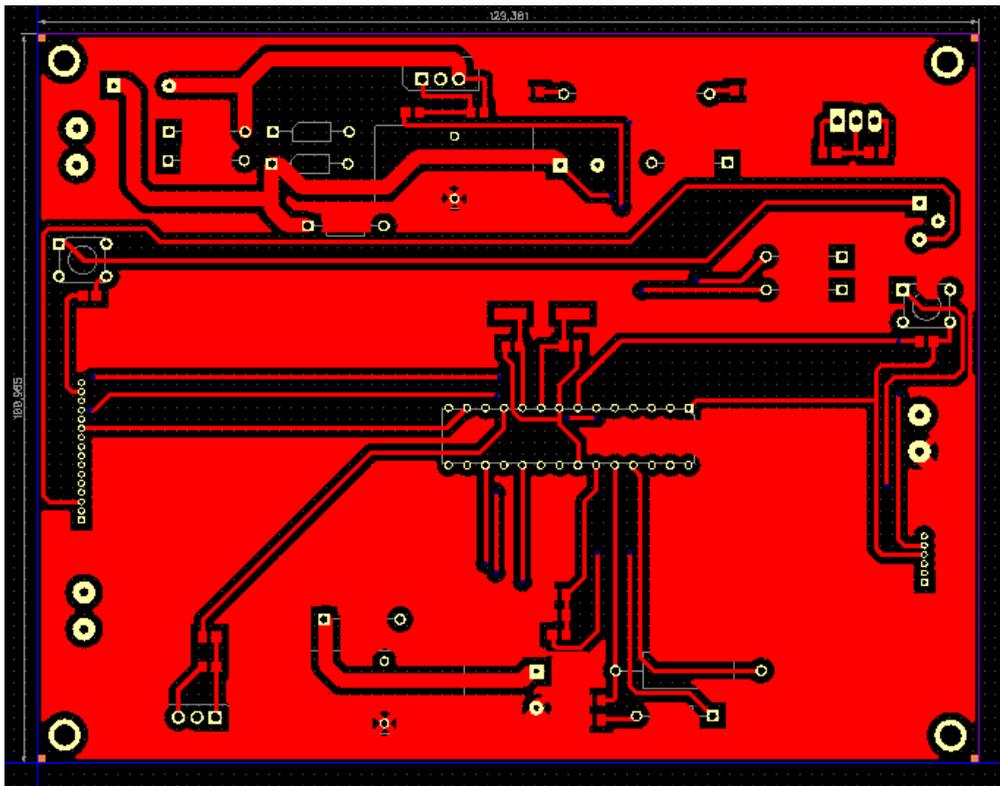
4.2.5.1 ESQUEMA DE LA PLACA EN DIPTRACE



4.2.5.2 DISÑO PCB EN DIPTRACE



LA PARTE BOTTON



LA PARTE TOP



SERIGRAFIA DE LOS COMPONENTES

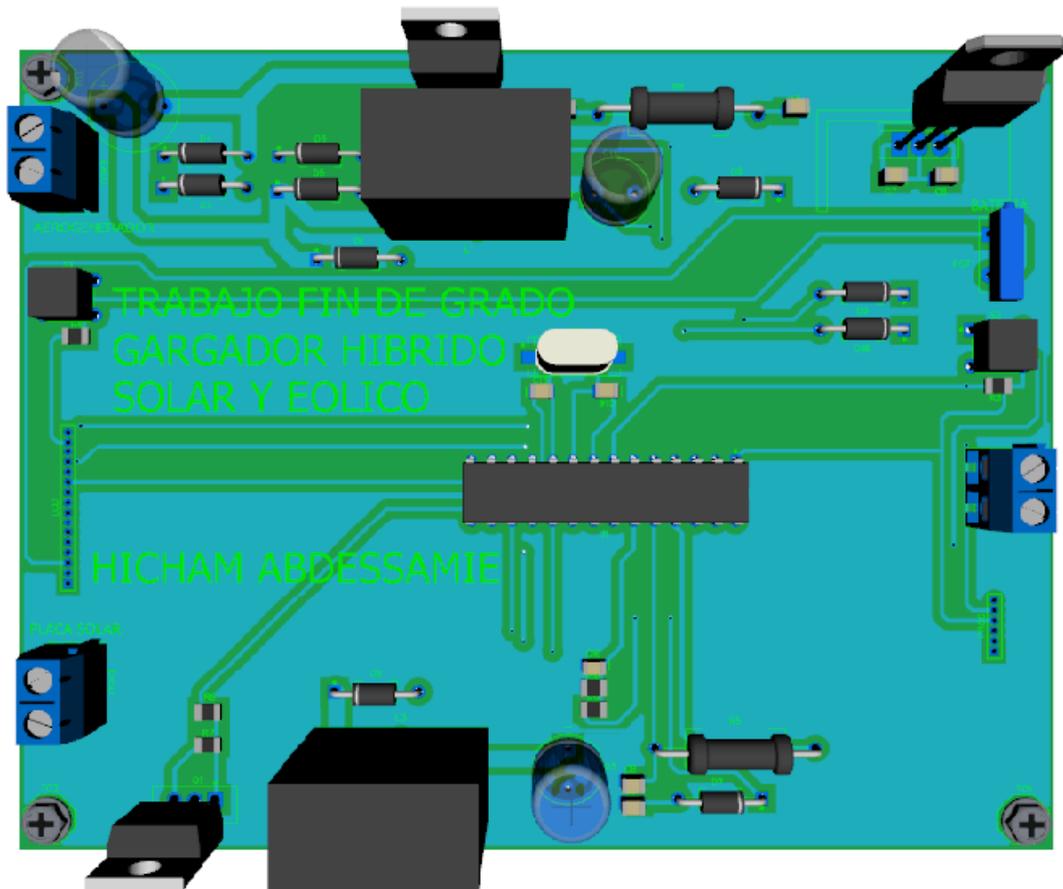


FOTO 3D en Diptrace



4.2.6 CODIGO FUENTE DEL PROGRAMA

```
#include <LiquidCrystal.h>
const int rs = 12, en = 11, d4 = 7, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
    int ten_bat = 0;
    int int_buck11 = 0;
    int int_buck12 = 0;
    int int_buck21 = 0;
    int int_buck22 = 0;
    int PWM1 = 0;
    int PWM2 = 0;
    double resistencia = 0.1;
    double voltaje1 = 0.0;
    double intensidad_anterior1 = 0.0;
    double intensidad_actual1 = 0.0;
    double voltaje2 = 0.0;
    double intensidad2 = 0.0;
    double potencia_anterior = 0;
    double potencia_actual = 0;
    double volt_sal1 = 0.0;
    double volt_sal2 = 0.0;
    double int_bat = 0.0;
    double valor_maximo = 7.4 ;
#define ledPin 13

void setup()
{
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.print("visualizacion!");
    TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000001;
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    // Configuración do timer1
    TCCR1A = 0; // El registro de control A
                // queda todo en 0, pines OC1A y OC1B deshabilitados
    TCCR1B = 0; //limpia el registrador
    TCCR1B |= (1<<CS10)|(1 << CS12); // configura prescaler para
1024: CS12 = 1 e CS10 = 1
    TCNT1 = 0xBDD; // inicia timer para desborda-
                // miento 1 segundo
                // 65536-(16MHz/1024/1Hz - 1)
= 49912 = 0xC2F8

    TIMSK1 |= (1 << TOIE1); // habilita la interrupcion del
TIMER1
}
```



```
void loop()
{
  // LEER TODOS LOS VALORES DE ENTRADA
  ten_bat = analogRead(A0).
  int_buck11 = analogRead(A1);
  int_buck12 = analogRead(A2);
  int_buck21 = analogRead(A3);
  int_buck22 = analogRead(A4);

  //CALCULO DE INTENSIDADES
  volt_sal1 = (int_buck11*1.0/1023)/5.0;
  voltaje1 = (((int_buck12-int_buck11)*1.0)/1023.0)*5.0;
  intensidad_actuall = voltaje1/resistencia;

  volt_sal2 = (int_buck21*1.0/1023)/5.0;
  voltaje2 = (((int_buck21-int_buck22)*1.0)/1023)*5;
  intensidad2 = voltaje2/resistencia;
  int_bat = intensidad_actuall + intensidad2;
  potencia_actual = volt_sal2* intensidad2;

  //PROGRAMA DE PROTECCION DE LA BATERIA
  if( ten_bat < valor_maximo){

  //PROGRAMA DE CONTROL DEL REGULADOR SOLAR
  if(intensidad_actuall > intensidad_anterior1){
    PWM1++;
    intensidad_anterior1 = intensidad_actuall;
  }
  else{
    PWM1--;
    intensidad_anterior1 = intensidad_actuall;
  }
  //PRORAMA DE CONTROL DEL REGULADOR EOLICO
  if( potencia_actual > potencia_anterior){
    PWM1++;
    potencia_anterior = potencia_actual ;
  }
  else {
    PWM1--;
    potencia_anterior = potencia_actual ;
  }
  }}
  else {
    // PONER LAS SALIDAS CONTROL DEL MOSFET A CERO
    analogWrite(5,0);
    analogWrite(6,0);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("LA BATERIA ESTA");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print("SOBRECARGADA");
  }}

ISR(TIMER1_OVF_vect) //interrupcion del TIMER1
{
  TCNT1 = 0xBDC; // Renicia TIMER
```



```
digitalWrite(ledPin, digitalRead(ledPin) ^ 1); //invierte el es-  
tado do led  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("tension   :");  
lcd.print(ten_bat);  
lcd.print("V");  
lcd.setCursor(0,2);  
lcd.print("intensidad:");  
lcd.print(int_bat);  
lcd.print("A");  
}
```





5 CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES

Con este proyecto se ha conseguido diseñar una placa que alimenta una batería mediante dos fuentes de energía renovables (energía solar y energía eólica) simultáneamente. La placa aprovecha al máximo la energía generada por ambas fuentes para almacenarlas en una batería para que luego esta alimenta una central meteorológica ahorrando la cantidad de cable y protegiendo el medio ambiente ya que las fuentes de energía que funcionan con carbono como el de gas natural, petróleo o carbón emiten mucho dióxido de carbono que aumenta la temperatura de la tierra esto que implica gran cambio climático como ocurre este verano.

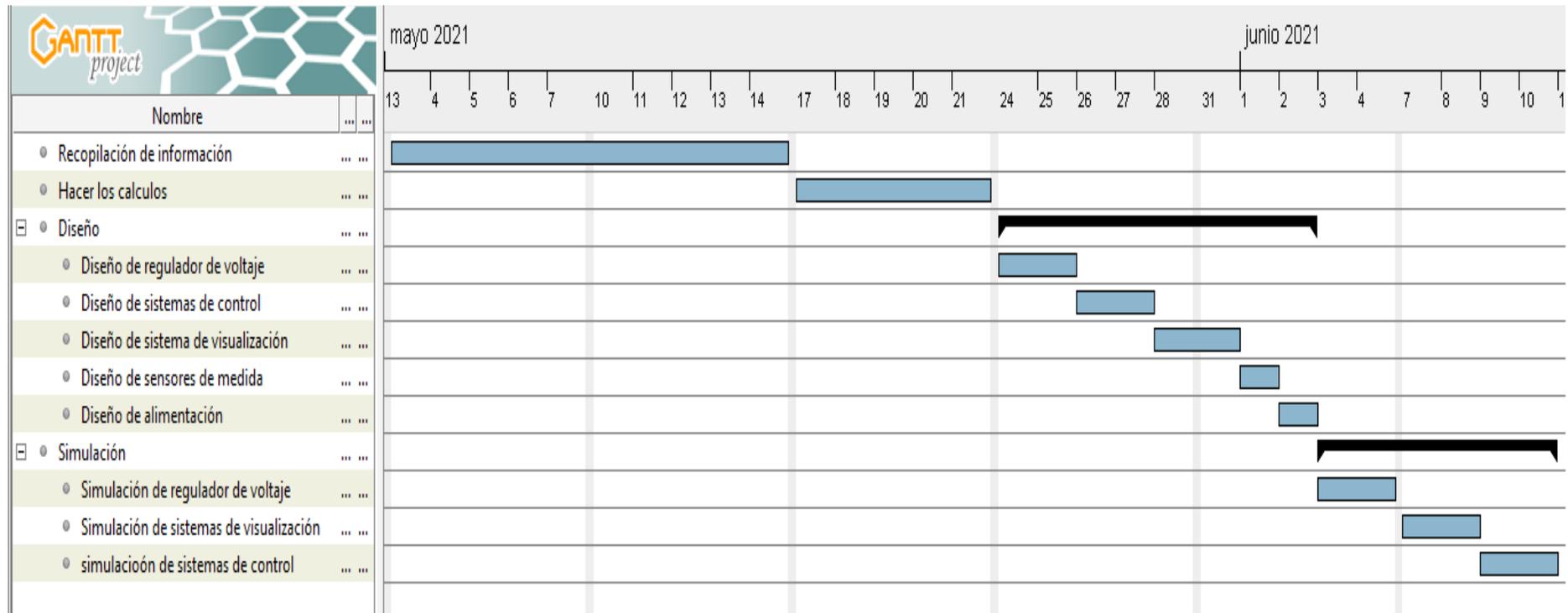
En la placa conseguida se ha dividido en varias partes para facilitar el trabajo y para que sea fácil la detección de los fallos en caso de haberlas. La placa se ha dividido en dos reguladores de voltaje de tipo conmutados que funcionan con MOSFET que hace la conmutación y una bobina y condensador para funcionar como filtro, un circuito de control que es el cerebro del sistema su elemento principal es el atmega328P (es el mismo que utiliza el Arduino), un circuito de visualización que consiste en una pantalla LCD donde se muestran los valores de la intensidad y tensión, esta pantalla se puede encender manualmente para ahorrar energía y se enciende solamente cuando el operario quiera con un interruptor y un circuito de medida para hacer un circuito de control realimentado este circuito mide la intensidad con una resistencia muy pequeña y que sea de gran potencia y para medir la tensión de la batería.



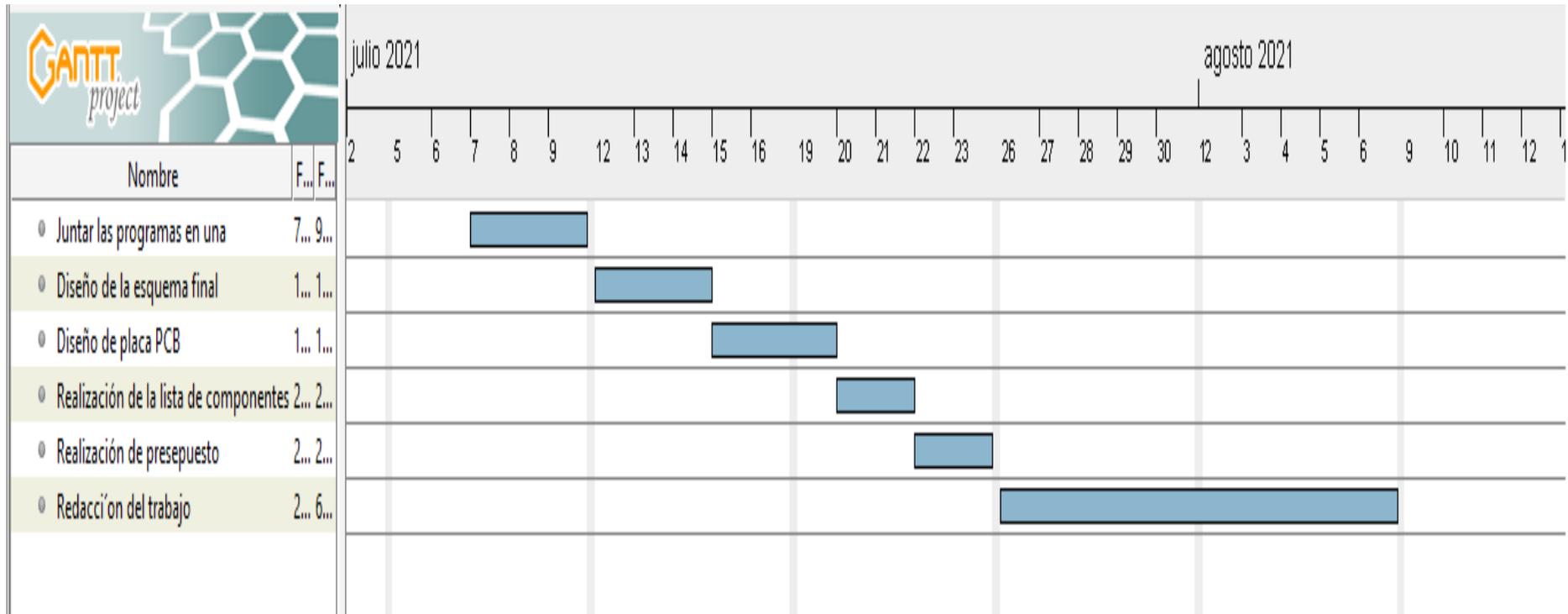
El software conseguido de este proyecto se ha programado en el entorno de Arduino y también se ha dividido en partes, el primer programa era programar el seguidor de punto de máxima potencia de la placa solar para mantener la carga con gran potencia, la segunda era programa del seguidor del punto de máxima potencia del aerogenerador y su función es exactamente que el anterior, la tercera es el programa de protección de la batería cuando se detecta que la batería ha llegado a su máxima carga midiendo la tensión máxima avisa en la pantalla y corta el suministro de la energía, la última parte del programa es de la visualización de los valores importantes del sistema.

finalmente se ha conseguido ensamblar todos los circuitos en una sola placa con dos entradas y varias salidas, entradas de fuentes de energía y salidas de la batería, también en la placa se puede conectar una pantalla LCD y los cables de programación de microcontrolador. Los programas también se han juntado en un solo programa que se pone en la memoria del microcontrolador para hacer la función de control y protección de circuito.

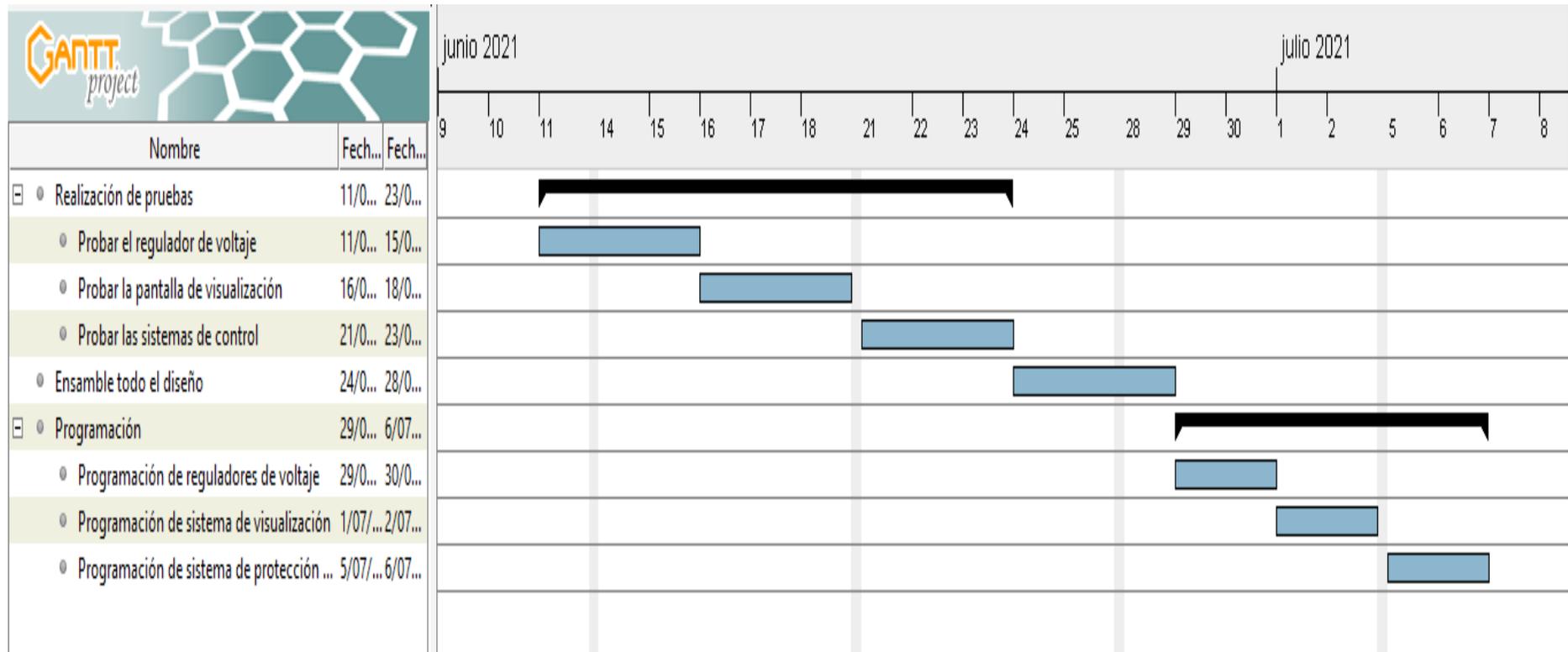
5.2 PLANIFICACIÓN



CAPITULO 5 : CONCLUSIONES



CAPITULO 5 : CONCLUSIONES





5.3 PRESEPUUESTO

5.3.1 PRESEPUUESTO DE TAREAS

Presupuesto Tareas			
Proceso: fabricación de placa			
Nombre	Horas estimadas horas	Costo tarea €/horas	Costo tarea estimado €
Recopilación de información	40	30	1200
Hacer los cálculos	20	30	600
Diseño de regulador de voltaje	8	30	240
Diseño de sistemas de control	8	30	240
Diseño de sistema de visualización	8	30	240
Diseño de sensores de medida	4	30	120
Diseño de alimentación	4	30	120
Simulación de regulador de voltaje	8	30	240
Simulación de sistemas de visualización	8	30	240
Simulación de sistemas de control	8	30	240
Probar el regulador de voltaje	8	30	240
Probar la pantalla de visualización	8	30	240
Probar los sistemas de control	8	30	240
Ensamble todo el diseño	8	30	240
Programación de reguladores de voltaje	8	30	240
Programación de sistema de visualización	8	30	240
Programación de sistema de protección de la batería	8	30	240
Juntar los programas en una	8	30	240
Diseño del esquema final	12	30	360
Diseño de placa PCB	16	30	480
Realización de la lista de componentes	8	30	240
Realización de presupuesto	8	30	240
Redacción del trabajo	40	30	12000
TOTAL			7920

5.3.2 PRESEPUUESTO DEL MATERIAL

Presupuesto Material					
Proceso: fabricación de placa					
Símbolo	Nombre	Package	Cantidad unidad	Costo / unidad €/unidad	Coste
Q	MOSFET irf540	TO220AB	2	1.65	3.30
L	Bobina cilíndrica 100 mH	2100 series	2	3	6
C5,C11	Condensador electro- lítico 100 uF	SYL/D.725/ LD.328/.040	2	1	2
C1	Condensador electro- lítico 3300F	SYL/D.725/ LD.328/.040	1	1.25	1.25
D	Diodos shottky 1N5819	DO-35-2	10	0.40	4
ENSO-ENE0-BATE- RIA	Regletas de 2 bornas	UL94-V0	3	0.32	0.96
PROG-LCD	Pines	Breakaway	100	0.19	1.9
S2	pulsador	OMRON_B3F- 1000	1	1.92	1.92
S3	Interruptor	OMRON_B3F- 1000	1	1.92	1.92
U1	Atmega 328P	PDIP 28 pines	1	3.62	3.62
POT1	Potenciómetro	Bornus serie 3296	1	2.5	2.5
Y2	Cristal de cuarzo 16M	CSM-7 SMD	1	1	1
C13.C14	Condensadores cerá- micos smd 22pF	C_0805	2	0.21	0.42
C3,C4,C8,C9,C10	Condensadores cerá- micos smd 1nF	C_0805	5	0.21	1.05
C7	Condensadores cerá- micos smd 220nF	C_0805	1	0.21	0.21
C6	Condensadores cerá- micos smd 100nF	C_0805	1	0.21	0.21
IC1	Regulador LM7805	TO220AB7805	1	0.83	0.83
R2,R6	Resistencia ¼w 10 smd	R_0805	2	0.19	0.38
R1,R7	Resistencia ¼w 100k smd	R_0805	2	0.19	0.38
R4	Resistencia ¼w 330 smd	R_0805	1	0.19	0.19



CAPITULO 5 : CONCLUSIONES

R3,R9,R10	Resistencia ¼w 10k smd	R_0805	3	0.12	0.12
R5,R8	Resistencia 0.1ohm,3w	CFR2WSJR- 73-10R	2	0.25	0.50
TO1,TO2,TO3.TO4	Tornillos		4	0.20	0.80
TOTAL					35.70



BIBLIOGRAFÍA

DE INTERNET

- Artículos relacionados con el proyecto: www.wikipedia.com.
- Simulación online de circuitos: www.thinkercad.com.
- Ayuda sobre programación de Arduino: www.arduino.com.
- Información sobre energías renovables: www.solarweb.net .

DE TEXTO

- Departamento de electrónica y automática de la Universidad Politécnica de Cartagena “apuntes de electrónica de potencia”.
- Departamento de electrónica y automática de la Universidad Politécnica de Cartagena “apuntes de sistemas basados en microprocesador”.
- Departamento de electrónica y automática de la Universidad Politécnica de Cartagena “apuntes de asignatura de diseño y simulación ”.
- Electrónica de Potencia”. autor: Daniel W. Hart. Editor: Prentice Hall (2001).
- Departamento de electrónica y automática de la Universidad Politécnica de Cartagena “apuntes de asignatura de instrumentación electrónica ”.



- “ANÁLISIS, SIMULACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR PARA EL SEGUIMIENTO DEL PUNTO MÁXIMO DE POTENCIA (MPPT) EN UN AEROGENERADOR DE BAJA POTENCIA (SWT) EN APLICACIONES AISLADAS A LA RED ELÉCTRICA”