

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN



**“CONTROLADOR DE CARGA DIGITAL MULTIFUNCIONAL 2AS PARA
APLICACIÓN EN SISTEMAS EÓLICOS O FOTOVOLTAICOS”**

TRABAJO MONOGRAFICO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.

PRESENTADO POR:

Br. Marvin Samuel Amador Sánchez

TUTOR:

MSc. Manuel Arcia Salmerón.

Prof. Titular Dpto. Electrónica.

FEC

MANAGUA, NICARAGUA, JUNIO DE 2014.



DEDICATORIA



Dedico este trabajo a todos aquellos nicaragüenses que creen en el potencial humano que egresa de las universidades y que esperan con ansia nuestra ayuda para resolver problemáticas que atañen a nuestra sociedad.

Asimismo, a todos aquellos que sienten el compromiso de retornar a nuestra nación, el producto de la educación brindada durante sus años de formación. A aquellos que ahora van por la vida con el entusiasmo de dar todo por alcanzar el sueño del desarrollo tecnológico en Nicaragua, espero que esto les sirva de guía e inspiración.

A la Universidad Nacional de Ingeniería que ha sido mi segundo hogar y me ha facilitado alcanzar una formación integral. También a sus estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica que se esfuerzan día a día para aprender más de esta materia y que se han dado cuenta de lo hermoso que es estudiar ingeniería electrónica, para luego beneficiar a nuestra Nicaragua en cualquiera de sus ámbitos.



AGRADECIMIENTOS



A **Dios eterno**, por estar siempre a mi lado cuando más lo necesité y por darme las fuerzas y la mente capaz de enfrentar cualquier dificultad.

A mis padres **Daniel Amador y Patricia Sánchez**, por sus consejos, su apoyo en todo momento y ser los instrumentos que Dios utilizó para cuidarme.

A mis hermanos **Maydeline, Daniel y Norlan Amador Sánchez**, por preocuparse por mí a cada momento y motivarme a seguir con mis estudios.

Al ingeniero **Manuel Árcia**, por su hospitalidad e instruirme durante todo este trabajo y compartir todos sus conocimientos conmigo.

A la **Universidad Nacional de Ingeniería**, por brindarme la educación y facilitarme los recursos necesarios para culminarlos.

A todos y cada una de las personas que me motivaron e incentivaron a realizar este trabajo.

El autor

PRÓLOGO

El presente trabajo monográfico para obtener el grado de ingeniero electrónico, consiste en el diseño y construcción de un sistema controlador de carga haciendo uso del microcontrolador 16F877A como elemento principal del control. Este llevará por nombre “**controlador de carga digital multifuncional 2AS**” y cuya aplicación estará en los sistemas eólicos o fotovoltaicos.

El nombre de 2AS fue asignado en honor a las iniciales de los apellidos, del autor de la monografía y de su tutor.

El documento está dividido en 4 capítulos que ofrecen la información completa de cómo fue el desarrollo del trabajo. En el *capítulo uno*, se estudian las características básicas de un controlador de carga, el funcionamiento y aquellas especificaciones que el fabricante de baterías propone para el cuidado de las mismas.

El *capítulo dos*, presenta el diseño del circuito controlador 2AS. Los cálculos del diseño y la selección de cada uno de los componentes electrónicos. Todas las simulaciones de los eventos que pueden ocurrir durante la operación de control. Por último, contiene la etapa de construcción del controlador, las mediciones, las pruebas y las correcciones.

El *capítulo tres*, se ofrece un manual de usuario diseñado para que cualquier persona pueda manipularlo. En el *capítulo cuatro*, se presentan las conclusiones a las que se llegaron y las recomendaciones de este trabajo. Por último, las bibliografías y anexos.

Culminado este trabajo, se estará contribuyendo al desarrollo tecnológico en nuestra nación, debido a que el trabajo vendrá a fortalecer la tecnología empleada en la producción con energía alternativa.

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
PRÓLOGO	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
Descripción del Problema.	1
Planteamiento del problema.	2
Principales beneficios.	2
OBJETIVOS.....	3
Objetivo General.	3
Objetivos Específicos.	3
CAPÍTULO I.	4
GENERALIDADES DE UN CONTROLADOR.....	4
1.1 Que es un controlador.	5
1.2 Tipos de controladores.	5
1.3 Acumulador o Baterías.	7
1.4 Baterías de Plomo.	10
1.5 Conexión de las baterías.....	12
1.6 Consideraciones del controlador para proteger las baterías.....	12
1.7 Algoritmo de carga de la batería.	12
1.8 Características principales de un controlador.....	14
1.9 Dispositivo controlador.	15
CAPÍTULO II.	18
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROLADOR 2AS.....	18
2.1 Características de desempeño.....	19
2.2 Lógica de funcionamiento del controlador.....	19
2.3 Etapas del controlador.....	22
2.4 Simulaciones.	32
2.5 Descripción del funcionamiento del controlador en la simulación.	35
2.6 Control proporcional según el algoritmo de tres etapas.....	37
2.7 Montaje en tabla de nodos.....	38

2.8 Efecto de la impedancia interna de la batería.....	39
2.9 Construcción del 2AS.	40
2.10 Implementación y resultados.....	40
CAPÍTULO III.	41
MANUAL DE USUARIO.	41
3.1 Utilidad.	42
3.2 Precauciones de seguridad.	43
3.3 Instalación.....	44
3.4 Características técnicas del controlador 2AS.	44
3.5 Protecciones.....	46
3.6 LED Indicadores de estado.....	46
3.7 Información en pantalla LCD.	46
3.8 Tecnología de carga:	47
CAPÍTULO IV.....	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	48
4.1 Conclusiones.....	49
4.2 Recomendaciones.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	51
ANEXOS	54

[INDICE DE FIGURAS]

1.1 Sistema Fotovoltaico.....	5
1.2 Influencia de la temperatura en la vida útil de la batería.....	10
1.3 Estructura de una batería.....	10
1.4 Conexión serie y paralelo de las baterías.....	12
1.5 Algoritmo de carga de tres etapas.....	13
2.1 Funcionamiento del controlador 2AS.....	20
2.2 El controlador 2As como divisor de corriente.....	20

2.3 El consumidor demanda corriente de la batería.....	21
2.4 Cargando la batería.....	21
2.5 Diagrama en bloque del controlador.....	22
2.6 Conmutación de la alimentación.....	22
2.7 Conmutación con MOSFET.....	24
2.8 Divisor de voltaje para sensor el estado de la batería.....	26
2.9 Cerebro del control.....	28
2.10 Fuente interna del control.....	29
2.11 Control de conexión de consumidor.....	29
2.12 Control de conexión de consumidor con relé.....	30
2.13 Comportamiento de Rsh2 respecto a la corriente del consumidor.....	32
2.14.a Circuito microcontrolador.....	33
2.14.b Circuito de control.....	33
2.15 Iniciando la simulación.....	34
2.16 Seleccionando tipo de batería.....	34
2.17 Selección del tipo de descarga.....	34
2.18 Protección contra demanda cuando la batería está descargada.....	35
2.19 Simulación cargando la batería.....	35
2.20 Cargando la batería con PWM.....	36
2.21 Batería cargada.....	36
2.22 Control proporcional en el modo absorción.....	37
2.23 Montaje en tabla de nodos.....	39
2.24 Efecto de la impedancia interna de la batería.....	39

[INDICE DE TABLAS]

Tabla 1.1 Requerimientos del microcontrolador.....	17
Tabla 2.1 Límites de voltajes en Rsh1.....	24
Tabla 2.2 Voltajes de control programados en el microcontrolador.....	25
Tabla 2.3 Límites de voltajes en Rsh2.....	30
Tabla 2.4 Determinación del valor de Rsh2.....	31

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) señaló en Junio de 2013, que Nicaragua genera un 51% de su electricidad con energías renovables: *eólica, geotérmica, energía solar y otros*. Así mismo señala que este porcentaje irá en aumento cada año hasta alcanzar 91 por ciento de generación de energía renovable en el país en 2027. [1]

Este dato indica que la construcción de generadores eólicos y la instalación de paneles solares proliferarán en las comunidades de nuestro país, como alternativa de producción de energía eléctrica para satisfacer las necesidades del hogar. Sin embargo, existe gran debilidad en el proceso de control de la energía eléctrica que se produce y para solucionar este problema, los productores de energía renovable adquieren controladores de carga que son fabricados en el exterior y que pocas veces cumplen con los requerimientos del sistema solar o eólico que se instaló.

Por otro lado, en la web se encuentran todo tipo de diseño de controladores pero que son conocidos simplemente como *recetas o enlatados*, porque muy pocos logran funcionar y otros no aplican los principios o las técnicas eficientes para prolongar la vida útil de todo el sistema eólico o fotovoltaico.

En el siguiente trabajo se presenta el ***diseño e implementación de un sistema controlador de carga digital*** para controlar la corriente eléctrica que es producida por un panel solar o un aerogenerador. Este controlador será multifuncional y además de garantizar que la energía eléctrica producida por el viento, o el panel solar, sea aprovechada al máximo, también proveerá el aislamiento de todo el sistema, cumpliendo con la protección del mismo.

Descripción del Problema.

Actualmente se están instalando paneles solares y generadores eólicos en nuestro país para producir energía eléctrica. Pero el tomar en cuenta las

condiciones locales tales como la velocidad del viento o la radiación solar es de gran importancia para prolongar la vida útil de un sistema aislado (sistema eólico o fotovoltaico), esto se debe a que en determinadas condiciones, la energía eléctrica producida genera grandes corrientes y/o voltajes, provocando daños irreparables a todo sistema aislado.

Los controladores de carga se necesitan para el control de la energía eléctrica generada y entregada al consumidor, proceso en el cual intervienen las baterías como elementos almacenadores de energía y deben ser protegidas contra tales eventos.

Los ciudadanos que instalan su panel solar o generador eólico, adquieren el controlador en los mercados locales o internacionales. Controladores que son fabricados en países como Japón, China, Estados Unidos, entre otros; que son costosos, no tienen soporte técnico y algunos no ofrecen *Movilidad*, lo que quiere decir, que si en el remoto caso el usuario quiere conectar diferentes capacidades de batería (75AH, 105AH, 220AH, entre otras) simplemente no podrá hacerlo porque el controlador que compró sólo es de cierta capacidad, conduciéndose entonces a vender o descartar el que tiene, para comprar otro más caro.

Planteamiento del problema.

Diseñar e implementar un controlador de carga digital multifuncional para aplicaciones en sistemas eólicos o fotovoltaicos.

Principales beneficios.

Este trabajo junto con los proyectos elaborados por estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica y electrónica de la UNI en Nicaragua y la monografía realizada en la universidad de Piura en Perú, coadyuvará en el desarrollo tecnológico del país, aportando a la cultura de investigación y

emprendedurismo que actualmente promueve el gobierno en sus planes de desarrollo tecnológico.

De igual forma beneficia a la sociedad que instala un sistema fotovoltaico o eólico como alternativa porque con este controlador podrán garantizar la instalación eficiente de su sistema y prolongar su vida útil.

Con este diseño cualquier persona con conocimientos de electrónica podrá implementarlo para satisfacer las necesidades de los productores de energía eléctrica a través de paneles solares y aerogeneradores.

OBJETIVOS

Objetivo General.

Diseñar e implementar un controlador de carga digital multifuncional 2AS para aplicación en sistemas eólicos o fotovoltaicos.

Objetivos Específicos.

1. Determinar las características básicas que hacen funcionar a un controlador de carga en aplicaciones fotovoltaicas y eólicas.
2. Analizar las especificaciones generales de las baterías para controlar su estado de carga y prolongar su vida útil.
3. Diseñar el controlador 2AS y comprobar su funcionamiento mediante la simulación usando la SUITE PROTEUS.
4. Implementar el prototipo del controlador 2AS y realizar los ajustes requeridos para garantizar que cumpla con las características de desempeño establecidas.

CAPÍTULO I.

GENERALIDADES DE UN CONTROLADOR

Este capítulo es un estudio general de las funciones de un controlador y las especificaciones de las baterías de ciclo profundo para las aplicaciones en sistemas eólicos y fotovoltaicos. El propósito es comprender, tanto las características que tendrá el controlador a diseñar, como las características de las baterías que el controlador respetará para prolongar la vida útil de las mismas.

En el campo de las energías limpias, los controladores son comúnmente conocidos como reguladores cuyo funcionamiento es controlar el estado de la batería evitando sobrecargas de la misma y controlando el funcionamiento del aerogenerador o del panel. Mientras las baterías estén descargadas y las condiciones climatológicas lo permitan, el controlador estará aportando energía a los acumuladores.

1.1 Que es un controlador.

Un controlador o regulador de carga es un sistema electrónico que conecta los paneles solares o aerogeneradores con las baterías con el fin de brindar un mayor rendimiento al sistema. [2]

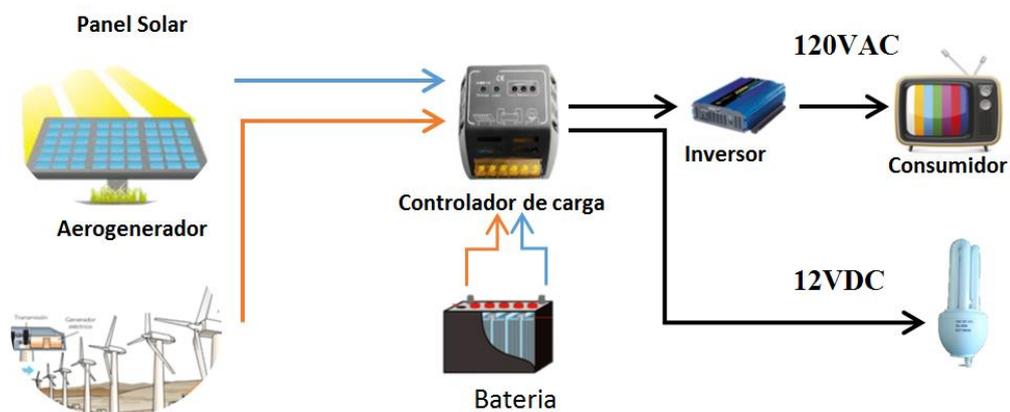


Figura 1. 1 Sistema Fotovoltaico.

En la figura 1.1 se muestra el controlador en un sistema fotovoltaico. *Su función principal es controlar la carga y descarga de las baterías para prolongar su vida útil.* Por una parte, el controlador, regula constantemente las variables de corriente y voltaje que provienen del panel solar o del aerogenerador y que luego van hacia la batería. Asimismo se encarga de proteger a la batería contra sobre descargas profundas por parte del consumidor.

1.2 Tipos de controladores.

Los tipos de circuitos reguladores se clasifican en reguladores lineales, reguladores conmutados y actualmente, reguladores MPPT (**M**aximum **P**ower **P**oint **T**racking) seguidor del punto de máxima potencia [3].

Los reguladores lineales, aunque son más sencillos de utilizar que los reguladores de conmutación, su eficiencia es alrededor del 20% y solamente resultan eficaces para baja potencia ($< 5 \text{ W}$). [4] En estos, el elemento de control se varía de modo directamente proporcional a la tensión de línea o a la corriente de carga. Estos reguladores pueden ser del tipo serie y paralelo.

Los tipos serie para intensidades elevadas, controlan la tensión de salida ajustando continuamente la caída de tensión del elemento de control (p. ej. un transistor de potencia) conectado en serie entre la entrada no regulada y la carga. [5] Este tipo de regulador corta la corriente cuando alcanza el valor establecido.

Los tipos paralelos o Shunt para intensidades pequeñas, funcionan similar al anterior excepto que el elemento de control esta en paralelo con la carga de salida. [6] Este tipo de regulador deriva la corriente a una resistencia.

Por su parte, **Los reguladores conmutados PWM**, son reguladores que actúan como un interruptor entre los módulos fotovoltaicos y la batería. Conectados a un regulador PWM, los módulos fotovoltaicos están forzados a trabajar a la tensión de la batería (p. ej. cuando cargamos una batería a 13,5 V, los módulos también dan 13,5 V), lo que resulta en pérdidas de rendimiento respecto al punto de máxima potencia (MPP) de los módulos. El regulador corta muchas veces por segundo el contacto entre módulos y batería, para que no se sobrecargue la batería.

Un regulador MPPT lleva incorporado un seguidor del punto de máxima potencia (Maximum Power Point Tracking = MPPT) y se encarga de trabajar en la entrada de los módulos fotovoltaicos (eólicos) a la tensión que más conviene para sacar la máxima potencia o para limitar la potencia en fases de "absorción" y "flotación" [7]

En base a lo expuesto, se trabajará con un regulador del tipo PWM debido a su sencillez, buena eficiencia y bajo costo, en relación a las otras dos tecnologías.

1.3 Acumulador o Baterías.

En un sistema fotovoltaico o eólico, se utilizan baterías para acumular la energía eléctrica que se ha generado. Una batería es un recipiente lleno de químicos que producen electrones. Las reacciones químicas son capaces de producir electrones y este fenómeno es llamado reacción electroquímica. La duración del periodo que puede ser cubierto está determinada por la demanda de electricidad y el tamaño de la batería de almacenamiento.

Estas baterías son relativamente grandes y pesadas. Están compuestas de celdas de 2 voltios nominales que se juntan en serie para lograr baterías de 6, 12 o más voltios. [8]

Existen diferentes tipos de baterías y con excelentes características. Sin embargo, las baterías utilizadas para los sistemas fotovoltaicos y eólicos son las *baterías de ciclo profundo*, que permiten ciclos de carga y descarga más prolongados en comparación con las demás. La batería mayormente usada es la de ácido plomo debido a su relación precio-energía, sin embargo también existe las de Litio como las que se usan en los celulares, que ofrecen las mejores capacidades en la relación peso-volumen pero lamentablemente con precios muy elevados. [9]

Entre las características que definen el comportamiento de una batería, se encuentran: [10]

✚ La capacidad en Amperios hora:

Es la capacidad de almacenamiento de energía y se mide en Amperios-hora (Ah) ya que relaciona la energía acumulada en watt-hora (Wh) con el voltaje (V) entre sus bornes. La capacidad de una batería en cualquiera de estos sistemas debe ser de 4 veces el consumo total de energía (un 50% de descarga máxima y 1 día de reserva). En la mayoría de los casos se hacen conexiones de baterías en serie para obtener un potencial o una cantidad de energía requerida, lo que da lugar a un *banco de baterías*.

Por ejemplo, si se requiere de un sistema de 12 voltios con un consumo de 987Wh, bien se puede utilizar una batería grande de 12V de 330Ah,

equivalente a 4 veces la energía requerida. Pero si el sistema es de 24V con un consumo de 987Wh, entonces se deberán conectar en serie dos baterías de 12V de 165Ah cada una.

✚ Ciclo de una batería:

Es la sucesión de una descarga seguida de su posterior recarga hasta recuperar completamente la energía extraída. Las normas definen la duración de ciclos normalizados para probar una batería. Por ejemplo, en la norma IEC 60896, el período de descarga es de 3 horas, mientras que el de carga dura 21 horas. Es decir, la norma permite realizar un ciclo completo por día.

✚ Profundidad de descarga:

Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Las baterías de "ciclo poco profundo" se diseñan para descargarse completamente en cada ciclo sin sufrir ningún daño.

✚ El C20 en las baterías:

Es una norma para el manejo óptimo de las baterías. **El C20 en recarga** Indica que la batería se cargará en 20 horas. Por ejemplo: una batería de 100Ah, el C20 es:

$$I = \frac{Ah}{C20} = \frac{100Ah}{20h} = 5A$$

El C20 en descarga Indica que la batería puede descargarse a una velocidad del 20 % de su capacidad. Por ejemplo: una batería de 100Ah, el C20 es:

$$I = Ah * C20 = 100Ah * 20 \frac{\%}{h} = 20A$$

Descargar una batería a una velocidad del 20% de su capacidad equivale a descargar una batería en **5 horas**. Algunos controladores no respetan esta condición para el cuidado de la batería y descargan con un formato **C50** lo que equivale a una descarga de la batería a una velocidad del 50% de su capacidad, para el ejemplo dado, **2 horas**.

Los fabricantes de las **UPS** que son comúnmente utilizadas para respaldo de la alimentación en las computadoras de escritorio, utilizan baterías de 7Ah y permiten descargarla en un tiempo de *15 minutos* sin importar la vida útil de la batería. Esto quiere decir que le extraen un 400% de su capacidad. Esta es la razón por la cual las baterías de las UPS dilatan corto tiempo.

✦ Régimen de corriente de carga:

El régimen de corriente de carga normal utilizado en baterías es de 10% de la capacidad nominal (0.1C). Se recomienda no hacerlo a menos del 5% (0.05C) y a no más del 20% (0.2C). p.ej.: Una batería de 105Ah cargándose a un régimen de corriente del 10% quiere decir que la corriente suministrada a la batería es de 10.5 Amperios por hora.

✦ Régimen de tensión de carga:

Las baterías de electrolito líquido se mantienen cargadas a una tensión denominada de flote o mantenimiento y su valor depende de la densidad del electrolito. La mayoría de las baterías estacionarias de electrolito líquido se mantienen a una tensión de 2,2VPC (Volt por celda). Luego de una descarga, la tensión de carga debe aumentar hasta un valor comprendido entre 2,33 y 2,4VPC.

En general las baterías de 12V, suelen cargarse hasta los 14.5V y descargarse hasta los 10.5V.

✦ Influencia de la Temperatura:

La temperatura tiene gran influencia sobre la batería. La temperatura óptima recomendable para una batería en uso, está entre los 20 y 25°C. A mayor temperatura, la vida es más corta. Una temperatura 10 grados arriba del óptimo puede cortar la vida por la mitad. La figura 1.2 muestra este fenómeno.

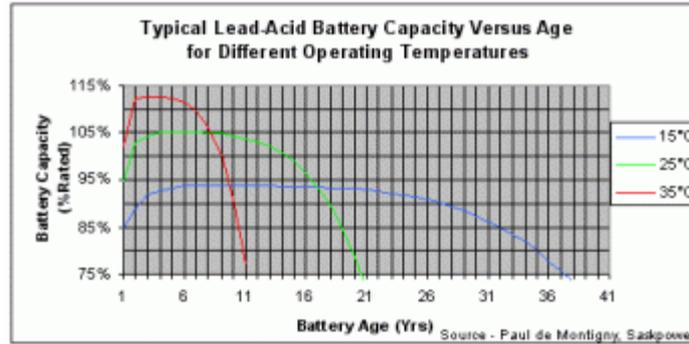


Figura 1. 2 Influencia de la temperatura en la vida útil de la batería.

Por otro lado, hay que tomar en cuenta que la capacidad de almacenar energía disminuye en temperaturas bajas. **Entonces para una batería sin uso, es preferible mantenerla a una temperatura más baja.**

La temperatura también influye como cargar una batería. Con el aumento de la temperatura hay que disminuir el voltaje para evitar una gasificación, pero asegurando una carga por completo. Recordamos que una gasificación en baterías selladas (libre de mantenimiento) no es recuperable: el líquido se pierde por las válvulas sin tener la posibilidad de rellenarlas. En nuestro caso con ayuda del C20 se optimiza este fenómeno.

1.4 Baterías de Plomo.

Estas baterías de ciclo profundo, a diferencia de las que se utilizan en los automóviles, tienen que dar energía en tiempos más prolongados y se descargan a niveles más bajos; por tal razón, tienen capas o celdas de plomo más gruesas con valor de 2V nominales cada una, lo que las hace ser más grandes y pesadas. La cantidad de celdas depende del valor del voltaje que se quiera lograr, para ello se hace una conexión de celdas en serie. La figura 1.3 muestra la estructura de una batería de ciclo profundo y los componentes que la conforman.

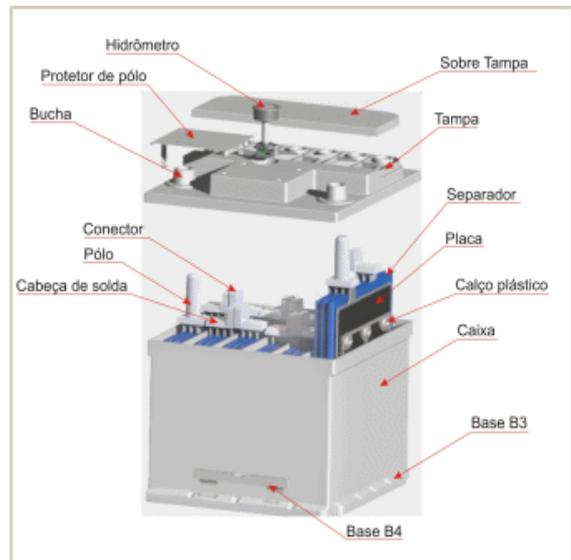


Figura 1.3 Estructura de una batería.

Por otro lado, la cantidad de años que durará una batería no es un dato fijado por el fabricante sino que lo determina la cantidad de ciclos de carga/descarga a una profundidad de descarga (y a una temperatura) determinada; es decir, depende del uso que se le dé a la batería, algunas oscilan entre 200 ciclos, 400 ciclos, incluso las baterías de AGM y de Gel superan los 800 ciclos.

Todos estos tipos de baterías requieren una buena carga y evitar siempre las sobrecargas y sobre descargas, logrando algunas llegar hasta los 10 años a más. Asimismo, la temperatura es un factor influyente sobre la batería, se recomienda a 20 o 25 grados. A temperaturas con 10 grados más de lo establecido, puede cortar la vida por la mitad. De igual forma a temperaturas más bajas la capacidad de almacenar energía disminuye.

Se puede decir entonces que la eficiencia de una batería depende del tipo, temperatura, vejez, el estado de descarga y su calidad de construcción.

También hay que considerar que los productores miden la capacidad de sus baterías sobre diferente tiempo de descarga, lo que dificulta compararlas. Por ejemplo unos miden la capacidad sus baterías al descargarla con una corriente alta en poco tiempo y otros la miden al descargarla con una corriente pequeña sobre un tiempo prolongado. Sin embargo, los fabricantes indican la capacidad de la batería descargada sobre 20 horas, lo que se conoce como **C20**.

Entre los tipos de baterías de plomo que existen están:

- ✦ **Baterías Líquidas:** Son las más antiguas y son menos problemáticos si se sobrecargan.
- ✦ **Baterías tipo VRLA** (*Valve Regulated Lead Acid battery*), tales como: *Baterías de Gel*, cuya vida útil es mucho mayor que la vida de las baterías líquidas y por último, las *Baterías tipo AGM*, que tiene la eficiencia más alta de todas las baterías de plomo y que su auto descarga sobre el tiempo es mínimo.

1.5 Conexión de las baterías.

Se pueden interconectar baterías para formar un banco de baterías con mayor voltaje o aumentar la capacidad de almacenamiento. Con este fin, se conectan baterías en serie para incrementar el voltaje, en paralelo para incrementar la capacidad en Amperios hora del sistema de acumulación o en conexiones serie-paralelo para incrementar ambas capacidades.

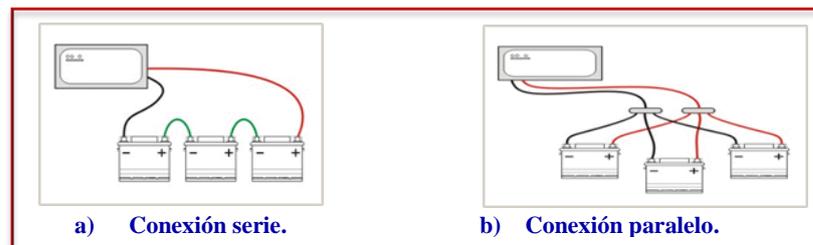


Figura 1. 4

La figura 1.4 muestra cómo se realizan las conexiones de las baterías para obtener mayores capacidades.

1.6 Consideraciones del controlador para proteger las baterías.

El controlador tiene como fin principal proteger a la batería en todos los momentos. A continuación se presentan algunas consideraciones a tener presente en el diseño del controlador:

- ✦ La batería de 12V, se considera cargada a los 14.5V y descargada a los 10.5V.
- ✦ La **corriente de carga** será en el formato **C20** para prolongar la vida útil.
- ✦ La **corriente de descarga** será opcional, en tres formatos: **C5** (descarga lenta), **C10** (descarga media) y **C20** (descarga óptima).
- ✦ El **rango de temperatura** estará entre los 20-40°C.
- ✦ Poner **indicaciones** usando diodos LED para cualquiera de los estados de la batería.

1.7 Algoritmo de carga de la batería.

Se entiende como algoritmo de carga, al método que emplea el controlador para cargar la batería. Es decir, la forma en que se controla el voltaje aplicado a la batería, la corriente de suministro y en dependencia de la tecnología, los tiempos asociados a estos procesos o etapas.

Existen diferentes tipos de algoritmos de carga que son desarrollados por los propios fabricantes de batería, para optimizar las características de recarga en diferentes aplicaciones.

En este apartado se estudia el algoritmo de tres etapas por ser uno de los más frecuentemente utilizado por los controladores. Ver fig1.5.

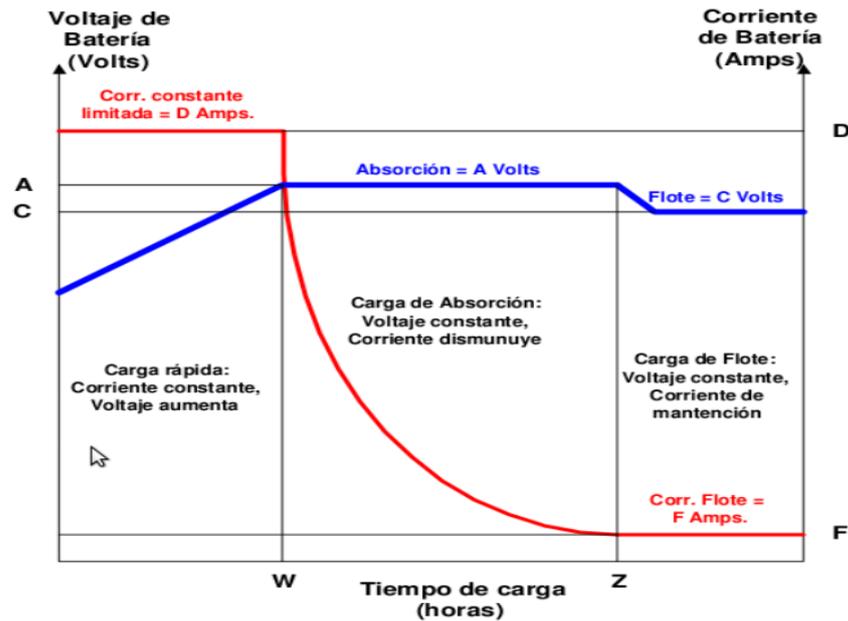


Figura 1. 5 Algoritmo de carga de tres etapas

- **Primera etapa: Carga rápida.** Ocurre cuando la batería está descargada, entonces la corriente es la máxima y permanecerá constante mientras que el voltaje irá en aumento. Si la corriente pretende aumentar, el controlador desconectará la batería.

- **Segunda etapa: Modo de absorción.** Ocurre cuando la batería está en un 80% cargada, entonces el controlador mantiene constante el voltaje en la batería y la corriente irá en decremento gradual.

- **Tercera etapa: Modo almacenamiento o flote.** Ocurre cuando la batería está completamente cargada, pero en caso de disminuir el valor del voltaje por debajo de algún valor prefijado, el controlador

intentará conectar la batería para mantenerla en la condición de carga plena.

1.8 Características principales de un controlador.

Las características principales y comunes que tienen los reguladores son las siguientes:

- Tensión Nominal.
- Tensión Desconexión consumo.
- Alarma Tensión Alta.
- Tensión Reconexión consumo.
- Alarma Tensión Baja.
- Sobrecarga Admisible.
- Autoconsumo.
- Intensidad máxima del generador.
- Intensidad máxima del consumidor.
- Protección contra desconexión de batería
- Tipo de regulación.
- Selección de Batería.
- Señalización del estado de carga. Mediante Leds.

La tarea final del regulador se resume a sensar constantemente el voltaje de la batería para cargarla o desconectar la alimentación de la fuente en caso de existir sobre voltajes o sobre corrientes provenientes de la alimentación. Al mismo tiempo, estará sensando la corriente que demanda el consumidor para que en caso de existir una sobre demanda de corriente, el controlador desconecte la batería inmediatamente.

El controlador que se propone diseñar debe ser **multifunción e inteligente**, es decir, tener protección interna contra sobre carga y sobre descarga, así como protecciones de inversión de polaridad y altas temperaturas, también debe permitir que se le conecten cualquier formato de batería y este será capaz de controlar las variables. Las indicaciones más importantes se reflejarán en un display y en diodos LED.

1.9 Dispositivo controlador.

Existen diferentes tecnologías que pueden servir como controlador, tales como: Arduinos, FPGA, PLC, Microcontroladores, dispositivos discretos, etc. Sin embargo, para este diseño un PLC o un FPGA puede aumentar los costos de producción y también el tamaño sería muy considerable a la hora de implementarlo.

Los dispositivos discretos como el OPAMP, el 555, el SG3524, LM311 entre otros pueden servir en el diseño, pero esto aumentaría el tamaño de la circuitería electrónica utilizada. Por su parte, en la utilización del arduino también el tamaño y el costo se incrementan.

Por esta razón, para el diseño e implementación del controlador 2AS se utilizará la tecnología de los microcontroladores, por su facilidad de utilización y adquisición. Además, los microcontroladores cuentan con los recursos óptimos para este tipo de control que se diseñará y por eso es digital.

Existen variedad de microcontroladores dependiendo del tipo de fabricante Microchip, AVR, Patriot, entre otros, que pueden ser utilizados para este trabajo de desarrollo. Con el microcontrolador como elemento central de todo el sistema, se podrán medir y procesar todas las variables de interés.

- **Puertos de entrada y salida de bajo voltaje.** La ventaja de tener estos puertos es que se podrá hacer uso del display para poder mostrar cualquier información, por ejemplo el estado de carga de la batería, quedándonos los demás pines disponibles para la medición de las variables.
- **n bits multicanales y convertidores analógico-digitales.** Los convertidores permiten Sensar constantemente y directamente las variables analógicas e internamente convertirlas en digital para ser procesadas dentro del PIC.

- **Módulo PWM.** Módulo que genera una señal pulsante a determinada frecuencia que como salida, permitirá mantener un control sobre toda la electrónica de potencia.

Para seleccionar el microcontrolador a utilizar, se deberán conocer ¿cuántas entradas y salidas se necesitan?, y ¿De qué tipo? ¿cuántas señales PWM se van a utilizar?, ¿cuánto cuesta?, entre otras preguntas a responder. La tabla 1.1 muestra la cantidad de pines y las características que debe cumplir el microcontrolador para el diseño del controlador 2AS.

	Características	Cantidad
Entradas	Pulsador. Selector de la capacidad de Batería conectada.	1
	Pulsador. Aceptar	1
	Pulsador. Reinicio	1
	Entrada analógica. Monitoreo de Corriente en el consumidor	1
	Entrada analógica. Monitoreo de Corriente en la batería	1
	Entrada analógica. Monitoreo de Voltaje en la batería	1
	Salidas	Conexión de Display
Conexión del consumidor		1
PWM. Para conmutación del voltaje de la fuente		1
LED indicadores		4
Alimentación	+VCC y -VEE	2
Osciladores		2
TOTAL DE PINES		26

Tabla 1.1. Requerimientos del microcontrolador

El microcontrolador utilizado deberá tener como mínimo 26 pines y con las características mostradas en la tabla 1.1. Es por ello que se elige trabajar con el **PIC16F877A**, porque cumple con los requerimientos, porque es barato, por su disponibilidad en el mercado nacional y la experiencia que tiene el autor en la programación.

CAPÍTULO II.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL CONTROLADOR 2AS.

Este capítulo presenta el desarrollo del diseño del controlador. Para ello, el contenido se aborda desde el establecimiento de los términos de referencia del controlador (entendiéndose estos, como las características de desempeño que debe cumplir el controlador una vez terminado). Se presenta el diseño por etapa, así como las principales simulaciones. Por último, se describe la etapa de construcción, las pruebas y correcciones.

El Controlador diseñado deberá cumplir con los términos previamente establecidos por el autor, sin dejar a un lado las especificaciones de la batería.

2.1 Características de desempeño.

El sistema diseñado permitirá conectar baterías de **12** voltios y de capacidades **70 Ah, 105Ah y 220Ah**. Tendrá las debidas protecciones contra sobrecorriente, sobrevoltaje, inversión de polaridad de la batería, entre otras. Integrará los indicadores del estado de carga de la batería, así como la corriente y el voltaje que se está controlando.

El sistema garantizará, a través de un algoritmo de carga, que la batería se cargue óptimamente para prolongar su vida útil. Esto quiere decir que no permitirá exceso de voltaje ni de corriente, *durante la carga*. En cuanto a *la descarga*, el controlador no permitirá que el consumidor demande más corriente de la que se programó según el formato de descarga previamente seleccionado por el usuario.

2.2 Lógica de funcionamiento del controlador.

La función principal del controlador es proteger la batería conectando y desconectando la batería de la energía proveniente de la fuente primaria (sea está un **panel solar o un aerogenerador**) y también de la energía que demanda el consumidor.

La figura 2.1 muestra la conexión entre la batería, el panel o aerogenerador y el consumidor. Para protección de la batería, el microcontrolador estará monitoreando constantemente *la corriente de recarga, el voltaje en la batería y la corriente del consumidor* (como ejemplo se utiliza una lámpara de 12Vdc). Dependiendo del estado de estas variables, el microcontrolador mandará a conmutar los switch para conexión del generador y del consumidor hacia la batería.

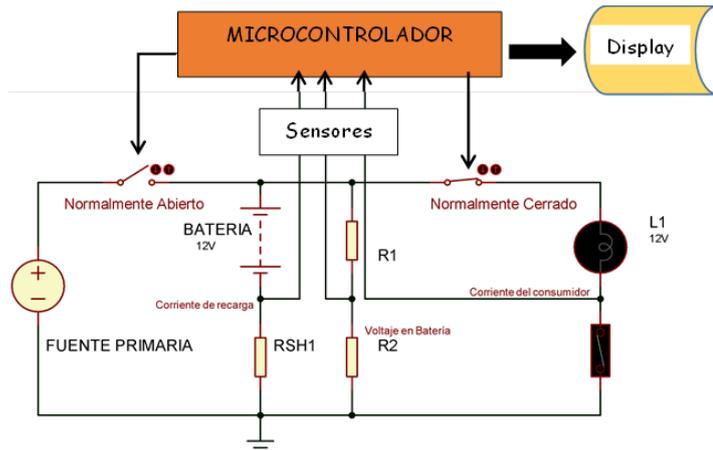


Figura 2.1. Funcionamiento del controlador 2AS

El microcontrolador muestra en el display, la corriente de demanda del consumidor y el voltaje que tiene la batería y su equivalente en porcentaje de carga

2.2.1 Controlador 2AS como divisor de corriente.

La figura 2.2. Muestra que la fuente primaria (aerogenerador o panel solar) suministrará corriente a la batería y al consumidor. Esto quiere decir, que la batería estará cargándose con una corriente equivalente al formato **C20** de la batería seleccionada y al mismo tiempo el consumidor permanecerá conectado demandando corriente de la fuente primaria.

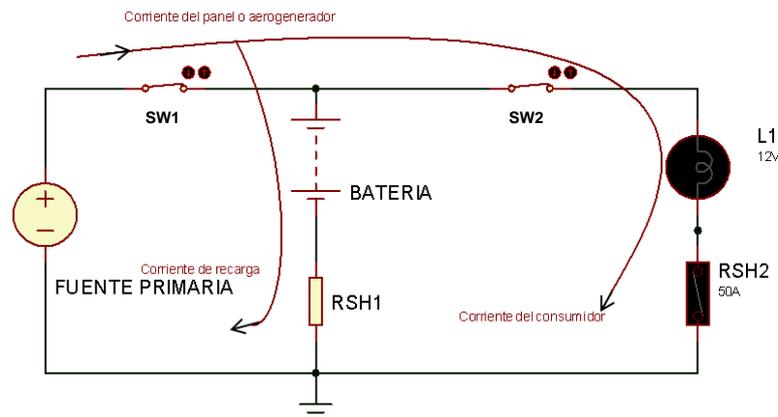


Figura 2.2. El controlador 2AS como divisor de corriente

Condiciones para que se abra el sw1:

- **Si hay sobrecorriente de recarga.** Es decir, si la corriente de recarga excede al formato C20 de recarga de la batería conectada.

- **Si la batería llegó al estado de carga plena.** El microcontrolador mandará a abrir el sw1 para no continuar suministrando corriente a la batería.

Si la fuente primaria se desconecta, entonces la batería será el respaldo y en lugar de recibir corriente ahora entregará corriente al consumidor, para que el consumidor nunca se quede sin suministro de corriente. Ver la *figura 2.3*

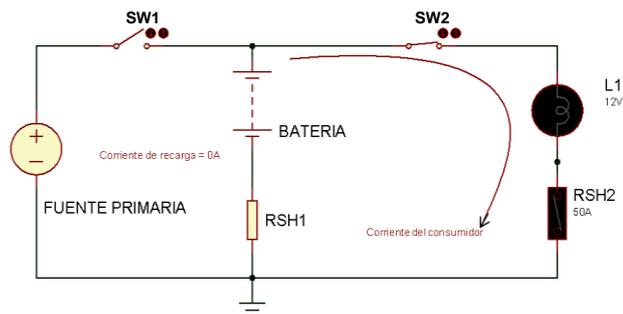


Figura 2.3. El consumidor demanda corriente de a batería.

Condiciones para que se abra el sw2:

- **Si hay sobrecorriente demandada del consumidor.** Es decir, si la corriente que demanda el consumidor excede al formato C20 de descarga de la batería conectada.
- **Batería descargada.** Cuando la batería se descargue y su voltaje esté por debajo de 10.5V, entonces el microcontrolador abrirá sw2 para proteger la batería.

Si la batería está descargada entonces el microcontrolador mandará a cerrar el sw1 para volver a cargar la batería y al mismo tiempo abre el sw2 para protección de la batería. Ver *figura 2.4*

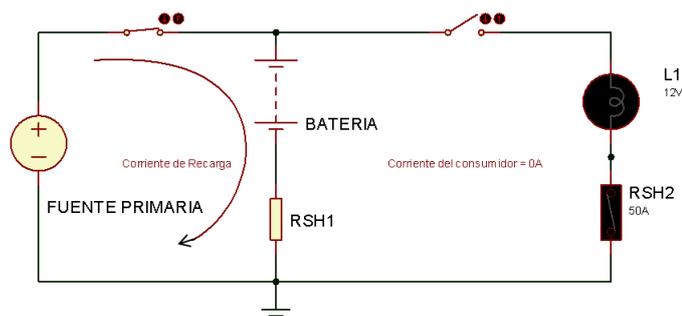


Figura 2.4. Cargando la batería.

2.3 Etapas del controlador.

Teniendo presente los términos de referencia anteriormente mencionados, se plantea el siguiente diagrama en bloque de lo que será el controlador:

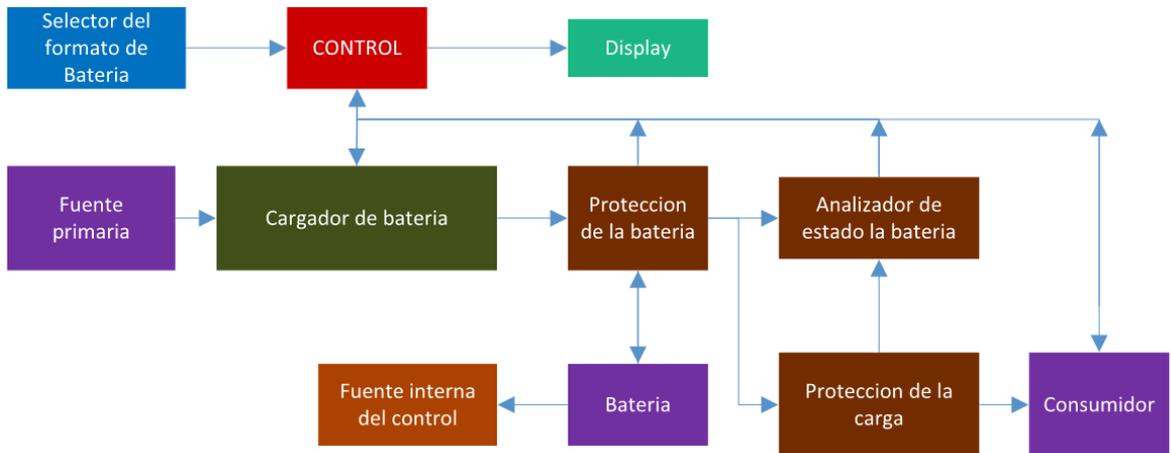


Figura 2.5. Diagrama en bloque del controlador

La figura 2.5. Muestra cada una de las etapas que tendrá el controlador una vez diseñado.

2.3.1 Fuente Primaria.

Esta etapa la constituye el panel solar o aerogenerador que se conecte al sistema. Cualquiera de estas dos fuentes pueden se conectadas una a la vez y no simultáneamente.

2.3.2 Cargador de batería.

El cargador de batería puede verse en la figura 2.6. Esto se logra con la conmutación de un switch que se cerrará para cargar la batería y se abrirá cuando la batería esté cargada.

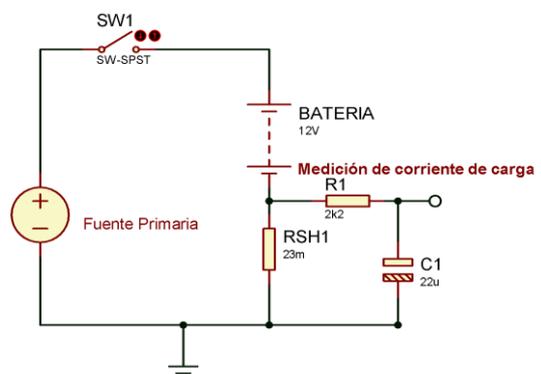


Figura 2.6. Conmutación de la alimentación

La resistencia conectada en serie a la batería es conocida como **resistencia**

Shunt (Rsh1) esta se utiliza para limitar la

corriente de recarga y también permite monitorear la corriente que atraviesa a la batería a través de la red RC. Sin embargo se debe tener presente, que el

valor de Rsh1 debe ser lo más pequeño posible, ya que al ser atravesados por corrientes grandes, provocará gran pérdida de potencia.

- **Corriente de recarga.** La batería se cargará con a una corriente constante en un tiempo establecido de 20 horas, según el estándar **C20**. Por ejemplo, una batería de 100Ah de capacidad, debe de cargarse o descargarse a 5A constante máximo en un tiempo de 20 horas, con la finalidad de prolongar su vida útil.
- **Estado de Voltaje en batería.** Una batería de ciclo profundo de 12V debe cargarse hasta 14,5V y descargarse hasta 10,5V. Por tal razón deben medirse constantemente ambos estados de **voltaje** de la batería, para mantenerla más tiempo conectada para cargarla o desconectarla inmediatamente cuando ya se cargue.

Para conmutar la conexión de la batería de la fuente primaria, se utiliza la tecnología **MOSFET** como switch electrónico. La figura 2.7 muestra la conmutación que hará el MOSFET con una entrada de señal tipo PWM (Modulación de Ancho de Pulso) proveniente del PIC hacia el BJT. Esta señal PWM será el resultado de las decisiones que tome el PIC, es decir, si la batería está súper descargada, el T_{ON} (tiempo que permanecerá conectada la batería) será mayor que el T_{OFF} (Tiempo que permanece desconecta). A medida que el voltaje va aumentando y llegando al estado de carga completa, el T_{ON} irá disminuyendo hasta llegar a ser menor que el T_{OFF} . Momento en el cual la batería se desconectará por completo.

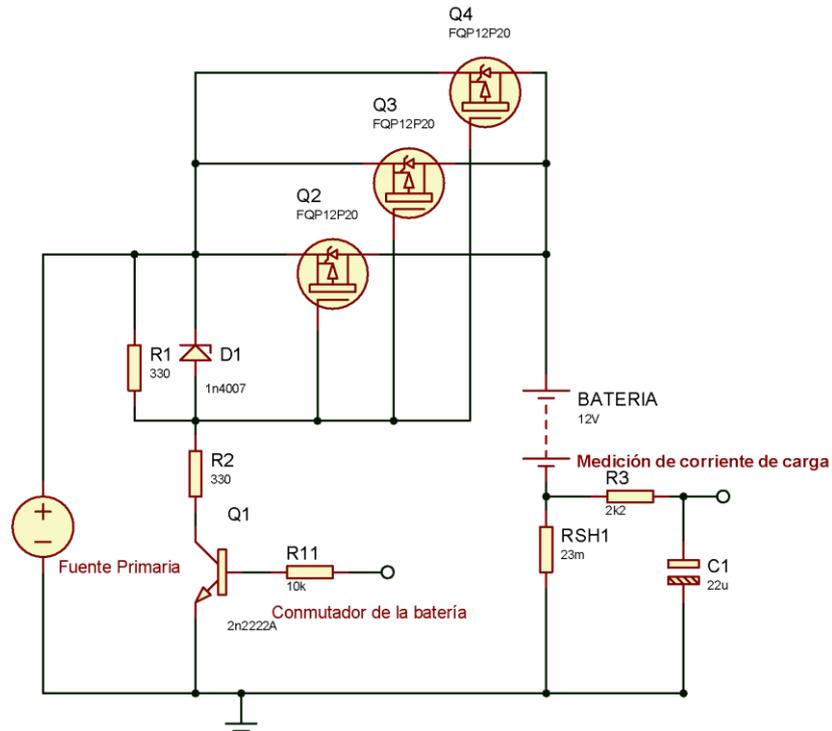


Figura 2.7. Conmutación con MOSFET

El **FQP12P20** es un Mosfet de canal **p** cuya corriente máxima de drenador es de 11 amperios, por ello se conectan 3 de estos en paralelo. El Mosfet estará siempre encendido con un duty cycle del 90% pero si la batería está cerca de los 14.5V el ancho del pulso se reduce hasta que desconecte por completo la batería.

2.3.3 Protección de la batería.

La corriente suministrada a la batería se mide a través de R_{sh1} que se muestra en la figura 2.6. La caída de voltaje V_{clc1} (CLC: Control de Límite de Corriente) que genera el paso de esta corriente sobre la resistencia, es medida por el microcontrolador. Sin embargo, este valor no debe de ser tan grande para no generar mucha pérdida.

Cálculo de R_{sh1} : el cálculo de esta resistencia se hace para la batería de mayor capacidad, es decir para la batería de 220Ah. Y considerando recargar la batería según el **C20** entonces la corriente de recarga será:

- $$I_{recarga} = \frac{220Ah}{20h} = 11A$$

Esta es la corriente máxima de suministro que será controlada. A continuación, se asume un $V_{clc1} = 0.25V$ como caída máxima de voltaje dando como resultado:

- $P_{clc1} = V_{clc1} I = (0.25V)(11A) = 2.75W$ es una pérdida de energía muy considerable. Por lo que en la práctica hay que corregirlo
- $R_{sh1} = \frac{0.25V}{11A} = 22.72m\Omega$

Con este valor de resistencia se podrán calcular los diferentes valores de V_{clc1} para los distintos formatos de las baterías aplicando el C20; es decir cargando la batería con una corriente constante en 20 horas. El resultado se muestra en la **tabla 2.1**.

Capacidades AH	V_{clc1} de Recarga para $R_{sh1} = 23m\Omega$
	C20
220	$11A * 23m = 0.253V$
105	$5.25A * 23m = 0.12075V$
70	$3.5A * 23m = 0.0805V$

Tabla 2.1. Límites de voltajes en Rsh1

2.3.4 Analizador de estado de la batería.

El voltaje en la batería estará siendo medido constantemente para modificar el ancho del pulso que se enviará al MOSFET. Para controlar el voltaje en la batería, se hace una comparación entre el voltaje medido y un rango de operación programado en el microcontrolador para el cual la batería estará protegida. Estos rangos de voltajes programados son los que establece el fabricante. Esto quiere decir que la batería de 12V está cargada a los 14.5V y descargada a los 10.5V.

El microcontrolador estará midiendo constantemente estos voltajes, sin embargo el voltaje máximo que soporta entre sus terminales es +5V. Por esta razón, se debe hacer una acondicionamiento de manera tal que los rangos de voltaje de la batería logren ser equivalentes a un voltaje menor que 5V. Esto se logra con un simple divisor de voltaje.

Si se asume que el valor de R2 es de 2.2K y el valor que representará 14.5V (que es el máximo voltaje que se medirá de la batería) es 1.85V, entonces el valor de R1 será:

$$1.85 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) * 14.5$$

$$\left(\frac{1.85}{12} \right) (R_1 + 2.2k) = 2.2k$$

$$\left(\frac{1.85}{12} \right) (R_1 + 2.2k) = 2.2k$$

$$R_1 = \frac{12}{1.85} \left[2.2k - \left(\frac{1.85}{12} \right) (2.2k) \right] = 12k$$

Para el diseño se tomará a $R_1 = 15k$. Como lo muestra la figura 2.8.

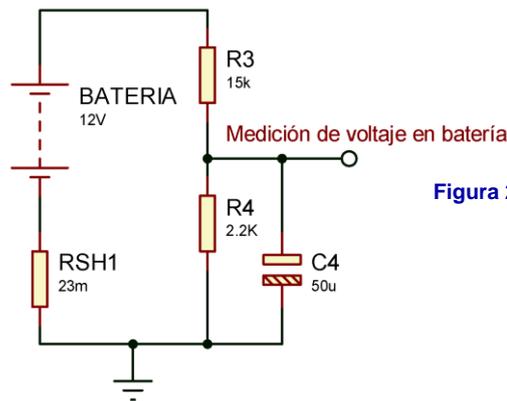


Figura 2.8. Divisor voltaje para sensar el estado de la batería

En la tabla 2.2 se muestran los voltajes que serán manipulados, así como su equivalente según el divisor de voltaje.

Voltaje de batería	Porcentaje de carga de la batería	Factor del divisor $\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$	Voltaje medido	Led indicadores
10.5V	0%	0.1279	1.34V	Enciende LED Rojo
13.1V	65%		1.67V	
13.7V	80%		1.75V	Enciende LED Amarillo
14.5V	100%		1.85V	Enciende LED Verde

Tabla 2.2. Voltajes de control programados en el microcontrolador

Condicionales:

El microcontrolador mide el voltaje en el divisor y:

- ✓ Si el voltaje de batería $< 10.5V$, desconecta la batería del consumidor y mantiene conectada la alimentación y encendido un Led rojo.
- ✓ Si está entre $10.5V$ y $13.1V$, entonces el duty cycle de la señal PWM será del 90%, que indica bajo voltaje y mantendrá encendido un Led rojo. También el display mostrará el estado de carga de la batería y su voltaje.
- ✓ Si está entre $13.1V$ y $13.7V$, entonces el duty cycle de la señal PWM seguirá siendo del 90% y ahora mantendrá encendido el Led rojo y encenderá el LED amarillo, indicando voltaje medio. También el display mostrará el estado de carga de la batería y su voltaje.
- ✓ Si está entre $13.7V$ y $14.5V$, entonces el duty cycle de la señal PWM irá en decremento desde el 88% hasta un 10%. Ahora encenderá el LED verde y mantendrá encendido los led anteriores led, indicando que la batería está cargada. También el display mostrará el estado de carga de la batería y su voltaje.
- ✓ Si es mayor de $14.5V$, el display mostrará que la batería está cargada y la batería se desconectará de la fuente primaria.

La operación de control de voltaje funcionará si y solamente si, las corrientes de recarga y descarga no han sido excedidas

2.3.5 Control.

El microcontrolador 16F877A es el cerebro de todo el sistema y para operar con su lógica de protección, monitorea constantemente la corriente de carga en la batería, la corriente de demanda del consumidor y el estado de voltaje que tiene la batería.

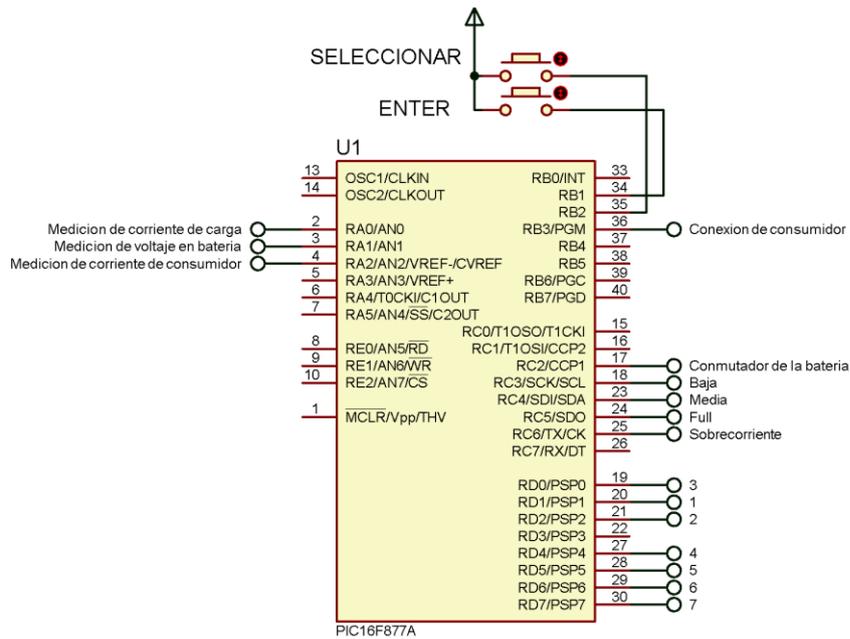


Figura 2.9. Cerebro del control

Las entradas.

- En la figura 2.9. Puede verse el microcontrolador con **3 entradas analógicas**, que son empleadas para medir la corriente de suministro, corriente de demanda del consumidor y el voltaje actual en la batería.
- Los dos **pulsadores o entradas** que se muestran, permiten al usuario seleccionar la capacidad de la batería conectada, así como el tipo de descarga que se le desea hacer a la batería. Con estos datos, el microcontrolador decidirá cuáles serán las limitantes de voltaje y corriente para el tipo de batería que han sido seleccionada, comparándolas con una **referencia interna** programada en el PIC.

Las salidas.

- El pin 17 del microcontrolador es una salida PWM que conecta al BJT para lograr la conmutación del MOSFET.
- El pin 36 es el que desconectará la batería del consumidor en caso de haber excedido la corriente máxima de demanda permisible para el tipo de batería seleccionada.
- Las salidas **baja, media y full**, son salidas de **LED indicadores** y las otras salidas son las que van **al display**, en donde el usuario podrá monitorear las variables de voltaje y corriente presente en el sistema.

2.3.6 Fuente interna del control.

El voltaje de alimentación del microcontrolador es de 5Vdc. Este voltaje se tomará de la batería y se utilizará un **LM7805** para regular el voltaje a 5Vdc. Ver la figura 2.10.

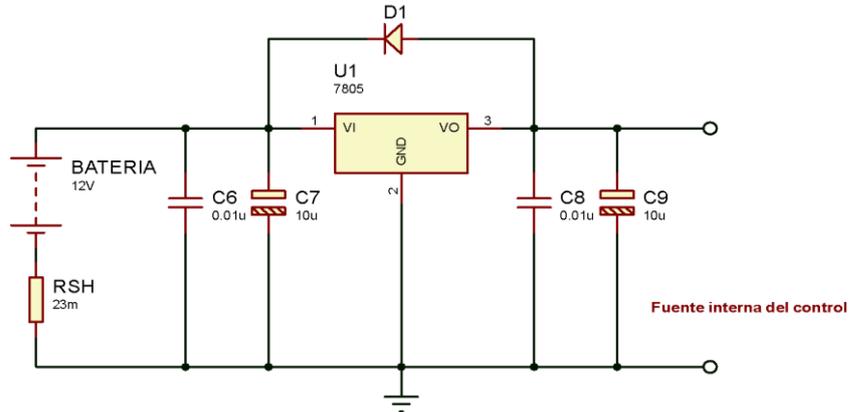


Figura 2.10. Fuente interna del control

2.3.7 Protección de la carga.

El bloque de salida es controlado por el microcontrolador. Su función principal es conectar o desconectar al consumidor de la batería en función de la corriente demandada (Ver la figura 2.11).

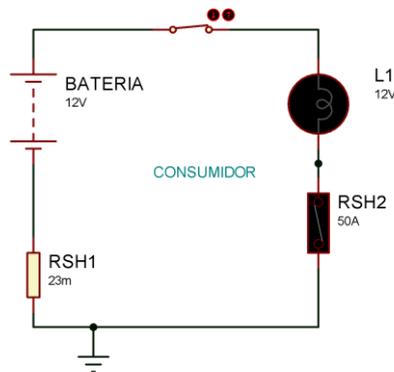


Figura 2.11. Control de conexión del consumidor

El consumidor siempre estará conectado a la batería mientras la corriente demandada no exceda la corriente máxima programada en el microcontrolador.

En la práctica se utilizó primeramente la tecnología Mosfet como switch para la conexión del consumidor. El objetivo era optimizar todos los recursos, sin embargo, el Mosfet tenía que estar siempre encendido, y al ser atravesado

por corrientes de hasta 50A provocaba grandes pérdidas por temperatura entre drenador y surtidor.

Debido a estas complicaciones se optó por trabajar con un relé de 12V alimentación con soporte de 50A entre sus contactos. En *la figura 2.12*, se puede ver que la salida del pin 17 del microcontrolador mantendrá su salida en estado alto en condiciones normales. Una vez que exista una sobre demanda de corriente, el microcontrolador apagará su salida y desactivará el relé.

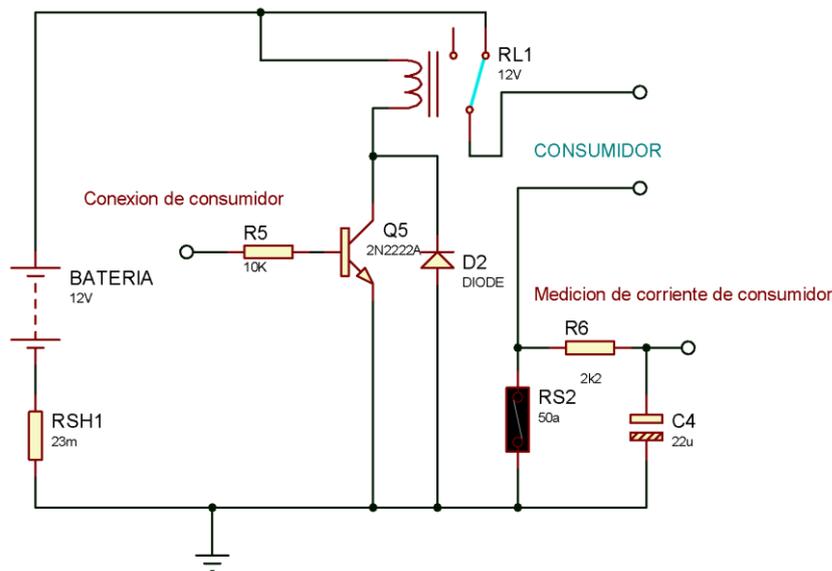


Figura 2.12. Control de conexión de consumidor con relé

La corriente de demanda del consumidor, es la cantidad de corriente a la cual se descargará la batería. Este controlador tendrá la opción de que el consumidor, elija el tiempo de descarga de la batería, pudiendo ser: medio (C10) y óptimo (C20). Aunque para la batería de 70 Ah es permisible descargarla en el tipo de descarga crítica, aplicando el C50.

Esta corriente se mide a través de R_{sh2} que se muestra en *la figura 2.12*. Esta resistencia se calcula al igual que se hizo en el cálculo del R_{sh1} .

Considerando la batería de mayor capacidad, la batería de **220Ah**. Se calcula la $I_{descarga}$ para cada uno de los formatos, esto es:

$$I_{descarga}(C_{50}) = 220Ah * 20\% = 44A \text{ en } 5h$$

$$I_{descarga}(C_{10}) = 220Ah * 10\% = 22A \text{ en } 10h$$

Asumiendo un $V_{clc2} = 0.2V$ entonces se calcula R_{sh2} para el peor de los casos:

$$R_{sh2} = \frac{0.2V}{44A} = 4.5m\Omega$$

Con este valor de resistencia se calculan los diferentes valores de V_{clc2} :

$$V_{clc2}(C_{20}) = (4.5m\Omega)(44A) = 198mV$$

$$V_{clc2}(C_{10}) = (4.5m\Omega)(22A) = 99mV$$

Siguiendo este mismo procedimiento se realizan los cálculos de V_{clc2} para las demás baterías, dando los resultados de la *tabla 2.4*.

Capacidad de AH	V_{clc2} de Descarga para $R_{sh2} = 4.54m\Omega$	
	C10	C20
220	(22A) 0.1V	(44A) 0.2V
105	(10.5A) 0.05V	(21A) 0.1V
70	(7A) 0.032V	(14A) 0.06356V

Tabla 2.3. Límites de voltaje en Rsh2

Esta matriz de valores de voltajes, son las limitantes que evalúa el microcontrolador en su algoritmo de programación, con el fin de determinar si se ha excedido la corriente de demanda.

En la práctica se utiliza un fusible de 50A cuya resistencia no está determinada. Para determinar esta resistencia R_{sh2} , se conectó una resistencia en serie al fusible. Luego, se hicieron diferentes mediciones suministrando diferentes corrientes, dando como resultado los datos que se muestran en la tabla 2.5.

Corriente (A)	Voltaje (mV)	Rsh2 (mΩ)
2.6	65.5	25.19
3	74.8	24.93
4	97	24.25
5	119	23.92
6	142	23.66
6.5	153	23.54

Tabla 2.4. Determinación del valor de Rsh2

Como puede ser visto en la tabla 2.4 y la figura 2.13, el valor de R_{sh2} no es lineal y decrece a medida que aumenta la corriente.

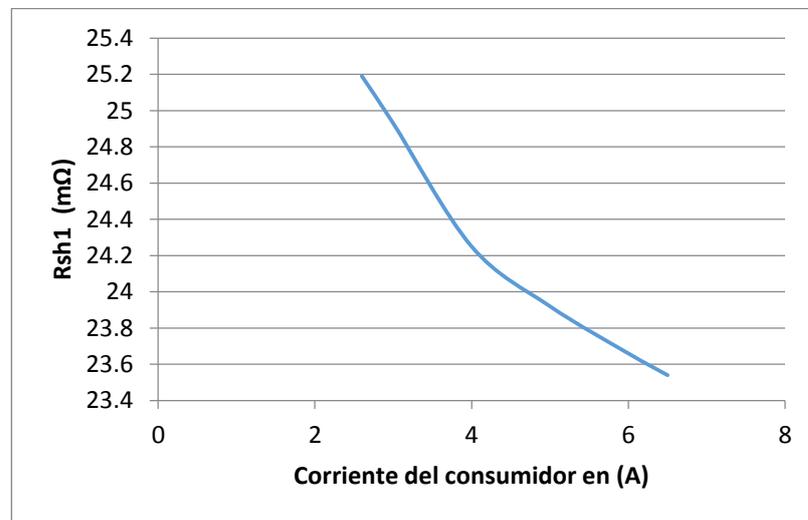


Figura 2.13. Comportamiento de Rsh2 respecto a la corriente del consumidor.

2.4 Simulaciones.

El controlador 2AS tiene la característica principal de ser multifuncional. Posee un menú de selección de diferentes capacidades de baterías, entre las que se encuentran: 70Ah, 105Ah y 220Ah. El sistema estará sensando constantemente la corriente que suministra el generador o panel solar, el estado de voltaje que tiene la batería y la corriente que demanda el consumidor. Dependiendo de que estas tres variables excedan el límite programado, entonces el display mostrará si hay sobrecorriente o sobrevoltaje, para luego desconectar la batería y la carga de la fuente externa. El circuito del **controlador 2AS** se muestra en la *fig. 2.14a* y *2.14b*.

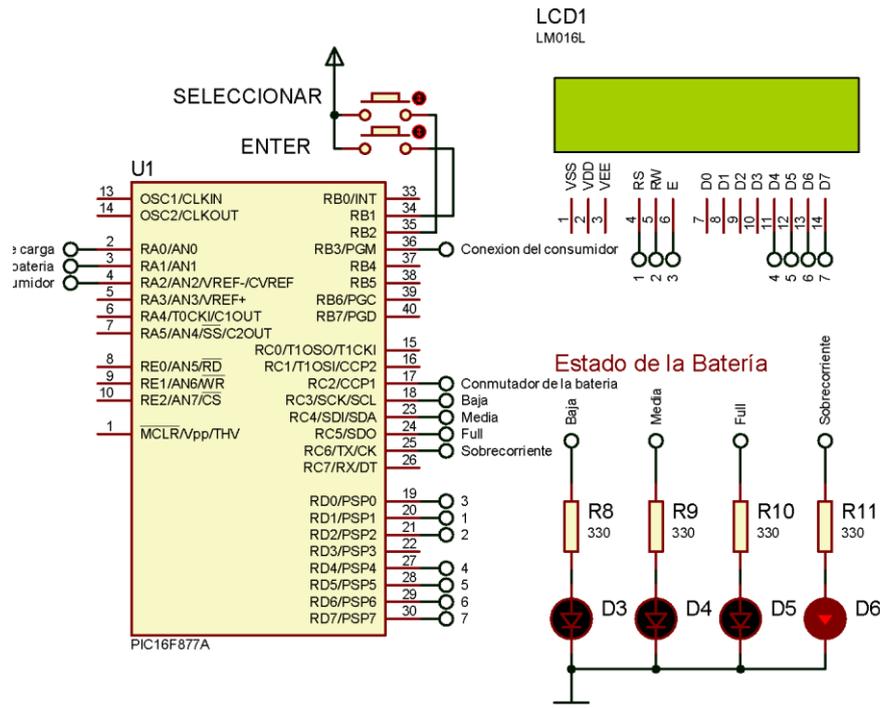


Figura 2.14.a. Circuito microcontrolador.

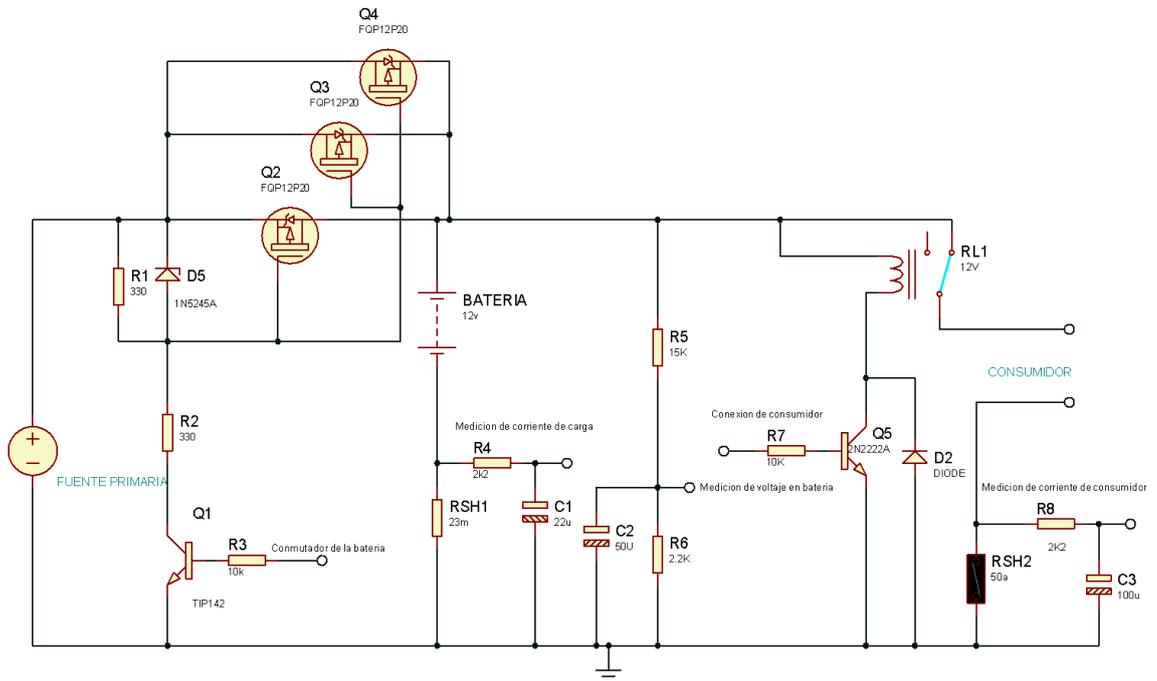


Figura 2.14.b. Circuito de control

- **Inicialización:** Cuando se inicializa la simulación, el display muestra la bienvenida indicando seguidamente un menú de selección del tipo de capacidad de la batería conectar. (Ver fig. 2.15)

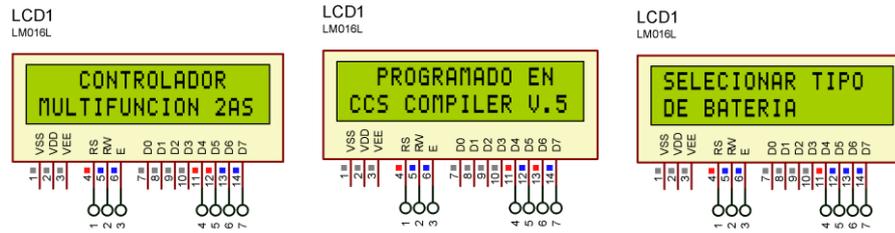


Figura 2.15 Iniciando la simulación.

- Selección de batería:** El menú puede cambiarse al presionar el push-button de **selección**. El menú muestra los 3 tipos de batería (70 Ah, 105 Ah y 220 Ah). Una vez que se decidió que tipo de batería se ha conectado, se presiona el push-button de **enter**. (Ver ejemplo en fig. 2.16).

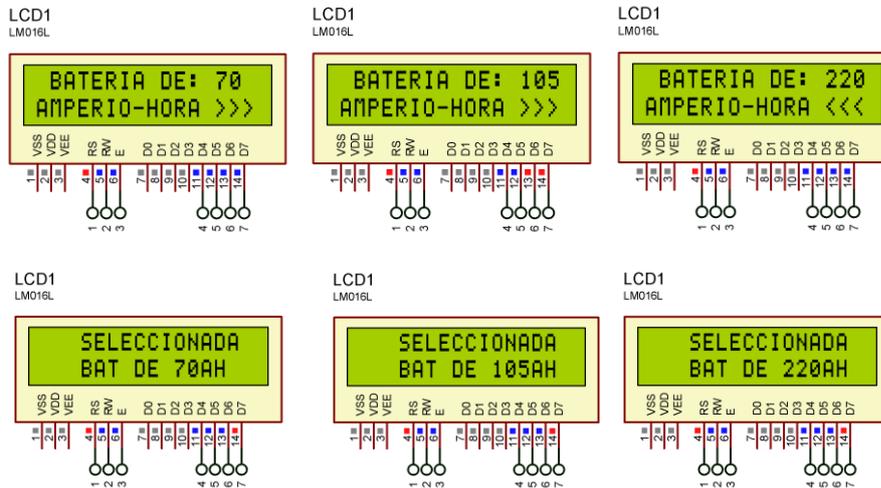


Figura 2.16 Seleccionando tipo de batería.

- Selección del tipo de descarga:** después de seleccionar el tipo de batería, existe otro menú de selección del tipo de descarga que se le puede hacer a la batería, estos pueden ser óptimo (descarga en 20 horas), medio (descarga en 10 horas) y crítico (descarga en 5 horas). Ver fig. 2.17

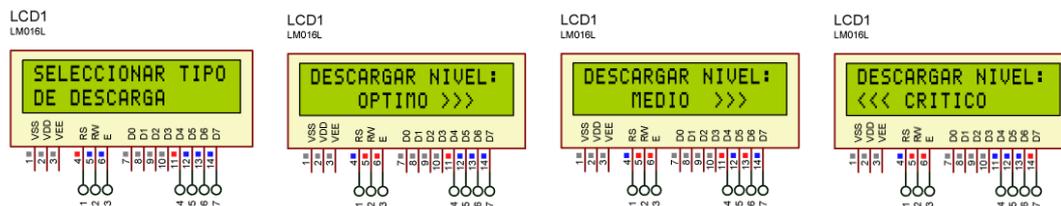


Figura 2.17 Selección del tipo de descarga.

Con el pulsador de **selección** puede navegarse por el menú del tipo de descarga que se le hará a la batería. Con el pulsador **enter** se selecciona el tipo de descarga. Al final de estas configuraciones básicas que hará el usuario el controlador empieza su funcionamiento al cual fue programado.

2.5 Descripción del funcionamiento del controlador en la simulación.

- **Detección de batería descargada:** Si la batería está por debajo 10.5V el controlador desconecta la carga que está demandando corriente y enciende el **led rojo** indicando bajo nivel de la batería. En este momento el display muestra que la batería está súper descargada y que para protegerla de que la sigan descargando, la desconecta del consumidor. Sin embargo mantiene conectada la batería a la fuente de primaria para cargarla. (Ver fig. 2.18)

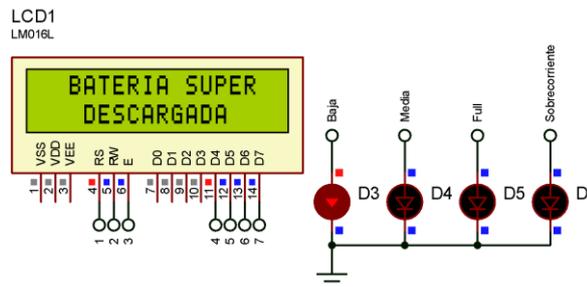


Figura 2.18 Protección contra demanda cuando la batería está descargada

- **Cargando la batería:** Cuando la corriente de suministro está dentro del rango programado y la batería no está descargada, el controlador estará cargando a la batería. Como puede verse en la fig.2.19, el voltaje que tiene la batería cuando está cargando y el porcentaje de carga que representa ese voltaje medido. El led rojo y amarillo que están encendidos, indican que la batería se está cargando.

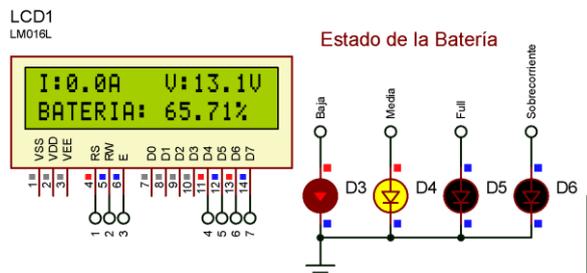


Figura 2.19 Simulación cargando la batería

- Carga de la batería con técnica PWM:** mientras la corriente y el voltaje de suministro estén en el rango programado, la batería se está cargando con la técnica PWM como lo muestra la *fig. 2.20*. En el momento en que la batería tiene un voltaje menor de 13V, entonces el controlador desconecta la carga y mantiene encendido el led rojo que indica batería baja.

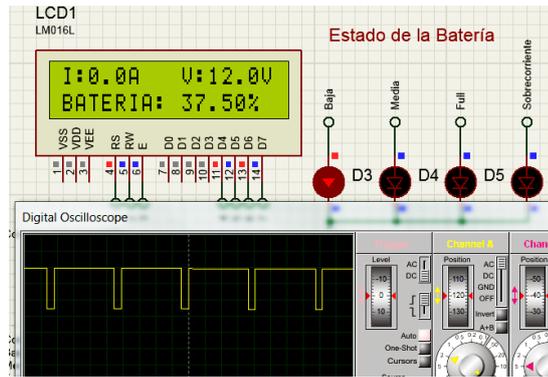


Figura 2.20 Cargando la batería con PWM

El ancho del pulso está en dependencia del estado de carga de la batería. Si la batería se encuentra en voltaje bajo, el Ton será máximo (90%). A medida que la batería se carga, el ancho del pulso se irá reduciendo hasta que se cargue completamente y el controlador la desconecte. En ese momento el display dirá que la batería está cargada. (Ver figura 2.21)

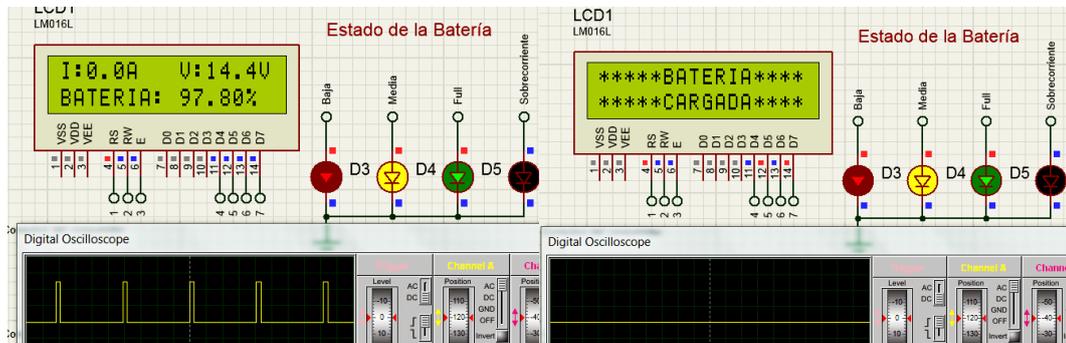


Figura 2.21 Batería cargada

En el momento en que la batería esté completamente cargada, permanecerá en ese estado siempre y cuando el voltaje de la fuente de suministro sea mayor que el de la batería y también cuando la carga no consuma más de lo que entrega la fuente de suministro. En este caso la batería empieza a suministrar corriente a la carga empezando otra vez el ciclo de descarga.

2.6 Control proporcional según el algoritmo de tres etapas.

El controlador 2AS utiliza el algoritmo de tres etapas para el proceso de carga de la batería. En la primera etapa, **carga rápida**, el 2AS mantiene la corriente máxima de carga en la batería mientras el voltaje empieza a incrementar hasta llegar a un 90% de carga. En este momento el Duty Cycle (ciclo de trabajo) de la señal PWM es del 90%.

Es decir, la batería de 12V que tiene 10.5V de carga mínima, empieza a cargarse con una corriente máxima y constante, hasta que el voltaje en la batería llega a 13.7V. En este momento entra a la segunda etapa, **modo de absorción**.

En el modo de absorción, el 2AS utiliza un **control del tipo proporcional**. Ahora la corriente debe ir en decremento y el voltaje aumentará muy poco hasta llegar a los 14.5. El control proporcional, hará que el PIC module el *duty cycle* a medida que la batería se aproxime al estado de carga plena.

La figura 2.22 muestra el control tipo proporcional que implementa el microcontrolador en la etapa de absorción.

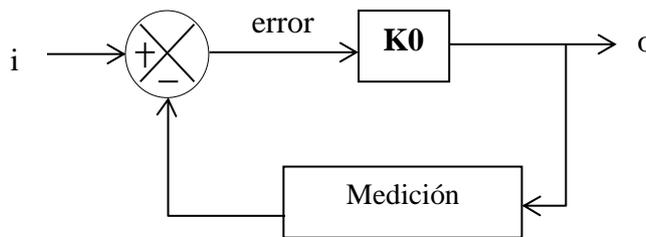


Figura 2.22 Control proporcional en el modo de absorción.

Ecuaciones para el cálculo del error.

$$e_{\text{mín}} = i - \text{Medición} = 1.85 - 1.84 = 0.01$$

$$e_{\text{máx}} = i - \text{Medición} = 1.85 - 1.76 = 0.09$$

Ecuaciones para el cálculo ko.

$$o_{\text{máx}} = e_{\text{máx}} * ko$$

La i es una entrada de referencia. Si se requiere que el microcontrolador module desde el 88% y luego ir en decremento, entonces el $o_{m\acute{a}x} = 88\%$. Con este valor se puede determinar el valor de ko :

$$\frac{o_{m\acute{a}x}}{e_{m\acute{a}x}} = ko$$

$$ko = \frac{88}{0.09} \approx 978$$

Ecuaciones para el cálculo $o_{m\acute{i}n}$

$$o_{m\acute{i}n} = e_{m\acute{i}n} * ko = (0.01)(978)$$

$$o_{m\acute{i}n} = 9.78\%$$

2.7 Montaje en tabla de nodos.

Primer montaje (a escala):

Después de realizar las simulaciones, el siguiente paso es armar el circuito en la tabla de nodos para poder realizar las pruebas y correcciones necesarias para pasar a la etapa de construcción.

Debido a que el controlador 2AS está diseñado para grandes corrientes, en el orden de los 50 Amperios, el montaje se realizó a escala (con una batería de 7Ah) cuya corriente máxima es de 350mA.

En este proceso se consideró que la fuente de alimentación DC (**GWinstek-GPS 4303**) haría el papel eólico o el panel solar. Una vez realizada las conexiones, se alimentó el circuito cumpliendo con los requerimientos esperados, corriente máxima o de corte igual a 340mA y las pruebas de variar el voltaje o la corriente de la fuente cumplían con el corte por protección de batería.

Segundo montaje:

Previo a la construcción y luego de haber realizado las mejoras en el circuito final del controlador, se montó el circuito de control en la tabla de nodos y la parte de potencia aislada del control.

En este montaje se utilizó un generador real que variaba el voltaje desde 0V hasta 30Vdc y que al mismo tiempo entregaba una corriente de 30 amperios.

Para este momento se contaba con una batería de 70Ah y una resistencia de potencia que podía demandar hasta 20A. Se realizaron todas las mediciones y se calibraron los valores de voltaje y corriente que mostraba el display, ver figura 2.23.

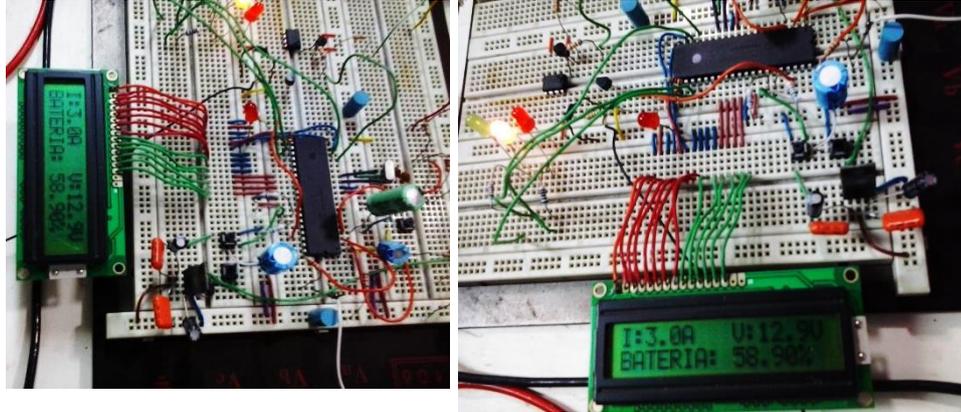


Figura 2.23 Montaje en tabla de nodos.

2.8 Efecto de la impedancia interna de la batería.

Cuando la batería se descargue a un valor menor de 10.5VDC, el controlador desconectará al consumidor de la batería para protegerla de una descarga profunda. Sin embargo, el circuito deja a la batería en vacío y por lo tanto el valor de voltaje de la batería que mide el microcontrolador vuelve a subir hasta 12.7VDC. Si el controlador detecta que la batería vuelve a tener un valor mayor que los 10.5VDC, entonces vuelve a conectar la carga. Pero cuando se conecta nuevamente la carga el voltaje de la batería vuelve a estar en un valor menor que 10.5VDC, esto se produce debido a la *impedancia interna de la batería* (Z_{iBAT}). Ver fig.2.24

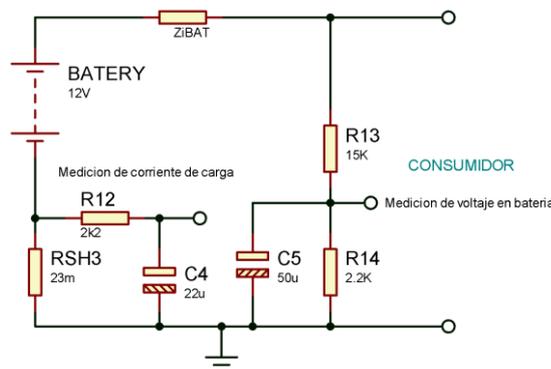


Figura 2.24 Efecto de la impedancia interna de la batería.

Para solucionar este problema es necesario crear una histéresis en la respuesta del controlador de tal manera que cuando el controlador mida en la batería un voltaje en el rango de 10.5V a 13V, en este momento permita cargar la batería mientras mantiene desconectado al consumidor para que no se demande corriente.

2.9 Construcción del 2AS.

- La construcción del 2AS requería un excelente diseño de PCB que implica sencillez en la ubicación de los componentes en la baquelita.
- El grosor de las pistas era considerable, al grado en que se añadió alambre AWG#12 encima de las pistas para tener mayor seguridad al circular la corriente.
- Para la transferencia de las pistas a la tarjeta, se utilizó el método de transferencia térmica (método del planchado).
- Se utilizó ácido nítrico para retirar el cobre de la baquelita y que sólo quedase el dibujo de las pistas.
- Se reutilizó una caja de metal de un inversor que se tenía.

2.10 Implementación y resultados.

- Al quedar terminado la construcción, se realizaron las pruebas con la batería de **70Ah**. Cabe aclarar que esta es a penas, una de las capacidades de baterías que puede controlar el 2AS. Pero al funcionar correctamente con la de 70Ah, para las demás baterías solo modifican los valores que limitan la corriente, (revisar el algoritmo del programa en los anexos).

CAPÍTULO III.

MANUAL DE USUARIO.

Este capítulo describe las funciones, características, manipulación y la instalación del controlador de carga digital multifuncional 2AS en un sistema fotovoltaico o aerogenerador. Tiene como objetivo informar el procedimiento correcto para su utilización, además de los principales cuidados para la seguridad de quien trabaja con el 2AS.

- Potencia máxima de 300W
- Autoalimentado por batería
- Conmutación automática de 12V
- Protecciones totales
- Medición de tiempo y Watts
- Ciclo de trabajo del 100%
- Montaje en rack modular
- Control de carga de batería con técnica PWM.

MANUAL DEL CONTROLADOR DE CARGA DIGITAL MULTIFUNCIONAL 2AS

El Controlador de carga 2AS es un sistema electrónico que utiliza nanotecnología para proteger a la batería y al consumidor, contra sobrecorriente y sobrevoltaje provenientes de un panel solar o un aerogenerador.

3.1 Utilidad.

El 2AS es imprescindible en sistemas eólicos o fotovoltaicos para controlar parámetros de voltaje y corriente. Su característica principal es que permite al usuario, poder definir o programar el tipo de batería que se va a conectar y también el tiempo en que se quiere descargar el acumulador.

El 2AS tiene un sistema de control PWM utilizando un microcontrolador. Para conmutar la potencia se utilizan dispositivos de estado sólido y de alta seguridad de operación. Resultando en datos confiables y sin necesidad de recalibraciones constantes.

El 2AS puede controlar un rango de corriente máximo de 50 ADC. También puede ser utilizado en sistemas de baterías de 12VDC.

Control de temperatura.

PIC programado de fábrica.

Precisión del 1%.

Protecciones fundamentales.
Programables.

Desconexión por falla.

Display digital

Tres leds indicadores

Auto alimentación

El 2AS posee display de cristal líquido (LCD) que permite monitorear variables de voltaje, corriente y el estado de carga de la batería

El 2AS integra una salida al consumidor (carga) que es controlada, de manera que el consumidor esté protegido.

3.2 Precauciones de seguridad.

- A. No instalar el controlador en lugares en donde se puedan producir gases inflamables; por ejemplo pinturas, solventes, etc.
- B. Evite que se produzcan chispas.
- C. Utilice un calibre de alambre mínimo 6AWG, el cual es aconsejable para una temperatura también mínima de 75 °C. El bloque de terminales aceptara calibres de alambre de hasta 2 AWG y la terminal de tierra de hasta 2 AWG. Este calibre depende de la corriente que se va a controlar, que como máximo es 50A.
- D. Cuando a los módulos fotovoltaicos le incide la luz o cuando a los aerogeneradores se les hace girar las aspas, se produce corriente. Aun cuando sea mínimo el voltaje puede ser peligroso manipular los terminales de corriente. Por esta razón, se deben utilizar herramientas correctamente aisladas.
- E. Este controlador es utilizado para cargar sistemas de baterías de plomo-ácido con voltajes nominales de 12VDC. Evite conectar baterías con diferente composición.
- F. Cualquier etiqueta puesta por el fabricante no debe ser retirada.

3.3 Instalación.

Ponga atención a la polaridad de la conexión. Aun cuando el regulador esté protegido, es necesario tomar en consideración esto porque puede dañar el panel, el generador, la carga e inclusive el controlador mismo.

Siga el siguiente orden:

- A. Conecte la batería correctamente. Deben encenderse los LEDs; si no se encienden o suena un pito continuo NO SIGA conectando y revise la polaridad de la batería.
- B. Conexión del panel fotovoltaico o el sistema eólico.
- C. Conexión de la carga.

Nota: **Para la desconexión se hará el proceso inverso.**

La fase de igualación ocurre cuando el panel o el aerogenerador no están produciendo voltaje y la carga esté demandando corriente del controlador, la batería estará suministrando esta corriente. Sin embargo cuando la batería se descargue, el controlador la desconectará para protegerla e instantáneamente la carga quedará sin suministro eléctrico.

3.4 Características técnicas del controlador 2AS.

Características eléctricas

- Voltaje de entrada:	12VDC.
- Sobre carga admisible:	+20%
- Corte por descarga:	-12%
- Potencia:	300W.
- Frecuencia:	60Hz
- Corriente de entrada máx.:	50 Amp.
- Respuesta:	2ms.
- Tipo de descarga:	constante.
- Ruido acústico:	no registra.
- Autoconsumo:	<15mA.

Ambiente

- Temperatura:	0° a 4°C opcional 60°C.
----------------	-------------------------

- Humedad: 0 a 95% no condensada.

Física

- Ventilación: Forzada.
- Dimensiones:
 - Alto 200.
 - Ancho 19.
- Montaje Para rack 19.
- Peso Kg 12.

Conexiones

- Entrada: Cables ultraflexibles y pinzas para batería.
- Interruptores: General.
- Batería: Termomagnética.

Especiales

Protección

- Inversión de batería.
- Alta tensión de batería.
- Alta temperatura.
- Limitación por temperatura.

Alarma de falla

- Alta corriente.
- Falta de intensidad.
- Controles: Reset, Inicio selección.

Display

- Indicación seteable del tipo de batería (70Ah, 105Ah y 220Ah).
- Indicación seteable del tipo de descargar (C10, C20 y C50).
- Indicación de voltaje de batería.
- Indicación de corriente de suministro.
- Indicación del porcentaje de carga que tiene la batería.

Gestión.

El controlador gestiona continuamente lo siguiente:

- 4 programas para 4 tipos de carga preseleccionados para C10.
- 4 programas para 4 tipos de carga preseleccionados para C20.
- 4 programas para 4 tipos de carga preseleccionados para C50.
- 1 programa para descargar la batería hasta un mínimo del 12%.
- 1 programa para cargar la batería hasta un mínimo del 20%.
- Amperes de descarga
- Voltaje de batería
- Medición e integración de potencia.
- Control de tiempo e informe de tiempo final de ensayo.
- Corte a 10,5V (programado internamente).
- Falla de ensayo.

3.5 Protecciones.

- Cuando el 2AS detecta que la batería está cargada o descargada, el 2AS indica con una alarma y un led rojo, para que el usuario se dé cuenta que el 2AS ha desconectado la batería para protección.
- Cuando el 2AS **detecta sobre corriente** en la batería, la desconecta y el display muestra sobre corriente. En este momento se activa la misma alarma y el led rojo indicando la desconexión.
- El 2AS tiene integrada una protección contra inversión de polaridad y contra sobrevoltaje de batería, panel o aerogenerador y consumo.
- Protección contra desconexión de la batería.
- El 2AS tiene un diodo inteligente que se encuentra en la entrada del panel y sirve para bloquear el retorno de corriente de la batería al panel (por las noches cuando no exista luz solar) o aerogenerador (cuando la velocidad del viento sea mínima).

3.6 LED Indicadores de estado.

- **LED VERDE**, permanece encendido cuando la batería está a plena carga.
- **LED AMARILLO**, permanece encendido cuando la batería está a media carga.
- **LED ROJO 1**, permanece encendido cuando la batería está descargada.
- **LED ROJO 2**, permanece encendido cuando exista sobrecorriente en la batería.

3.7 Información en pantalla LCD.

- **Primera parte:** Al inicializar al controlador 2AS en el display aparece el nombre del controlador. Seguidamente, la versión del compilador con el cual fue programado el PIC.
- **Segunda parte:** esta es la etapa en que se programa al 2AS para trabajar con el tipo de batería conectada, estas son: 70Ah, 105Ah y 220Ah. Esto se logra con el botón seleccionar y el Enter. Seguidamente, se debe programar el tipo de descarga que se la hará a la batería: óptimo (C20), medio (C10) y crítico (C50).

- **Tercera parte:** Después de haber programado al controlador, el display muestra los parámetros principales que están siendo monitoreados, estos son: La corriente y el voltaje en la batería.

3.8 Tecnología de carga:

Para cumplir con los requerimientos de los usuarios, el controlador 2AS realiza un algoritmo innovador de carga que está controlado internamente por nanotecnología programable para controlar en tiempo real el estado de la batería y ejecutar automáticamente un algoritmo de carga por señal PWM:

- **Inicialización:** Comprueba que la polaridad la batería no esté invertida.
- **Recuperación:** si la batería se encuentra profundamente descargada (con tensión menores a 10.5 V), el dispositivo intenta recuperarla, para llevarla a una tensión más alta.
- **Carga Principal:** el cargador suministra una corriente máxima a la batería, que puede recuperar así hasta el 85-90% de su capacidad.
- **Carga final:** cuando la batería ha alcanzado el 80% de carga, el controlador permite recuperar el restante 20% de capacidad de la batería, a través de impulsos de corta duración.
- **Análisis:** el dispositivo se detiene durante unos diez minutos, para verificar que la batería es capaz de mantener la carga recibida durante los ciclos anteriores de carga. Esta prueba se repite a intervalos regulares durante la fase de mantenimiento.

CAPÍTULO IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este capítulo se detallan las conclusiones a las que se llegaron con este trabajo monográfico. También se describen las recomendaciones y mejoras que se le pueden realizar al controlador 2AS para próximos estudios y continuar con la optimización de esta investigación aplicada.

4.1 Conclusiones.

Al haber diseñado e implementado el controlador de carga digital multifuncional 2AS, se cumplió con el objetivo principal de este trabajo investigativo.

Con el desarrollo de este trabajo de investigación aplicada, queda demostrado que los futuros profesionales egresados de las carreras de ingeniería pueden contribuir con la disminución de la brecha tecnológica que existe en Nicaragua.

Por otro lado, se han enriquecido los conocimientos del autor en el campo de las energías renovables y una de las mayores ventajas es que al ser docente, este controlador fortalecerá el aprendizaje en las asignaturas de electrónica de potencia y electrónica industrial.

Se promoverá la construcción del controlador 2AS entre los estudiantes de las carreras de ingeniería electrónica para que colaboren con el objetivo principal de este trabajo.

El controlador 2AS trabaja para 3 diferentes capacidades de batería por ser las más comunes en el campo de las energías renovables y aunque se le pudieron haber programado más capacidades, solamente se trabajaron con estas 3 para demostrar su funcionalidad.

Los problemas principales en el *diseño* del 2AS fueron:

- Problemas en la sintaxis en la programación.
- Error en la lectura de los datos.
- Calcular el valor de las resistencias Rsh que permiten la medición de corrientes.
- Optimización en la circuitería.

Los problemas principales en la *construcción* fueron:

- Ser cuidadoso con la cantidad de corriente que se está controlando (corrientes en el orden de los 50 amperios).
- Error en la calibración. La lectura que se mostraba en el display no correspondía con el voltaje que media el multímetro.
- El microcontrolador se reiniciaba por ruido, por ello se conectaron varios capacitores.

4.2 Recomendaciones.

- En este documento monográfico se proporciona el programa que fue compilado en CCS Compiler para luego ser introducido en el PIC16F877. Este programa, puede ser utilizado para programar otro tipo de capacidad de batería, solamente se tendrán que seguir los procedimientos de los cálculos en el capítulo III del diseño y modificar esos valores (en el programa) que sirven de límite para esa batería.
- Al 2AS pueden conectarse solamente 1 formato de batería: 12V. Sin embargo, se le pueden hacer otras modificaciones de tal manera que pueda manejar también otros formatos de 24V, 48V hasta 64V según las necesidades.
- Se les recomienda a los estudiantes que deseen construir este controlador de carga, que tengan mucho cuidado con el peligro que representa trabajar con circuitos de potencia.
- A este controlador se le puede integrar la técnica MPPT ultrarrápido (**Maximum power point tracking**) seguidor del máximo punto de potencia, para mejorar su rendimiento hasta un 30% en comparación con la técnica de carga PWM que tiene el 2AS.



BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Ministerio de energía y minas, (Junio 2013) “**Plan indicativo de expansión de la generación eléctrica**”
- [2] Henríquez Prevoo, C. (2003). “**Tesis: Regulador de panel solar-batería-carga con microcontrolador PIC**”. Universidad de Piura, Perú.
- [3] López Gonzáles, Miguel (2011) “**Sistemas de conversión electrónica para pequeños sistemas de generación eólicos**” Trabajo presentado en el seminario realizado en la escuela de ingeniería eléctrica Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- [4] Ruiz Robredo, Gustavo A. (Junio 2001) “**Electrónica básica para ingenieros**” (1ed.) Santander, España.
- [5] Puentes William, **Electronica - Electronics**. <http://www.electronica-electronics.com/fuentes/Reguladores-de-tension.html> (Último acceso: el 4 de Octubre del 2013).
- [6] ERAECO, **Energía para tu hogar**. <http://www.eraeco.es/index.php/informacion/faq/reguladores-de-carga>. (Último acceso: el 6 de Octubre del 2013).
- [7] DELTAVOLT, **Energía renovable**. <http://deltavolt.pe/baterias>. (Último acceso: el 6 de Octubre del 2013).
- [8] Delta Volt SAC, “**Baterías para Sistemas Solares y Eólicos**” revisado el 12 de octubre del 2013 en: <http://deltavolt.pe/baterias>
- [9] HEV, **Hispano Energias Verdes**. <http://www.energiasverdes.com/preguntas-frecuentes/que-caracteristicas-definen-el-comportamiento-de-una-bateria.html>. (Último acceso: el 6 de Octubre del 2013).
- [10] Cesar (20 de Noviembre del 2003) “**Especificaciones de las Baterías de Plomo Acido**”. Ayuda electrónica, revisado el 12 de Octubre del 2013 en: <http://ayudaelectronica.com/especificaciones-baterias-plomo-acido/>
- [11] Aguayo P, (2004). “**Introducción al Microcontrolador**” revisado el 25 de Octubre del 2013 en: <http://www.olimex.cl/tutorial/tutorial1.pdf>
- [12] Buenos Aires Robotics Society, “**Descripción General del PIC16F877**” revisado el 27 de octubre de 2013 en: <http://www.bairesrobotics.com.ar/data/pic16f877-guia%20detallada%20parte2.pdf>
- [13] Peralta, R. Quiñonez, C. “**Curso básico de PIC16F877**” revisado el 2 de noviembre de 2013 en: <http://www.alos.5u.com/pic16f877/Modulo1a.htm>
- [14] Valdés F, Pallás R. (2007) “**Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC**” Marcombo (S.A), ediciones técnicas. Barcelona, España.

- [15] Benchimol D, (2011). “**Microcontroladores: Funcionamiento, programación y aplicaciones prácticas**” primera edición. Buenos aires.
- [16] Microchip, (2001). “**PIC16F87X DATA SHEET 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers**”. Microchip Technology Incorporated, USA.
- [17] Mikroelektronika, (2010) “**PIC Microcontrollers - Programming in Basic**” Revisado el 2 de febrero de 2014 en: <http://www.mikroe.com/chapters/view/86/>
- [18] “**Display de Cristal Líquido**”. [Manual de Referencia del LCD]. Revisado el 14 de diciembre de 2013 en: http://www.robozes.com/robot_pi/componentes/DISPLAY.PDF
- [19] Bornay Rico, Juan “Aereogenerador Bee 800” [Manual de usuario]. Castalla (Alicante) España.
- [20] GENERAC POWER PLANTS, “Descargador GD25 series 12V-25A”. Argentina: Buenos Aires.
- [21] ENALMEX, *Energía alternativa de México*. <http://www.enalmex.com/paginas/eolicos/eolicos.htm>. (Último acceso: el 8 de Enero del 2014).
- [22] Conant, J & Fadem, P. (2011) “Guía comunitaria para la salud ambiental”. (1a. Ed.). California, EE.UU: Hesperian.
- [23] Díaz Corcobado T, Carmona Rubio G. (2010) “Instalaciones solares fotovoltaicas”. (1a. Ed.).
- [24] Andony J, Angeles N, Sánchez O. (2013). “**Tesis: Evaluación de la sustentabilidad del consumo de energía eléctrica en edificios de la UPZ mediante aprovechamiento solar**”. Instituto Politécnico Nacional, México D.F.



ANEXOS



Mercado competidor

Fabricante	Serie	Características
Morningstar	Regulador MORNINGSTAR SunSaver 20A 24v  Precio: \$134.9	El diseño avanzado del SunSaver lo provee de un rendimiento sobresaliente a un precio económico. El bajo costo del regulador SunSaver es posible gracias al enfoque exclusivo de diseño y fabricación de Morningstar.
	Regulador Morningstar SunSaver Duo 25A 12V  Precio: \$ 234,71	Este regulador solar de Morningstar permite cargar dos baterías separadas y aisladas a la vez
	Regulador MORNINGSTAR Prostar 30A 12v 24V con visualizador  Precio: \$ 169.5	El regulador ProStar le proporciona mayor vida útil a la batería y mejora el rendimiento del sistema definiendo nuevos estándares de confiabilidad, además de generar diagnósticos automáticos.
	Regulador Morningstar SunSaver MPPT 15A  Precio: \$ 320	El SunSaver MPPT de Morningstar con TrakStar Technology™ es un avanzado controlador de carga de baterías con capacidad de detección de punto de máxima potencia. El controlador aplica un avanzado algoritmo de búsqueda para extraer máxima potencia del panel fotovoltaico y controla la carga de las baterías a fin de evitar descargas profunda
Rich Electric	Regulador Rich Electric Dress10A 	Proceso de carga estado sólido con modulación por ancho de pulsos (PWM, de Pulse With Modulation), control de 4 etapas, compensación de temperatura, ecualización manual o automática para maximizar el rendimiento del sistema y aumentar el tiempo de vida de la batería.

		Tres modos de operación programables: como cargador solar, como controlador de carga de derivación, o como controlador de carga de CC.
	<p>Regulador Rich Electric Dress 30A LCD</p> 	Regulador solar Dress 30a de Rich Electric RS124/30 con Pantalla LCD de Programación
Steca	<p>Steca PR1010 hasta PR3030</p>  <p>Precio: \$ 122.47</p>	La serie de reguladores de carga Steca PR 10-30 es la más destacada entre los reguladores de carga solar.
	<p>Steca Tarom 240</p>  <p>Precio: \$ 448.65</p>	El Steca Tarom es un regulador de carga solar especialmente indicado para ser aplicado en telecomunicaciones o en sistemas fotovoltaicos híbridos.
Schneider	<p>Xantrex</p>  <p>Precio: \$ 169</p>	Los controladores de carga Xantrex están considerados como los mejores de la industria y ofrecen diversas funciones. La serie C dispone de tres modelos, C35, C40 y C60, diseñados para 35, 40 y 60 amperios de CC. Para 12/24V.
JUTA Solar	<p>Regulador Juta Solar 30A LCD</p>  <p>Precio: \$ 76</p>	Regulador solar de carga de la marca JUTA Solar con pantalla LCD para un manejo y visualización correcta del funcionamiento.
Victron Energy	<p>Regulador Victron BlueSolar MPPT 75v 50A</p>  <p>Precio: \$ 555.63</p>	Regulador maximizador MPPT Bluesolar de Victron Energy para exprimir su sistema solar hasta un 30% en días desfavorables

Tabla de costos de los dispositivos del 2AS de 50A:

Descripción	Cantidad	Costo x Unid. (en C\$)	Total (en C\$)
PIC16F877A	1	350	350
BASE DE PIC	1	40	40
LCD 2x16	1	400	400
PEINETA DE LCD	1	15	15
MOSFET FQP12P20	3	76	228
LED Rojo	2	2	4
LED Verde	1	2	2
LED Amarillo	1	2	2
Transistor 2N2222A	2	5	10
LM7805	1	25	25
Diodo 1N4007	2	5	10
Resistencia de 8K2, 1/4W	1	3	3
Resistencia de 3k9, 1/4W	1	3	3
Resistencia de 1k2, 1/4W	1	3	3
Resistencia de 330, 1/4W	5	3	15
Resistencia de 4k7, 1/4W	1	3	3
Resistencia de 10k,1/4W	3	3	9
Resistencia de 0.082/5W	3	15	45
Capacitor electrolítico 22uF/100V	2	5	10
Capacitor electrolítico 10uF/25V	2	5	10
Capacitor cerámico 22p	3	5	15
Capacitor cerámico 0.01uF	2	3	6
Push-button	3	8	24
Oscilador de Cristal 4MHz	1	30	30
Diodo Zener 12V	1	10	10
Relay 12V / 50A	1	300	300
Fusible de 50A	1	20	20
Total			1,592

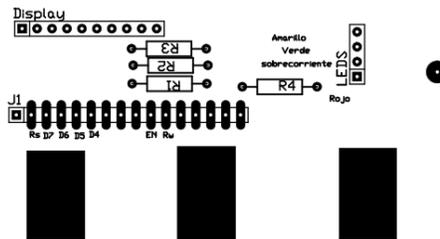
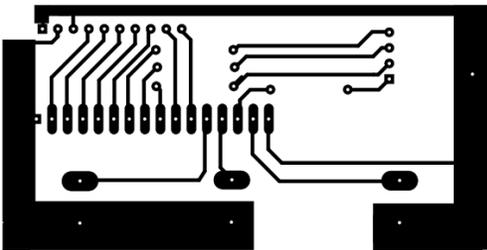
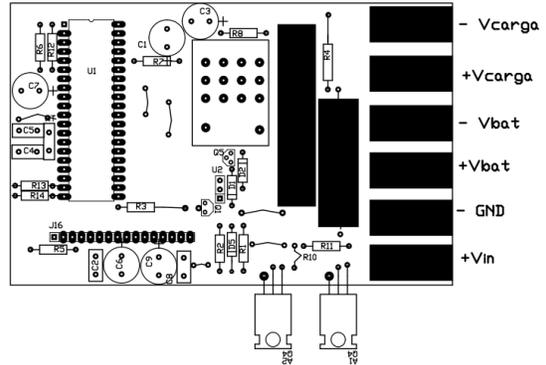
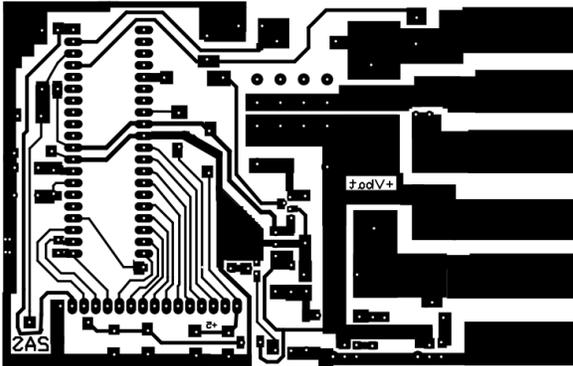
Tabla de costos de Materiales de construcción del 2AS de 50

N°	Descripción	Cantidad	Unidad	Costo x Unid. (en C\$)	Total (en C\$)
1	Estaño	1	Rollo	350	350
2	Baquelita	1	Unid.	50	50
3	Ácido Nítrico	1	Litro	50	50
4	Alambre AWG#10	1	metro	15	15
5	Broca 0.8mm	2	Unid.	20	40
6	Broca 0.12mm	2	Unid.	25	25
7	Caja	1	Unid.	384	384
Total					914

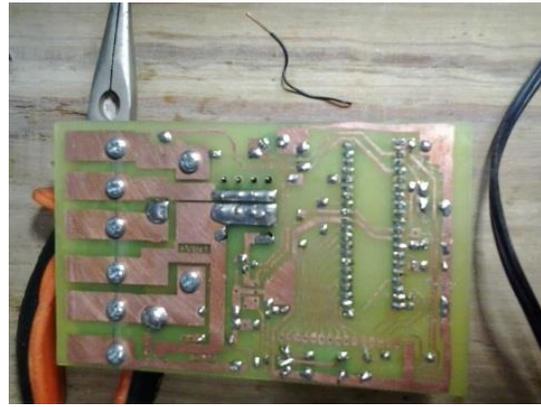
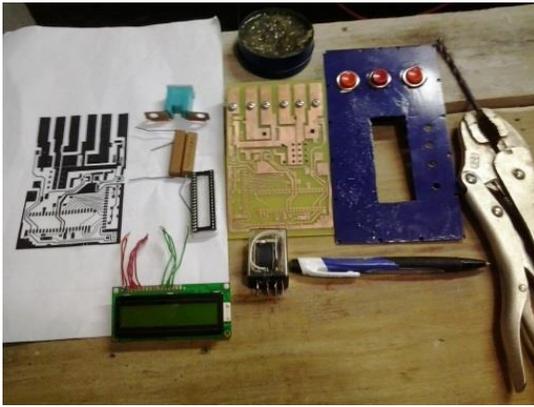
Tabla de costo de construcción del 2AS de 50A

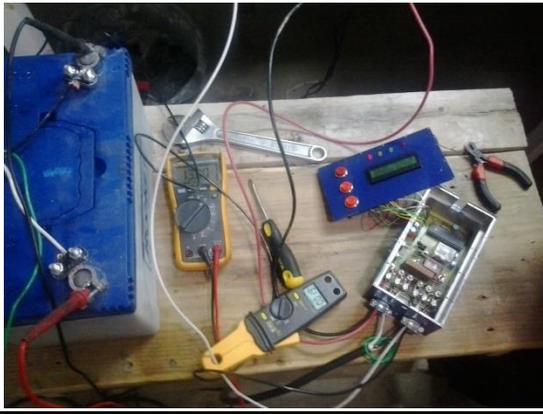
N°	Descripción	Total (en C\$)	Total (en \$)
1	Costo de mano de obra.	1,250	50
2	Costo de dispositivos	1,592	63.68
3	Costo de materiales de construcción	914	36.56
4	Gastos varios	1,250	50
Total			\$200.24

Diseño de pistas:

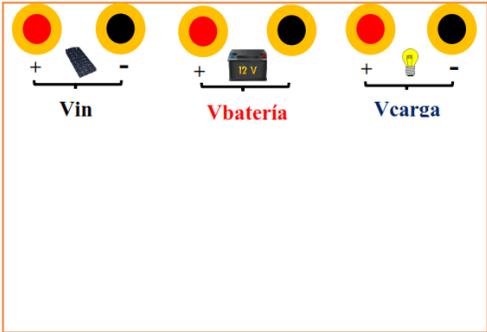


Construcción del Controlador 2AS:

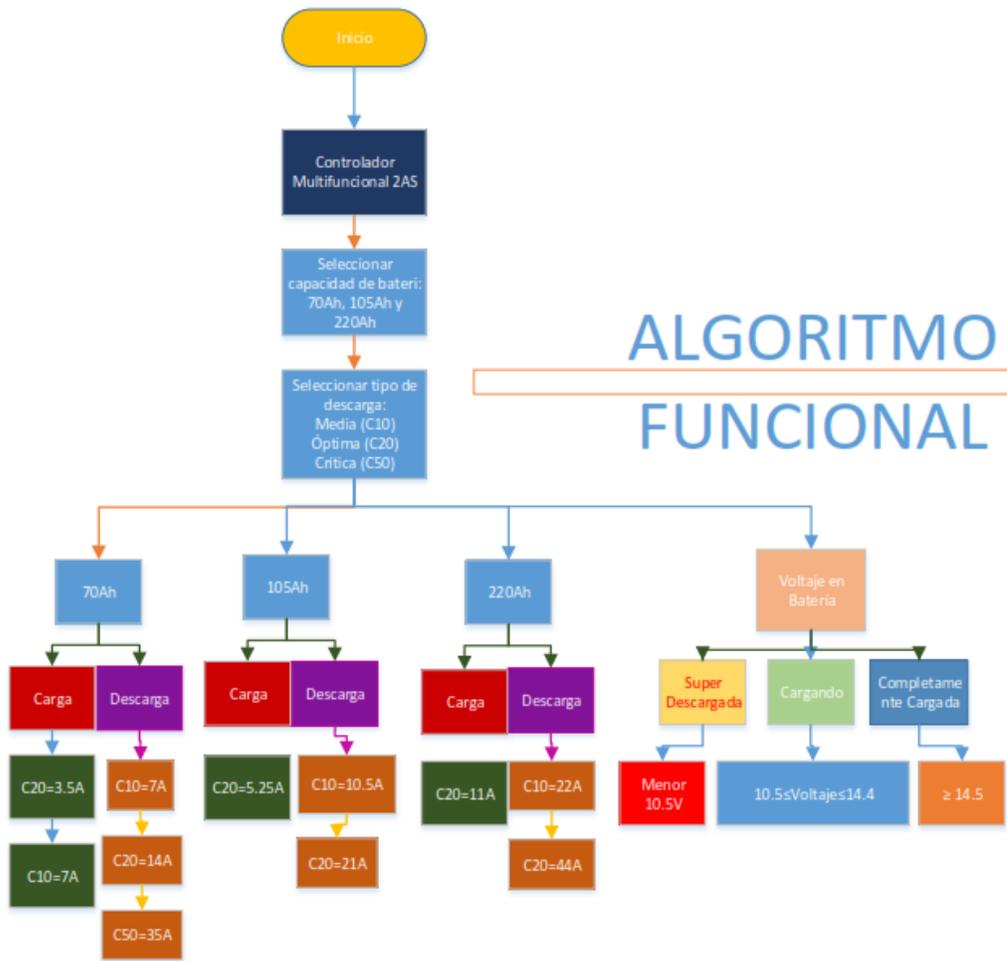




Diseño de presentación:

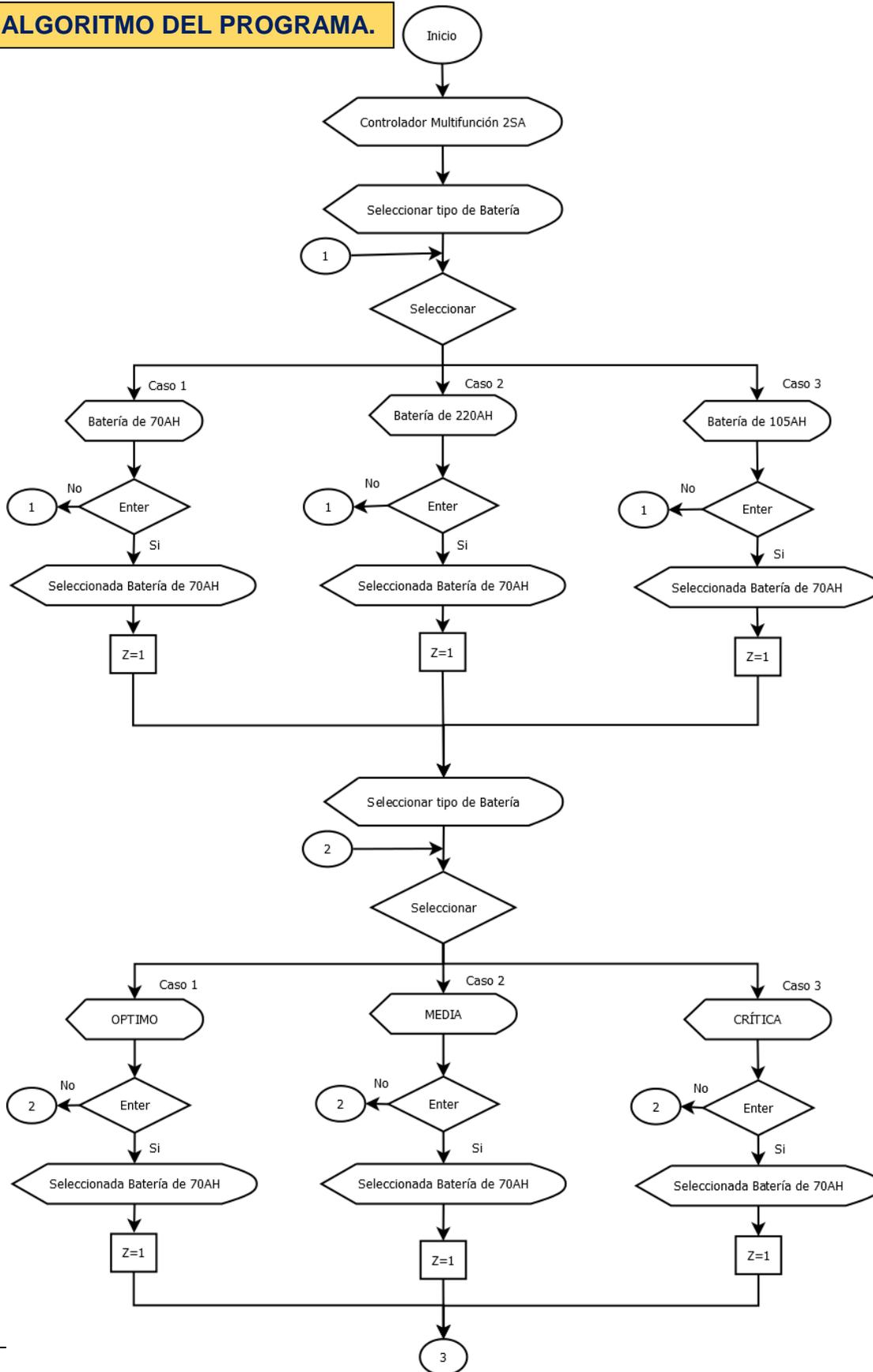


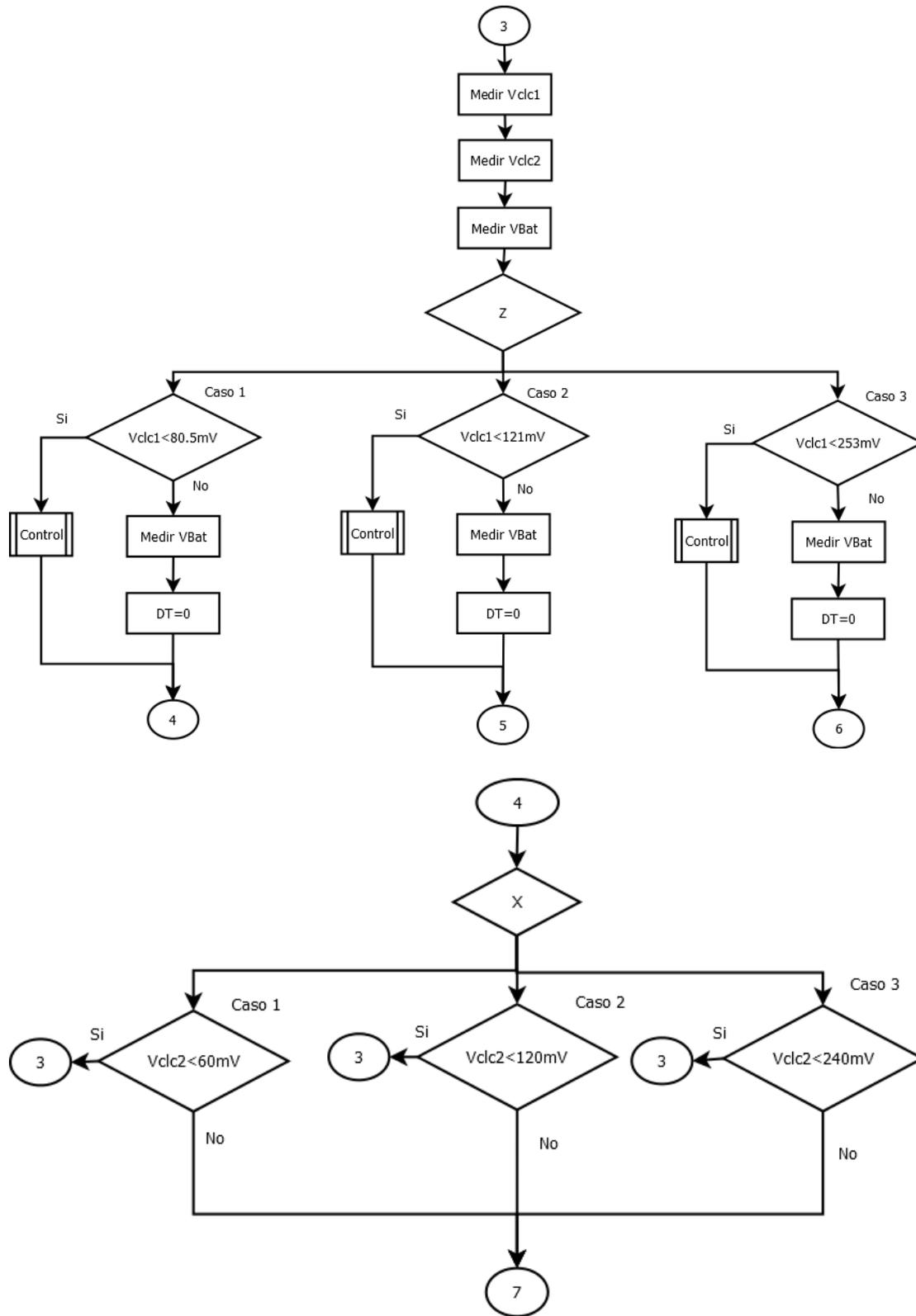
ALGORITMO DEL FUNCIONAL DEL 2AS.

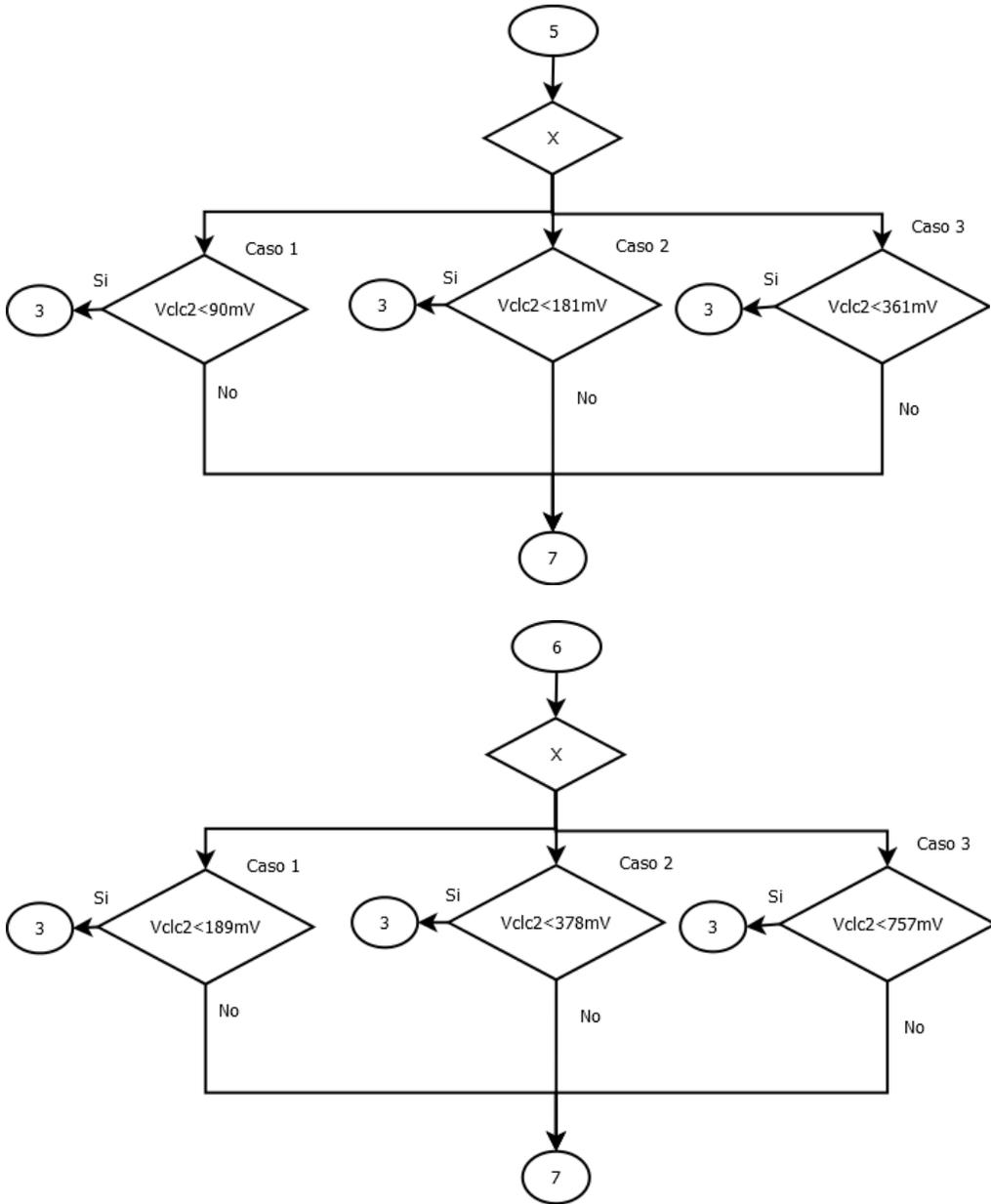


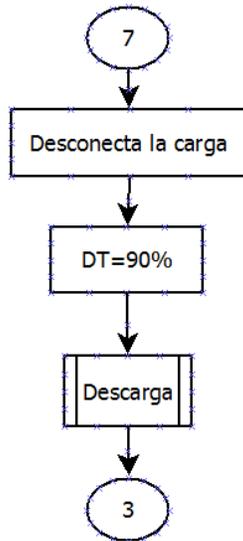
ALGORITMO FUNCIONAL

ALGORITMO DEL PROGRAMA.

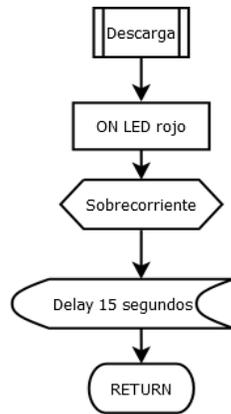




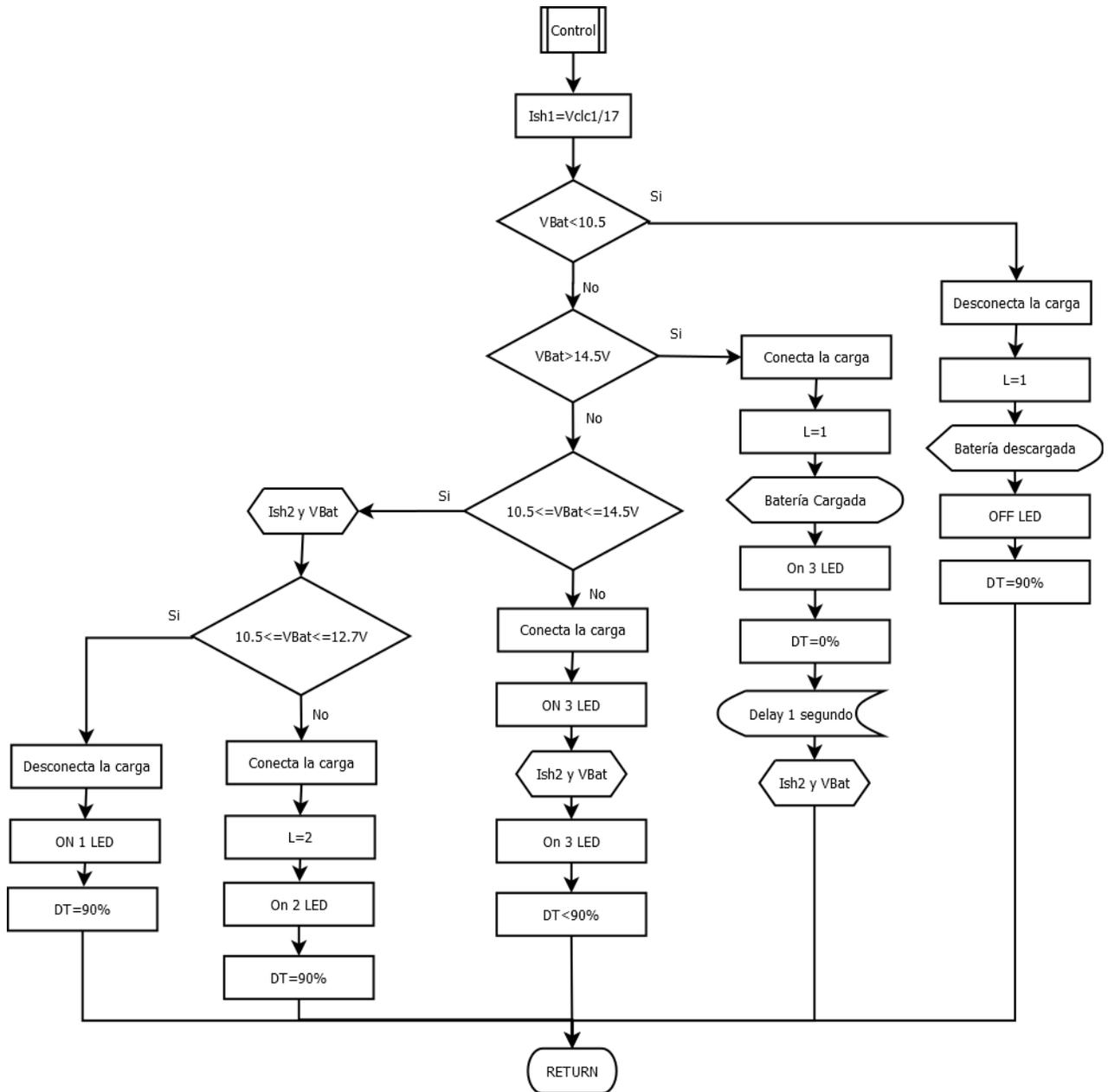




SUBROUTINAS:



:



CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN COMPILADO EN CCS COMPILER V.5.

```
#include <16F877a.h>
#device adc=10//Usa resolución de 10 bits
#use delay (clock=4000000)
#fuses xt, NOWDT

#define LCD_ENABLE_PIN PIN_D3
#define LCD_RS_PIN PIN_B0
#define LCD_RW_PIN PIN_D2
#define LCD_DATA4_PIN PIN_D4
#define LCD_DATA5_PIN PIN_D5
#define LCD_DATA6_PIN PIN_D6
#define LCD_DATA7_PIN PIN_D7

#include <lcd.c>

#use fast_io(a)
#use fast_io(b)
#use fast_io(c)
#use fast_io(d)
#use fast_io(e)
#byte TRISA = 85
#byte PORTA = 05
#byte TRISB = 86
#byte PORTB = 06
#byte TRISC = 87
#byte PORTC= 0x07
#byte TRISD = 88
#byte PORTD = 0X08
#byte OPTION_REG= 0x81

#define enter input(pin_D0)
#define seleccionar input(pin_D1)
#define apagar output_low
#define encender output_high

//Definición de Variables De Selección
int opcion1 ; //Variables de funciones de capacidad
int opc2;
int menu1 = 3; //Número de funciones de capacidad
int menu2 = 3; //Número de funciones de descarga
int z; //Tipo de Batería
int x; //Tipo de Descarga

//Definición de Variables de Control
//Batería de 12V
float cargada=1.87;//Voltaje 14.5=100%
float verde=1.75;//Voltaje 13.71=80%
float rojo=1.67;//Voltaje 13.1=40%
float descargada=1.34;//Voltaje 10.5=0%

int DT=0;//Variable del Duty Cycle
float w;
float i=0.00;// medición canal 0
float N=0.00;// medición canal 1
//float V=0.00;// medición canal 1
float f=0.00;// medición canal 2
int l=1;
float h=0.00;
float g=0.00;
int16 K;//lectura canal 0
float M;//Lectura canal 1
int16 B;//Lectura canal 2
```

```
/** Tipo de batería */
//1- Función de Selección de Batería
void menor(void) // Función para batería de 70AH
{
    //algoritmo correspondiente a batería de 70AH
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    lcd_putc(" SELECCIONADA\n"); //Saca texto
    lcd_putc(" BAT DE 70AH"); //Saca texto
    delay_ms(300);
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    z=1;
    break;
}

void baja(void) // Función para batería de 105AH
{
    //algoritmo correspondiente a batería de 105AH
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    lcd_putc(" SELECCIONADA\n"); //Saca texto
    lcd_putc(" BAT DE 105AH"); //Saca texto
    delay_ms(300);
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    z=2;
    break;
}

void media(void) // Función para batería de 220AH
{
    //algoritmo correspondiente a batería de 220AH
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    lcd_putc(" SELECCIONADA\n"); //Saca texto
    lcd_putc(" BAT DE 220AH"); //Saca texto
    delay_ms(300);
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    z=3;
    break;
}

void run_func(int numfunc) //Conmuta a la función de la Batería seleccionada
{
    switch(numfunc){
        case 0:
            menor();
            break;
        case 1:
            baja();
            break;
        case 2:
            media();
            break;
    }
}

//2- Función de Selección de Descarga
void optimo(void) //SELECCIONADO DESCARGA EN C20
{
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    lcd_putc("SE DESCARGA EN:\n"); //Saca texto
    lcd_putc(" 10 HORAS"); //Saca texto
    delay_ms(300);
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    x=0;
    break;
}

void medio(void) //SELECCIONADO DESCARGA EN C10
{
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    lcd_putc("SE DESCARGA EN:\n"); //Saca texto
    lcd_putc(" 5 HORAS"); //Saca texto
}
```

```
delay_ms(300);
lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
x=1;
break;
}

void critico(void) //SELECCIONADO DESCARGA EN C5
{
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
  lcd_putc("SE DESCARGA EN:\n"); //Saca texto
  lcd_putc(" 2 HORAS"); //Saca texto
  delay_ms(300);
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
  x=2;
  break;
}

void bateria(int desc) //Conmuta a la función de la Batería seleccionada
{

  switch(desc){
    case 0:
      optimo();
      break;
    case 1:
      medio();
      break;
    case 2:
      critico();
      break;
  }
}

//Función que Controla el Voltaje de Carga
control()
{

  if(f<descargada)//bateria descargada
  {
    encender(pin_C3);// Led Rojo
    apagar(pin_B3);//desconecta la carga
    apagar(pin_C4)// Led Amarillo
    apagar(pin_C5)// Led Verde
    apagar(pin_C6)// Led sobrecorriente
    l=1;
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    Set_pwm1_duty(229);
    printf(lcd_putc, " BATERIA SUPER" ); //Saca texto
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc," DESCARGADA");
    delay_ms(30000);
  }

  if (f>cargada)
  {
    apagar(pin_C6);
    encender(pin_C3);
    encender(pin_C4);
    encender(pin_C5);
    encender(pin_B3);//conecta la carga
    lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
    Set_pwm1_duty(0);
    printf(lcd_putc, "*****BATERIA*****" ); //Saca texto
    lcd_gotoxy(1,2);
    printf(lcd_putc,"*****CARGADA*****");
    delay_ms(300);
    h=(f-descargada)*199.175/((f-dsgada)*7.967*100)/4
    printf(lcd_putc, "I:%3.1fA", g); //Saca texto
```

```
lcd_gotoxy(9,1);
printf(lcd_putc, " V:%2.1fV\n", f*7.9); //Sacar texto
printf(lcd_putc,"BATERIA: %01.2f%C", h 37);
delay_ms(300);
}

//Batería de 12V
if(f>descargada&&f<verde)
{
  if (f>descargada&&f<rojo&&l==1)
  {
    encender(pin_C3); //LED rojo
    apagar(pin_C4);
    apagar(pin_C5);
    apagar(pin_C6);
    apagar(pin_B3); //desconecta la carga
  }
  else
  {
    encender(pin_C3);
    encender(pin_C4);
    apagar(pin_C5);
    apagar(pin_C6);
    encender(pin_B3); //conecta la carga
    l=2;
  }
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
  Set_pwm1_duty(229); //90% cargando la batería
  h=(f-descargada)*199.175/((f-dsgada)*7.967*100)/4
  printf(lcd_putc, "I:%3.1fA", g); //Sacar texto
  lcd_gotoxy(9,1);
  printf(lcd_putc, " V:%2.1fV\n", f*7.9); //Sacar texto
  printf(lcd_putc,"BATERIA: %01.2f%C", h 37);
  delay_ms(300);
}

if (f>verde&&f<cargada)
{
  l=2;
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla

  encender(pin_C3);
  encender(pin_C4);
  encender(pin_C5);
  apagar(pin_C6);
  encender(pin_B3); //conecta la carga
  DT=((cargada-f)*978); //DT varía de 88.02 a 9.78
  Set_pwm1_duty(DT);
  h=(f-descargada)*199.175/((f-dsgada)*7.967*100)/4
  printf(lcd_putc, "I:%3.1fA", g); //Sacar texto
  lcd_gotoxy(9,1);
  printf(lcd_putc, " V:%2.1fV\n", f*7.9); //Sacar texto
  printf(lcd_putc,"BATERIA: %01.2f%C ", h 37);
  delay_ms(500);
}
}

//Función que controla la descarga
descarga()
{
  apagar(pin_C3);
  apagar(pin_C4);
  apagar(pin_C5);
  encender(pin_C6);
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
  printf(lcd_putc, "*****SOBRE*****"); //Sacar texto
  lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"*****CORIENTE*****");
}
```

```
    delay_ms(15000);
  }

//Función que controla el C20 de recarga

recarga()
{
  encender(pin_C3);
  encender(pin_C4);
  apagar(pin_C5);
  apagar(pin_C6);
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla
  lcd_putc("SOBRECORRIENTE");//Saca texto
  lcd_gotoxy(1,2);
  lcd_putc("DE RECARGA"); //Saca texto
  delay_ms(1000);
}

//*****
//*****FUNCIÓN PRINCIPAL*****
//*****

void main()
{
  PORTA = 0X00;
  PORTB = 0X00;
  PORTC = 0X00;
  PORTD = 0X00;

  setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
  setup_adc(adc_clock_internal);
  lcd_init(); //Inicia LCD
  PORTC=0; //Resetea el puerto_C
  set_tris_A(0xFF); // todos los puertos como entradas.
  set_tris_C(0x00); // todos los puertos como salidas.
  set_tris_B(0x03); // todos los puertos como salidas.

  lcd_putc(" CONTROLADOR \n");//Saca texto
  lcd_putc("MULTIFUNCION 2AS"); //Saca texto
  delay_ms(500);
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla

  lcd_putc(" PROGRAMADO EN\n");//Saca texto
  lcd_putc("CCS COMPILER V.5"); //Saca texto
  delay_ms(300);
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla

  //****SELECCION DEL TIPO DE BATERIA****
  lcd_putc("SELECCIONAR TIPO\n");//Saca texto
  lcd_putc("DE BATERIA"); //Saca texto
  delay_ms(200);
  lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla

  while(enter==0)
  {
    if(seleccionar==1)
    {opcion1++;
    delay_ms(300);
    lcd_putc("\f");
    }

    if (opcion1>(menu1-1)){
      opcion1=0;}

  switch (opcion1) {
    case 0:
      printf(lcd_putc, " BATERIA DE: 70\n");
      printf(lcd_putc, "AMPERIO-HORA %C%C%C" 62 62 62);
```

```
break;
case 1:
    printf(lcd_putc, " BATERIA DE: 105\n");
    printf(lcd_putc, "AMPERIO-HORA %C%C%C" 62 62 62);
    break;
case 2:
    printf(lcd_putc, " BATERIA DE: 220\n");
    printf(lcd_putc, "AMPERIO-HORA %C%C%C" 60 60 60);
    break;
}
}

if (enter==1) //Si se pulsa el botón de selección
{
    delay_ms(200);
    run_func(opcion1);

} //se llama a la función correspondiente

****SELECCION DEL TIPO DE DESCARGA****//
lcd_putc("SELECCIONAR TIPO\n");//Saca texto
lcd_putc("DE DESCARGA"); //Saca texto
delay_ms(200);
lcd_putc("\f"); //Limpia la pantalla

while(enter==0)
{
    if(seleccionar==1)
    {
        opc2++;
        delay_ms(300);
        lcd_putc("\f");
    }

    if (opc2>(menu2-1)){
        opc2=0;}

switch (opc2)
{
    case 0:
        printf(lcd_putc, "DESCARGAR NIVEL:\n");
        printf(lcd_putc, " MEDIO %C%C%C " 62 62 62);
        break;
    case 1:
        printf(lcd_putc, "DESCARGAR NIVEL:\n");
        printf(lcd_putc, " OPTIMO %C%C%C " 62 62 62);
        break;
    case 2:
        printf(lcd_putc, "DESCARGAR NIVEL:\n");
        printf(lcd_putc, "%C%C%C CRITICO " 60 60 60);
        break;
}
}

if (enter==1) //Si se pulsa el botón de selección
{
    delay_ms(200);
    bateria(opc2); //se llama a la función correspondiente

delay_ms(2000);
//*****Módulo de Control de las Variables*****//
//*****Módulo de Control de las Variables*****//
//*****Módulo de Control de las Variables*****//
while(true){
    ini:
    //Lectura de canal A0 (Configuración del ADC_0)
    set_adc_channel(0); //Elige canal a medir RA0
    delay_us(10); //tiempo de adquisición recomendada
    M=read_adc(); //Realiza la lectura
    N= 5.0 * M /1024.0; //Hace conversión AD (vclc2)
```

```
//Lectura de canal A1 (Configuración del ADC_1)
set_adc_channel(1); //Elige canal a medir RA1
delay_us(20); //tiempo de adquisición recomendada
B=read_adc(); //Realiza la lectura
f= 5.0 * B /1024.0; //Hace conversión AD (V en la BAT)

//Lectura de canal A2 (Configuración del ADC_2)
set_adc_channel(2); //Elige canal a medir RA2
delay_us(20); //tiempo de adquisición recomendada
K=read_adc(); //Realiza la lectura
i= 5.0 * K /1024.0; //Hace conversión AD (vclcl)

//Configuración del PWM
output_low(PIN_C2); //CCP1
setup_ccp1(CCP_PWM);
setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255, 1); //244Hz

if(M<13){w=1.1;} // para corrientes menores a 7A
if(M>13&&M<24){w=1.3;} // para corrientes arriba de 6A y menor que 12A
/*if(M>64&&M<100){w=0.8;} // para corrientes arriba de 12A y menor que 18A
if(M>100&&M<133){w=0.75;}*/
g=(50*(M/87)*w);

//***** Bateria de 70Ah seleccionada*****//
if (z==1)//(70/20)*23m ohm
{
    if(i<0.161)//Vsh1 para 7A
    {
        control();
    }
    else
    {
        encender(pin_B3);
        Set_pwm1_duty(0);
        recarga();
    }

    switch(x){ // Opera dependiendo del tipo de descarga seleccionada
    case 0: //Descarga optima
        {
            if(g<7)//PROGRAMADA A 7A
            {
                goto ini;
            }
            else {
                apagar(pin_B3);
                Set_pwm1_duty(0);
                descarga();
            }
        }
        break;
    case 1: //Descarga media
        {
            if(g<14)// PROGRAMADA A 14A
            {
                goto ini;
            }
            else {
                apagar(pin_B3);
                Set_pwm1_duty(0);
                descarga();
            }
        }
        break;
    }
```

```
case 2: //Descarga critica
{
  if(g<35)// PROGRAMADA A 35A
  {
    goto ini;
  }
  else {
    apagar(pin_B3);
    Set_pwm1_duty(0);
    descarga();
  }
}
break;
}

//***** Bateria de 105Ah seleccionada*****//
if (z==2)//(105/20)*23m ohm
{

  if(i<0.12075)
  {
    control();
  }
  else
  {
    encender(pin_B3);
    Set_pwm1_duty(0);
    recarga();
  }

  switch(x){// Opera dependiendo del tipo de descarga seleccionada
case 0: //Descarga optima
{
  if(g<10.5)//PROGRAMADA A 10.5A
  {
    goto ini;
  }
  else {
    apagar(pin_B3);
    Set_pwm1_duty(0);
    descarga();
  }
}
break;
case 1: //Descarga media
{
  if(g<21)// PROGRAMADA A 21A
  {
    goto ini;
  }
  else {
    apagar(pin_B3);
    Set_pwm1_duty(0);
    descarga();
  }
}
break;
case 2: //Descarga critica
{
  if(g<52.5)// PROGRAMADA A 52.5A
  {
    goto ini;
  }
  else {
    apagar(pin_B3);
    Set_pwm1_duty(0);
  }
}
```

```
    descarga();
  }
}
break;
}
}

//***** Bateria de 220Ah seleccionada*****//
if (z==3)//(220/20)*23m ohm
{
  if(i<0.253)
  {
    control();
  }
  else
  {
    encender(pin_B3);
    Set_pwm1_duty(0);
    recarga();
  }

  switch(x){// Opera dependiendo del tipo de descarga seleccionada
  case 0: //Descarga optima
    {
      if(g<22)//PROGRAMADA A 22A
      {
        goto ini;
      }
      else {
        apagar(pin_B3);
        Set_pwm1_duty(0);
        descarga();
      }
    }
    break;
  case 1: //Descarga media
    {
      if(g<44)// PROGRAMADA A 44A
      {
        goto ini;
      }
      else {
        apagar(pin_B3);
        Set_pwm1_duty(0);
        descarga();
      }
    }
    break;
  case 2: //Descarga critica
    {
      if(g<110)// PROGRAMADA A 110A
      {
        goto ini;
      }
      else {
        apagar(pin_B3);
        Set_pwm1_duty(0);
        descarga();
      }
    }
    break;
  }
}
}
```

CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE 16F877A.

En el diseño se trabajó con el microcontrolador 16f877A como cerebro del control en el debido a que cumple con los requerimientos del diseño, es de bajo costo, se cuenta con suficiente información, estaba disponible en el mercado local y se tenía experiencia de trabajo con él.

1. Introducción al MicroControlador

Un MicroControlador o PIC es un circuito integrado capaz de llevar a cabo procesos lógicos. Estos procesos son programados en cualquier lenguaje de programación y luego se introducen al PIC mediante un programador. [11]

Poseen muchas cualidades semejantes a las de una computadora, tales como: *microprocesador, Memorias, puertos, conversores A/D, etc.* En la actualidad, estos se encuentran presente en los autos, los juguetes, calculadoras, hornos e incluso en un secador de pelo.

Se llaman “*Micro*” por ser tan pequeños, y “*Controladores*”, porque controlan maquinas o mecanismos grandes. Estos son de mucha utilidad, ya que se pueden construir artefactos o sistemas grandes, e incluso

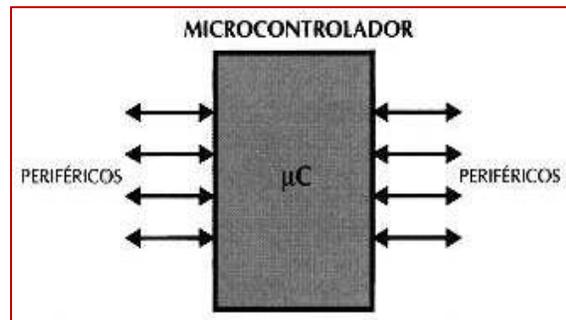


Figura A.1 Símbolo de un Microcontrolador.

controlar grandes potencias, con tan solo programar el PIC y luego dejarlo trabajando de manera automática.

2. La familia del PIC16F877A.

Existen muchos tipos de microcontroladores de diferentes fabricantes tales como: La Microchip, Motorola, Hitachi, etc. Cualquiera pudo haber sido utilizado para

este diseño. Sin embargo, una de las razones por las cuales se utiliza el PIC16F77A, es por la abundante información y herramienta de diseño que hay en el mercado. Además, por su sencillo manejo y promedio elevado de los parámetros de velocidad, consumo, tamaño y alimentación.

El PIC16F877 de Microchip es un circuito integrado que pertenece a la familia de microcontroladores de 8 bits. (Ver Fig. A.2) Posee características importantes que lo hace ser un dispositivo altamente eficiente en términos de memoria de datos y programa, así como en la velocidad de ejecución de instrucciones. [12]

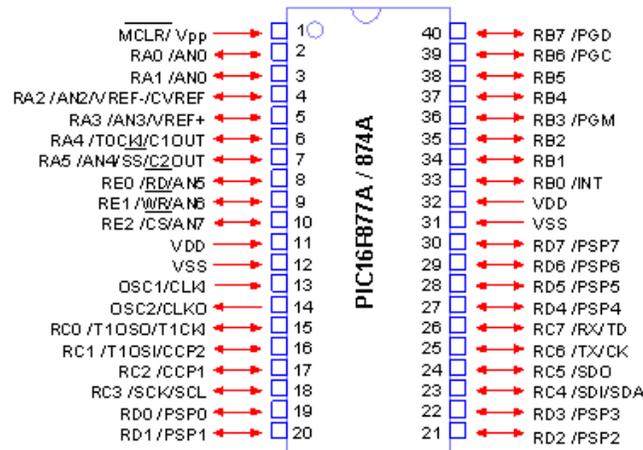


Figura A. 2. Microcontrolador 16F877A

2.1. Características principales del PIC16F877A.

- ✦ Dispositivo de 40 pines.
- ✦ **35 pines de entrada/salida**
- ✦ Empaquetado tipo PDIP (Plastic Dual In Like Package) como el de la Fig. 2.2. Aunque la Microchip también lo fabrica en tipo **QFP** (Quad Flat Package) y **PLCC** (Plastic Leaded Chip Carrier).
- ✦ **CPU:**
 - Frecuencia de operación de 0 a 20MHz.
 - Juego de solo 35 instrucciones de 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos.
 - **Arquitectura Harvard.**

Este tipo de arquitectura tiene la CPU conectada a dos memorias por medio de dos buses diferentes a como se muestra en *la figura 2.3*. Una de las memorias contiene solamente las instrucciones del programa (Memoria de Programa), y la otra, sólo almacena datos (Memoria de Datos).

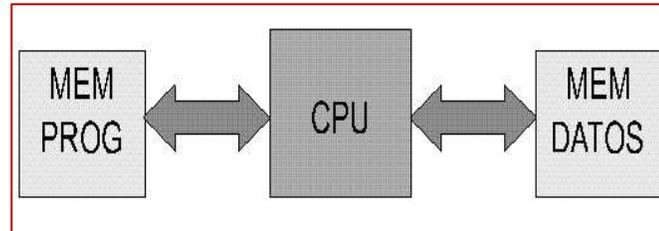


Figura A. 3 Arquitectura Harvard.

- **Procesador con tecnología RISC** (Reduced Instrucción Set Computer) que significa Computadora con un conjunto de instrucciones reducidas. Esta arquitectura del procesador, permite aumentar la velocidad del procesamiento, debido a la sencillez de las instrucciones. En base a esto, la CPU puede acceder a los datos para completar la ejecución de una instrucción, y al mismo tiempo leer la siguiente instrucción a ejecutar. La sencillez y rapidez de las instrucciones permiten optimizar el hardware y el software del procesador, debido a que casi todas las instrucciones pueden ejecutarse dentro de un ciclo de reloj.

✚ Memoria:

- **ROM** de hasta 8K palabras de 14 bits con **tecnología FLASH**. Esta memoria es utilizada para almacenar el programa que se está ejecutando. Debido a esto, suele llamársele con frecuencia **“memoria de programa”**. El PIC16F887A tiene 8Kb de memoria ROM (en total 8192 localidades). Cabe mencionar que esta memoria está fabricada con tecnología FLASH, y su contenido se puede cambiar al proporcionarle un voltaje de programación especial (13V).

- **RAM** de hasta 368 Bytes de memoria de Datos. Esta es la parte más compleja de la memoria del microcontrolador. La RAM, consiste en dos partes: en registros de propósito general y en los registros de funciones especiales (los SFR). Todos estos registros se dividen en cuatro bancos de memoria.

Los dos grupos de registros se ponen a cero al apagar la fuente de alimentación, y aunque están fabricados de la misma forma y se comportan de la manera similar, sus funciones no tienen muchas cosas en común.

- **EEPROM** de hasta 256 Bytes de memoria de Datos. El contenido en esta memoria es permanente guardado aunque se apague la fuente de alimentación. Sin embargo, a diferencia de la ROM, el contenido de la EEPROM se puede cambiar durante el funcionamiento del microcontrolador.
- Pila de 8 niveles.
- Protección programable de código

✚ **Reset e interrupciones:**

- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas.
- **3 temporizadores/contadores independientes.**
- Reset de encendido (POP).
- Temporizador de encendido (PWRT)
- Temporizador de arranque del oscilador (OST).
- Sistema de vigilancia **Perro Guardián (WDT).**

✚ **Periféricos:**

- 5 puertos de I/O (A, B, C, D, E).
- **2 módulos CCP (captura/comparador/PWM).**
- 1 Convertidor A/D de 10 bits, hasta 8 canales.

- Comunicación **SERIAL**: SSP (puerto serie síncrono), USART (puerto serie universal) y ICSP (puerto serie para programación y depuración “in circuit”).
- Comunicación **PARALELA**: PSP (puerto de 8 bits con líneas de protocolo).
- Pines de salida compatibles para el PIC 16C73/74/76/77.

✚ **Otros:**

- Modos de direccionamiento directo e indirecto.
- **Modo SLEEP de bajo consumo.**
- Programación serie en circuito con dos pines, solo necesita 5V para programarlo en este modo.
- **Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5,5 V.**
- Bajo consumo:
 - < 0.6mA valor para 3V y 4 Mhz
 - 20μA para 3V y 32KHz
 - <1μA en standby.

- ✚ En los nombres de los microcontroladores aparecen siglas que representan el tipo de voltaje y de memoria ROM, esto puede verse en *la tabla A.1*:

Tipo de memoria	Rango de voltaje	
	Estándar (4.5 a 6 volts)	Extendido (2.5 a 6 volts)
EPROM, OTP	PIC16 C XXX	PIC16 LC XXX
ROM	PIC16 CR XXX	PIC16 LCR XXX
FLASH	PIC16 F XXX	PIC16 LF XXX

Tabla A.1. Siglas que identifican al PIC

Lo que quiere decir que el PIC16F877A tiene un rango de voltaje estándar, alimentándose con voltajes de 4.5 a 6 voltios, con memoria de programa tipo flash.

3. Descripción de los Pines.

✚ **Alimentación:**

- VSS (*pin*es 12 y 31) referencia a tierra.
- VDD (*pin*es 11 y 32) fuente de alimentación.
- ✦ **Osciladores:** *Pin* 13 y 14, se usan dependiendo el tipo de oscilador.
- ✦ **MCLR/ VPP:** el Master Clear o reset, es una entrada del PIC que sirve para resetearlo y se activa en bajo.
- ✦ **Puerto A:** *Pin* del 2 al 7. Tiene 6 puertos que van desde RA0 hasta RA5, y pueden programarse como entradas o salidas (I/O). A excepción de RA4, todos pueden ser utilizados como puertos analógicos.
- ✦ **Puerto B:** *Pin* del 33 al 40. Tiene **8 puertos** que van desde RB0 hasta RB7. Es un puerto bidireccional (I/O) y puede ser programado para internal weak pull-up en todas las entradas.
- ✦ **Puerto C:** *Pin* del 15-18 y del 23-26. Tiene **8 puertos** que van desde RC0 hasta RC7. Es un puerto bidireccional (I/O) y tiene los 2 módulos CCP en RC1 y RC2, con los cuales se puede programar como salida una señal PWM. También contiene los timers, así como las conexiones seriales y paralelos (ver el datasheet del PIC).
- ✦ **Puerto D:** *Pin* del 19-22 y del 27-30. Tiene **8 puertos** que van desde RD0 hasta RD7. Es un puerto bidireccional (I/O) o también puede operar como puerto esclavo en paralelo (PSP)
- ✦ **Puerto E:** *Pin* del 8-10. Tiene **3 puertos** que van desde RE0-RE3. Pueden operar como entradas A/D. [13]

4. Tipos de Osciladores.

Para que el PIC sincronice todas las operaciones internas, debe introducirse una frecuencia en los pines 13 y 14, configurando los bits ubicados en un registro especial de la localidad 2007H de la memoria de programa. (Ver Fig. A.4)

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CP1	CP0	DEBUG	-	WRT	CPD	LVP	BODEN	CP1	CP0	PWRTE	WDTE	FOSC1	FOSC0

Figura A.4 Configuración Word (2007H).

Las combinaciones de estos dos bits permiten obtener cuatro tipos de configuraciones de osciladores. (Ver tabla A.2)

FOSC1	FOSC2	Modo de operación del oscilador	
0	0	LP	Cristal / Resonador ceramicos externos, Baja frecuencia 20MHz (bajo consumo de potencia)
0	1	XT	Cristal / Resonador ceramicos externos, Media frecuencia 4MHz
1	0	HS	Cristal / Resonador. Alta velocidad frecuencia de 20MHz (alta potencia)
1	1	RC	Resistencia / Capacitor externos

Tabla A.2. Tipos de osciladores para el PIC

✚ **Oscilador externo con cristal:** Los osciladores LP, XT y HS utilizan un cristal o resonador a como lo muestra la figura A.5.

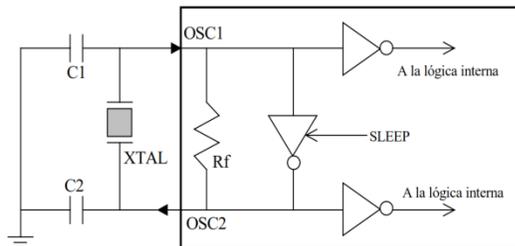


Figura A.5 Oscilador con cristal

Este tipo de oscilador puede generar diferentes frecuencias a como lo muestra la tabla A.3.

Modo	Frecuencia típica	Modo de operación del oscilador	
		C1	C2
LP	32 khz	68 a 100 pf	68 a 100 pf
	200 khz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
XT	100 khz	68 a 150 pf	150 a 200 pf
	2 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	4 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
HS	8 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	10 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf
	20 Mhz	15 a 30 pf	15 a 30 pf

Tabla A.3. Frecuencias para un oscilador de cristal

✚ **Oscilador RC externo:**

Es recomendable cuando la aplicación no requiera una gran precisión. La frecuencia de

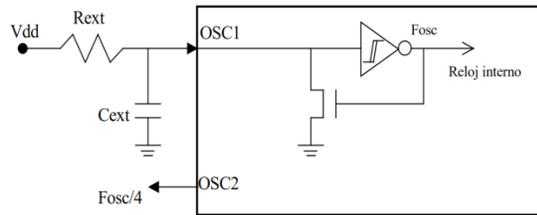


Figura A.6 Oscilador RC

osilacion de este circuito RC (ver

Fig. A.6), no depende solamente de los valores Rext y Cext, sino tambien del valor de la alimentación Vdd. Los rangos admisibles son: **Rext:** 3 a 100 KΩ.

Cext: mayor de 20 pf.

✚ **Oscilador externo:** se le puede conectar una señal de reloj en el pin Osc1, mientras que el otro pin Osc2 se pone a tierra. (ver Fig. A.7)

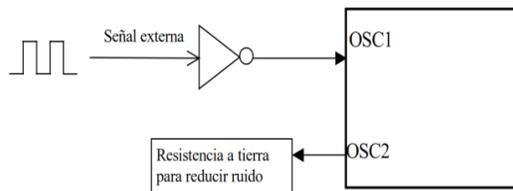


Figura A.7 Oscilador externo con entrada de reloj

✚ **Oscilador interno de 4Mhz:** (modo INTRC) algunos PIC´s usan un arreglo interno que genera una frecuencia de 4Mhz con un error de ±1.5%. [14]

5. Diagrama de bloque del PIC16f877.

Una de las formas que mejoran la compresion el comportamiento interno del PIC, se ha resumido en la figura A.8. En esta imagen puede notarse que el PIC16F877A posee procesador, memoria de datos, memoria de programa, perifericos, contadores, etc.

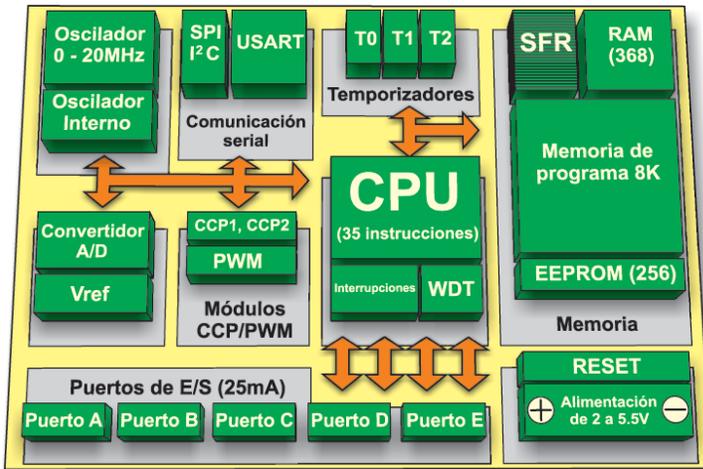


Figura A.8 Diagrama en bloque del PIC16F877A

6. CPU y Memoria RAM.

■ CPU:

Dado que la CPU del PIC16F887 está fabricada con la tecnología RISC, la cantidad de instrucciones en lenguaje ensamblador se ha reducido a 35 instrucciones. Cabe señalar, que para poder programar otros microcontroladores en lenguaje ensamblador es necesario más de 200 instrucciones.

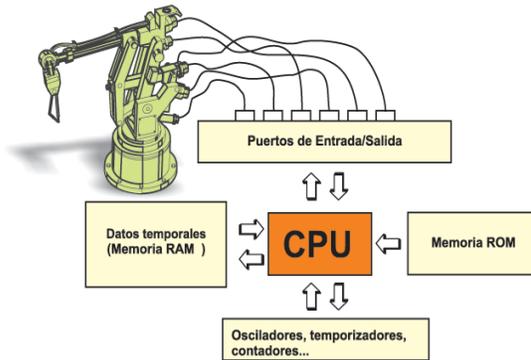


Figura A.9 CPU (Unidad Central de Procesamiento)

Por otro lado, el tiempo de ejecución es igual para casi todas las instrucciones y tarda 4 ciclos de reloj. Las instrucciones de salto y de ramificación tardan ocho ciclos de reloj en ejecutarse, lo que significa que si la velocidad de operación del microcontrolador es 20 MHz, el tiempo de ejecución de cada instrucción será 200nS, es decir, el programa ejecutará 5 millones de instrucciones por segundo.

■ Memoria de Acceso aleatorio (RAM).

La memoria RAM está conformada por registros de propósito general (GFR) y registros de funciones especiales (los SFR). Los primeros (GFR), se utilizan para almacenar los datos temporales y los resultados generados durante el funcionamiento. Los segundos (SFR), tienen un propósito predeterminado durante el proceso de fabricación y no se pueden cambiar, ya que al modificarlos afectarían directamente el funcionamiento del microcontrolador o de alguno de sus módulos.

Estos últimos registros, ayudan a configurar el hardware interno. También, sirven para escribir o leer valores de los diferentes componentes que constituyen el microcontrolador. (*p.ej:* el registro “trisa” que nos permite configurar el modo de trabajo, salida o entrada, del puerto A).

Todos estos registros (que corresponden a la memoria de datos) se dividen en 4 **bancos** numerados 0,1, 2, 3, y antes de acceder a un registro para leer o escribir un programa, es necesario seleccionar el banco que contiene ese registro. Para simplificar el funcionamiento, los SFR utilizados con más frecuencia tienen la misma dirección en todos los bancos, lo que permite accederlos con facilidad.

El trabajar con bancos en lenguaje ensamblador resulta ser difícil. Pero con lenguajes de alto nivel como CCS compiler, solo basta con escribir el nombre del registro. A partir de esta información, el compilador selecciona el banco necesario. (*Revisar los registros SFR de cada uno de los bancos en el Datasheet*).

7. Manejo de puertos.

El PIC16F877A tiene 5 puertos que pueden ser configurados como entrada o salida digitales (A, B, C, D, E). El puerto A contiene 6 bits (RA0-5), el puerto B, el puerto C y el puerto D, tienen cada uno 8 bits y el puerto E, solamente tiene 3 bits.

[15]

Para configurar cualquiera de estos puertos como entradas o salidas, debe seguirse la siguiente secuencia:

- o **Ingresar al banco 1.**
- o Configurar los puertos como salida o entrada (registros TRISA, TRISB, TRISC, TRISD y TRISE).
- o **Regresar al banco 0.**
- o Configurar los puertos para lectura o escritura. (registros PORTA, PORTB, PORTC, PORTD y PORTE).

La *tabla A.4* describe cada una de las localidades de los registros SFR que configuran a los puertos como entradas o salidas, así como la función de lectura o escritura.

Address	Banco 0	Banco 1	Address
0x05	PORTA	TRISA	0x85
0x06	PORTB	TRISB	0x86
0x07	PORTC	TRISC	0x87
0x08	PORTD	TRISD	0x88
0x09	PORTE	TRISE	0x89

Tabla A.4. Registros ubicados en los bancos 0 y 1

Cabe señalar que el PORTB también aparece en el banco 2 en la posición de memoria 0x106 y el TRISB en la posición de memoria 0x186.

Un valor de “0” en el registro TRIS, indica que el puerto será de salida y un “1” indica que será de entrada. Similarmente ocurre en la escritura y lectura de los puertos, estarán en dependencia del valor que tomen los registros **PORT**.

Existen algunos terminales con características especiales, por ejemplo:

- ✚ **En el puerto A**, el terminal *RA4* tiene salida en drenador abierto lo que obliga a utilizar una resistencia de *pull-up* en el caso de funcionar como

salida. Este terminal tiene entrada *trigger-schmitt* lo que permite su utilización como entrada de contador de eventos externos en conjunción con un módulo temporizador.

- ✚ **En el puerto B**, los terminales tienen una resistencia de *pull-up* interna que se puede habilitar a través del bit *RBPU* del registro *OPTION_REG* (81h, 181h). si dicho bit es “1”, todas las resistencias de *pull-up* estarán deshabilitadas, si es un “0” estarán habilitadas solo en el caso de que el terminal funcione como entrada.

Las características eléctricas de los puertos delimitan su utilización para el manejo de cargas de forma directa (ver *tabla A.5*). Por esta razón, se recomienda que para activar cargas de mayor consumo, se utilicen transistores.

Máxima corriente de salida a nivel alto por un pin I/O	25 mA
Máxima corriente de salida a nivel bajo por un pin I/O	20 mA
Máxima corriente de salida a nivel alto por el puerto A	80 mA
Máxima corriente de salida a nivel bajo por el puerto A	50 mA
Máxima corriente de salida a nivel alto por el puerto B	150 mA
Máxima corriente de salida a nivel bajo por el puerto B	100 mA

Tabla A.5. Características eléctricas de los puertos

Estos niveles tan bajos permiten trabajar solamente con cargas de bajo consumo tales como: *leds, display de 7 segmentos, o LCD*.

8. Reset

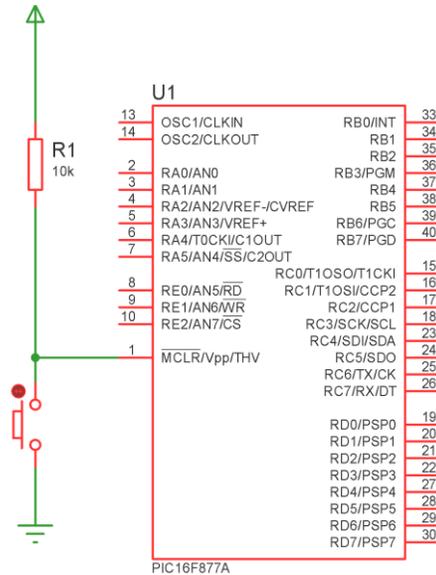
La tarea principal del reset es reiniciar al procesador, abandonando el programa en ejecución, hasta que el contador de programa se cargue en la dirección 0. En esa dirección comienza el programa de la aplicación.

Las formas más comunes para aplicar un reset son:

- La primera opción es desconectar y volver a conectar la alimentación del microcontrolador. Cuando se conecta la alimentación se produce automáticamente un reset. Este tipo de reset se lo conoce como Power-On Reset (**POR**).

Figura A.10 Conexión externa para resetear el PIC

- La segunda opción es aplicar un nivel lógico bajo en el terminal MCLR (Master Clear Reset). Mediante este terminal se puede resetear el procesador cuando se desee. Esta configuración se muestra en la fig.A. 10.



9. Programación en CCS Compiler.

Existen distintos lenguajes de programación para escribir el programa. El lenguaje más básico es el binario puro, llamado **lenguaje de máquina**, sin embargo las instrucciones en binario son difíciles de recordar y por ello el lenguaje no se usa de forma directa.

El lenguaje siguiente es el **Assembler** el cual reemplaza los códigos binarios por breves sentencias denominadas *nemónicos*. La desventaja del Assembler es que requiere que el programador conozca mucho del hardware del microcontrolador, por esta razón se desarrollaron los lenguajes de alto nivel, tales como el **lenguaje C** y **BASIC**.

El compilador de lenguaje C para PIC más usado es el **CCS Compiler**, mientras que en BASIC se puede usar el PICBASIC, el PICBASIC PRO, el PICBASIC PROTON o el Micro PICBASIC, cuyos compiladores son fabricados por distintas empresas (OSHONSOFT, MELABS, etcétera) [16]

Para programar al PIC 16F877A se utilizó el compilador **CCS Compiler** por la experiencia práctica que se tiene acerca de este. También por su facilidad de expresar algoritmos, más cercano al lenguaje humano. También por su amplia librería de funciones, y por contener controladores para el manejo de LCD, convertidores AD, relojes en tiempo real, etc.

La característica principal de un compilador es que su entorno de trabajo es más sencillo y al compilar el programa editado, convierte un lenguaje de alto nivel a instrucciones en código de máquina. Luego este programa puede ser cargado del PC al PIC mediante cualquier programador desde el entorno de trabajo del PC.

El CCS Compiler tiene la librería del PIC16F877A, la cual debe de mandarse a llamar desde que se inicia la programación con la directiva `#include<16f877A.h>`. Luego de esto se podrá trabajar con todas las instrucciones que la librería del PIC maneja.

10. Display de Cristal Líquido (LCD) - 2x16.

El display de 2 líneas y 16 caracteres, es el que permite visualizar la información que el microcontrolador desee imprimir en pantalla; está disponible en el mercado y son compatibles con las siguientes características:

- ◆ +5VDC de alimentación.
- ◆ Pueden representar 256 caracteres diferentes.
- ◆ Almacena 40 caracteres por línea, es decir su memoria DDRAM tiene un tamaño de $2 \times 40 = 80$ bytes. Pero solo 16 son vistos por el usuario, lo que hace parecer un *display virtual*.

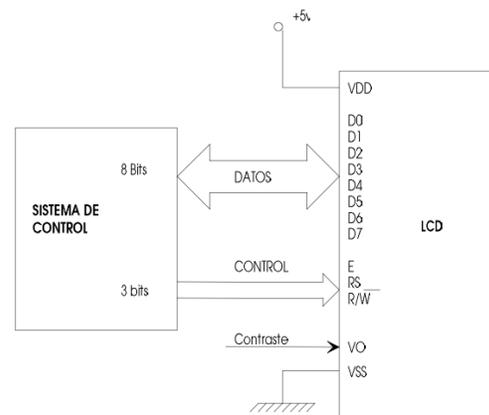


Figura A.11 Interfaz del Display

La interfaz del hardware y la asignación de los pines se muestran en la fig. A.11 y en la tabla A.6, respectivamente.

Algunas configuraciones básicas del LCD:

◆ La señal E se encuentra siempre a 0 antes de realizar cualquier operación, **para habilitar el LCD.**

◆ Poner RS=1 y R/W=0, **para escritura.**

Situar el dato a imprimir en el bus de datos del LCD. [18]

N° de Pin	Símbolo	Descripción
1	VSS	GND
2	VDD	+VCC
3	VC	Voltaje de ajuste del contraste
4	RS	Selección de registro
5	R/σ	Lectura/Escritura
6	E	Enable
7	D0	Bit de datos LSB
8	D1	Bit de datos
9	D2	Bit de datos
10	D3	Bit de datos
11	D4	Bit de datos
12	D5	Bit de datos
13	D6	Bit de datos
14	D7	Bit de datos MSB

Tabla A.6. Asignación de pines.

El compilador CCS permite trabajar con LCD, al incluir un archivo LCD.C que dispone de varias funciones ya definidas. El archivo se debe mandar a llamar con la directiva *#include*.

Por otro lado, el driver LCD.C está diseñado para trabajar con los puertos B y D (*PORTB* y *PORTD*), aunque por defecto opera con el *PORTD*. Este driver usa siete terminales para comunicación entre el LCD y el PIC. En el fichero se encuentran definidas las conexiones utilizadas y la posibilidad de cambiar de puerto. (Revisar el fichero LCD.C en ccs compiler)

11. Simulador ISIS de Proteus VSM.

Este simulador tiene la ventaja de poder simular el código de microcontroladores de bajo y alto nivel. A la vez ofrece tres potentes subentornos como lo son el **ISIS** para el diseño gráfico, el **VSM** (*Virtual System Modelling*) para la simulación y el **Ares** para el diseño de placas de pistas (placas).

Una vez que se ha armado el circuito con el microcontrolador, deben modificarse las características internas del PIC. En este momento es que se carga el archivo de programa en el microcontrolador, (*.HEX) generado en la compilación; también se modifica la frecuencia de reloj (por lo tanto no es necesario el uso de cristal

externos en la simulación ni tampoco las terminales de alimentación, porque ya queda alimentado).