

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

**VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE  
CONTINUA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN**

**ELECTROMECAÁNICA**

**BECERRA NARVÁEZ JUAN CARLOS**

**Mail: pispud@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING ALCÍVAR COSTALES**

**Mail: alcivarc@yahoo.com**

**Quito, Abril 2011**

## DECLARACIÓN

Yo, Juan Carlos Becerra Narváez declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado las referencias que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

.....  
**Juan Carlos Becerra Narváez**

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Carlos Becerra Narváez, bajo mi supervisión.

.....

**Ing. Alcívar Costales**

**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

*Al culminar el presente trabajo expreso mí más sincero agradecimiento a mis Padres por su apoyo y labor abnegado.*

*Además expreso mi agradecimiento a mis maestros que impartieron su conocimiento a lo largo de mi vida estudiantil, especialmente Al Ing. Alcívar Costales por sus consejos para guiar este trabajo.*

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo le dedico a mis Padres porque ellos han sido quienes me han guiado por el difícil camino de la vida.*

*Que Dios les bendiga y les tenga mucho tiempo a mi lado.*

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN .....	8
CAPITULO 1 .....	10
1.1 ASPECTOS TÉCNICOS.....	10
1.2 MOTOR ELÉCTRICO.....	10
1.2.1 Introducción.....	10
1.2.2 El Inventor .....	11
1.2.3 Funcionamiento .....	11
1.2.3.1 Regla de la Mano Derecha .....	11
1.2.3.2 Componentes Del Motor.....	13
1.2.3.3 Descripción Componentes Del Motor .....	14
1.2.4 Motores de Corriente Continua .....	14
1.2.5 Tipos De Motores D.C. ....	15
1.2.5.1 Motor Shunt.....	16
1.2.5.2 Motor Serie .....	16
1.2.5.2 Motor Compuesto (Compound).....	16
1.2.5.4 Motor Shunt Estabilizado .....	17
1.2.6 Conceptos Básicos.....	18
1.2.6.1 Ecuación General Del Motor.....	18
1.2.7 TIPOS DE MOTORES DE IMÁN PERMANENTE.....	21
1.2.7.1 Motor De Imán Permanente De Corriente Continua.....	21
1.2.7.1.1 Motor Con Imanes Montados en la Superficie Del Rotor .....	22
1.2.7.1.2 Motor con Imanes Insertos en el Rotor .....	22
1.3 ASPECTOS TEÓRICOS DEL PIC16F84A .....	24
1.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PIC16F84A.....	25
1.3.1.1 Principales Características:.....	25
1.3.1.2 Disposición Y Descripción De Pines.....	27
1.3.1.2.1 Disposición De Pines.....	27
1.3.1.2.2 Descripción De Pines .....	28
1.3.1.2 Arquitectura Interna.....	29
1.3.1.2.1 Memoria De Programa. ....	30
1.3.1.2.2 Memoria De Datos .....	33
Está organizada en dos páginas o bancos de registro, banco 0 y banco 1. Para cambiar de página se utiliza un bit del registro STATUS (RP0). Cada banco se divide a su vez en dos áreas: .....	33
1.3.1.3 Puertos De Entrada/Salida.....	36
1.3.1.3.1 Puerto A.....	36
1.3.1.3.2 Puerto B.....	37
1.3.1.4 Configuración De Los Puertos De Entrada/Salida .....	38
1.3.1.5 Temporizador/Contador TMR0.....	41
1.3.1.6 El Prescaler .....	43
1.3.1.7 El Direccionamiento .....	44
1.3.1.7.1 Direccionamiento Inmediato .....	45
1.3.1.7.2 Direccionamiento Directo .....	45
1.3.1.7.3 Direccionamiento bit a bit.....	45
1.3.1.7.4 Direccionamiento Indirecto.....	46
1.4 LCD (DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO).....	46
1.4.1 INTRODUCCIÓN A LCD.....	46
1.4.2 DIVERSIDAD DE ALGUNOS MÓDULOS LCD.....	47

1.4.3 INTERPRETACIÓN DE CADA UNO DE LOS PINES DE UN LCD.....	48
1.4.4 TIEMPOS MÍNIMOS REQUERIDOS PARA QUE UNA INSTRUCCIÓN O UN DATO PUEDAN SER EJECUTADOS. ....	50
1.4.5 BUS DE DATOS DE 4 Y 8 BITS DE LONGITUD .....	51
1.4.6 INICIALIZACIÓN DEL MODULO LCD.....	52
CAPITULO 2 .....	54
2.1 DISEÑO DEL CIRCUITO .....	54
2.1.1 DISEÑO DEL HARDWARE.....	54
2.2 VARIACIÓN DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA MEDIANTE PWM.....	55
2.2.1 Calculo VDC Para Una Onda Cuadrada.....	56
2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC .....	57
2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES .....	57
2.3.1.1 Fuente De Poder 110 – 127 V .....	57
2.3.1.2 Transformación a 24 V .....	58
2.3.1.3 Rectificación AC – DC.....	58
2.3.1.4 Regulación De Voltaje.....	61
2.3.1.4.1 Regulador De Voltaje-24V. ....	62
2.3.1.4.2 Regulador De Voltaje - 12 V .....	64
2.3.1.4.3 Regulador De Voltaje – 5 V.....	65
2.3.1.5 Circuito Del Variador De Velocidad PWM .....	68
2.3.1.6 Circuito Medidor De Velocidad .....	70
2.3.1.7 Visualizador De Estado Del Motor .....	71
2.3.1.7 Interfaz De Potencia .....	72
CAPITULO 3 .....	75
3.1 DISEÑO DEL SOFTWARE .....	75
3.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD .....	77
3.1.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL TACÓMETRO .....	78
3.1.3 PROGRAMA IMPLEMENTADO PARA EL VARIADOR DE VELOCIDAD .....	80
3.1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD.....	84
3.1.4.1 Programa Implementado Para el Tacómetro .....	84
3.1.4.2 Descripción Del Programa Del Tacómetro .....	87
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	92
4.1 CONCLUSIONES.....	92
4.2 RECOMENDACIONES .....	94
ANEXOS .....	95
DIAGRAMA DE ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL .....	95
CIRCUITO IMPRESO DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	96
DIAGRAMA CIRCUITAL DEL CIRCUITO DE CONTROL.....	97
DIAGRAMA DE ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE PULSADORES .....	98
CIRCUITO IMPRESO DEL CIRCUITO DE PULSADORES .....	98
DIAGRAMA CIRCUITAL DE CIRCUITO DE PULSADORES .....	99
BIBLIOGRAFÍA .....	100

## PRESENTACIÓN

Es evidente que en la actualidad los sistemas mecánicos y eléctricos se los ha venido digitalizando haciendo que estos sean más rápidos, confiables y eficientes. En los sistemas mecánicos es necesario de un mayor mantenimiento tanto preventivo como correctivo lo cual aumenta costos, además en los sistemas eléctricos de control se tiene mayores pérdidas de energía lo que contribuye a restar la eficiencia de los sistemas.

Es por esta razón que se ha tenido la necesidad de implementar un sistema digital de control de velocidad de motores de un motor DC, el cual facilitará al estudiante de la Escuela de Formación de Tecnólogos, realizar sus prácticas de electrónica de potencia. Pudiendo analizar el comportamiento de la máquina de una forma más rápida y precisa dando mejores opciones para el aprendizaje de la materia.

El proyecto a continuación descrito, está dirigido tanto en el ámbito industrial como al teórico-práctico.

Este proyecto consiste en la regulación de velocidad de un motor de corriente continua mediante la variación de ancho de pulso PWM.

El circuito del variador consta de cinco partes que son:

- Circuito Rectificador.
- Controlador de velocidad.
- Medidor y visualizador de velocidad.
- Interfaz de potencia.
- Circuito de potencia.

Este circuito funcionará con 110-127 VAC. Este voltaje de entrada al circuito será reducido mediante un transformador reductor a 24 VAC y rectificado para tener un voltaje continuo.

Se usará un regulador variable de voltaje de 1.2 V a 25 V, este regulador es calibrado para que entregue 24 V exactamente ya que el motor usado en el proyecto, es un motor de corriente continua de 24 V, 2.7 A. Además de la salida que entrega el puente rectificador será usada para alimentar al circuito controlador



de velocidad, al medidor y visualizador de velocidad, para esto se usa un regulador de 5 V.

Este circuito funciona de la siguiente manera:

Al momento que se energice el circuito, un led señalizador se prenderá de color rojo y en un LCD (Display De Cristal Liquido ) se mostrará las palabras " VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC " al pulsar el botón STAR el motor se encenderá y el led indicador cambiará de color rojo a color verde, además en el LCD se indica las palabras " MOTOR PRENDIDO " durante un segundo, a continuación pasará a mostrarse en el LCD la frase "MÍNIMA VELOCIDAD" y también se indicará las revoluciones por minuto a las cuales se encuentra girando el rotor de motor, al presionar el botón para aumentar la velocidad del motor, la frase en el LCD cambiara mostrándose " MOTOR GIRANDO A : ". Al presionar el botón de incremento de velocidad hasta obtener la velocidad máxima, se indica en el LCD la frase " MÁXIMA VELOCIDAD " de igual manera a lo indicado anteriormente ocurre con el botón para bajar la velocidad. Siempre que se prenda el motor este arrancará en baja velocidad ya que es lo conveniente para arranque de motores.

Este proyecto ayudará a los estudiantes de electrónica de potencia y de automatismos a comprender de mejor manera el funcionamiento de los dispositivos electrónicos y microcontroladores.

# CAPITULO 1

## 1.1 ASPECTOS TÉCNICOS

En este capítulo se detalla los principales componentes tanto mecánicos, eléctricos y electrónicos usados en el variador de velocidad de un motor de corriente continua.

Antes de realizar cualquier diseño de un controlador es necesario saber que se va a controlar, la potencia, el voltaje etc. En definitiva debemos de conocer las características de los que vamos a controlar, por lo que primero conoceremos algo de teoría del motor DC, el microcontrolador PIC16F84A y el LCD (Display De Cristal Liquido) que se usa en el proyecto.

## 1.2 MOTOR ELÉCTRICO

### 1.2.1 Introducción

Los antiguos Romanos, con su civilización y conocimientos avanzados de las ciencias, hubieran podido desarrollar el motor de vapor y el curso de la historia habría sido diferente, el desarrollo del motor eléctrico en épocas modernas ha indicado la verdad en esta teoría. El desarrollo del motor eléctrico nos ha dado los medios más eficientes y más eficaces para realizar un trabajo. Con el motor eléctrico hemos podido reducir notablemente el trabajo que realiza el hombre para su supervivencia, además, hemos podido construir una civilización que ahora está alcanzando las estrellas. El motor eléctrico es un dispositivo simple en principio, convierte energía eléctrica en energía mecánica. Al paso de los años, los motores eléctricos han cambiado substancialmente en diseño, no obstante los principios básicos de operación han seguido siendo iguales.

## 1.2.2 El Inventor

Faraday Michael (1791-1867), descubrió el principio del motor eléctrico al descubrir la inducción.

Inducción es la generación de una corriente eléctrica en un conductor en movimiento en el interior de un campo magnético físico. A partir de ese descubrimiento se potenció el estudio de la electrónica.

## 1.2.3 Funcionamiento

Las escobillas conducen la electricidad sobre el conmutador, y éste al cable de cobre, el cual genera un campo magnético, que hace que un lado del imán atraiga a la bobina de un lado y al mismo tiempo lo repela del otro. Cuando se tendría que quedar quieta, el conmutador hace que el flujo de la corriente sea el contrario con lo que la bobina que era atraída pasa a ser repelida y la que era repelida pasa a ser atraída.

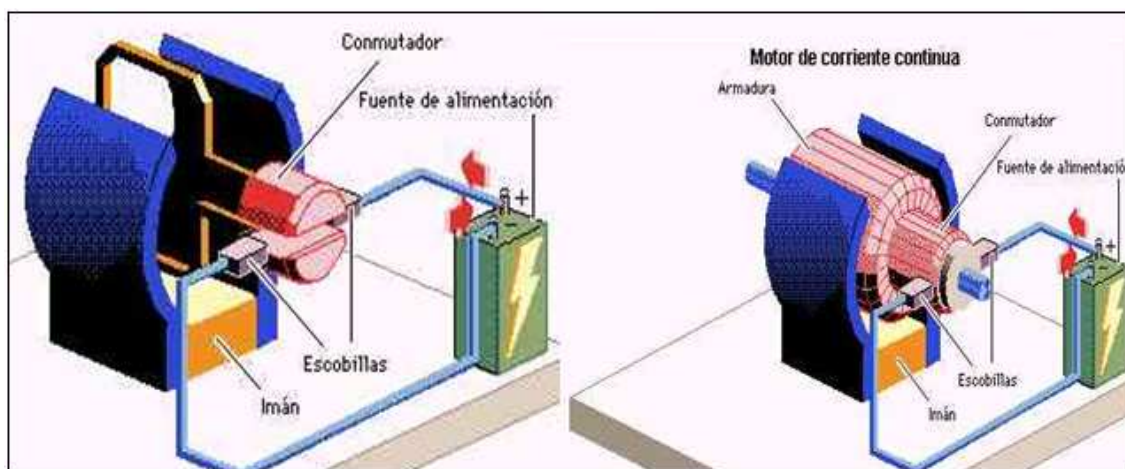


Fig. 1. Grafico ilustrativo de un motor DC.

### 1.2.3.1 Regla de la Mano Derecha

Se colocan los dedos pulgar, índice y medio de la mano derecha formando un triedro. Cuando el dedo índice y medio apunten en las direcciones de la intensidad y el campo magnético, respectivamente, el dedo pulgar nos señalará la dirección y sentido de la fuerza. En el centro de la espira la dirección del campo

magnético es perpendicular al plano de ésta, y en el sentido que nos señala el avance de un tornillo que gire en el mismo sentido que la corriente en la espira.

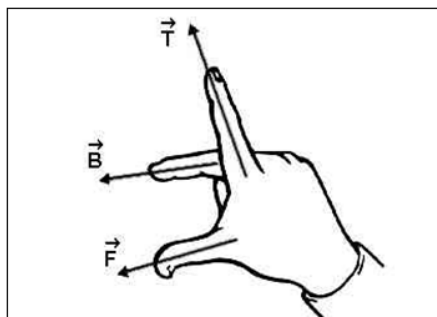


Fig.1.2. Regla de la mano derecha.

En una espira rectangular sumergida en un campo magnético uniforme, al circular una corriente eléctrica, es sometida a las acciones del campo magnético. La dirección y el sentido de estas fuerzas, pueden saberse aplicando la regla de la mano derecha. Las que actúan sobre los lados a y a' son iguales y opuestas y por tanto, se anulan los efectos. Pero las que actúan sobre los lados b y b', aunque son iguales, no neutralizan sus efectos, sino que son un par de fuerzas, por acción del cual la espira tiene un movimiento de rotación alrededor de su eje MM'.

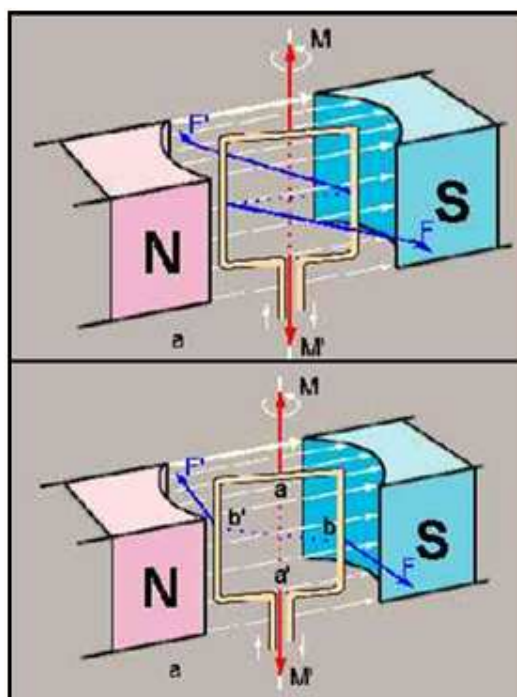


Fig.1.3 Espira sometida a un campo magnético.

El movimiento de rotación se detiene en el preciso momento en que el plano de la espira es perpendicular al campo, ya que en este instante las fuerzas  $F$  y  $F'$  se contrarrestan.

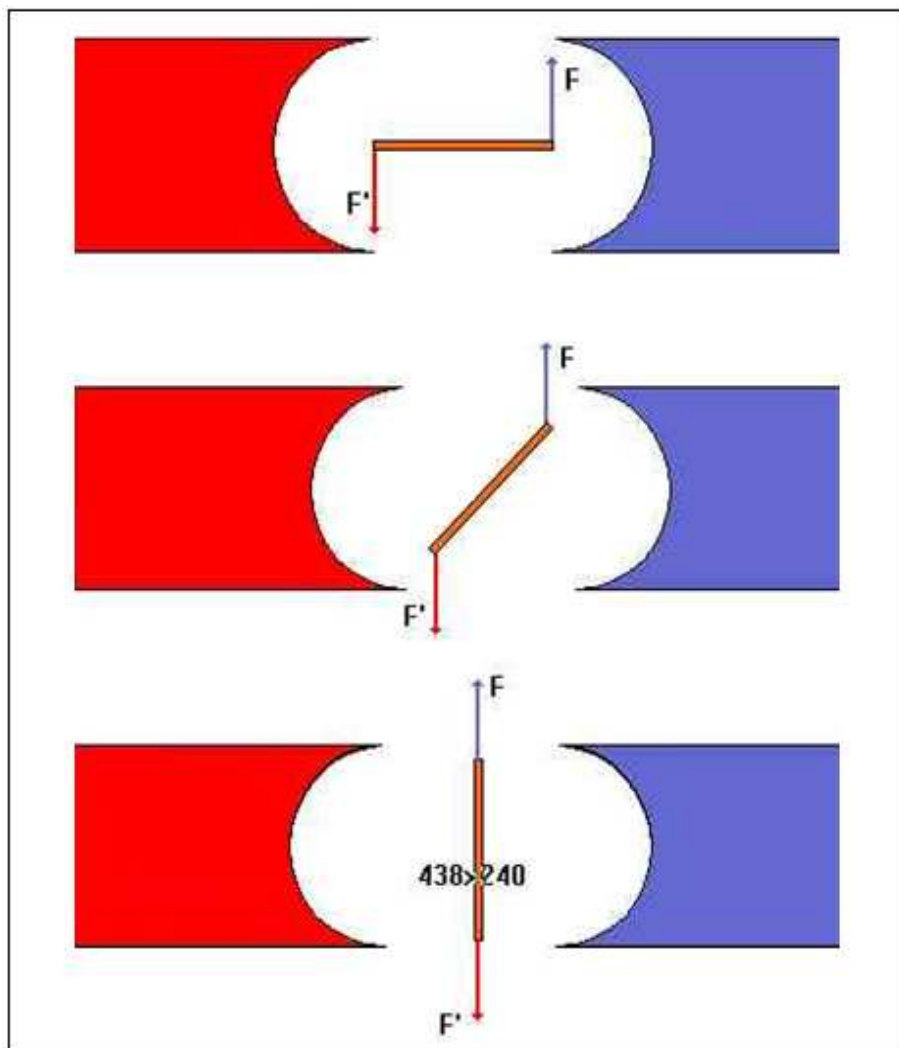


Fig.1.4. Fuerza inducida en un conductor sometido en un campo magnético.

### 1.2.3.2 Componentes Del Motor

Imanes, escobillas que van encima del conmutador, hilo de cobre, láminas superpuestas donde va enrollado el hilo, conmutador, eje de metal donde se

coloca la bobina de hilo de cobre, carcasa donde se introducen todos los componentes.

### *1.2.3.3 Descripción Componentes Del Motor*

- El imán del motor tiene forma de media luna, hay dos imanes uno en cada lado.
- Las escobillas están colocadas en la base del motor y son de una mezcla de grafito y cobre, hay dos una de cada polo. Allí es donde hay que conectar la energía eléctrica.
- El hilo de cobre va enrollado sobre unas láminas superpuestas en forma de círculo dividido en tres partes. Todo ello forma el rotor.
- Eje de metal de diferentes medidas dependiendo del motor.
- La carcasa tiene forma de cilindro.

### **1.2.4 Motores de Corriente Continua**

Cuando la corriente pasa a través de la armadura de un motor de corriente continua, se genera un par de fuerzas por la reacción magnética, y la armadura gira. La revolución de la armadura induce un voltaje en las bobinas de ésta. Este voltaje es opuesto en dirección al voltaje exterior que se aplica a la armadura, y de ahí que se conozca como voltaje inducido o fuerza contra electromotriz. Cuando el motor gira más rápido, el voltaje inducido aumenta hasta que es casi igual al aplicado. La corriente entonces es pequeña, y la velocidad del motor permanecerá constante siempre que el motor no esté bajo carga y tenga que realizar otro trabajo mecánico que no sea el requerido para mover la armadura. Bajo carga, la armadura gira más lentamente, reduciendo el voltaje inducido y permitiendo que fluya una corriente mayor en la armadura. El motor puede así recibir más potencia eléctrica de la fuente para realizar mayor trabajo mecánico. Debido a que la velocidad de rotación controla el flujo de la corriente en la armadura, deben usarse aparatos especiales para arrancar los motores de corriente continua. Cuando la armadura está parada, la resistencia de esta es muy pequeña y si se aplica el voltaje de funcionamiento normal, se producirá una gran corriente, que podría dañar el conmutador y las bobinas de la armadura. El

medio normal de prevenir estos daños es el uso de una resistencia de encendido conectada en serie a la armadura, para disminuir la corriente antes de que el motor consiga desarrollar el voltaje inducido adecuado. Cuando el motor acelera, la resistencia se reduce gradualmente, ya sea de forma manual o automática.

La velocidad a la que funciona un motor depende de la intensidad del campo magnético y la intensidad de campo es dependiente de la corriente que circula por el bobinado de campo. Cuanto más fuerte es el campo, más bajo es el grado de rotación necesario para generar un voltaje inducido lo bastante grande como para contrarrestar el voltaje aplicado. Por esta razón, la velocidad de los motores de corriente continua puede controlarse mediante la variación de la corriente del campo o de la corriente de armadura.

### **1.2.5 Tipos De Motores D.C.**

Los motores D.C se clasifican de acuerdo al tipo de bobinado del campo como:

- Motor Serie
- Motor Shunt
- Motor Compuesto (Compound).
- Motor Shunt Estabilizado

Sin embargo algunos de ellos pueden ser auto excitado, de excitación independiente o pueden tener campos de imán permanente.

Ellos muestran características muy diferentes de torque-velocidad y se conectan en diferentes configuraciones para diferentes aplicaciones.

Algunos motores D.C utilizan imán permanente como campo principal, especialmente los de potencia (HP) fraccionada (1/4,1/2,3/4) y baja potencia.

Los motores de imán permanente tienen la ventaja de no requerir una fuente de potencia para el campo, pero tienen la desventaja de ser susceptibles a la desmagnetización. Los motores que tienen campo de imán permanente no se pueden

ajustar para algunas aplicaciones, puesto que su campo magnético es constante, en cambio los motores que poseen campo bobinado se ajustan de mejor manera.

#### *1.2.5.1 Motor Shunt*

En un motor Shunt, es un motor eléctrico de corriente continua cuyo bobinado inductor está conectado en derivación o paralelo con el circuito formado por el bobinado inducido. Las bobinas de campo están construidas con muchas espiras y con alambre de poca sección, por lo que la resistencia del bobinado inductor es muy elevada.

#### *1.2.5.2 Motor Serie*

En un motor serie, el flujo del campo es una función de la corriente de la carga y de la curva de saturación del motor. A medida que la corriente de la carga disminuye desde plena carga, el flujo disminuye y la velocidad aumenta. La rampa de incremento de velocidad es pequeña al principio pero aumenta a medida que la corriente se reduce. Para cada motor serie, hay una mínima carga segura determinada por la máxima velocidad de operación segura.

#### *1.2.5.2 Motor Compuesto (Compound)*

Los motores compuestos tienen un campo serie sobre el tope del bobinado del campo Shunt. Este campo serie, el cual consiste de pocas vueltas de un alambre grueso, es conectado en serie con la armadura y lleva la corriente de armadura.

El flujo del campo serie varía directamente a medida que la corriente de armadura varía, y es directamente proporcional a la carga. El campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal Shunt. Los motores compound se conectan normalmente de esta manera y se denominan como compound acumulativo.

Esto provee una característica de velocidad la cual no es tan “dura” o plana como la del motor Shunt, no tan “suave” como un motor serie. Un motor compound tiene



un limitado rango de debilitamiento de campo, la debilitación del campo puede resultar en exceder la máxima velocidad segura del motor sin carga. Los motores D.C compound son algunas veces utilizados donde se requiera una respuesta estable de torque constante a través de un amplio rango de velocidad.

#### *1.2.5.4 Motor Shunt Estabilizado*

Para vencer la potencial inestabilidad de un motor recto Shunt y reducir la caída de velocidad de un motor compound, un ligero devanado serie es arrollado sobre el devanado Shunt. El flujo del devanado serie aumenta con la corriente de carga y produce un motor estable con una característica de caída de velocidad para todas las cargas.

El devanado serie es llamado campo estabilizador o “stab” y el motor, Shunt estabilizado. La regulación de velocidad de un motor Shunt estabilizado es típicamente menor al 15%.

Cuando el campo Shunt del motor es debilitado para aumentar la velocidad a un nivel de operación más alto, el flujo del devanado serie llega a ser un porcentaje mayor del flujo total, de manera que a medida que la corriente aumenta, la caída de velocidad es un porcentaje mayor que antes.

En aplicaciones donde la inestabilidad resultante pudiera afectar seriamente el funcionamiento de la máquina, el campo serie puede desconectarse. En aplicaciones donde los efectos de estabilidad nos son críticos, como en un frenado regenerativo, el campo serie puede utilizarse para mejorar el rendimiento que el provee.

Cuando el campo serie no se conecta, el fabricante del control debe asegurar que la máxima velocidad segura del motor no es excedida y debe reconocer la pérdida de torque que resulta de la operación del motor Shunt estabilizado sin el devanado serie.

### 1.2.6 Conceptos Básicos

Los motores se acoplan a reductores, correas y poleas, y otros dispositivos modificadores de velocidad, para producir torque y/o velocidades mayores que las de placa, pero esta combinación nunca debe exceder el valor de los HP de placa. Dicho de otra manera, pueden obtenerse torques mayores, pero solo a proporcionalmente velocidades menores, o se disponen de velocidades mayores (hasta la máxima velocidad de placa con debilitamiento del campo) si proporcionalmente se acepta un menor torque.

#### 1.2.6.1 Ecuación General Del Motor

Con la excepción de los controladores que también regulan la corriente de campo, el voltaje de armadura es el único parámetro que el controlador puede directamente cambiar o regular. Los sistemas de control pueden clasificarse como reguladores de voltaje, velocidad, corriente (torque), tensión o posición. Todos estos sistemas utilizan un dispositivo de realimentación apropiado para permitir al controlador regular la función deseada.

La ecuación general del motor define el funcionamiento del motor bajo diferentes condiciones de voltaje y carga

$$E_t = E_c + I_a \times R_a$$

Donde :

Et: Voltaje en los terminales de la armadura

Ec: Fuerza contra electromotriz

Ia: corriente de la armadura

Ra: resistencia de la armadura

El voltaje  $E_c$  se opone al voltaje aplicado a la armadura  $E_t$ , y por esta razón es llamado fuerza contra electromotriz (FCM). Este voltaje es el resultado del corte del campo magnético al girar los conductores de la armadura, produciendo así un voltaje generado. Bajo condiciones normales de operación, este término ( $E_c$ ) es mucho mayor que el término  $I_a \times R_a$ . La velocidad del motor es proporcional al voltaje aplicado en los terminales, el cual es el voltaje que se muestra en la placa del motor.

Típicamente, la resistencia de la armadura ( $R_a$ ), está en el orden de 1 Ohm, o menos, y la corriente de armadura ( $I_a$ ), es función de la carga mecánica del motor. Por ejemplo, considere un motor de 20 HP:

Voltaje en los terminales:  $E_t = 240 \text{ V}$

Corriente de armadura:  $I_a = 71 \text{ A}$ . a plena carga

Resistencia de armadura:  $R_a = 0.15 \Omega$

Caída de voltaje en la resistencia de armadura:  $I_a \times R_a = 10.65 \text{ V}$

A plena carga.

De la ecuación se deduce:

$$E_c = E_t - I_a \times R_a$$

$$E_c = 240 - 10.65 = 229.35 \text{ VDC}$$

Los motores D.C. generan torque a través de la interacción de los campos magnéticos. El campo magnético principal es desarrollado por los polos del motor. El campo magnético que interactúa con el campo magnético principal es producido por la armadura y su amplitud está determinada por la corriente de armadura.

El torque desarrollado en un motor D.C es función del radio de la armadura, el número de conductores y la fuerza ejercida sobre los conductores. La fuerza depende del flujo, la corriente y la longitud de los conductores de la armadura. Expresado matemáticamente como:

$$T = K \times \Phi \times I_a$$

Donde el torque (T) es medido en N.m (newton-metro), K es una constante determinada por el número de polos en la máquina y el número de arreglos de los conductores en la armadura,  $\phi$  es el flujo total por polo en el entrehierro,  $I_a$ , es la corriente de armadura en amperios.

Por lo tanto, el torque de un motor Shunt con excitación constante varía directamente con la corriente de armadura.

Para un motor serie, el flujo varia con la corriente de la carga excepto por efectos de saturación así que el torque varia aproximadamente con el cuadrado de la corriente de la carga.

La característica de torque de un motor compound está entre el Shunt y el Serie.

Para observar el efecto del voltaje y corriente sobre la velocidad se utilizará la siguiente tabla. Se utilizará como ejemplo un motor de 5 HP con los siguientes datos de placa:

$E_t = 180 \text{ VDC}$

$I_a = 24 \text{ A}$  a plena carga

$R_a = 0.591 \Omega$

Velocidad Base: 1750 rpm

Condición	$E_t$	$E_t$	$\phi$	$E_c$	$I_a$	$I_a \times R_a$
A	180 V	0 RPM	MAX	0 V	305 A	180 V
B	180 V	500 RPM	MAX	47.38 V	224.4 A	132.62 V
C	180 V	1500 RPM	MAX	142.1 V	64 A	37.9 V
D	180 V	1750 RPM	MAX	165.82 V	24 A	14.2 V

Tabla 1.1 Efecto del voltaje y la corriente sobre la velocidad.

### 1.2.7 TIPOS DE MOTORES DE IMÁN PERMANENTE

Los motores de imanes permanentes son motores eléctricos cuyo funcionamiento se basa en imanes permanentes. Existen diversos tipos siendo los más conocidos:

- Motores de corriente continua de Imán Permanente.
- Motores paso a paso de Imán Permanente.

#### 1.2.7.1 Motor De Imán Permanente De Corriente Continua

Las máquinas de imán permanente son extensamente usadas en servomotores, accionamientos eléctricos para posicionamiento, robótica, máquinas herramienta, etc. La construcción de los rotores de los servomotores de imán permanente puede adoptar una forma cilíndrica con un bajo diámetro y gran longitud llamados de flujo radial o pueden tener un rotor en forma de disco más liviano rotor de disco (*disk rotor*), resultando así en ambos casos un bajo momento de inercia y una constante de tiempo mecánica baja. Por otra parte para aplicaciones industriales con arranque de línea o mediante arrancadores de voltaje reducido, los motores poseen un sistema de absorción de vibraciones (*damper*) que mejora la adherencia mecánica al asfalto que protege los imanes de la des-magnetización durante los transitorios asociados en el arranque y además amortigua las oscilaciones pendulares.

En aplicaciones en que el motor es operado electrónicamente desde un controlador, no es necesario el devanado amortiguador para el arranque pues

este lo realiza el control electrónico, y además el devanado amortiguador (damper) produce pérdidas de energía adicionales debido a las forma de onda no senoidales.

#### *1.2.7.1.1 Motor Con Imanes Montados en la Superficie Del Rotor*

En el caso que los imanes van montados (pegados o zunchados) en la superficie del rotor, estos por el espacio que ocupan obligan a tener un entrehierro relativamente grande, además los imanes cerámicos tienen efectos de saliencia despreciables. En estos casos no existe devanado amortiguador. El gran entrehierro hace que el flujo de reacción de armadura (RA) tenga efectos atenuados sobre el rotor, es decir la inductancia sincrónica  $L_d$  es pequeña pues tiene una componente de reacción de armadura  $L_{ad}$  pequeña y por consiguiente los efectos de RA son muy atenuados. Por otra parte se deduce que el gran entrehierro resulta en una constante de tiempo eléctrica del estator  $T = L/R$  pequeña.

#### *1.2.7.1.2 Motor con Imanes Insertos en el Rotor*

Si los imanes están insertos en el rotor, quedan físicamente contenidos y protegidos, pero el espacio de hierro del rotor eliminado para insertar los imanes hace que no pueda considerarse que se tenga un entrehierro uniforme.

El criterio de diseño en el caso de servomotores deben encuadrar los siguientes requerimientos:

- Velocidad de operación y par controlado a todas las velocidades
- Alta relación [Potencia / peso] y [Par / inercia]
- Par electromagnético suave: sin pares pulsantes debido a los armónicos, ni efectos de posicionamiento preferencial debido a las ranuras
- Alta densidad de flujo en el entrehierro
- Diseño compacto con alto rendimiento y factor de potencia



Fig. 1.5. Fotografía de un motor DC de imanes permanentes.

Las máquinas eléctricas de imanes permanentes ofrecen un conjunto de oportunidades, puesto que combinan la alta precisión con el diseño simple y robusto de un motor, además las máquinas eléctricas de imanes permanentes poseen ventajas no superadas en cuanto a eficiencia.

El uso de la electrónica de potencia implica una carga económica difícil de justificar en aplicaciones de velocidad fija, sin embargo otorga la posibilidad de obtener un control de alta calidad sobre la máquina.

En aplicaciones de velocidad variable es necesario controlar tanto la zona de torque constante como la zona de potencia constante de manera de obtener una óptima respuesta.

Una manera eficiente, flexible y confiable de implementar estrategias de control de alto desempeño es mediante el uso de Procesadores Digitales. Estos dispositivos poseen los periféricos necesarios para adquirir los datos del circuito y de la máquina, procesarlos de acuerdo a la técnica de control escogida y generar las señales que deben ser aplicadas al convertidor que alimenta a la máquina de manera de obtener el comportamiento buscado.

Los procesadores digitales, por el hecho de ser dispositivos digitales, implementan la estrategia de control mediante programación lo que permite desarrollar distintas técnicas de control para el mismo prototipo sin necesidad de modificar mayormente el circuito y por lo tanto no se cae en gastos extras. La portabilidad que ofrece esta tecnología también es una ventaja; el mismo código puede ser utilizado en otras tarjetas igual modelo lo que permite una fácil replicación de la técnica. Por otro lado, la alta inmunidad al ruido y a las variaciones de temperatura constituye otra importante ventaja frente una implementación analógica. En este trabajo se muestra el diseño y construcción un circuito variador de velocidad de un motor D.C. junto a la circuitería necesaria para la implementación de diversas estrategias de control. Además se hace una revisión y descripción del dispositivo PIC16F84A de Microchip.

### **.3 ASPECTOS TEÓRICOS DEL PIC16F84A**



Fig.1.6. Fotografía de un PIC16F84A.



### 1.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PIC16F84A

En esta parte se detalla la estructura del PIC16F84A con el fin de entender su funcionamiento.

#### 1.3.1.1 Principales Características:

- Repertorio de 35 Instrucciones.
- Todas las instrucciones se ejecutan en un solo ciclo excepto las de salto que necesitan dos.
- Versiones para bajo consumo (16LF84A), de 4 MHz (PIC16F84A-04) y 20 MHz (PIC16F84A-20). Un ciclo máquina del PIC son 4 ciclos de reloj, por lo cual si tenemos un PIC con un cristal de 4 MHz, se ejecutarán 1 millón de instrucciones por segundo.
- Memoria de programa Flash de 1 K.
- Memoria RAM dividida en 2 áreas: 22 registros de propósito específico (SFR) y 68 de propósito general (GPR) como memoria de datos.
- Memoria de datos RAM de 68 bytes (68 registros de propósito general).
- Memoria de datos EEPROM de 64 bytes.
- Contador de programa de 13 bit (lo que en teoría permitiría direccionar 4 KB de memoria, aunque el 16F84 solo dispone de 1KB de memoria implementada).
- Pila con 8 niveles de profundidad.
- Modos de direccionamiento directo, indirecto y relativo.
- ALU de 8 bits y registro de trabajo W del que normalmente recibe un operando que puede ser cualquier registro, memoria, puerto de Entrada/Salida o el propio código de instrucción.
- 4 fuentes de interrupciones:
  - A través del pin RB0/INT.
  - Desbordamiento del temporizador TMR0.
  - Interrupción por cambio de estado de los pines 4:7 del Puerto B.
  - Completada la escritura de la memoria EEPROM.
- 1.000.000 de ciclos de borrado / escritura de la memoria EEPROM.
- 40 años de retención de la memoria EEPROM.

- 13 pines de E/S con control individual de dirección.
- PortA de 5 bits <RA0:RA4>.
- PortB de 8 bits <RB0:RB7>.
- Contador/Temporizador TMR0 de 8 bits con divisor programable.
- Power-on Reset (POR).
- Power-up Timer (PWRT).
- Oscillator Start-up Timer (OST).
- Watchdog Timer (WDT).
- Protección de código.
- Modo de bajo consumo SLEEP.
- Puede operar bajo 4 modos diferentes de oscilador.
- Programación en serie a través de dos pines.
- Tecnología de baja potencia y alta velocidad CMOS Flash/EEPROM.
- Características eléctricas máximas (no deben ser superadas y de mantenerse por un tiempo en algún máximo puede dañarse al PIC)
  - Temperatura ambiente máxima para funcionamiento de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $+125^{\circ}\text{C}$ .
  - Tensión máxima de VDD respecto a VSS de  $-0,3$  a  $+7,5\text{V}$ .
  - Tensión de cualquier pin con respecto a VSS (excepto VDD, MCLR, y RA4) de  $-0,3\text{V}$  a  $(\text{VDD} + 0.3\text{V})$ .
  - Tensión en MCLR con respecto a VSS  $-0,3$  a  $+14\text{V}$ .
  - Tensión en RA4 con respecto a VSS  $-0,3$  a  $+8,5\text{V}$ .
  - Disipación de potencia total de 800 mW.
  - Máxima corriente de salida a VSS 150 mA.
  - Máxima corriente de salida de VDD 100 mA.
  - Máxima corriente del puerto "A" como fuente, 50 mA.
  - Máxima corriente del puerto "A" como sumidero, 80 mA.
  - Máxima corriente del puerto "B" como fuente, 100 mA.
  - Máxima corriente del puerto "B" como sumidero, 150 mA.
  - Máxima corriente que puede suministrar una sola salida como fuente o sumidero, 25 mA.

Rango de alimentación:

16LF84A: de 2 a 5,5 V en configuración de oscilador XT, RC y LP.

### 1.3.1.2 Disposición Y Descripción De Pines

#### 1.3.1.2.1 Disposición De Pines

Disposición de pines para encapsulado DIL 18:

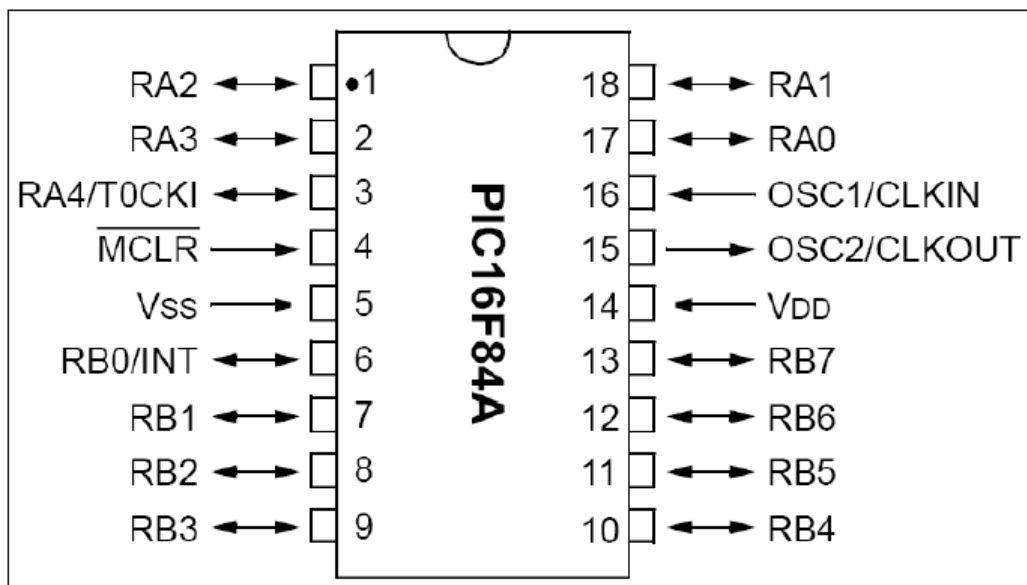


Fig. 1.7. Distribución de pines del PIC16F84A.

### 1.3.1.2.2 Descripción De Pines

Nombre	Nº	Tipo	Descripción
OSC1/CLKIN	16	I	Entrada del oscilador a cristal / entrada de la fuente de reloj externa
OSC2/CLKOUT	15	O	Salida del oscilador a cristal. En el modo RC, es una salida con una frecuencia de $\frac{1}{4}$ OSC1
MCLR	4	I/P	Reset/Entrada del voltaje de programación.
RA0	17	I/O	Puerto A bidireccional, bit 0
RA1	18	I/O	Puerto A bidireccional, bit 1
RA2	1	I/O	Puerto A bidireccional, bit 2
RA3	2	I/O	Puerto A bidireccional, bit 3
RA4/T0CKI	3	I/O	También se utiliza para la entra de reloj para el TMR0
RB0/INT	6	I/O	Puerto B bidireccional, bit 0 Puede seleccionarse para entrada de interrupción externa
RB1	7	I/O	Puerto B bidireccional, bit 1
RB2	8	I/O	Puerto B bidireccional, bit 2
RB3	9	I/O	Puerto B bidireccional, bit 3
RB4	10	I/O	Puerto B bidireccional, bit 4 Interrupción por cambio de estado
RB5	11	I/O	Puerto B bidireccional, bit 5 Interrupción por cambio de estado
RB6	12	I/O	Puerto B bidireccional, bit 6 Interrupción por cambio de estado
RB7	13	I/O	Puerto B bidireccional, bit 7 Interrupción por cambio de estado
Vss	5	P	Tierra de referencia
Vdd	14	P	Alimentación

Tabla 1.2. Descripción de pines del PIC16F84A

### 1.3.1.2 Arquitectura Interna

Las altas prestaciones de los microcontroladores PIC derivan de las características de su arquitectura. Estos microcontroladores se basan en una arquitectura tipo Harvard que posee buses y espacios de memoria por separado para el programa y los datos, lo que hace que sean más rápidos que los microcontroladores basados en la arquitectura tradicional de Von Neuman.

Otra característica es su juego de instrucciones reducido (35 instrucciones), donde la mayoría se ejecutan en un solo ciclo de reloj excepto las instrucciones de salto que necesitan dos. Posee una ALU (Unidad Aritmético Lógica) de 8 bits capaz de realizar operaciones de desplazamientos, lógicas, sumas y restas.

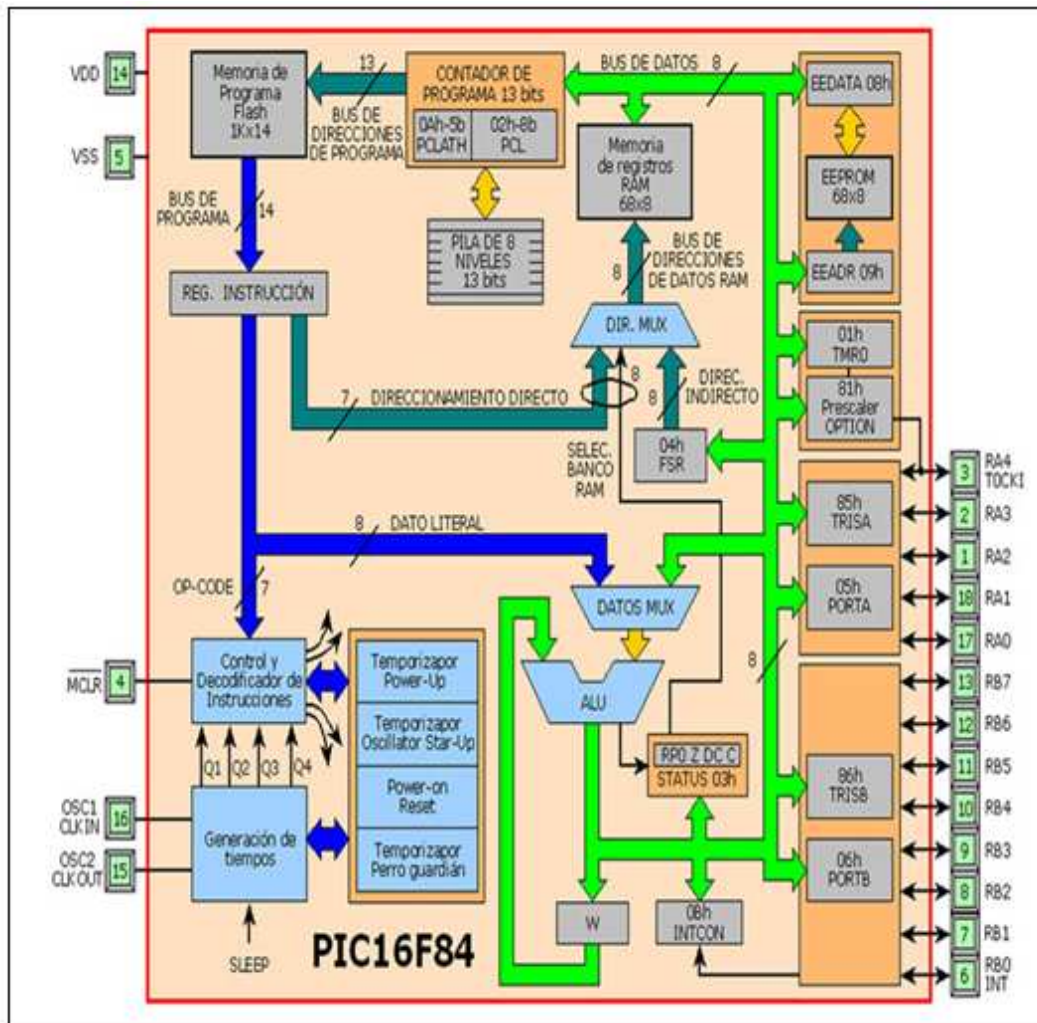


Fig. 1.8. Arquitectura del PIC16F84.

Dependiendo de la instrucción ejecutada, la ALU puede afectar a los bits de Acarreo, Acarreo Digital (DC) y Cero (Z) del Registro de Estado (STATUS).

En la pila es de 8 niveles, no existe ninguna bandera que indique que esté llena, por lo que será el programador el que deberá controlar que no se produzca su desbordamiento.

Este microcontrolador posee características especiales para reducir componentes externos con lo que se reducen los costos y se disminuyen los consumos. Posee 4 diferentes modos de oscilador, desde el simple circuito oscilador RC con lo que se disminuyen los costos hasta la utilización de un oscilador a cristal.

En el modo SLEEP, el consumo se reduce significativamente y puede despertar al microcontrolador utilizando tanto interrupciones internas como externas y señal de reset. Además posee la función Watchdog Timer (Perro Guardián) que protege al microcontrolador que se cuelgue debido a fallos de software que produzcan bucles infinitos.

#### *1.3.1.2.1 Memoria De Programa.*

La memoria de programa está organizada con palabras de 14 bits con un total de 1 K, de tipo Flash, que durante el funcionamiento es de solo lectura. Sólo se ejecutará el código contenido en esta memoria, pudiendo almacenar en ella una cantidad limitada de datos como parte de la instrucción RETLW. En una sola palabra se agrupa el código de la instrucción y el operando o su dirección.

El tipo de memoria utilizada en este microcontrolador, podrá ser grabada o borrada eléctricamente a nuestro antojo desde el programador. La memoria tipo Flash tiene la característica de poderse borrar en bloques completos y no podrán borrarse posiciones específicas. Esta memoria no es volátil, es decir, no pierde los datos si se interrumpe la energía.

El PIC puede ser programado de forma "on-board" o "in-circuit", esto nos permite la programación del dispositivo o actualización del programa sin necesidad de retirarlo del circuito donde va montado.

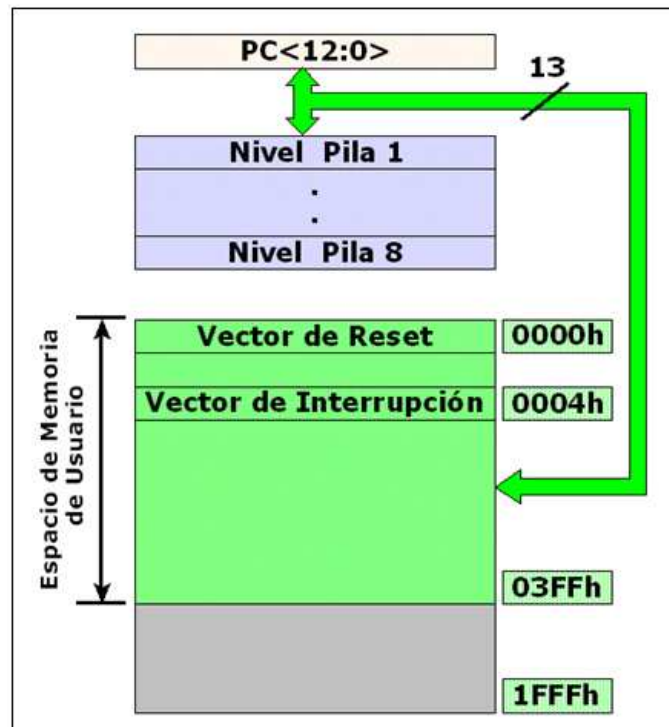


Fig. 1.9 Memoria de programa.

La memoria del programa comienza en la posición 0000h y termina en la posición 03FFh. Esto es 1Kbyte, es decir, 1024 bytes ( $2^{10}$ ).

En la figura también se muestra el PC (Contador de Programa o Program Counter). Que apunta a la dirección de memoria de la instrucción en curso y permite que el programa avance cuando se incrementa.

También se muestra la pila o stack, de 8 niveles (Nivel Pila 1 a Nivel Pila 8). Se utiliza cuando ejecutamos un subproceso o subrutina, es decir, un conjunto de instrucciones que hemos aislado de las demás para simplificar. En este caso el contador de programa (PC) dejará de incrementarse y apuntará a la posición de memoria de programa donde empieza la subrutina; en el primer nivel de la pila se almacenará esta llamada, hasta que se acaben de ejecutar las instrucciones que contiene, momento en el cual se seguirá con las instrucciones desde donde había

sido llamada. Por eso es necesario saber donde se quedó el programa almacenándose la dirección en la pila. Podemos hacer hasta 8 llamadas a subrutinas una dentro de otra. A esto se le llaman subrutinas anidadas. Existe también un vector de reset el cual se encuentra en la posición 0000h y otro vector de interrupción en la 0004h. Debido a que el PIC16F84A tiene un contador de programa de 13 bit puede direccionar un espacio de memoria de 8K x 14, sin embargo sólo el primer 1K x 14 (0000h-03FFh) está implementado físicamente.

Existen varias versiones de memoria de programa para los PIC16F84A:

- **Versión Flash.** Se trata de una memoria no volátil, de bajo consumo, que se puede escribir y borrar. A diferencia de la memoria de tipo ROM, la memoria FLASH es programable en el circuito. Es más rápida y de mayor densidad que la EEPROM. Esta versión es idónea para la enseñanza y la Ingeniería de diseño.
- **Versión OTP.** ("One Time Programmable") "Programable una sola vez". Sólo se puede grabar una vez por el usuario sin la posibilidad de borrar lo que se graba. Resulta mucho más económica en la implementación de prototipos y pequeñas series.
- **Versión QTP.** Es el propio fabricante el que se encarga de grabar el código en todos los chips que configuran pedidos medianos y grandes.
- **Versión SQTP.** El fabricante solo graba unas pocas posiciones de código para labores de identificación, número de serie, palabra clave, checksum, etc.

Las memorias FLASH han sustituido a las EEPROM y son muy útiles al permitir que los microcontroladores que las incorporan puedan ser reprogramados "en circuito", es decir, sin tener que sacar el circuito integrado de la tarjeta. Así, un dispositivo con este tipo de memoria incorporado al control del motor de un automóvil permite que pueda modificarse el programa durante la rutina de mantenimiento periódico, compensando los desgastes y otros factores tales como la compresión, la instalación de nuevas piezas, etc. La reprogramación del microcontrolador puede convertirse en una labor rutinaria dentro de la puesta a punto.



### 1.3.1.2.2 Memoria De Datos

Está organizada en dos páginas o bancos de registro, banco 0 y banco 1. Para cambiar de página se utiliza un bit del registro STATUS (RP0). Cada banco se divide a su vez en dos áreas:

- RFS (Registros de Funciones Especiales)
- RGP (Registros de Propósito General)

En la figura siguiente nos podemos hacer una idea de cómo están distribuidos:

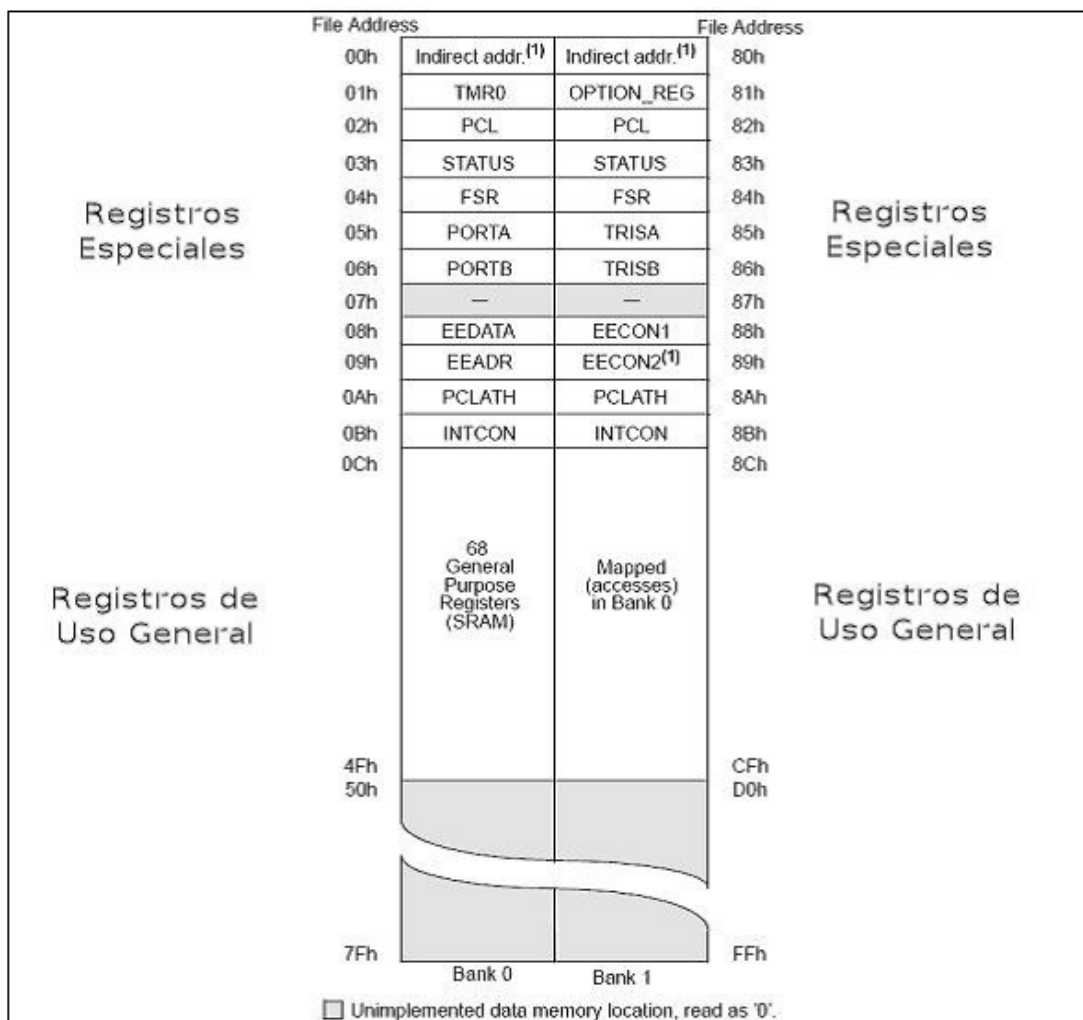


Fig. 1.10 Localización de la memoria RAM.

La primera es la de RFS (Registros de Funciones Especiales) que controlan el funcionamiento del dispositivo. Estos se emplean para el control del funcionamiento de la CPU y de los periféricos.

El segundo área (68 bytes SRAM) es la de RGP (Registros de Propósito General), y puede accederse a ellos tanto directa como indirectamente haciendo uso del registro FSR.

Banco 0:

- Este banco está formado por 80 bytes, desde la posición 00 hasta la 4Fh (de la 0 a la 79).
- El área RFS consta de 12 registros que serán utilizados por funciones especiales del microcontrolador. Comienza en la dirección 00h y termina en la 0Bh, es decir, de la 0 a la 11.
- El Área RGP consta de 68 registros de memoria RAM que serán utilizados para almacenar datos temporales requeridos por los programas. Comienza en la dirección 0Ch y termina en la posición 4Fh (de la 12 a la 79). Esta parte es la memoria de registros de propósito general.

Banco 1:

- Este banco tiene las mismas dimensiones que el anterior, pero su uso es menor, ya que no tiene banco para registros de propósito general. Solamente tiene una sección de registros especiales que van de la posición 80h a la 8Bh ( de la 128 a la 139)

La memoria RAM así como algunos registros especiales son los mismos en los dos bancos del mapa de memoria del PIC. La anchura de los bytes en la memoria es de 8 bits.

Para direccionar la memoria de datos se emplean dos modos de direccionamiento, el directo y el indirecto. En el direccionamiento directo se lo realiza por medio de los 8 bits "f" contenidos en las instrucciones que operan sobre los registros. De esta manera se puede direccionar cualquier posición

desde la 00 a la FF, mientras que los bits RP1 y RP0 de STATUS seleccionan la página o banco.

En el direccionamiento indirecto el operando de la instrucción hace referencia al registro IDNF, que ocupa la posición 00h del área de datos. Se accede a la posición que apunta el registro FSR 04h del banco 0. Los 7 bits de menos peso de FSR seleccionan la posición y su bit de más peso, junto con el bit IRP del registro de estado, seleccionan la página.

#### *1.3.1.2.3 Memoria De Datos EEPROM*

Esta memoria está basada en tecnología EEPROM, y tiene una longitud de 8 bits, del mismo modo que la memoria de datos. Su tamaño es de 64 bytes y está situada en un bloque distinto y aislado de la de datos.

Los 64 bytes EEPROM de Memoria de Datos no forman parte del espacio normal direccionable, y sólo es accesible en lectura y escritura a través de dos registros, para los datos el EEDATA que se encuentra en la posición 0008h del banco de registros RAM y para las direcciones el EEADR en la 0009h. Para definir el modo de funcionamiento de esta memoria se emplean dos registros especiales, el EECON1 en la dirección 0088h y el EECON2 en 0089h.

Esta memoria no emplea ningún recurso externo de alimentación. Puede grabarse desde un programador de PIC al igual que el código de programa.

La lectura de una posición de la memoria se obtiene en el registro EEDATA en el próximo ciclo de reloj, si bien podría tardar algo más. La escritura es mucho más lenta, tardándose del orden de unos 8 ms. Esta se controla mediante un temporizador interno.

Cuando el dispositivo está protegido por código, la CPU puede continuar leyendo y escribiendo en la memoria EEPROM, pero el programador del dispositivo ya no puede acceder esta memoria.

### 1.3.1.3 Puertos De Entrada/Salida

El PIC16F84A dispone de dos puertos digitales de E/S paralelos de uso general denominados Puerto A y Puerto B.

#### 1.3.1.3.1 Puerto A.

El puerto A dispone de 5 líneas de la RA0 a la RA4, en la que hay que distinguir el pin A4 o T0CKI (Timer 0 Clock Input) que está compartida con la entrada para el Timer 0 (TMR0) a través de un trigger Schmitt y que cuando se configura como salida es de drenador abierto, por lo que debe colocarse una resistencia de polarización.

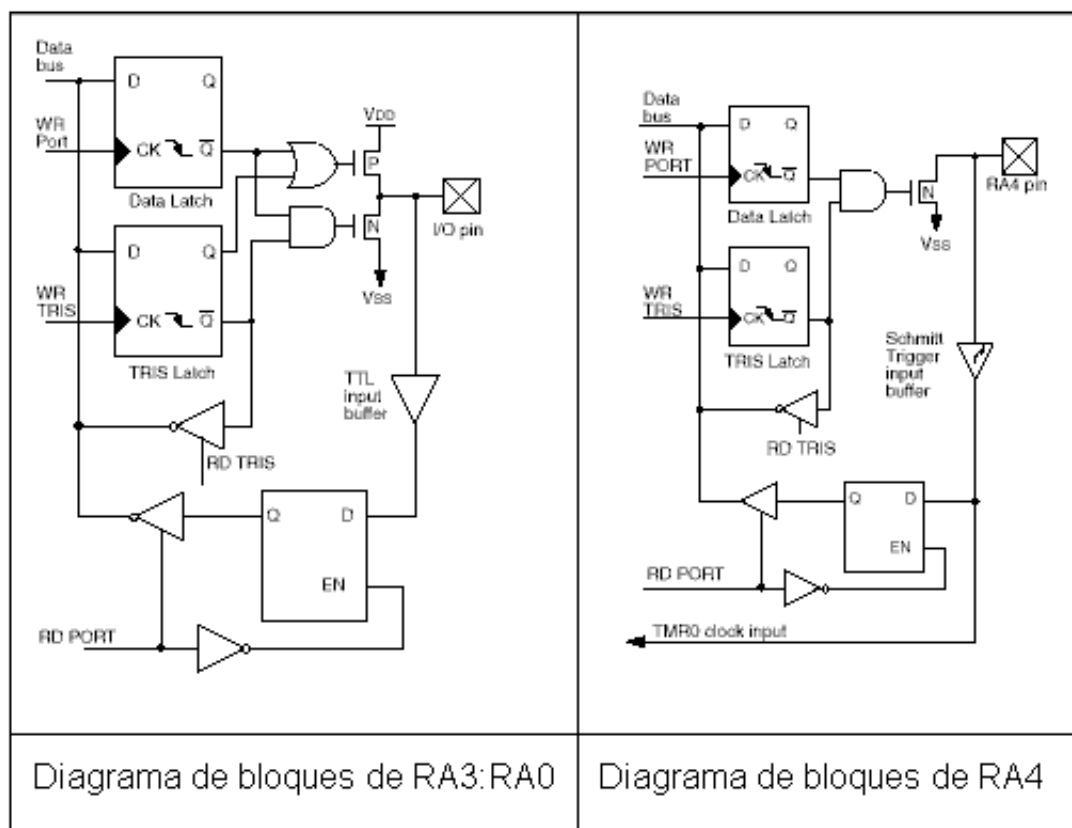


Fig. 1.11, Diagrama de bloques del Puerto A.

### 1.3.1.3.2 Puerto B

El puerto B dispone de 8 líneas de E/S que van desde la RB0 a la RB7 (la línea RB0 o INT es compartida con la entrada de interrupción externa). Además, las líneas RB4 a RB7 pueden programarse una interrupción por cambio de estado de cualquiera de estas líneas.

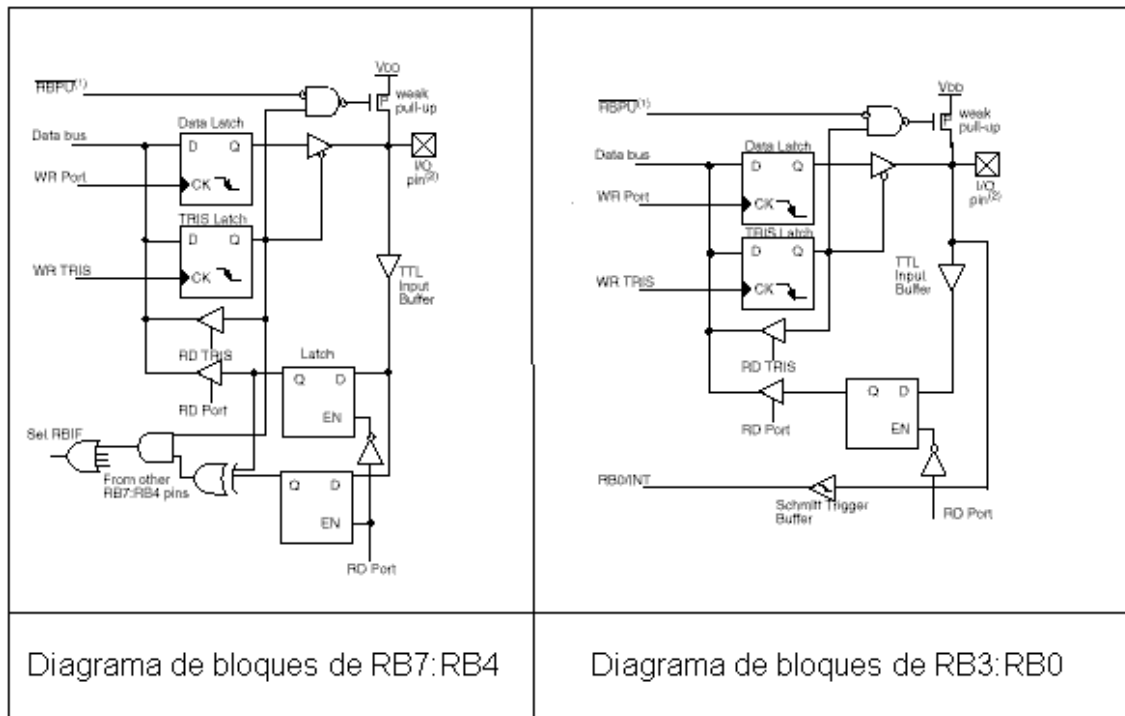


Fig. 1.12, Diagrama de bloques del Puerto B.

Cuando se produce una interrupción por cambio de estado de cualquiera de las líneas RB4 a RB7, para lo cual las líneas deben estar además programadas como entradas e Interrupciones, el valor de los pines en modo entrada es comparado con el valor almacenado en la báscula durante la última lectura del Puerto B. Los cambios en los pines se detectan realizando una operación OR para la generación de una interrupción por cambio de estado. Esta interrupción puede despertar "wake up" al microcontrolador del modo de reposo SLEEP. El usuario debe borrar la interrupción en la Rutina de Servicio de Interrupción RSI de una de las siguientes maneras:

- Borrando la bandera bit 3 de INTCON (RBIF).
- Leyendo o escribiendo el PORTB y luego borrando el bit RBIF. Esto finaliza la condición "mismacht" y permite que se borre RBIF.

Una condición "mismacht" puede producir que el bit RBIF siga a "1". Leyendo el puerto B puede finalizar la condición de "mismacht" y permitiendo que el bit RBIF sea puesto a "0".

Además, todas las líneas del Puerto B disponen de resistencias internas de polarización programables "pull-up" de alto valor. Cada una de las 8 resistencias pueden ser activadas o deshabilitadas haciendo uso del bit RBPU del registro especial OPTION. Estas resistencias se deshabilitan automáticamente si una línea es programada como salida así como durante el proceso de Power On Reset.

#### **1.3.1.4 Configuración De Los Puertos De Entrada/Salida**

Cualquier línea puede funcionar como entrada o como salida. Sin embargo, si actúa como entrada la información que se introduce no se memoriza, por lo que la información debe ser mantenida hasta que sea leída. Si la línea actúa como salida, el bit que procede del bus de datos se guarda en la báscula, con lo que la información que ofrece este pin permanece invariable hasta que se reescriba este bit.

Los bits de cada puerto se configuran mediante los bits correspondientes de dos registros especiales de control:

- Registro de Datos denominados PORTA o PORTB: Se pueden leer o escribir según que el puerto correspondiente se utilice como entrada o como salida.
- Registro de Control denominado TRISA o TRISB: En los registros de Control se programa el sentido de funcionamiento de cada una de las líneas de E/S. Colocando un "0" en el correspondiente bit del registro TRISA ó TRISB, la línea queda programada como salida mientras que

colocando un "1" la línea queda programada como entrada. Por ejemplo, si ponemos un 0 en el bit 3 del registro TRISA del pin RA3 será una salida y si ponemos un 1 en el bit 4 del registro TRISB entonces el pin RB4 será una entrada.

Los Puertos A y B (PORTA y PORTB) corresponden con las posiciones 5 y 6 del área de datos.

Cuando se produce un reset, todos los bits de los registros TRIS pasan a tener el valor 1 y todas las líneas de E/S actúan como entrada por evidentes motivos de seguridad para evitar daños irreparables. Todas las pines de E/S que no se empleen deben ser llevadas a +5V, regla de las entradas CMOS, preferiblemente a través de una resistencia para evitar que si por error se configurasen como salidas puedan darse problemas si presentan un estado bajo.

Los puertos del microcontrolador PIC16F84A son el medio de comunicación con el mundo exterior, en ellos podremos conectar los periféricos o circuitos necesarios como por ejemplo los módulos LCD, teclados matriciales, motores eléctricos, etc.; pero estas conexiones no se podrán realizar arbitrariamente. Existen unas reglas básicas que deberán cumplirse para que el microcontrolador no sufra daños o se destruya. Para ello es necesario conocer los límites de corriente que puede manejar el microcontrolador.

Como anteriormente hemos indicado los puertos A y B del microcontrolador podrán ser programados como entradas ó salidas indiferentemente. En el caso de que sean programados como salida y presenten un nivel lógico alto actuaran como "fuente" porque suministran corriente y cuando presenten un nivel lógico bajo actuarán como "sumidero" por que reciben corriente.

- Disipación de potencia total de 800 mW.
- Máxima corriente de salida a VSS 150 mA.
- Máxima corriente de salida de VDD 100 mA.
- Si utilizamos todas las líneas del puerto "A" como fuente, no deberá exceder de 50 mA toda la corriente que suministre este puerto.

- Si utilizamos todas las líneas del puerto "A" como sumidero, no deberá exceder de 80 mA toda la corriente que suministre este puerto.
- Al utilizar todas las líneas del puerto "B" como fuente, no deberá exceder de 100 mA toda la corriente que suministre este puerto.
- Si todas las líneas del puerto "B" son usadas como sumidero, no deberá exceder de 150 mA toda la corriente que suministre este puerto.
- La máxima corriente que puede suministrar una sola salida como fuente o sumidero es de 25 mA.

El consumo de corriente ( $I_{DD}$ ) es principalmente función de la tensión de alimentación y de la frecuencia. Otros factores, como cambios en E/S, tipo de oscilador, temperatura y otros tienen influencia en el consumo. La  $I_{DD}$  para el PIC16F84A está entre 1,8 a 4.5 mA en configuración de oscilador RC y XT ( $F_{OSC}=4$  MHz,  $V_{DD}=5,5V$ ), con las patillas como entradas y unidas a positivo.

En caso de que se necesiten utilizar periféricos que manejen mayor cantidad de corriente de la especificada, habrá que aplicar un circuito adaptador como por ejemplo buffers o transistores.

En la siguiente figura vemos una configuración típica en la que se utilizan buffers de corriente, que proporcionan en su salida el mismo nivel lógico que la entrada pero pueden controlar corrientes relativamente elevadas. En este caso se utiliza el, un circuito integrado que consiste en 8 buffers de potencia capaces de suministrar en su salida hasta 1 A, mucho más de lo que es capaz de soportar un PIC:



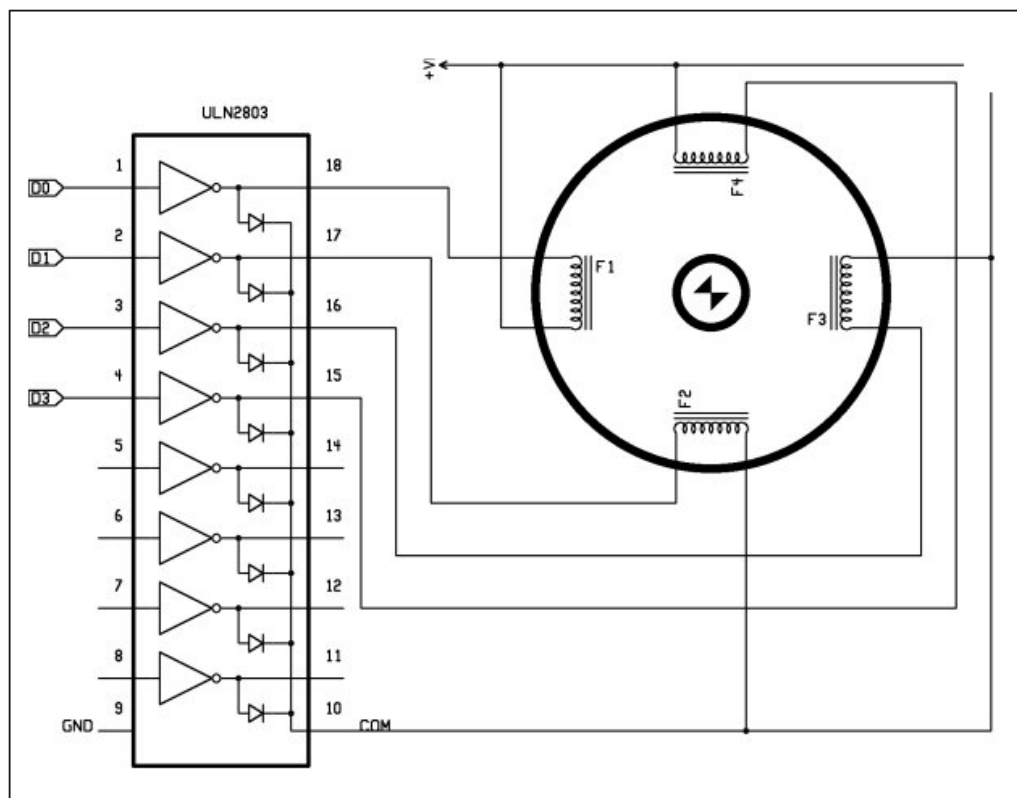


Fig. 1.13, Manejo de un motor a pasos mediante un ULN2803

### 1.3.1.5 Temporizador/Contador TMR0

El temporizador/contador TMR0 es un registro de 8 bits, es decir, un particular tipo de registro cuyo contenido es incrementado con una cadencia regular y programable directamente por el hardware del PIC. Como es de 8 bits, el máximo de la cuenta está en 255.

El TMR0 tiene las siguientes características:

- Temporizador/Contador de 8 bits.
- Divisor de 8 bits programable por software.
- Selección de reloj interno y externo.
- Interrupción por desbordamiento.
- Selección del flanco del reloj externo.

Este registro puede usarse para contar eventos externos por medio de un pin de entrada especial (modo contador) o para contar pulsos internos de reloj de

frecuencia constante (modo temporizador). Además, en cualquiera de los dos modos, se puede insertar un prescaler, es decir un divisor de frecuencia programable que puede dividir por 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 o 256. Este divisor puede ser utilizado alternativamente como prescaler o del TMR0 o como postscaler del Watch Dog Timer, según se lo programe.

En la práctica, a diferencia de los otros registros, el TMR0 no mantiene inalterado el valor que tiene memorizado, sino que lo incrementa continuamente.

Si por ejemplo escribimos en él el valor 10, después de un tiempo igual a cuatro ciclos máquina, el contenido del registro comienza a ser incrementado a 11, 12, 13 y así sucesivamente con una cadencia constante y totalmente independiente de la ejecución del resto del programa.

Una vez alcanzado el valor 255, el registro TMR0 es puesto a cero automáticamente comenzando entonces a contar desde cero y no desde el valor originalmente cargado.

La frecuencia de conteo es directamente proporcional a la frecuencia de reloj aplicada al PIC y puede ser modificada programando adecuadamente algunos bits de configuración.

El modo temporizador se selecciona colocando a 0 el bit T0CS del registro OPTION. En este modo, el Timer0 se incrementa con cada ciclo de instrucción (con el divisor desactivado).

El modo contador se selecciona colocando a 1 el bit T0CS del registro OPTION. En este modo, el contador se incrementará con cada flanco de subida o de bajada del pin RA4/T0CKI. El flanco se selecciona con el bit T0SE del registro OPTION.

Se generará una interrupción cuando el registro TMR0 se desborda de FFh a 00h. Este desbordamiento se indicará el bit T0IF del registro INTCON.

En la siguiente figura está representado el esquema de bloques internos del PIC que determinan el funcionamiento del registro TMR0:

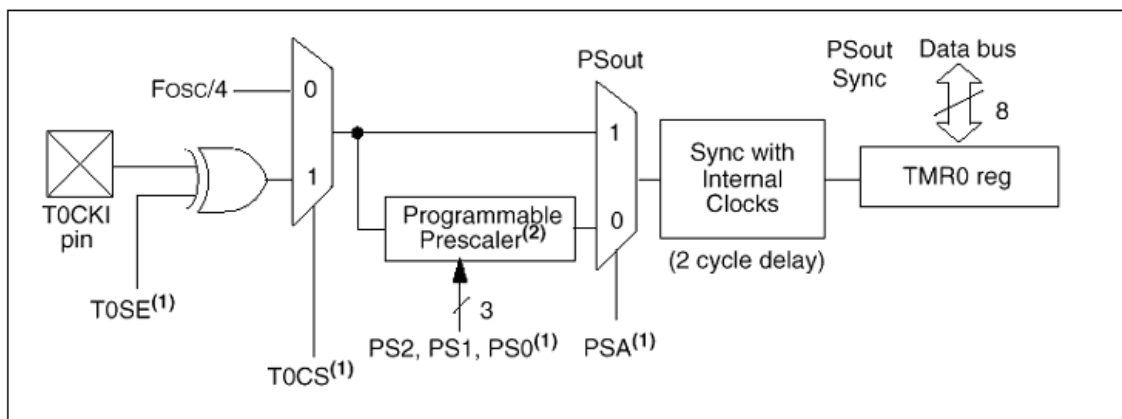


Fig. 1.14 Diagrama de bloques del TRM0.

Fosc/4 y T0CKI representan las dos posibles fuentes de señal de reloj, para el contador TMR0.

Fosc/4 es una señal generada internamente por el PIC tomada del circuito de reloj y que es igual a la frecuencia del oscilador dividida por cuatro.

T0CKI es una señal generada por un posible circuito externo y aplicado al pin T0CKI correspondiente al pin 3 del PIC16F84.

Los bloques T0CS y PSA son dos selectores de señal (multiplexores) en cuya salida se presenta una de las dos señales de entrada en función del valor de los bits T0CS y PSA del registro OPTION.

El bloque PRESCALER ó Pre divisor, es un divisor programable cuyo función es dividir la frecuencia de conteo, interna ó externa.

### 1.3.1.6 El Prescaler

El PRESCALER consiste en un divisor programable de 8 bits a utilizar en el caso de que la frecuencia de conteo enviada al contador TMR0 sea demasiado elevada para nuestros propósitos. Se configura a través de los bits PS0, PS1 y PS2 del registro OPTION.

La frecuencia  $F_{osc}/4$  es una cuarta parte de la frecuencia de reloj. Utilizando un cristal de 4Mhz tendremos una  $F_{osc}/4$  igual a 1 MHz, con lo que la cadencia de conteo que se obtiene provoca en TMR0 1 millón de incrementos por segundo ( $1/1.000.000 \text{ seg.} = 1\text{MHz}$ ), que para muchas aplicaciones podría resultar demasiado elevada.

Con el uso del PRESCALER podemos dividir la frecuencia  $F_{osc}/4$  configurando oportunamente los bits PS0, PS1 y PS2 del registro OPTION según la siguiente tabla:

PS2	PS1	PS0	DIVISOR	FRECUENCIA DE SALIDA PRESCALER PARA CRISTAL DE 4 Mz (Hz.)
0	0	0	2	500.000
0	0	1	4	250.000
0	1	0	8	125.000
0	1	1	16	62.500
1	0	0	32	31.250
1	0	1	64	15.625
1	1	0	128	7.812,5
1	1	1	256	3.906,25

Tabla 1.3. División de prescalador.

### 1.3.1.7 El Direccionamiento

Para el PIC solamente existen 4 modos de direccionamiento. Los modos de direccionamiento tratan sobre la forma de mover los datos de unas posiciones de memoria a otras.

- Direccionamiento Inmediato
- Direccionamiento Directo
- Direccionamiento bit a bit
- Direccionamiento Indirecto

#### *1.3.1.7.1 Direccionamiento Inmediato*

El dato manipulado por la instrucción se codifica con la propia instrucción. En este caso, el dato en cuestión se denomina literal.

MOVLW k; Coloca el literal k, que es un valor cualquiera codificado con 8 bits, en el registro de trabajo w.

#### *1.3.1.7.2 Direccionamiento Directo*

La memoria interna se direcciona de forma directa por medio de los 8 bits "f" contenidos en las instrucciones que operan sobre registros. De esta manera se puede direccionar cualquier posición desde la 00 a la FF.

En los microcontroladores que tengan más de un banco, antes de acceder a alguna variable que se encuentre en la zona de los bancos de registros, el programador deberá asegurarse de haber programado los bits de selección de banco en el registro **OPTION**.

Este es el modo más utilizado, ya que como hemos visto anteriormente, la memoria RAM está dividida en registros específicos y en un conjunto de registros de propósito general. Este modo consiste en codificar el nombre del o de los registros en cuestión directamente en la instrucción.

MOVWF f; Desplaza el contenido del registro w al registro f

#### *1.3.1.7.3 Direccionamiento bit a bit.*

Mediante este direccionamiento se manipula un bit individual en cualquier registro. Este modo de direccionamiento no se utiliza nunca solo, sino que siempre va emparejado con el modo de direccionamiento directo.

BCF f, b; Pone a cero el bit número b del registro f

#### *1.3.1.7.4 Direccionamiento Indirecto*

Es el modo más potente y utiliza los registros **INDF** y **FSR**. En el registro **FSR** se introduce la dirección del registro que se quiere leer cuando se acceda a **INDF**.

**FSR** actúa como puntero, es decir, el valor que guardemos en este registro será la dirección de una posición de memoria. Si aumentamos o disminuimos con cualquier operación el contenido de **FSR** nos moveremos entre las posiciones de memoria. El registro **INDF** no tiene existencia física, solamente está implementado en la posición 0 como modo de notación. La utilidad de este registro no es otra que acceder a los datos apuntados por el registro **FSR**, para poder modificarlos, etc.

## **1.4 LCD (DISPLAY DE CRISTAL LÍQUIDO)**

### **1.4.1 INTRODUCCIÓN A LCD**

Antes de aparecer los módulos LCD, los diseños electrónicos utilizaban los Displays de siete segmentos para poder mostrar la información, además de su gran limitación de poder mostrar los caracteres alfa numéricos y símbolos especiales, también consumían demasiada corriente y ocupaban demasiado espacio físico. Posteriormente aparecieron otros tipos de displays más complejos que podían mostrar algunos caracteres y símbolos; pero tenían de igual manera mucho consumo de corriente y espacio físico desperdiciado.

Finalmente aparecieron los módulos LCD o pantallas de cristal líquido la cual tiene la capacidad de mostrar cualquier carácter alfa numérico. Estos dispositivos ya vienen con su pantalla y toda la lógica de control pre-programada en la fábrica y lo mejor de todo es que el consumo de corriente es mínimo y no se tendrán que organizar tablas especiales como se hacía anteriormente con los displays de siete segmentos.

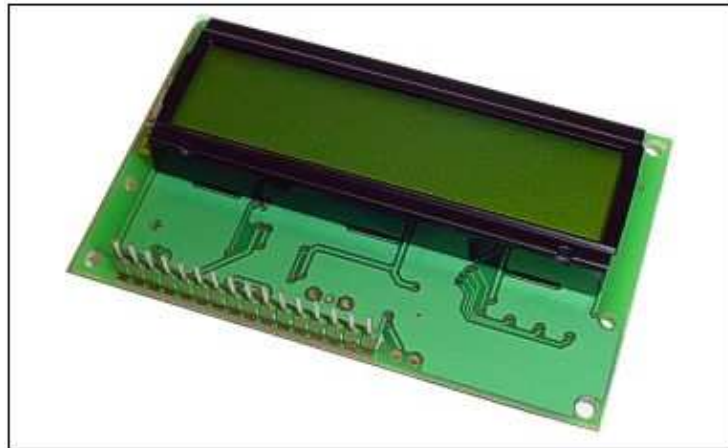


Fig. 1.15 Módulo LCD.

#### 1.4.2 DIVERSIDAD DE ALGUNOS MÓDULOS LCD

En la actualidad los módulos LCD existen una gran variedad de versiones clasificados en dos grupos. El primer grupo está referido a los módulos LCD de caracteres ( solamente se pueden presentar caracteres y símbolos especiales en las líneas predefinidas en el modulo LCD) y el segundo grupo está referido a los módulos LCD matriciales ( Se pueden presentar caracteres, símbolos especiales y gráficos).

La siguiente imagen muestra las dimensiones de una configuración típica de un modulo LCD de dos líneas por 16 caracteres por cada línea, incluyendo los detalles de la matriz de cómo está conformado un carácter

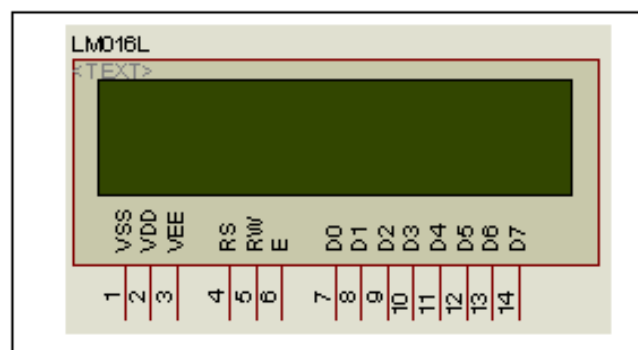


Fig. 1.15. Configuración de un Módulo LCD

Los primeros módulos LCD tenían los caracteres de color negro y el fondo de la pantalla era de color verdoso claro. Posteriormente se crearon otros colores en donde los caracteres eran de color plata y así sucesivamente fueron variando los colores en el fondo y en los caracteres, incluyendo una luz posterior para los módulos LCD, denominada Back Light, diseñada especialmente para mejorar la visualización de la pantalla sobre todo en lugares muy oscuros.

### 1.4.3 INTERPRETACIÓN DE CADA UNO DE LOS PINES DE UN LCD

Pin N°	Sismología	Nivel	I/O	Función
	a			
<b>1</b>	VSS	-	-	0 V. <u>Tierra</u> (GND).
<b>2</b>	VCC	-	-	+ 5 V. DC.
<b>3</b>	Vee = Vc	-	-	Ajuste del Contraste.
<b>4</b>	RS	0/1	I	0= Escribir en el modulo LCD 1= Leer del modulo LCD
<b>5</b>	R/W	0/1	I	0= Entrada de una Instrucción 1= Entrada de un dato
<b>6</b>	E	<b>1</b>	I	Habilitación del modulo LCD
<b>7</b>	DB0	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 1 ( LSB ).
<b>8</b>	DB1	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 2
<b>9</b>	DB2	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 3
<b>10</b>	DB3	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 4
<b>11</b>	DB4	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 5
<b>12</b>	DB5	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 6
<b>13</b>	DB6	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 7
<b>14</b>	DB7	0/1	I/O	BUS DE DATO LINEA 8 (MSB).
<b>15</b>	A	-	-	LED (+) Back Light
<b>16</b>	K	-	-	LED (-) Back Light.

Tabla 1.4. Pines del LCD,



**Pin Número 1 Y 2.** Están destinados para conectarle los 5 Voltios que requiere el modulo para su funcionamiento.

**Pin Numero 3.-** es utilizado para ajustar el contraste de la pantalla; es decir colocar los caracteres más oscuros o más claros para poderse observar mejor.

**Pin Numero 4.-** denominado "RS" trabaja paralelamente al Bus de datos del modulo LCD ( Bus de datos son los Pines del 7 al 14). Este bus es utilizado de dos maneras, ya que usted podrá colocar un dato que representa una instrucción o podrá colocar un dato que tan solo representa un símbolo o un carácter alfa numérico; pero para que el modulo LCD pueda entender la diferencia entre un dato o una instrucción se utiliza el Pin Numero 4 para tal fin.

Si el Pin numero 4 = 0 le dirá al modulo LCD que está presente en el bus de datos una instrucción, por el contrario, si el Pin numero 4 = 1 le dirá al modulo LCD que está presente un símbolo o un carácter alfa numérico.

**Pin Numero 5.-** denominado "R/W" trabaja paralelamente al Bus de datos del modulo LCD (Bus de datos son los Pines del 7 al 14). También es utilizado de dos maneras, ya que podrá ordenarle al modulo LCD que escriba en pantalla el dato que está presente en el Bus; por otro lado también podrá leer que dato está presente en el Bus.

Si el Pin numero 5 = 0 el modulo LCD escribe en pantalla el dato que está presente el Bus; pero si el Pin numero 5 = 1 significa que usted necesita leer el dato que está presente el bus del modulo LCD.

**Pin Numero 6.-** denominado "E" que significa habilitación del modulo LCD tiene una finalidad básica: conectar y desconectar el modulo. Esta desconexión no estará referida al voltaje que le suministra la corriente al modulo; la desconexión significa tan solo que se hará caso omiso a todo lo que esté presente en el bus de datos de dicho modulo LCD.

**Pines Desde El Numero 7 Hasta El Numero 14.-** representan 8 líneas que se utilizan para colocar el dato que representa una instrucción para el modulo LCD o un

carácter alfa numérico. El Bus de datos es de 8 Bits de longitud y el Bit menos significativo está representado en el Pin numero 7, el Pin más significativo está representado en el Pin numero 14.

**Pines 15 y 16:** estarán destinados para suministrar la corriente al Back Light. Es importante conocer que no todos los módulos LCD disponen del Back Light aunque tenga los pines de conexión en el circuito impreso.

#### **1.4.4 TIEMPOS MÍNIMOS REQUERIDOS PARA QUE UNA INSTRUCCIÓN O UN DATO PUEDAN SER EJECUTADOS.**

Los Pines de control ( E, RS y E/W ) están estrechamente relacionados ya que por medio de ellos podemos especificar si queremos ejecutar una instrucción o leer / escribir un dato en la pantalla o la memoria RAM; sin embargo existe una condición importante que deberá tomarse en cuenta referida directamente al tiempo necesario que se necesita para cambiar de un estado a otro en los pines de control (E, RS y R/W ). En el caso de que este tiempo sea más pequeño que el tiempo mínimo requerido, entonces el modulo LCD no tendrá el tiempo suficiente para responder a las instrucciones solicitadas por el usuario y por consecuencia se perderán los datos o instrucciones según sea el caso.

En otras palabras, se suele cometer un error común cuando se está intentando hacer funcionar un modulo LCD, en el cual no consideran la velocidad de proceso del microprocesador o el microcontrolador específicamente en los pines de control ( E, RS y R/W ), esto quiere decir que si se tuviera conectado un modulo LCD a un microcontrolador que tiene una velocidad de proceso demasiado alta en los pines de control, cuando se ejecuta una solicitud de cualquier tipo ( escritura / lectura e Instrucción. ), el modulo LCD no tendrá la capacidad de entender la solicitud hecha por el microcontrolador ya que esta se ejecuto demasiado rápido. Para ello los programas que manejan un modulo LCD deberán respetar los siguientes tiempos:

<b>OPERACIÓN DEL LCD</b>	<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN</b>
Limpiar el LCD	1.64 us
Regresar al cursor a la posición de inicio.	1.64 us
Establece la dirección de movimiento del cursor	40 us
Activar o desactivar al LCD	40 us
Visualización de caracteres.	40 us
Escribir o leer en la memoria DD RAM I	40 us

Tabla 1.5. Tiempo de respuesta del LCD.

#### **1.4.5 BUS DE DATOS DE 4 Y 8 BITS DE LONGITUD**

El Bus de datos de un modulo LCD puede ser configurado para trabajar con 4 Bits y con 8 Bits. Para los diseños electrónicos que están limitados por la cantidad de líneas utilizadas en el Bus de datos, podrán utilizar un bus de datos con una longitud de 4 Bits; sin embargo si este no fuera su caso, podrá utilizar el bus de datos completo de 8 Bits. Las señales de control (RS - R/W - E) y los diagramas de tiempo explicados anteriormente, trabajan igual sea para un bus de datos de 4 Bits o de 8 Bits. Sin embargo, si se está interesado en trabajar el bus de datos con una longitud de 8 Bits, se deberá saber que cuando se enciende el modulo LCD la configuración para 8 Bits entra por defecto; es decir que no necesitara programarse, pero la configuración del bus de datos con una longitud de 4 Bits requiere una secuencia cuidadosa de instrucciones previas inmediatamente después de encender el modulo LCD.

La longitud escogida para trabajar en el bus de datos, deberá hacerse en el principio de la programación del modulo LCD. En la siguiente imagen se puede observar la inicialización de un modulo LCD para trabajar con un bus de datos de 8 y 4 Bits.

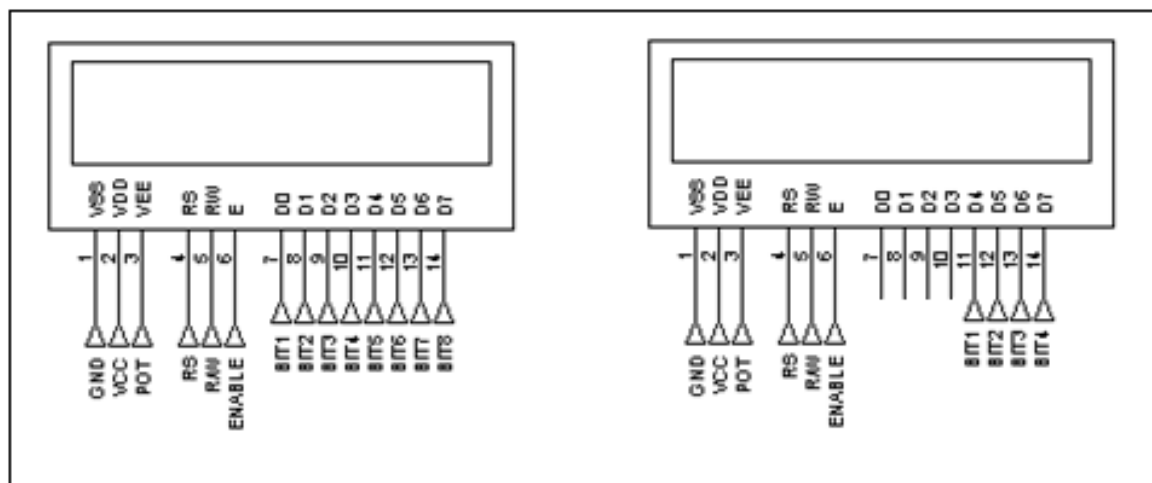


Fig. 1.16. Conexión de LCD a 8 Bits (izquierda) y 4 Bits (Derecha).

#### 1.4.6 INICIALIZACIÓN DEL MODULO LCD

Todo modulo LCD deberá inicializarse, esta inicialización indicara como deberá operar la pantalla. La inicialización representan las instrucciones que deberán ser ejecutadas por el modulo LCD antes de su funcionamiento normal. Las instrucciones que están dentro de la inicialización solamente se ejecuta después que se enciende el modulo LCD y no podrán ser cambiadas posteriormente. Por ejemplo, tenemos algunos parámetros que pueden ser ejecutados en la inicialización, antes de comenzar a funcionar nuestro modulo LCD:

- Selección de la longitud del bus de datos (4 Bits / 8 Bits).
- Activar el número de líneas que se visualizaran el modulo LCD.
- Encender el Modulo LCD.

Las siguientes instrucciones también podrán ser colocadas en la inicialización, con la diferencia que podrán ser cambiadas en cualquier parte del programa.

- Mantener el mensaje fijo y desplazar el cursor.
- Desplazar el mensaje y mantener el cursor fijo.
- Hacer que el carácter señalado parpadee o no.

Después de haber revisado la teoría de los elementos más importantes para el diseño y construcción de este proyecto se da paso al siguiente capítulo, en el cual se explica el hardware implementado.

## **CAPITULO 2**

### **2.1 DISEÑO DEL CIRCUITO**

En esta sección se explica los criterios utilizados para el diseño y construcción de las componentes del circuito de VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC.

El circuito consta principalmente de dos partes esenciales que son:

1. Hardware
2. Software

#### **2.1.1 DISEÑO DEL HARDWARE**

Antes de explicar el diseño del hardware implementado se debe tener claro la forma en la que debe funcionar el variador de velocidad de un motor DC.

Este circuito funcionara con un voltaje de entrada de 110 a 127 VAC el cual será reducido mediante un transformador reductor a un voltaje de 24 VAC, este será rectificado por lo que se obtendrá un voltaje de continuo, se usara un regulador variable de voltaje de 1.2 VDC a 25 VDC, el regulador es calibrado para que entregue un voltaje de 24V exactamente ya que el motor usado en el proyecto es un motor de corriente continua de 24 V, 2.7A. Además de la salida que entrega el puente rectificador se usara para alimentar al circuito controlador de velocidad y al medidor y visualizador de velocidad, para esto se usa un regulador de voltaje de 5V.

El circuito funciona de la siguiente manera:

Al momento que se energice el circuito, un led señalizador se prendera de un color rojo y en un LCD (Display De Cristal Liquido) se mostrara las palabras "VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC "al pulsar el botón ENTER (pulsador de encendido) el motor se prenderá y el led indicador cambiara de color rojo a color verde, además en el LCD se indica las palabras " MOTOR PRENDIDO " durante un tiempo de 1 segundo, a continuación pasando a mostrarse en el LCD la frase "MÍNIMA VELOCIDAD " y también se indicara las revoluciones por minuto a las cuales se encuentra girando el rotor de motor, al presionarse el botón para aumentar la velocidad del motor la frase en el LCD cambiara mostrándose " MOTOR GIRANDO A : " al pulsar el botón de incremento de velocidad hasta obtener la máxima velocidad del motor se indicara en el LCD la frase " MÁXIMA VELOCIDAD " de igual manera a lo indicado anteriormente ocurre con el botón para bajar la velocidad. Siempre que se prenda el motor este arrancara en baja velocidad ya que es lo conveniente para el arranque de motores.

Antes de adentrarse a la descripción de los criterios utilizados en la construcción de este proyecto se expone la teoría acerca de la variación de velocidad de un motor de corriente continua mediante PWM (Variación de Ancho Pulso).

## **2.2 VARIACIÓN DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA MEDIANTE PWM.**

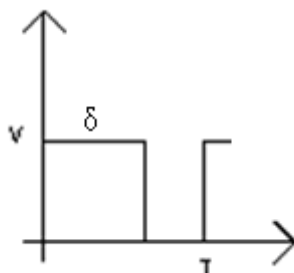
Los motores de corriente continua giran a una velocidad proporcional al voltaje aplicado. El fabricante da a conocer la tensión máxima que soporta el motor, a este voltaje máximo la velocidad es la máxima. Si aplicamos una tensión menor, el motor girará más lento.

La Regulación por Ancho de Pulso de un motor de DC está basada en el hecho de que si se corta el suministro eléctrico a la carga en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta y la baja del ciclo de la onda cuadrada.

Controlando esta relación, se logra variar la velocidad del motor de una manera bastante aceptable.

### 2.2.1 Calculo VDC Para Una Onda Cuadrada.

Para comprender de mejor manera lo señalado anteriormente, se realizara la siguiente demostración matemática.



$$V_{dc} = \frac{1}{T} \left( \int_0^T V dt \right)$$

$$V_{dc} = \frac{1}{T} (V \Big|_0^{\delta T})$$

$$V_{dc} = \frac{1}{T} V (\delta T - 0)$$

$$V_{dc} = \delta T$$

Con esta demostración matemática, se puede observar que el voltaje DC, es directamente proporcional al ancho de pulso.

A continuación se analizara el hardware del circuito implementado mediante un diagrama de bloques.



## 2.3 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC .

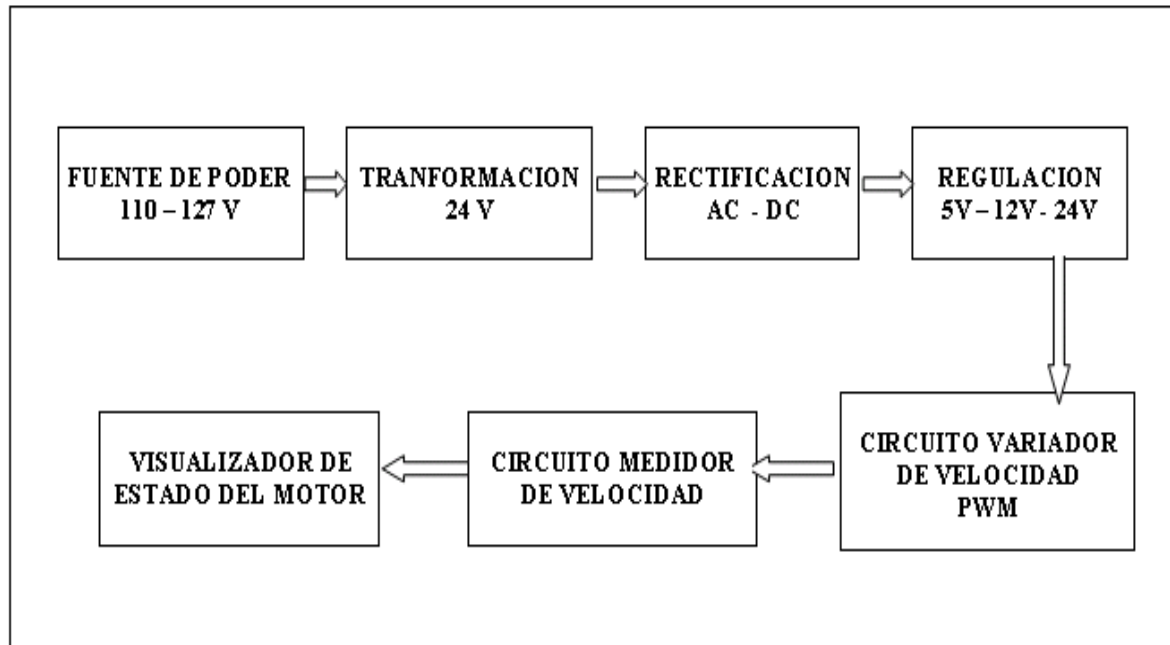


Fig. 2.1. Diagrama de bloques del variador de velocidad

### 2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUES

Se puede observar en el diagrama de bloques las principales partes que forman el hardware del variador de velocidad. A continuación se describe de una forma particular y profunda cada una de ellas:

#### 2.3.1.1 Fuente De Poder 110 – 127 V

El variador construido puede ser energizado de con una fuente que se encuentre entre 110 a 127 V, este criterio ha sido tomado ya que el voltaje que entrega la empresa eléctrica no es constante sino que varía de acuerdo al lugar y la hora,

por ejemplo en las horas pico el voltaje disminuye, pero en las horas de la tarde este puede llegar hasta los 127 V.

### 2.3.1.2 Transformación a 24 V

Se ha reducido el voltaje de 127V a 24 V mediante un transformador reductor, esta reducción de voltaje se la ha realizado tomando en consideración los valores nominales de la placa del motor. Además se ha seleccionado el transformador tomando en cuenta el dato de corriente de la placa de datos del motor.

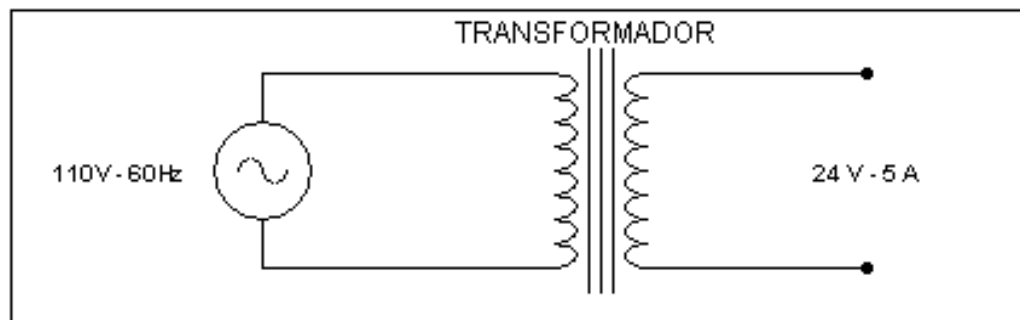


Fig. 2.2. Transformador 127V a 24 V.

### 2.3.1.3 Rectificación AC – DC

Para la rectificación se uso un puente rectificador el cual está formado por cuatro diodos los cuales están dispuestos tal como se indica en la figura.

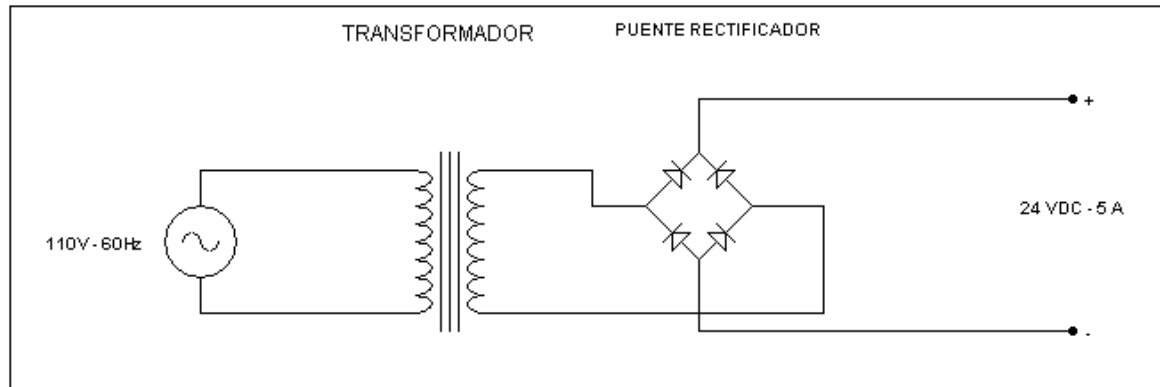


Fig. 2.3. Puente rectificador de onda completa.

Para seleccionar el puente rectificador adecuado se tomo en cuenta el voltaje pico inverso al cual va a estar sometido y la corriente que iba a manejar. Por lo que se seleccionó un puente se soporte un voltaje mayor o igual a  $34\text{ V}$  ( $24 \cdot \sqrt{2}$ ).

Al rectificar se obtuvo a la salida de este puente rectificador, una señal rectificada de la siguiente manera:

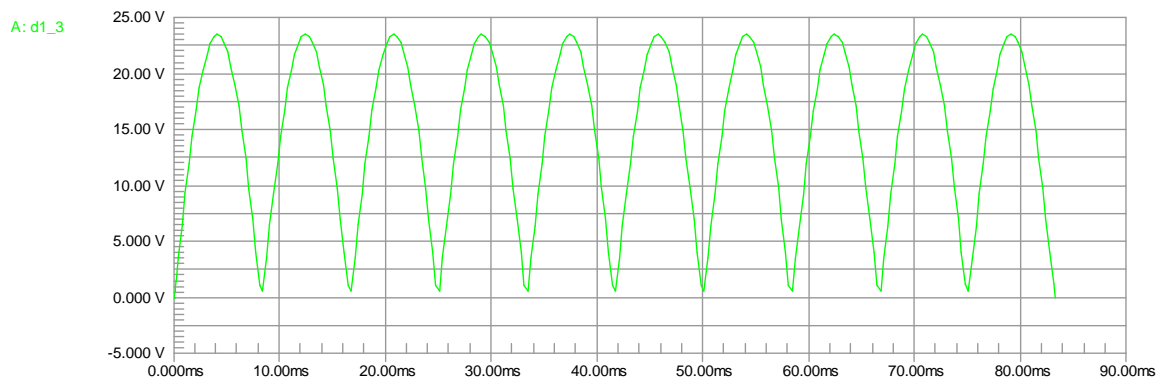


Fig. 2.4. Señal rectificada.

Para obtener un mejor voltaje se uso un filtro de capacitor ya que este el más común y fácil de diseñar. Se consultó que cuanto mayor sea el valor de capacitancia del capacitor que se use en el filtro, el rizado del voltaje será menor por lo que se decidió usar un capacitor de  $4700\mu\text{F}$ .

Calculo del Voltaje de rizado:

$$f = 120\text{Hz}$$

$$C = 4700\mu\text{F}$$

$$ILDC = 3\text{A}$$

$$V_{rpp} = \frac{ILDC}{F \times C}$$

$$V_{rpp} = \frac{3}{120 \times 4700 \times 10^{-6}}$$

$$V_{rpp} = 5.3\text{V}$$

$$V_{rpp} = 2\sqrt{2}V_{rms}$$

$$V_{rms}(\text{rizado}) = \frac{V_{rpp}}{2\sqrt{2}}$$

$$V_{rms}(\text{rizado}) = \frac{5.3}{2\sqrt{2}}$$

$$V_{rms}(\text{rizado}) = 1.88\text{V}$$

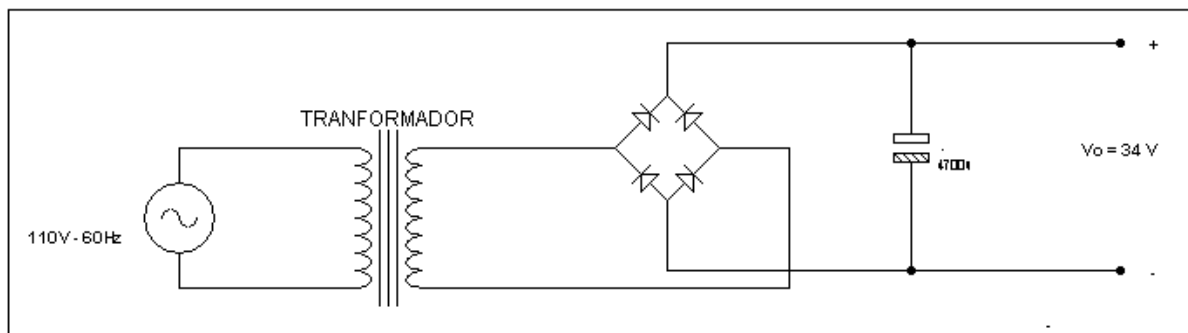


Fig. 2.5. Circuito del filtro de capacitor

De esta manera se pudo obtener un voltaje más favorable para la alimentación del dispositivo, obteniéndose una salida de 34V, tal como se muestra en el siguiente grafico.

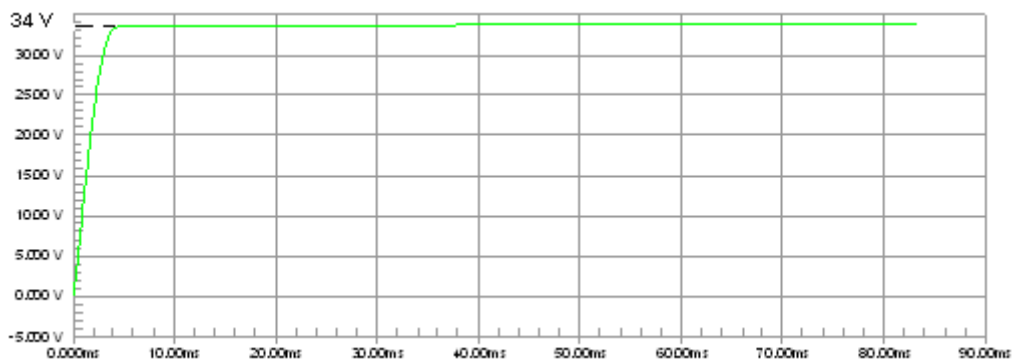


Fig. 2.6. Señal filtrada.

Al haberse implementado ya el rectificador con su respectivo filtro se da paso a la regulación de voltajes.

#### 2.3.1.4 Regulación De Voltaje

Esta es una de las partes principales de un circuito de suministración de corriente continua ya que el circuito anteriormente diseñado será la fuente de alimentación tanto del motor a utilizarse en la demostración del proyecto como en la

alimentación del circuito variador de velocidad, circuito contador de velocidad, visualizador de estado del motor, interfaz de potencia y además alimentara al ventilador.

Estos diferentes dispositivos principalmente el motor al ser energizado toman corriente lo cual provoca una caída de voltaje además como el motor es una carga variable ya que no siempre toma la misma corriente y depende de las condiciones de carga en las que se encuentre, también todos los dispositivos citados anteriormente no trabaja con un mismo voltaje sino que trabajan con voltaje de:

- Motor DC 24 V
- Ventilador 12 V
- Circuito de control del variador 5 V

Para obtener estos voltajes constantes en todo momento, se ha visto la necesidad de utilizar reguladores de voltaje.

#### *2.3.1.4.1 Regulador De Voltaje-24V.*

Para tener un voltaje constante de 24 V se ha usado el regulador de Voltaje LM338. El regulador LM338 puede manejar una corriente de hasta 5 A lo cual es suficiente, ya que el motor utilizado consume 2.7 A a carga nominal además el ventilador consume 0.12 A, por lo que el regulador utilizado es suficiente para la alimentación de todo el modulo.

Este es un regulador variable de voltaje, por lo que posee tres terminales los cuales son los que se indican en la siguiente figura:

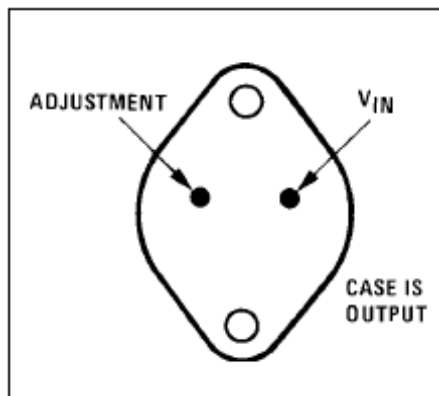


Fig. 2.7. Distribución de pines del LM338.

- ADJUSTMENT.- Es utilizado para calibrar el voltaje de salida.
- $V_{IN}$ .- Pin de entrada del regulador.
- CASE.- Salida del regulador.

Para obtener un voltaje constante de 24 V se ha usado el diagrama de la figura 2.8 el cual ha sido tomado del manual del mismo regulador.

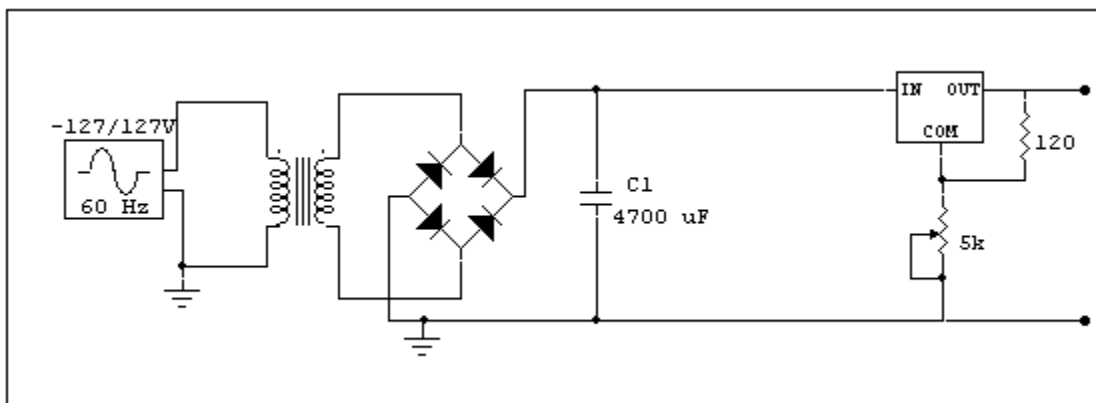


Fig. 2.8 Circuito regulador de voltaje.

El voltaje a la salida de este circuito de regulación depende del valor de resistencia el potenciómetro obedeciendo a la siguiente a la siguiente fórmula:

$$V_{OUT} = 1.25V \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + I_{ADJ}(R2)$$

Pudiéndose obtener un voltaje que va desde 1.2 V hasta 25 V, para este proyecto se lo ha calibrado en 24 V ya que el motor utilizado es de 24 V.

#### 2.3.1.4.2 Regulador De Voltaje - 12 V

Se ha utilizado un regulador de voltaje (LM7812CT) para alimentar un ventilador puesto que se utiliza dispositivos que manejan alta corriente produciendo calentamiento en los mismos, por lo que es necesario utilizar disipadores de calor y además de estos, necesariamente se ha tenido que usar el ventilador cuyos datos de placa nominales son los siguientes:

- Voltaje 12 V
- Corriente 0.12 A

Con la implementación de este sistema de enfriamiento, los dispositivos de potencia y los elementos que en la práctica se palpaba un excesivo calentamiento, se pudo bajar la temperatura logrando tener un óptimo desempeño de los mismos.

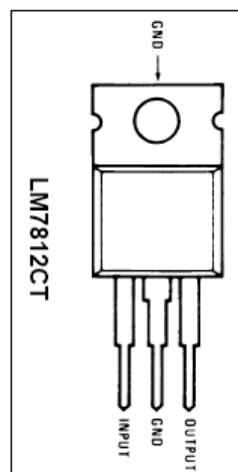


Fig. 2.9. Distribución de pines del LM7812CT



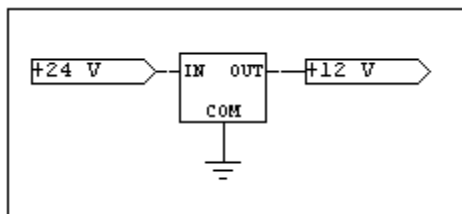


Fig. 2.10. Conexión de regulador de Voltaje LM7812CT

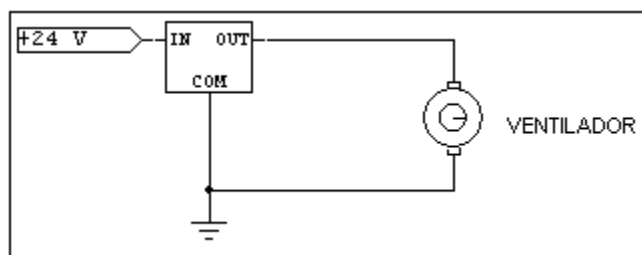


Fig. 2.11. Conexión del ventilador de 12 V al regulador de voltaje.

#### 2.3.1.4.3 Regulador De Voltaje – 5 V

El circuito del variador de velocidad, circuito medidor de velocidad, el visualizador de estado del motor y la interfaz de potencia necesitan un voltaje de 5 V regulado ya que se ha usado dos microcontroladores PIC16F84A un LCD 2X16 y el voltaje nominal para polarizar a estos dispositivos electrónicos es de 5 V.

Para ello se ha usado el regulador de voltaje LM7805CT el cual tiene los siguientes valores nominales.

- Voltaje de salida 5 V
- Corriente de salida 1 A
- Voltaje de entrada máximo 35 V
- Voltaje de entrada mínimo 7 V

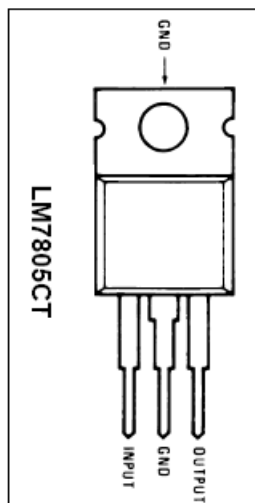


Fig. 2.12. Distribución de pines del LM7805CT

Para obtener los 5 V se implemento el circuito indicado en la figura:

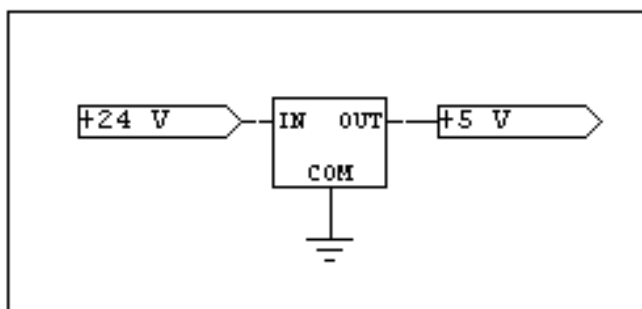
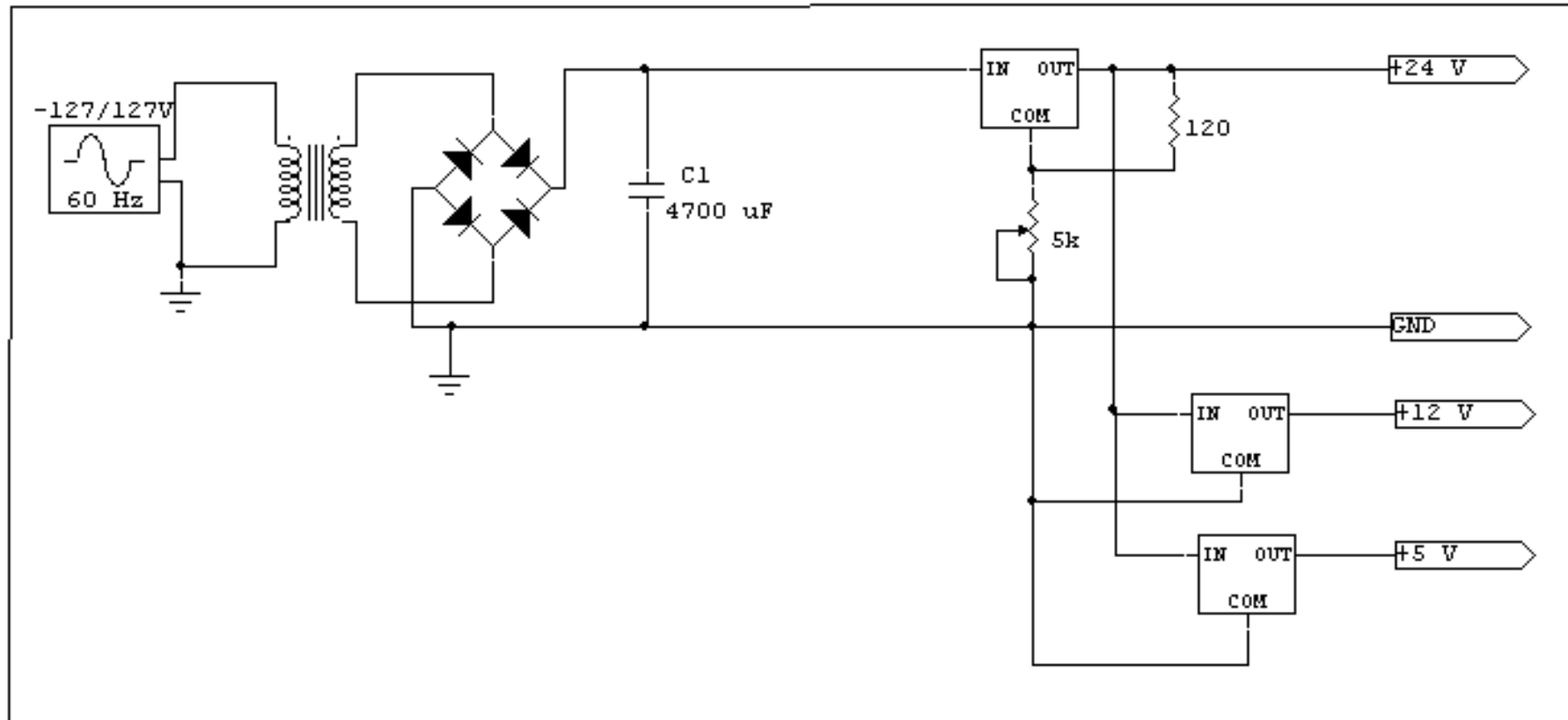


Fig. 2.13. Conexión del LM7805CT

Ya explicado todos los criterios utilizados para la implementación de la fuente que alimenta al VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC se muestra el diagrama final implementado.

#### 2.3.1.4.4 Diagrama De Salida De Alimentación Del Dispositivo



### 2.3.1.5 Circuito Del Variador De Velocidad PWM

El Hardware de este circuito consta solamente de un microcontrolador PIC16F84A el cual cumple la función de generar los pulsos del PWM además envía señales a un segundo microcontrolador PIC16F84A es que está destinado a contar la velocidad del motor y enviar datos al LCD tanto velocidad y estado en que se encuentra el motor.

Al energizar el sistema se polarizan los microcontroladores y visualizadores encendiéndose de esta manera un led visualizador de dos colores el cual posee tres pines como se indica en la figura.



Fig. 2.14. Led Bicolor

Como ve en la figura este led posee dos ánodos y un solo cátodo entonces al polarizarlo por el cátodo N° 01 este led se ilumina de color rojo y al polarizarlo por el cátodo N° 02 este se ilumina de color verde. Los cátodos de este led se encuentran conectados mediante una resistencia de  $220 \Omega$  a los pines RB4 y RB5 del microcontrolador y su cátodo a tierra. Al energizar el sistema el microcontrolador pondrá en 1L (uno lógico) los pines RB2 y RB4. El pin RB2

envía de esta manera una señal al microcontrolador que maneja al LCD indicando que el motor se encuentra apagado y el pin RB4 hace que el led indicador se ilumine de color rojo indicando que el sistema se encuentra apagado pero listo para utilizarse.

Los pines RA0, RA2 y RA3 se encuentran conectados a un pulsador respectivamente tal como se ilustra en el siguiente diagrama:

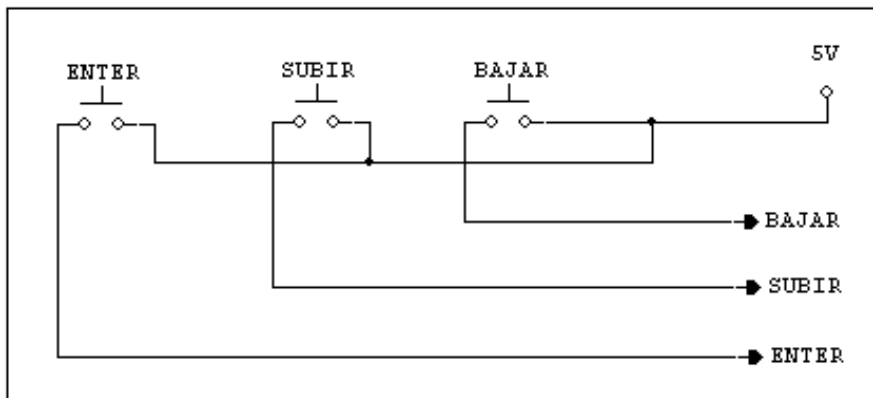


Fig. 2.15. Conexión de pulsadores.

Al pulsar y soltar el botón "ENTER" del modulo, el microcontrolador pondrá en 1L el pin RB5 haciendo que el led indicador ilumine de color verde indicando que el motor encuentra energizado además por el pin RB7 sale la señal de PWM hacia el circuito de interfaz de potencia el cual será analizado detalladamente posteriormente.

Al prender el motor arrancara en mínima velocidad ya que lo recomendado en el arranque de un motor, es que este parta de baja velocidad.

Además con los dos pulsadores restantes se puede subir o bajar la velocidad, al mantener presionado el pulsador el microcontrolador aumentara o disminuirá el ANCHO DE PULSO según el pulsador que se presione, pero esto se detallara en el siguiente capítulo.

Al llegar el motor a su máxima velocidad el microcontrolador pondrá en 1L su pin RB3 enviando al segundo microcontrolador una señal de que ya ha llegado el ancho del PWM a su máximo valor.

### 2.3.1.6 Circuito Medidor De Velocidad

Para medir la velocidad del motor fue necesario implementar el siguiente circuito:

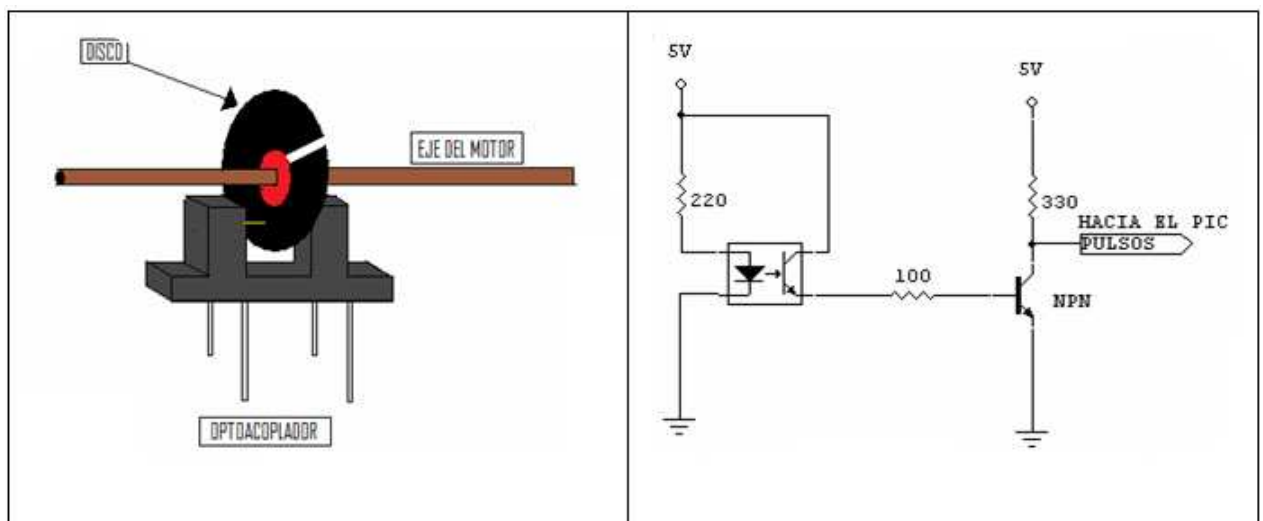


Fig. 2.16. Sensor de velocidad y circuito sensor de velocidad.

Este circuito funciona de la siguiente manera:

El fotodiodo emisor del optoacoplador envía una señal de luz al fototransistor entonces al cortar esta señal de luz cada diente de un piñón que se encuentra montado en el eje del motor se crea un tren de pulsos los que son enviados a la base del transistor poniendo al transistor en corte y saturación permitiendo enviar este nuevo tren de pulsos hacia el pin RA0 del microcontrolador destinado a contar la velocidad del motor.

Este numero de pulsos son procesados por el microcontrolador y con ello se hace un cálculo, con el cual se puede determinar la velocidad a la cual está trabajando el motor.

### 2.3.1.7 Visualizador De Estado Del Motor

Para visualizar el estado del motor (prendido o apagado) y la velocidad del motor (máxima, media o mínima) se implemento un circuito visualizador, el que está conformado por un LCD.

Se observa en el siguiente diagrama como se encuentra conectado los pines del LCD tanto sus líneas de control como los buses de comunicación hacia el PIC16F84A.

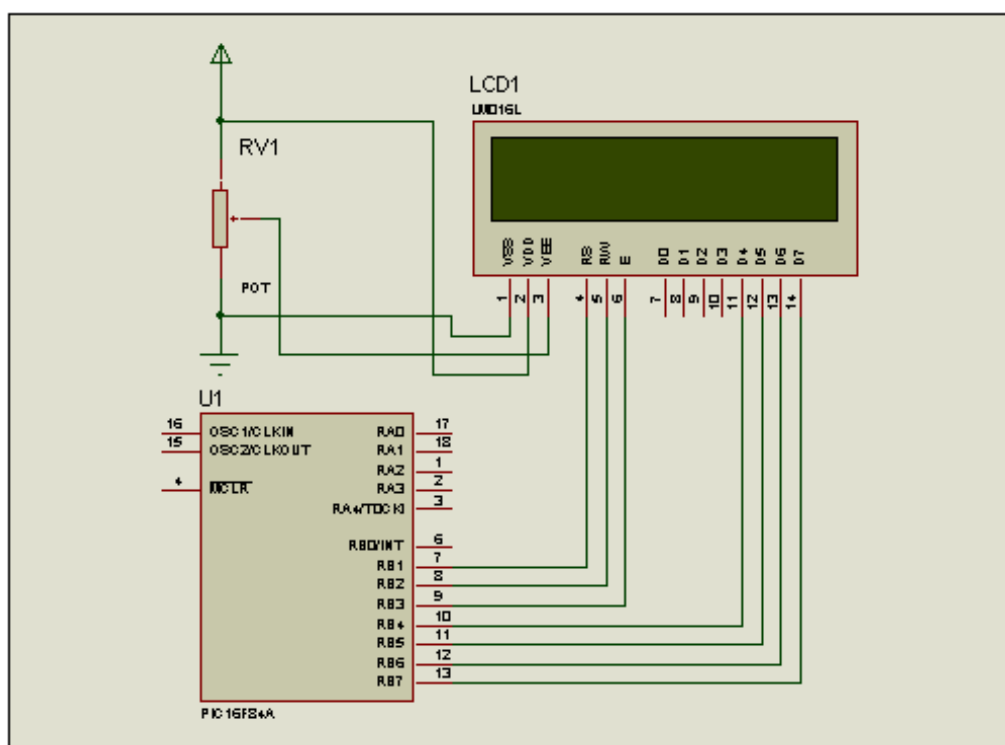


Fig. 2.17. Diagrama de conexión del LCD hacia el Pic.

#### 2.3.1.6.1 Interpretación Del Significado De Los Pines Del Módulo LCD

- El Pin número 1 está destinados para conectarle a 0V (tierra o GND).
- El Pin número 2 está destinado para conectarle a 5V que requiere el este dispositivo para su correcto funcionamiento.
- Al Pin número 3 se encuentra conectado al pin variable del potenciómetro de 5 K $\Omega$  ya que este pin está dedicado para ajustar el

contraste de la pantalla, es decir para aumentar o disminuir la visualización de los caracteres.

- El pin número 4 se encuentra conectado RB1 Indicándole al modulo LCD que está presente en el bus de datos una instrucción, por el contrario, si el Pin número 4 es igual a 1 le dirá al módulo LCD que está presente un símbolo o un carácter alfa numérico.
- El Pin número 5 denominado "R/W" (leer – escribir) trabaja paralelamente al Bus de datos del módulo LCD (Bus de datos son los Pines del 7 al 14) da la instrucción al LCD para que escriba o lea el dato que está presente en el Bus.
- El Pin número 6 denominado "E" habilita o deshabilita el módulo LCD.
- Los Pines desde el número 7 hasta el número 14 representan los 8 buses de datos que se utilizan para enviar el dato hacia el LCD. El Bus de datos es de 8 Bits de longitud siendo el Bit menos significativo el representado por el Pin número 7, el Pin más significativo el Pin número 14.
- Los pines 15 y 16 están destinados para suministrar corriente al led de de iluminación del LCD.

### **2.3.1.7 Interfaz De Potencia**

Cuando se desea acoplar un circuito de control con un circuito de potencia es necesaria la implementación de un circuito interfaz de potencia.

La señal de PWM generada por el microcontrolador para variar la velocidad del motor es enviada desde el pin RB7 hacia el pin 1 del optoacoplador 4N35 este optoacoplador está conformado por dos fotodiodos, un fotodiodo emisor y un fotodiodo receptor, al polarizar el fotodiodo emisor este envía una señal óptica hacia el fotodiodo receptor, permitiendo tener de esta manera un aislamiento eléctrico entre el circuito de de control y el circuito de potencia pero a la vez hace posible un acoplamiento óptico entre los dos circuitos, lo cual hace posible comunicarse entre los dos circuitos de una forma segura y sin peligro que el circuito de potencia produzca daños en el circuito de control.



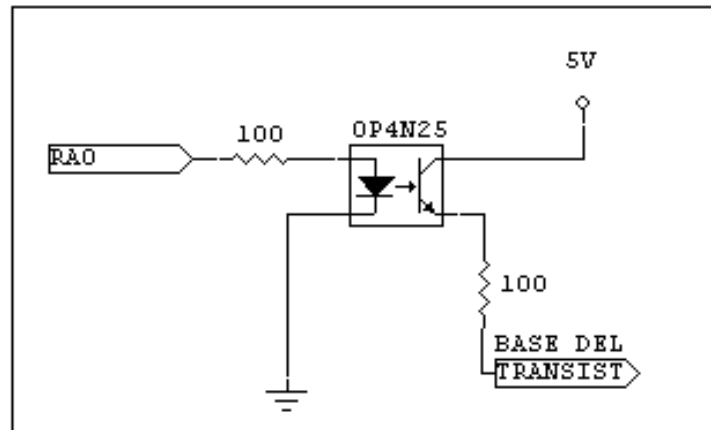


Fig. 2.18. Interfaz de potencia.

### 2.3.1.8 Circuito De Potencia

Este circuito es el encargado de manejar la carga, en este caso al motor de corriente continua. El circuito está conformado por un transistor Darlington el que posee un  $\beta = 3500$ , como se puede ver este transistor tiene un  $\beta$  grande, por lo que se necesita de muy poca corriente en su base para poder hacer conducir los 2.7 A que necesita el motor pudiendo de esta manera acoplar mediante una resistencia la base del transistor de potencia y la salida de la interfaz de potencia.

Además en este circuito de potencia se usa un diodo el cual está destinado para proteger al transistor de potencia y al circuito de control, mediante este diodo se protegerá a los circuitos de la descarga de la bobina del motor.

En el siguiente diagrama se muestra el circuito de potencia.

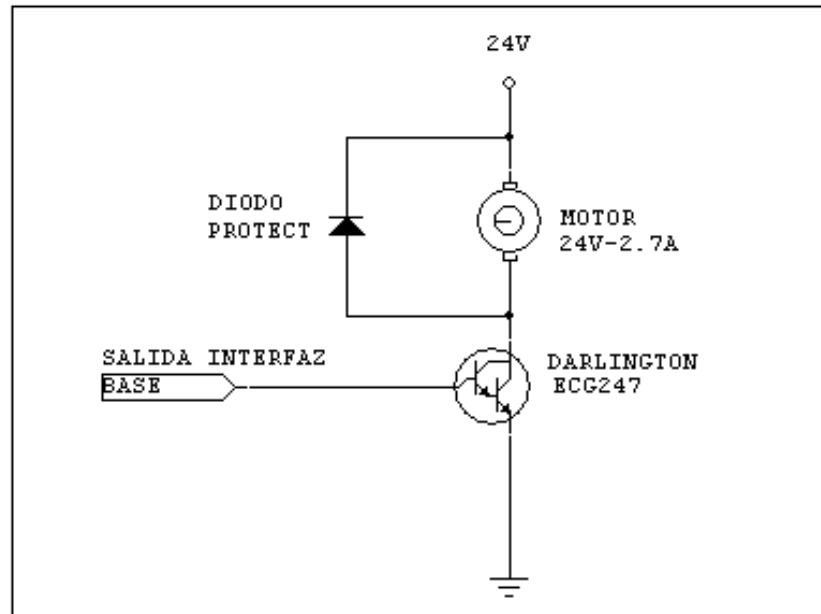


Fig. 2.19. Circuito de potencia.

Se ha descrito todas las partes que forman parte de hardware del VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC. El siguiente capítulo está dedicado a la explicación del software implementado en este proyecto.

## CAPITULO 3

### 3.1 DISEÑO DEL SOFTWARE

En esta sección se explica los criterios utilizados para el diseño de los respectivos programas de cada uno de los microcontroladores PIC16F84A, destinados a optimizar el control de velocidad de un motor de corriente continua.

Para la creación de este proyecto se ha programado los microcontroladores PIC16F84A en el programa, PIC Simulator IDE, el cual ha sido descargado del Internet de la dirección: [www.oshonsoft.com](http://www.oshonsoft.com).

Los siguientes programas han sido confeccionados en BASIC, siendo este un lenguaje de alto nivel ya que este hace más fácil la programación de los microcontroladores Pic, aunque una desventaja del BASIC es que el programa ocupa más memoria del microcontrolador a diferencia del assembler. Si bien es cierto que el de assembler es el más cercano a la máquina (en este caso el PIC16F84A) por lo que optimiza el espacio en la memoria del microcontrolador, pero la desventaja del assembler es que se demoraría muchísimo más tiempo en confeccionar un programa y además es necesario conocer la arquitectura del microcontrolador a programarse. Pero hoy en día los microcontroladores son más baratos y poseen más memoria por lo que la programación de estos dispositivos se la realizará en BASIC destinado para los PICs como es el "PIC Simulator IDE".

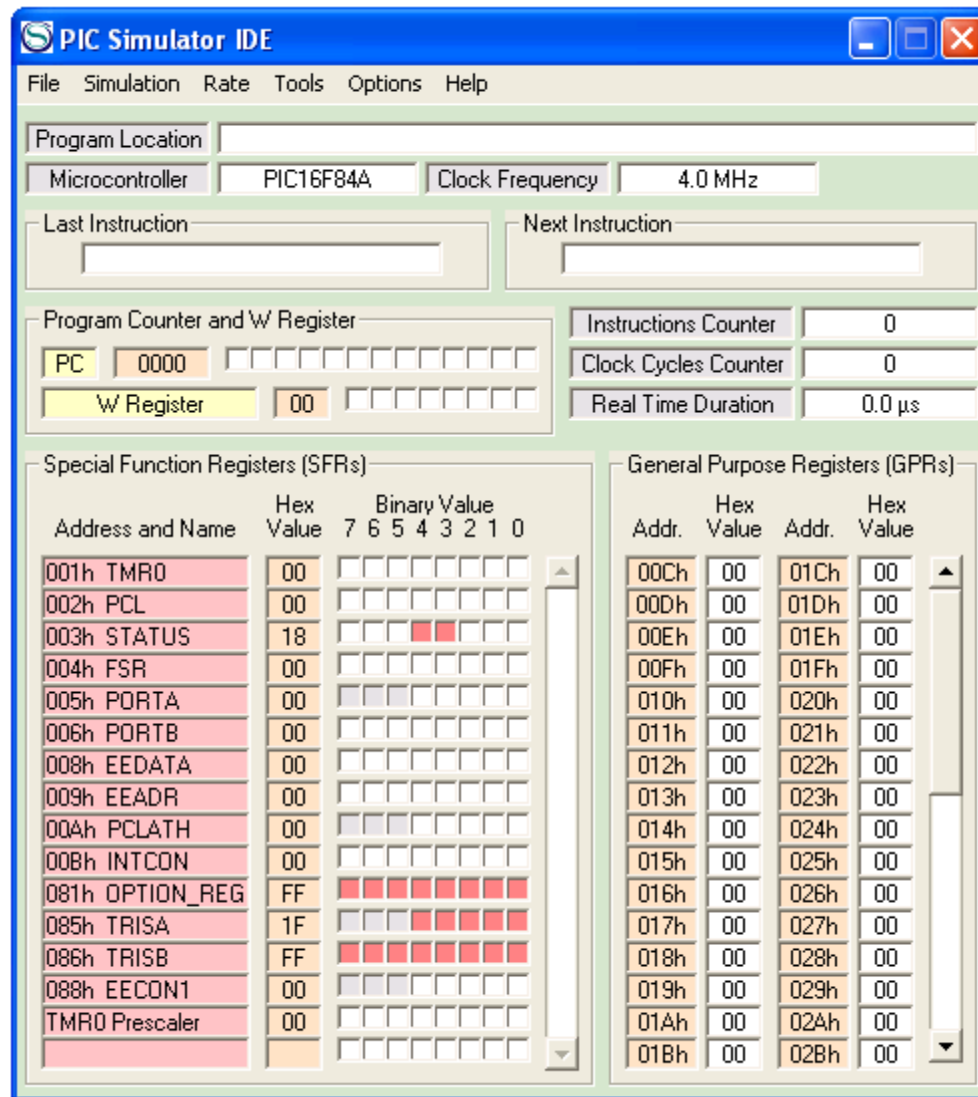
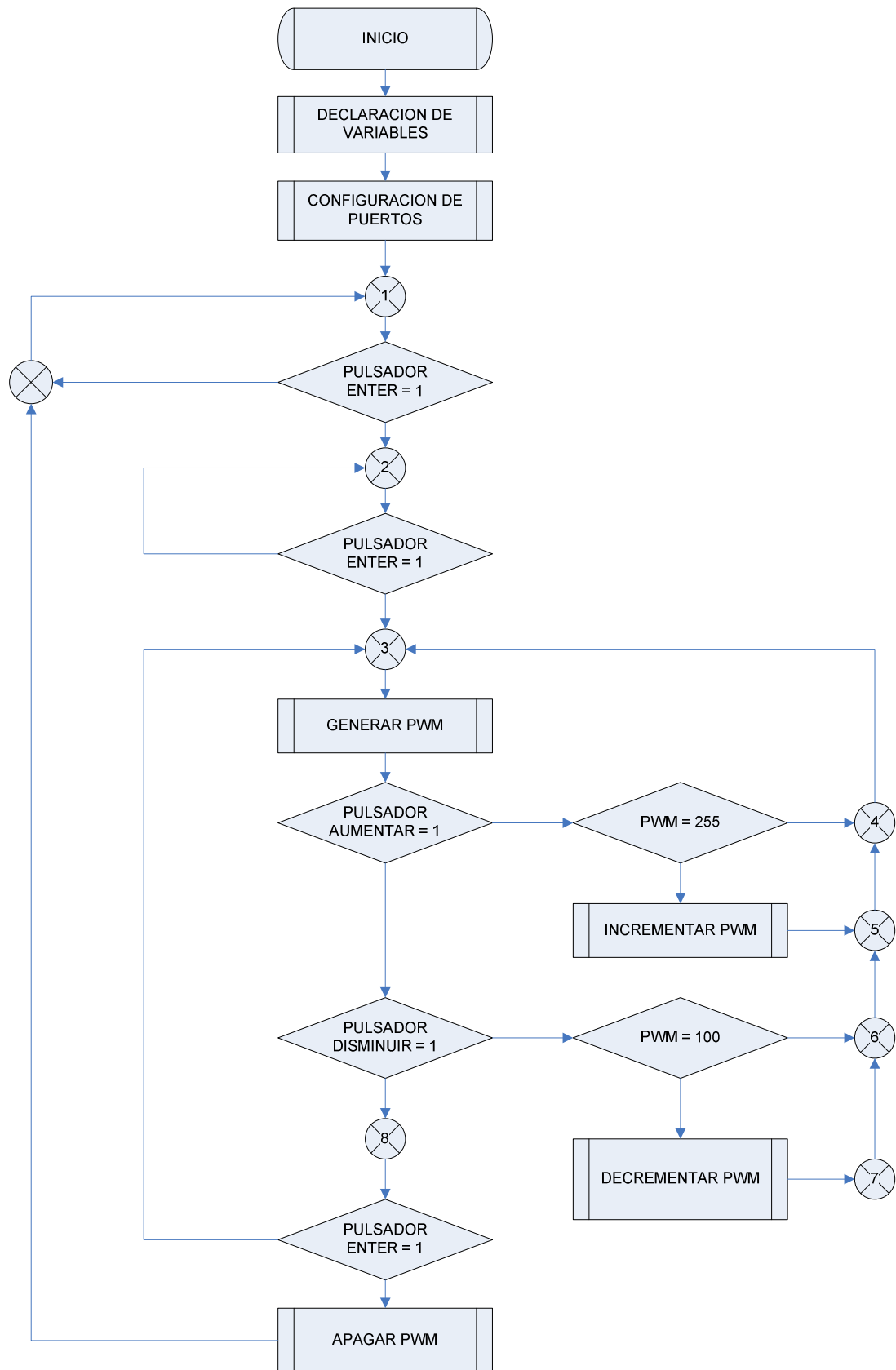


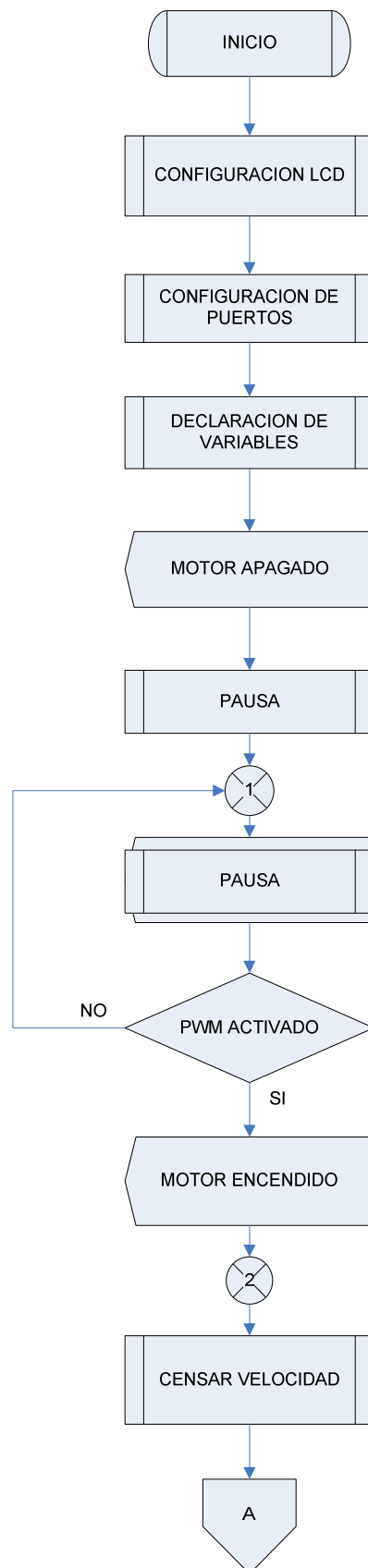
Fig. 3.1. Software usado para la programación del PIC16F84A.

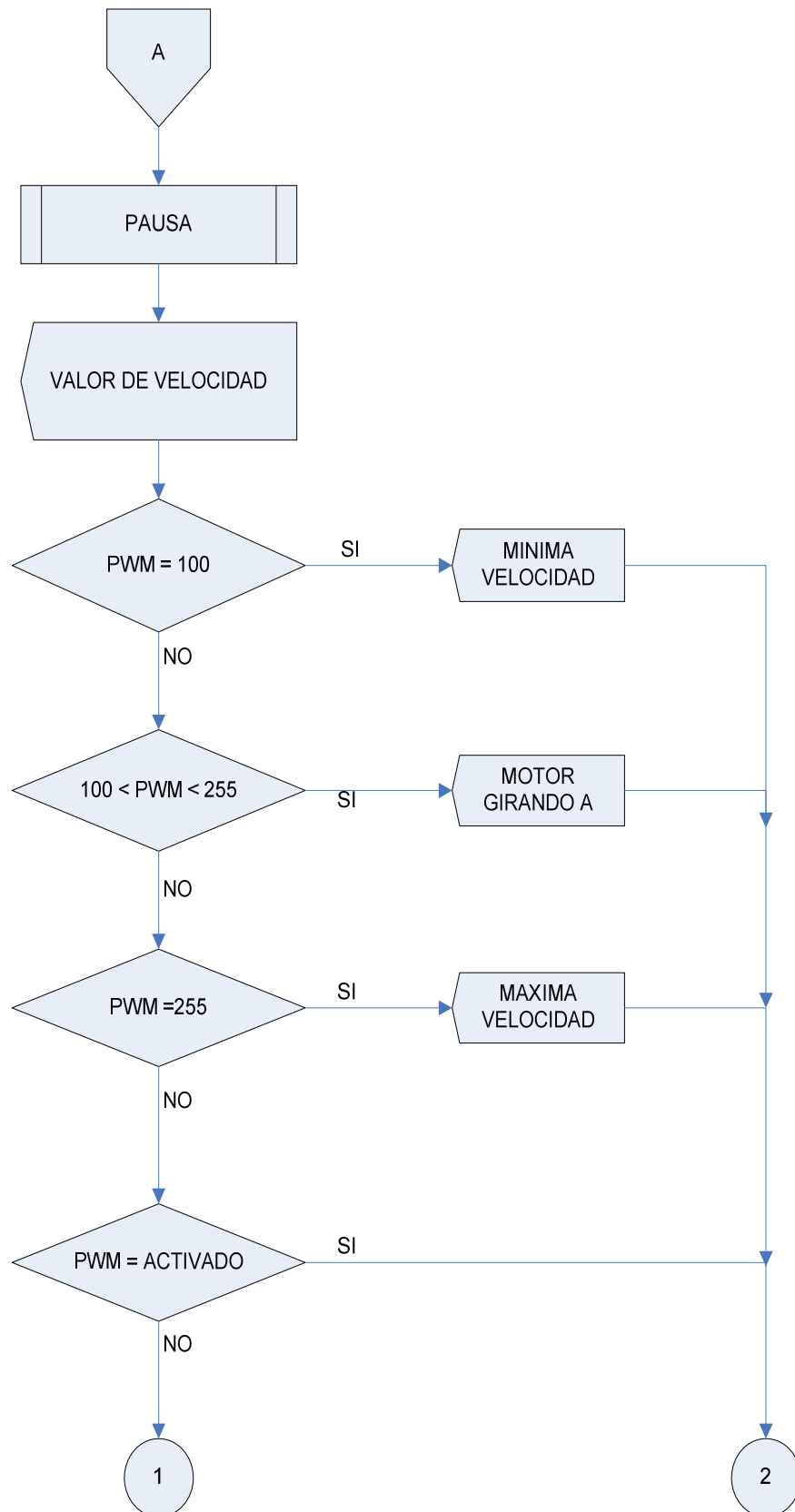
Antes de confeccionar un programa para un microcontrolador es necesario realizar un diagrama de flujo el cual facilitara la programación de los PICs a programarse.

### 3.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL VARIADOR DE VELOCIDAD



### 3.1.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL TACÓMETRO





### 3.1.3 PROGRAMA IMPLEMENTADO PARA EL VARIADOR DE VELOCIDAD

#### ' VARIADOR DE VELOCIDAD

Dim variador As Byte

Dim ancho As Byte

Dim esperar As Byte

Dim a As Byte

TRISB = %00000000

TRISA = %01101

PORTA = %00000

PORTB = %00010100

#### 'SISTEMA DE APAGADO DEL MOTOR

apagado:

PORTB = %00010100

If RA0 = 0 Then

Goto apagado

Else

Goto prender

Endif

prender:

If RA0 = 1 Then

Goto prender

Else

Goto empesar

Endif



## 'INICIO DEL NVARIADOR DE VELOCIDAD

empesar:

RB4 = 0

RB2 = 0

RB5 = 1

variador = 150

inicio:

a = 0

velocidad:

RB4 = 0

RB2 = 0

RB5 = 1

For esperar = 0 To 100 Step 1

ancho = 250 - variador

RB7 = 1

Waitus ancho

RB7 = 0

Waitus variador

## 'APAGADO DEL MOTOR

If RA0 = 1 Then

Goto verificar

Else

Goto continuar

Endif

'Si se pulsa ra1 apaga el motor

verificar:

If RA0 = 1 Then

Goto verificar

Else

Goto apagado

Endif

### 'EMVIAR SEÑAL CADA SEGUNDO AL TACOMETRO

continuar:

Next esperar

a = a + 1

If a = 40 Then Goto tacometro

'envia señal al tacometro cada segundo

If PORTA = %00100 Then Goto aumenta

'envia para aumentar el

'tiempo del alto del ancho de pulso

If PORTA = %01000 Then Goto mermar

'envia para disminuir el tiempo del

'bajo del ancho de

pulso

Goto velocidad

### 'SI SE HA PULSADO RA2 AUMENTA LA VELOCIDAD

aumenta:

If variador = 0 Then

Goto velocidad

Else

variador = variador - 1

Goto velocidad

Endif

### 'SI SE HA PULSADO RA3 MERMA LA VELOCIDAD

mermar:

If variador = 150 Then



### 3.1.4 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Este programa ha sido confeccionado para generar un PWM de una frecuencia de 4000 Hz además al prender el motor el ancho de pulso tiene un valor de 100  $\mu$ s lo cual le permite arrancar al motor a baja velocidad, al presionar el botón para aumentar o bajar la velocidad el ancho de pulso aumenta o disminuye según sea el caso 1  $\mu$ s cada 25 ms por lo que pasar el ancho de pulso desde su mínimo valor (100  $\mu$ s) hasta su máximo valor (250  $\mu$ s) en un tiempo aproximado de 6.250 segundos, esto significa que la velocidad del motor puede pasar de un extremo a otro en un tiempo de 6.250 segundos si el operador lo desease.

#### 3.1.4.1 Programa Implementado Para el Tacómetro

'TACOMETRO

'CONFIGURACION DEL LCD

Define LCD\_BITS = 4 'Configura al LCD para trabajar con cuatro líneas

Define LCD\_DREG = PORTB 'El LCD será manejado por el Puerto B del PIC

Define LCD\_DBIT = 4

Define LCD\_RSREG = PORTB

Define LCD\_RSBIT = 1

Define LCD\_EREG = PORTB

Define LCD\_EBIT = 3

Define LCD\_RWREG = PORTB

Define LCD\_RWBIT = 2

Define LCD\_COMMANDUS = 100

Define LCD\_DATAUS = 10

Define LCD\_INITMS = 1

Lcdinit

TRISA = %11101

### 'DECLARACION DE VARIABLES

Dim b As Word

Dim a As Word

Dim scan As Byte

apagado:

For scan = 0 To 1

    Lcdcmdout LcdClear

    Lcdout " MOTOR APAGADO "

    WaitUs 200

If RA3 = 0 Then Goto prendido

Next scan

Secuencia:

'Lcdcmdout LcdHome

    Lcdcmdout LcdLine1Home

    Lcdcmdout LcdShiftLeft

    Lcdout " VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC"

    WaitUs 300

    If RA3 = 1 Then Goto secuencia

prendido:

Lcdcmdout LcdClear

Lcdout " MOTOR PRENDIDO "

INTCON.INTE = 1

'Activa la interrupción RB0/INT

INTCON.GIE = 1

'Activa todas las interrupciones escogidas

primero:

a = 0

b = 0

iniciar:

If RA3 = 1 Then Goto apagado

If PORTA.0 = 1 Then

Goto sumar

Else

Goto iniciar

Endif

sumar:

a = a + 1

b = a \* 2

esperar:

If RA3 = 1 Then Goto apagado

If PORTA.0 = 0 Then

Goto iniciar

Else

Goto esperar

Endif

End

On Interrupt

If RA3 = 1 Then Goto apagado

Lcdcmdout LcdClear

Lcdcmdout LcdLine2Home

Lcdout " ", #b, " RPM "

If RA4 = 1 Then Goto minvel

```
If RA2 = 1 Then Goto maxvel  
Lcdcmdout LcdHome  
Lcdout " MOTOR GIRANDO A"  
Goto resum
```

minvel:

```
If RA3 = 1 Then Goto apagado  
Lcdcmdout LcdHome  
Lcdout "MINIMA VELOCIDAD"  
Goto resum
```

maxvel:

```
If RA3 = 1 Then Goto apagado  
Lcdcmdout LcdHome  
Lcdout "MAXIMA VELOCIDAD"  
Goto resum
```

resum:

```
a = 0  
b = 0  
INTCON.INTF = 0  
Resume
```

### **3.1.4.2 Descripción Del Programa Del Tacómetro**

Este programa ha sido realizado de tal que el operador tenga una buena información mediante el modulo LCD tanto del estado en que se encuentra el motor, si el sistema se encuentra energizado pero el motor se encuentra apagado además de mostrarse el led de un color rojo se mostrara en el LCD el siguiente mensaje :

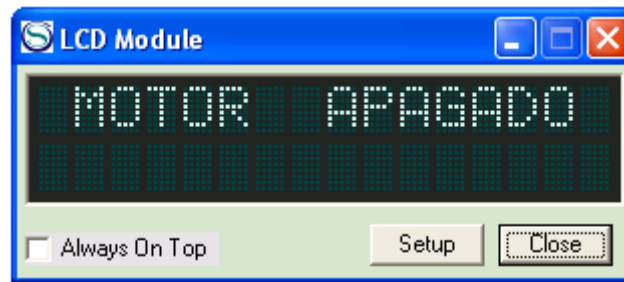


Fig. 3.2 Mensaje de aviso de motor apagado.

Este mensaje permanecerá durante 200 ms por lo que posteriormente empezara a correr de derecha a izquierda un mensaje que muestra el título de este proyecto, mostrándose de la siguiente manera:



Fig. 3.3. Recorrido de mensaje.



Fig. 3.4. Recorrido de mensaje.



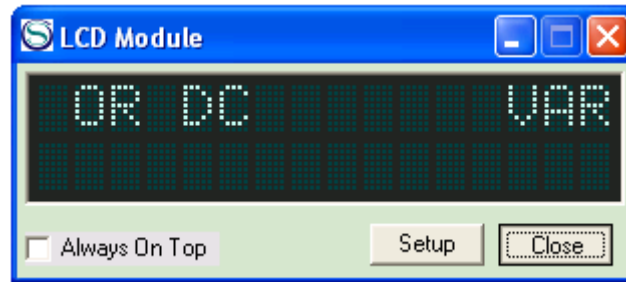


Fig. 3.5. Recorrido de mensaje.

De esta manera permanecerá mientras el motor permanezca apagado.

Pero al presionar y soltar el botón "ENTER" el motor arrancara en baja velocidad, el led indicador pasara de color rojo a color verde además el LCD mostrara durante un segundo el mensaje:

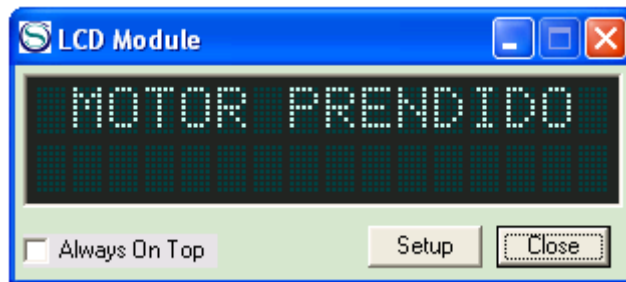


Fig. 3.6. Mensaje de motor prendido.

Seguido a esto se mostrara la velocidad a la que se encuentra el motor, pero además se da a conocer que esta es la mínima velocidad. Ejemplo:

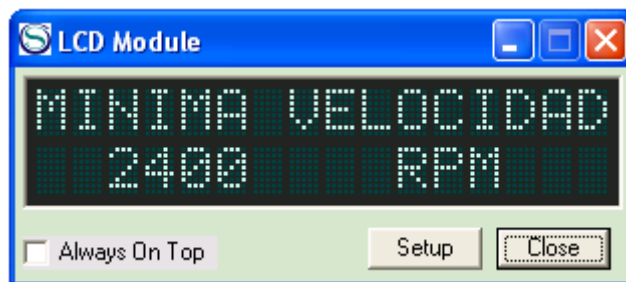


Fig. 3.7. Mínima Velocidad del Motor.

El valor de mínima velocidad no siempre será el mismo ya que este valor depende de la carga mecánica que se encuentre acoplada al eje del motor.

Al aumentar la velocidad del motor se seguirá mostrando el valor de la misma pero el mensaje mostrado por el LCD en su línea 1 cambiara tal como se muestra en el siguiente gráfico.

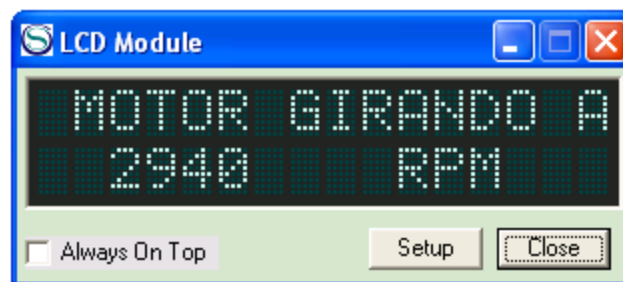


Fig. 3.8. Velocidad a la está girando el motor.

Al tener pulsado el botón para aumentar la velocidad hasta conseguir el máximo ancho de pulso consiguiendo, así la máxima velocidad del motor se podrá visualizar en el LCD un mensaje indicando que el motor ya ha conseguido su máxima velocidad. Ejemplo:



Fig. 3.9. Máxima velocidad del motor.

De igual manera al bajar la velocidad del motor se mostraran los mensajes expuestos anteriormente.

Estos dos programas han sido debidamente grabados en cada uno de los microcontroladores, que están designados a controlar todo el dispositivo de control del VARIADOR DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

- Los resultados técnicos y económicos de este proyecto son satisfactorios ya que concuerdan con lo deseado y lo previsto al inicio de este proyecto puesto que permitió obtener una variación fácil de la velocidad del motor de corriente continua.
- Este proyecto es de fácil manejo por lo que permite que el prototipo pueda ser operado por cualquier persona sin necesidad que esta tenga conocimiento técnicos.
- El prototipo ha momento de medir la velocidad presenta facilidad de lectura.
- La facilidad que presenta el prototipo para conocer la velocidad del motor permite un buen ajuste de la velocidad requerida.
- Aunque el motor es de corriente continua, tiene la ventaja de poder ser enchufado en cualquier tomacorriente ya sea industrial o domestico, ya que posee un rectificador de onda completa y además cuenta con un circuito regulador de voltaje.
- El prototipo puede trabajar durante un buen tiempo sin presentar inconveniente alguno puesto que se le ha implementado un buen sistema de enfriamiento.
- Es fácil conocer el estado del motor ya que estos son escaneados constantemente por los microcontroladores PIC16F84A.
- Bajo un correcto manejo del prototipo se garantiza su buen funcionamiento del sistema de control durante largo tiempo ya que los

fabricantes (MICROCHIP) de los microcontroladores de la familia PIC garantizan un perfecto funcionamiento de sus productos durante un tiempo estimado de 40 años.

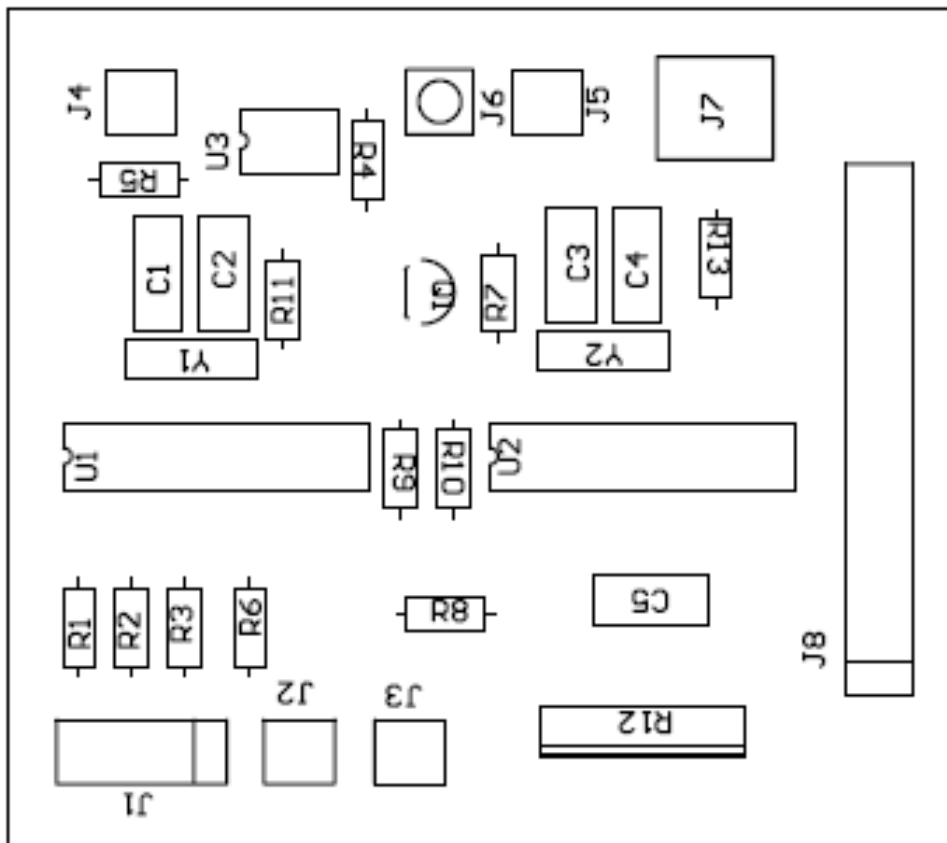
- Al operar el prototipo se puede observar que este puede pasar de mínima velocidad a máxima velocidad en 6.25 segundo, permitiendo de esta manera tener un buen control de la velocidad requerida por algún proceso en el que se encuentre trabajando dicho motor.
- En el presente se ha podido constatar que al motor de corriente continua, se le puede variar su velocidad mediante la técnica PWM.
- El voltaje  $V_{dc}$  de la señal PWM es directamente proporcional al ancho de pulso, por lo tanto la velocidad del motor DC es directamente proporcional al ancho de pulso.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable que al momento de soldar cada uno de los elementos al circuito impreso se inicie por los elementos más pequeños como resistencias y diodos y por último circuitos integrados y el LCD.
- Este módulo por ningún motivo se lo debe hacer funcionar sin que los elementos de potencia tengan su respectivo disipador de calor y el ventilador, puesto que estos se van a quemar después de unos minutos.
- En caso de quemarse el fusible se lo debe remplazar por uno que tenga las mismas características.
- Para mejorar este proyecto se recomienda, usar un microcontrolador que posea un modulo PWM incorporado, puesto que este modulo tiene mayor flexibilidad de trabajo y facilita la programación del microcontrolador.
- Para descargar un capacitor se lo debe de hacer con la ayuda de una resistencia, puesto que si no se lo hace de esta manera los condensadores se dañaran.
- Para arrancar motores de alta potencia ya sean de corriente continua o de corriente alterna se recomienda utilizar arrancadores suaves para que el motor no absorba demasiada corriente y así evitar daños.

## ANEXOS

## DIAGRAMA DE ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE CONTROL



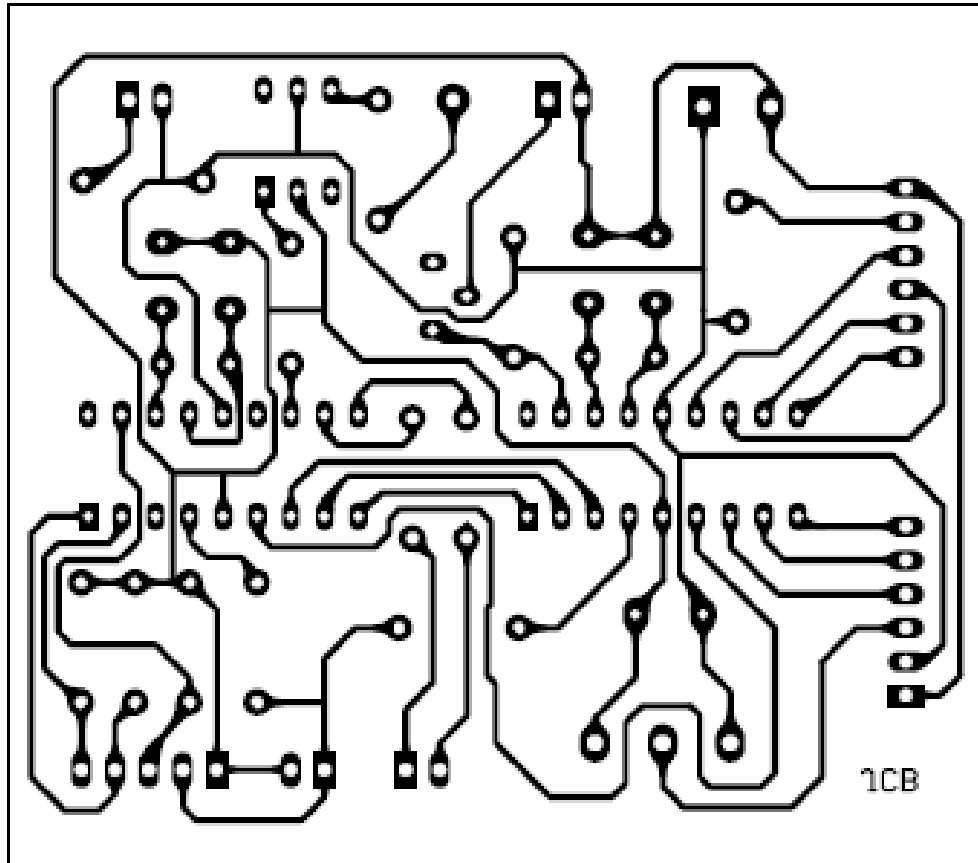
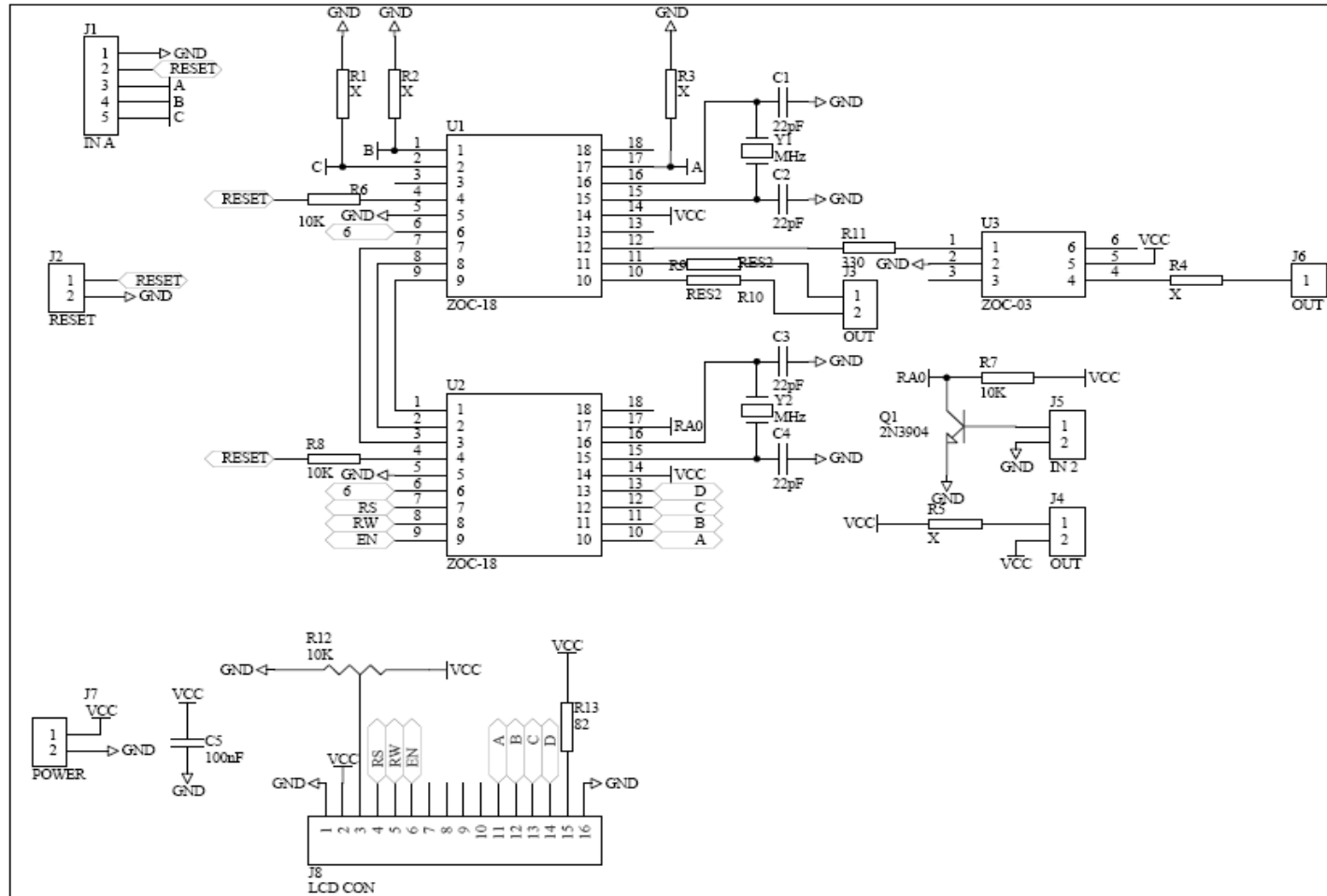
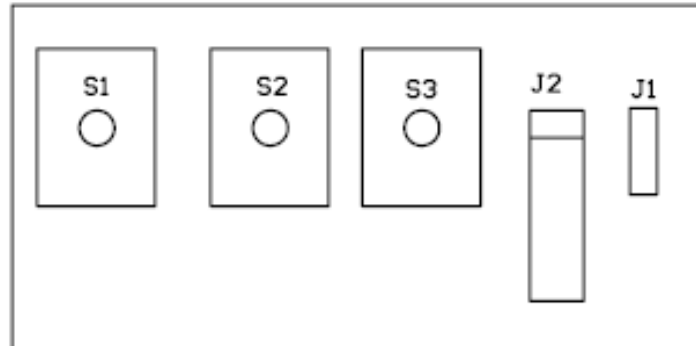
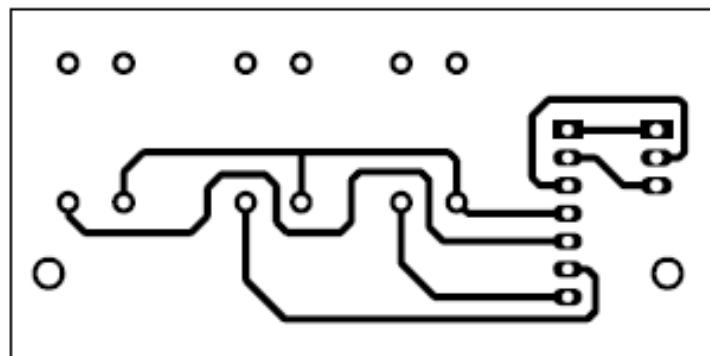
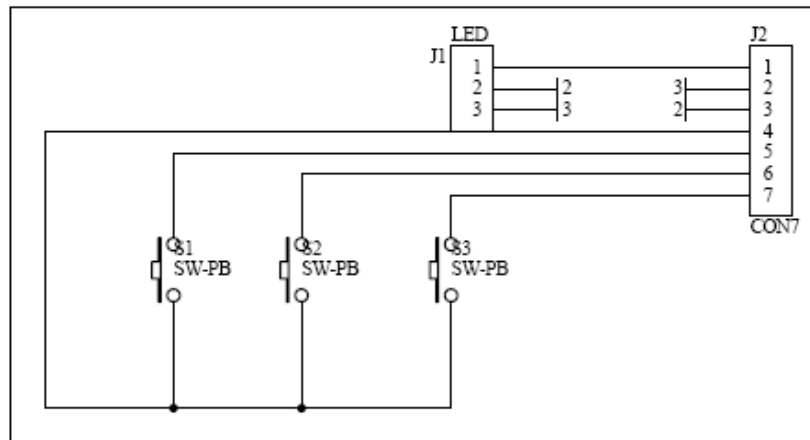
**CIRCUITO IMPRESO DEL CIRCUITO DE CONTROL**



DIAGRAMA CIRCUITAL DEL CIRCUITO DE CONTROL



**DIAGRAMA DE ELEMENTOS DEL CIRCUITO DE PULSADORES****CIRCUITO IMPRESO DEL CIRCUITO DE PULSADORES**

**DIAGRAMA CIRCUITAL DE CIRCUITO DE PULSADORES**

## BIBLIOGRAFÍA

- GONZALES V., José. (1992) Introducción a los Microcontroladores. Editorial McGraw-Hill, Madrid – España.
  
- MUHAMMAD H. RASHID Electrónica de Potencia.
  
- CARLOS A. REYES Aprenda rápidamente a programar Microcontroladores PIC.
  
- MARTINEZ P., Javier, BARRON R., Mariano. (1993) Prácticas Con Microcontroladores. Editorial McGraw-Hill, Madrid – España.
  
- PETER NORTON (1986) Técnicas y Programación Avanzada.
  
- CIARCIA, Steve (1985) Construya una Microcomputadora Mc Graw – Hill Book Co. Inc.
  
- ENCARTA Enciclopedia didáctica.
  - [http:// www.cursotanzili.com](http://www.cursotanzili.com)
  - [http:// www.microship.com](http://www.microship.com)
  - [http:// www.comunidadelectronicos.com](http://www.comunidadelectronicos.com)
  - [http:// www.lcdwriter.com](http://www.lcdwriter.com)
  - [http:// www.sochede.com](http://www.sochede.com)
  - [http:// www.booleanas.com](http://www.booleanas.com)

- [http:// www.Wikipedia.com](http://www.Wikipedia.com)
- <http://www.oshonsoft.com>