

CONSTRUCCION DE UN CARGADOR PARA BANCOS DE BATERÍAS INTELIGENTE IMPLEMENTADO CON MICROCONTROLADOR

*Ing. Francisco Montilla.
francisco80926@gmail.com*

RESUMEN

El presente es un cargador inteligente para banco de baterías implementado con micro controlador, lo más universal posible. Este permite realizar la carga de, baterías de 12v del tipo plomo acido por medio de un puente rectificador totalmente controlado, sin transformador, el cual es gobernado a través del micro controlador PIC18F4550. Dicho cargador presenta también la opción de conexión a 110V o 220V permitiendo aumentar el número de baterías a cargar. Además presenta una propuesta que permite generar soluciones a problemas como la recuperación de baterías dañadas, que han perdido la capacidad de almacenamiento de energía.

1. INTRODUCCIÓN

Las Baterías son dispositivos electroquímicos cuya función es el almacenamiento de la energía para su posterior entrega a una carga. El continuo proceso de carga y descarga produce sulfatación en las placas de las baterías, reduciendo la capacidad de almacenamiento hasta su deterioro. Dicho proceso de sulfatación se acelera cuando el método de carga es inapropiado, ya que generalmente no toma en cuenta todas las variables implicadas en el proceso de carga. El presente proyecto tiene como propósito desarrollar un cargador para baterías de 12v del tipo plomo acido, a través de un puente rectificador totalmente controlado, gobernado por un microcontrolador enfocado en la recuperación de aquellas baterías que han perdido la capacidad de almacenar energía debido a la sulfatación en sus placas, ofreciendo una alternativa de ahorro económico al evitar tener que comprar baterías nuevas.

2. DESARROLLO

Batería de plomo acido

La batería de plomo acido está formada por celdas compartimentadas unidas entre sí mediante puentes, y cohesionadas en serie para obtener una tensión continua de 12,7 voltios (2.11V/celda). Para la placa positiva se utiliza el peróxido de plomo (PbO₂) insertado en forma de pasta y que se incrusta en la rejilla de plomo manufacturada previamente.

Para crear la placa negativa, se utiliza una rejilla de plomo (Pb), en la que se incrusta el plomo esponjoso. El separador plástico de polietileno neutralizado, se interpone entre la placa positiva y negativa para evitar que se cortocircuiten ambas placas. El numero de placas y su forma designa la capacidad que tiene una batería de producir corriente eléctrica, por lo que se puede establecer una relación, entre el amperaje máximo que proporcionara la batería, y la forma y tamaño de las placas. Mientras mayor sea la cantidad de las placas que tenga la celda de las baterías mayor será el amperaje que se pueda sacar. Ver figura 1.



Fig. 1. Batería de plomo acido

Proceso de reacción química en la descarga de una batería

Cuando la batería se coloca en descarga, se produce una corriente eléctrica a través de cambios químicos en la materia activa (ver figura 2a). El peróxido de plomo cede oxígeno, parte del oxígeno liberado por la placa positiva se combina con el ácido sulfúrico para crear sulfato de plomo. Además en la placa negativa también se combina el plomo esponjoso con el ácido sulfúrico y crean sulfato de plomo, el oxígeno del peróxido de plomo se combina con el hidrógeno del electrolito quedando así dos partes de agua (ver figura 2b).

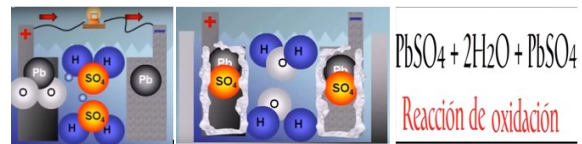


Fig. 2. (a) reacción de descarga. (b) batería descargada

Proceso de reacción química en la carga de una batería

Para la carga de la batería, ocurre el proceso inverso. Una corriente eléctrica separa mediante electrolisis, el oxígeno del agua del electrolito y el sulfato de plomo de las placas positivas y negativas. Mediante la reacción de reducción el sulfato de plomo de las placas se combina con el hidrógeno del electrolito para volver a formar ácido sulfúrico y el oxígeno liberado se combina con las placas para crear peróxido de plomo y el plomo esponjoso. Ver figura 3.

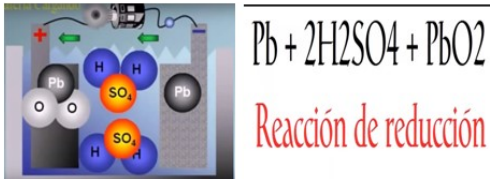


Fig 3. Proceso de carga de una batería de plomo ácido

Generalmente se cree que el proceso de carga permite la disolución de todo el sulfato de plomo que se ha generado en las placas cuando esta se descarga, sin embargo siempre quedan pequeñas partículas de sulfato adherido a las placas. Con el paso de los años, estas partículas de sulfato de plomo se van acumulando, reduciendo la superficie activa de la placa que reacciona con el electrolito, mermando su capacidad de carga.

Lamentablemente muchas de las aplicaciones donde son utilizadas las baterías no permiten un proceso de carga que permita evitar este problema, por lo tanto, la batería termina deteriorándose.

Sin embargo, estas baterías ya agotadas, mediante un proceso de carga adecuado, pueden ser recuperadas siempre i cuando el daño no sea irreversible. Generalmente cuando las baterías empiezan a fallar tienen altas posibilidades de ser regeneradas mediante un proceso de carga adecuado. Este cargador permite realizar el proceso de carga adecuado para regenerar la batería.

El cargador posee las siguientes etapas de carga:

Carga a corriente constante

Dicho método se basa en fijar la corriente de carga a un valor constante y monitorear el voltaje de la batería. Ver fig. 4. Este método permite regular la carga de la batería en su fase inicial, ya que en esta fase la batería tiende a exigir una gran cantidad de corriente, lo cual la puede recalentar y degradar.

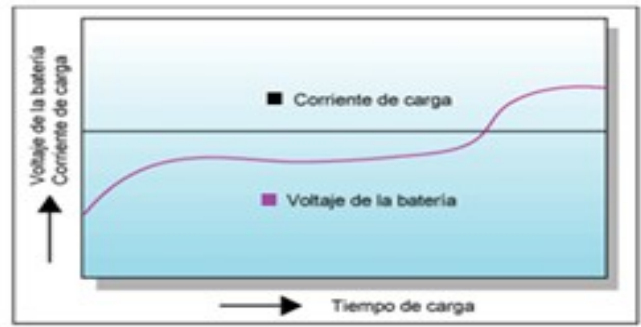


Fig 4. Carga a corriente constante

Al suministrar la corriente de manera controlada se asegura que las reacciones químicas se desarrollen por completo, permitiendo así diluir el sulfato de las placas. Este proceso de carga finaliza cuando el voltaje de la batería haya alcanzado su voltaje nominal y es la etapa donde la batería adsorbe casi toda la carga.

Carga a tensión constante

Con el proceso de carga anterior, a pesar de que la batería alcanza su voltaje nominal, esta solo pudo absorber el 80% de su capacidad de corriente. Para que la batería termine de adsorber el 20% restante se procede a cargar a voltaje constante en dos fase. Al mantener el voltaje constante la batería absorberá la corriente poco a poco hasta completar su carga. Cuando la corriente este cercano al valor de cero, significa que la batería ya está totalmente cargada y el cargador pasa a voltaje de flotación para mantener la carga. Ver fig. 5

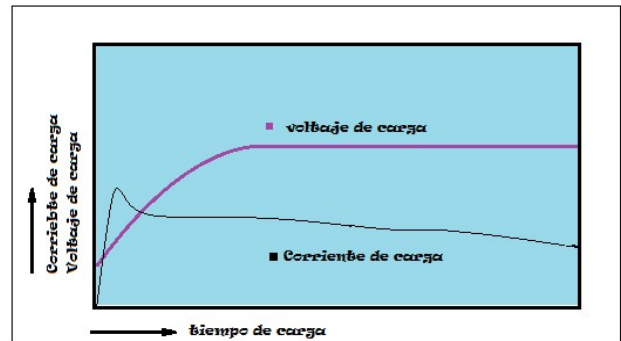


Fig. 5. Carga a voltaje constante

Carga a tensión Flotante

La carga en flotación tiene como propósito relajar las reacciones químicas que ocurren dentro de la batería para que la carga se consolide y se mantenga la carga. Este proceso consiste en aplicar un voltaje apenas mayor al voltaje nominal de la batería con el fin de inyectar una pequeña cantidad de corriente que evite que la batería se descargue. El proceso de carga completo se puede apreciar en la fig. 8. La línea morada representa el voltaje y la línea negra la corriente.

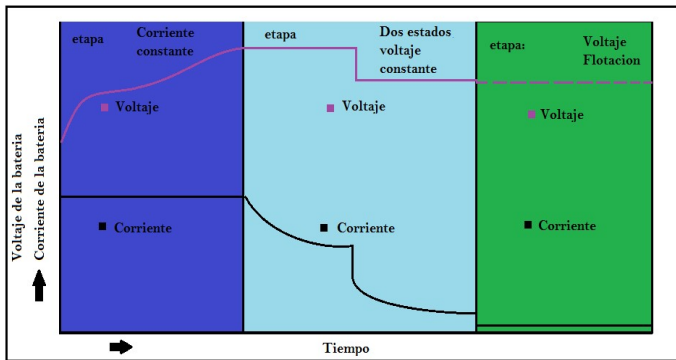


Fig.8 Método de carga usado

3. DISEÑO

Método usado para cargar las baterías

Primera etapa: Carga a corriente constante

La primera parte del ciclo es el modo de carga de corriente constante “Bulk Charge”. El cargador limita esta corriente a 0.25C Amperios (un cuarto de la capacidad de la batería), como especifica el fabricante. Durante este estado el cargador monitorea la tensión de la batería hasta que se alcanzan la tensión de 14.4V (2.4V / celda). Una vez que se alcanza este nivel de tensión 2.4V/celda, el cargador cambia el ciclo automáticamente al segundo estado.

Segunda etapa: Carga a tensión constante

El cargador cambia de carga de corriente constante a carga de tensión constante y ahora mide la corriente de carga. Cuando ésta cae a 0.05C Amps, la batería habrá recuperado el 70-80% de su carga. En este punto, en una batería de 12V, la tensión de salida del cargador se reduce a 13.65V (2.275V/celda). Es el estado de “Baja absorción de carga”. El remanente de carga de 20-30% se llevará a cabo a este bajo nivel de tensión para prevenir la sobrecarga. El cargador permanecerá así hasta que se cargue la batería por completo.

Descripción del método usado para recuperar las baterías de plomo ácido

Inicialmente se somete la batería dañada a un proceso de carga con el método de corriente constante, durante un periodo de tiempo determinado. Al concluir el tiempo de carga se mide la diferencia de potencial en los bornes de la batería, luego se retira la alimentación sobre dicha batería de tal manera de dejarla reposar un periodo corto de tiempo para evitar sobrecalentamiento en sus celdas. Al finalizar este periodo de tiempo se toma otra muestra de voltaje pero esta vez en reposo.

El voltaje en la batería durante el proceso de carga según lo antes estudiado, será mucho mayor a su voltaje nominal

$$V_{bat}(carga) > (12V - 14V)$$

Y el voltaje en reposo estará por debajo del voltaje de descarga

$$V_{bat}(reposo) < 10.2V$$

La idea general es que, la diferencia entre los dos voltajes medidos disminuya es decir:

- El voltaje en el proceso de carga disminuya
- El voltaje en reposo aumente

Al finalizar el ciclo de recuperación, si la diferencia entre los dos voltajes sigue siendo superior a la establecida por el programa, se inicia nuevamente dicho proceso, hasta que la diferencia entre los dos sea la mínima. Este proceso se le conoce como ecualización de la batería. Ver fig. 9.

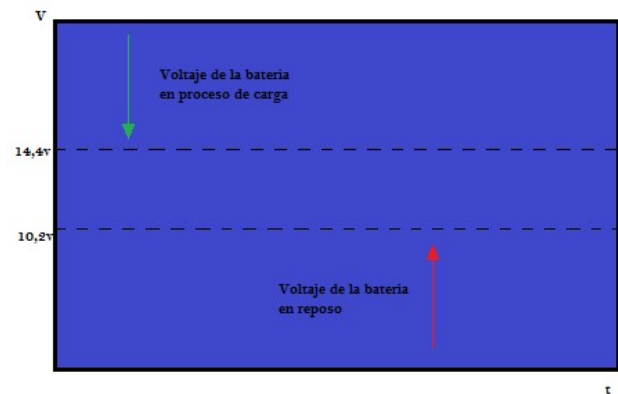


Fig.9. Proceso de recuperación de la batería

Diseño del hardware y software

La figura 10 muestra el diagrama de bloques del cargador de baterías distribuido en hardware y software. El hardware consta del Convertidor AC/DC monofásico totalmente controlado, Drivers de compuerta, Sensor de Voltaje, Sensor de corriente, Fuente lineal, Circuito de Sincronismo, circuito de detección de alimentación 110/220V, Interfaz y botoneras.

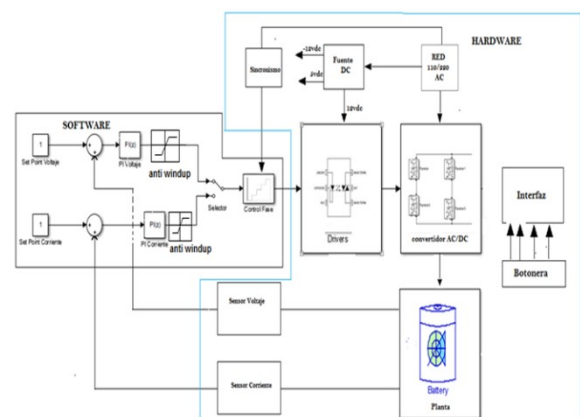


Fig. 10. Diagrama de bloques del cargador de baterías

Hardware

Convertidor AC/DC totalmente controlado

La fig. 11 muestra el diagrama de bloques de la etapa de potencia diseñada.

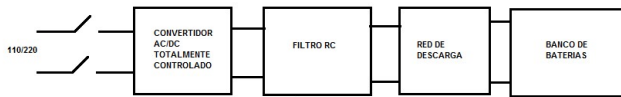


Fig. 11. Etapa de potencia

Consta de dos relés encargados de mantener el circuito de potencia mientras el cargador esté en reposo. El convertidor totalmente controlado formado por 4 tiristores permite rectificar la señal AC de alimentación. El filtro RC formado por dos bobinas de choque y 4 capacitores de 400V/330uf permiten el filtrado de la corriente y voltaje. El banco formado por 6 o más baterías en serie dependiendo a la red en la que se desee conectar el cargador.

Drivers de Compuerta

Los drivers de compuerta seleccionados para activar el convertidor AC/DC fueron 4 circuitos formados por opto acopladores de tal manera de aislar el circuito de control con el de potencia.

Sensor de voltaje

Las condiciones de diseño planteadas fueron: voltaje máximo censado=400Vdc, salida del sensor 0-5Volts Max. El sensor de voltaje implementado consta de 3 resistencias de alta impedancia conectada en la salida del convertidor de tal manera de obtener un voltaje diferencial y a partir de este diseñar el circuito acondicionador de 0-5Vdc. Ver figura 12.

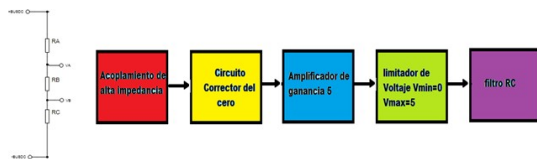


Fig.12 Diagrama de bloques. Sensor de voltaje

Sensor de corriente

Se hizo uso del transductor de corriente LEM modulo LA100P, el cual emplea el efecto hall para medir corrientes DC y ondas complejas AC de una manera no invasiva, de aislamiento galvánico entre el primario (medio) y la señal de salida analógica. Es de medir hasta 100A y el voltaje en relación de corriente es de 50mV/A. La fig. 13 muestra la conexión del transductor y el diagrama de bloques del circuito acondicionador.

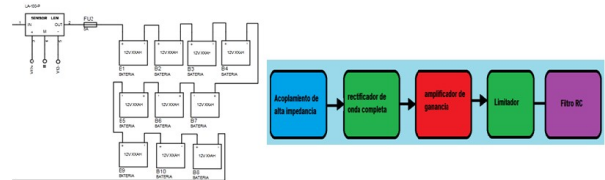


Fig.13 Diagrama de bloques. Sensor de corriente

Fuente lineal

El diagrama de bloques de la figura 14 muestra el diseño de la fuente lineal. El cual fue diseñado usando reguladores de voltaje de +12V -12V y +5V (reguladores 78xx, y 79xx), las salidas de voltaje de 12V y -12V acopladas a dos relés respectivamente de tal manera que no alimentase a los circuitos de control mientras el cargador se encuentre en reposo.

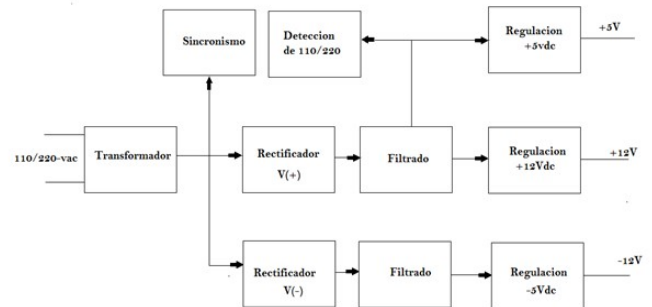


Fig.14. Fuente lineal

Interfaz y botonera

Se hizo uso de una pantalla LCD 16x2 como interfaz grafica del cargador de banco de baterías, con 4 pulsadores encardados del encendido/apagado, confirmación, incremento y decremento.

Software

El software abarca el diseño del controlador PI de voltaje, el controlador PI de corriente, el control de fase, el menú de la interfaz y las rutinas de carga del banco de baterías. El código fue realizado mediante el uso del software mikroC.

El diagrama de flujo de la figura 15 muestra la lógica usada para la programación. El mismo inicia configurando las interrupciones, temporizadores y puertos que serán usados para el control del cargador de baterías. Seguidamente el microcontrolador entra en modo sleep. Una vez presionado el pulsador ON/OFF, ejecuta la rutina de detección de red 110/220V, para luego ingresar al menú del cargador.

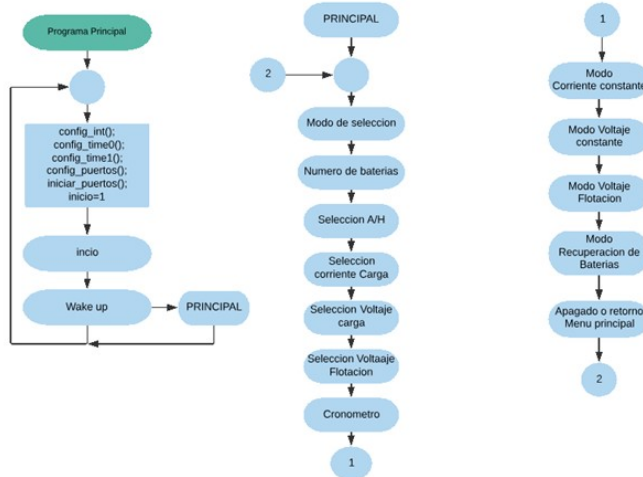


Fig.15 Diagrama flujo programa realizado para el cargador de baterías

El menú modo de selección, permite ingresar a 3 tipos de menús, manual, automático y recuperación de baterías. El modo manual permite al usuario seleccionar los parámetros de carga de una manera más minuciosa, como la corriente de carga, el voltaje de carga y el voltaje de flotación. El modo automático fue diseñado para usuarios que no poseen conocimientos sobre los parámetros de carga, por lo tanto solo pueden ingresar el número de baterías y la selección de A/H manera tal que, en base a estos dos parámetros, se calcula la corriente de carga, el voltaje de carga y flotación recomendados para el tipo de batería.

El modo recuperación de baterías permite equalizar aquellas baterías que han perdido su capacidad de almacenar carga usando el método de corriente constante.

Diseño de los controladores PI de corriente y voltaje

La figura 16 muestra el control a lazo cerrado propuesto para el cargador de banco de baterías, formado por dos lazos de control (voltaje y corriente), los cuales actúan por separado dependiendo la etapa de carga en la que se encuentre el cargador.

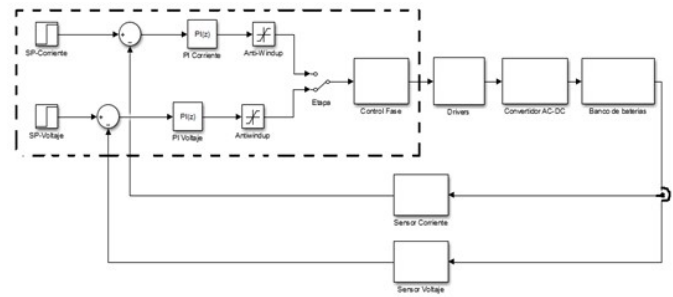


Fig. 16. Diagrama bloques control PI voltaje y corriente

Control PI corriente

Haciendo uso del control fase diseñado anteriormente con el microcontrolador se obtuvo la respuesta de lazo abierto del cargador para una corriente de 5 A, para un escalón de entrada y altura 179 (ángulo máximo de convertidor). Haciendo uso del módulo “PID tuner” de Matlab se obtuvo la función de transferencia del controlador PI de corriente (ver figura 17), para posteriormente ingresarlo al código encargado de regular la corriente.

$$\frac{U(z)}{E(z)} = Kp + Ki * \frac{T_s}{z-1}$$

$$Kp = 0.05; Ki = 1050; Ts = 0.001$$

Fig.17. Función de transferencia que describe al controlador PI de corriente

A partir de la función de transferencia del controlador se generó el algoritmo que describe al controlador de corriente Ver fig. 18.

$$U(k) = U(k-1) + AE(k-1) + BE(k)$$

Fig. 18. Ecuación en diferencias que describe al controlador

Donde:

$U(k)$ = Salida del controlador PI de corriente = SPIC

$U(k-1)$ = Salida del controlador PI de corriente anterior

=SPIC_A

$E(k)$ = Error =EC

$E(k-1)$ = Error anterior =EC_A

$$A = (Ki * Ts) - 1 = (1050 * 0.001) = 0.05$$

$$B = Kp = 0.05$$

Control PI de voltaje

Haciendo uso del control fase diseñado anteriormente con el microcontrolador se obtuvo la respuesta de lazo abierto del cargador para un voltaje de 300Vdc, para un escalón de entrada y altura 179 (ángulo máximo de convertidor). Haciendo uso del módulo “PID tuner” de Matlab se obtuvo la función de transferencia del controlador PI de voltaje (ver figura 19), para posteriormente ingresarlo al código encargado de regular la corriente.

$$\frac{U(z)}{E(z)} = K_p + K_i * \frac{T_s}{z-1}$$

$$K_p = 0.00423, K_i = 335, T_s = 0.003$$

Fig. 19. Función de transferencia que describe al controlador PI de voltaje

A partir de la función de transferencia del controlador se generó el algoritmo que describe al controlador de corriente. Ver fig. 20.

$$U(k) = U(k-1) + AE(k-1) + BE(k)$$

$$B = KP; A = (KiTs - 1)$$

Fig. 20. Ecuación en diferencias que describe al controlador

Donde:

$U(k)$ = Salida del controlador PI de voltaje = SPIV

$U(k-1)$ = Salida del controlador PI de voltaje anterior = SPIV_A

$E(k)$ = Error = EV

$E(k-1)$ = Error anterior = EV_A

$$A = (Ki * Ts) - 1 = (335 * 0.003) - 1 = 0.005$$

$$B = Kp = 0.00423$$

Rutinas de control

Las rutinas de control se llevaron a cabo haciendo uso de las interrupciones del microcontrolador, en donde la interrupción externa INT0 fue usada para reiniciar el control rampa implementado cada vez que llegase un flanco a dicho pin del microcontrolador. La figura 17 muestra el diagrama de flujo de las rutinas del control de fase.

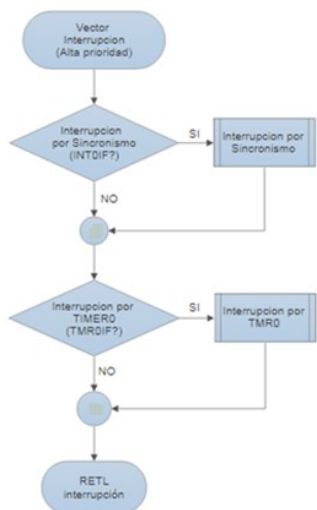


Fig.17 Diagrama de flujo del control fase

La interrupción por Timer0, fue usada para incrementar la rampa a partir de la llegada de un flanco al pin INT0 del microcontrolador, cuyo tiempo de interrupción fue de 42,67us (tiempo que dura un ángulo eléctrico en medio ciclo), y posteriormente comparar el ángulo de control con la rampa para activar los tiristores correspondientes.

Se hizo uso de la interrupción por Timer 1, cuyo tiempo de interrupción fue el tiempo de muestreo de los controladores de manera tal, que pasado dicho el microcontrolador ejecutara la rutina de control de corriente o voltaje. Ver figura 18.

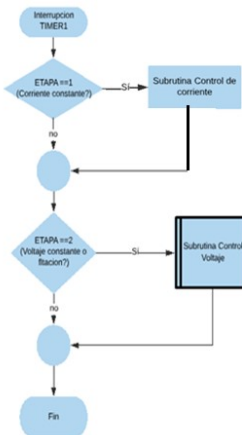


Fig.18. Diagrama de flujo interrupciones de los reguladores de voltaje y corriente

El orden jerárquico de las interrupciones se estableció de la siguiente manera:

INT0 (sincronismo) > Timer0 (incremento de la rampa)
> Rutinas de control de voltaje y corriente.

4. RESULTADOS

Una vez diseñado el software y el hardware, se procedió a implementar los circuitos del cargador de banco de baterías, para realizar las pruebas experimentales.

Construcción de la tarjeta de Potencia

La fig. 19 muestra el circuito diseñado en Proteus y la tarjeta de potencia elaborada del diagrama de bloques de la figura 11.

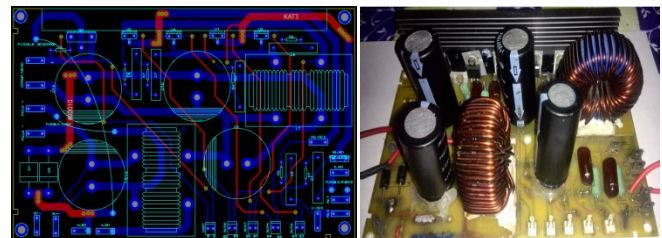


Fig. 19 . tarjeta de potencia diseñada

Entradas:

Alimentación 110/220Vac, 4 pulsos de disparo de compuerta

Salidas:

Conexión al sensor de voltaje, conexión al sensor de corriente, conexión al banco de baterías, conexión a la red de descarga

Construcción de la tarjeta de control diseñada

La fig. 20 muestra el circuito diseñado en Proteus y la tarjeta de control elaborada.

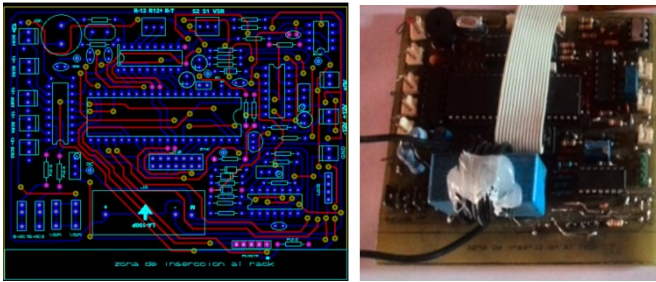


Fig. 20 Tarjeta de control elaborada

Dicha tarjeta posee el sensor de corriente La100p, el microcontrolador pic18f4550, el circuito de detección de 110/220Vac, el circuito de sincronismo, y las salidas de los pulsos de compuerta.

Construcción de la tarjeta del sensor de voltaje diseñado

La fig. 21 muestra el circuito diseñado en Proteus y la tarjeta de control elaborada.

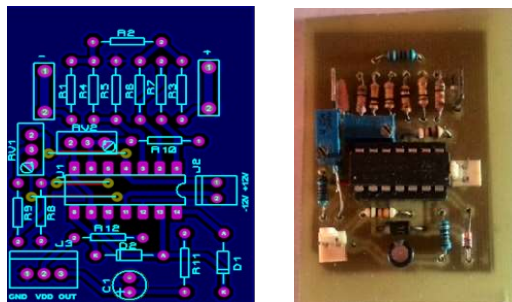


Fig. 21 Sensor de voltaje diseñado

Entradas: Alimentación +12V, -12V,+5V, BusDC 300V
Salida: Voltaje 0-5V

Construcción de la tarjeta de fuente lineal diseñada

La fig. 22 muestra el circuito diseñado en Proteus y la tarjeta de la fuente lineal elaborada

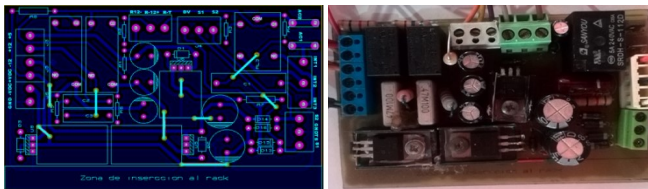


Fig. 22 Fuente lineal

Entrada: secundario del transformador AC.
Salida: Voltaje +12V,-12V, GND, sincronismo, detección de voltaje.

Construcción interfaz y botonera

La fig. 23 muestra el circuito diseñado en Proteus y la tarjeta de la interfaz elaborada.

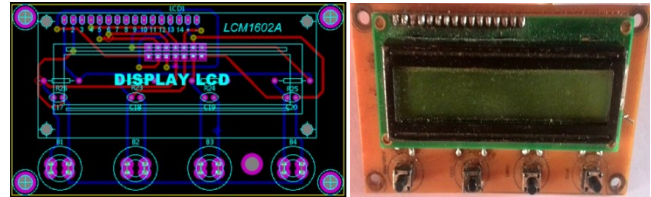


Fig 23. Interfaz Grafica

Construcción de los drivers de compuerta

La fig. 24 muestra la tarjeta de de los drivers de compuerta realizada mediante una pcb comercial perforada

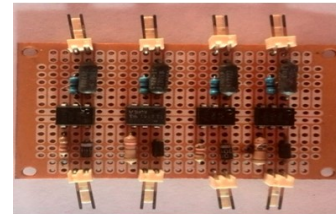


Fig. 24 Circuitos de compuertas

Prototipo Obtenido

