

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**CAMPUS GUSTAVO GALINDO, KM 30.5 VIA
PERIMETRAL**

**“PROGRAMA DE TECNOLOGIA EN ELECTRICIDAD Y
ELECTRONICA”**

TEMA:

**CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO DIDÁCTICO PARA
PRUEBAS DE MOTORES PASO A PASO USANDO
ENCODER Y MICROCONTROLADOR PIC.**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:**

TECNOLOGO EN ELECTRONICA

AUTOR:

ISMAEL SANTIAGO RAMÍREZ CAMPUZANO

Email: isramire@espol.edu.ec

DIRECTOR:

ING. HECTOR PLAZA

Email: hplaza@espol.edu.ec

**GUAYAQUIL - ECUADOR
AÑO 2014**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**CAMPUS GUSTAVO GALINDO, KM 30.5 VIA
PERIMETRAL**

**“PROGRAMA DE TECNOLOGIA EN ELECTRICIDAD Y
ELECTRONICA”**

TEMA:

CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO DIDÁCTICO PARA
PRUEBAS DE MOTORES PASO A PASO USANDO
ENCODER Y MICROCONTROLADOR PIC.

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:**

TECNOLOGO EN ELECTRONICA

AUTOR:

ISMAEL SANTIAGO RAMÍREZ CAMPUZANO
Email: isramire@espol.edu.ec

DIRECTOR:

ING. HECTOR PLAZA
Email: hplaza@espol.edu.ec

**GUAYAQUIL - ECUADOR
AÑO 2014**

DEDICATORIA

En primer lugar deseo dedicarle a Dios, él Creador de la creación por la vida maravillosa que me ha dado, la salud para llegar a este momento, sobre todo la perseverancia que día a día me ha brindado motivos y fortalezas para seguir adelante.

Dedico a mis padres y hermanos que gracias a sus esfuerzos, consejos y demás han sido mi apoyo constante. Y me han brindado a diario conocimiento intelectual y espiritual.

Dedico a mis tíos, primos y demás familiares que aportaron con su granito de arena, quienes con su alegría fueron motivación constante para la finalización de este informe.

Dedico al Ing. Edison López, al Ing. Héctor Plaza y al Lic. Camilo Arellano, quienes me han brindado siempre su afecto, ayuda, motivación y con sus palabras de estímulo pude ir avanzando con mis estudios universitarios para poder llegar hoy a este gran logro, que es tan necesario para alcanzar mis metas.

Le dedico este gran logro al Ms. Nelson Paz Ruiz, al Ms. Edwin Tamayo y a la Anal. Julia Villacreses, quienes han sido siempre un apoyo incondicional, una guía en el tortuoso camino de la vida universitaria, una fuente inagotable de amor y sabiduría para todos los que estamos cerca y tenemos la gran dicha de ser parte de sus vidas.

Le dedico a los docentes de la ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral) por transmitirme sus conocimientos y quienes han sido una luz de esperanza en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar deseo expresar mi profundo agradecimiento a DIOS por haberme permitido estar con vida en este mundo, para así ser guiado y acompañado por él siempre, ya que nada se puede realizar si no es bajo su voluntad, que a pesar de los momentos difíciles, mis respuestas negativas y debilidades me ha levantado después de cada caída, dándome entendimiento y las fuerzas necesarias para sobrellevar la vida día a día y darme la oportunidad en este momento de sustentar mi proyecto de graduación previo a la obtención de mi título.

Quiero agradecer, a la ESPOL por brindarme la formación académica y abrirme las puertas para poder alcanzar este gran paso que me propuse ya hace un par de años, también agradezco a cada uno de los profesores que me compartieron sus conocimientos adquiridos y que de una u otra manera contribuyeron para mi formación profesional, moral y ética; y de manera muy especial al Ing. Edison López y Ing. Héctor Plaza, porque me esperaron y me instruyeron toda paciencia, ya que gracias a sus consejos, enseñanzas y sabias orientaciones me enrumbo poco a poco para alcanzar la culminación de este proyecto de graduación.

Agradezco, a mis padres y hermanos, quienes siempre tuvieron confianza y preocupación en mí y me alentaron a mantenerme en pie cada uno a su entender, hasta en los momentos de mayor flaqueza.

Agradezco, a mis abuelos, al señor Nicasio Campuzano y la señora Valeriana Molina quienes fueron una fuente de apoyo, motivación, sostén y consuelo, los cuales son ejemplos de vida para mí y cualquier persona.

Agradezco, a mis tíos, tías y primos quienes fueron un gran apoyo incondicional y aunque ellos no podían tomar decisiones, nunca dejaron por exhortarme a seguir siempre adelante sin importar las adversidades. Y estuvieron a mi lado por más ingrato que fuera con ellos.

Agradezco a Julio Arévalo, a Pablo Aquino, a Alfonso Guerra y a todas aquellas personas que de una u otra manera, estuvieron para brindarme su ayuda sincera, aconsejarme, compartir sus herramientas y sus conocimientos cuando lo necesitaba. Y me permitieron compartir momentos de alegría y tristeza.

Finalmente agradezco, a todos aquellos compañeros y compañeras que a lo largo de este extenso camino me tendieron su mano, me apoyaron en todo sentido.

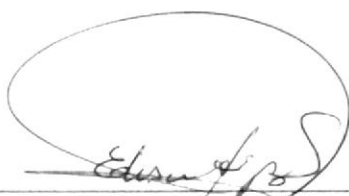
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Lcdo. Camilo Arellano A.
PRESIDENTE



Ing. Héctor Plaza V.
DIRECTOR DEL PROYECTO
DE GRADUACIÓN

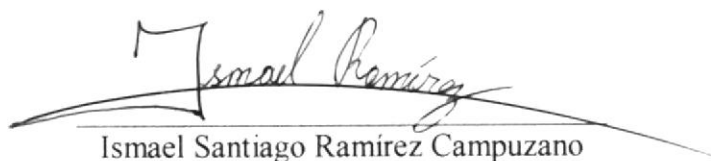


Ing. Edison López S.
VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del conocimiento de este proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la EPOL)



Ismael Santiago Ramirez Campuzano



RESUMEN

El propósito de este proyecto se basa en la necesidad de controlar los motores paso a paso, ya sea para tareas domésticas o industriales, por esta razón se hace necesario implementación de un equipo didáctico para pruebas de motores paso a paso, usando un encoder incremental y un microcontrolador PIC de gama media (**PIC16F887**) fabricado por la empresa MICROCHIP Technology INC, que permita establecer los siguientes especificaciones:

- Selección de giro de un cierto ángulo.
- Selección de giro de una cierta velocidad.
- Medición y presentación en la pantalla LCD de un ángulo que ha girado el motor.
- Medición y presentación en la pantalla LCD de la velocidad de giro del motor.

El microcontrolador **PIC16F887** es el que realiza la función de control del motor paso a paso. Este microcontrolador utilizara los siguientes componentes asociados para realizar dicha función:

- **Un pulsador para encender y apagar**, el cual permite al usuario encender el hardware para que empiece a funcionar y apagarlo para que deje funcionar, cada encendido y apagado se visualizara mediante un diodo led rojo.
- **Un pulsador para reset**, el cual permite al usuario reiniciar el funcionamiento del sistema cuando sea necesario, un “comienzo a funcionar desde cero”.
- **Un pulsador para el sentido de giro del motor**, el cual permite elegir o seleccionar al usuario el giro en sentido horario (giro hacia derecha) y giro en sentido anti-horario (giro hacia la izquierda) para el motor, cada selección de giro será ingresada y visualizado en la pantalla LCD.
- **Un pulsador con el nombre aceptar**, el cual permite funcionar o poner en marcha el motor con la velocidad, ángulo y sentido de giro que se halla elegido o ingresado en la pantalla LCD.
- **Un pulsador para la velocidad del motor**, el cual permite establecer la velocidad, a la vez ingresarla y visualizarla en la pantalla LCD.
- **Un pulsador para aumento o incremento de velocidad del motor**, el cual permite aumentar o poner más alta la velocidad, cada aumento de velocidad será visualizada en la pantalla LCD.
- **Un pulsador para disminución o decremento de velocidad del motor**, el cual permite disminuir o poner más baja la velocidad, cada disminución de velocidad será visualizada en la pantalla LCD.
- **Un pulsador para el ángulo del motor**, el cual permite establecer el ángulo, a la vez ingresarlo y visualizarlo en la pantalla LCD.
- **Un pulsador para aumento o incremento del ángulo del motor**, el cual permite aumentar o poner más alto el ángulo, cada aumento del ángulo será visualizado en la pantalla LCD.
- **Un pulsador para disminución o decremento del ángulo del motor**, el cual permite disminuir o poner más bajo el ángulo, cada disminución de ángulo será visualizado en la pantalla LCD.
- **Una pantalla LCD**, donde se podrá ingresar y visualizar la selección de giro y las mediciones de las velocidades y ángulos.

El microcontrolador PIC16F887 es usado para controlar el motor paso a paso, pero no es capaz de generar la corriente suficiente para excitar las bobinas del motor paso a paso, por esta razón utilizaremos el integrado ULN2003AN para realizar la conexión del motor paso a paso al microcontrolador a través de este integrado. El microcontrolador será encargado de generar una señal digital de límite de corriente de fase a las entradas TTL del integrado ULN2003AN para generar la secuencia de activación del motor paso a paso. Las salidas de este integrado se conectan a las bobinas del motor para conseguir la corriente necesaria para que este se ponga en funcionamiento.

El PIC16F887 será cargado o programado con el software **PICKIT 2 Programmer** de MPLAB para que funcione y realice el control del motor paso a paso, debido a que todo PIC necesita ser programado con el programa de control en código hexadecimal para controlar el funcionamiento de una tarea determinada. El código hexadecimal tiene que tener la terminación “hex” y también se lo llama código máquina.

El programa para el **PIC16F887** será escrito “editado” en el compilador PIC C de CCS, para así generar un archivo con extensión c y procederlo a compilar para “ensamblar” o convertir este archivo con extensión c en archivo con extensión hex con el objetivo de cargarlo en el PIC, debido a que es un software que nos permite desarrollar programas en lenguaje C enfocado a PIC y también nos permite “simular” el funcionamiento del programa para detectar errores y corregirlos.

La velocidad y ángulo que los usuarios ingresen en la pantalla LCD, se aplicara al encoder y al motor paso a paso, debido a que su eje va unido con el encoder incremental.

El presente proyecto constará de varios capítulos. Donde se definen y se detallan los requerimientos, las herramientas de hardware utilizadas, construcción de los circuitos electrónicos y las pruebas realizadas. También todo el diseño y la implementación del proyecto, se detallaran los componentes seleccionados.

Palabras claves: Encoder Incremental, Microcontrolador, PIC C.

INDICE GENERAL

CONTENIDO.....	PAG.....
-----------------------	-----------------

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
TRIBUNAL DE SUSTENTACION.....	iii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iv
RESUMEN.....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE TABLAS.....	xviii
SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	xxi

CAPITULO 1: ESPECIFICACIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

1.1 Descripción de las especificaciones.....	2
1.1.1 Selección de giro del motor.....	2
1.1.2 Selección de giro del motor de un cierto ángulo.....	3
1.1.3 Selección de giro del motor de una cierta velocidad.....	4
1.1.4 Medición y presentación en la pantalla LCD del ángulo que ha girado el motor.....	5
1.1.5 Medición y presentación en la pantalla LCD de la velocidad de giro del motor.....	6
1.2 Conceptos básicos del Microcontrolador PIC y sus componentes asociados.....	7
1.2.1 Microcontrolador PIC.....	7
1.2.1.1 Microcontrolador PIC16F887.....	8
1.2.1.2 Componentes asociados al Microcontrolador PIC16F887.....	12
1.2.1.2.a Las Resistencias.....	12
1.2.1.2.b Diodo LED.....	13
1.2.1.2.c Interruptores y pulsadores.....	13
1.2.1.2.d Visualizador LCD.....	13
1.2.1.2.e Integrado ULN2003AN.....	15
1.3 Componentes adicionales.....	16
1.3.1 Motor paso a paso (step motor).....	16
1.3.1.1 Motores pasó a paso de imán permanente.....	17
1.3.1.1.1 Motores paso a paso de imán permanente	

Unipolares.....	19
1.3.1.1.1 Motor paso a paso unipolar KP4M4-001.....	25
1.3.2 Encoder.....	27
1.3.2.1 Encoders ópticos.....	28
1.3.2.1.1 Encoder rotatorio.....	28
1.3.2.1.1.1 Encoder incremental rotatorio.....	31
1.3.2.1.1.2 Descripción del Encoder incremental rotatorio Utilizado.....	35
CAPITULO 2: HERAMIENTAS DE SOFTWARE UTILIZADAS.....	38
2.1 Fundamento Teórico.....	38
2.2 Descripción del Software PROTEUS.....	38
2.2.1 Diseño del circuito electrónico del presente proyecto.....	39
2.2.1.a Simulación del circuito electrónico del presente proyecto.....	45
2.2.1.b Generación del PCB (Print Circuit Board) para el circuito electrónico del presente proyecto.....	47
2.2.1.1 Realización del diseño de la PCB.....	51
2.2.1.1.1 Impresión del PCB del presente proyecto.....	58
2.3 Software compilador PIC C compiler de CCS.....	61
2.3.1 Generación del archivo con extensión .HEX.....	62
2.4 SOFTWARE PICKIT 2 Programmer.....	69
2.4.1 Programación del microcontrolador PIC (PIC16F887).....	70
2.4.1.1 Pasos para programar el microcontrolador PIC (PIC16F887) desde el Software PICKIT 2 Programmer.....	71
CAPITULO 3: CONSTRUCCION DEL EQUIPO DIDACTICO PARA CONTROL DE MOTOR DE PASO.....	80
3.1 Diseño del circuito electrónico para controlar el Motor Paso a Paso.....	81
3.1.1 Circuito de Control.....	81
3.1.1.1 Polarización del Microcontrador PIC (PIC16F887).....	81
3.1.1.2 Dispositivo de Entrada “Encoder Incremental”.....	82
3.1.1.3 Dispositivo de Entrada “Pulsadores”.....	84
3.1.1.4 Dispositivo de Salida “Visualizador LCD”.....	86
3.1.1.5 Dispositivo de Salida “Diodo led”.....	88
3.1.2 Circuito de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso.....	90
3.2 Fuente de Alimentación.....	92
3.2.1 Esquema y componentes de la fuente de alimentación.....	104
3.3 Circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.....	105
3.4 Conexiones y montajes de los componentes electrónicos.....	107
3.4.1 Elaboración de los circuitos impresos.....	107
3.4.1.1 Circuito impreso (PCB) para circuito electrónico para	

controlar el motor paso a paso del presente proyecto.....	107
3.4.1.2 Circuito impreso (PCB) para el circuito electrónico de la fuente de alimentación.....	109
3.4.2 Montaje de los componentes electrónicos.....	112
3.4.2.1 Montaje de los componentes electrónicos en la placa circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.....	112
3.4.2.2 Montaje de los componentes electrónicos en la placa circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto.....	114
3.4.2.3 Montaje de los componentes electrónicos del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.....	115
3.4.3 Ensamblaje del equipo didáctico para controlar motores paso a paso.....	116
 CAPITULO 4: PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	121
4.1 Manual de usuario.....	140
4.1.1 Modo de uso del equipo didáctico.....	143
4.2 Pruebas del equipo didáctico.....	124
4.3 Resultados.....	126
 CONCLUSIONES.....	129
 RECOMENDACIONES.....	131
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
 ANEXOS.....	134
ANEXO A: HOJAS DE DATOS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS.....	134
ANEXO B: CODIGO FUENTE.....	140
ANEXO C: Fabricación Físicamente de placa del circuito electrónico (Figura 3-19) del presente proyecto y de la fuente de alimentación (Figura 3-50) en forma casera por transferencia térmica.....	146
ANEXO D: La identificación de los cables de los leds y fototransistores que se encuentran internamente en la capsula del sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI.....	150

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Figura 1-1:	Pulsador para ingresar el sentido de giro en la pantalla LCD.....	3
Figura 1-2:	Sentido de giro DER en la pantalla LCD.....	3
Figura 1-3:	Sentido de giro IZQ en la pantalla LCD.....	3
Figura 1-4:	Pulsador para ingresar el ángulo.....	4
Figura 1-5:	Ángulo ingresado en la pantalla LCD.....	4
Figura 1-6:	Pulsador para aumentar el ángulo.....	4
Figura 1-7:	Ángulo aumentado en la pantalla LCD.....	4
Figura 1-8:	Pulsador para disminuir el ángulo.....	4
Figura 1-9:	Ángulo disminuido en la pantalla LCD.....	4
Figura 1-10:	Pulsador para ingresar la velocidad.....	5
Figura 1-11:	Velocidad ingresada en la pantalla LCD.....	5
Figura 1-12:	Pulsador para aumentar la velocidad.....	5
Figura 1-13:	Velocidad aumentada en la pantalla LCD.....	5
Figura 1-14:	Pulsador para disminuir la velocidad.....	5
Figura 1-15:	Velocidad disminuida en la pantalla LCD.....	5
Figura 1-16:	Ángulo medido y presentado en la pantalla LCD.....	6
Figura 1-17:	Pulsador para empezar a girar el motor.....	6
Figura 1-18:	Velocidad medida y presentada en la pantalla LCD.....	6
Figura 1-19:	Sistema de un Microcontrolador.....	7
Figura 1-20:	Microcontrolador PIC16F887.....	8
Figura 1-21:	Encapsulado DIP-40.....	8
Figura 1-22:	Diagrama de bloques del PIC16F887.....	8
Figura 1-23:	Diagrama de pines.....	10
Figura 1-24:	Resistencia.....	12
Figura 1-25:	Diodo LED y sus terminales.....	13
Figura 1-26:	Interruptora.....	13
Figura 1-27:	Pulsador SPST.....	13
Figura 1-28:	Visualizador LCD 2X16.....	14
Figura 1-29:	Pantalla LCD 2X16.....	15
Figura 1-30:	Driver ULN2003AN.....	16
Figura 1-31:	Proceso de transformación de energía de un motor.....	17
Figura 1-32:	Esquema de bobinas de un motor paso a paso bipolar.....	18
Figura 1-33:	Esquema de bobinas de un motor paso a paso unipolar (cinco hilos o cables de salida).....	19
Figura 1-34:	Esquema de bobinas de un motor paso a paso unipolar (seis hilos o cables de salida).....	19
Figura 1-35:	Esquema de bobinas de un motor paso a paso unipolar (ocho hilos o cables de salida).....	19
Figura 1-36:	Esquema de uso del ULN2003 para controlar un motor paso a paso unipolar de imán permanente.....	20
Figura 1-37:	Esquema de uso de los transistores de potencia para controlar un motor paso a paso unipolar de imán permanente.....	21
Figura 1-38:	Motor paso a paso unipolar de imán permanente.....	25
Figura 1-39:	Dimensiones externas del motor paso a paso unipolar de imán permanente.....	26
Figura 1-40:	Identificación de las bobinas de un motor paso a paso unipolar.....	27

Figura 1-41:	Esquema de conexiones de motor paso a paso KP4M4-001.....	27
Figura 1-42:	Disco con ranuras y huecos transparentes para encoder incremental.....	29
Figura 1-43:	Fototransistor.....	29
Figura 1-44:	Esquema del encoder incremental.....	29
Figura 1-45:	Disco con ranuras y huecos transparentes para encoder absoluto.....	30
Figura 1-46:	Esquema del encoder absoluto.....	30
Figura 1-47:	Principio de funcionamiento de los encoders de posición absolutos.....	30
Figura 1-48:	Señal A en forma cuadrada.....	31
Figura 1-49:	Disco con una pista de ranuras.....	31
Figura 1-50:	Desfase de 90° entre la señal A y B.....	31
Figura 1-51:	Negada de las señales.....	32
Figura 1-52:	Sentido de giro del encoder.....	32
Figura 1-53:	Cápsula del fotosensor H21A (dispositivo óptico emisor/receptor).....	33
Figura 1-54:	Cápsula del fotosensor L7849/TI (dispositivo óptico emisor/receptor).....	33
Figura 1-55:	Cápsula del fotosensor MOC70T3 (dispositivo óptico emisor/receptor).....	33
Figura 1-56:	Ejemplo de aplicación del sensor L7849/TI.....	34
Figura 1-57:	Esquema de conexión del sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI AN.....	34
Figura 1-58:	Encoder incremental rotatorio.....	36
Figura 1-59:	Disco con dos pistas de ranuras.....	36
Figura 2-1:	Imagen inicial de PROTEUS.....	38
Figura 2-2:	Representación de ISIS.....	39
Figura 2-3:	Representación de VSM.....	39
Figura 2-4:	Representación de ARES.....	39
Figura 2-5:	Entorno de trabajo PROTEUS (fuente: Labcenter Electronics).....	39
Figura 2-6:	Pantalla del subentorno ISIS para diseño de los circuitos electrónicos analógicos.....	40
Figura 2-7:	Barra de componentes y dibujo.....	40
Figura 2-8:	Modo de componentes.....	40
Figura 2-9:	Botón "Pick".....	40
Figura 2-10:	Ventana para la edición y selección de componentes.....	40
Figura 2-11:	Componente escogido en la ventana de edición y selección de componentes.....	41
Figura 2-12:	Lista de componentes transferidos o añadidos.....	41
Figura 2-13:	Elementos pegados en el espacio de trabajo.....	42
Figura 2-14:	Selección y orientación del componente.....	42
Figura 2-15:	Barra de rotación y reflexión.....	42
Figura 2-16:	Modo terminal.....	42
Figura 2-17:	Unión eléctrica a través de terminales y cables.....	43
Figura 2-18:	Circuito electrónico de control de motores Paso a Paso para la construcción física del equipo didáctico del proyecto de graduación.....	43
Figura 2-19:	Identificación de los terminales del conector del sensor L7849/TI y del encoder utilizado.....	45
Figura 2-20:	Aparición nueva de la pantalla nueva de edición de componentes sobre el microcontrolador.....	46
Figura 2-21:	Directorio de búsqueda para abrir el archivo hexadecimal.....	46
Figura 2-22:	Simulación del circuito electrónico para la construcción física del hardware del proyecto de graduación.....	47
Figura 2-23:	Pantalla del subentorno ARES para diseño de PCB.....	48
Figura 2-24:	Componente BUTTON sin elemento para PCB.....	48

Figura 2-25:	Componente LM016L con elemento para PCB.....	49
Figura 2-26:	Esquema del circuito electrónico de control de Motores de Paso modificado para creación de la placa PCB.....	49
Figura 2-27:	Pantalla del subentorno ARES con los elementos en <i>Components</i> para diseño de PCB.....	51
Figura 2-28:	Selección del la capa Board Edge.....	51
Figura 2-29:	Parte superior de la pantalla ARES.....	52
Figura 2-30:	Parte inferior de la pantalla ARES.....	52
Figura 2-31:	Cursor o puntero del mouse (lápiz blanco) en el área de trabajo.....	52
Figura 2-32:	Movimiento del cursor (lápiz blanco) hacia otro extremo.....	52
Figura 2-33:	Rectángulo definido con sus lados medidos en el área de trabajo.....	53
Figura 2-34:	Componentes transferidos o añadidos dentro de COMPONENTS	53
Figura 2-35:	Barra herramientas de rotación de ARES.....	53
Figura 2-36:	Elementos colocados y pegados de la mejor manera en el espacio de trabajo.....	54
Figura 2-37:	Ajuste del diámetro de las islas de las Resistencias.....	54
Figura 2-38:	Ajuste de las islas del PIC16F887 (U1).....	55
Figura 2-39:	Ajuste de las islas del ULN2003A (U2).....	55
Figura 2-40:	Muestra de los elementos en el <i>footprint</i>	55
Figura 2-41:	Par 1 escogido con Bottom Copper y Top Copper esogido en el Net Classes Power.....	56
Figura 2-42:	Par 1 escogido con Bottom Copper y Top Copper esogido en el Net Classes Signal.....	56
Figura 2-43:	Ventana Shape Based Auto Router para la opción de inicio de ruteo.....	57
Figura 2-44:	Inicio de ruteo para el PCB del presente proyecto.....	57
Figura 2-45:	PCB del presente proyecto.....	58
Figura 2-46:	Procediendo a imprimir el PCB.....	58
Figura 2-47:	Configuración para imprimir las pistas de la segunda cara.....	59
Figura 2-48:	Configuración para imprimir las pistas de la primera cara.....	59
Figura 2-49:	Impresión de las 2 caras del circuito impreso (PCB) del circuito electrónico del presente proyecto.....	60
Figura 2-50:	Impresión del screen de los elementos de la primera cara.....	61
Figura 2-51:	Icono correspondiente a PIC C compiler.....	61
Figura 2-52:	Entorno de trabajo PIC C Compiler.....	62
Figura 2-53:	Ejecución del programa PIC C compiler.....	62
Figura 2-54:	Pantalla de inicio del programa PIC C compiler.....	63
Figura 2-55:	Menú con comandos para el manejo de los ficheros.....	63
Figura 2-56:	Submenú con subcomandos del comando NEW	64
Figura 2-57:	Ventana para especificar el lugar de destino o el lugar para guardar el código fuente.....	64
Figura 2-58:	Unidad D ((D:)) especificada para guardar el código fuente en la carpeta Proy Motor Paso creada en esta unidad.....	64
Figura 2-59:	Carpeta Proy Motor Paso abierta y del código fuente (Código Motor Paso).....	65
Figura 2-60:	Nueva ventana en blanco para digitar el código fuente.....	65
Figura 2-61:	Código fuente digitado en la nueva ventana en blanco.....	65
Figura 2-62:	Procediendo a la compilación del Código fuente guardado con extensión .c	66
Figura 2-63:	Ventana de compilación del código fuente guardado con extensión .c	66
Figura 2-64:	Mensaje de compilación en la ventana colocada en la parte inferior.....	67

Figura 2-65:	Mensaje de compilación exitosa.....	67
Figura 2-66:	Mensaje de errores de compilación en la ventana colocada en la parte inferior.....	67
Figura 2-67:	Carpeta creada con el nombre Proy Motor Paso en la unidad D (D:) ...	68
Figura 2-68:	Archivos generados con diferentes extensiones dentro de la carpeta Proy Motor Paso	68
Figura 2-69:	Iconos de los archivos generados con diferentes extensiones.....	68
Figura 2-70:	Icono del archivo generado con extensión .hex	69
Figura 2-71:	Instalador correspondiente al software PICKIT 2.....	69
Figura 2-72:	Icono correspondiente al PICKIT 2.....	69
Figura 2-73:	Entorno del PICKIT 2.....	69
Figura 2-74:	Configuración para grabar microcontroladores PIC con medios reducidos.....	70
Figura 2-75:	Programador PICKit™ 2	71
Figura 2-76:	Configuración para grabar microcontroladores PIC con medios reducidos o circuito de la Figura 2-79 ensamblado.....	71
Figura 2-77:	Diagrama de pines del programador PICKit™ 2	71
Figura 2-78:	Elementos del programador PICKit 2.....	72
Figura 2-79:	Diagrama general de conexión del PICKit 2-microcontrolador PIC.....	72
Figura 2-80:	Puertos USB.....	73
Figura 2-81:	Cable de conexión habitual para el programador PICKit™ 2	73
Figura 2-82:	Programador PICKit™ 2 conectado a la computadora.....	73
Figura 2-83:	Led encendido al conectar el programador PICKit™ 2 a la computadora.....	73
Figura 2-84:	Pantalla del Software PICKit 2 demostrando que el programador PICKit 2 y el PIC16F887 han sido detectados automáticamente.....	74
Figura 2-85:	Mensaje para verificar si se detecta automáticamente el programador PICKit 2 y el PIC.....	74
Figura 2-86:	Voltaje marcado en el área Device VDD	75
Figura 2-87:	Importación del archivo hexadecimal.....	75
Figura 2-88:	Ubicación del archivo Codigo Motor Paso.hex	76
Figura 2-89:	Mensaje para verificar de que el archivo hexadecimal se ha importado correctamente.....	76
Figura 2-90:	Programación del PIC16F887.....	77
Figura 2-91:	Mensaje para verificar si la programación del PIC16F887 fue correctamente.....	77
Figura 2-92:	Verificación de la programación del PIC16F887.....	78
Figura 2-93:	Borrar el archivo con extensión .hex al PIC16F887.....	78
Figura 3-1:	Diagrama de bloques.....	81
Figura 3-2:	Polarización del Microcontrolador PIC16F887.....	81
Figura 3-3:	Microcontrolador PIC16F887 de la librería del programa PROTEUS.....	82
Figura 3-4:	Diagrama de bloques del Encoder acoplado al Motor Paso a Paso y conectado al Microcontrolador.....	82
Figura 3-5:	Polarización del Encoder incremental Rotatorio.....	83
Figura 3-6:	Encoder incremental Rotatorio Polarizado y conectado al Microcontrolador.....	83
Figura 3-7:	Encoder incremental Rotatorio polarizado y acoplado al Motor Paso a Paso.....	84
Figura 3-8:	PIC16F887 conectado al Encoder incremental Rotatorio polarizado y acoplado al Motor Paso a Paso.....	84

Figura 3-9:	Diagrama de bloque de los pulsadores conectados al PIC16F887.....	84
Figura 3-10:	Pulsadores polarizados para que puedan ser conectados a la entrada del PIC16F887.....	85
Figura 3-11:	Pulsador de RESET polarizado para ser conectado a la entrada del PIC16F887.....	85
Figura 3-12:	Pulsadores polarizados y conectados como entrada al PIC16F887.....	86
Figura 3-13:	Polarización del visualizador LCD.....	87
Figura 3-14:	Visualizador LCD polarizado y conectado al PIC16F887N.....	87
Figura 3-15:	Polarización del diodo led.....	88
Figura 3-16:	Conexión del diodo led al PIC16F887 como dispositivo de salida.....	88
Figura 3-17:	Circuito de control completo.....	89
Figura 3-18:	Circuito de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso.....	90
Figura 3-19:	Circuito electrónico para controlar el Motor Paso a Paso del presente proyecto.....	91
Figura 3-20:	Transformador de 12V y 1A de salida.....	92
Figura 3-21:	Diagrama de bloques de la Fuente de alimentación del presente proyecto.....	93
Figura 3-22:	Modulo 1 del diagrama de la fuente de alimentación.....	94
Figura 3-23:	Modulo 2 del diagrama de la Fuente de alimentación.....	94
Figura 3-24:	Fusible.....	94
Figura 3-25:	Modulo 3 del diagrama de la Fuente de alimentación.....	95
Figura 3-26:	Transformación de 220V a 12V y sus señales de voltaje en su entrada y salida.....	95
Figura 3-27:	Esquema del transformador.....	96
Figura 3-28:	Modulo 4 del diagrama de la fuente de alimentación.....	96
Figura 3-29:	Rectificador de onda completa y señales de voltaje en su entrada y salida.....	96
Figura 3-30:	Diodo rectificador.....	97
Figura 3-31:	Puente rectificador conectado en el devanado secundario del transformador.....	97
Figura 3-32:	Modulo 5 del diagrama de la Fuente de alimentación.....	97
Figura 3-33:	Forma de onda del voltaje rectificado y filtrado.....	97
Figura 3-34:	Capacitor electrolítico de 1000 μ F/35V.....	99
Figura 3-35:	Capacitor cerámico de 1000nF.....	99
Figura 3-36:	Conexión del capacitor electrolítico de 1000 μ F/35V y del capacitor cerámico de 1000nF.....	99
Figura 3-37:	Modulo 6 del diagrama de la Fuente de alimentación.....	100
Figura 3-38:	Señales de voltaje en la entrada (pin1=Vi) y salida (pin3=Vo) de los reguladores 78xx.....	100
Figura 3-39:	Encapsulado de los reguladores de voltaje de CI de la serie 78xx.....	100
Figura 3-40:	Regulador de voltaje de CI 7805.....	101
Figura 3-41:	Regulador de voltaje de CI 7812.....	101
Figura 3-42:	Conexión de los reguladores de voltaje de CI: 7812 y 7805N.....	102
Figura 3-43:	Modulo 7 del diagrama de la Fuente de alimentación.....	102
Figura 3-44:	Señales de voltaje en la entrada (pin1=Vi) y salida (pin3=Vo) del regulador de C.I. 7812.....	103
Figura 3-45:	Capacitor electrolítico de 100 μ F/16V.....	103
Figura 3-46:	Señales de voltaje en la entrada (pin1=Vi) y salida (pin3=Vo) del regulador de C.I. 7805.....	103
Figura 3-47:	Modulo 8 del diagrama de la fuente de alimentación.....	103

Figura 3-48:	Conectores bananas agregados al C4 para la alimentación de +12V.....	104
Figura 3-49:	Conexión del diodo le con una resistencia de 330Ω y los conectores para alimentación de +5V.....	104
Figura 3-50:	Circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto.....	104
Figura 3-51:	Circuito de activación de bobinas para Motores Paso a Paso de 1A-3A.....	106
Figura 3-52:	Transistor de potencia TIP122.....	106
Figura 3-53:	Baquelita virgen de 2 caras de 146mmX94mm.....	107
Figura 3-54:	Primera cara del circuito impreso del circuito analógico del presente proyecto.....	108
Figura 3-55:	Segunda cara del circuito impreso del circuito analógico del presente proyecto.....	108
Figura 3-56:	Screen de los elementos de disposición pertenecientes a la primera cara del circuito impreso.....	109
Figura 3-57:	Baquelita virgen de 1 cara de 100mmX84mm.....	109
Figura 3-58:	Circuito impreso (PCB) de la Fuente de alimentación del presente proyecto.....	110
Figura 3-59:	Pistas del circuito impreso del circuito analógico de la fuente de alimentación del presente proyecto.....	110
Figura 3-60:	Screen de los elementos de disposición pertenecientes al circuito impreso de la Fuente de alimentación.....	111
Figura 3-61:	Impresión de las pistas del circuito impreso de la fuente de alimentación del presente proyecto.....	111
Figura 3-62:	Impresión del screen de los elementos de disposición de la fuente de alimentación.....	112
Figura 3-63:	Construcción física del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.....	113
Figura 3-64:	Parte superior de la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto con todos sus componentes electrónicos soldados y conectados.....	114
Figura 3-65:	Conectores bananas hembras agregados en la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.....	114
Figura 3-66:	Tarjeta electrónica de la fuente de alimentación del presente proyecto..	115
Figura 3-67:	Tarjeta electrónica del circuito para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A	116
Figura 3-68:	Perforación en los lados externos correspondientes en la caja metálica cubica.....	117
Figura 3-69:	Montaje de la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.....	117
Figura 3-70:	Montaje de la tarjeta electrónica del circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto	118
Figura 3-71:	Vista lateral trasera del exterior del equipo didáctico.....	118
Figura 3-72:	Montaje de la tarjeta electrónica del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.....	118
Figura 3-73:	Vista superior completa del interior del equipo didáctico.....	119
Figura 3-74:	Vista superior completa del exterior del equipo didáctico.....	119
Figura 3-75:	Vista del equipo didáctico terminado.....	119
Figura 4-1:	Descripción de la parte superior externa	121

Figura 4-2:	Descripción de la parte lateral trasera externa	122
Figura 4-3:	Pantalla inicial de la LCD.....	126
Figura 4-4:	Presentación en la pantalla LCD de velocidades angulares y ángulos de paso y sentidos (IZQ y DER) de giro motor paso a paso unipolar modelo KP4M4-001	127
Figura 4-5:	Demostración de la LCD cuando se presiona por segunda vez el pulsador de encendido y apagado (ON/OFF) del equipo didáctico.....	128
Figura 4-6:	Demostración de la LCD cuando no tiene alimentación el equipo didáctico.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Tabla 1-1:	Descripción de los pines del 1-12 del PIC16F887.....	11
Tabla 1-2:	Descripción de los pines del 13-26 del PIC16F887.....	11
Tabla 1-3:	Descripción de los pines del 27-40 del PIC16F887.....	12
Tabla 1-4:	Descripción de pines del visualizador LCD.....	14
Tabla 1-5:	Número de pasos necesarios para obtener un giro completo en función de los grados [°].....	18
Tabla 1-6:	Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo de paso completa básica.....	22
Tabla 1-7:	Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo paso completo doble.....	22
Tabla 1-8:	Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo de medio paso.....	23
Tabla 1-9:	Especificaciones técnicas del motor pasó a paso.....	26
Tabla 1-10:	Especificaciones técnicas del sensor infrarrojo optoacoplado L7849/TI.....	35
Tabla 1-11:	Rango de funcionamiento del fototransistor y del LED.....	35
Tabla 1-12:	Especificaciones técnicas del ENCODER INCREMENTAL ROTORIO utilizado.....	36
Tabla 3-1:	Reguladores de voltaje positivo. Serie 78xx.....	101
Tabla 3-2:	Componentes electrónicos de la fuente de alimentación	105
Tabla 3-3:	Componentes electrónicos del circuito de activación de bobinas de motores de paso de 1A-3A.....	106
Tabla 4-1:	Valores de velocidad, valores ángulo de paso y sentidos ingresados en la pantalla LCD.....	125
Tabla 4-2:	Valores de velocidad y ángulos de paso con los que ha girado el motorpaso a paso unipolar modelo KP4M4-001 hacia la derecha (DER).....	125
Tabla 4-3:	Valores de velocidad y ángulos de paso con los que ha girado el motorpaso a paso unipolar modelo KP4M4-001 hacia la izquierda (IZQ).....	125
Tabla 4-4:	Valor mínimo de velocidad y ángulo de paso que ha girado el motor paso a paso unipolar modelo KP4M4-001 en ambos sentidos (IZQ y DER).....	127
Tabla 4-5:	Valor máximo de velocidad y ángulo de paso que ha girado el motor paso a paso unipolar modelo KP4M4-001 en ambos sentidos (IZQ y DER).....	127

SIGLAS Y ABREVIATURAS

LCD.....	Liquid Crystal Display: (Pantalla de cristal líquido o display).
PIC.....	Peripheral Interface Controller: (Control Interfaz programable).
TTL.....	Transistor-transistor Logic: (Lógica transistor a transistor).
DER.....	Derecha.
IZQ.....	Izquierda.
INC.....	Incrementar o aumentar.
DEC.....	Decrementar o disminuir.
μC.....	Microcontrolador
RPM.....	Revoluciones por minuto [rev./min].
CAD.....	Circuito Analógico y Digital
DIP.....	Doble línea de paquetes: (Dual in-line package)
LED.....	Diodo emisor de luz: ('Light-Emitting Diode')
RISC.....	Microprocesador con un juego de Instrucciones Reducidas: (Reduced Instruction Set Computer)
ISIS.....	Entrada de Sistema esquemático inteligente: (Intelligent Schematic Input System).
VSM.....	Modelo de Sistema Virtual: (Virtual System Modelling).
ARES.....	Modelo de Ruteo Avanzado: (Advanced Routing Modelling).
POT.....	Potenciómetro.
Vref+.....	Referencia Positiva de Voltaje.
RISC.....	Computador con juego de instrucciones reducido
Hz.....	Hertz.
SPST.....	Un polo, una posición o tiro: (single pole, single throw)
SPDT.....	Un polo, dos posiciones o tiros: (single pole, double throw)
1P3T.....	Un polo, tres posiciones o tiros
PCB.....	Placa de circuito impreso: (Printed Circuit Board)
VDC.....	Voltaje de corriente directa.
VAC.....	Voltaje de corriente alterna.
F.c.e.m.....	Fuerza contra-electromotriz.
DC.....	Corriente directa.
AC.....	Corriente Alterna.
ENC.....	Encoder.
E/S.....	Entrada/Salida.
CPU.....	Unidad central de proceso.
PAP.....	Paso a Paso.
HEX.....	Hexadecimal
HARDWARE.....	Dispositivos físicos de un sistema de control de motor paso a paso.
SOFTWARE.....	Elementos intangibles que conforman un sistema de control.
H-Bridge.....	Puente en H.
WINDOWS.....	Sistema Operativo.
PC.....	Computador personal.
USB.....	Bus serie universal.
V.....	Voltaje.
I.....	Corriente.
KW.....	Kilowatts.
CPU.....	Central Processing Unit.

RAM.....	Random Access Memory.
DDRAM.....	RAM de datos de visualización (Display Data RAM)
CGRAM.....	Generador de caracteres RAM (Character Generator RAM).
CGROM.....	Generador de caracteres (ROM Character Generator ROM).
I/O.....	Input /Output.
A/D.....	Analogico /Digital.
MCLR.....	Master Clear (reset) Input.
VRMS.....	Voltaje efectivo o de raíz media cuadrada (RMS).
RMS.....	Raíz media cuadrada: (Root Mean Square).
ROM.....	Memoria de solo lectura: (Read Only Memory).
NP.....	Numero de pasos.
IDE.....	Entorno de desarrollo integrado.
SW.....	Swich.
GND.....	Tierra.
ON/OFF.....	Encendido / Apagado.
mA.....	mili-amperio.
EEPROM.....	Memoria de lectura de programación y borrado eléctrico: (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory).
T.....	Timer
PWM.....	Modulación de ancho de pulsos: (Pulse Width Modulation).
PORT.....	Puerto
ICSP.....	Programación serial en el circuito: (In-circuit serial Programming)

INTRODUCCION

El presente proyecto está orientado a un sistema de control de motores paso a paso, debido a que es muy necesario en gran parte de las industrias y a nivel domestico. Este proyecto nos da la opción de estudiar una alternativa de cómo se realiza la medición del ángulo y velocidad de un motor paso a paso.

Además nos permite estudiar las distintas aplicaciones que se puede realizar con un microcontrolador PIC y los distintos dispositivos electrónicos que se ha aprendido a lo largo de la carrera.

Para este efecto, se propuso la construcción de un equipo didáctico (HARDWARE) para el control de motores paso a paso unipolares de hasta 500mA y 2.5A como máximo, utilizando un encoder incremental y el PIC16F887 aplicando los conocimientos relacionados con la conversión Analógico/Digital, manejo de entradas/salidas y el manejo del encoder incremental. Dicho control deberá establecer el valor del ángulo y la velocidad angular al motor paso a paso para ser controlado en dos sentidos de giro, los cuales son: giro en sentido horario (giro a la derecha) y giro en sentido anti-horario (giro a la izquierda).

Todo el proceso antes mencionado se lo realiza a través de la utilización del microcontrolador PIC16F887 y otros dispositivos electrónicos asociados que ayudan a completar la tarea de ubicación.

CAPITULO 1

ESPECIFICACIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES.



CAPÍTULO 1

ESPECIFICACIONES Y CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

En este capítulo se pretende explicar las especificaciones y conceptos fundamentales para la implementación del proyecto, detallando el uso de los pulsadores asociados al microcontrolador para controlar el motor paso a paso. Además conceptos básicos del Microcontrolador PIC y sus componentes asociados que se utilizarán en el presente proyecto para la tarjeta de control (ver figura 3-4):

1.1 Descripción de las especificaciones.

Las especificaciones son factores considerados en el presente proyecto para elegir el tipo de motor paso a paso. El tipo motor paso a paso es el KP4M4-001 (ver sección 1.3.1.1.1.1) con el cual se basará el presente proyecto. Las especificaciones que llevará a cabo el presente proyecto son las siguientes:

- Selección de giro del motor.
- Selección de giro de un cierto ángulo.
- Selección de giro de una cierta velocidad.
- Medición y presentación en la pantalla LCD de un ángulo que ha girado el motor.
- Medición y presentación en la pantalla LCD de la velocidad de giro del motor.

1.1.1 Selección de giro del motor.

Para la selección de giro del motor, se necesita seleccionar una de las dos opciones:

- Giro en sentido horario (giro a la derecha) y
- Giro en sentido anti-horario (giro a la izquierda).

La selección de estos giros del motor se la realiza por medio de un pulsador (figura 1-1), debido a que el hardware posee un pulsador con su nombre (DIRECCION), el cual me permite seleccionar el giro a la derecha (DER) y el giro a la izquierda (IZQ).

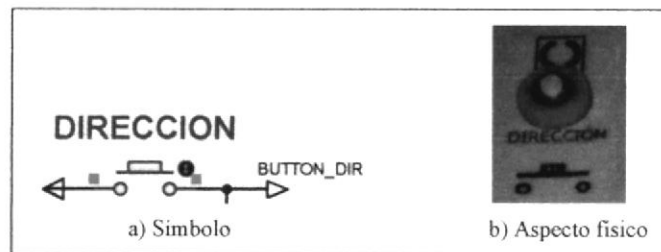


Figura 1-1. Pulsador para ingresar el sentido de giro en la pantalla LCD

Al presionar una vez este pulsador (DIRECCION) se empezará a visualizar el sentido de giro DER en la Pantalla de Cristal Liquido (LCD) o Display (Figura 1-2). Al presionar por segunda vez se empezara a visualizar el sentido de giro IZQ (Figura 1-3).

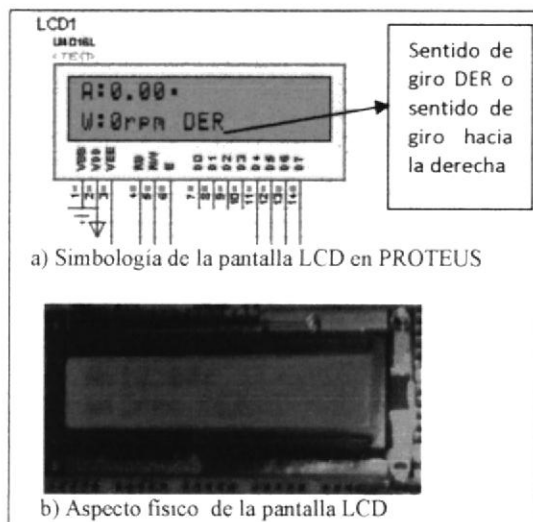


Figura 1-2. Sentido de giro DER en la pantalla LCD.

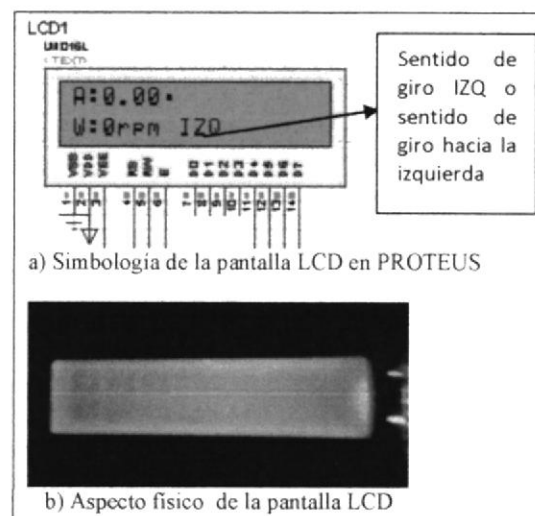


Figura 1-3. Sentido de giro IZQ en la pantalla LCD.

1.1.2 Selección de giro del motor de un cierto ángulo.

Una vez visualizado el sentido de giro del motor en la pantalla LCD, podemos seleccionar o aplicar un ángulo para el giro del motor, la selección de este ángulo se lo realiza por medio del pulsador (ANGULO) (Figura 1-4), el cual existe en el equipo didáctico y es asociado con el microcontrolador para ingresar el ángulo del motor a la pantalla LCD, el cual es medido en grados [°] (Figura 1-5).

Para aumentar o incrementar el ángulo del motor de paso, se lo realiza mediante el pulsador (INC_ANGULO) (Figura 1-6). Cada vez que presionemos este pulsador el ángulo se incrementa 3.6° más y lo podemos ir visualizando en la pantalla LCD (Figura 1-7). (Por ejemplo: Si el primer ángulo ingresado en la pantalla LCD fue 0° y al presionar este pulsador 4 veces el ángulo aumentara a 14.4°).

Para disminuir o decrementar el ángulo del motor de paso, se lo realiza mediante el pulsador (DEC_ANGULO) (Figura 1-8). Cada vez que presionemos este pulsador el ángulo disminuye 3.6° menos y se lo visualizara en la pantalla LCD (Figura 1-9). (Por ejemplo: Si el primer ángulo fue aumentado a 14.4° y al presionar este pulsador 2 veces el ángulo disminuirá a 7.2°).

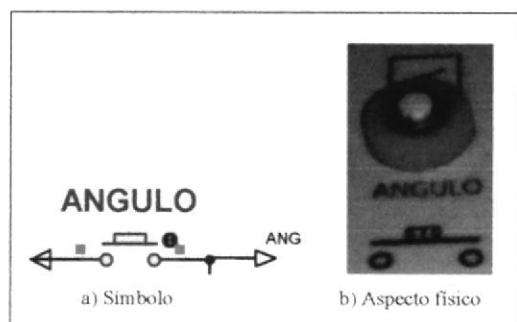


Figura 1-4. Pulsador para ingresar el ángulo.

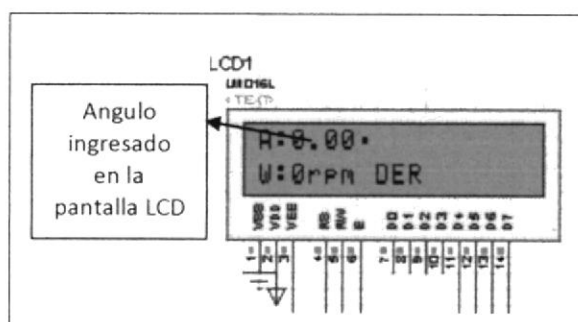


Figura 1-5. Ángulo ingresado en la pantalla LCD.

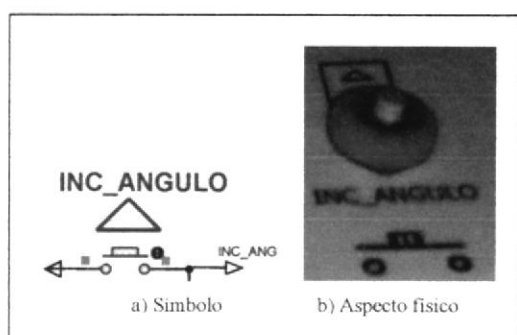


Figura 1-6. Pulsador para aumentar el ángulo.

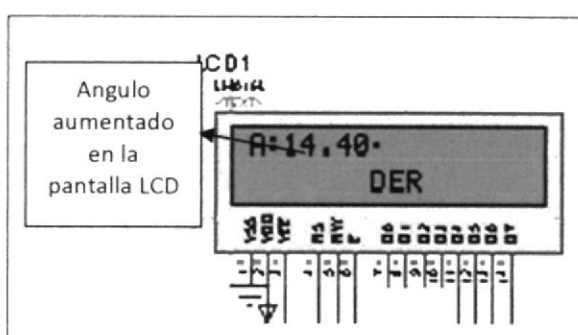


Figura 1-7. Ángulo aumentado en la pantalla LCD.

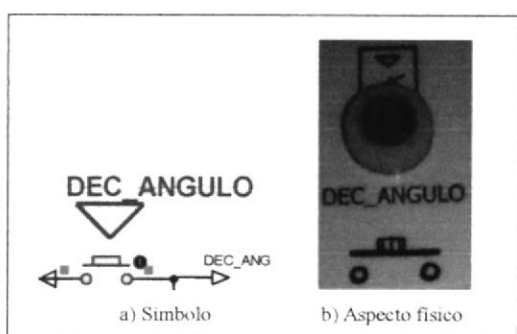


Figura 1-8. Pulsador para disminuir el ángulo.

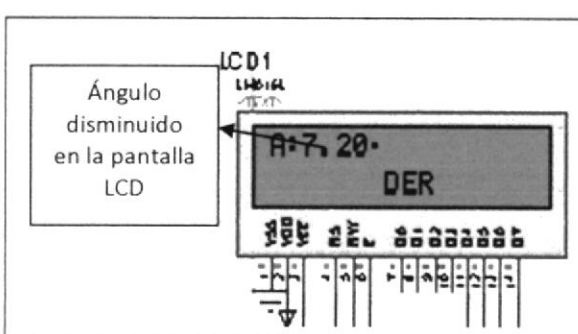


Figura 1-9. Ángulo disminuido en la pantalla LCD.

1.1.3 Selección de giro del motor de una cierta velocidad.

Cuando se visualice el ángulo y la dirección de giro del motor en la pantalla LCD, ingresamos una cierta velocidad para el giro del motor, el ingreso de esta velocidad se lo realiza por medio del pulsador (VELOCIDAD) (Figura 1-10), el cual existe en el equipo didáctico y es asociado con el microcontrolador para ingresar velocidad angular del motor a la pantalla LCD, la cual es medida en [rev./min] (Figura 1-11).

Al ingresar la velocidad del motor con el pulsador en la Pantalla LCD empezara a partir de 0 [rev./min], pero el motor no procederá a girar con esta velocidad por este motivo debemos aumentar la velocidad, para aumentar o incrementar la velocidad del motor de paso, se lo realiza mediante el pulsador (INC_VELOCIDAD) (Figura 1-12). Cada vez que presionemos este pulsador la velocidad se incrementa 1 [rev./min] más y lo podemos ir visualizando en la pantalla LCD (Figura 1-13). (Por ejemplo: Si la primera velocidad ingresada en la pantalla LCD es 0 RPM y al presionar este pulsador 4 veces la velocidad aumentara a 4 RPM).

Para disminuir o decrementar la velocidad del motor paso a paso, se lo realiza mediante el pulsador (DEC_VELOCIDAD) (Figura 1-14). Cada vez que presionemos este pulsador, la velocidad disminuye 1 [rev./min] menos y se lo visualizara en la pantalla LCD (Figura 1-15). (Por ejemplo: Si la primera velocidad fue aumentado a 4 [rev./min] y al presionar este pulsador 2 veces la velocidad disminuirá a 2 [rev./min])

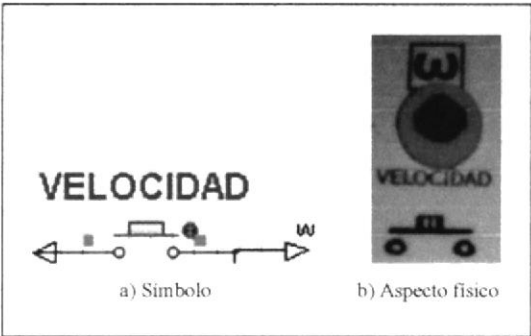


Figura 1-10. Pulsador para ingresar la velocidad.

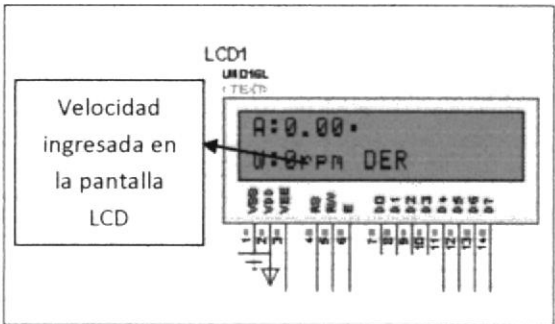


Figura 1-11. Velocidad ingresada en la pantalla LCD.

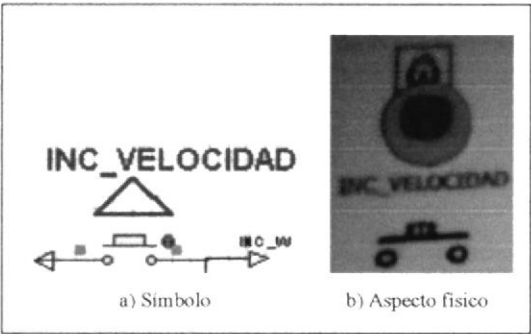


Figura 1-12. Pulsador para aumentar la velocidad.

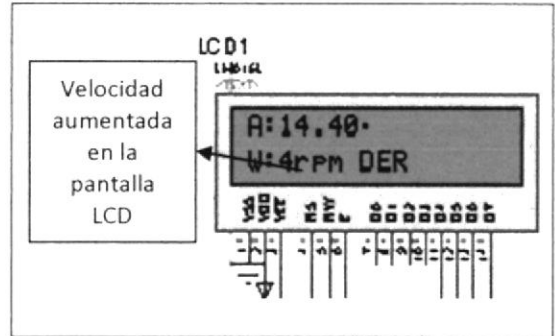


Figura 1-13. Velocidad aumentada en la pantalla LCD.

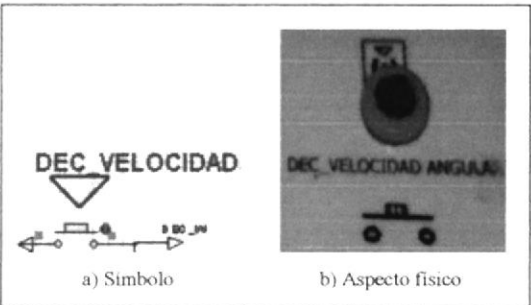


Figura 1-14. Pulsador para disminuir la velocidad

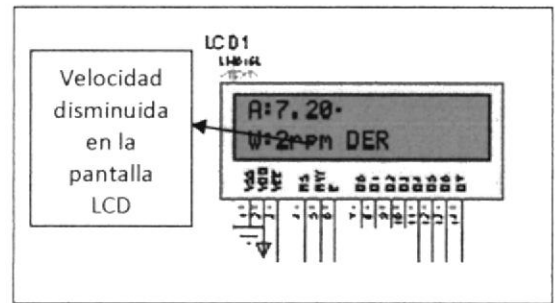


Figura 1-15. Velocidad disminuida en la pantalla LCD.

1.1.4 Medición y presentación en la pantalla LCD del ángulo que ha girado el motor.

El ángulo del motor se mide y se presenta en la parte derecha y primera fila de la pantalla LCD (ver sección 1.2.1.2.d) una vez que el motor ha girado. El motor empieza a girar cuando presionamos el pulsador (ACEPTAR) (Figura 1-17), antes de presionar este pulsador debemos tener ingresado el valor de un ángulo y una velocidad en la parte izquierda de la pantalla LCD.

El ángulo que ingresemos en la parte izquierda y primera fila de la pantalla LCD, este saldrá medido y presentado en la parte derecha y primera fila de la pantalla LCD en el

momento que ha girado el motor (ver figura 1-16), aunque al mismo tiempo se presentara la velocidad que ha girado el motor en la parte derecha y segunda fila de la pantalla LCD.

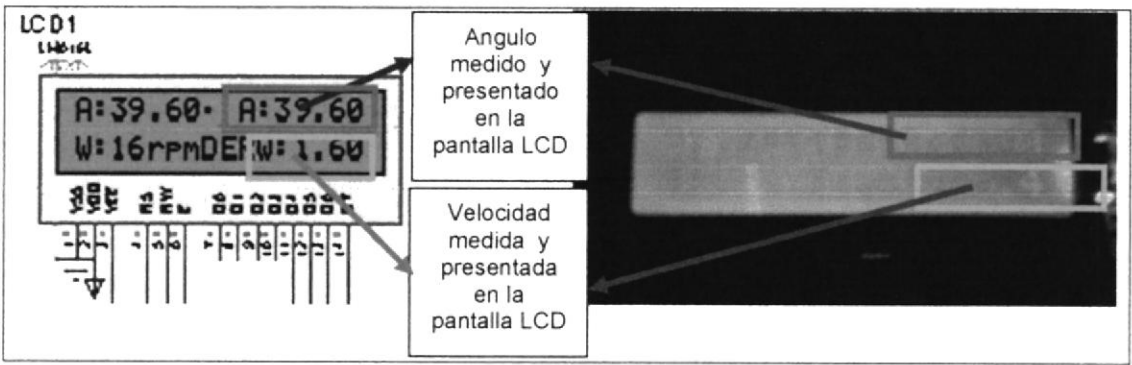


Figura 1-16. Ángulo medido y presentado en la pantalla LCD.

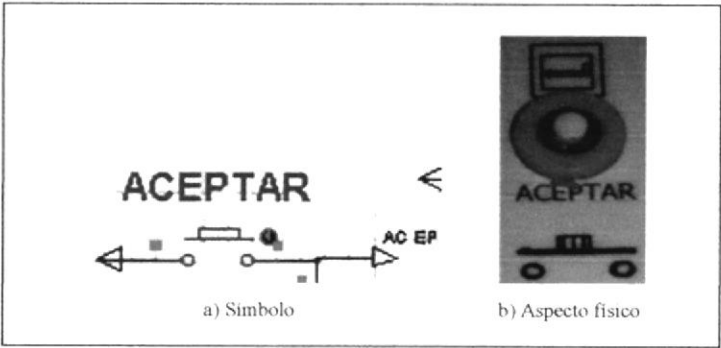


Figura 1-17. Pulsador para empezar a girar el motor.

1.1.5 Medición y presentación en la pantalla LCD de la velocidad de giro del motor.

La velocidad de giro del motor se mide y se presenta en la parte derecha y segunda fila de la pantalla LCD una vez que el motor ha girado.

La velocidad que ingresemos en la parte izquierda y segunda fila de la pantalla LCD, saldrá medida y presentada en la parte derecha y segunda fila de la pantalla LCD en el momento que ha girado el motor (ver figura 1-18).

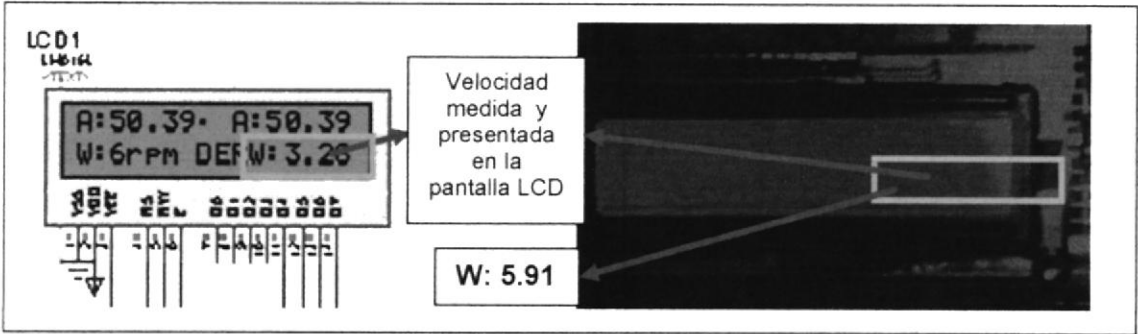


Figura 1-18. Velocidad medida y presentada en la pantalla LCD.

1.2 Conceptos básicos del Microcontrolador PIC y sus componentes asociados.

1.2.1 Microcontrolador PIC

¿Qué es un microcontrolador (μC) PIC?

Es un circuito integrado programable, en cuyo interior contiene todos los componentes de un computador esto es: microprocesador, líneas de entrada y salida, memoria y otros periféricos. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada.

El microcontrolador (μC) también se lo puede definir que es un sistema cerrado, debido a que todas las partes del computador están contenidas en su interior y sólo salen al exterior las líneas que gobiernan los periféricos como se muestra en la figura 1-19.

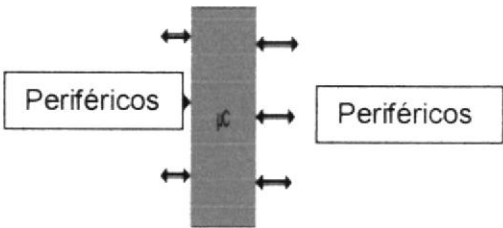


Figura 1-19. Sistema de un microcontrolador

Los microcontroladores son fabricados por diferentes empresas, entre las más conocidas tenemos:

EMPRESA	MICROCONTROLADORES
INTEL	8048, 8051, 80C196, 80186, 80188, 80386EX
MOTOROLA	6805, 68HC11,68HC12,68HC16,683XX
MICROCHIP	PICs PIC16F84 PIC16F88X
HITACHI	HD64180
PHILIPS	Gama completa de CLONS del 8051
SGS-THOMSON	ST-62XX
NATIONAL SEMICONDUCTOR	COP400, COP800
ZILOG	Z8,Z86XX
TEXAS INSTRUMETS	TMS370
TOSHIVA	68HC11
ETC. ETC. ETC.	

Entre estas empresas solo nos vamos a basar con los microcontroladores PIC que son fabricados por la empresa MICROCHIP ya que el proyecto se basa con un microcontrolador desarrollado por esta empresa.

Existen diversas familias de PIC, las cuales se amplían constantemente, pero las más básicas, agrupadas por el tamaño de su palabra de instrucción, son:

PIC12C5XX y PIC16C5X: Gama Básica
 PIC12C6XX, PIC16CXX y PIC16F8XX: Gama Media
 PIC17CXXX: Gama Alta
 PIC18CXXX: Gama Mejorada

A continuación se describirá al PIC de la familia 16F8XX y en especial al PIC16F887 ya que en este se basará el desarrollo del proyecto.

1.2.1.1 Microcontrolador PIC16F887.



Figura 1-20. Microcontrolador PIC16F887.

El PIC16F887 es un producto conocido de la compañía Microchip. Dispone de todos los componentes disponibles en la mayoría de los microcontroladores modernos. Por su bajo precio, un rango amplio de aplicaciones, alta calidad y disponibilidad, es una solución perfecta aplicarlo para controlar diferentes procesos en la industria, en dispositivos de control de máquinas, para medir variables de procesos, etc. Este microcontrolador está encapsulado en un DIP de 40 pines (Figura 1-21) y su diagrama de bloques se muestra en la figura 1-22.

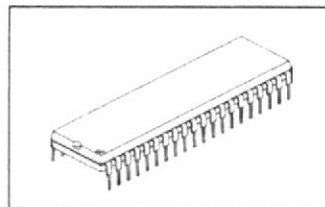


Figura 1-21. Encapsulado DIP-40.

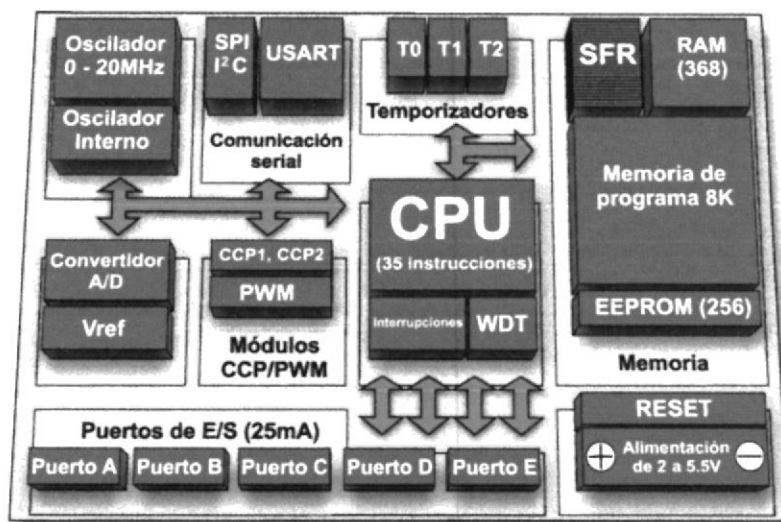


Figura 1-22. Diagrama de bloques del PIC16F887.

Entre las ventajas principales nos ofrece:

1. Oscilador interno seleccionable de 8MHz a 31KHz.
2. Hasta 36 pines de entrada/salida usando el oscilador interno.
3. 14 entradas A/D contra 8 del PIC16F877A.
4. Dos comparadores.
5. Más económico.

Características Principales del PIC16F887

- **DIP 40 pines**
- **arquitectura RISC**
 - El microcontrolador cuenta con 35 instrucciones diferentes
 - Todas las instrucciones son de un - ciclo excepto las de salto
- **Frecuencia de operación 0-20 MHz**
- **8 niveles de Pila (Stack)**
- **Manejo de Interrupciones**
- **Oscilador interno de precisión**
 - Calibrado en fábrica al 1% de error ($\pm 1\%$)
 - Rango de frecuencia de 8MHz a 31KHz seleccionado por software
- **Voltaje de la fuente de alimentación de 2.0V a 5.5V**
 - Consumo: 220uA (2.0V, 4MHz), 11uA (2.0 V, 32 KHz) 50nA (en modo de espera (stand-by))
- **Modo SLEEP o de suspensión para ahorro de energía**
- **BOR (Brown-out Reset) reset por baja de voltaje con opción de control por software**
- **35 pines de entrada/salida (I/O)**
 - Corriente de fuente/drenaje suficiente para manejar LED directamente
 - Resistencias pull-up programables individualmente por software
 - Interrupción al cambiar el estado del pin
- **8K de memoria de programa o ROM**
 - El chip se puede re-programar hasta 100.000 veces
- **Opción de ICSP (programación serial en el circuito) (In-circuit serial Programming)**
 - El chip se puede programar incluso incorporado en el dispositivo destino.
- **256 bytes de memoria EEPROM**
- **368 bytes de memoria RAM**
- **Convertidor A/D:**
 - 14 canales
 - resolución de 10 bits
- **3 temporizadores/contadores (timers/counters) independientes**
 - Timer 0 (T0) a 8 bits
 - Timer 1 (T1) a 16 bits
 - Timer 2 (T2) a 8 bits
- **Temporizador perro guardián (Watchdog Timer)**
- **Módulo comparador analógico con**
 - Dos comparadores analógicos
 - Referencia de voltaje fija (0.6V)

- Referencia de voltaje programable en el chip
- **2 módulos CCP (capture/compare/ PWM)**
- **Módulo PWM incorporado**
- **Módulo de comunicación serial USART/SCI mejorado**
 - Soporta las comunicaciones seriales RS-485, RS-232 y LIN2.0
 - Auto detección de baudios
- **Módulo Puerto Serie Síncrono Maestro (MSSP)**
 - Soporta los modos SPI e I2C

Diagrama de pines y descripción.

La mayoría de los pines del microcontrolador PIC16F887 son multipropósito como se muestra en la figura 1-23. Por ejemplo, la asignación RA3/AN3/Vref+/C1IN+ para el quinto pin del microcontrolador indica que éste dispone de las siguientes funciones:

- RA3 Tercera entrada/salida digital del puerto A
- AN3 Tercera entrada analógica
- Vref+ Referencia positiva de voltaje
- C1IN+ Entrada positiva del comparador C1

La funcionalidad de los pines presentados anteriormente es muy útil puesto que permite un mejor aprovechamiento de los recursos del microcontrolador sin afectar a su funcionamiento. Estas funciones de los pines no se pueden utilizar simultáneamente, sin embargo se pueden cambiar en cualquier instante durante el funcionamiento.

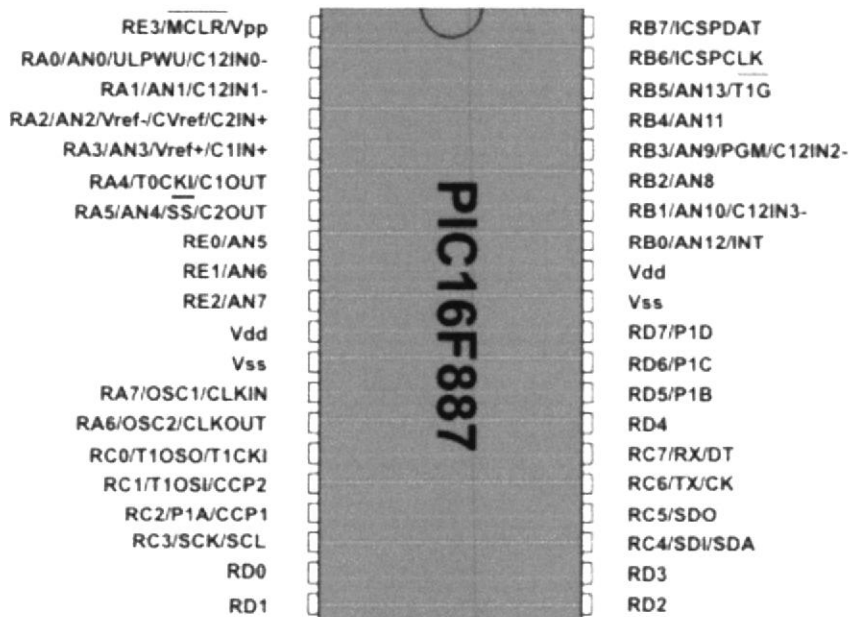


Figura 1-23. Diagrama de pines del PIC16F887.

Las siguientes tablas se refieren al microcontrolador PIC16F887 encapsulado en un DIP de 40 pines.

Tabla 1-1: Descripción de los pines del 1-12 del PIC16F887.

Nombre	Número (DIP 40)	Función	Descripción
RE3/MCLR/Vpp	1	RE3	Entrada de propósito general en el puerto PORTE
		MCLR	Pin de reinicio. El nivel lógico bajo en este pin reinicia al microcontrolador
		Vpp	Voltaje de programación
RA0/AN0/ULPWU/C12IN0-	2	RA0	E/S de propósito general en el puerto PORTA
		AN0	Entrada del canal 0 del convertidor A/D
		ULPWU	Entrada de desactivar el modo de espera
RA1/AN1/C12IN1-	3	C12IN0-	Entrada negativa del comparador C1 o C2
		RA1	E/S de propósito general en el puerto A
		AN1	Canal 1 del convertidor A/D
RA2/AN2/Vref-/CVref/C2IN+	4	C12IN1-	Entrada negativa del comparador C1 o C2
		RA2	E/S de propósito general en el puerto PORTA
		AN2	Canal 2 del convertidor A/D
		Vref-	Entrada de referencia negativa de voltaje del convertidor A/D
RA3/AN3/Vref+/C1IN+	5	CVref	Salida de referencia de voltaje del comparador
		C2IN+	Entrada positiva del comparador C2
		RA3	E/S de propósito general en el puerto PORTA
		AN3	Canal 3 del convertidor A/D
RA4/T0CKI/C1OUT	6	Vref+	Entrada de referencia positiva de voltaje del convertidor A/D
		C1IN+	Entrada positiva del comparador C1
		RA4	E/S de propósito general en el puerto PORTA
		T0CKI	Entrada de reloj del temporizador T0
RA5/AN4/SS/C2OUT	7	C1OUT	Salida del comparador C1
		RA5	E/S de propósito general en el puerto PORTA
		AN4	Canal 4 del convertidor A/D
		SS	Entrada del módulo SPI (Selección del esclavo)
RE0/AN5	8	C2OUT	Salida del comparador C2
		RE0	E/S de propósito general en el puerto PORTE
RE1/AN6	9	AN5	Canal 5 del convertidor A/D
		RE1	E/S de propósito general en el puerto PORTE
RE2/AN7	10	AN6	Canal 6 del convertidor A/D
		RE2	E/S de propósito general en el puerto PORTE
Vdd	11	AN7	Canal 7 del convertidor A/D
Vss	12	+	Suministro de voltaje positivo
		-	Tierra (ground - GND)

Tabla 1-2: Descripción de los pines del 13-26 del PIC16F887.

Nombre	Número (DIP 40)	Función	Descripción
RA7/OSC1/CLKIN	13	RA7	E/S de propósito general en el puerto PORTA
		OSC1	Entrada del oscilador de cristal
		CLKIN	Entrada del reloj externo
RA8/OSC2/CLKOUT	14	OSC2	Salida del oscilador de cristal
		CLKO	Salida en la que se presenta la señal Fosc/4
		RA6	E/S de propósito general en el puerto PORTA
RC0/T1OSO/T1CKI	15	RC0	E/S de propósito general en el puerto PORTC
		T1OSO	Salida del oscilador del temporizador 1
		T1CKI	Entrada de reloj del temporizador 1
RC1/T1OSQ/T1CKI	16	RC1	E/S de propósito general en el puerto PORTC
		T1OSI	Entrada del oscilador del temporizador 1
		CCP2	E/S de los módulos CCP1 y PWM1
RC2/P1A/CCP1	17	RC2	E/S de propósito general en el puerto PORTC
		P1A	Salida del módulo PWM
		CCP1	E/S de los módulos CCP1 y PWM1
RC3/SCK/SCL	18	RC3	E/S de propósito general en el puerto PORTC
		SCK	E/S de reloj del módulo MSSP en el modo SPI
		SCL	E/S de reloj del módulo MSSP en el modo I ² C
RD0	19	RD0	E/S de propósito general en el puerto PORTD
RD1	20	RD1	E/S de propósito general en el puerto PORTD
RD2	21	RD2	E/S de propósito general en el puerto PORTD
RD3	22	RD3	E/S de propósito general en el puerto PORTD
RC4/SDI/SDA	23	RC4	E/S de propósito general en el puerto PORTC
		SDI	Entrada Data del módulo MSSP en el modo SPI
		SDA	E/S Data del módulo MSSP en el modo I ² C
RC5/SDO	24	RC5	E/S de propósito general en el puerto PORTC
		SDO	Salida Data del módulo MSSP en el modo SPI
		RC6	E/S de propósito general en el puerto PORTC
RC6/TX/CK	25	TX	Salida asíncrona del módulo USART
		CK	Reloj sincrónico del módulo USART
		RC7	E/S de propósito general en el puerto PORTC
RC7/RX/DT	26	RX	Entrada asíncrona del módulo USART
		DT	Datos del módulo USART en modo sincrónico

Tabla 1-3: Descripción de los pines del 27-40 del PIC16F887.

Nombre	Número (DIP 40)	Función	Descripción
RD4	27	RD4	E/S de propósito general en el puerto PORTD
RD5/P1B	28	RD5 P1B	E/S de propósito general en el puerto PORTD Salida del módulo PWM
RD6/P1C	29	RD6 P1C	E/S de propósito general en el puerto PORTD Salida del módulo PWM
RD7/P1D	30	RD7 P1D	E/S de propósito general en el puerto PORTD Salida del módulo PWM
Vss	31	-	Tierra (GND)
Vdd	32	+	Suministro de voltaje positivo
RB0/AN12/INT	33	RB0 AN12 INT	E/S de propósito general en el puerto PORTB Canal 12 del convertidor A/D Interrupción externa
RB1/AN10/C12INT3-	34	RB1 AN10 C12INT3-	E/S de propósito general en el puerto PORTB Canal 10 del convertidor A/D Entrada negativa de los comparadores C1 o C2
RB2/AN8	35	RB2 AN8	E/S de propósito general en el puerto PORTB Canal 8 del convertidor A/D
RB3/AN9/PGM/C12IN2-	36	RB3 AN9 PGM C12IN2-	E/S de propósito general en el puerto PORTB Canal 9 del convertidor A/D Habilita la programación del chip Entrada negativa de los comparadores C1 o C2
RB4/AN11	37	RB4 AN11	E/S de propósito general en el puerto PORTB Canal 11 del convertidor A/D
RB5/AN13/T1G	38	RB5 AN13 T1G	E/S de propósito general en el puerto PORTB Canal 13 del convertidor A/D Entrada externa del temporizador 11
RB6/ICSPCLK	39	RB6 ICSPCLK	E/S de propósito general en el puerto PORTB Entrada de reloj de programación serial
RB7/ICSPDAT	40	RB7 ICSPDAT	E/S de propósito general en el puerto PORTB Pin de E/S para introducir los datos durante la programación ICSP™

NOTA

En el capítulo 3 de la Bibliografía [1] o en la página web: <http://www.mikroc.com/eng/chapters/view/81/capitulo-3-microcontrolador-pic16f887/> se da mucha más información necesaria sobre el PIC16F887 de la que se ha dado. En este libro también describe en detalle los periféricos esenciales, las características útiles y mucho más en los otros capítulos acerca de este Microcontrolador.

1.2.1.2 Componentes asociados al Microcontrolador PIC16F887.

En esta sesión se trata los componentes asociados al microcontrolador utilizados con más frecuencia en la tarjeta de control (Figura 3-1) del presente proyecto, tales como:

- a) Las resistencias
- c) Interruptores y pulsadores
- e) Integrado ULN2003A
- b) Diodo LED
- d) Visualizador LCD

1.2.1.2.a Las Resistencias

Las resistencias son dispositivos que permiten controlar la cantidad de corriente que circula a través de un circuito. Entre más alto sea el valor de la resistencia, se tendrá una menor corriente y viceversa. El valor de la resistencia se mide en Ohmios (Ω). Una resistencia lleva escrito su valor en forma de líneas de colores, dicha codificación se enseña en la **sección 2.2** de la referencia [6]. Por ejemplo, la de 220Ω se identifica con los colores: rojo, rojo café y dorado y la de $33k\Omega$ con los colores: naranja, naranja, naranja y dorado.

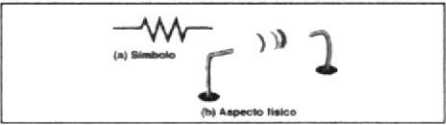


Figura 1-24. Resistencia

1.2.1.2.b Diodo LED

Un diodo LED es un dispositivo semiconductor de dos terminales, llamados ánodo (A) y cátodo (C o K), que emite una luz visible cuando se polariza en forma directa, es decir cuando el ánodo es positivo con respecto al cátodo. La luz emitida por un LED puede ser roja, amarilla, verde o azul dependiendo de su construcción interna. También se dispone de diodos LEDs que emiten luz infrarroja y láser. Los diodos LEDs deben ser protegidos mediante una resistencia en serie que limita la corriente a través suyo a un valor seguro.

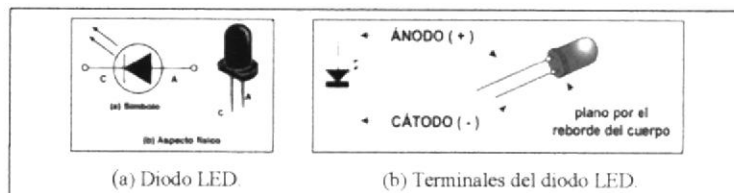


Figura 1-25. Diodo LED y sus terminales.

1.2.1.2.c Interruptores y pulsadores

- **Interruptores:** Son dispositivos que cambian o conmutan el estado de un determinado circuito, con el fin de conectar o desconectar partes del mismo. Estas conmutaciones de los circuitos pueden efectuarse de forma manual o automática, para lo cual se deberá disponer del dispositivo conmutador adecuado. Los interruptores adecuados para el presente proyecto son: Interruptor SPDT (Figura 1-26a) e Interruptor 1P3T (Figura 1-26b).

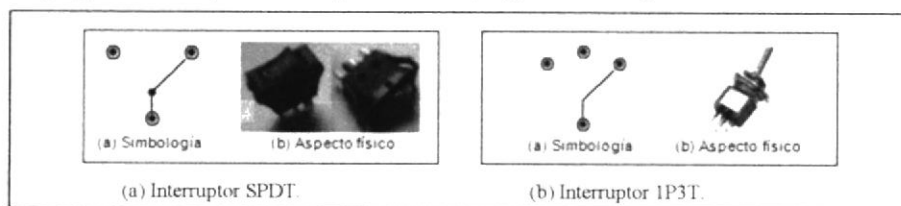


Figura 1-26 Interruptores.

- **Pulsadores:** Son interruptores de acción momentánea. Esto significa que realizan la apertura o cierre de un circuito mientras la fuerza actúe sobre el interruptor, una vez cese la fuerza, el pulsador retorna a su posición inicial. En el mercado, se pueden encontrar pulsadores de diferentes formas y tamaños, esto garantiza que se pueda encontrar un modelo por cada necesidad (consultar referencia bibliográfica [8]). En el presente proyecto se utilizarán los pulsadores de código: TS-06HD (Figura 1-27).

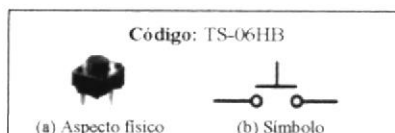


Figura 1-27. Pulsador SPST.

1.2.1.2.d Visualizador LCD

Este componente (Figura 1-28) está específicamente fabricado para ser utilizado con los microcontroladores, lo que significa que no se puede activar por los circuitos integrados

estándar. Se utiliza para visualizar los diferentes mensajes en un visualizador de cristal líquido miniatura. El modelo descrito aquí es el más utilizado en la práctica por su bajo precio y grandes capacidades. Está basado en el microcontrolador HD44780 (Hitachi) integrado y puede visualizar mensajes en dos líneas con 16 caracteres cada una. Puede visualizar todas las letras de alfabeto, letras de alfabeto griego, signos de puntuación, símbolos matemáticos etc. También es posible visualizar símbolos creados por el usuario. Entre otras características útiles es el desplazamiento automático de mensajes (a la izquierda y a la derecha), aparición del cursor, retroiluminación, LED, etc.



Figura 1-28. Visualizador LCD 2X16.

Pines del visualizador LCD

A lo largo de un lado de una placa impresa pequeña del visualizador LCD se encuentran los pines que le permiten estar conectado al microcontrolador. Hay 14 pines en total marcados con números (16 si hay retroiluminación). Su función y descripción se muestra en la Tabla 1-4.

Tabla 1-4: Descripción de pines del visualizador LCD.

FUNCIÓN	NÚMERO DE PIN	NOMBRE	ESTADO LÓGICO	DESCRIPCIÓN
Tierra	1	Vss	-	0V
Alimentación	2	Vdd	-	+5V
Contraste	3	Vee	-	0 – Vdd
Control de funcionamiento	4	RS	0 1	D0 – D7 considerados como comandos D0 – D7 considerados como datos
	5	R/W	0 1	Escribir los datos (del microcontrolador al LCD) Leer los datos (del LCD al microcontrolador)
	6	E	0 1 Transición de 1 a 0	Acceso al visualizador LCD deshabilitado Funcionamiento normal Datos/comandos se están transmitiendo al LCD
Datos / comandos	7	D0	0/1	Bit 0 LSB
	8	D1	0/1	Bit 1
	9	D2	0/1	Bit 2
	10	D3	0/1	Bit 3
	11	D4	0/1	Bit 4
	12	D5	0/1	Bit 5
	13	D6	0/1	Bit 6
	14	D7	0/1	Bit 7 MSB

Pantalla LCD

Descripción: Una pantalla LCD puede visualizar dos líneas con 16 caracteres cada una. Cada carácter consiste en 5x8 o 5x11 píxeles. En el presente proyecto se utilizara un visualizador LCD que consiste de 5x8 píxeles cada carácter en su pantalla LCD (Figura 1-29a).

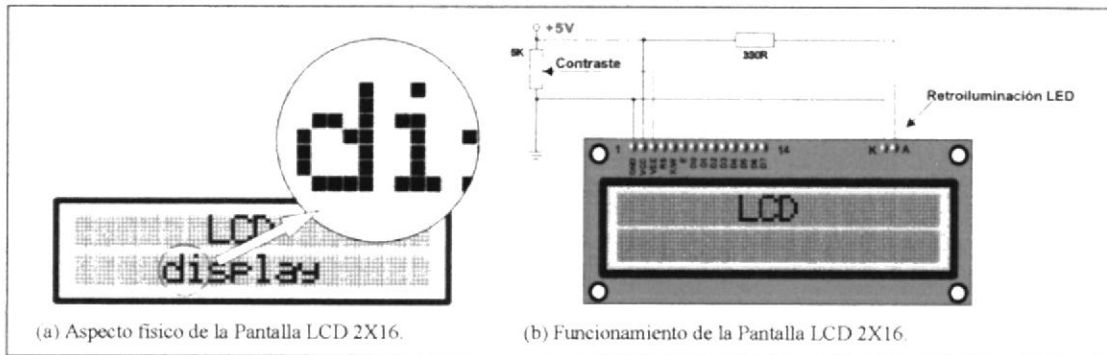


Figura 1-29. Pantalla LCD 2X16.

Funcionamiento: El contraste del visualizador depende del voltaje de alimentación y de si los mensajes se visualizan en una o dos líneas. Por esta razón, el voltaje variable 0-V_{dd} se aplica al pin marcado como V_{ee}. Un potenciómetro trimer se utiliza con frecuencia para este propósito. Algunos de los visualizadores LCD tienen retroiluminación incorporada (diodos LED azules o verdes). Al utilizarlo durante el funcionamiento, se debe de conectar una resistencia en serie a uno de los pines para limitar la corriente (similar a diodos LED) ver figura 1-29b.

Si no hay caracteres visualizados o si todos los caracteres están oscurecidos al encender el visualizador, lo primero que se debe hacer es comprobar el potenciómetro para ajustar el contraste. Lo mismo se aplica si el modo de funcionamiento ha sido cambiado (escribir en una o en dos líneas).

Memoria LCD

El visualizador LCD dispone de tres bloques de memoria:

- DDRAM Display Data RAM (RAM de datos de visualización);
- CGRAM Character Generator RAM (generador de caracteres RAM); y
- CGROM Character Generator ROM (generador de caracteres ROM)

NOTA

En el capítulo 4 de la Referencia Bibliográfica [1] o en la página web: <http://www.mikroe.com/eng/chapters/view/82/capitulo-4-ejemplos/>, también en la página web: <http://www.x-robotics.com/rutinas.htm#LCD> se da mucha más información necesaria sobre el visualizador LCD de la que se ha dado, sobre todo la explicación detallada sobre las memorias del visualizador LCD aunque también las podemos encontrar en las secciones 13.3, 13.4, 13.5 y 13.6 de la Referencia Bibliográfica [8].

1.2.1.2.e Integrado ULN2003AN

Es un "DRIVER" para manejar un motor paso a paso (PAP) a través de un microcontrolador.

Los terminales de E/S de un microcontrolador PIC pueden manejar corrientes de carga de hasta 25 mA con un nivel de tensión de +5 Voltios. Cuando se requiere energizar una carga con niveles de tensión y/o corrientes superiores, se hace necesario el uso de circuitos de interfaz que suministren los niveles de potencia para la operación sin perjudicar o deteriorar al microcontrolador. Uno de los dispositivos más utilizados es el manejador o "driver" ULN2003AN, el cual, es utilizado como amplificador de potencia y permite al microcontrolador manejar cargas relativamente elevadas como un motor de pasos o un *relay*.

El ULN2003AN posee un encapsulado DIP 16 (Figura 1-31) con 7 entradas, 7 salidas, 1 punto de conexión común y un terminal de referencia (tierra) distribuidos como se muestra en la Figura 1-31. Cada salida de este dispositivo puede manejar una corriente máxima de 500 mA, cuando se utiliza más de una salida, deberá tenerse la precaución de no exceder los límites establecidos en la Figura 1-32.

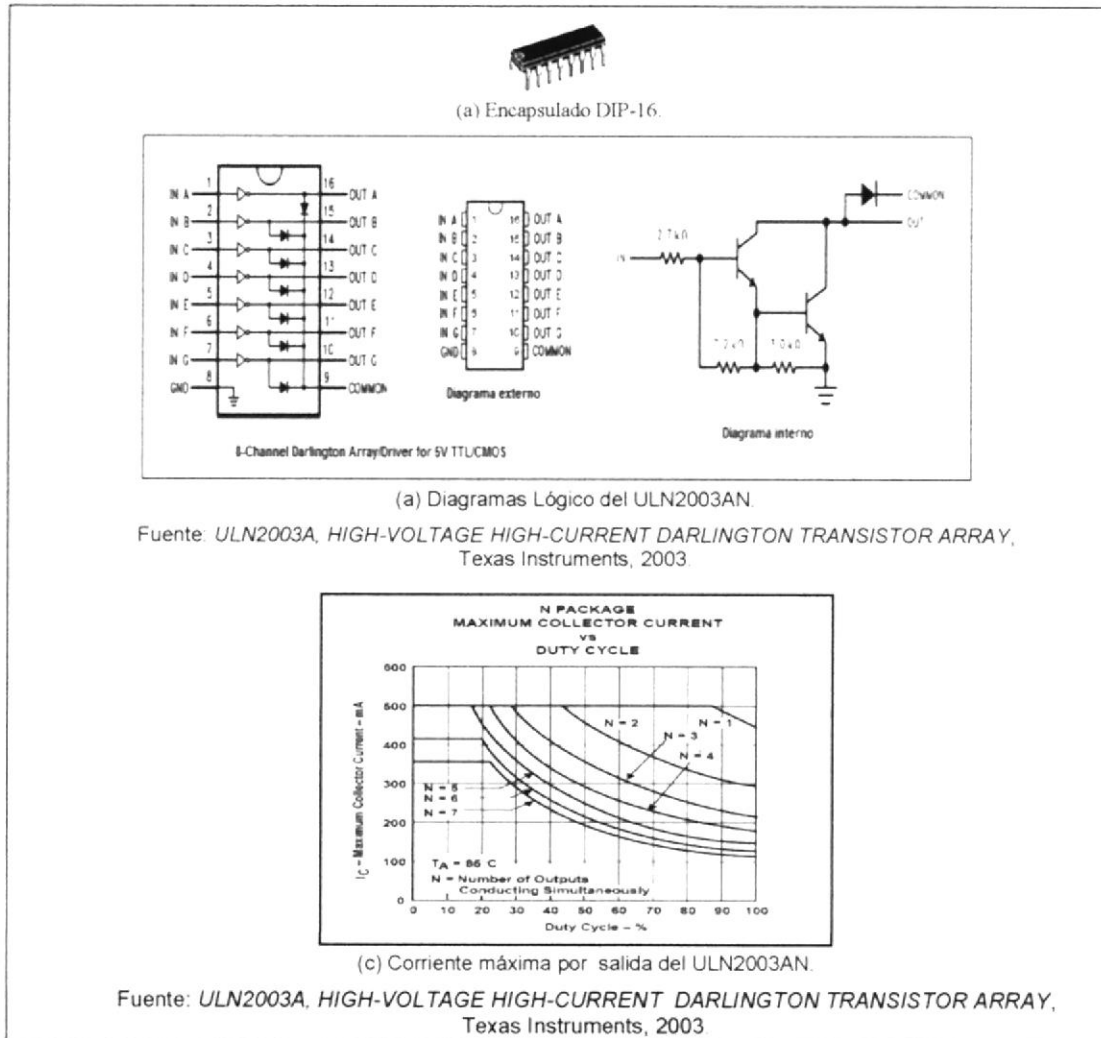


Figura 1-30. Driver ULN2003AN.

1.3 COMPONENTES ADICIONALES.

Esta parte trata los componentes adicionales utilizados en el presente proyecto, tales como:

- 1) Motor pasó a paso y
- 2) Encoder

1.3.1 Motor paso a paso (step motor).

Un motor paso a paso llamado también (Stepper Motor), es un conversor electromecánico, que transforma energía eléctrica en energía mecánica y se alimenta con corriente continua DC. Estos motores convierten los pulsos eléctricos aplicados en sus bobinas en movimientos rotacionales discretos. Pueden girar continuamente o sólo un ángulo llamado (paso) o (step).



Figura 1-31. Proceso de transformación de energía en un motor.

Los motores paso a paso giran un determinado ángulo de forma incremental (transforma impulsos eléctricos en movimientos de giro controlados), lo que le permite realizar desplazamientos angulares fijos muy precisos.

Existe una gran variedad de motores paso a paso, diferenciados entre sí por su constitución y forma de construcción. Entre éstos destacan tres tipos: motores paso a paso de: reluctancia variable, imán permanente, y híbridos.

- En los **motores paso a paso de reluctancia variable**, su rotor está fabricado por un cilindro de hierro dentado y el estator está formado por bobinas. Este tipo de motor trabaja a mayor velocidad que los de imán permanente.
- En los **motores paso a paso de imán permanente**, su rotor es un imán que posee una ranura en toda su longitud y el estator está formado por una serie de bobinas enrolladas alrededor de un núcleo o polo.
- Por último, los **motores paso a paso híbridos**, serían una combinación de los dos tipos anteriores, logrando un alto rendimiento a una buena velocidad; su rotor suele estar constituido por anillos de acero dulce dentado en un número ligeramente distinto al del estator y dichos anillos montados sobre un imán permanente dispuesto axialmente.

Entre estos tres tipos de motores nos centraremos en el tipo de motores paso a paso de imán permanente, puesto que el presente proyecto se basa con un motor de este tipo.

1.3.1.1 Motores pasó a paso de imán permanente

Este tipo de motores se caracteriza por la utilización de un **imán permanente cerámico cilíndrico** en el rotor. El imán esta magnetizado radialmente en una serie de polos. El estator está constituido por láminas de material ferro magnético, bobinado con el mismo número de polos que el rotor.

En ambos casos se precisa de un circuito o equipo externo que distribuya la alimentación en forma secuencial a todos los arrollamientos del estator, de forma que únicamente se encuentre excitado uno cualquiera de ellos en cada momento. En consecuencia, el sistema de alimentación no será una corriente continua o alterna, sino que será una secuencia constante y uniforme de pulsos de excitación que se envían a los devanados con una frecuencia ("f") y que el motor contiene un número de bobinas ("n"), obtendrá una velocidad de giro calculándola con la siguiente fórmula: $v=n/f$ [Revoluciones por segundo (r. p. s)].

Podemos encontrarnos a veces una etiqueta sobre el cuerpo del motor, sobre la Figura de etiqueta un número, por ejemplo 1.8°, 3.6°, 7.5°, etc., indicando el número de grados que gira el eje en cada paso. El motor que usaremos en el proyecto será de 3.6° por paso.

En la siguiente tabla, podemos encontrar el número de pasos necesarios para obtener un giro completo en función de los grados [°].

Tabla 1-5: Número de pasos necesarios para obtener un giro completo en función de los grados [°].

Valor de un ángulo de paso	N° de pasos por vuelta o para un giro
18°	20
15°	24
9°	40
7,5°	48
3,6°	100
1,8°	200
0,72°	500

Conociendo el número de grados recorridos por el eje del motor a cada paso, podemos calcular cuantos pasos son necesarios para que el eje del motor efectue un giro completo, utilizando la siguiente fórmula:

$$NP = \frac{360}{\alpha}$$

Donde **NP** es el número de pasos y **α** el ángulo de paso.

Conociendo el número de pasos necesarios para obtener un giro completo de eje del motor, podemos conocer el valor de la rotación de un ángulo de paso en grados, utilizando la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{360}{NP}$$

El **ángulo de paso** de este tipo de motores depende del número de polos del estator y rotor. Debido a las características del material magnético utilizado en la construcción del rotor, el número de polos de éste es limitado, por lo que los ángulos que se consiguen con este tipo de motor son grandes.

Los motores paso a paso de imán permanente se clasifican según la construcción de las bobinas del estator, en dos grupos: Bipolares y Unipolares.

- **Bipolares:** están formados por dos bobinas, y la intensidad que circula por ellas invierte su sentido sucesivamente (de ahí surge el nombre de bipolares). Se pueden reconocer externamente porque presentan cuatro conductores o cables de salida (ver figura 1-32), uno para cada extremo de una bobina.

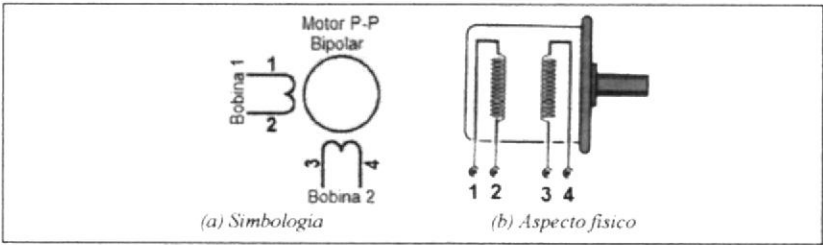


Figura 1-32: Esquema de bobinas de un motor paso a paso bipolar.

- **Unipolares:** en este caso el estator está formado por dos bobinas con tomas intermedias, lo que equivale a cuatro bobinas. Las tomas intermedias de las dos bobinas pueden estar interconectadas en el interior o no. Externamente se apreciarán cinco conductores o cables (ver figura 1-33) en el primer caso, seis (ver figura 1-34) en el segundo caso y ocho (ver figura 1-35) en el tercer caso.

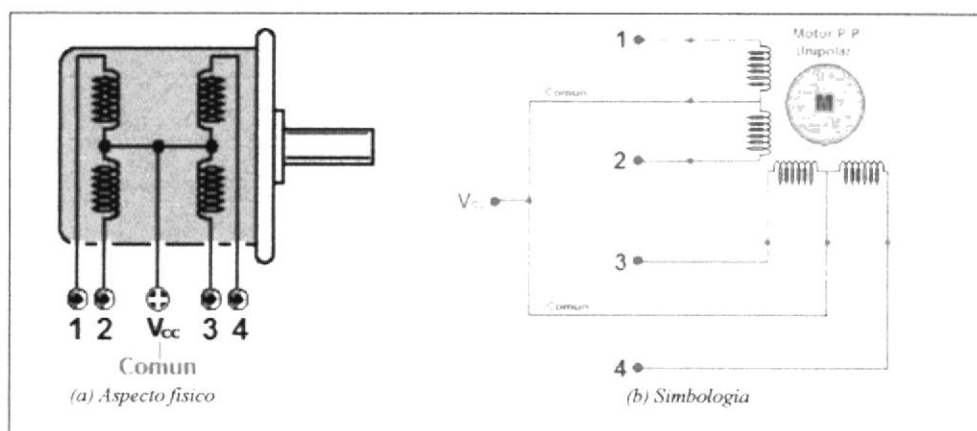


Figura 1-33: Esquema de bobinas de un motor paso a paso unipolar (cinco hilos o cables de salida)

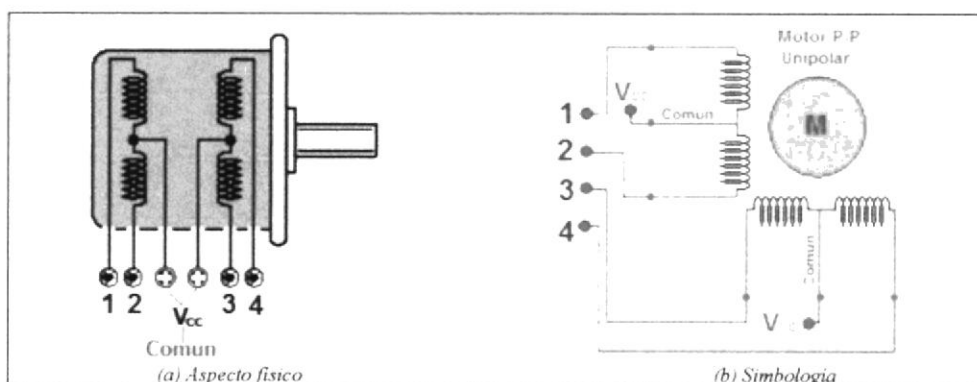


Figura 1-34: Esquema de bobinas de un motor paso a paso unipolar (seis hilos o cables de salida.)

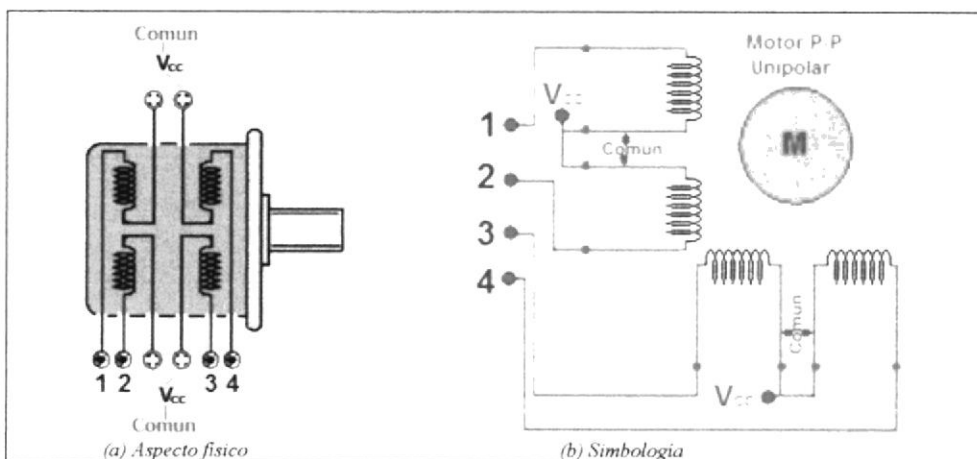


Figura 1-35: Esquema de bobinas de un motor paso a paso unipolar (ocho hilos o cables de salida).

Entre estos dos tipos de motores paso a paso describiremos algo más del tipo motor paso a paso de imán permanente unipolar, ya que en este proyecto se utilizará motores de este tipo.

1.3.1.1.1 Motores paso a paso de imán permanente unipolares

Este tipo de motores son fáciles de controlar, su característica principal es poseer una toma (tap) central o intermedia que se conecta al positivo de la fuente de alimentación. La forma de alimentar este motor consiste en dejar fija en la toma intermedia una tensión $+V$ (V_{cc}), e ir alternando en ambos extremos la conexión con masa (tierra).

- **Control de motores paso a paso de imán permanente unipolares mediante microcontroladores:**

Para controlar motores paso a paso de imán permanente unipolares desde un microcontrolador se utilizan simplemente etapas de amplificación basadas en transistores.

Para hacer esto podemos usar transistores montados en configuración Darlington o usar un circuito integrado como el ULN2003 ya que lleva integrado en su interior una array de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas (motores paso a paso unipolares) de hasta 500mA, la cual es una corriente baja que soporta este integrado (ver figura 1-36). Las entradas de activación (A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por el microcontrolador.

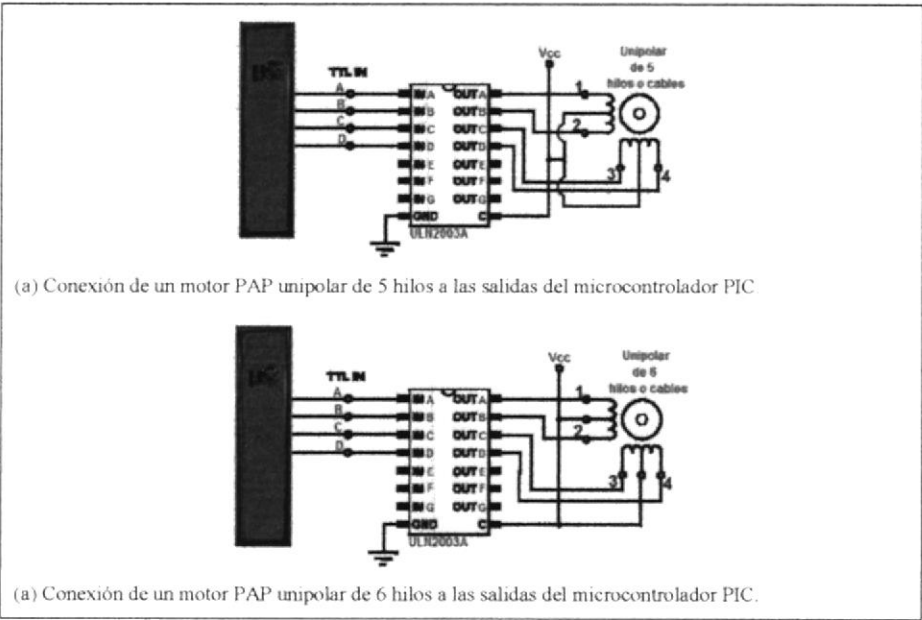
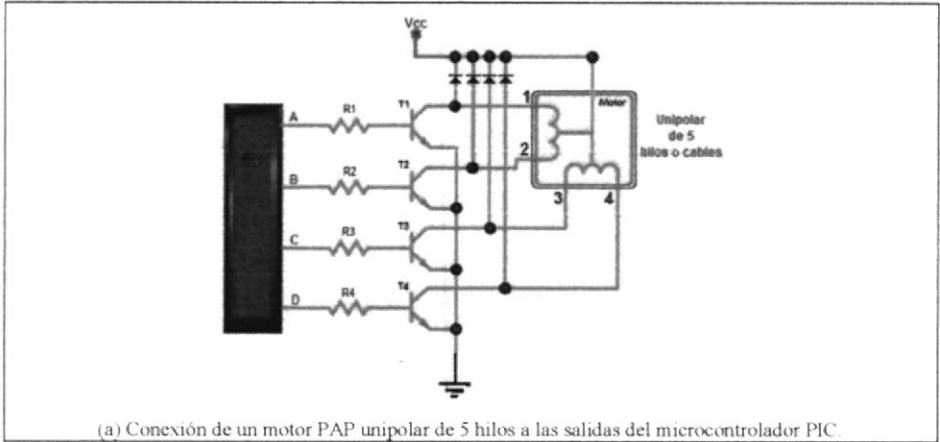


Figura 1-36: Esquema de uso del ULN2003 para controlar un motor paso a paso unipolar de imán permanente.

Si queremos controlar motores más potentes y de mas altas corrientes (1A, 2A, 3 A, 4A, etc....) deberemos montar nosotros mismos el circuito de control a base de transistores de potencia (ver figura 1-37). Entre los transistores de potencia que soporta corrientes mayores de 500mA tenemos los siguientes: TIP110 TIP120. TIP121, TIP122, TIP125, TIP126, TIP127, etc.



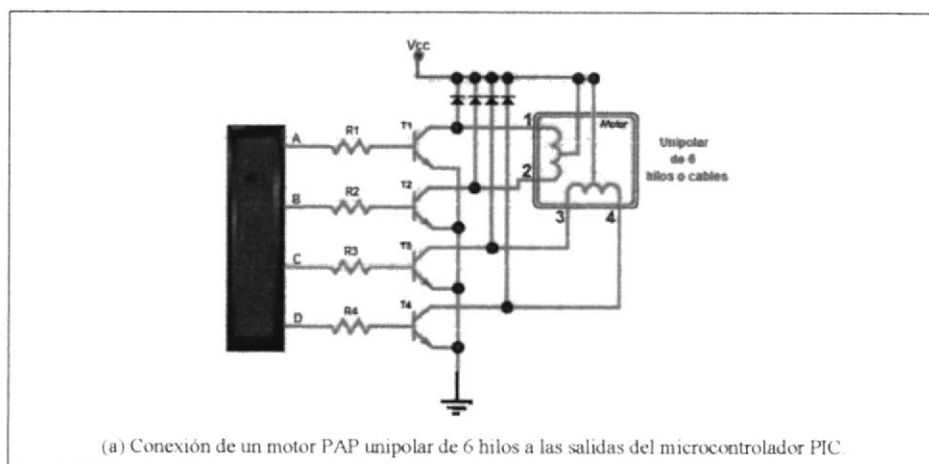


Figura 1-37: Esquema de uso de los transistores de potencia para controlar un motor paso a paso unipolar de imán permanente.

La Figura 1-38 muestra como puede ser controlado un motor paso a paso unipolar usando transistores de potencia. Cada transistor de potencia necesita tener su base conectada a una de las salidas digitales (A, B, C y D) del microcontrolador a través de una resistencia para evitar que sobrepase el nivel de corriente en las salidas digitales el microcontrolador. Los emisores deberán ir conectados a tierra y los colectores a los cuatro terminales de las bobinas del motor. El terminal central del motor irá conectado al terminal positivo de la fuente de alimentación de voltaje.

Cada colector también se conectará a la fuente a través de un diodo a fin de proteger el transistor del voltaje inducido por las bobinas del motor durante su rotación. De más está decir que en la medida que el rotor gira, un voltaje se induce en las bobinas del motor. Este voltaje suministrará corriente hacia los colectores de los transistores a no ser que se impida por medio del diodo.

Las salidas digitales (A, B, C y D) del microcontrolador activan los transistores para activar las bobinas del motor a fin de implementar las secuencias de paso en un motor paso a paso unipolar.

- **Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares de imán permanente.**

En este tipo de motores, la secuencia con la cual se alimentan las bobinas determina las características del funcionamiento del motor en cuanto a su velocidad, torque y ángulo de desplazamiento. En general existen tres secuencias de operación posibles para este tipo de motores, las cuales llamaremos: a) Secuencia de paso completo doble (Normal), b) Secuencia de paso completo básica (wave drive) y c) Secuencia de medio paso.

Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

a) **Secuencia de paso completo básica (wave drive):** Esta secuencia consiste en activar cada una de las bobinas de forma independiente, lo que provoca que el eje del motor se oriente hacia la bobina activa. En algunos motores

esto brinda un funcionamiento más suave. La contrapartida es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y retención es menor.

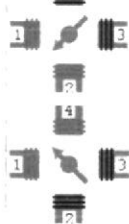
Tabla 1-6: Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo de paso completa básica.

PASO	Bobina 4	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	
a.1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	
a.2	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	
a.3	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	
a.4	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	
(a) Sentido horario					
PASO	Bobina 4	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	
a.1	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	
a.2	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	
a.3	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	
a.4	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	
(b) Sentido antihorario					

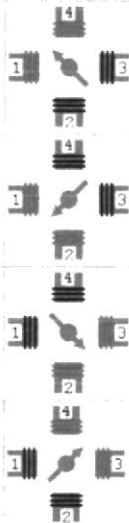
- b) **Secuencia de paso completo doble (Normal):** Consiste en tener activar dos bobinas al mismo tiempo, ambas consecutivas, de modo que el eje del motor se oriente hacia el punto medio de ambas bobinas. Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.

Tabla 1-7: Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo paso completo doble.

PASO	Bobina 4	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	
b.1	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	

b.2	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	
b.3	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	
b.4	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	

(a) Sentido horario

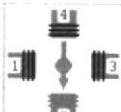
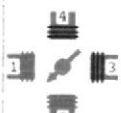
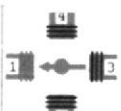
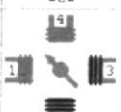
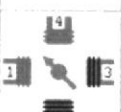
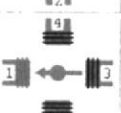
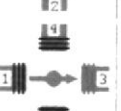
PASO	Bobina 4	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	
b.1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	
b.2	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	
b.3	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	
b.4	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	

(b) Sentido antihorario

c) **Secuencia de medio paso:** En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

Tabla 1-8: Secuencia de excitación de bobinas para el funcionamiento de un motor unipolar en modo de medio paso.

PASO	Bobina 4	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	
a.1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	
b.1	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	
a.2	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	

b.2	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	
a.3	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	
b.3	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	
a.4	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	
b.4	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	
(a) Sentido horario					
PASO	Bobina 4	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	
a.1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	
b.1	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	
a.2	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	
b.2	OFF ó 0	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	
a.3	OFF ó 0	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	
b.3	OFF ó 0	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	
a.4	ON ó 1	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	
b.4	ON ó 1	OFF ó 0	OFF ó 0	OFF ó 0	
(b) Sentido antihorario					

Como comentario final, cabe destacar que debido a que los motores paso a paso de imán permanente unipolares son dispositivos mecánicos y como tal deben vencer ciertas inercias, el tiempo de duración y la frecuencia de los pulsos aplicados es un punto muy importante a tener en cuenta. En tal sentido el motor debe alcanzar el paso antes que la próxima secuencia de pulsos comience. Si la frecuencia de pulsos es muy elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes formas:

- Puede que no realice ningún movimiento en absoluto.
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.
- Puede girar erráticamente.
- O puede llegar a girar en sentido opuesto.

Para obtener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. El giro en reversa debería también ser realizado previamente bajando la velocidad de giro y luego cambiar el sentido de rotación.

Los motores PAP unipolares de imán permanente son manufacturados por un número de compañías, entre las cuales tenemos:

COMPañÍA	MOTORES (modelo)
Tendon themselves and Japan Servo Motors	KP4M4-001
Minebea Co., Ltd	17PS-C007-04
Shinano Kenshi Co., Ltd	STH-42G100
ETC. ETC. ETC.	

Entre estas compañías solo nos vamos a centrar con el motor PAP unipolar de imán permanente de modelo KP4M4-001 fabricado por la compañía TENDON THEMSELVES AND JAPAN SERVO MOTORS, ya que se ha escogido este tipo de motor para el presente proyecto.

1.3.1.1.1 Motor paso a paso unipolar KP4M4-001.

El motor escogido (figura 1-38) es de bajo coste, pequeño tamaño y es construido todo de metal, algunas de sus características técnicas se detallan en la Tabla 1-9.

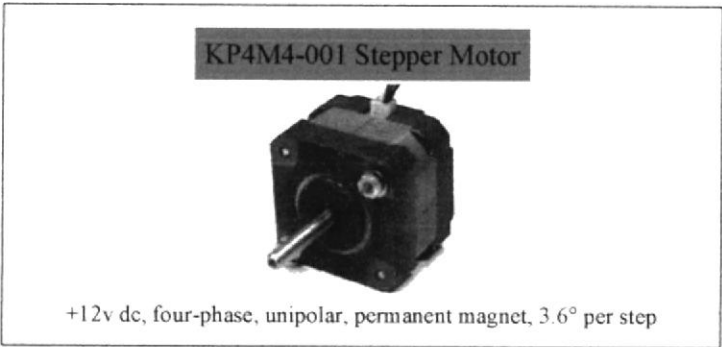
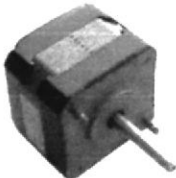


Figura 1-38: Motor paso a paso unipolar de imán permanente.

Especificaciones técnicas para el MOTOR DE PASOS UNIPOLAR MODELO KP4M4-001

Tabla 1-9: Especificaciones técnicas del motor pasó a paso.

Tipo	Unipolar de 4 fases	
Origen	Japón	
Número de Fases	2-2 PHASE	
Conexión	UNIPOLAR CONST. VOLT.	
Integrado Recomendado	ULN2003A	
Terminales de cables	5 cables de color codificados	
DIMENSIONES ELECTRICAS		
Número de Pasos por Revolución	100(3.6°/Paso)	
Resistencia Bobinas/Fase	148 Ω	
Angulo de paso	3.6°/Paso	
Corriente/Fase	81 mA	
Voltaje Trabajo	+12 Vdc	
DIMENSIONES FISICAS		
Eje Tamaño [mm]	Diámetro:	5
	Largo:	27
Tamaño del motor [mm] (con eje)	Alto:	68,5
	Largo:	42
	Ancho:	42
Peso	268 gramos	

CONEXIÓN UNIPOLAR: UNI-CONST. VOLT. (at 12V)

Dimensiones externas del motor paso a paso KP4M4-001

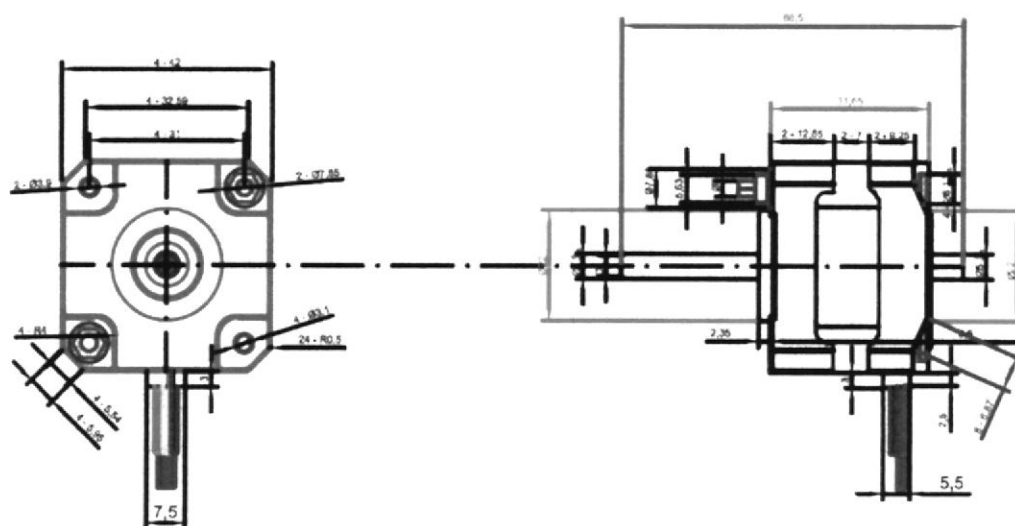


Figura 1-39: Dimensiones externas del motor paso a paso unipolar de imán permanente.

Identificando las bobinas

- Aplique una tensión positiva de +5Vdc Voltios al cable común.
- Seleccione un cable cualquiera y coloque a tierra (0 Voltios). A este cable se le llamará Cable 1. El nombre es arbitrario, simplemente será una referencia para identificar cada uno de los cables de las bobinas, ver la figura 1-40.

- Manteniendo al Cable 1 en tierra, comience a colocar los cables restantes a tierra (solamente uno a la vez) hasta producir un giro en el sentido contrario de las agujas del reloj (giro CCW). Este será el Cable 2, ver la figura 1-40.
- Conecte uno de los cables restantes a tierra, si el motor intenta girar en el sentido de las agujas del reloj (giro CW), este será el Cable 4, ver la figura 1-40.
- El conductor que no produzca movimiento alguno, será el Cable 3, ver la figura 1-40.

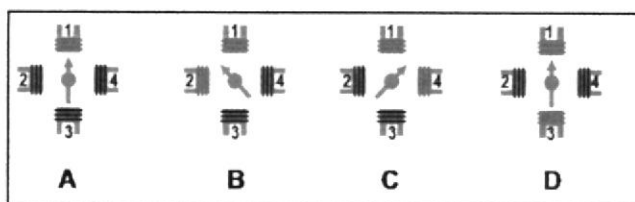


Figura 1-40: Identificación de las bobinas de un motor paso a paso unipolar



COLOR Y NÚMERO DE LAS BOBINAS:

Bobina No. 01 -> ROJO
 Bobina No. 02 -> BLANCO
 Bobina No. 03 -> CAFE
 Bobina No. 04 -> VERDE
 Común -> NEGRO

Esquema de conexiones

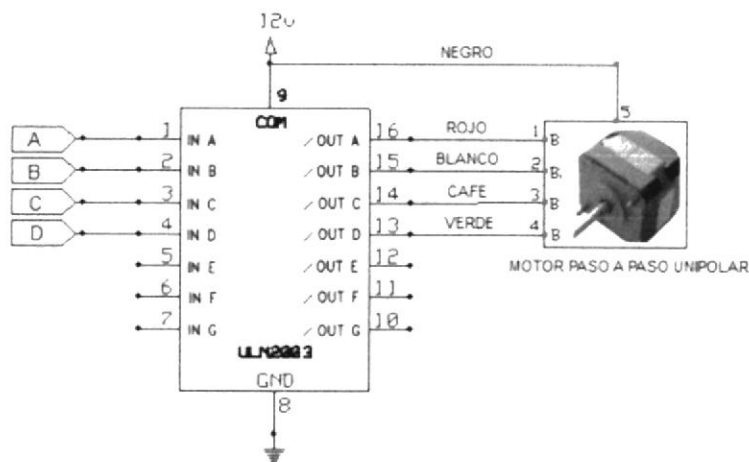


Figura 1-41: Esquema de conexiones de motor paso a paso KP4M4-001

1.3.2 Encoder.

El encoder es un dispositivo de más amplio uso en el mundo de la electrónica industrial, pues permite conocer la posición, velocidad y aceleración de elementos que se mueven en el espacio.

Según la tecnología existen dos clases de encoders los cuales son: Encoders ópticos y Encoders magnéticos.

- **Encoders ópticos:** Los encoders ópticos proveen altas resoluciones, velocidades de operaciones altas, y con seguridad, operación de larga vida en la mayoría de los ambientes industriales.

- **Encoders magnéticos:** Los encoders magnéticos, se utilizan frecuentemente en aplicaciones de trabajo pesado como en laminadoras de papel y acero, proveen buena resolución, altas velocidades de operación, y máxima resistencia al polvo, humedad, y golpe térmico y mecánico.

Entre estas dos clases nos centraremos con los encoders ópticos, ya que en el presente proyecto se utilizara un encoder de esta clase.

1.3.2.1 Encoders ópticos

Los Encoders ópticos son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Cuando son usados en conjunto con dispositivos mecánicos tales como engranes, ruedas de medición o flechas de motores, estos pueden ser utilizados para medir movimientos lineales, velocidad y posición.

Los Encoders ópticos están disponibles en dos tipos: encoder rotatorio y encoder lineal.

- **Encoder rotatorio:** Es el que responde a la rotación.
- **Encoder lineal:** Es el que responde al movimiento lineal.

Entre estos dos tipos de encoders ópticos, se describirá algo más del encoder rotatorio, debido a que en el presente proyecto se ha elegido un encoder de este tipo.

1.3.2.1.1 Encoder rotatorio

Son aquellos que ofrecen directamente una señal digital a partir de una entrada analógica.

También podemos decir que un encoder rotatorio, es un sensor electro-opto-mecánico que unido a un eje, proporciona información de la posición angular. Su fin, es actuar como un dispositivo de realimentación en sistemas de control integrado.

Los Encoder Rotatorios, también conocidos como “Encoders de Ejes” y “Encoders de Posición” tienen muchos usos. Por ejemplo, un encoder rotatorio puede medir velocidad en RPM de un motor. O, puede medir el ángulo de un brazo robótico o el azimut de una antena – radar rotatorio.

Los encoders rotatorios pueden ser agrupados en dos grandes categorías: Incrementales y Absolutos.

- **Encoders incrementales:** Son aquellos que generan pulsos mientras se mueven, se utilizan para medir la velocidad, o la trayectoria de posición.

Basicamente constan de: un disco giratorio con ranuras o marcas opacas (figura 1-42) ubicadas por lo general en el perímetro de toda su circunferencia y equidistantes entre sí; también de sensores de luz (fotosensor) o **Sensores infrarrojos optoacoplados** de ranura, los cuales se activarán cada vez que una ranura del disco deje hueco por el. Así se obtienen una señal (pulso) cada vez que pasa una ranura.

El funcionamiento del fotosensor de ranura de este tipo de encoder, se basa en fototransistores (figura 1-43), los cuales actúan como fotoreceptores o fotodetectores y leds (figura 1-25), los cuales actúan como emisores de luz.



Figura 1-42: Disco con ranuras y huecos transparentes



Figura 1-43: Fototransisto para encoder incremental

Los encoders rotatorios incrementales utilizan un disco metálico o plástico con ranuras. La luz del LED brilla a través del disco o tira sobre el fotodetector (fototransistor), que produce el suministrador del encoder. Un encoder de incremento tiene un disco una o más pistas (filas en forma circular) con ranuras.

La resolución del encoder incremental rotativo dependerá del numero (N) de de impulsos por revolución. Expresada en grados seria:

$$Resolución = \frac{360^{\circ}}{N}$$

El funcionamiento del encoder incremental rotatorio es el siguiente: cuando el sistema comienza a funcionar el emisor de luz empieza a emitir; a medida que el eje vaya girando, se producirán una serie de pulsos de luz en el receptor, correspondiente a la luz que atraviesa los huecos entre las ranuras o marcas opacas, levando una cuenta de estos pulsos es posible conocer la posición del eje, sobre este esquema básico (figura 1-44) es habitual encontrar algunas mejoras, por ejemplo, se suele tener otra serie de ranuras por debajo desplazada de la primera serie, para poder controlar el sentido del giro; además suele ser necesario el empleo de una marca de referencia que ayudara a saber si se ha completado una vuelta. Realmente los encoders incrementales miden la velocidad de giro, pero se puede extrapolar la posición angular. Como es lógico, la resolución de este categoría de encoders depende directamente del número de ranuras que se puede tener físicamente en el disco.

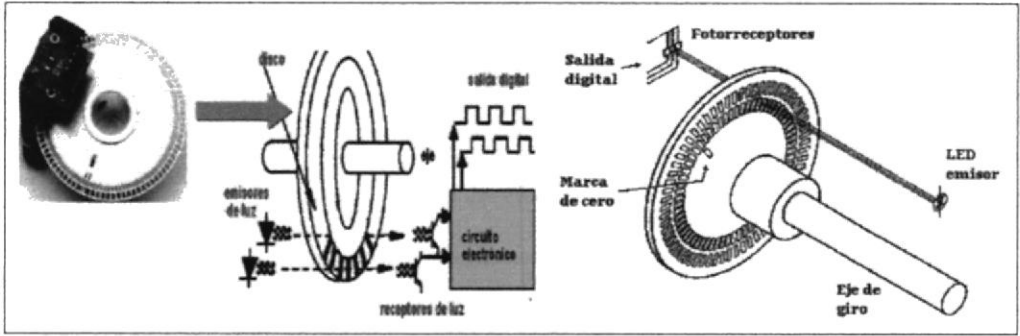


Figura 1-44: Esquema del encoder incremental

- **Encoders absolutos:** Son aquellos que generan multi-bits digitales, que indican directamente su posición actual.

En el encoder absoluto, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas o filas circulares concéntricas (figura 1-45), con zonas opacas y transparentes. También utilizan fotosensores, pero hay conjuntos de fotosensores

integrados que facilitan en gran manera la realización del encoder absoluto (figura 1-46).



Figura 1-45: Disco con ranuras y huecos transparentes para encoder absoluto

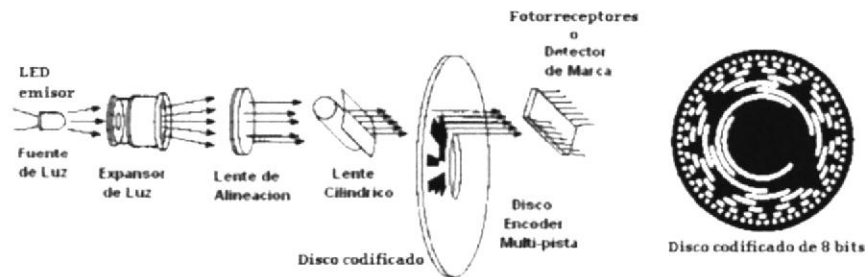


Figura 1-46: Esquema del encoder absoluto

Un encoder absoluto tiene varias pistas como bits de salida con zonas diferenciadas (opacas y transparentes) y están agrupadas en forma circular. Cada pista representa un bit de salida, siendo la pista más interior la correspondiente al bit de mayor peso.

El funcionamiento básico de los encoders absolutos es similar al de los incrementales. La disposición es parecida a la de los encoders incrementales, se dispone de una fuente de luz con las lentes de adaptación correspondientes, un disco graduado y unos fotorreceptores, la diferencia estriba en la graduación o codificación del disco. En este caso, el disco transparente se divide en un número determinado de sectores (potencia de 2), codificándose cada uno de ellos según un código binario cíclico (normalmente código de Gray); este código queda representado en el disco por zonas transparentes y opacas dispuestas radialmente, como se muestra en la figura 1-47. No es necesario ahora ningún contador o electrónica adicional para detectar el sentido del giro, pues cada posición (sector) es codificado de forma absoluta. Su resolución es fija, y vendrá dada por el número de anillos que posea el disco graduado o lo que es lo mismo, el número de bits del código utilizado, normalmente se usan códigos desde 2^8 a 2^{19} bits (desde 256 a 524288 posiciones distintas).

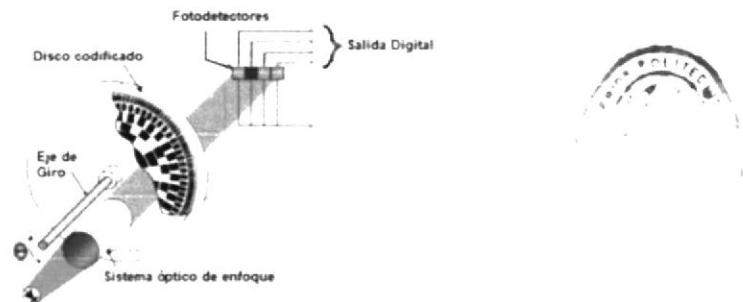


Figura 1-47: Principio de funcionamiento de los encoders de posición absolutos

Para un encoder absoluto con N bandas en el disco, el rotor permite 2^N combinaciones por lo cual la resolución del encoder absoluto será entonces:

$$Resolución = \frac{360^\circ}{2^N}$$

Por ejemplo en encoders absolutos de 12 y 16 bits se obtiene una resolución de 0.0879° y 0.00549° respectivamente.

Entre estas dos categorías de encoders rotatorios describiremos algo más del encoder rotatorio incremental, ya que en este proyecto se ha elegido un encoder de esta categoría.

1.3.2.1.1 Encoder incremental rotatorio

Los encoders incrementales rotatorios son probablemente el tipo más común de encoder utilizado en la industria, por la gran variedad de aplicaciones que su uso abarcan.

Cada encoder incremental rotatorio tiene en su interior un disco, marcado con una serie de ranuras (marcas opacas) y huecos o marcas transparentes a través de una única pista alrededor de su perímetro, las marcas opacas a la luz de anchura es igual a los huecos transparentes, trabajando con una unidad emisora de luz (led) y una unidad de captación de la misma (fototransistor), al girar el disco, generan unas señales que debidamente tratadas generan las señales de salida de un encoder incremental.

Las señales de salida de un encoder pueden ser un tren de impulsos, en forma de señal cuadrada, donde el número de impulsos que se generaran en una vuelta coincidirá con el número de impulsos del disco en el interior del encoder, nos referimos a encoders de un solo canal. (señal A) (Figura 1-48). Al referirnos de encoders incrementales de un solo canal se generara una señal de salida (señal A) y el disco tiene una pista con ranuras (Figura 1-49).



Figura 1-48: Señal A en forma cuadrada

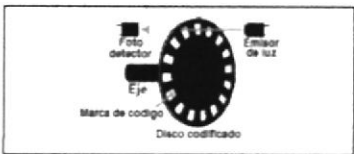


Figura 1-49: Disco con una pista de ranuras

Una segunda señal se suministra (señal B), es un tren de impulsos idéntico al que suministra la señal A pero desfasado 90° respecto de esta , nos referimos a encoder de dos canales. (señal A+B) (Figura 1-50). Al referirnos de encoders incrementales de dos canales se generara dos señales de salida y el disco tiene dos pistas con ranuras (Figura 1-59).

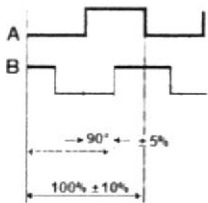


Figura 1-50: Desfase de 90° entre la señal A y B

También cabe la posibilidad de una señal de referencia o zero que proporciona un pulso a cada vuelta, esta señal puede sincronizarse respecto de la señal A (A+0), respecto la señal B (A+B+0) o respecto a ambas.

Están disponibles las negadas de cada una de estas señales (figura 1-51).

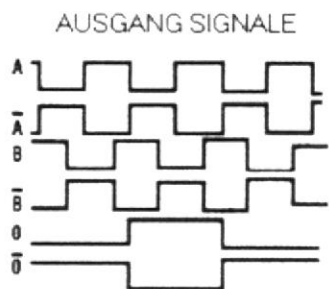


Figura 1-51: Negada de las señales

La tolerancia de las señales suministradas, en 360° electrónicos (1 periodo) es del +/- 10%, como ya hemos indicado el desfase entre A o su negada respecto B o su negada es de 90° electronicos (1/4 periodo) con una tolerancia del +/- 5%

En todos los encoders incrementales rotativos de dos canales, la señal B adelanta 90° (electricos) a la señal A, cuando el encoder gira en sentido horario, esto es cuando el eje gira en sentido horario mirándolo desde el final del mismo. Pero cuando el encoder gira en sentido anti-horario, la señal A adelanta 90° (electricos) a la señal B. (ver figura 1-52).

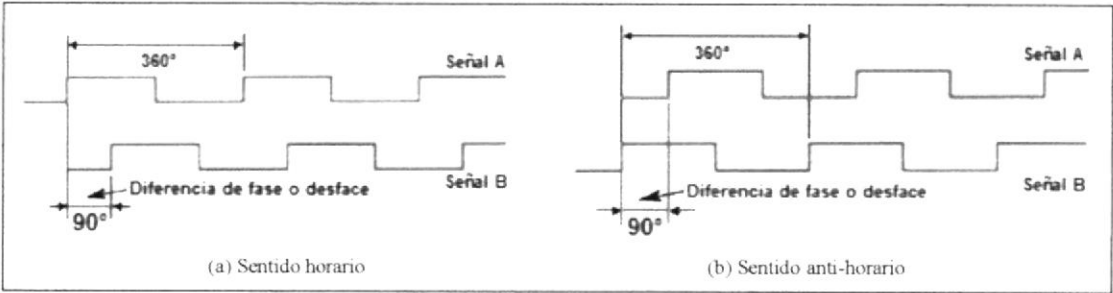


Figura 1-52: Sentido de giro del encoder

Para esta categoría de encoders se utilizan tipos de fotosensores o **Sensores infrarrojos optoacoplados** de ranura. Estos sensores contienen leds infrarrojos (emisores) y fototransistores (receptores transistor activado por luz) en una misma capsula. Los modelos más conocidos y fácil del encontrar de este tipo de sensores tenemos los siguientes:

Sensores infrarrojos opto-acopladores (modelo)	Figura
H21A	Figura 1-53
L7849/T1	Figura 1-54
MOC70T3	Figura 1-55
ETC. ETC. ETC.	

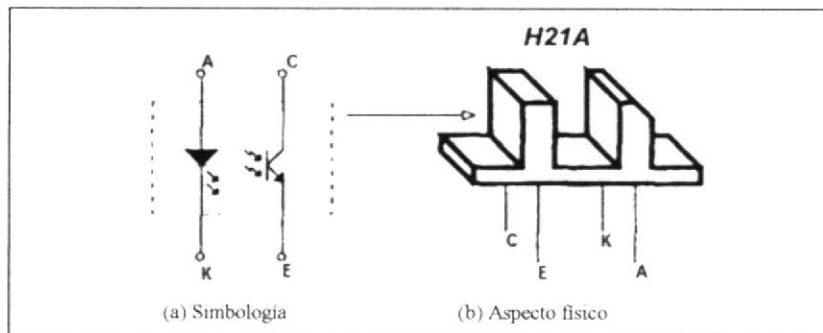


Figura 1-53: Cápsula del fotosensor H21A (dispositivo óptico emisor/receptor)

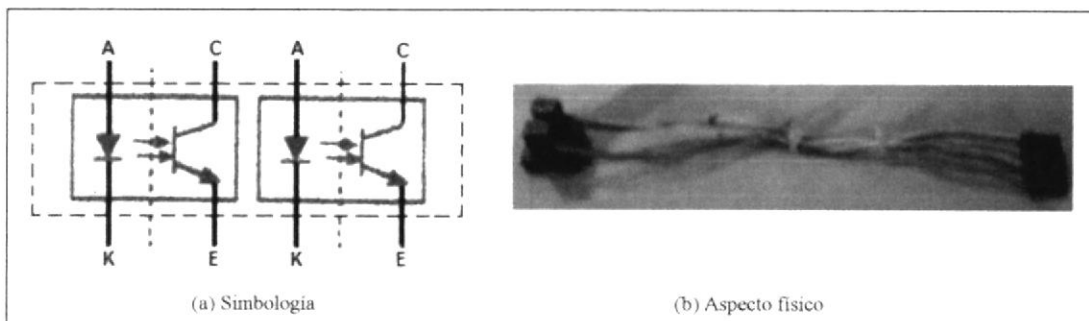


Figura 1-54: Cápsula del fotosensor L7849/TI (dispositivo óptico emisor/receptor)

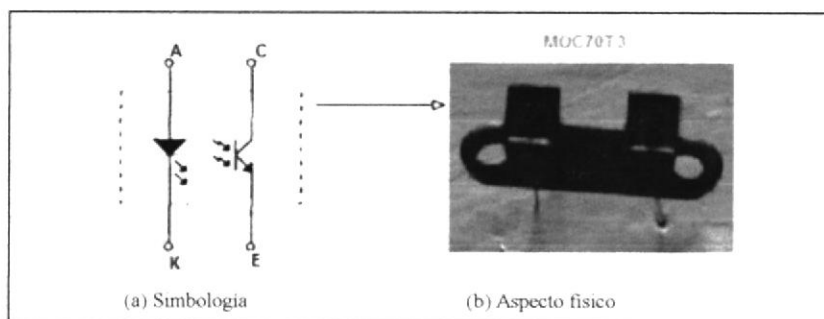


Figura 1-55: Cápsula del fotosensor MOC70T3 (dispositivo óptico emisor/receptor)

Entre estos tipos de sensores infrarrojos optoacoplados vamos a utilizar y describir el modelo L7849/TI, ya que el encoder elegido para el presente proyecto, utiliza un sensor de este modelo y también utiliza un disco con dos pistas de ranuras.

➤ Sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI

Este modelo de sensor es encapsulado, está compuesto internamente en su capsula por dos leds (emisores) y dos fototransistores (receptores) (figura 1-54). La identificación de los cables de los leds y fototransistores que se encuentran internamente en la capsula del sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI, la podemos observar en el anexo C.

Aplicación del sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI

En la figura 1-56 se muestra la clásica aplicación del sensor tipo L7849/TI. Consiste en un disco acoplado al eje de un motor- El disco tiene dos pistas de

ranuras que cortan o no el paso del haz de luz entre el emisor y el receptor conforme el motor gira contando los pulsos que se producen entre corte y corte del haz. Se puede conocer la velocidad de giro; si se conoce la distancia entre ranuras; se puede saber el desplazamiento o grados que ha girado el motor.

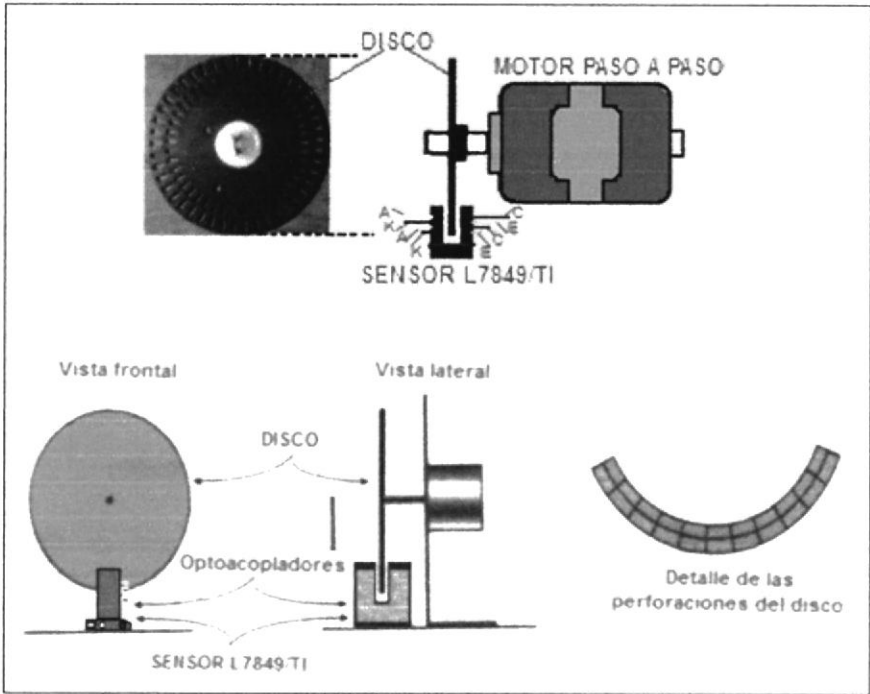
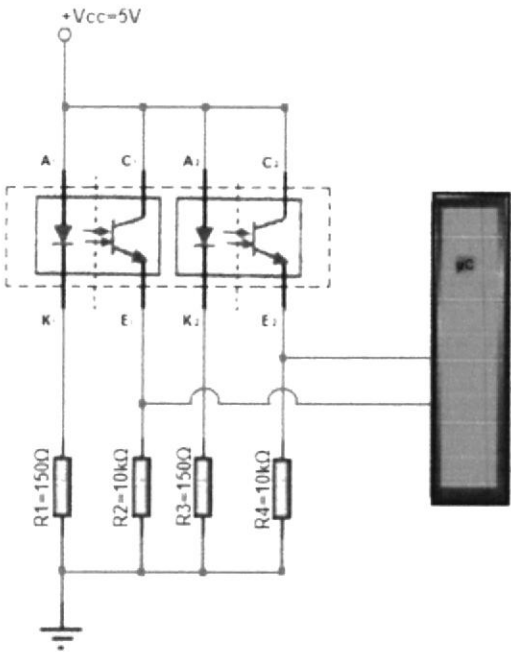


Figura 1-56: Ejemplo de aplicación del sensor L7849/TI

Conexión de funcionamiento

En la Figura 1-57 se muestra el esquema de conexión típico del sensor infrarrojo optoacoplado L7849/TI.



$$R_1 = R_3 = \frac{V_{FUN}}{I_{FUN}} = \frac{5V}{33mA} = 151.15\Omega$$

$$R_2 = R_4 = \frac{V_{E-C}}{I_C} = \frac{5V}{2mA} = 2.5K\Omega$$

V_{E-C} = Voltaje de emisor a colector

I_C = Corriente por el colector

V_{FUN} = Voltaje de funcionamiento

I_{FUN} = Corriente de funcionamiento

Figura 1-57: Esquema de conexión del sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI

Suponiendo una tensión +VCC de +5V (podría ser de otro valor), la resistencia R1 y R3 mantienen polarizado los diodos emisores. Estos diodos emisores emite un haz de luz que, si no es interrumpido o absorbido, llega hasta el foto transistor receptor- En los bornes de las resistencias R2 y R4 se obtiene el nivel lógico "1" cuando llega la luz y el nivel "0" en caso contrario.

Las resistencias R2 y R4 se pueden sustituir por otra de diferente valor o bien, por una resistencia de ajuste de unos 10K, de esta forma se puede ajustar la sensibilidad de los fototransistores receptores dependiendo del modelo que se trate.

Características técnicas del sensor L7849/TI.

En Tabla 1-10 se muestran especificaciones o características técnicas del sensor infrarrojo optoacoplado L7849/TI (Figura 1-54).

Tabla 1-10: Especificaciones técnicas del sensor infrarrojo optoacoplado L7849/TI.

CARACTERISTICA	SENSOR L7849/TI
Tipo	Fototransistor
Tipo de salida	Colector abierto NPN
Anchura de ranura	6mm
Profundidad de ranura	18,5mm

En la tabla 1-11 se muestra el rango de funcionamiento del fototransistor y del LED

Tabla 1-11: Rango de funcionamiento del fototransistor y del LED.

Fototransistor		
Parámetro	Rango	Unidad
Voltaje del Emisor a Colector	5	V
Corriente por el Colector	2	mA
LED		
Parámetro	Rango	Unidad
Voltaje de funcionamiento	5	V
Corriente de funcionamiento	33	mA

1.3.2.1.1.2 Descripción del Encoder incremental rotatorio utilizado.

EL encoder incremental rotatorio (Figura 1- 58) escogido, está compuesto internamente por: un disco metalico con dos pistas de ranura (Figura 1-59) y un sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI (Figura 1-54). Entre sus principales ventajas es la de poseer un acabado anticorrosivo, esto nos ayuda a preservar la duración del mismo, algunas de sus características técnicas se detallan en la Tabla 1-12.

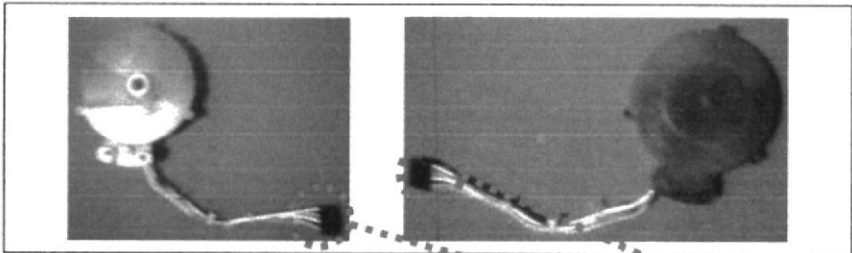


Figura 1-58: Encoder incremental rotatorio

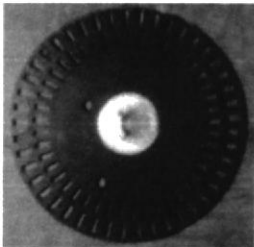


Figura 1-59: Disco con dos pistas de ranuras

Conector de salida del encoder utilizado en el presente proyecto con 8 terminales hembras.

Tabla 1-12: Especificaciones técnicas del ENCODER INCREMENTAL ROTATORIO utilizado.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ENCODER INCREMENTAL ROTATORIO			
Tipo:	Rotatorio Incremental	Modelo de sensor:	L7849/TI, sensor infrarrojo optoacoplado de ranura
Disco:	Posee un disco con 2 pistas de ranuras	# de cables para conexión:	8
Dimensiones (mm):	Alto: 100 Largo: 26 Ancho: 80	Acabado exterior:	Plástico

CAPITULO 2

HERRAMIENTAS DE SOFTWARE UTILIZADAS



CAPÍTULO 2

HERAMIENTAS DE SOFTWARE UTILIZADAS

2.1 Fundamento Teórico

En el presente capítulo se detallan los recursos y herramientas de software necesarias para la implementación del hardware de control del motor paso a paso de imán permanente unipolar aplicado con microcontrolador de gama media y encoder incremental, describiendo como es el uso del software PROTEUS y el software compilador PIC C compiler de CCS, logrando analizar la interacción entre ellos. También se utilizara el software PICKIT 2 para la programación del microcontrolador (PIC16F887) y un hardware para programar el microcontrolador desde la PC.

2.2 Descripción del Software PROTEUS.

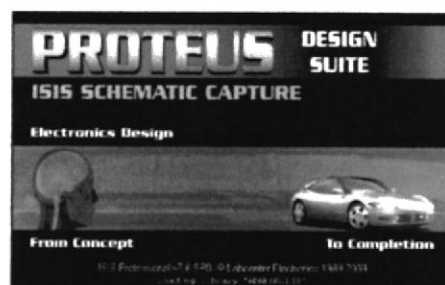


Figura 2-1. Imagen inicial de PROTEUS



Introducción a PROTEUS

PROTEUS es una aplicación CAD, esto permite el diseño tanto a nivel hardware como software y realizar la simulación en un mismo y único entorno (figura 2-5.). Para ello, se suministran tres potentes subentornos como son:

- ISIS (Intelligent Schematic Input System): es el subentorno para el diseño gráfico y de captura de esquemas.



Figura 2-2. Representación de ISIS

- VSM (Virtual System Modelling): es el subentorno de simulación, incluyendo PROSPICE.



Figura 2-3. Representación de VSM

- ARES (Advanced Routing Modelling): es el subentorno para la realización de circuitos impresos (PCB) o para el diseño de placas.



Figura 2-4. Representación de ARES

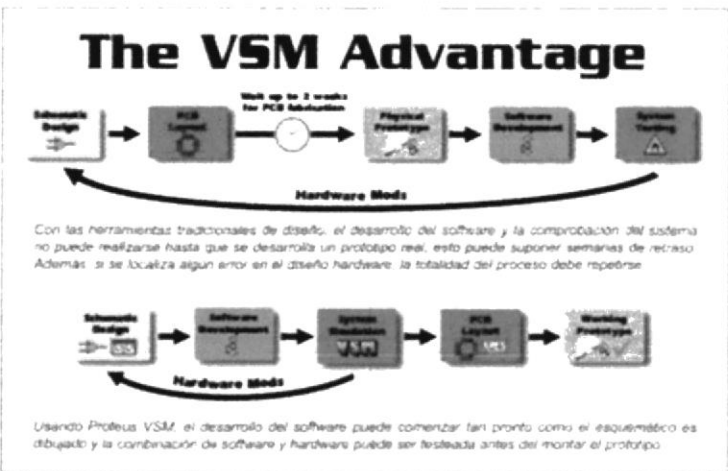


Figura 2-5. Entorno de trabajo PROTEUS (fuente: Labcenter Electronics)

NOTA
En la carpeta CURSO PROTEUS (del capítulo 1 – 10) se da mucha más información sobre el entorno gráfico ISIS y VSM de la que a continuación se va a dar. En este capítulo sólo se describirán los pasos básicos y esenciales para comenzar a diseñar y simular circuitos electrónicos e impresos con microcontroladores en PROTEUS para el presente proyecto.

2.2.1 Diseño del circuito electrónico del presente proyecto

El circuito electrónico del presente proyecto es un circuito para control de motores PAP usando microcontrolador y encoder, el cual fue diseñado primeramente en PROTEUS, aplicando los siguientes pasos:

- 1. Primero que nada debemos tener instalado el programa o software PROTEUS, luego ejecutamos o abrimos el subentorno ISIS, se presentara una pantalla similar al siguiente grafico.

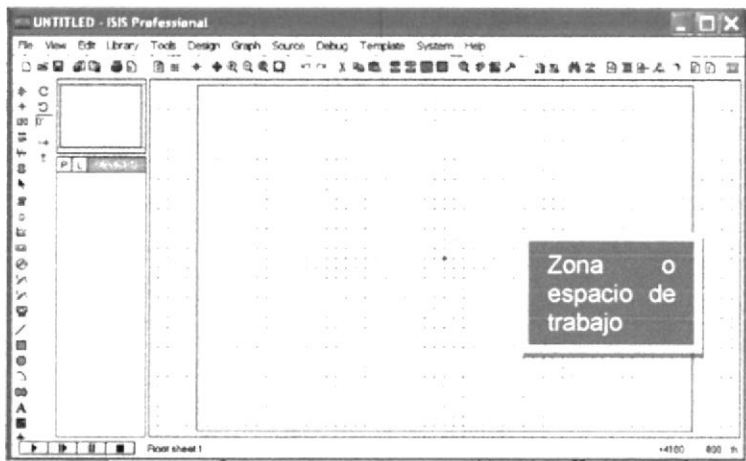


Figura 2-6. Pantalla del subentorno ISIS para diseño de los circuitos electrónicos analógicos.

- 2. Al iniciar ISIS en el programa PROTEUS por defecto esta seleccionado **Component**, si no lo está presione  (component) (figura 2-8) y luego presione **P** ( Pick Devices) (figura 2-9). Esto abrirá una ventana de selección de componentes en donde escogeremos los que vamos a utilizar (figura 2-10).



Figura 2-7. Barra de componentes y dibujo

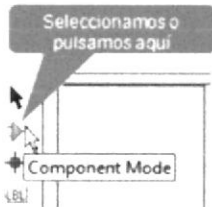


Figura 2-8. Modo componentes

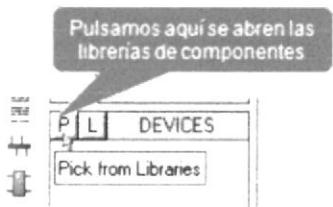


Figura 2-9. Botón "pick"

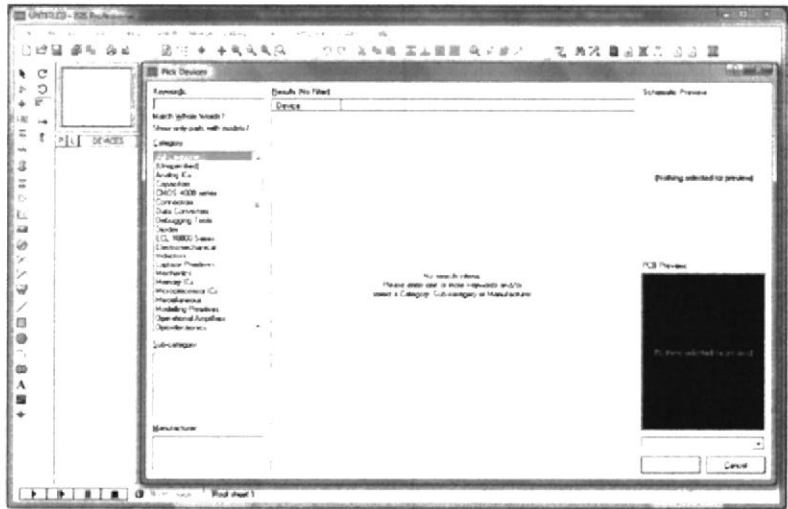


Figura 2-10. Ventana para la edición y selección de componentes

- En la casilla **Keywords** ingresamos **PIC16F887** y hacemos doble clic en el elemento respectivo de la derecha (PIC16F887), esto transfiere el componente a nuestro ambiente de trabajo (observará que al lado izquierdo en DEVICES van apareciendo los elementos que se van seleccionando).

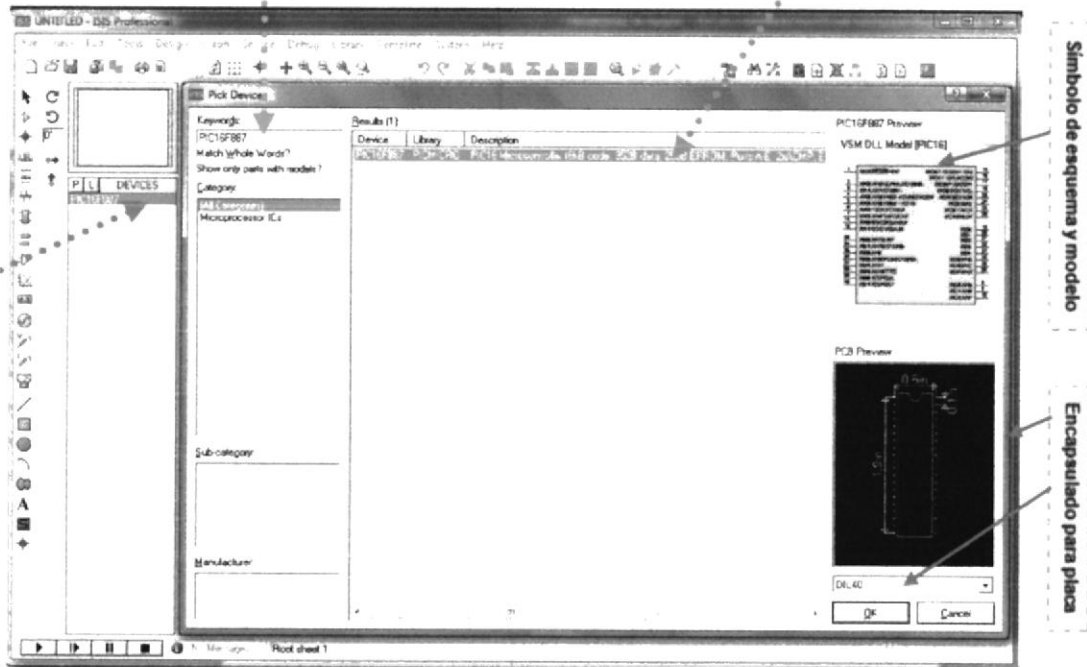


Figura 2-11. Componente escogido en la ventana de edición y selección de componentes

Hacemos lo mismo con **BATTERY**, **BUTTON**, **CONN-SIL8**, **LED-RED**, **LM016L**, **SWITCH**, **MINIRES10K**, **MINIRES470R**, **MINIRES330R**, **MOTOR-STEPPER**, **POT**, **POT-HG**, **POT-LIN**, **MOTOR-BLDCM** y **ULN2003A**, etc. para que también se transfieran.



Figura 2-12. Lista de componentes transferidos o añadidos

- Guardamos la hoja de ISIS con un nombre en alguna unidad (C:, D:, E:, etc.).
- Con estos elementos se puede empezar a dibujar el circuito arrastrando y pegando elementos del espacio de trabajo al plano de dibujo.

Para situar un elemento en el espacio de trabajo tan sólo debemos seleccionarlo de la lista. Al hacerlo se puede comprobar su orientación en la ventana de edición (figura 2-14). Si deseamos modificar la rotación o reflexión del componente podemos acceder a ello a través de la barra de herramientas correspondiente (figura 2-15).

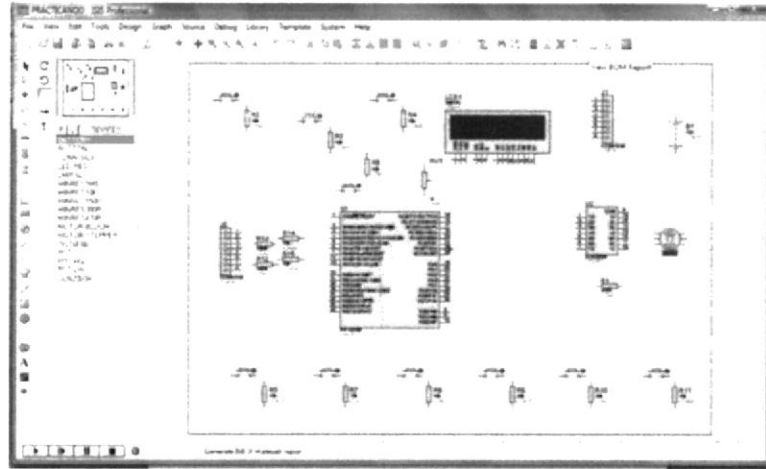


Figura 2-13. Elementos pegados en el espacio de trabajo

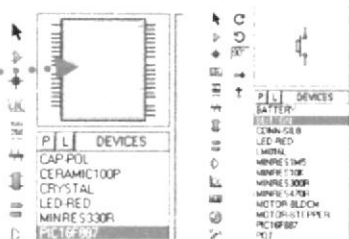


Figura 2-14. Selección y orientación del componente

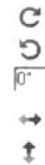


Figura 2-15. Barra de rotación y reflexión

6. Acercando el Mouse a los terminales de los componentes o elementos se los va uniendo con cables.

Otro modo de unión virtual es a través de terminales. Al activar el modo terminal (Terminals Mode ) (figura 2-16) se pueden seleccionar distintos tipos de terminales, entre ellos los utilizados por defectos (default , input , output , bidirectional , power , ground , and bus ). Al utilizar estos terminales en varios componentes y darles el mismo nombre en todos ellos se consigue una unión eléctrica.

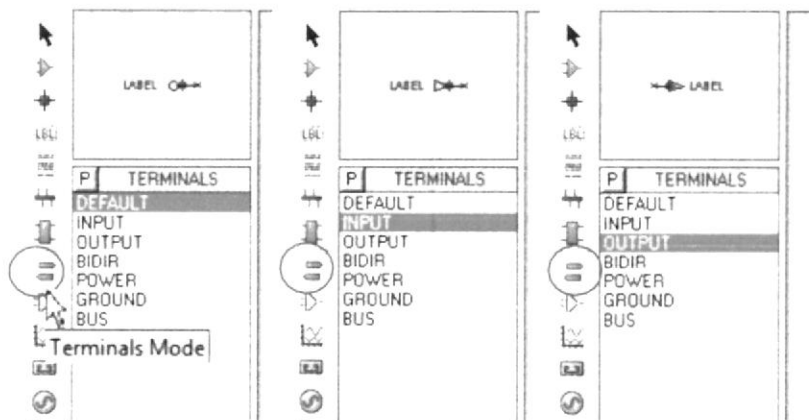


Figura 2-16. Modo terminal

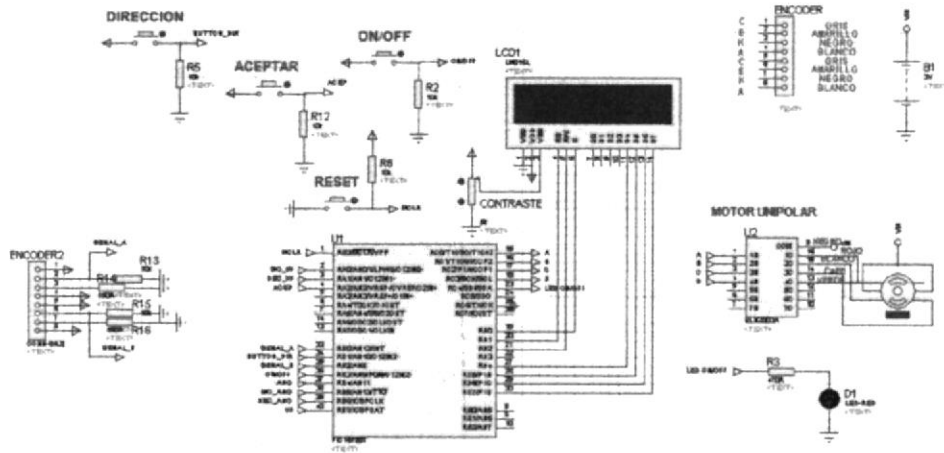


Figura 2-17. Unión eléctrica a través de terminales y cables

Mediante este modo también se pueden colocar las masas y alimentaciones del circuito utilizando las opciones *Ground* ($\perp$ tierra) y *Power* ($\uparrow$ alimentación a 5V). De esta forma se puede finalizar el circuito. El resultado se observa en la siguiente gráfica (figura 2-18):

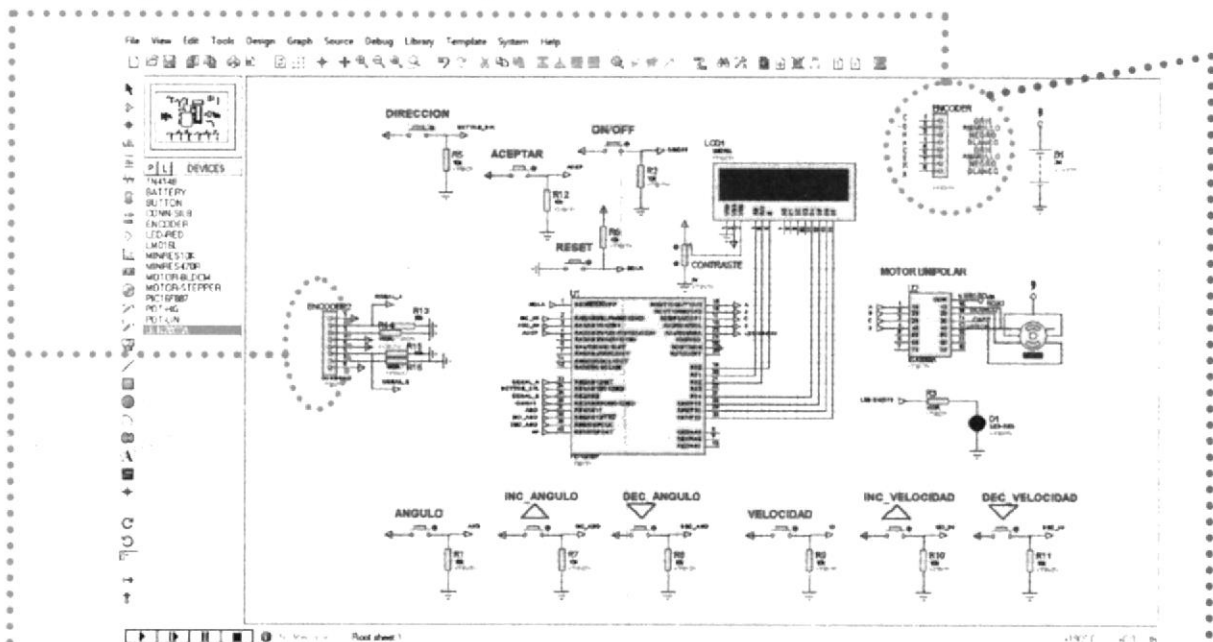


Figura 2-18. Circuito electrónico de control de motores Paso a Paso para la construcción física del equipo didáctico del proyecto de graduación.

NOTA

El circuito de la figura 2-18 está un poco incompleto, debido a que no existe en la librería del programa PROTEUS lo siguiente: el sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI y el disco con dos pistas de ranuras o bien un encoder incremental completo que tenga internamente el sensor y el disco, para conectarlo al eje del motor. Por esta razón solo se ha escogido dos conectores **CONN-SIL8** para representarlo como encoder, debido a que el sensor L7849/TI tiene un conector con 8 terminales hembras (figura 2-19) y este conector también pertenece como conector de salida del encoder utilizado en el presente proyecto (figura 1-58). Un conector CONN-SIL8 representa la identificación de sus partes en orden y el orden de los cables de colores para conectarlo y el otro conector CONN-SIL8 representa lo que va tener conectados los terminales del conector del encoder. El circuito de la figura 2-18 se lo puede observar mas ampliado en la siguiente pagina, al armarlo físicamente y conectando el encoder al eje del motor paso a paso funciona correctamente.

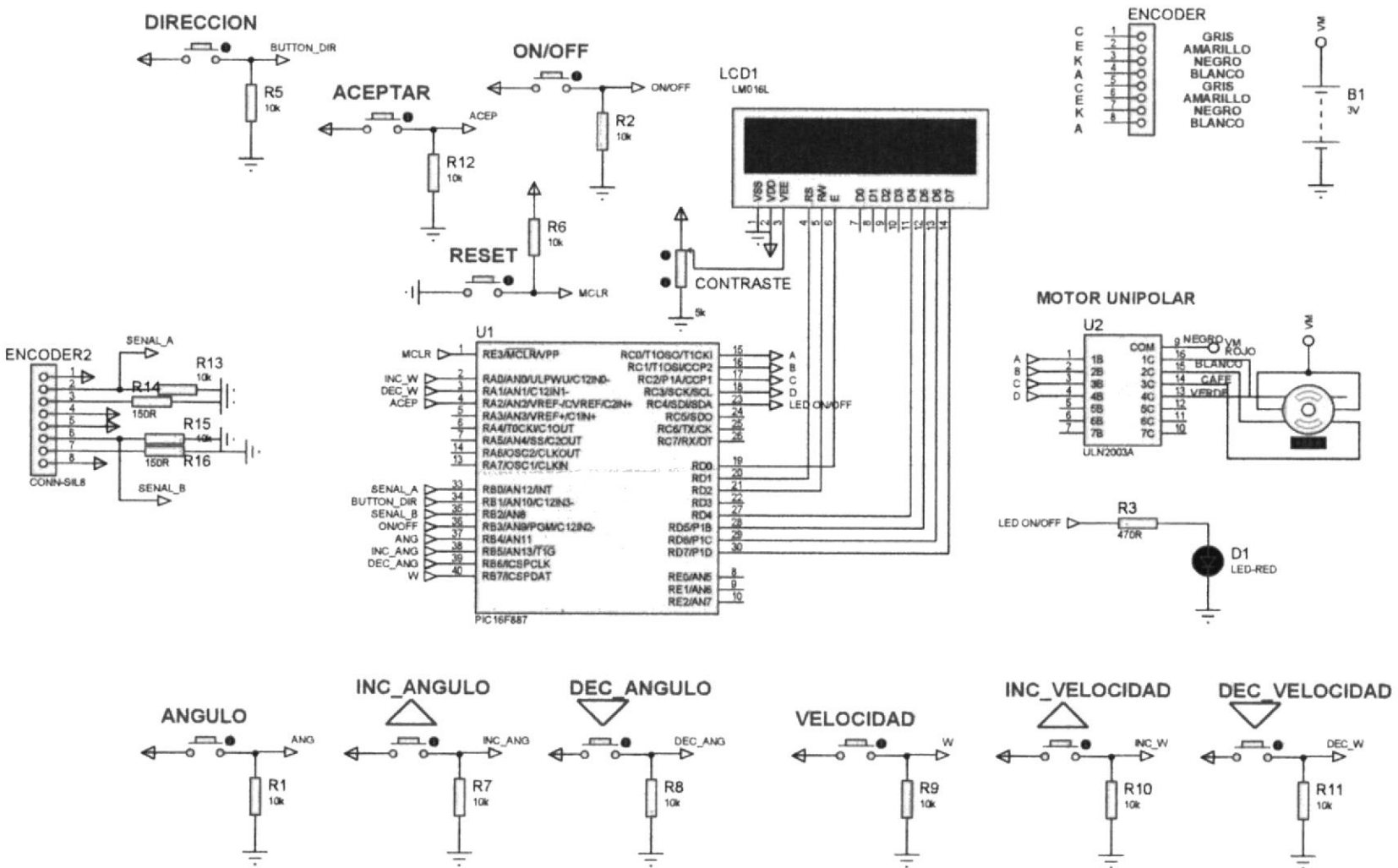


Figura 2.-18 Circuito electrónico de control de Motores de Paso para la construcción física del equipo didáctico del proyecto de graduación.

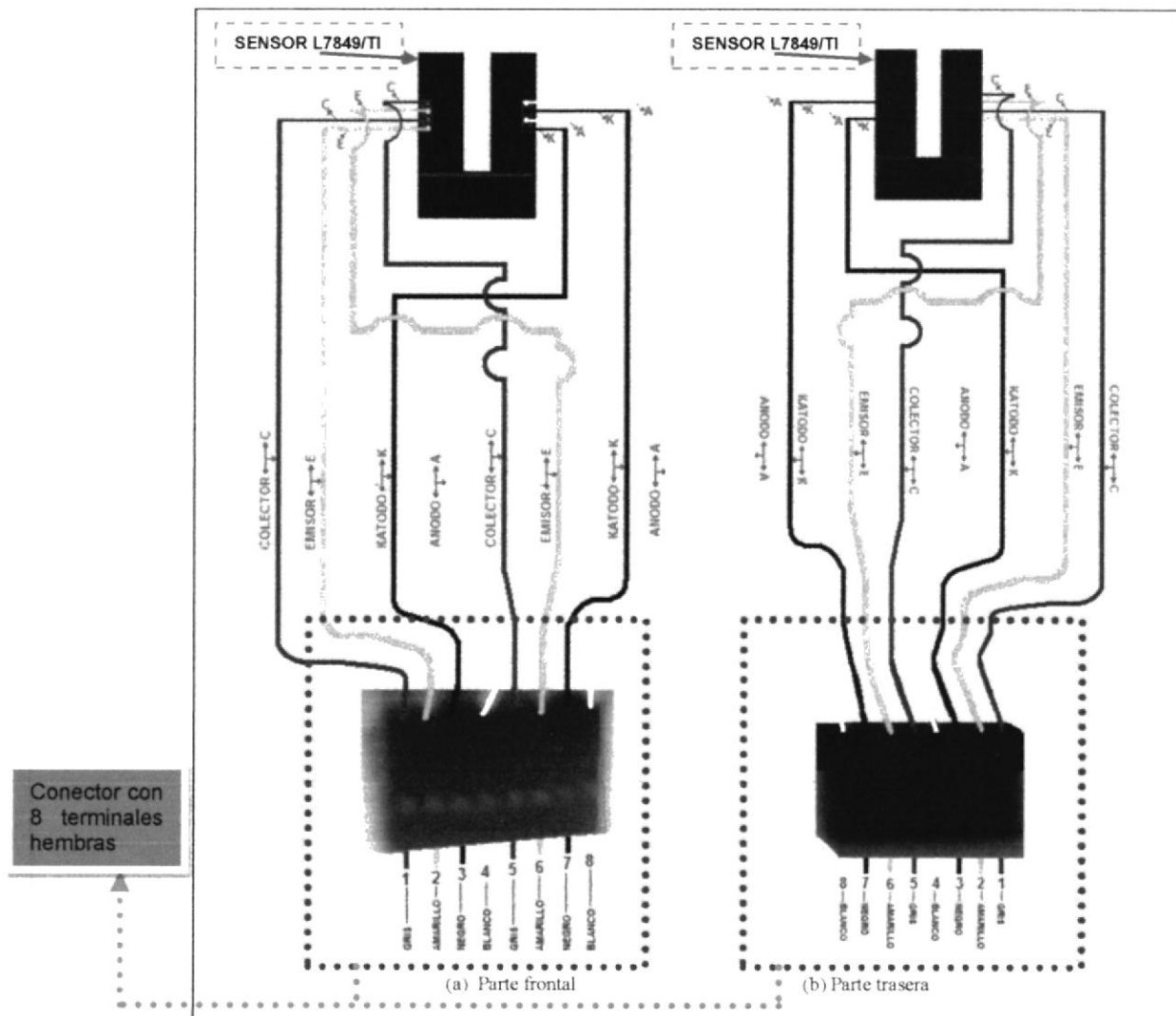


Figura 2-19. Identificación de los terminales del conector del sensor L7849/TI y del encoder utilizado.

2.2.1.a Simulación del circuito electrónico del presente proyecto

Una vez terminado el circuito electrónico del presente proyecto, procedemos a cargar el archivo hexadecimal (hex) a correr en el microcontrolador PIC16F887, para esto damos un clic izquierdo en el centro y sobre el microcontrolador, notara que cambia a color rojo, luego otro clic izquierdo (si da un clic derecho borra el microcontrolador), aparecerá una pantalla nueva de Edición de componentes (Edit Component) (Figura 2-20) y en esta pantalla que se abre, seleccione en la línea de Program File el ícono de la carpeta y aparecerá un directorio de búsqueda (Figura 2-21) que tenemos que hacerlo apuntar y abrir al archivo Código Motor Paso.hex que se creó y se formó como resultado de la compilación en el software compilador PIC C compiler de CCS (ver sección 2.3) y que debe de estar en la carpeta donde se creó. Luego de haber abierto el archivo presionamos OK y está listo para la simulación.

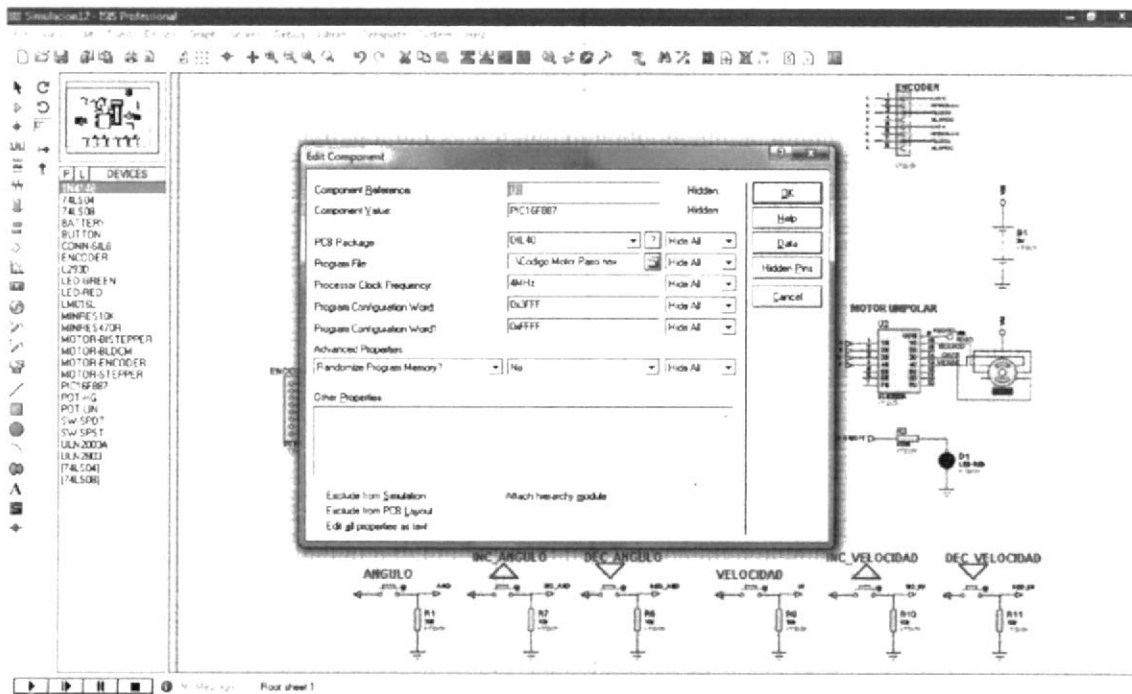


Figura 2-20. Aparición nueva de la pantalla nueva de edición de componentes sobre el microcontrolador

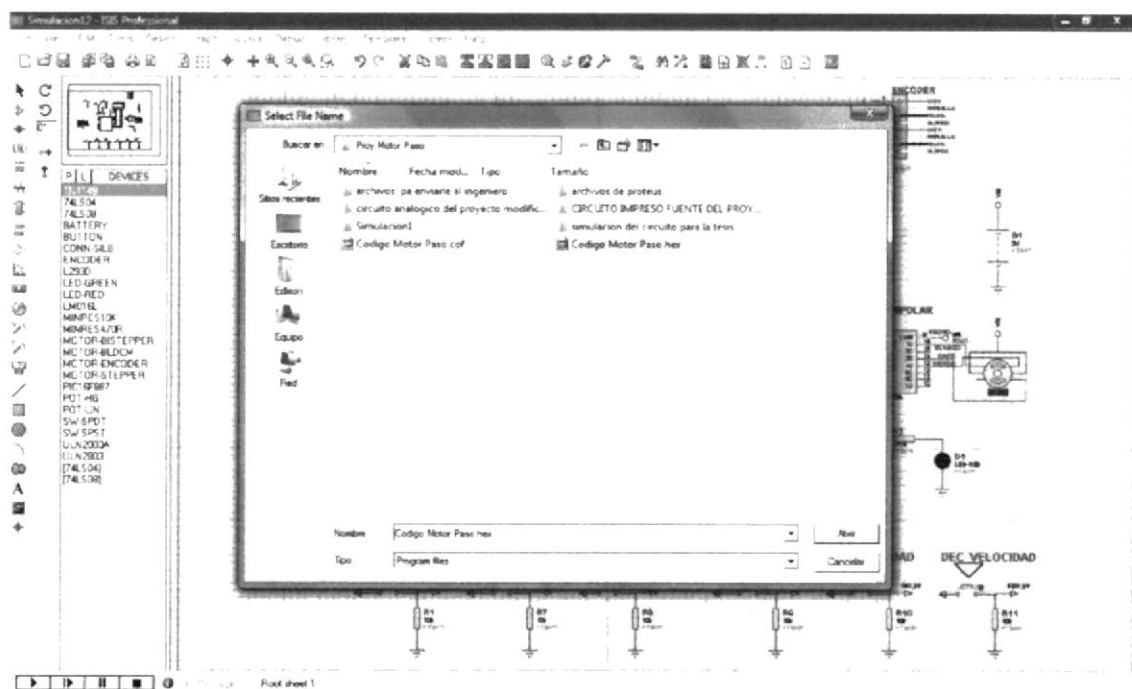


Figura 2-21. Directorio de búsqueda para abrir el archivo hexadecimal

Para iniciar la simulación presionamos **PLAY**  localizado en la parte inferior izquierda de la pantalla de ISIS, ahora podrá ver la simulación en tiempo real. Observe que haciendo clic sobre los pulsadores causará que se prenda el LED, se encienda la pantalla LCD y empiece a salir el valor del ángulo y la velocidad que se necesita para que gire el motor paso a paso en los dos sentidos: hacia la derecha y hacia la izquierda.

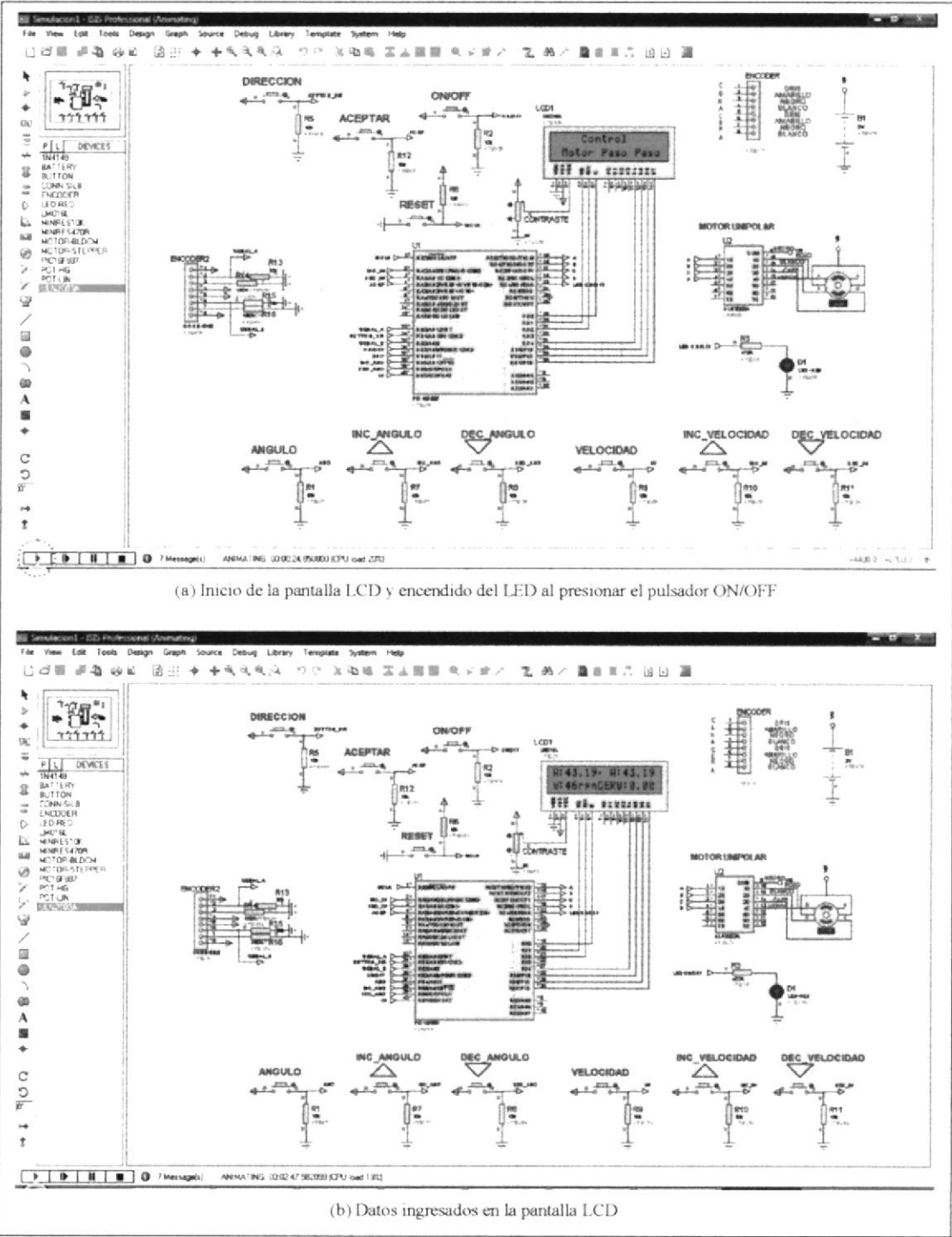


Figura 2-22. Simulación del circuito electrónico para la construcción física del hardware del proyecto de graduación

2.2.1.a Generación del PCB (Print Circuit Board) para el circuito electrónico del presente proyecto

Esta herramienta es muy indispensable si desea fabricar un circuito impreso.

Una vez diseñado y simulado el circuito electrónico esquemático (Figura 2-22) en el subentorno ISIS del programa PROTEUS, procedemos a realizar el diseño de la PCB, para lo cual damos click en el icono ARES (ARES) localizado en la parte superior derecha

de la pantalla de ISIS, se presentara una pantalla similar a la Figura 2-23, la cual es la pantalla del subentorno *Ares* y es encargada del diseño de PCB. La pantalla del subentorno Ares se presenta con otra pantalla de menor tamaño llamada Package Selector, en esta pantalla aparecerán unos cuantos elementos que no tienen elementos para PCB y tenemos la opción de seleccionarle algún elemento para pcb en el paquete (Package), como no se muestran todos elementos que no tienen elementos para PCB en esta pantalla llamada Package Selector, modificamos el circuito analógico de la Figura 2-18 en el subentorno ISIS tal como se muestra en la Figura 2-24.

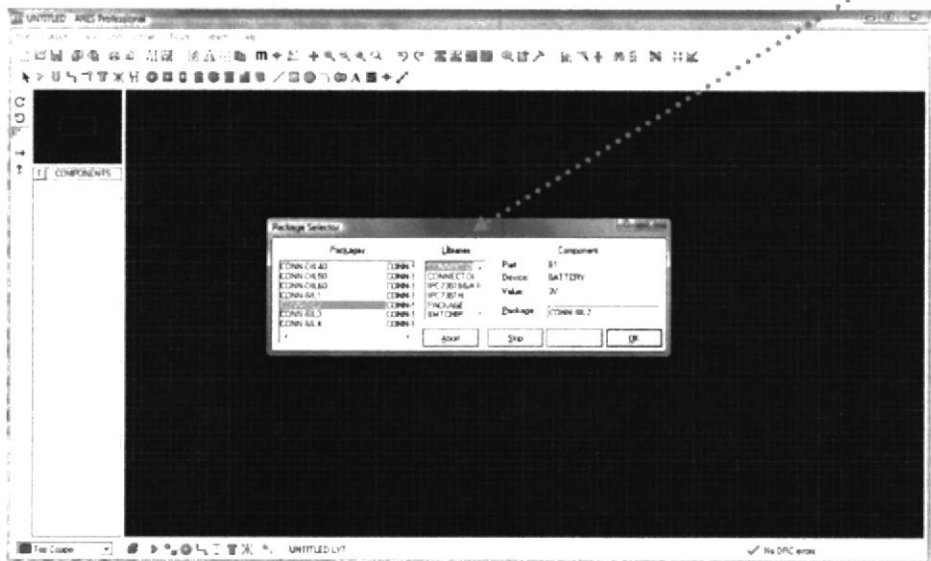


Figura 2-23. Pantalla del subentorno ARES para diseño de PCB.

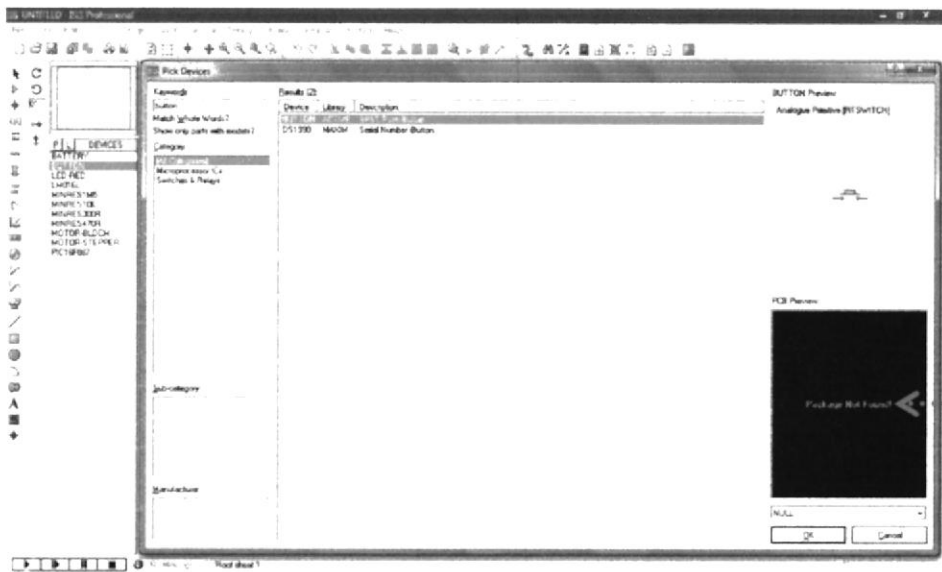


Figura 2-24. Componente BUTTON sin elemento para PCB

NOTA
Para poder rutear fijese que los elementos a rutear existan en la libreria con elemento para PCB, por ejemplo en la **Figura 2-25** notemos que el LM016L (pantalla LCD o display) si tiene elemento para PCB, de no ser asi saldrá un mensaje de **No PCB Package**. Tal es el caso del **LED-RED**, **BUTTON (PULSADOR)** (**Figura 2-24**), **BATTERY**, **MOTOR STEPPER**, **POT**, los cuales no disponen de PCB Package, por estos elementos no se pueden generar el PCB porque estaria incompleto.

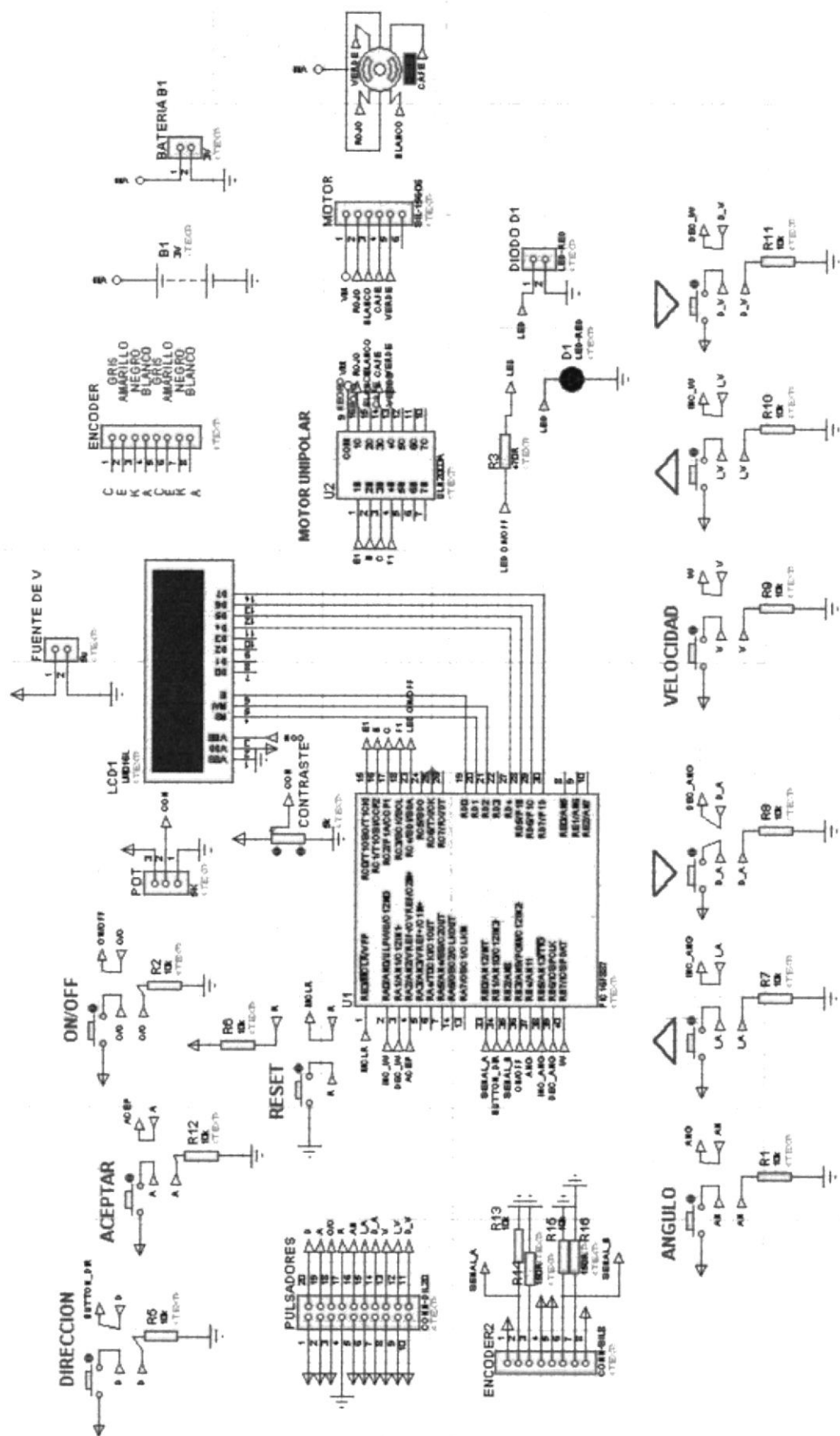


Figura 2-26 Circuito electrónico de control de motores de Paso modificado para creación de la placa PCB

Cuando desaparezca la ventana de la pantalla Package Selector (Figura 2-23), damos click en el icono  para revisar visualizar que todos los elementos de nuestro diseño aparezcan en la parte de “Components” .

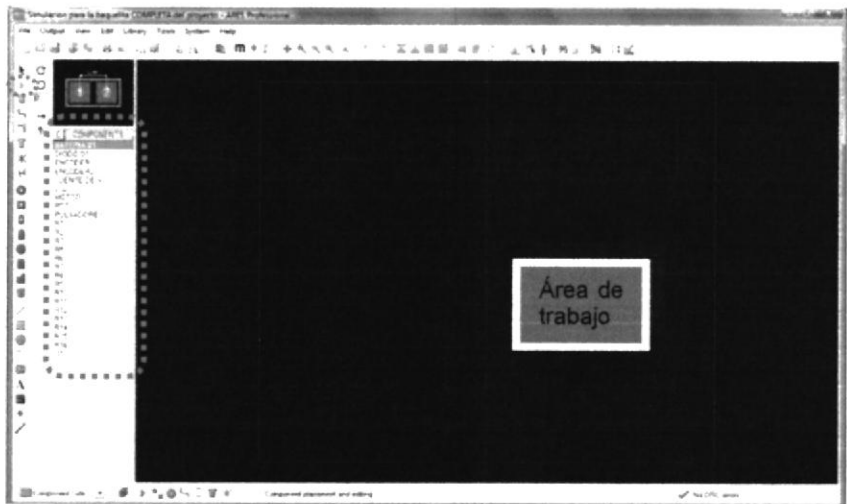


Figura 2-27. Pantalla del subentorno ARES con los elementos en *Components* para diseño de PCB

2.2.1.1 Realización del diseño de la PCB.

A continuación mostraremos los pasos necesarios para poder llevar a cabo el ruteado de una placa PCB a partir del esquemático generado en ISIS:

- En primer lugar tenemos que definir el tamaño de la PCB, para lo cual damos click en la herramienta “*2D Graphics Box*” , después escogemos el tipo de Layer, para lo cual seleccionamos la capa , con esto ya podemos realizar el borde de nuestra PCB (El borde de la PCB para el circuito analógico de la Figura 2-18 es de forma rectangular, mide 148mm de largo y 98mm de ancho, ya que esta medida tiene la baquelita virgen que se ha elegido para construir físicamente el PCB de la Figura 2-18 para el presente proyecto).

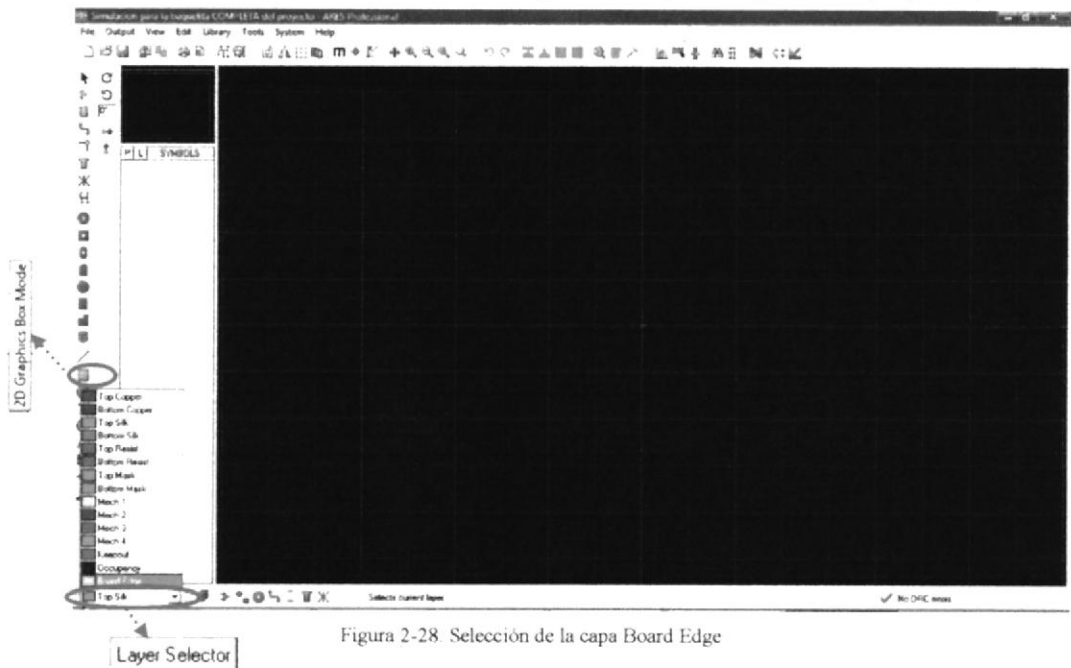


Figura 2-28. Selección de la capa Board Edge

Nota: Las medidas en el subentorno ARES, por defecto aparecen en milis (Th), si queremos pasarlas a milímetros (mm), basta con dar click en **"Toggle Metric/Imperial"**  que se encuentra ubicada en la parte superior de la pantalla de ARES (Figura 2-29) y al mover el mouse sobre el área de trabajo de ARES aparecerá **mm** en la parte inferior derecha de la pantalla de ARES (Figura 2-30).



Figura 2-29. Parte superior de la pantalla ARES



Figura 2-30. Parte inferior de la pantalla ARES

- Una vez escogida la capa  damos click dentro del area de trabajo y movemos el puntero o cursor del mouse ( Lápiz blanco) (Figura 2-31) hacia otro extremo para definir el rectángulo (Figura 2-32) y damos click (Figura 2-33). Cuando este definido el rectángulo medimos cada lado, para lo cual damos click en la herramienta **"Dimension Mode"** , después apuntamos con el cursor del mouse un extremo de un lado del rectángulo, damos click y movemos el cursor hacia el otro extremo del mismo lado, para definir la medida del lado y damos click, entonces quedara medido este lado y continuamos midiendo de esta manera los otros lados hasta lograr las medidas exactas que necesitamos (148mmx94mm de forma rectangular), ya que necesitamos construir esta PCB físicamente.

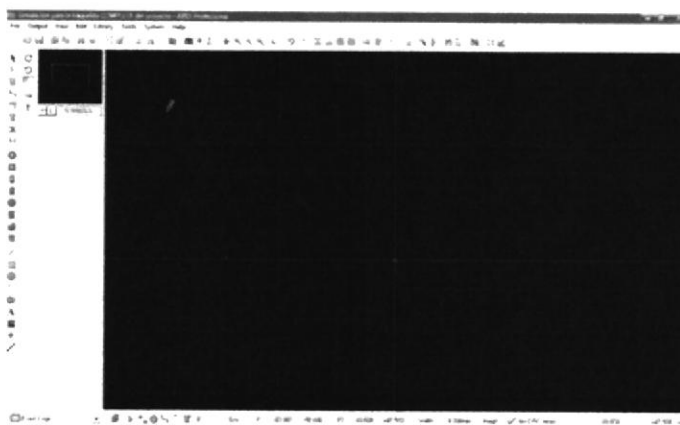


Figura 2-31. Cursor o puntero del mouse (lápiz blanco) en el área de trabajo

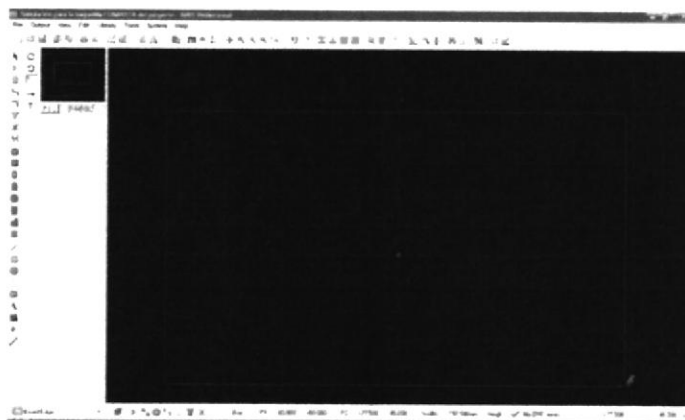


Figura 2-32. Movimiento del cursor (lápiz blanco) hacia otro extremo

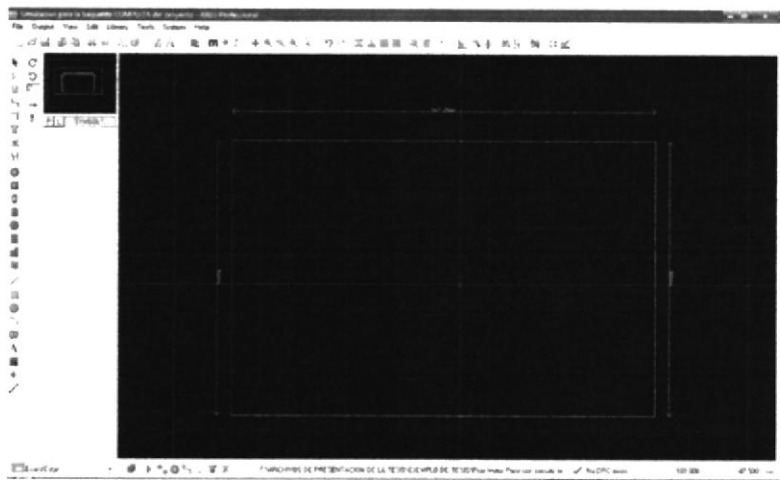


Figura 2-33. Rectángulo definido con sus lados medidos en el área de trabajo

- Después de haber definido la medida de los lados y el tamaño del PCB, presionamos **“Component Mode”** , luego elegimos el elemento que deseemos dentro de **“Components”** (Figura 2-34), lo seleccionamos, de allí damos click dentro de la área rectangular o rectángulo que dibujamos y de la misma manera que realizamos nuestro esquemático en ISIS procedemos a colocar cada uno de los elemento de la forma que deseemos (Figura 2-36).

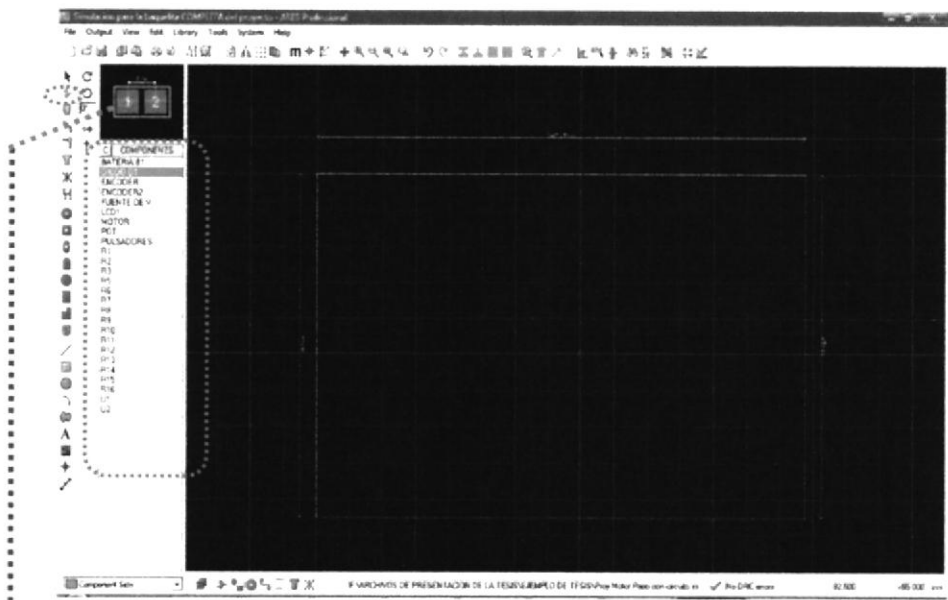


Figura 2-34. Componentes transferidos o añadidos dentro de **COMPONENTS**

En la parte superior Izquierda se muestra el **footprint** del elemento seleccionado, si deseamos rotarlo, utilizamos las opciones barra de herramientas correspondiente (Figura 2-35).

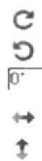


Figura 2-35 Barra herramientas de rotación de ARES

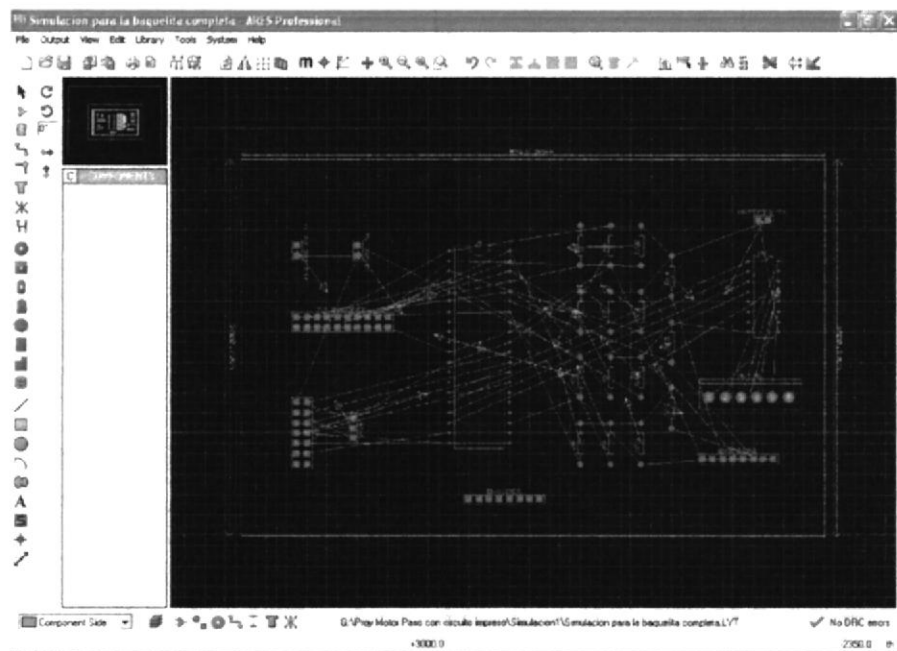


Figura 2-36. Elementos colocados y pegados de la mejor manera en el espacio de trabajo

Si deseamos podemos cambiar la forma de las islas, para ello damos un click en **“Round Through-hole Pad Mode”** , **“Square Through-hole Pad Mode”** , **“DIL Pad Mode”** , y ajustamos los diámetros que más nos convenga. En el PCB del presente proyecto, hemos ajustado las islas de las resistencias (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R12, R15) a C-120-60 (Figura 2-37), el cual se encuentra dentro de la herramienta ; y también se ajusto las la islas del microcontrolador PIC16F887 (U1) (Figura 2-38) y del Driver ULN2003A (U2) (Figura 2-39) a C-70-30 que se encuentra dentro de desde el pin 2 en adelante y el pin 1 del U1 y del U2 a S-70-30 el cual está dentro de

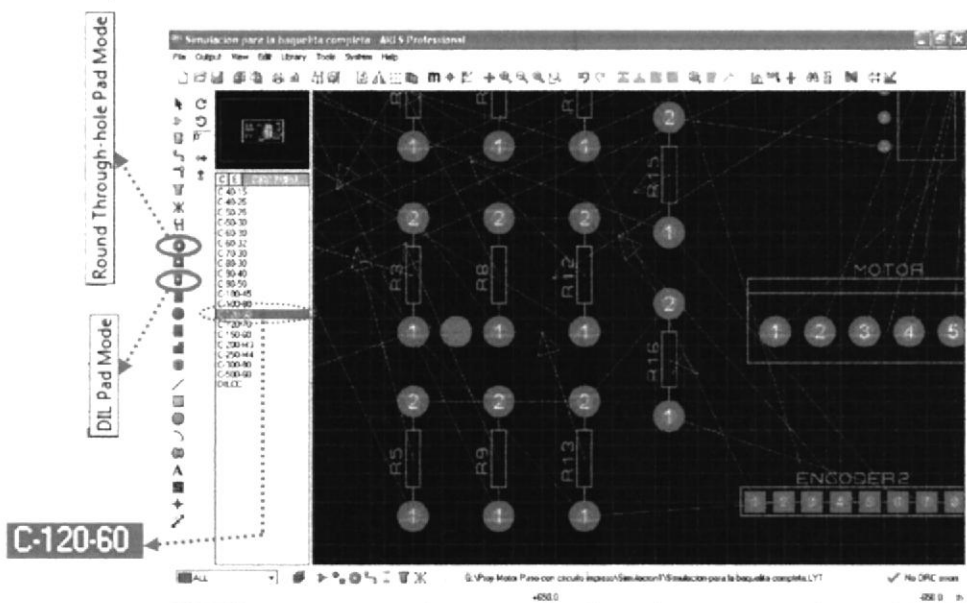


Figura 2-37 Ajuste del diámetro de las islas de las Resistencias

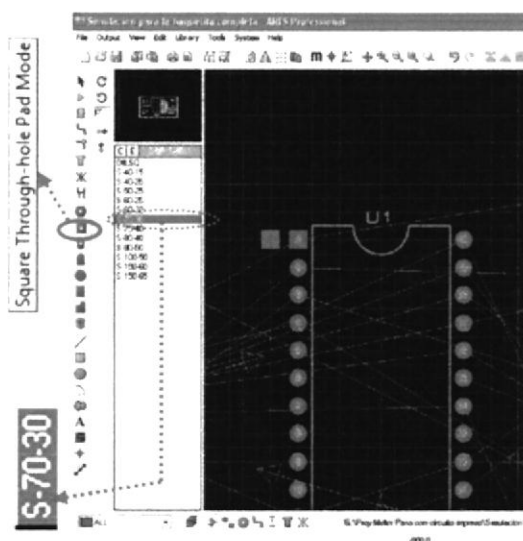


Figura 2-38. Ajuste de las islas del PIC16F887 (U1)

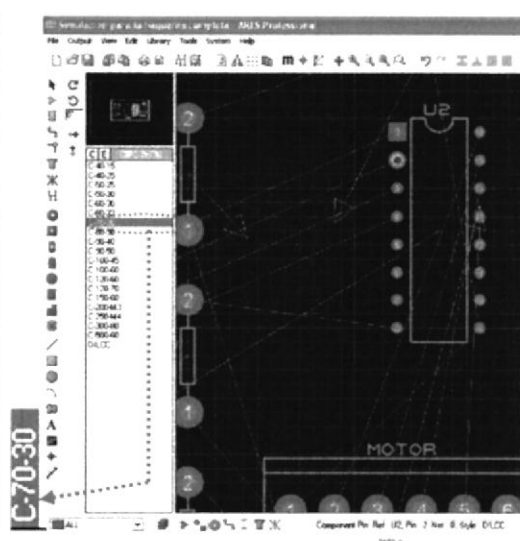
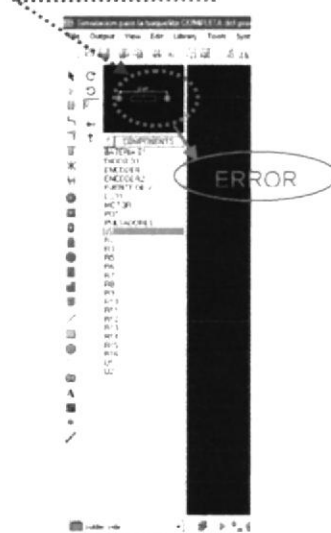
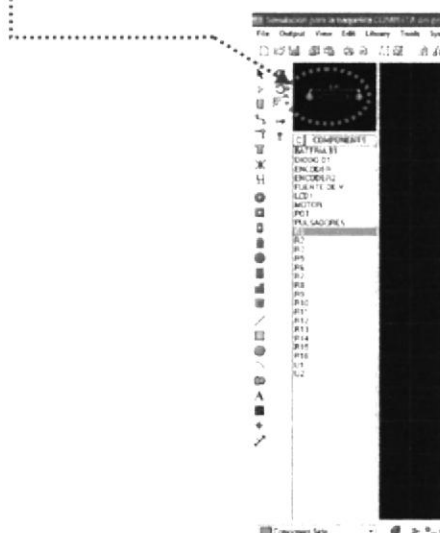


Figura 2-39. Ajuste de las islas del ULN2003A (U2)

Sin olvidar que al momento de rotar, el elemento debe de mantener el color que se muestra (verde y morado), esto demuestra que el elemento este en forma correcta visto desde arriba porque si toma el color rosado estaría mal o incorrecto.

Figura 2-40. Muestra de los elementos en el footprint

- Una vez colocados los elementos de la mejor manera (Figura 2-36) damos click en "Design Rule Manager", escogemos **Net classes** donde procedemos a editar, tanto para las líneas de **Power** y **Signal** y también podemos definir el tipo de placa ya sea de una cara o dos caras, esto lo hacemos en la opción **Layer Assignment for Autorouting** de la siguiente manera:
 - Para definir una placa o PCB de una cara escogemos en Par 1 ambos **Bottom Copper**, para cada **Net Classes (Power y Signal)**.
 - Para definir un PCB de dos caras escogemos en Par 1 **Bottom Copper** y **Top Copper**, esto se lo realiza para cada **Net Classes (Power y Signal)**.
 Para la PCB de nuestro presente proyecto hemos elegido la opción b), quiere decir que es una PCB de 2 caras (ver Figura 2-41 y Figura 2-42)

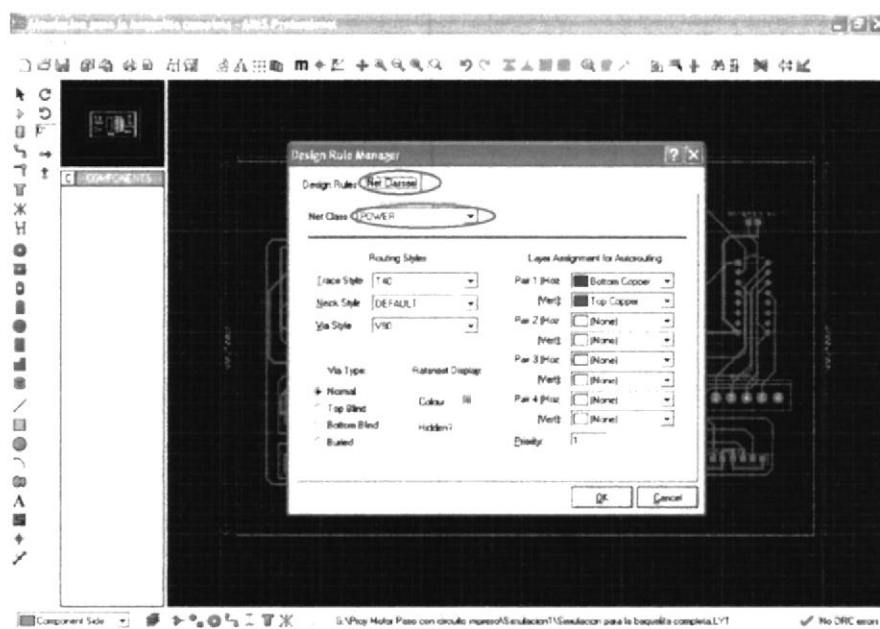


Figura 2-41: Par 1 escogido con Bottom Copper y Top Copper esogido en el Net Classes Power

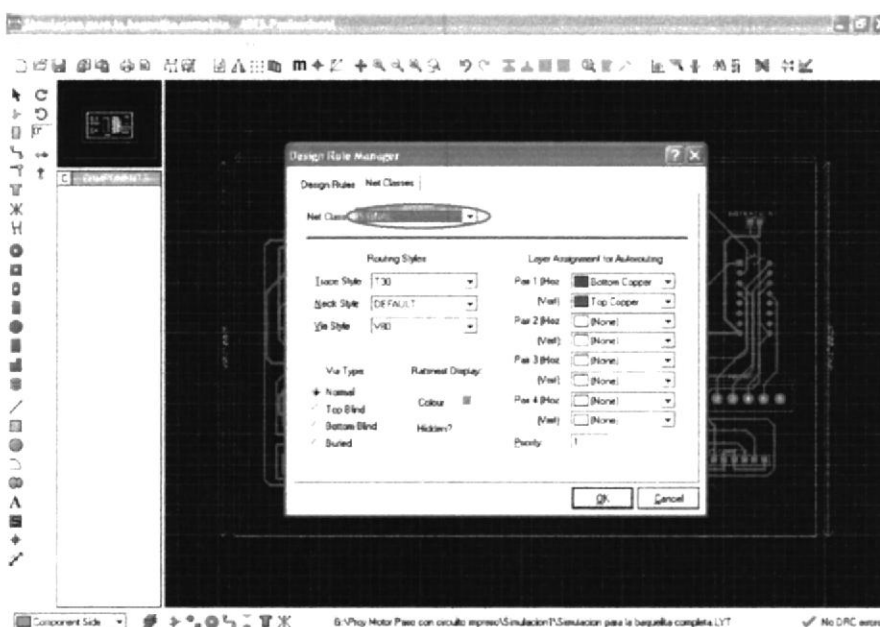


Figura 2-42: Par 1 escogido con Bottom Copper y Top Copper esogido en el Net Classes Signal

También si deseamos ajustar el grosor de las pistas, esto se lo realiza en la opción **Routing Styles** de la siguiente manera:

- Para definir el grosor de la pista roja, hay que tener escogido el **Net Classes Power**, luego en la línea **Trace Style** colocamos T40 y en la línea **Via Style** una colocamos V80. y
- Para definir el grosor de la pista azul, hay que tener escogido el **Net Classes Signal**, luego en la línea **Trace Style** colocamos T30 y en la línea **Via Style** una colocamos V80.

- Después de haber realizado lo anterior damos click en **"Auto-router"** luego aparecerá una ventana llamada **"Shape Based Auto Router"** y damos click en **Begin Routing** para iniciar el ruteo (Figura 2-43).

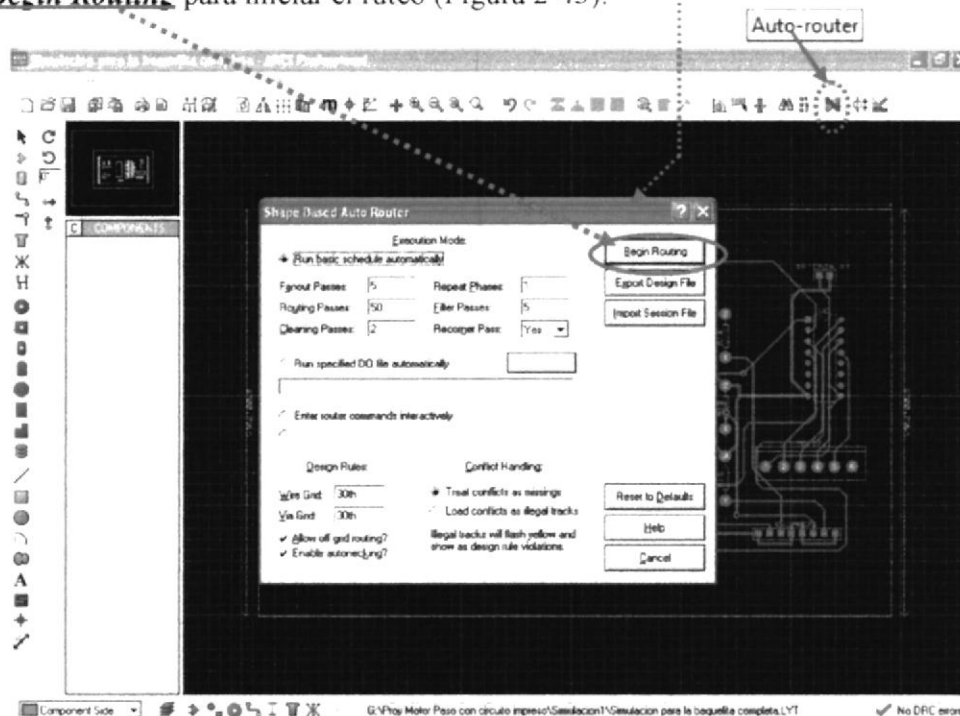


Figura 2-43: Ventana Shape Based Auto Router para la opción de inicio de ruteo.

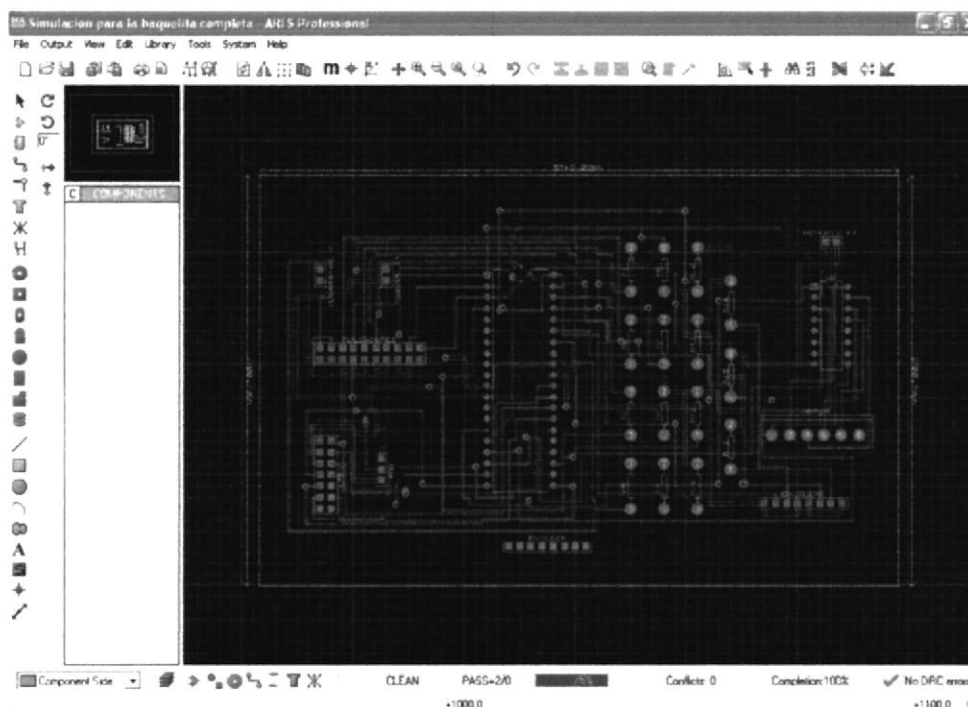


Figura 2-44: Inicio de ruteo para el PCB del presente proyecto

- Listo ya hemos realizado nuestra PCB de forma exitosa, para el presente proyecto. Una vez lista la PCB, le escribimos datos dando click en **"2D Graphics Text Mode"** (Figura 2-45).

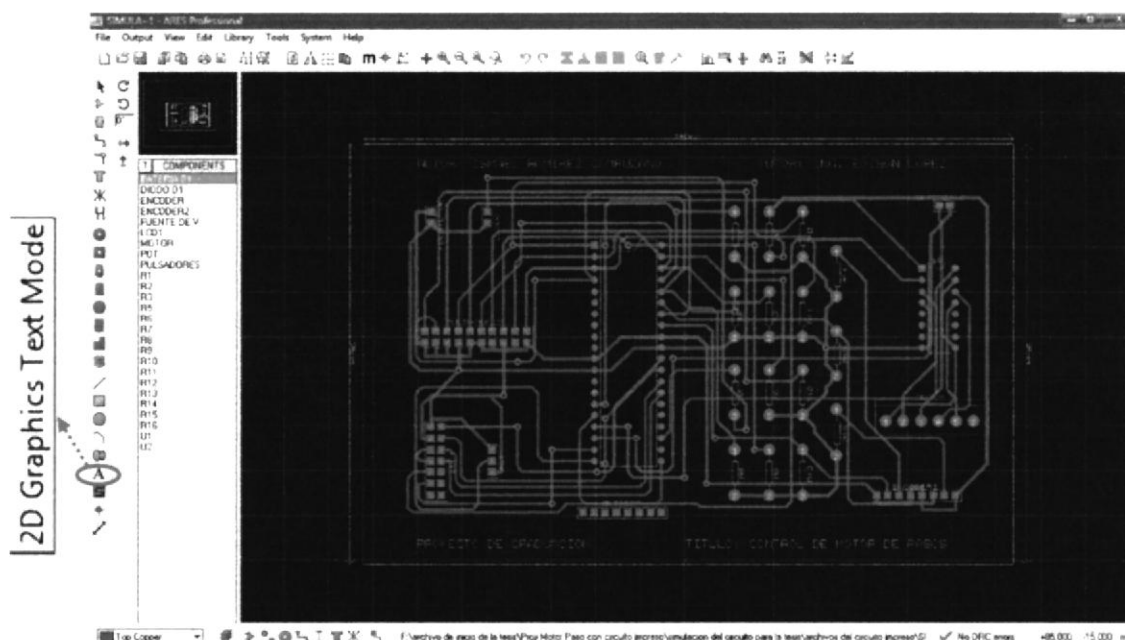


Figura 2-45 PCB del presente proyecto

2.2.1.1.1 Impresión del PCB del presente proyecto.

Una vez realizado el PCB con todos los ajustes podemos imprimirlo, para ello abrimos la pestaña **Output** y damos un click en **Print...**

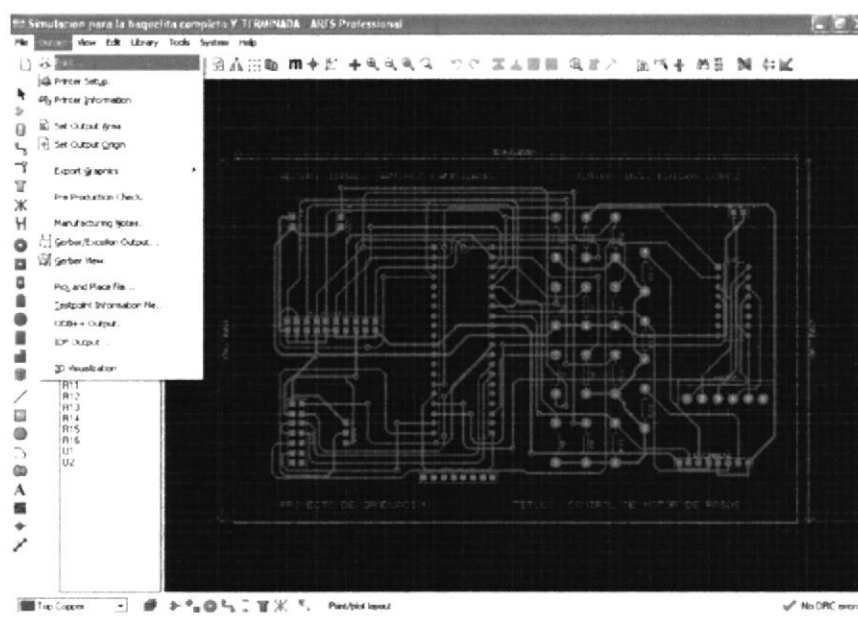


Figura 2-46: Procediendo a imprimir el PCB

Para imprimir las pistas de cada cara del presente PCB, hemos configurado de la siguiente manera, ya que es de 2 caras:

- Para imprimir las pistas de la segunda cara (Figura 2-49b) configuramos como se muestra en la Figura 2-47, es decir desactivamos **Bottom Copper**, **Top Silk**, **Bottom Silk** y luego damos un click en **OK**.

b) Para imprimir las pistas de la primera cara (Figura 2-49a) configuramos como se muestra en la Figura 2-48, tomemos en cuenta que esta debe estar espejado y sin el screen, es decir seleccionado **Bottom Copper** y **Mirror**; y desactivamos **Top Copper**, **Top Silk** y **Botton Silk**; y luego damos click en **OK**.

Si deseamos imprimir también el screen de los elementos (Figura 2-50) de la primera cara, debemos tomar en cuenta que este debe estar espejado y sin las pistas, es decir seleccionado **Top Silk** y **Mirror**; y desactivado **Top Copper**, **Bottom Copper** y **Botton Silk**.

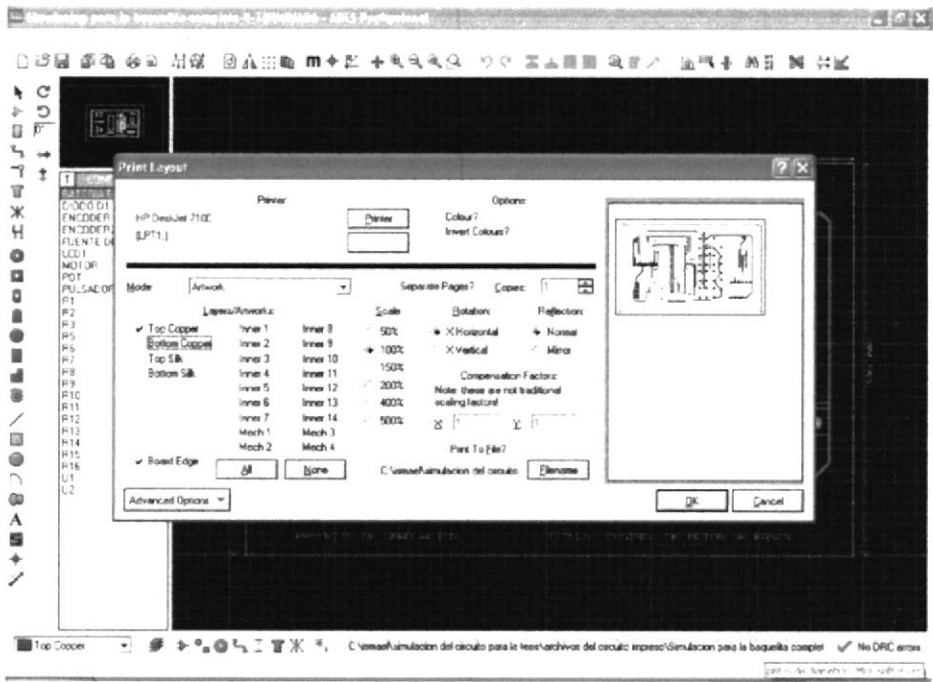


Figura 2-47: Configuración para imprimir las pistas de la segunda cara

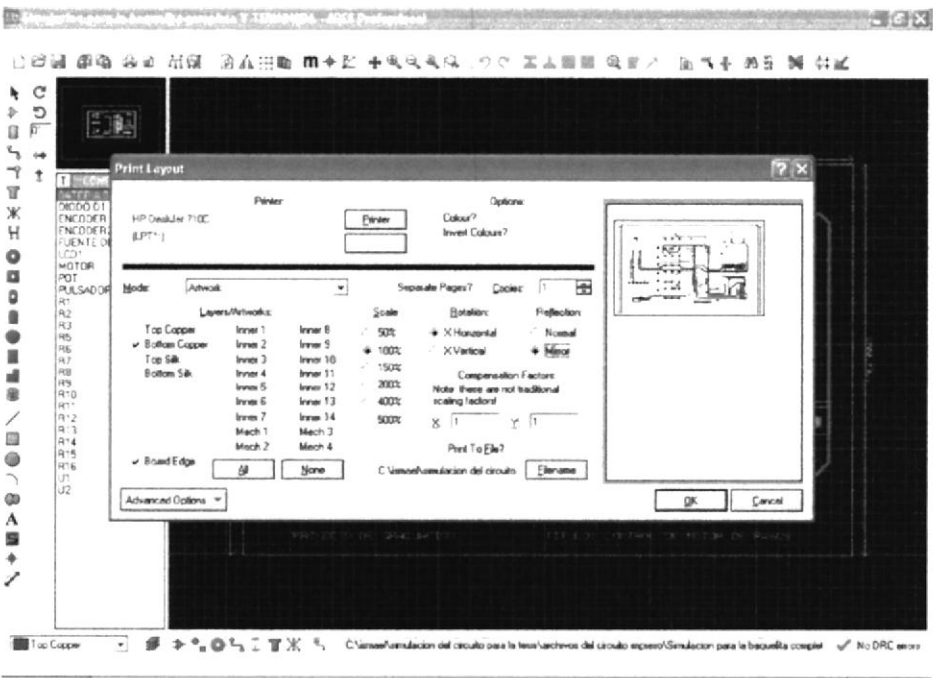
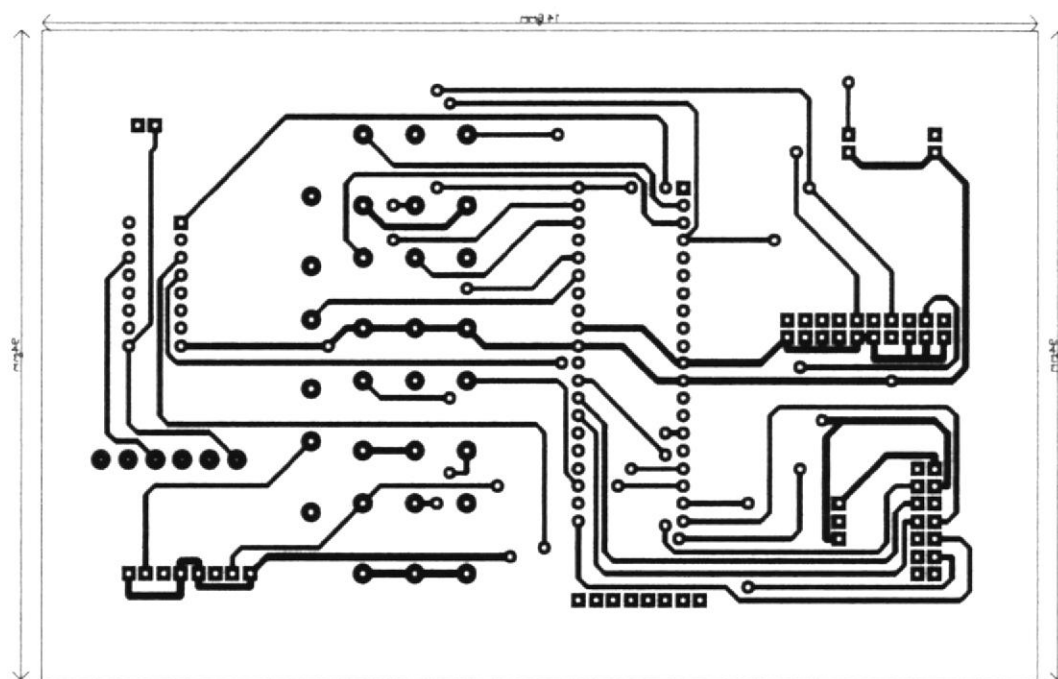


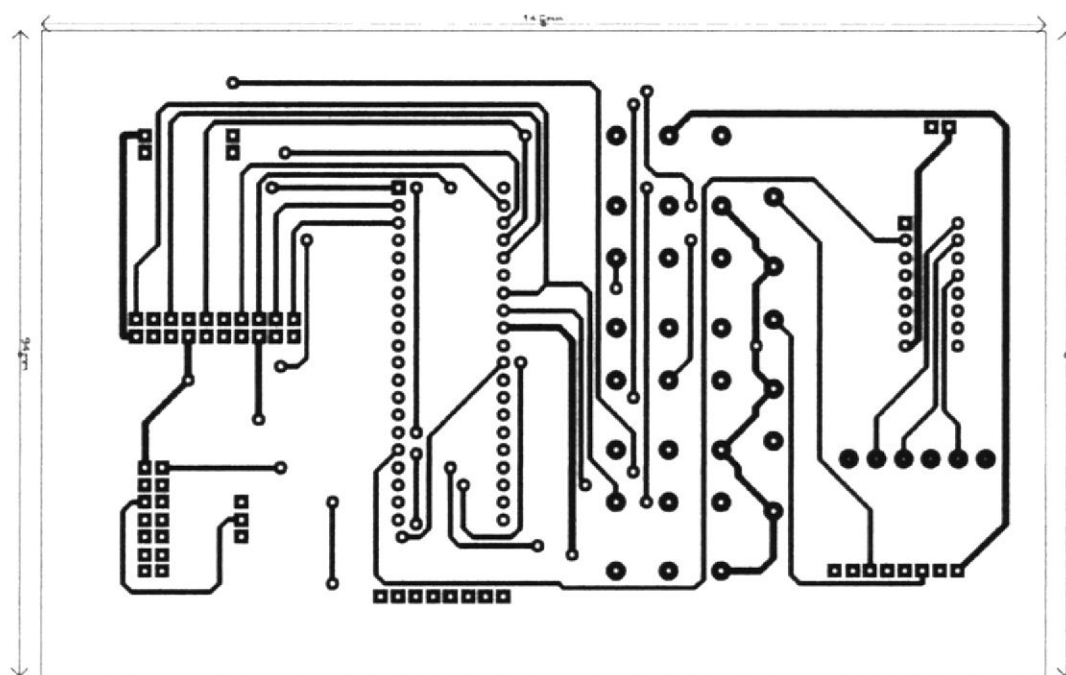
Figura 2-48: Configuración para imprimir las pistas de la primera cara

Pistas para la primera cara del circuito impreso del presente proyecto, para ser colocada en la parte delantera de la baquelita virgen.



(a) Pistas de la primera cara del circuito impreso del presente proyecto imprimidas.

Pistas para la segunda cara del circuito impreso del presente proyecto, para ser colocada en la parte trasera de la baquelita virgen.



(b) Pistas de la segunda cara del circuito impreso del presente proyecto imprimidas.

Figura 2-49: Impresión de las 2 caras del circuito impreso (PCB) del circuito electrónico del presente proyecto

NOTA

Al terminar de imprimir las pistas de la primera cara y segunda cara del circuito impreso del presente proyecto, podemos construirlo o elaborarlo físicamente el circuito impreso del presente proyecto, lo cual está explicado en el Capítulo 3 y Anexo C.

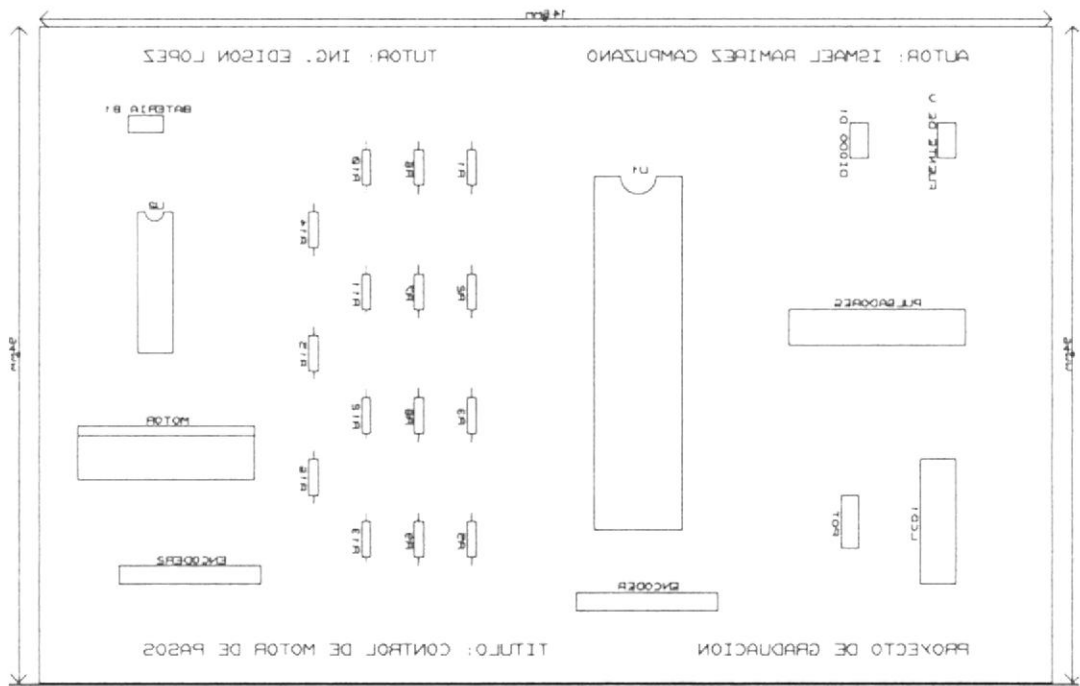


Figura 2-50: Impresión del screen de los elementos de la primera cara.

2.3 SOFTWARE COMPILADOR PIC C COMPILER DE CCS.



Figura 2-51: Icono correspondiente a PIC C compiler

Introducción a PIC C Compiler

El compilador PIC C compiler de CCS ha sido desarrollado específicamente para PIC MCU, obteniendo la máxima optimización del compilador con estos dispositivos. Dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos de preprocesado y ejemplos. Además, suministra los controladores (drivers) para diversos dispositivos como: motores, LCD, convertidores A/D, relojes en tiempo real, EEPROM serie, etc. Las características generales de este compilador y mas información adicional se pueden encontrar en la dirección <http://www.ccinfo.com>.

El compilador PIC C compiler es un entorno (Figura 2-52) que sirve para desarrollar proyectos de Microcontroladores PICs, esto quiere decir mediante este entorno podemos generar los archivos con extensión **.hex**, los cuales son necesarios para grabarlos en los microcontroladores PIC.

NOTA
En la referencia bibliográfica [2] y [5] se da mucha más información sobre el entorno de trabajo del compilador PIC C compiler de CCS. En este capítulo sólo se describirán los pasos básicos y esenciales para comenzar a generar un archivo con extensión .hex , el cual servirá para ser grabado en el Microcontrolador PIC (PIC16F887) del presente proyecto.

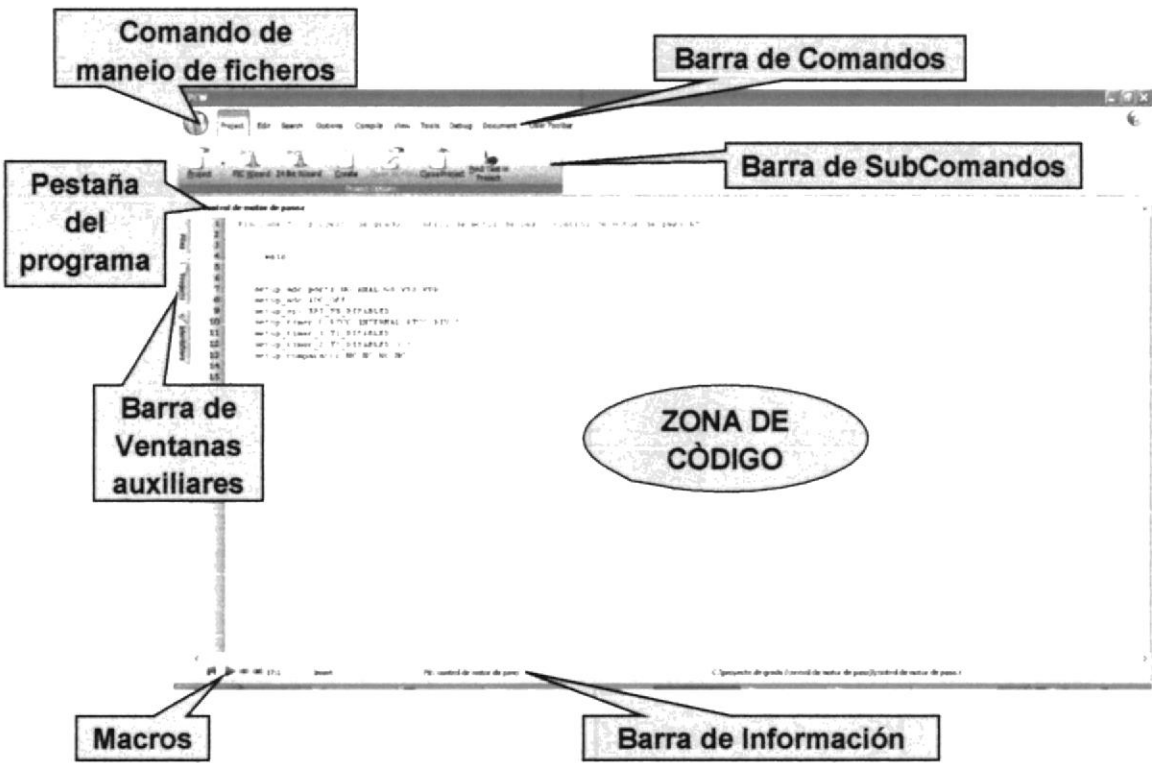


Figura 2-52: Entorno de trabajo PIC C Compiler.

2.3.1 Generación del archivo con extensión .HEX

El archivo con extensión **.hex**, para el Microcontrolador PIC (PIC16F887) del presente proyecto, fue generado con el programa compilador **PIC C compiler** de CCS.

Para generar un archivo con extensión **.hex** con el programa **PIC C compiler**, lo primero que se necesita es un archivo de proyecto o archivo fuente (código fuente) guardado en alguna unidad (C:, D:, etc..) con extensión **.c**, que puede ser creado en el ambiente del **PIC C compiler**. Esta segunda alternativa es la que se sigue a continuación con los siguientes pasos:

1. Primero que nada debemos tener instalado el programa o software PIC C compiler de CCS, luego ejecutamos o abrimos el programa **PIC C compiler** (Figura 2-53), se presentara una pantalla similar a la Figura 2-54.



Figura 2-53: Ejecución del programa PIC C compiler.



Figura 2-54: Pantalla de inicio del programa PIC C compiler.

- 2. Al iniciar el programa o software PIC C compiler de CCS, presionamos o damos un click en el comando de **“manejo de ficheros”**  y aparece un menu con otros comandos (New, Open, Open All Files, Close, Close All, Save, Save As, Save All, Encrypt, Print y Exit PCW) (Figura 2-55), luego damos un click sobre el comando **“New”** y aparecerá otro submenú con otros subcomandos (Source File, Project Wizard, Project Manual, R1F File, Flow Chart), de allí seleccionamos el subcomando **“Source File”** y damos un click (Figura 2-56). Esto abrirá una ventana llamada Guardar como (Figura 2-57), la cual nos pide que especifiquemos donde guardar el archivo de proyecto (código fuente) para generar el archivo **.hex**, el cual se procederá a grabarlo en el microcontrolador del proyecto (PIC16F887).

En este caso vamos a guardar en la **Unidad D (D:)**, creamos una carpeta con el nombre: **Proy Motor Paso**; luego abrimos esta carpeta dando un click sobre ella y un click en Abrir (Figura 2-58), asignamos un nombre al archivo de proyecto (el nombre que hemos asignado al archivo de proyecto (código fuente) es: **Codigo Motor Paso.c**), la extensión es **.c**, si no está, hay que ponérsela y lo guardamos en la carpeta que hemos creado dando un click en Guardar (Figura 2-59) y aparecerá una nueva ventana en blanco (Figura 2-60).



Figura 2-55: Menú con comandos para el manejo de los ficheros.

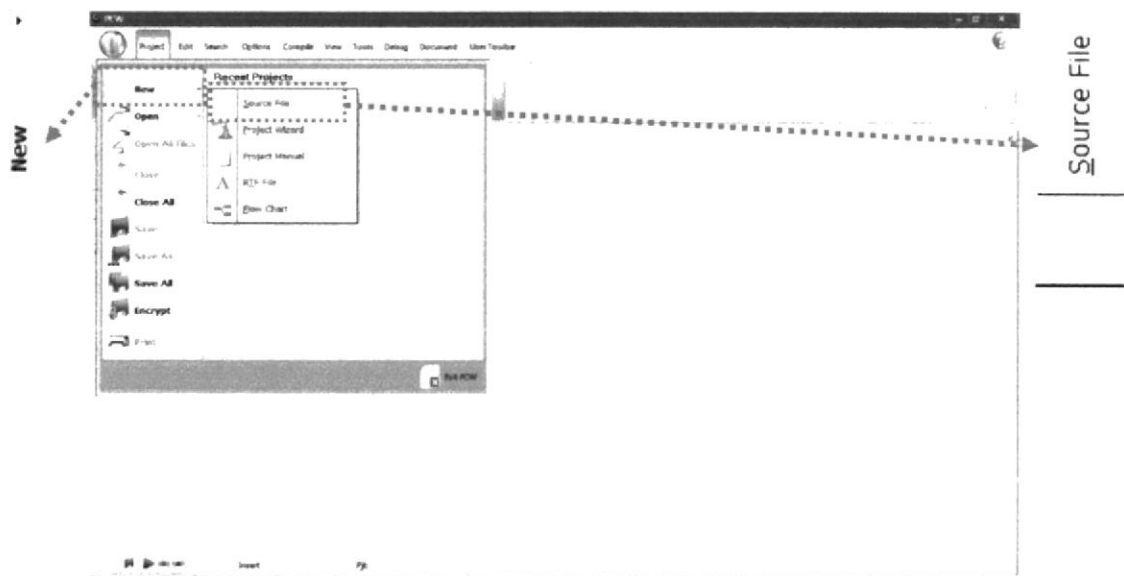


Figura 2-56: Submenú con subcomandos del comando NEW

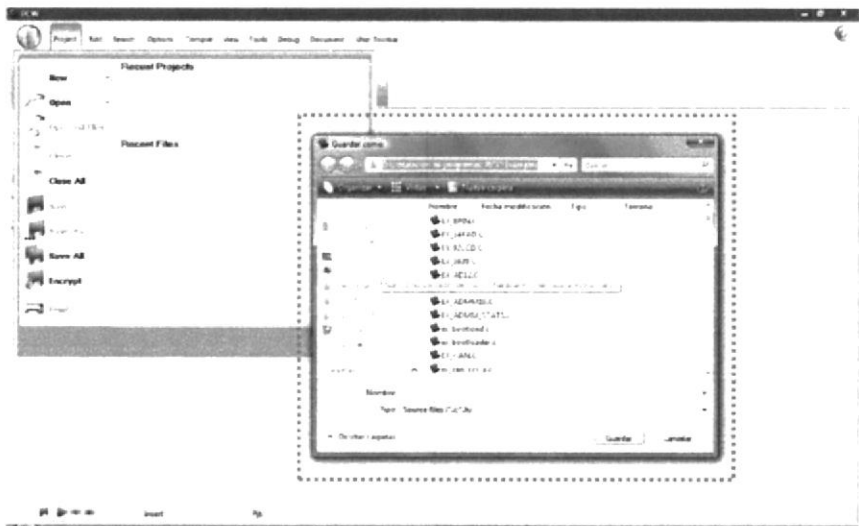


Figura 2-57: Ventana para especificar el lugar de destino o el lugar para guardar el código fuente.

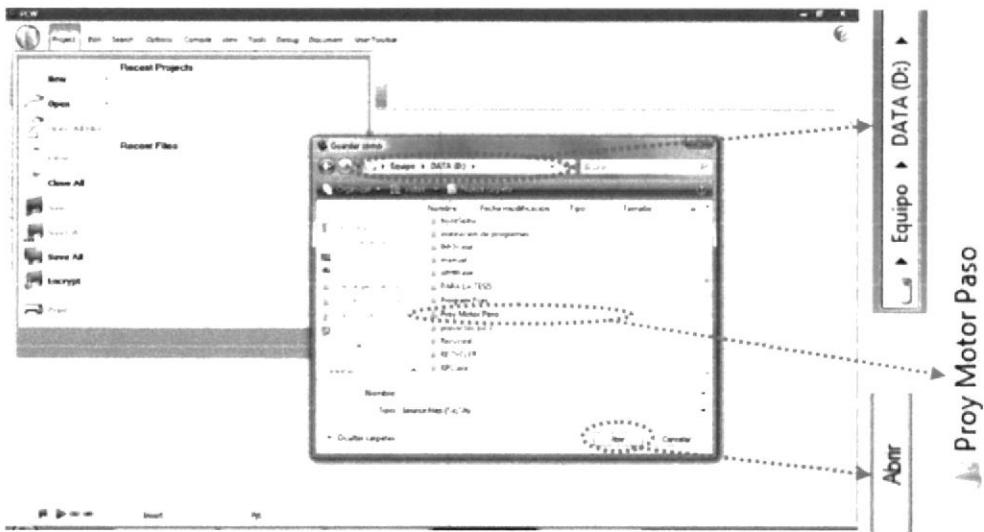


Figura 2-58: Unidad D ((D:)) especificada para guardar el código fuente en la carpeta Proy Motor Paso creada en esta unidad.

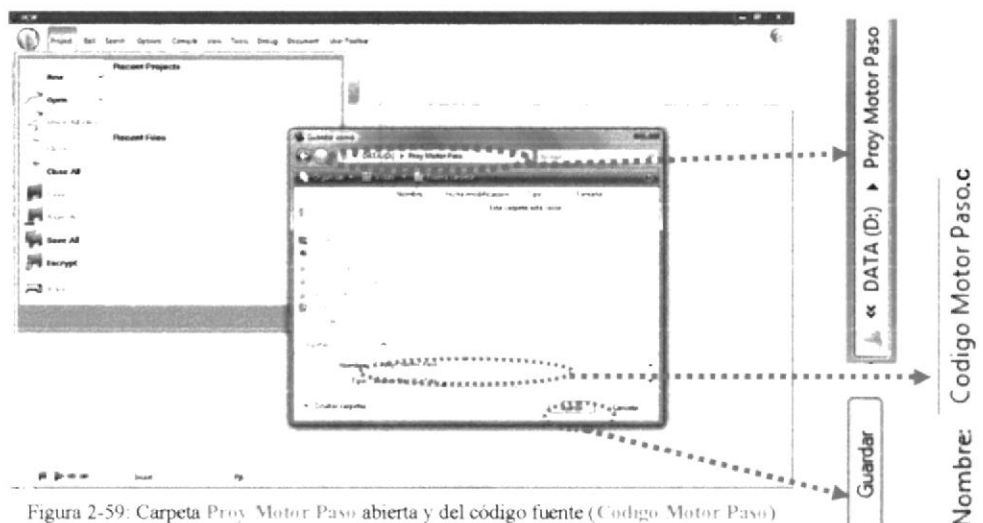


Figura 2-59: Carpeta `Prov Motor Paso` abierta y del código fuente (`Código Motor Paso`)



Figura 2-60: Nueva ventana en blanco para digitar el código fuente.

- Una vez que aparece la nueva ventana en blanco, digitamos el CODIGO FUENTE (Programa para el Microcontrolador PIC16F887) que se encuentra en el ANEXO B (Figura 2-61).



Figura 2-61: Código fuente digitado en la nueva ventana en blanco.

Nota: En la Figura 2-61 solo se nota la primera parte del código fuente, este código se encuentra completo en el ANEXO B.

4. Al terminar de digitar el código fuente en la nueva ventana en blanco, procedemos a compilarlo, para lo cual damos un click en el comando **“Compile”** y aparece un submenú con otros subcomandos (Compile, Build, Build All, Clean, Lookup Part, Program Chip, Debug, C ASM List, Symbol Map, Call Tree, Statistics, Debug File), luego presionamos o damos un click izquierdo sobre el subcomando **“Compile”**  (Figura 2-62) y empezara a compilarse el código fuente guardado con extensión **.c**. Durante la compilación aparece una ventana donde se informa del proceso de compilación y si hay errores (Figura 2-63).

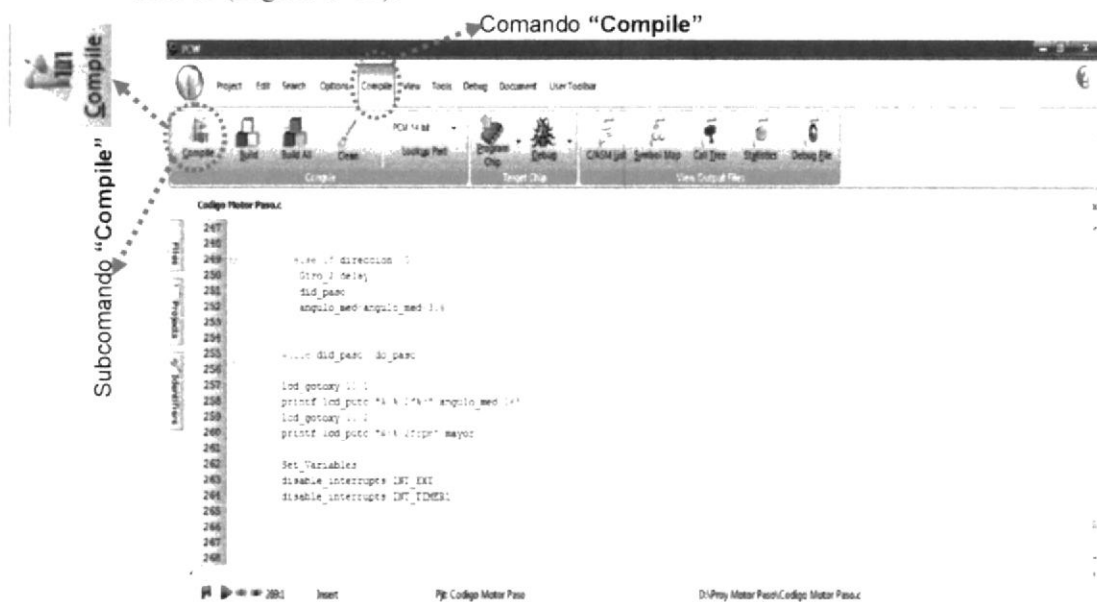


Figura 2-62: Procediendo a la compilación del Código fuente guardado con extensión .c



Figura 2-63. Ventana de compilación del código fuente guardado con extensión .c

Cuando finaliza la compilación aparece una ventana en la parte inferior con los mensajes de que si la compilación ha sido exitosa (0 Errores) o hay errores de compilación (Figura 2-64).



Figura 2-64: Mensaje de compilación en la ventana colocada en la parte inferior.

Si la compilación es exitosa deberá aparecer en la ventana colocada en la parte inferior el mensaje: 0 Errors y el porcentaje de utilización de la memoria RAM y ROM (Figura 2-65)

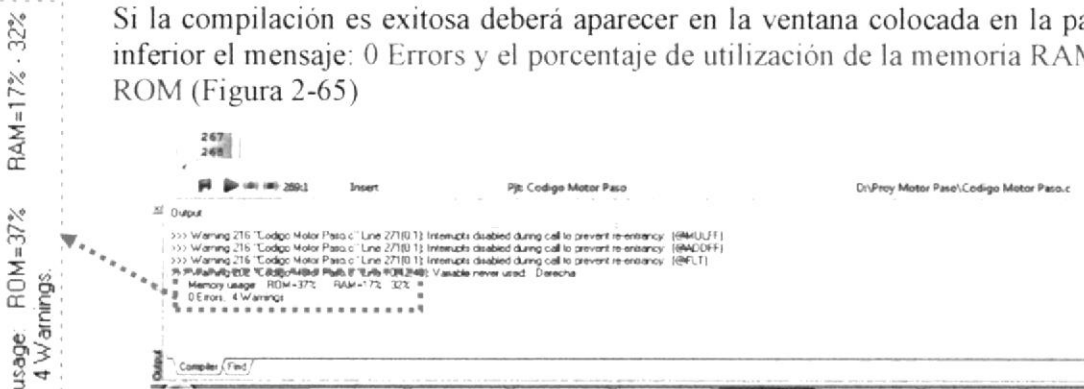


Figura 2-65: Mensaje de compilación exitosa

Si existe errores en la compilación deberá aparecer en la ventana colocada en la parte inferior el número total de errores (# Errors) que puede existir en el código fuente (Figura 2-66).

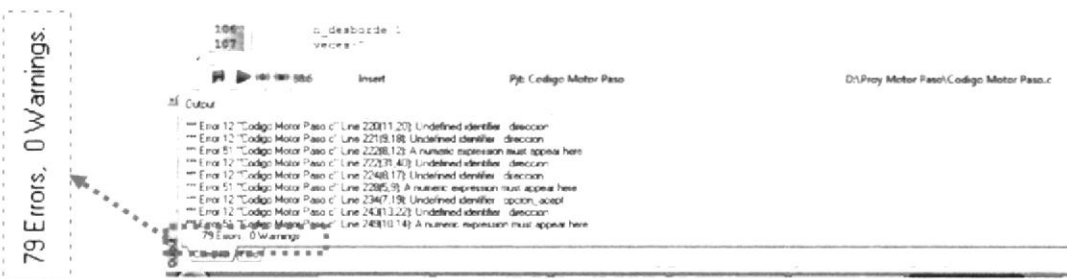


Figura 2-66: Mensaje de errores de compilación en la ventana colocada en la parte inferior

En caso de errores de compilación habrá que corregirlos antes de continuar, para lo cual hacemos doble clic en el error y lo conduce al sitio del error o la línea donde se encuentra el error.

5. También como resultado de la compilación debió haberse generado diez archivos con diferentes extensiones y un archivo con extensión **.hex** que es el ejecutable que se usa para programar el microcontrolador PIC16f887 o grabarlo

en el microcontrolador PIC16F887. Este procedimiento lo explicará en la sección 2.4.1.

Para observar los archivos generados con diferentes extensiones y el archivo con extensión **.hex**, vamos a la unidad donde creamos la carpeta con el nombre: **Proy Motor paso**; en este caso la hemos creado en la **unidad D (D:)**. Entonces entramos a la unidad D (D:) y abrimos la carpeta que tiene el nombre **Proy Motor paso** y observamos los que se han generado diez archivos con diferentes extensiones y el archivo con extensión **.hex** cuando se realizó la compilación. Estos archivo se logran generar, cuando la compilación ha sido exitosa, es decir hubo algún error.

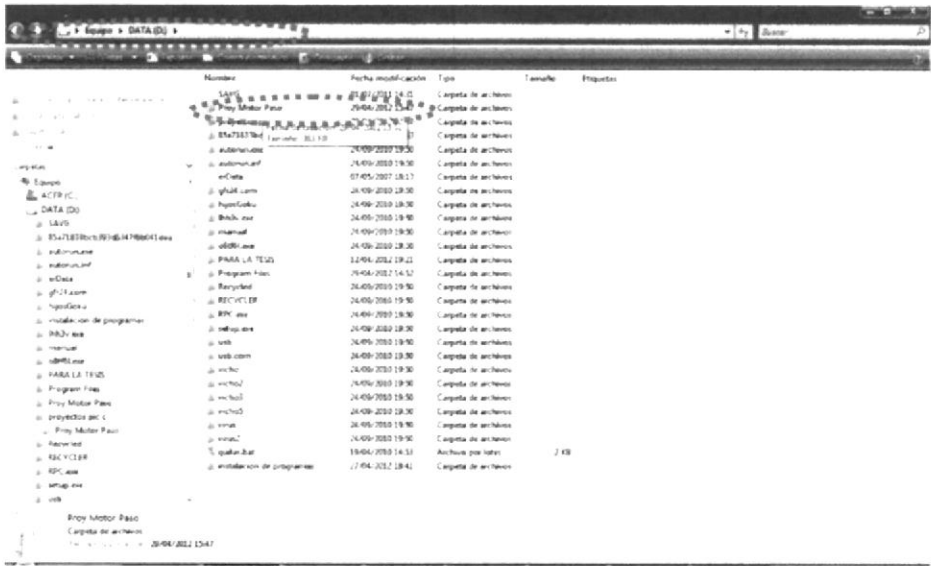


Figura 2-67: Carpeta creada con el nombre **Proy Motor Paso** en la **unidad D (D:)**

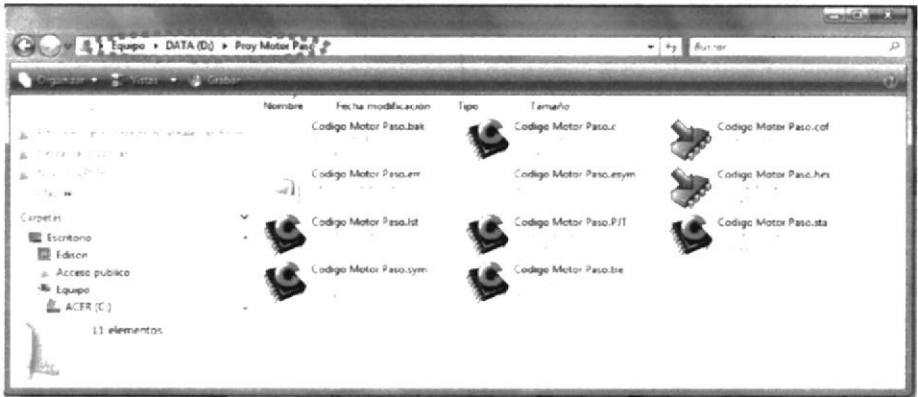


Figura 2-68: Archivos generados con diferentes extensiones dentro de la carpeta **Proy Motor Paso**



Figura 2-69: Iconos de los archivos generados con diferentes extensiones.

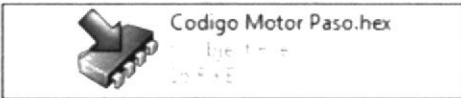


Figura 2-70: Icono del archivo generado con extensión .hex.

El programa **PIC C Compiler** normalmente genera un archivo con extensión **.hex**, **.c**, **.sta**, **.sym**, **.cof**, **.lst**, **.tre**, **.PJT**, **.bak**, **.esym** y **.err**, cuando ha sido exitosa la compilación.

2.4 SOFTWARE PICKIT 2 Programmer.



Figura 2-71: Instalador correspondiente al software PICKIT 2



Figura 2-72: Icono correspondiente al PICKIT 2

Introducción a PICKIT 2

El **PICKIT 2** de microchip es un software que ha sido desarrollado para la programación de microcontroladores PIC y se ejecuta bajo Windows. Con el entorno (Figura 2-74) del software **PICKIT 2** se puede hacer la aplicación de programar o grabar archivos en extensión **.hex** en los microcontroladores PIC.

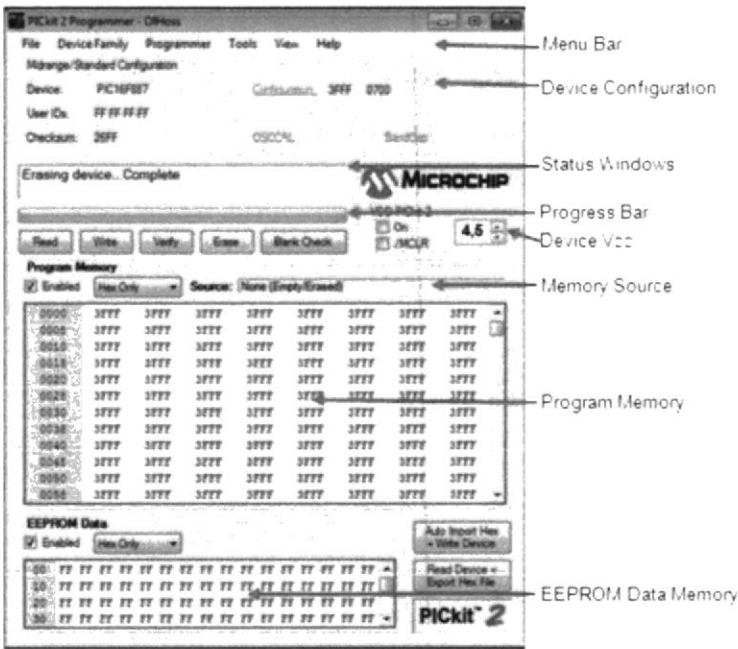


Figura 2-73: Entorno del PICKIT 2

Las características generales del Software **PICKIT 2** y más información adicional, podemos encontrar en la dirección electrónica: <http://www.microchip.com/pickit2>.

Este software solo se lo utilizara para programar o grabar el archivo con extensión **.hex** en el microcontrolador PIC (PIC16F887) del presente proyecto, lo cual se explicara en la **sección 2.4.1.** y **sección 2.4.1.1.**

NOTA: En la referencia bibliográfica [16] hay más información sobre el entorno de trabajo del software PICKIT 2. En este capítulo sólo se describirán los pasos básicos y esenciales para programar o grabar el archivo con extensión **.hex** en el microcontrolador PIC (PIC16F887) del proyecto utilizando este software.

2.4.1 Programación del microcontrolador PIC (PIC16F887)

Para programar o grabar el archivo con extensión **.hex** en el microcontrolador PIC (PIC16F887) del presente proyecto, se lo grabo mediante un equipo físico denominado grabador o programador (el grabador utilizado en el presente proyecto es el **PICKit™ 2** (Figura 2-75)), siguiendo el esquema de la Figura 2-74. El grabador **PICKit™ 2** se conecta a un ordenador normalmente a través de un puerto USB mediante el cable de conexión adecuado (algunos grabadores utilizan el puerto paralelo de la impresora y puerto USB). En el ordenador se ejecuta el software PICKIT 2 y se procede a grabar el archivo con extensión **.hex** como se explica en la **sección 2.4.1.1**.

El microcontrolador PIC dispone de una **memoria de programa** interna donde se almacena el archivo con extensión **.hex** que lo controla y que consiste realmente en una serie de números hexadecimales. El archivo con extensión **.hex** se logra generar una vez que esté listo el código fuente (**ANEXO B: CODIGO FUENTE**).

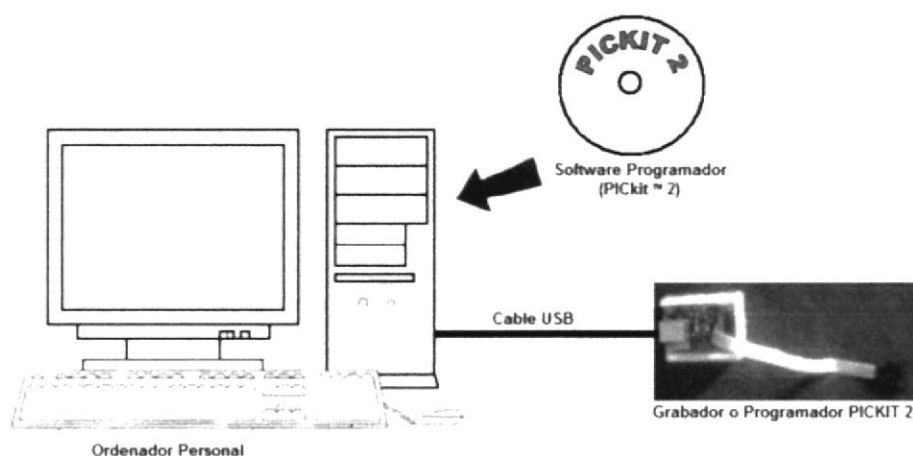


Figura 2-74: Configuración para grabar microcontroladores PIC con medios reducidos.

Si un microcontrolador PIC se programa desde el MPLAB IDE, utilizando el archivo con extensión **.hex** del código fuente generado en otro software compilador (PIC C Compiler, Microcode, etc...), se debe proceder a programar el microcontrolador PIC desde el **paso 1** de la **sección 2.4.1.1**. Si el archivo con extensión **.hex** es generado en este mismo software MPLAB IDE, se debe proceder a programar el microcontrolador PIC empezando desde el **paso 3** de la **sección 2.4.1.1**. Por ejemplo, el archivo con extensión **.hex** del presente proyecto fue generado en el software PIC C Compiler, entonces el microcontrolador PIC (PIC16F887), utilizado en el presente proyecto, fue programado el MPLAB IDE empezando desde el paso 1 de la **sección 2.4.1.1**.

NOTA: El programador utilizado para programar el PIC16F887 de nuestro presente proyecto es el **PICKit 2**.

2.4.1.1 Pasos para programar el microcontrolador PIC (PIC16F887) desde el Software PICKIT 2 Programmer.

A continuación se explican los pasos de programación o para grabar el archivo con extensión **.hex** en el microcontrolador PIC (μ C PIC16F887) desde el Software **PICKIT 2 Programmer**:

- 1) Primero que debemos tener instalado el software **PICKIT 2**.
- 2) Conectamos físicamente el Programador **PICKit™ 2** (Figura 2-75) en el protoboard (habiéndonos asegurado de que el Microcontrolador PIC (PIC16F887) esta insertado en el protoboard) (Figura 2-76).

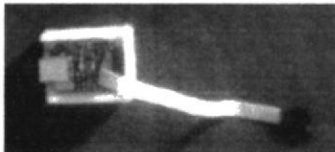


Figura 2-75: Programador **PICKit™ 2**.

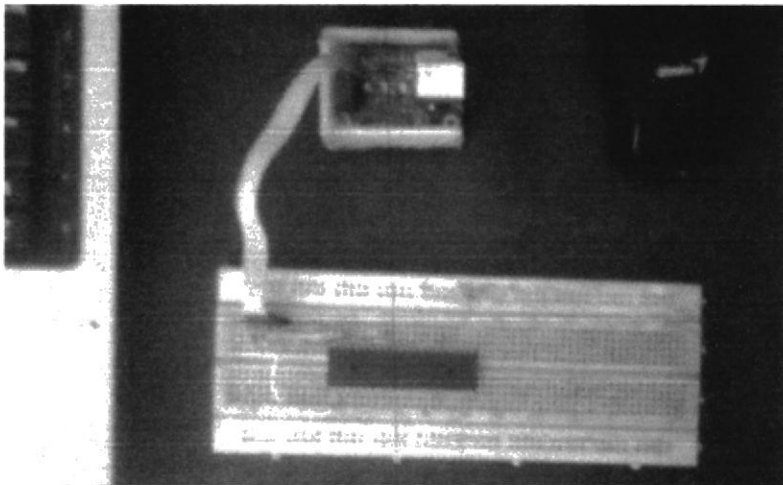
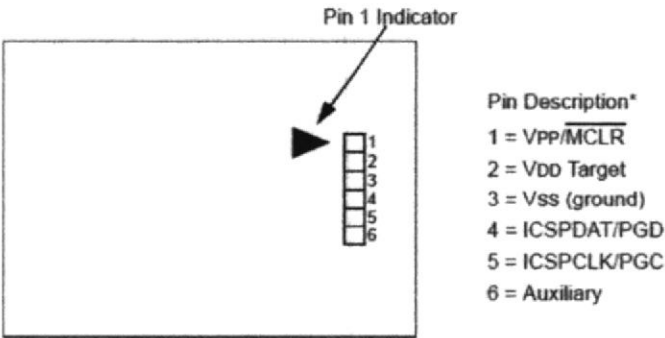


Figura 2-76: Configuración para grabar microcontroladores PIC con medios reducidos o circuito de la Figura 2-79 ensamblado.

Para conectar físicamente el **PICKit™ 2** al microcontrolador PIC (**PIC16F887**), debemos conocer los pines del programador **PICKit™ 2** (Figura 2-77) y los demás elementos de este (Figura 2-78).



* The 6-pin header (0.100" spacing) accepts 0.025" square pins.

Figura 2-77: Diagrama de pines del programador **PICKit™ 2**

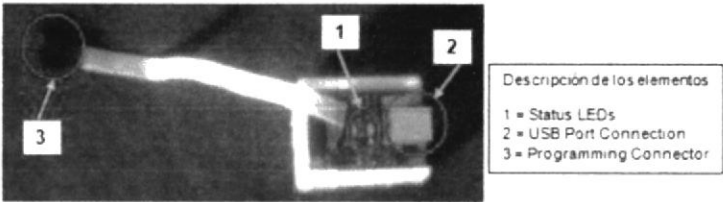


Figura 2-78: Elementos del programador PICKit 2.

Al empezar a conectar nuestro programador **PICKit™ 2** al PIC16F887, nos ayudamos con el diagrama general que se muestra en la Figura 2-79 y el diagrama de nuestro microcontrolador PIC16F887 (Figura 1-23 y Anexo A-1).

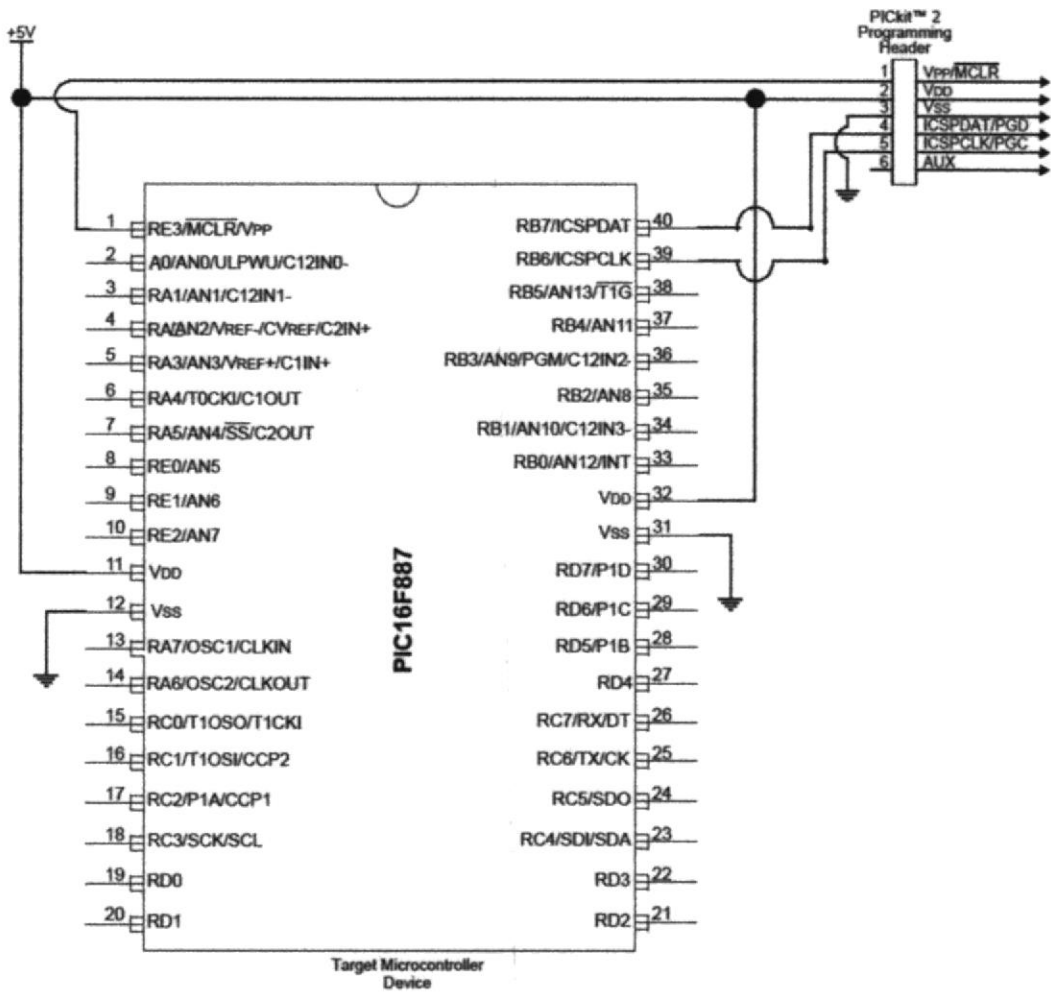


Figura 2-79: Diagrama general de conexión del PICKit 2-microcontrolador PIC

Nota: Necesitamos ayudarnos del diagrama de pines de nuestro PIC, en nuestro caso fue el diagrama de pines del PIC16F887 (Figura 1-23).

- 3) Una vez ensamblado el circuito de la Figura 2-79, conectamos el programador **PICKit™ 2** a la computadora o ordenador personal por el puerto USB (Figura 2-80), bien empleando el cable habitual (Figura 2-81). Encenderá un led rojo cuando se conecte el programador **PICKit™ 2** a la computadora.

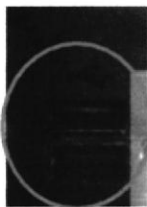


Figura 2-80. Puertos USB

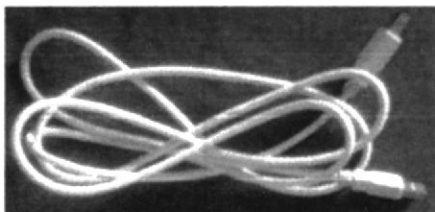


Figura 2-81. Cable de conexión habitual para el programador PICKit™ 2.

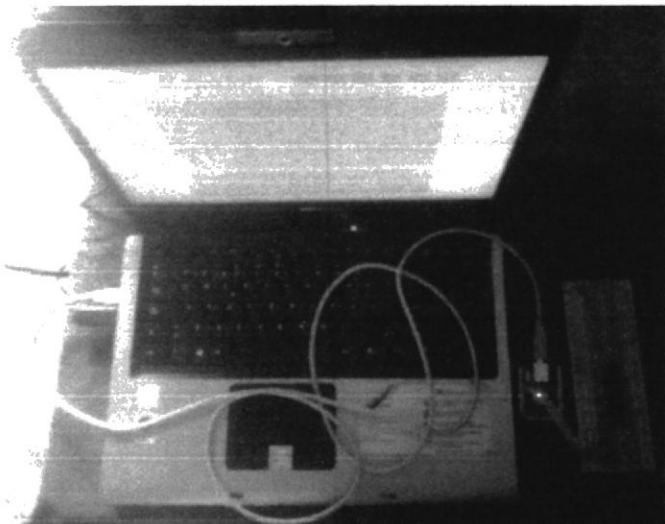


Figura 2-82. Programador PICKit™ 2 conectado a la computadora.

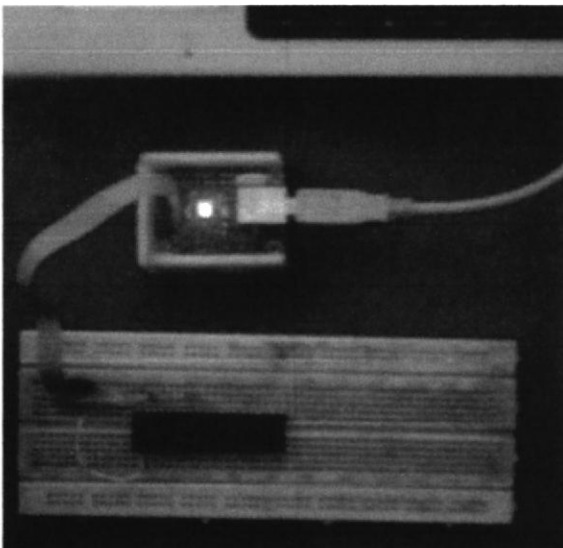


Figura 2-83. Led encendido al conectar el programador PICKit™ 2 a la computadora.

- 4) Cuando esté listo el paso anterior, ejecutamos el software **PICKit 2** y aparecerá una pantalla como se muestra en la Figura 2-84.

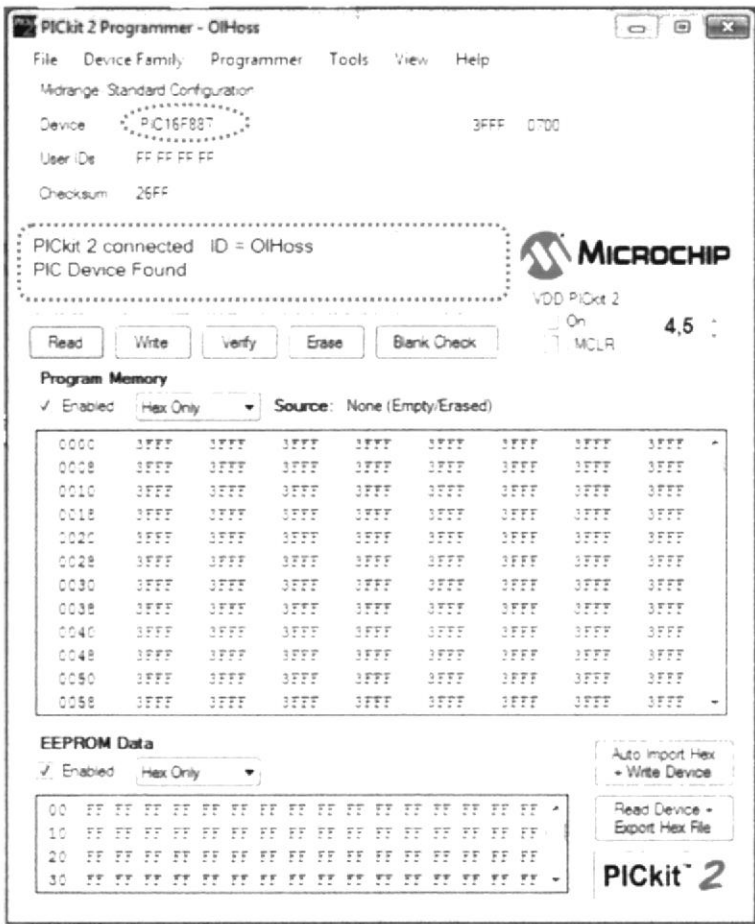


Figura 2-84: Pantalla del Software PICKit 2 demostrando que el programador PICKit 2 y el PIC16F887 han sido detectados automáticamente.

Cuando el programador PICKit 2 está conectado al Microcontrolador PIC (PIC16F887) y al puerto USB la computadora, el software PICKit 2 detectara automáticamente el programador PICKit 2 y el PIC (PIC16F887). En caso contrario ir a la pestaña **Tools** de la **barra de menú** (Menu Bar) y seleccionar la opción **Check communication**.

Si el programador PICKit 2 y el PIC son detectados automáticamente por el software PICKit 2, aparecerá un mensaje en el área **Status Windows**, tal como se muestra en la Figura 2-85 (En nuestro presente proyecto se detectaron automáticamente el programador **PICKit 2** y el **PIC16F887**) (ver Figura 2-84).



Figura 2-85. Mensaje para verificar si se detecta automáticamente el programador PICKit 2 y el PIC.

Muchas veces el PIC no se detecta automáticamente, entonces tendríamos que hacerlo reconocer de forma manual, Para hacer reconocer el PIC de forma manual en el software **PICKit 2**, debemos ir a la pestaña **Device Family** de la

Barra de Menu (Menu Bar) y seleccionar la Familia del microcontrolador a programar (en nuestro presente proyecto escogeríamos la familia PIC16F887).

Si nuestro microcontrolador PIC no se detecta, debemos revisar las conexiones del programador PICKit 2 y del PIC (PIC16F887).

- 5) En el área **Device VDD** marcamos un voltaje de 5V o menor de 5V, pero no mayor de 5V.. En particular los microcontroladores PIC (PIC16F887) trabajan con un voltaje de 5 V y no debe ser mayor porque se quema el microcontrolador PIC (Figura 2-86).

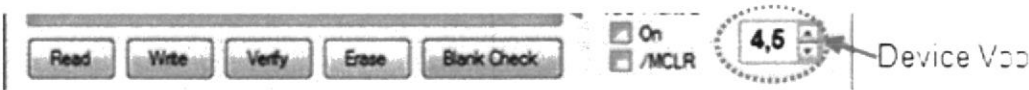


Figura 2-86: Voltaje marcado en el área **Device VDD**.

- 6) Importamos el archivo con extensión **.hex** (hexadecimal), para lo cual escogemos la opción **File/Import Hex** de la barra de menú y seleccionamos el archivo con extensión **.hex** que desea descargar al μ C PIC (En nuestro presente proyecto hemos utilizado el Microcontrolador PIC16F887) y damos un click en Abrir.

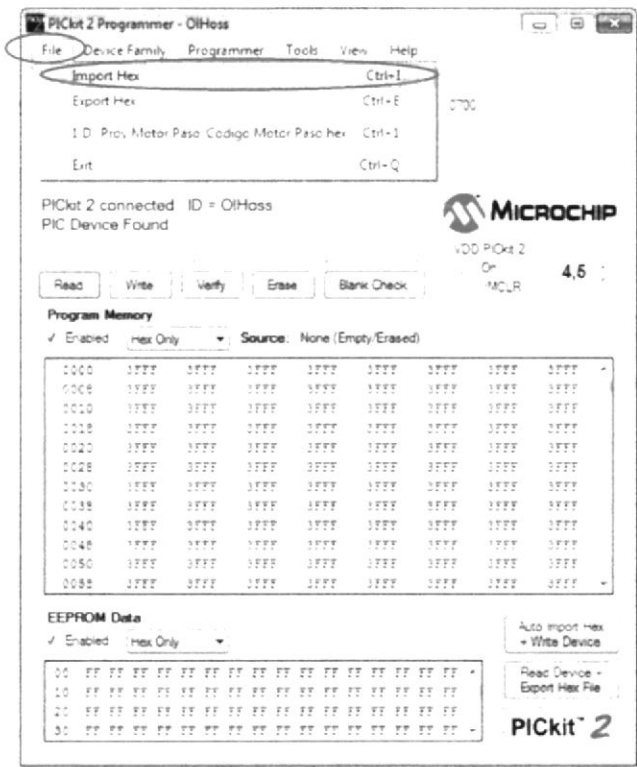


Figura 2-87 Importación del archivo hexadecimal.

El nombre de este archivo con extensión **.hex** para el presente proyecto es Codigo Motor Paso.hex y lo hemos ubicado en el directorio D:\Proy Motor Paso\Codigo Motor Paso.hex, desde este directorio descargamos el archivo con extensión **.hex** para grabarlo en el microcontrolador PIC (PIC16F887).

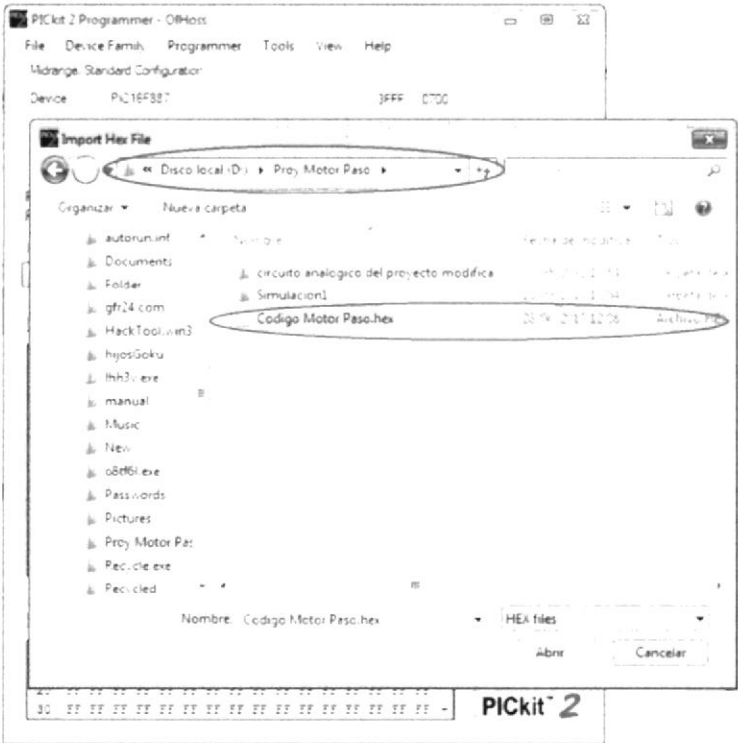


Figura 2-88: Ubicación del archivo Codigo Motor Paso.hex.

Una vez descargado el archivo con extensión **.hex** del directorio, aparecerá un mensaje (Hex file sucessfully imported) en el Área **Status Windows**.

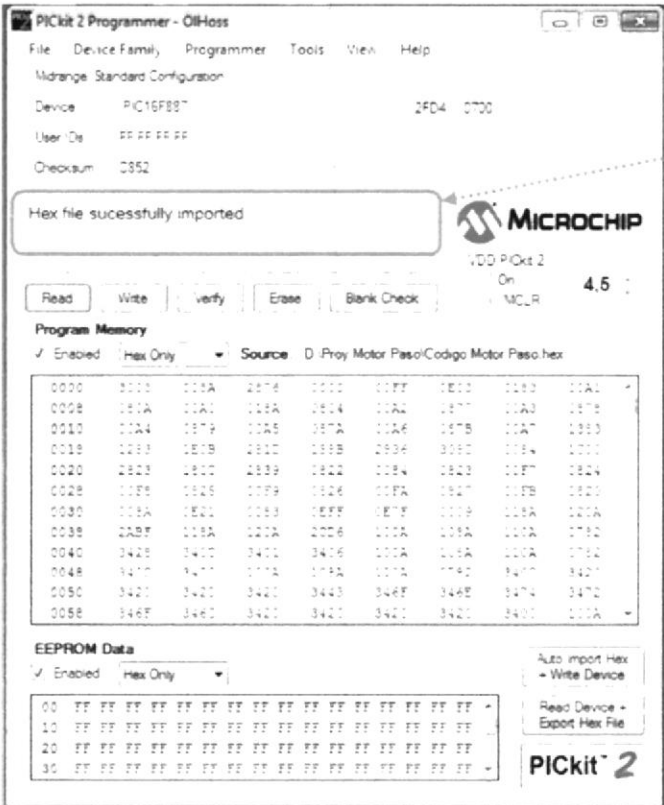


Figura 2-89: Mensaje para verificar de que el archivo hexadecimal se ha importado correctamente.

- 7) Programe o grave el archivo con extensión **.hex** en el μC (PIC16F887), para lo cual damos un click en el botón **Write** (Se puede observar el titileo del LED del programador mientras se realiza la programación del PIC).

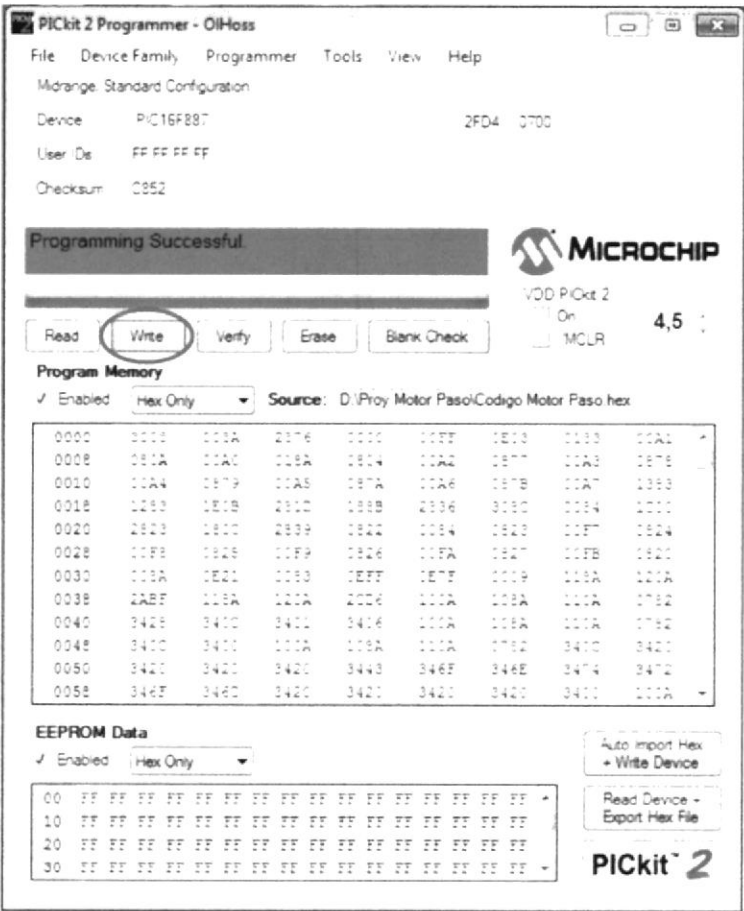


Figura 2-90. Programación del PIC16F887.

Si la programación fue exitosa al microcontrolador PIC16F887, aparecerá un mensaje (Programming Successful) en el área Status Windows indicando si la programación fue exitosa y cambiara de color la Barra de Progreso (Progress Bar) (Figura 2-91). Sin embargo, si desea verificar si efectivamente la programación se realizó en forma correcta, para lo cual damos click en el botón **Verify** (Figura 2-92).



Figura 2-91. Mensaje para verificar si la programación del PIC16F887 fue correctamente.

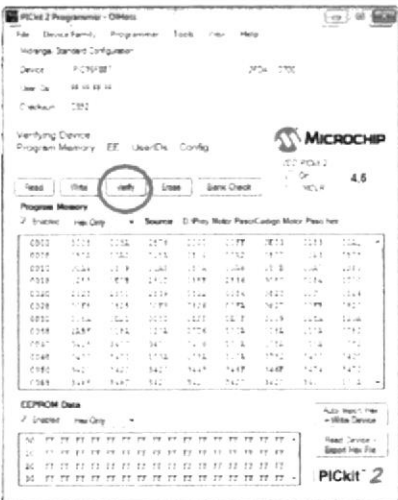


Figura 2-92: Verificación de la programación del PIC16F887.

Una vez finalizada la programación al microcontrolador PIC16F887, el archivo hexadecimal quedara grabada en el microcontrolador PIC, entonces podemos montar y construir al circuito electrónico del proyecto.

Si algún momento se desea volver a reprogramar el microcontrolador PIC (PIC16F887), en tal caso que se desee modificar el código fuente (Anexo B), procedemos hacer lo que se explica a continuación.

- Debemos Borrar primero algún archivo con extensión **.hex** que se encuentre en la memoria de programa del μC (PIC16F887), para lo cual damos un click en el botón **Erase** y aparecerá un mensaje (Erasing device ...Complete) en el area Status Windows (Figura 2-93). Este proceso se lo realiza en tal caso que llegue haber algún programa o archivo con extensión **.hex** grabado en la memoria del μC (PIC16F887), para dejar en blanco dicha memoria y así proceder nuevamente grabar el archivo con extensión **.hex** en el μC (PIC16F887) del presente proyecto, aplicando los pasos del 1 al 7 de la **sección 2.4.1.1**.

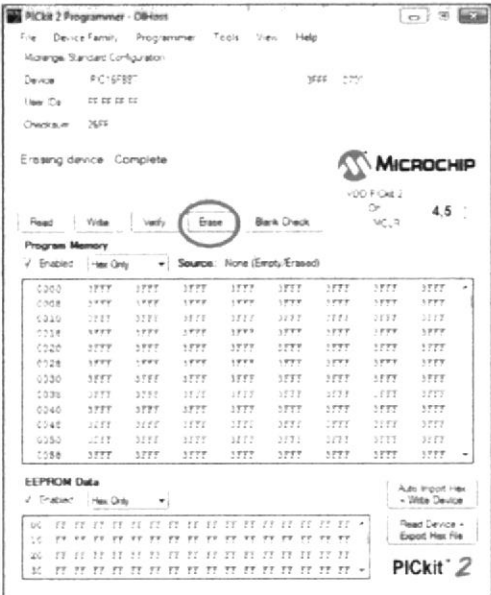
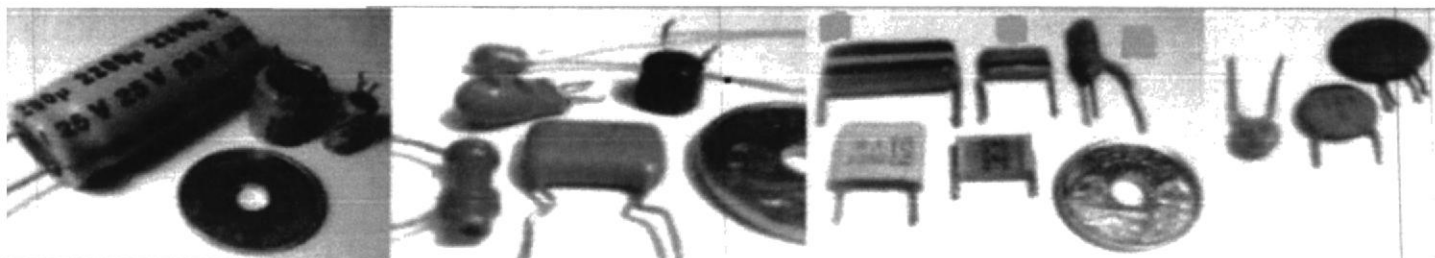


Figura 2-93: Borrar el archivo con extensión **.hex** al PIC16F887.



CAPITULO 3

CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO
DIDACTICO PARA CONTROL DE
MOTOR DE PASO.



CAPÍTULO 3

CONSTRUCCION DEL EQUIPO DIDACTICO PARA CONTROL DE MOTOR DE PASO.

En el presente capítulo se explicará en que versiones de software se utilizaron y el diseño de los circuitos electrónicos que se necesitan para el presente proyecto, los cuales se mencionan a continuación:

- Circuito electrónico para controlar el Motor Paso a Paso del presente proyecto (Figura 2-18).
- Circuito electrónico para la fuente de alimentación.
- Circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.

Una vez diseñado los circuitos mencionados se empezará a fabricar los circuitos impresos para: el circuito electrónico que controla el motor paso a paso del presente proyecto y el circuito electrónico de la fuente de alimentación. Al finalizar la fabricación de los dos circuitos impresos mencionado, se empezará a montar sus elementos correspondientes para que los 2 circuitos electrónicos queden fabricados físicamente.

Los circuitos impresos de los dos circuitos electrónicos mencionados, se los fabricará mediante un sencillo método: la transferencia térmica, para fabricar mediante este método se necesita aplicar los pasos del **ANEXO C**.

El circuito impreso para el circuito electrónico que activará las bobinas de los Motores paso a paso de 1A – 3A no será fabricado porque posee muy pocos elementos, por esta razón sus elementos serán montados y conectados en una baquelita perforada y quedará fabricado físicamente.

Al finalizar la fabricación física de los circuitos electrónicos del presente proyecto, se procederá a montarlos en una caja para proyectos o chasis, con el fin de terminar la construcción del equipo didáctico y proceder a realizar las pruebas. Las pruebas del equipo didáctico se mencionarán en el **capítulo 4**.

3.1 Diseño del circuito electrónico para controlar el Motor Paso a Paso

El circuito electrónico para controlar el motor Paso a Paso (Figura 2-18) del presente proyecto fue diseñado en el entorno ISIS del programa PROTEUS como se explica en el capítulo 2, para su elaboración lo dividiremos en dos partes: **Circuito de control** y **Circuito de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso**.

3.1.1 Circuito de Control

La función principal de este circuito es controlar un motor Paso a Paso aplicando ángulo de paso, velocidad angular y sentido de giro, mediante pulsadores (Figura 1-27) y que se ha visualizado en una pantalla LCD (Figura 1-28), como nos muestra el diagrama de bloques de la Figura 3-1.

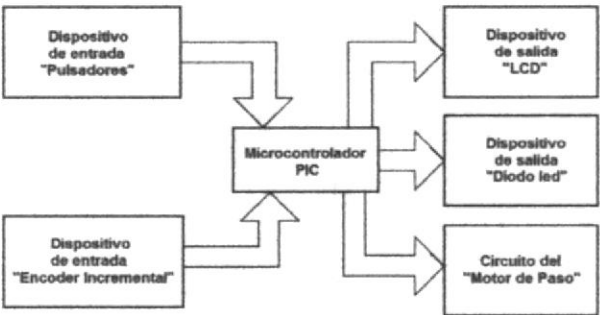


Figura 3-1. Diagrama de bloques

Los elementos que se utilizan ya han sido descritos previamente en las secciones 1.2.1.1, 1.2.2.1 y 1.3 del Capítulo 1, por lo que se debe proceder a la conexión de cada elemento con su respectiva polaridad si estos lo requieren. La mayoría de los dispositivos electrónicos necesitan ser polarizados para su funcionamiento.

3.1.1.1 Polarización del Microcontrador PIC (PIC16F887)

Como ya especificamos el microcontrolador PIC16F887 es un micrpcontrolador de Gama Media encapsulado en un DIP de 40 pines (Figura 1-21), debe estar configura do como se muestra en la Figura 3-2.

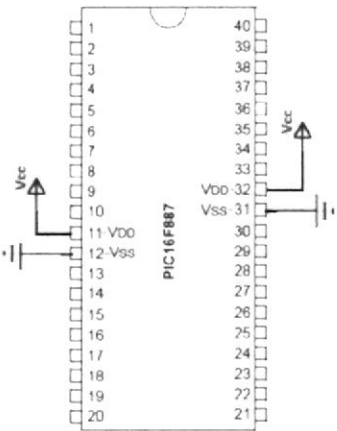


Figura 3-2. Polarización del Microcontrolador PIC16F887.

EL Microcontrolador PIC (PIC16F887) que se encuentra entre la librería del subentorno ISIS del programa PROTEUS (Figura 3-3), no cuenta con los pines 11, 12, 31 y 32 que sirven para su polarización como se muestra en la Figura 3-2. Este microcontrolador existe como si estuviera polarizado en el subentorno ISIS del programa PROTEUS sin tener los pines mencionados (11, 12, 31 y 32), pero solo funcionaría la simulación del circuito electrónico (Figura 2-18) en este software o programa, pero al montarlo físicamente no funcionaría si el microcontrolador no está polarizado como se muestra en la Figura 3-2 y podría perjudicarse.

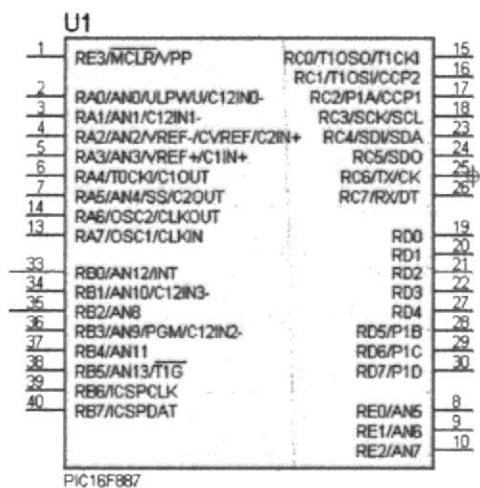


Figura 3-3. Microcontrolador PIC16F887 de la librería del programa PROTEUS.

Nota: Al momento de montar o armar físicamente el circuito electrónico del presente proyecto el Microcontrolador PIC16F887 debe estar polarizado y los otros componentes electrónicos asociados que necesiten ser polarizados deben estar polarizados para que funcione correctamente el circuito electrónico.

3.1.1.2 Dispositivo de Entrada “Encoder Incremental”

Como ya especificamos el Encoder es incremental rotatorio con dos filas de ranuras, el cual ira acoplado microcontrolador y al motor paso a paso como se muestra en la Figura 3-4.

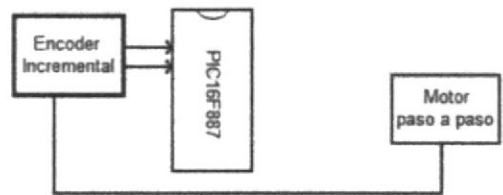


Figura 3-4. Diagrama de bloques del Encoder acoplado al Motor Paso a Paso y conectado al Microcontrolador

La ventaja de utilizar el Encoder incremental rotatorio, es que sirve de realimentación para medir la velocidad en RPM y el ángulo de paso en grados [°] del motor paso a paso, además envía dos señales (A y B) en dos terminales de entrada del microcontrolador PIC (PIC16F887), con las cuales el microcontrolador activara las bobinas del Motor Paso a Paso y empezara a girar con velocidad angular y el ángulo de paso medido con el Encoder incremental.

Su desventaja es una conexión más extensa.

El motor paso a paso (**MODELO KP4M4-001**) se debe polarizar como indica la **sección 3.1.1.4**

El Encoder incremental rotatorio se debe polarizar como indica la **Figura 3-5**

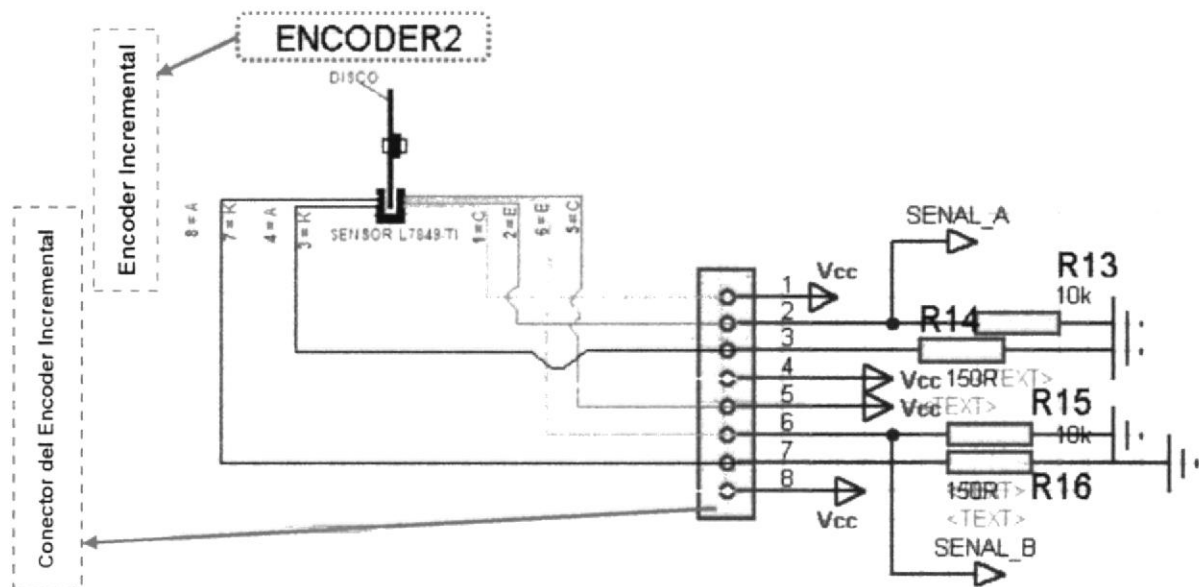


Figura 3-5. Polarización del Encoder incremental Rotatorio

Los cálculos de las resistencias **R13**, **R14**, **R15** y **R16** que se encuentran en la **Figura 3-5**, las cuales están dentro de la polarización del Encoder incremental del presente proyecto se lo realiza como se muestra en la **Figura 1-57**.

El Encoder Incremental Rotatorio, debe estar polarizado y conectarse a los terminales o pines de entrada 33 y 35 del Microcontrolador PIC (pic16f887) como se muestra en la **Figura 3-6**. También debe estar acoplado al Motor Paso a Paso (**Figura 3-7**).

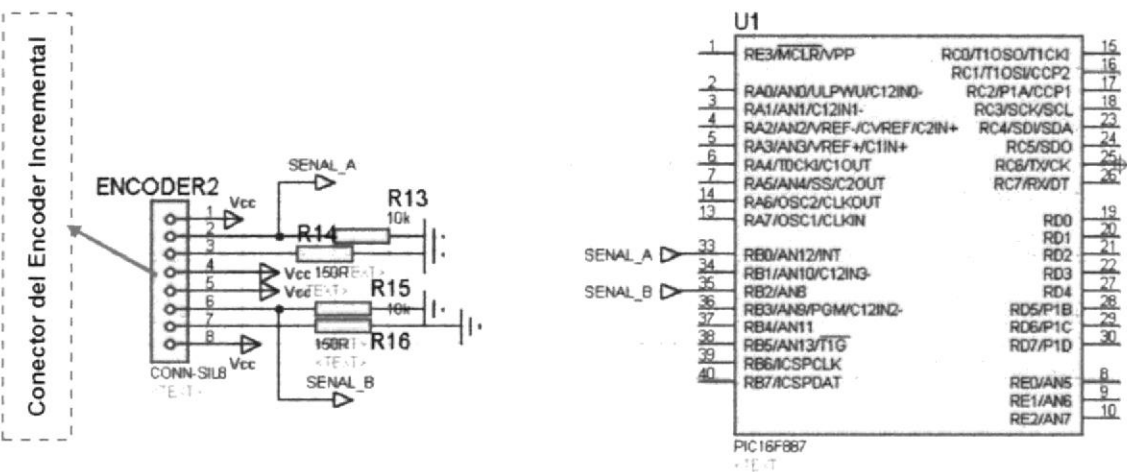


Figura 3-6. Encoder incremental Rotatorio Polarizado y conectado al Microcontrolador

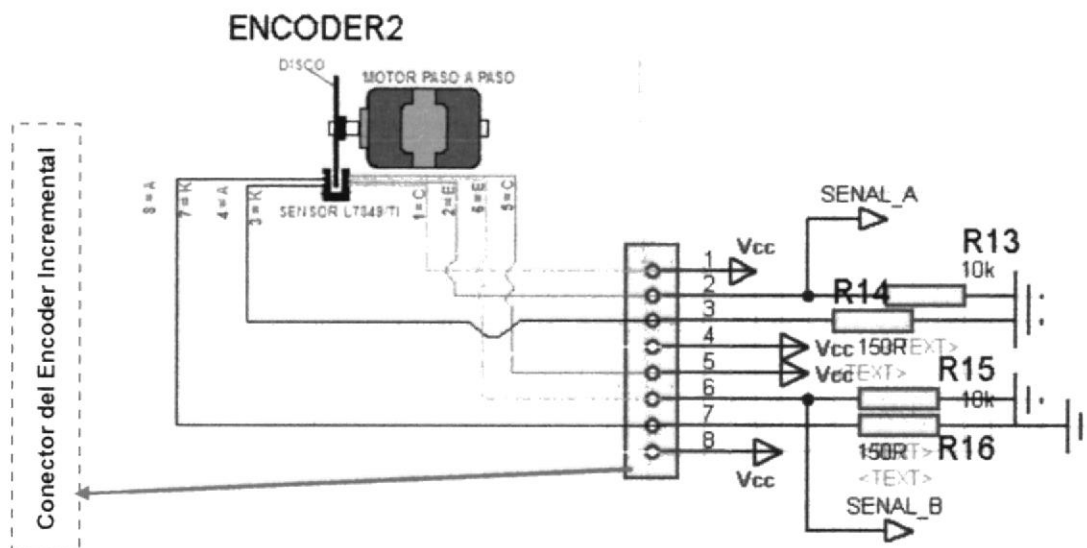


Figura 3-7. Encoder incremental Rotatorio polarizado y acoplado al Motor Paso a Paso.

Para terminar esta primera etapa se debe conectar al microcontrolador como se indica la Figura 3-8, recordando la nota de la **sección 3.1.1.1**.

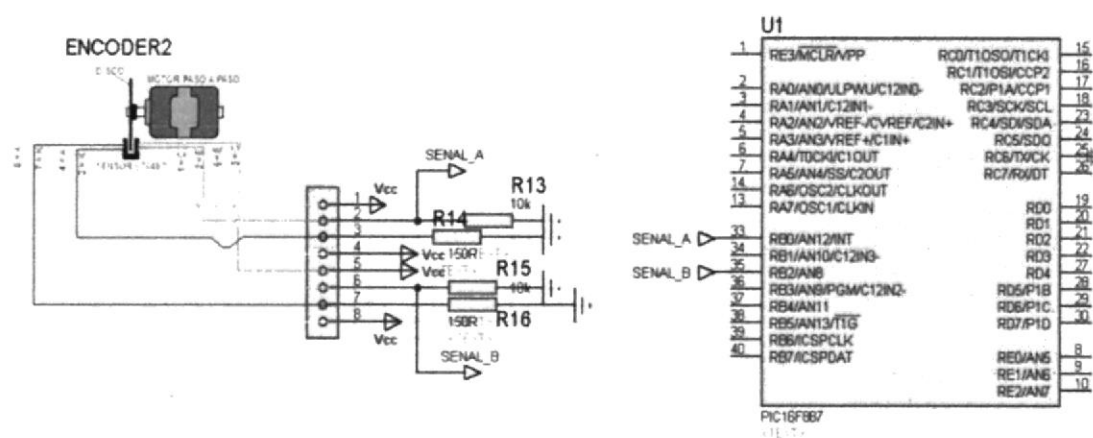


Figura 3-8. PIC16F887 conectado al Encoder incremental Rotatorio polarizado y acoplado al Motor Paso a Paso.

3.1.1.3 Dispositivo de Entrada “Pulsadores”

En esta etapa los pulsadores se conectan a la entrada del PIC16F887 (Figura 3-9) para realizar una acción momentánea.

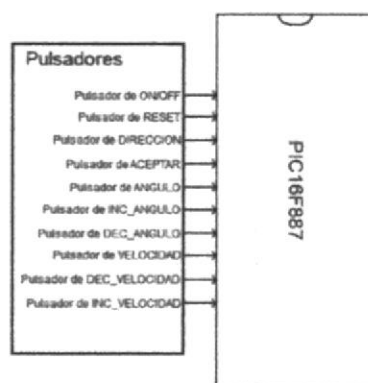


Figura 3-9. Diagrama de bloque de los pulsadores conectados al PIC16F887.

La ventaja de utilizar los pulsadores, es que nos permiten realizar las funciones de: encender, apagar y resetear el circuito electrónico; seleccionar la dirección de giro del motor paso a paso, medir la velocidad angular y el ángulo de paso del motor; y aceptar los datos ingresados en la pantalla LCD para que gire el motor. Además son de bajo costo.

La desventaja de utilizar estos pulsadores, es que ocupan algunos terminales o pines de entrada en el PIC16F887 y alguna conexiones al polarizarlos.

Los pulsadores deben estar polarizados como se muestra en la Figura 3-10 y en la Figura 3-11.

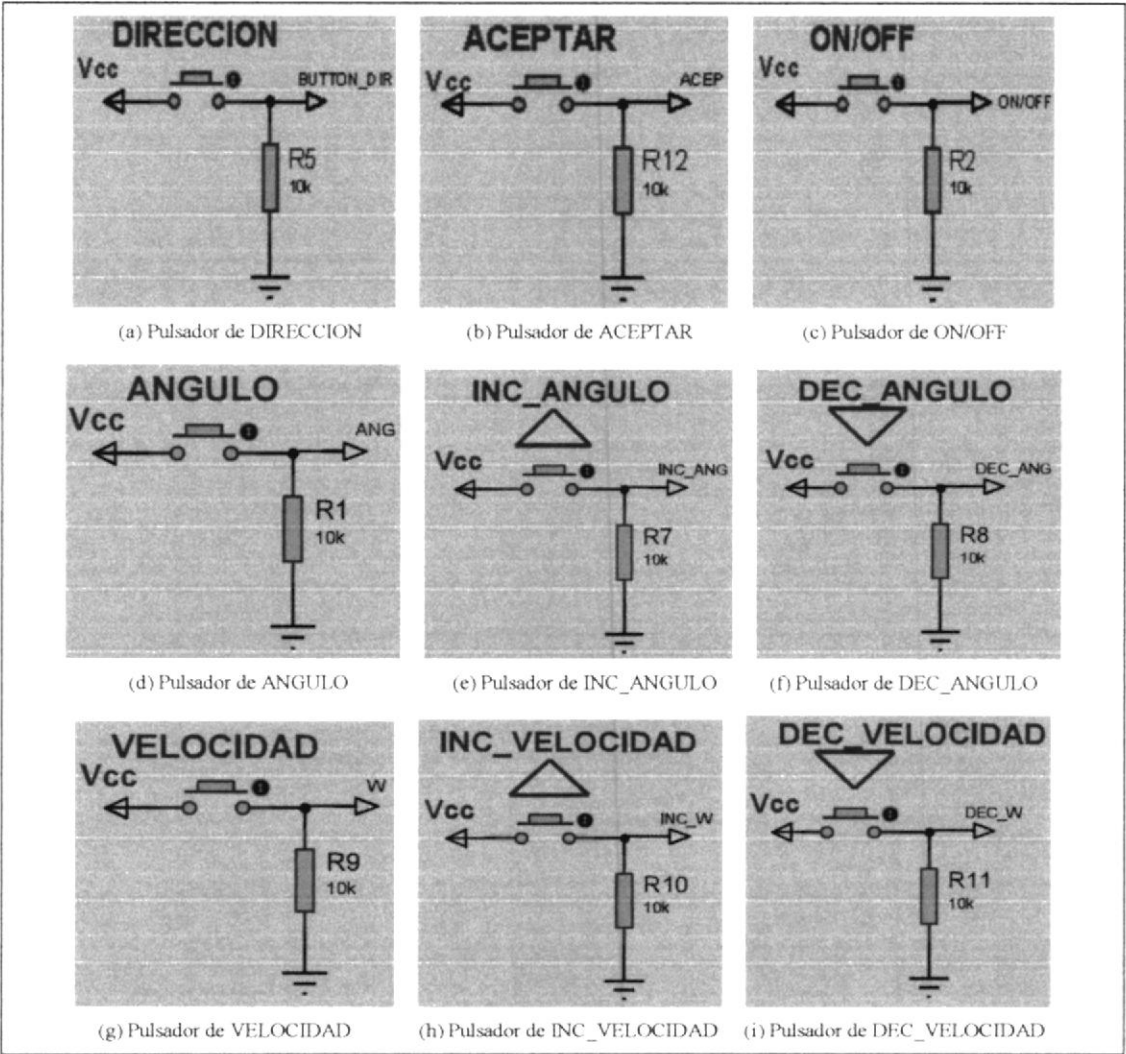


Figura 3-10. Pulsadores polarizados para que puedan ser conectados a la entrada del PIC16F887.

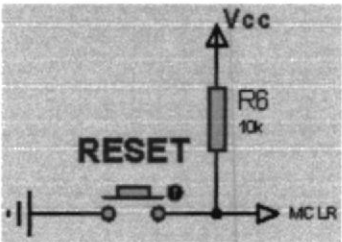


Figura 3-11. Pulsador de RESET polarizado para ser conectado a la entrada del PIC16F887

Es muy importante considerar la polarización de los pulsadores antes de conectarlo al Microcontrolador PIC (PIC16F887), ya que al polarizarlos con una resistencia ayuda al limitar la corriente para que no sobrepase los niveles de corriente tanto de entrada como de salida, en los pines del Microcontrolador PIC (PIC16F887). El PIC16F887 puede entregar por cada uno de sus pines una corriente máxima de 25mA., esto quiere decir que se puede colocar una resistencia mínima de 220Ω a un pulsador para conectarlo al PIC16F887, revisemos:

Voltaje que entra a un pin del PIC, si es alimentado con 5V. $V = 5V$.

Corriente de entrada que soporta cada pin del PIC16F887. $I = 25mA$.

¿Qué resistencia sería la mínima a colocarse?

$$V = I \times R \iff R = \frac{V}{I} \iff R = \frac{5V}{25mA} \iff R = 200\Omega \approx 220\Omega$$

Entonces para un pulsador la resistencia mínima a colocarse sería de 220Ω para estar al límite de la capacidad que soporta el PIC16F887, pero no es muy aconsejable trabajar con los límites, por lo que se recomienda utilizar una resistencia de $1K\Omega$ a $10K\Omega$, así el PIC16F887 estaría trabajando tranquilamente con una corriente de entrada de 5mA o 0,5mA respectivamente.

La polarización y conexión de los pulsadores al Microcontrolador PIC se muestra en la Figura 3-12.

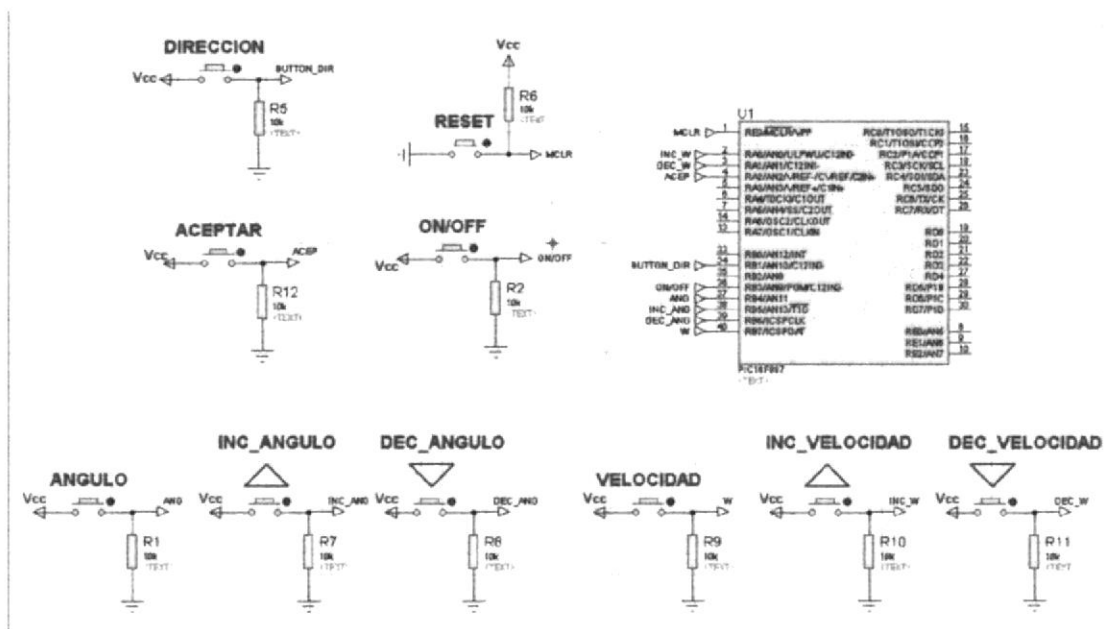


Figura 3-12. Pulsadores polarizados y conectados como entrada al PIC16F887

3.1.1.4 Dispositivo de Salida “Visualizador LCD”

El visualizador LCD está descrito en la **sección 1.2.1.2.d**, se lo está utilizando como dispositivo de salida del PIC16F887 del presente proyecto.

El visualizador LCD que estamos utilizando en el presente proyecto posee una pantalla

LCD 2X16, se lo debe polarizar como se muestra en la Figura 3-13 antes de ser conectado al PIC16F887. Si se lo desea conectar al PIC16F887 con retroiluminación led se lo debe polarizar como se muestra en la Figura 1-30.

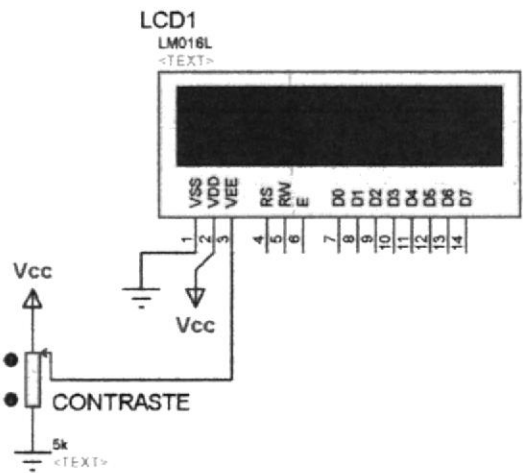


Figura 3-13. Polarización del visualizador LCD.

El control del visualizador LCD se lo hace desde el microcontrolador PIC26F887 y los datos son enviados por el puerto D (PORTD) del PIC16F887 como se muestra en la Figura 3-14.

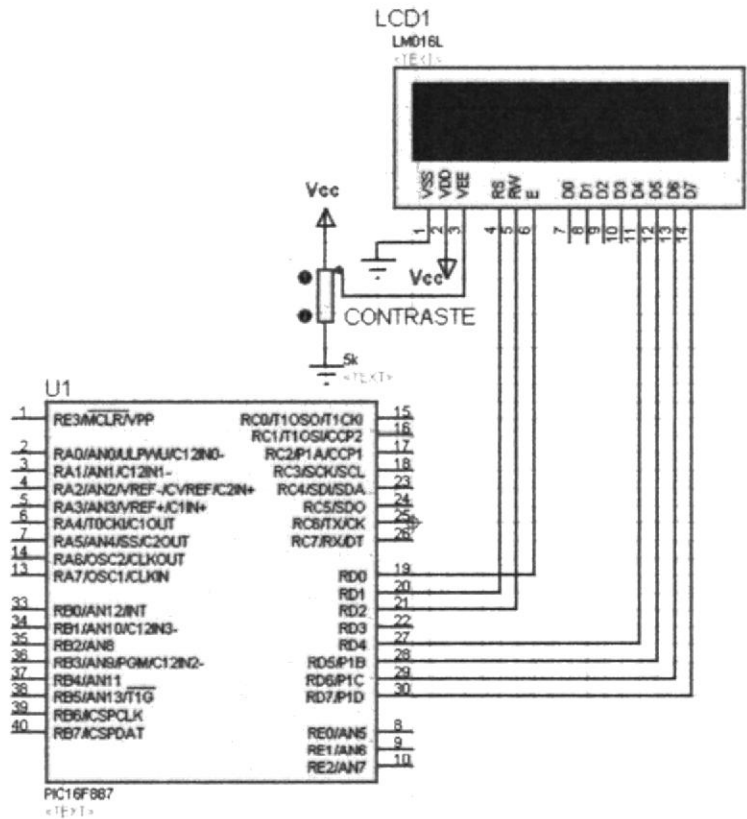


Figura 3-14. Visualizador LCD polarizado y conectado al PIC16F887.

3.1.1.5 Dispositivo de Salida “Diodo led”

El diodo led, el cual hemos descrito en la **sección 1.2.1.2.b**, se lo está utilizando como dispositivo de salida del PIC16F887 con su respectiva polarización como se muestra en la Figura 3-15, el cual dará la muestra encendido y apagado.

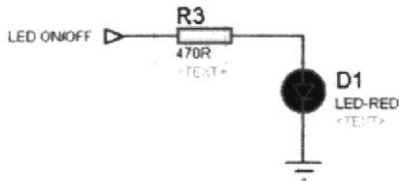


Figura 3-15. Polarización del diodo led.

El diodo led se conecta al PIC16F887 como dispositivo de salida en el puerto c (pin 23: RC4/SDI/SDA) a través de una resistencia de 470Ω (Figura 3-16), la cual limita la corriente del diodo led y su valor lo revisamos a continuación:

Voltaje que entra a un pin del PIC16f887, si es alimentado con 5V ($V = 5V$).
Corriente que requiere el diodo led para ($I = 15mA$).
¿Qué resistencia $R=?$ es necesaria para encender el led correctamente?

$$V = I \times R \iff R = \frac{V}{I} \iff R = \frac{5V}{15mA} \iff R = 333,33\Omega \approx 330\Omega$$

Como observamos, para un diodo led la resistencia mínima a colocarse seria de 330Ω para estar al limite de la capacidad que soporta, pero no es muy aconsejable trabajar con los límites, por lo que se recomienda utilizar una resistencia de 470Ω, así el PIC16F887 estaría entregando una corriente de salida de 10A respectivamente al Diodo led y así evitamos que se pueda quemar.

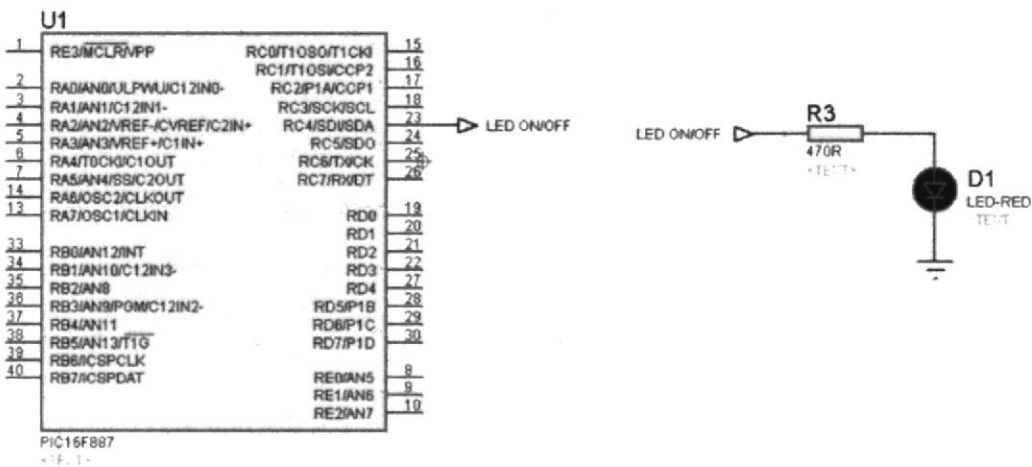


Figura 3-16 Conexión del diodo led al PIC16F887 como dispositivo de salida.

Para finalizar el circuito se control se conectara todos los elementos como muestra la Figura 3-17.

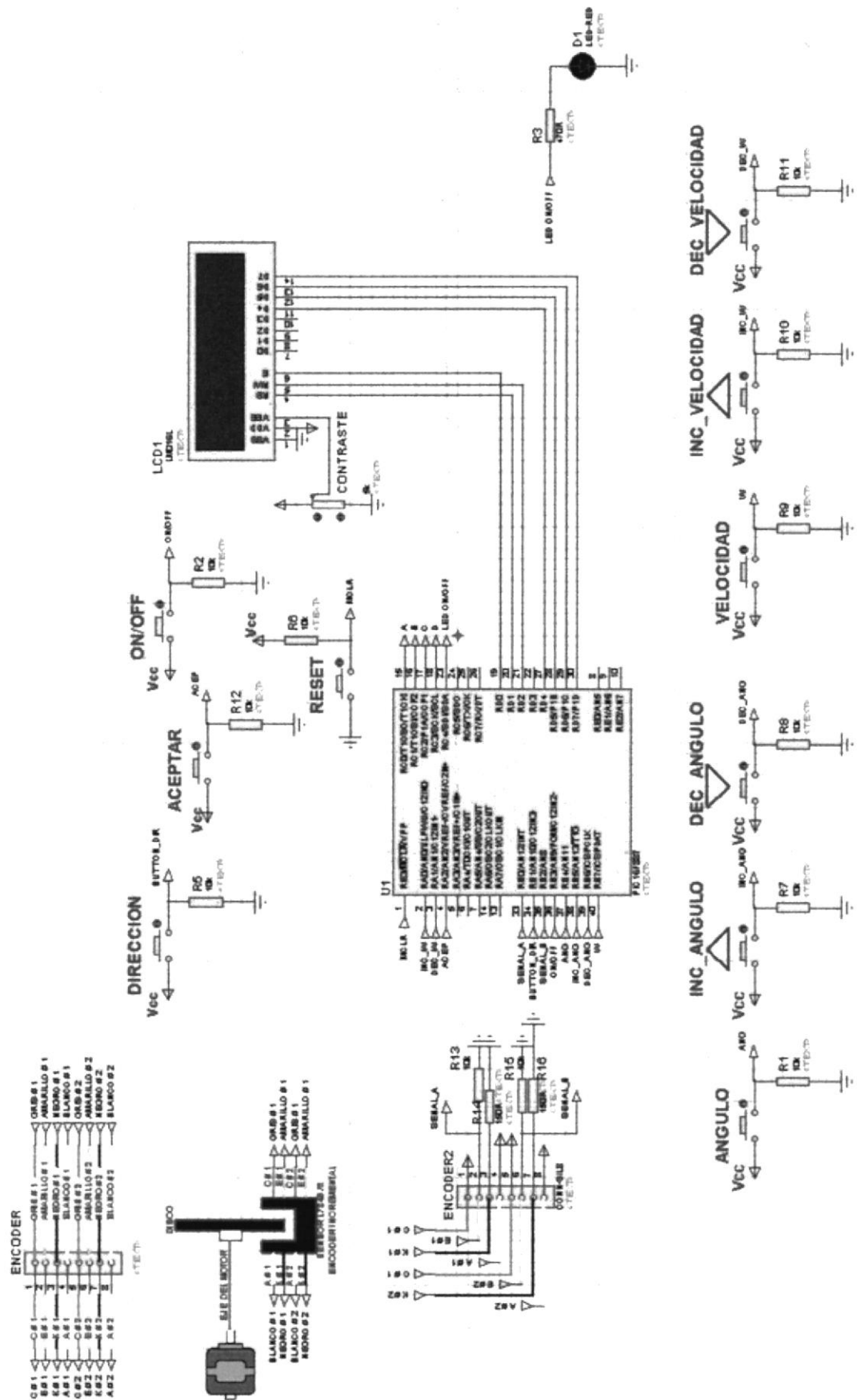


Figura 3-17. Circuito de control completo.

3.1.2 Circuito de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso.

Lo mencionamos circuito de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso, porque es el encargado de activar las bobinas del Motor para que en empiece a girar en diferentes sentidos, ya sea hacia la izquierda o hacia la derecha. Básicamente está conformado por un circuito integrado llamado Driver ULN2003A y un Motor Paso a Paso Unipolar. También se encuentra polarizado como se muestra en la Figura 3-18.

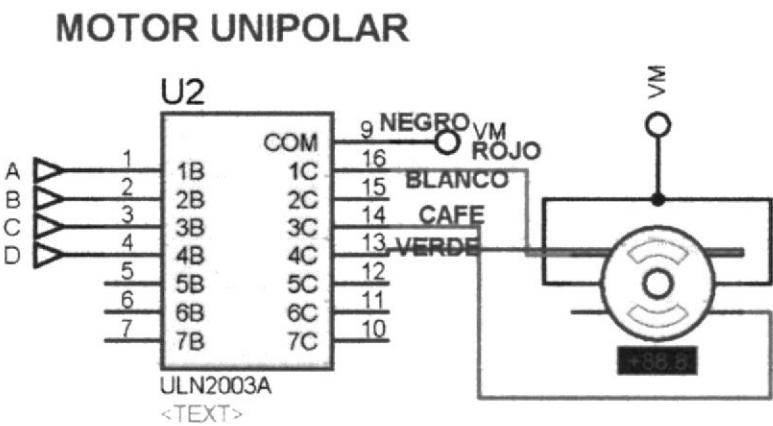


Figura 3-18. Circuito de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso.

Este circuito de control de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso se conecta al PIC16F887, como se muestra en la Figura 3-19 y estaría terminado el diseño del circuito electrónico del presente proyecto.

Una vez conectado al PIC16F887, el Motor Paso a Paso será controlado por el PIC16F887, ya que el PIC16F887 enviara señales por sus pines de salida (PORTC: pin 15, 16 ,17 y 18) y la recibirán los Pines de entrada del DRIVER ULN2003A, luego pasaran a los pines de salida del DRIVER ULN2003A, para activar las bobinas del motor Paso a Paso y empezara a girar, ya que el Motor Paso a Paso se encuentra conectado a los pines de salida del DRIVER ULN2003A.

Debido a que el nivel de corriente que nos entrega el PIC16F887 es de máximo 25mA con un nivel de tensión de 5V, por esta razón se conecta el driver ULN2003A al motor paso a paso utilizado en el presente proyecto (kp4m4-001) porque su corriente es de 81 mA según la Tabla 1-9, para así evitar que no sobrepase el nivel de corriente al PIC16F887 y evitar que se queme. Por esta razón el driver ULN2003A nos ayudara a energizar las bobinas del motor paso a paso porque cada pin de salida del driver ULN2003A puede manejar una corriente máxima de 500mA o 0.5A.

Si algún momento se procede hacer la prueba en controlar un Motor Paso a Paso de una corriente mayor de 1A, 2A y 3A, tendríamos que conectarlo con otro circuito de control, el cual se explica en la **sección 3.3** y con una fuente de alimentación que soporte esa cantidad de corriente, porque si se lo conecta con el DRIVER ULN2003A y la fuente de alimentación que esta agregada en el equipo didáctico del presente proyecto se quemarían inmediatamente.

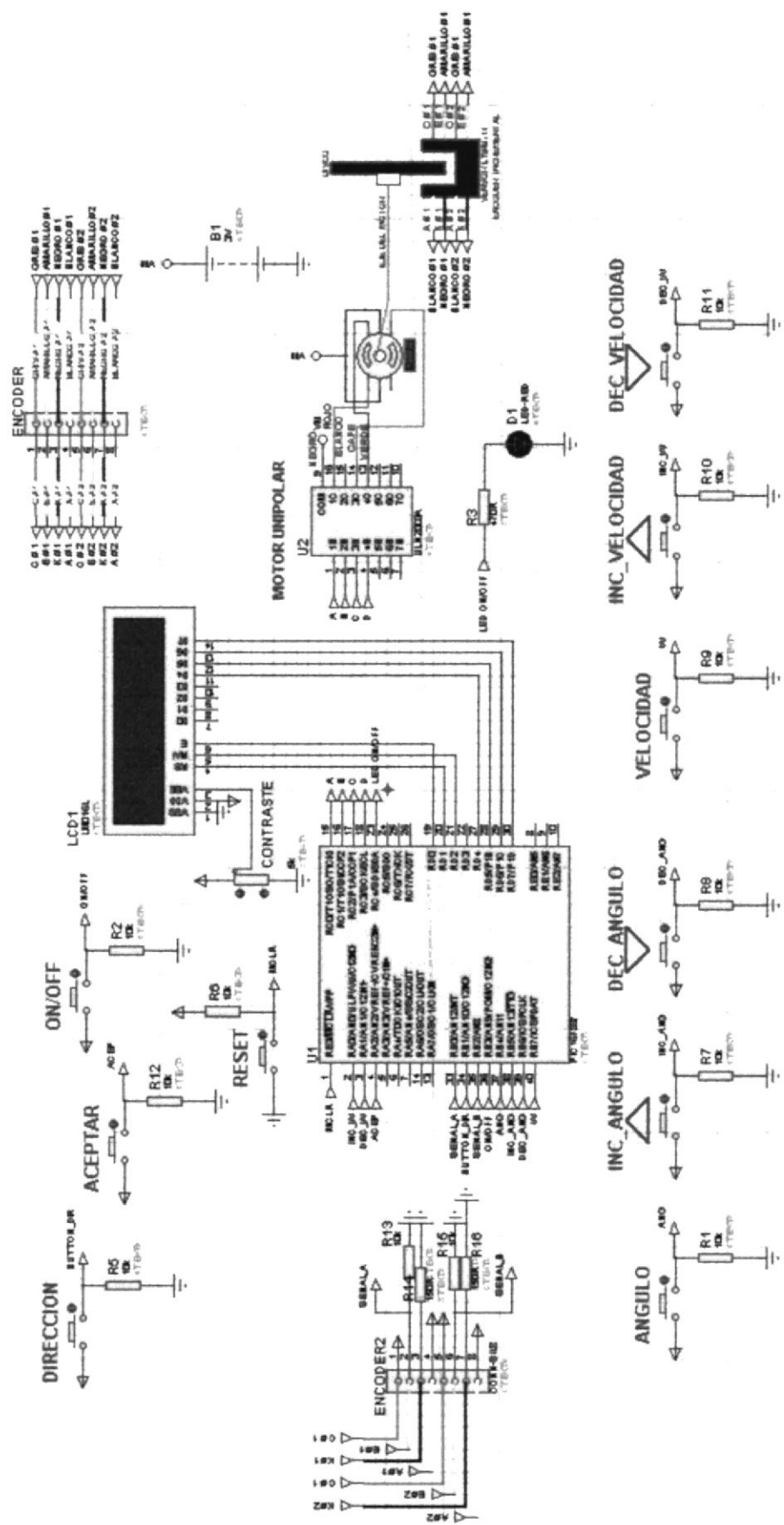


Figura 3-19. Circuito electrónico para controlar el Motor Paso a Paso del presente proyecto.

El circuito electrónico para controlar el Motor Paso a Paso (Figura 3-19), al montarlo físicamente necesita una fuente de alimentación para que proceda su funcionamiento, por esta razón se ha diseñado un circuito para la fuente de alimentación (ver sección 3.2).

3.2 Fuente de Alimentación

La Fuente de Alimentación (Figura 3-50) es la encargada de hacer funcionar el circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-19), por esta razón se ha diseñado una fuente para voltajes fijos de 12VDC y 5VDC, con los cuales se alimentan los elementos que lo requieran en el circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-19). La alimentación de 12VDC se utiliza para proporcionar corriente al Circuito de activación de las bobinas de Motor Paso a Paso (driver UL2003A y Motor Paso a Paso Unipolar (Figura 3-18)); y la alimentación de 5VDC se utiliza para proporcionar corriente al Circuito de control (PIC16F887, LCD, diodo led, pulsadores, entre otros (Figura 3-17)).

Debido a que el circuito electrónico del presente proyecto trabaja con voltajes de +12VDC y +5VDC, se utilizó un transformador con toma central el cual posee las siguientes características:

Voltaje RMS de entrada o en el devanado primario: 110/220V

Voltaje RMS de salida o en devanado secundario: 12V-0-12V

Corriente máx. de salida o en devanado secundario: 1000mA.

Frecuencia máx. de entrada o de red: 60/50Hz.

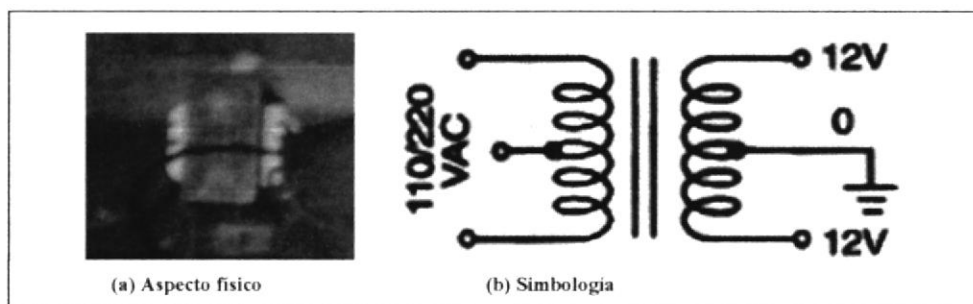


Figura 3-20. Transformador de 12V y 1A de salida.

El circuito electrónico de la Fuente de Alimentación (Figura 3-20) utiliza dos reguladores de voltaje, uno para el circuito de control (5 voltios) (Figura 3-17) y otro para el circuito de activación de las bobinas del motor paso a paso (12 Voltios) (Figura 3-18).

En el diagrama de la Figura 3-21 podemos ver la estructura básica de la fuente de alimentación utilizada para el circuito electrónico (Figura 3-19) del presente proyecto. Al apreciar este diagrama de la estructura de la fuente de alimentación, observamos que está compuesta por distintos módulos que poseen una función concreta, a continuación explicaremos cada uno de estos módulos y al mismo tiempo el cálculo de los elementos que se encuentra en cada módulo.

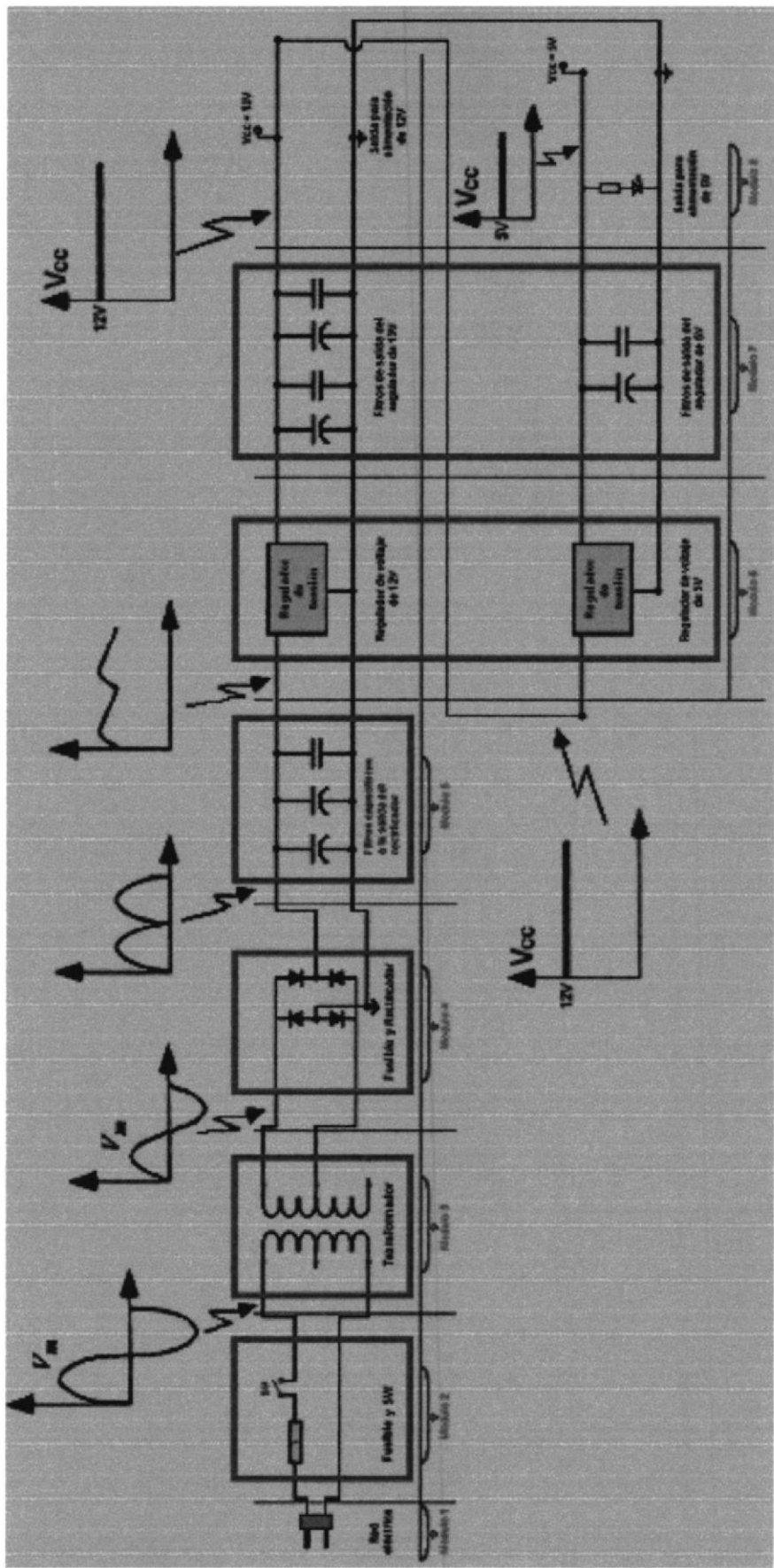


Figura 3-21. Diagrama de bloques de la Fuente de alimentación del presente proyecto.

Modulo 1: Red eléctrica

Este modulo está formado por el enchufe, que nos permite conectar nuestra fuente de alimentación a la red eléctrica. Los parámetros que hay que tener en cuenta a la hora de elegir el enchufe es:

- Que soporte la tensión de la red (220v - 60Hz) y la corriente que va a consumir el circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-19). Estos mismos parámetros utilizaremos para elegir el cable de alimentación.

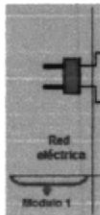


Figura 3-22. Modulo 1 del diagrama de la fuente de alimentación

Modulo 2: Fusible y SW a la entrada del transformador

El modulo 2 está compuesto por un fusible y un SW como se muestra en la Figura 3-23.

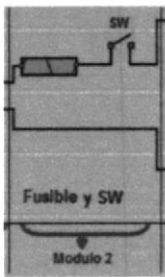


Figura 3-23. Modulo 2 del diagrama de la Fuente de alimentación

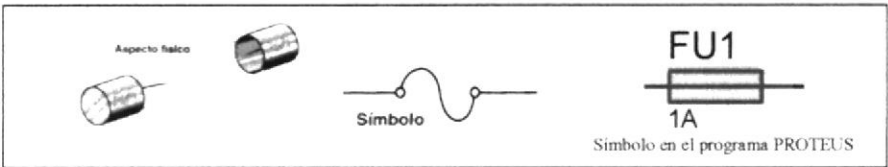


Figura 3-24. Fusible

El fusible de este modulo se utilizara para proteger contra una sobrecarga producida por un cortocircuito al sw y al transformador que se encuentra en el modulo 3. La corriente en exceso derrite o quema el fusible y no habrá circulación de corriente una vez que se quema el fusible, con esto se logra que el daño solamente ocurra al fusible y no al resto de los elementos que se encuentran en los siguientes módulos.

El parámetro básico que necesitamos para seleccionar este fusible es: calcular la corriente su corriente nominal, la cual será la corriente que circulara en el devanado primario (I_1) del transformador que estamos utilizando (Figura 3-20 y ver las características del transformador dentro de la **sección 3.2**). La corriente en el devanado primario del transformador la podemos calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

De esta fórmula despejamos I_1 (intensidad de la corriente presente en el devanado primario del transformador) y podemos calcular la corriente del primario de la siguiente manera, para saber que fusible seria el mínimo de colocarse.

Como hemos mencionado en la **sección 2.3** el transformador que hemos utilizado en la fuente de alimentación de nuestro proyecto vamos a utilizarle los siguientes datos:

Consumo de voltaje RMS en el devanado primario (V_1) de 220V. $V_1 = 220V$.

Consumo de voltaje RMS en el devanado secundario (V_2) de 12V. $V_2 = 12V$.

Consumo de corriente en el devanado secundario (I_2) de 1A. $I_2 = 1A$.

¿Qué fusible seria el mínimo de colocarse?

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \iff I_1 = \frac{I_2 * V_2}{V_1} \iff I_1 = \frac{(1A) * (12V)}{220V} \iff I_1 = 55mA$$

Esto significa que tendríamos que poner un fusible mínimo de 55mA, peros no es muy aconsejable trabajar con los limites, por esta razón utilizaremos un fusible de 1A y podemos encontrar fusibles con este valor en el mercado.

El SW que en este modulo es un interruptor SPDT (Figura 1-27) que se lo va utilizar en forma manual con el fin de conectar o desconectar la alimentación. Este tipo de interruptores se lo consigue fácilmente en el mercado con el fin de que soporte la corriente que circulara por el fusible.

Modulo 3: Transformador

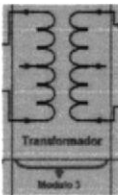


Figura 3-25. Modulo 3 del diagrama de la Fuente de alimentación

El transformador (Figura 3-20) según sus características mencionadas dentro de la sección 3.2, se encarga, mediante la utilización de campos electromagnéticos, de convertir la tensión alterna (Voltaje de corriente alterna) de entrada de 220V / 110V en otra tensión, también alterna de salida, pero de 12V-0-12V (es una señal sinusoidal semejante a la de entrada. Figura 3-26).



Figura 3-26. Transformación de 220V a 12V y sus señales de voltaje en su entrada y salida

La principal ventaja que tiene el transformador es su alto rendimiento, en la Figura 3-26 se puede ver el esquema del transformador.

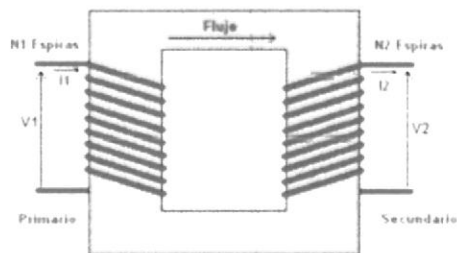


Figura 3-27. Esquema del transformador.

Los parámetros básicos que necesitamos para seleccionar este transformador son: Sus características, estas características como ya estuvieron mencionadas dentro de la sección 3.2, tan solo se consiguió el transformador en el mercado.

Modulo 4: Rectificador

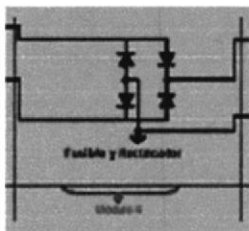


Figura 3-28. Modulo 4 del diagrama de la fuente de alimentación.

En este modulo se conecta 4 diodos rectificadores que forman un rectificador. Este rectificador es el que se encarga de convertir la tensión alterna (voltaje de corriente alterna reducida 12-0-12V o voltaje RMS en el devanado secundario) que sale del devanado secundario del transformador en tensión continua. Para la fuente de alimentación de nuestro presente proyecto necesitamos un rectificador de onda completa, tal como se muestra en la Figura 3-29.

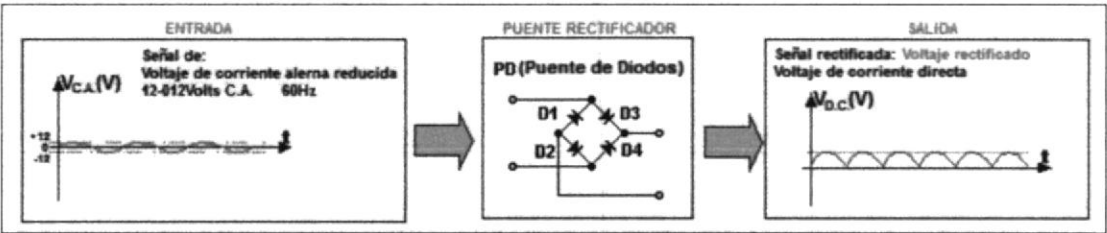


Figura 3-29. Rectificador de onda completa y señales de voltaje en su entrada y salida.

El presente rectificador de onda completa que vamos a utilizar está compuesto por 4 diodos conectados de tal forma que se muestra en la Figura 3-29, por estar conectados los diodos de esta forma, pasa a llamarse también puente rectificador o puente de diodos.

Para seleccionar los diodos al puente rectificador (o diodos) que se va utilizar, necesitamos determinar los valores de la tensión RMS y la corriente máxima de salida del transformador, según las características del transformador (Figura 3-20) mencionadas dentro de la sección 3.2 tenemos los valores de estas dos características:

Voltaje RMS máximo en el devanado secundario: 12V-0-12V
Corriente máx. de salida: 1000mA.

Con los valores de estas 2 características mencionadas, conseguimos 4 diodos (Figura 3-30) 1N4007 en el mercado porque estos diodos sirven para armar puentes rectificadores y soportan 1A de corriente y 12V de voltaje (Anexo A-4).

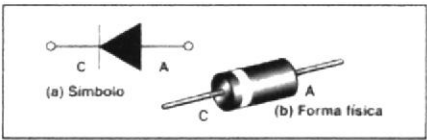


Figura 3-30. Diodo rectificador.

Para terminar este modulo, el rectificador se conecta después del transformador (Figura 3-31), por lo tanto le entra tensión alterna y tendrá que sacar tensión continua, es decir, un polo positivo y otro negativo. El código de los diodos D1, D2, D3, D4 es 1N4007 para comprarlos en el mercado.

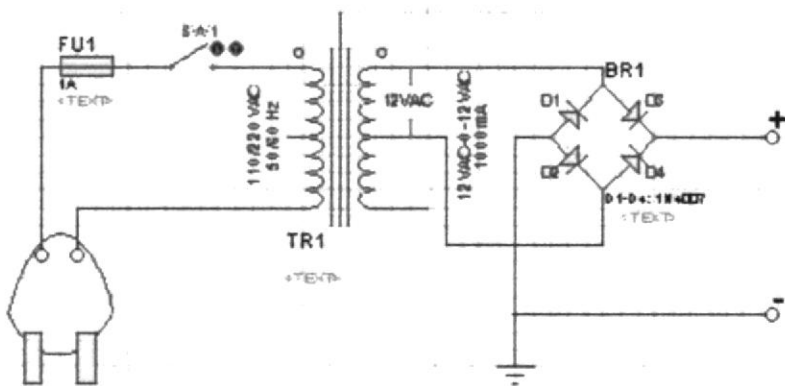


Figura 3-31. Puente rectificador conectado en el devanado secundario del transformador.

Modulo 5: Filtros capacitores a la salida del rectificador.



Figura 3-32. Modulo 5 del diagrama de la Fuente de alimentación.

Los filtros capacitores a la salida del puente rectificador son los filtros comunes encargados de filtrar el Voltaje rectificado por el puente rectificador, de esta forma se consigue un voltaje de corriente directa (Voltaje filtrado), el cual aún no está regulado, y por lo tanto se ve afectado por las variaciones que sufre la línea de la red pública.

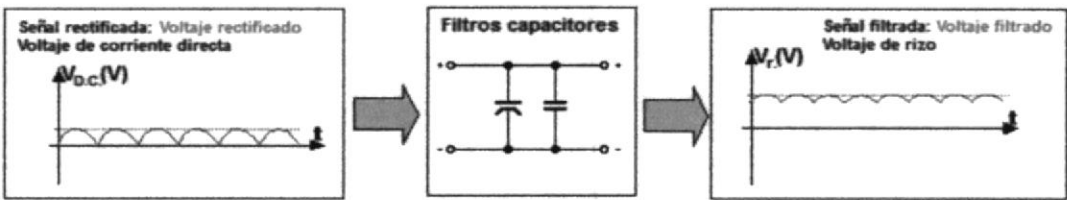


Figura 3-33. Forma de onda del voltaje rectificado y filtrado.

Para colocar el filtro capacitor a la salida del puente rectificador en la fuente de alimentación de nuestro presente proyecto, se necesita calcular el valor de su capacitancia y lo revisamos a continuación:

$V_{t(ef)} = V_{ef} = V_{RMS}$ = Voltaje RMS eficaz en el devanado secundario del transformador máximo según las características del transformador seria. $V_{RMS} = 24V$.

$V_{t(p)} = V_{p(sec)} = V_p = V_m$ = Voltaje pico o máximo a la salida del devanado secundario del transformador y a la entrada del puente rectificador, sus valores serian:

$$V_{t(p)} = \sqrt{2} * V_{RMS} \leftrightarrow V_{t(p)} = 1.41 * (24V) \leftrightarrow V_{t(p)} = 33.94V$$

$V_{PROM} = V_{DC} = V_{CC}$ = Voltaje promedio o voltaje de corriente continua o directa a la salida del puente rectificador.

$$V_{DC} = \frac{2V_{t(p)}}{\pi} \leftrightarrow V_{DC} = \frac{2 * (33.94V)}{\pi} \leftrightarrow V_{DC} = \frac{67.88V}{\pi} \leftrightarrow V_{DC} = 21.61V$$

$V_{r(p)}$: Voltaje de rizo pico.

$$V_{r(p)} = V_{t(p)} - V_{DC} \leftrightarrow V_{r(p)} = 33.94V - 21.61V \leftrightarrow V_{r(p)} = 12.33V$$

$V_{r(p-p)}$: Voltaje de rizo pico a pico.

$$V_{r(p-p)} = 2 * V_{r(p)} \leftrightarrow V_{r(p-p)} = 2 * (12.33V) \leftrightarrow V_{r(p-p)} = 24.66V$$

$V_{r(ef)} = V_{r(RMS)}$: Voltaje de rizo eficaz.

$$V_{r(RMS)} = \frac{V_{r(p)}}{\sqrt{2}} \leftrightarrow V_{r(RMS)} = \frac{12.33V}{1.41} \leftrightarrow V_{r(RMS)} = 8.745V$$

$F_r(\%)$ = Factor de rizado.

$$F_r(\%) = \frac{V_{r(RMS)}}{V_{DC}} \times 100\% \leftrightarrow F_r(\%) = \frac{8.745V}{21.61V} \times 100\% \leftrightarrow F_r(\%) = 40.5\%$$

I_{DC}: Corriente continua o directa que suministrará la fuente a la salida, esta corriente se la midió con un amperímetro de corriente y su consumo fue de 198mA, pero estando ya montado el transformador y el puente de diodos. **I_{DC} = 198mA**.

f: Frecuencia de red, esta frecuencia se la midió utilizando un osciloscopio y su valor medido a la salida del transformador es de 60Hz, pero la fuente de alimentación va utilizar un rectificador de onda completa formado por 4 diodos, entonces suministraría el doble de 60Hz. **$f = 2 * (60Hz) \leftrightarrow f = 120Hz$** .

El capacitor mínimo a colocarse a la salida del puente rectificador seria:

$$C = \frac{I_{DC}}{f * V_{r(p-p)}} \leftrightarrow C = \frac{198mA}{(120Hz) * (24.66V)} \leftrightarrow C = 0.00006691F \leftrightarrow C = 66.91\mu F$$

Según los cálculos, el filtro capacitor mínimo a colocarse del puente rectificador seria de 66.91μF para disminuir el rizado del voltaje a la entrada del regulador de 12V, pero

el Factor de rizado (**Fr(%)**) según el cálculo es de 40.5%, nos da entender que el rizado del voltaje no ha disminuido tanto, por esta razón colocamos un capacitor electrolítico de más alta capacitancia equivalente a 2200µF/50V (Figura 3-34) con otro de 2200µF/25V en paralelo, los cuales servirán para filtro común en la Fuente de alimentación de nuestro presente proyecto para disminuir mucho mas el rizado del voltaje y dejar el voltaje lo mas continuo o directo presente, pero también se le agrego un capacitor cerámico de 100nf en paralelo contrarrestar el ruido de alta y baja frecuencia a la entrada de los reguladores de 12V (LM7812) y 5V (LM7805) de los cuales se hablara en el modulo 6. Estos capacitores serán identificados como C1 (capacitor electrolítico de 2200µF/50V) C2 (capacitor electrolítico de 2200µF/35V) y C3 (capacitor cerámico de 100nF) para ser conectados a lado y después del puente rectificador tal como se muestra en la Figura 3-36.

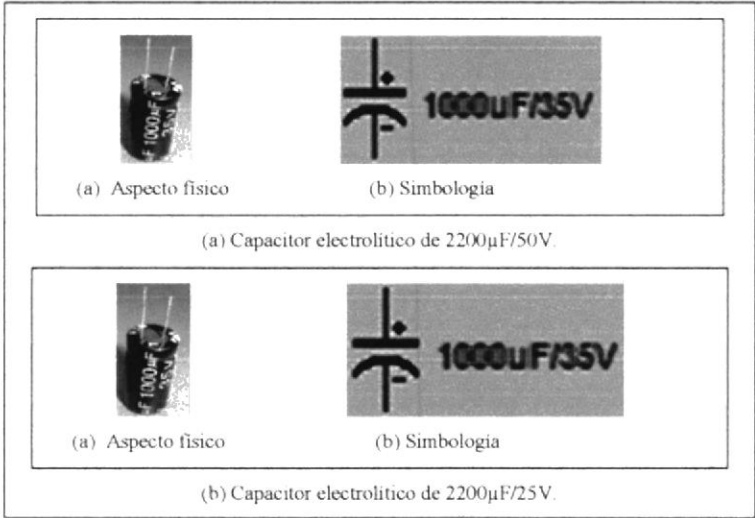


Figura 3-34. Capacitor electrolítico de 2200µF/50V y 2200µF/25V

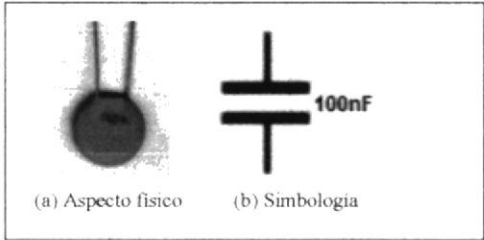


Figura 3-35. Capacitor cerámico de 100nF.

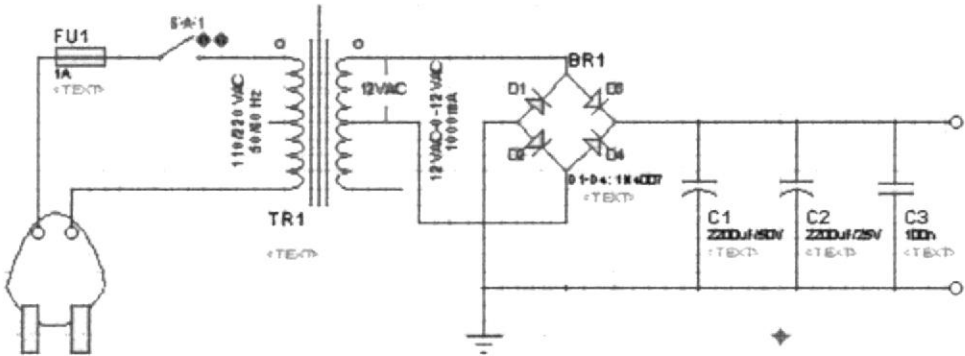


Figura 3-36. Conexión del capacitor electrolítico de 2200µF/50V, 2200µF/35V y del capacitor cerámico de 100nF

Modulo 6: Reguladores de voltaje de 12V (7812) y 5V (7805).

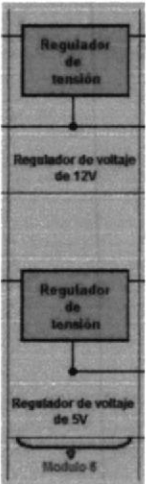


Figura 3-37. Modulo 6 del diagrama de la Fuente de alimentación.

El modulo 6 está compuesto de dos reguladores de voltaje de circuito integrado (C.I.), estos reguladores escogidos para la fuente de alimentación del presente proyecto poseen tres terminales: 1. Input (V_i entrada), 2. GND (tierra o común) y 3. Output (V_o salida); también pertenecen a la familia 78xx, donde: el "78", nos indica que es un regulador de voltaje positivo; y xx nos indica a que voltaje regulara. La función de estos dos reguladores de voltaje consiste en recibir un voltaje de rizo en sus entradas y entregar un voltaje fijo de corriente directa en sus salidas, los servirán para alimentar el circuito de control (Figura 3-17) y el circuito de activación de las bobinas del motor paso a paso (Figura 3-18) del presente proyecto.

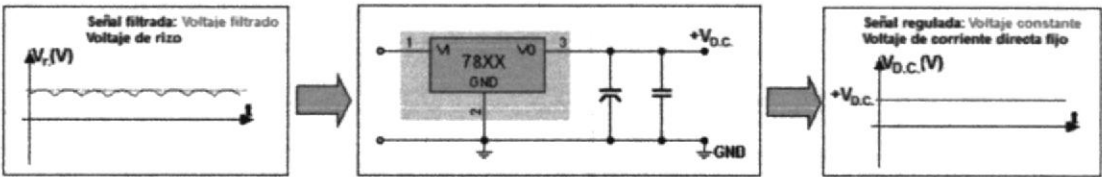


Figura 3-38. Señales de voltaje en la entrada (pin1=Vi) y salida (pin3=Vo) de los reguladores 78xx.

La serie 78xx ofrece reguladores de voltajes fijos positivos de CI desde +5 a +24 voltios y soportan máximo 1A de corriente (Tabla 3-1), estos reguladores tienen una forma muy común que la constituyen los encapsulados TO-220 (Figura 3-39(a)) y T-PACK (Figura 3-39(b)).

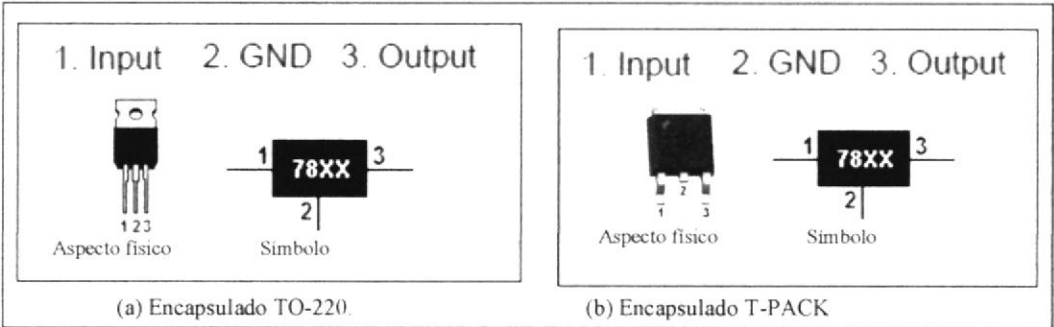


Figura 3-39. Encapsulado de los reguladores de voltaje de CI de la serie 78xx.

Tabla 3-1: Reguladores de voltaje positivo. Serie 78xx.

Parte C.I.	Voltaje de salida (Vo) Volts	Voltaje mínimo de entrada (Vi) Volts
7805	+5	7.3
7806	+6	8.3
7808	+8	10.5
7810	+10	12.5
7812	+12	14.6
7815	+15	17.7
7818	+18	21.0
7824	+24	27.1
Valores nominales absolutos máximos para la serie 78xx		
Voltaje de entrada		40V
Disipación continua total		2W
Rango de temperatura de operación al aire libre		-65 a 150°C

Entre todos los reguladores de voltaje positivo de la serie 78xx mencionado en la tabla 3-1, utilizaremos el 7805 (Figura 3-40) y 7812 (Figura 3-41) con encapsulado TO-220, los cuales se usaran como reguladores de voltaje fijos que soportaran máximo 1A de corriente, debido a que el circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-19) consume menos de 1A de corriente .

El regulador de voltaje de CI 7805 nos entrega en su salida un voltaje fijo positivo de 5V (+5V), con el cual alimentara el circuito de control (Figura 3-17) del presente proyecto.

El regulador de voltaje de CI 7812 nos entrega en su salida un voltaje fijo positivo de 12V (+12V), con el cual alimentara el circuito de activación de las bobinas del motor paso a paso (Figura 3-18) del presente proyecto.

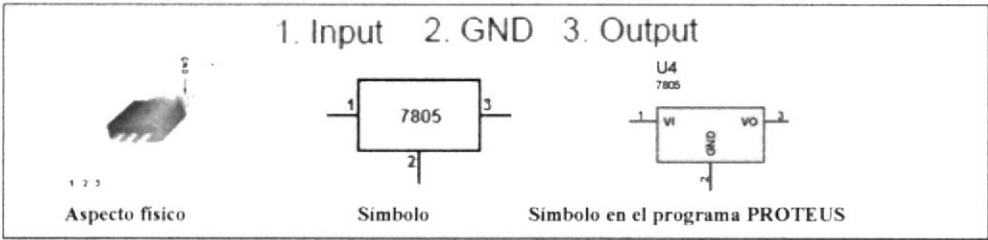


Figura 3-40. Regulador de voltaje de CI 7805.

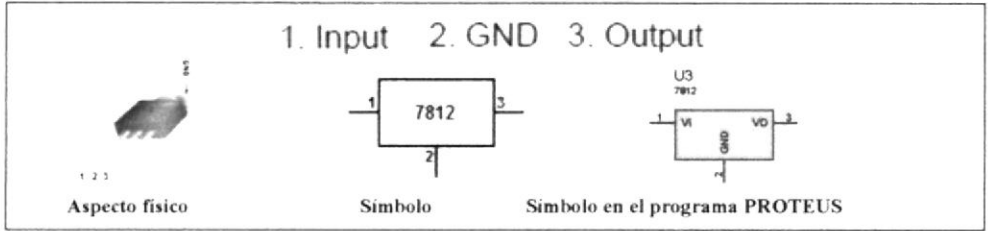


Figura 3-41. Regulador de voltaje de CI 7812.

La forma apropiada de conectar los reguladores de voltaje de C.I. 7805 y 7812 se muestra en la Figura 3-42, obsérvese que el regulador 7812 en sus entrada (pin1: Vi) tiene conectado los filtros capacitores C1 (capacitor electrolítico de 2200µF/50V), C2(capacitor electrolítico de 2200µF/25V) y C3 (capacitor cerámico de 100nF), los cuales fueron mencionados en el modulo 5, en cambio el regulador 7805 en su entrada tiene conectado en su entrada (pin1: Vi) los filtros capacitores C4 (capacitor electrolítico de 2200 µF/25V), C5 (capacitor cerámico de 1000nF), C6 (capacitor electrolítico de

100 μ F/16V) y C7(capacitor cerámico de 1000nF); el pin 2 (GND) del regulador de voltaje 7812 y 7805 están conectados a tierra. En la salida (pin3: Vo) del regulador de voltaje 7812 tiene conectado los filtros capacitores C4 (capacitor electrolítico de 2200 μ F/25V), C5 (capacitor cerámico de 1000nF), C6 (capacitor electrolítico de 100 μ F/16V) y C7 (capacitor cerámico de 1000nF); así mismo en la salida (pin3: Vo) del regulador de voltaje 7805 tiene conectado los filtros capacitores C8 (capacitor electrolítico de 100 μ F/16V) y C9 (capacitor cerámico de 1000nF). El funcionamiento de los filtros capacitores C4, C5, C6, C7, C8 y C9 se describirá en el modulo 7.

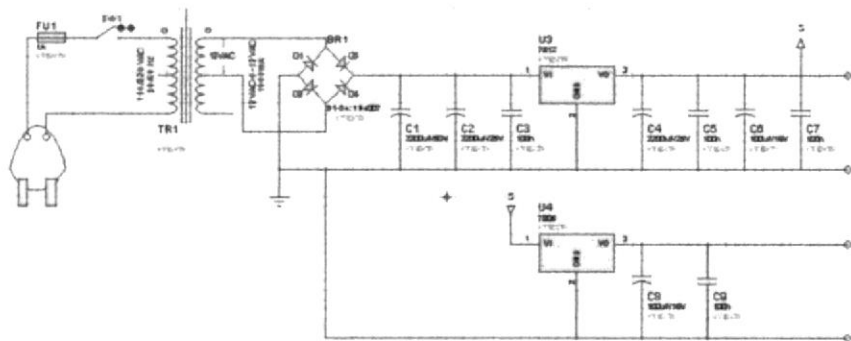


Figura 3-42. Conexión de los reguladores de voltaje de CI: 7812 y 7805.

Modulo 7: Filtros capacitores conectados en la salida de los reguladores de voltaje de C.I. 7812 y 7805.

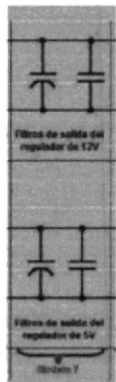


Figura 3-43. Modulo 7 del diagrama de la Fuente de alimentación.

El presente modulo de basa a que los reguladores de voltaje 7812 y 7805, cada una tienen filtros capacitores conectados en su salida (pin3: Vo).

El regulador de voltaje de C.I. 7812 tiene conectado los capacitores C4, C5, C6 y C7 para el siguiente funcionamiento: El C4 (capacitor electrolítico de 2200 μ F/25V, figura 3-34(b)) y el C6 (capacitor electrolítico de 100 μ F/16V, figura 3-45) ayudan a mantener estable o constante el voltaje de salida (12V) del regulador de voltaje 7812 y mejora el rechazo del voltaje de rizo en su salida (pin3: Vo). El C5 (capacitor cerámico de 100nF, figura 3-35) y el C7 (capacitor cerámico de 100nF, figura 3-35) sirven para contrarrestar el ruido de alta frecuencia, para así lograr eliminar cualquier tipo de oscilación en la señal de voltaje de corriente directa en la salida (pin3: Vo) del regulador 7812 y filtrar cualquier corriente parasita que pueda surgir. El capacitor C4, C5, C6 y C7 estarán conectados en la entrada (pin1: Vi) del regulador 7805 los cuales servirán también como filtros comunes para filtrar el voltaje de 12V que entrega el regulador 7812 y así el regulador 7805 entregue un voltaje mas menor, el cual es de 5V.

Los filtros capacitores a la salida del puente rectificador son los filtros comunes encargados de filtrar el Voltaje rectificado por el puente rectificador, de esta forma se consigue un voltaje de corriente directa (Voltaje filtrado), el cual aún no está regulado, y por lo tanto se ve afectado por las variaciones que sufre la línea de la red pública.

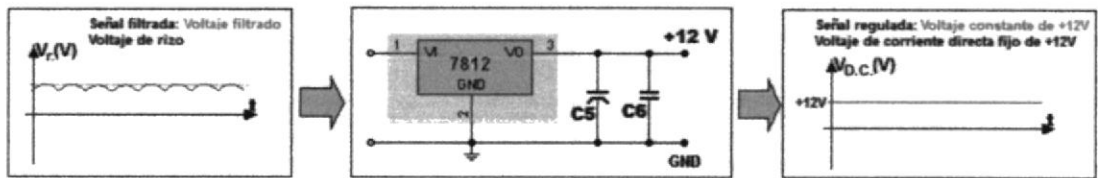


Figura 3-44 Señales de voltaje en la entrada (pin1=Vi) y salida (pin3=Vo) del regulador de C.I. 7812

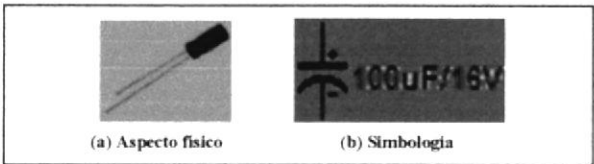


Figura 3-45. Capacitor electrolitico de 100µF/16V

El regulador de voltaje de C.I. 7805 tiene conectado dos capacitores C8 y C9 en su salida (pin3: Vo) para el siguiente funcionamiento: El C8 (capacitor electrolítico de 100µF/16V, figura 3-45) ayuda a mantener estable o constante el voltaje de salida (5V) del regulador de voltaje 7805 y mejora el rechazo del voltaje de rizo en su salida (pin3: Vo). El C9 (capacitor cerámico de 100nF, figura 3-35) para contrarrestar el ruido de alta frecuencia, para así lograr eliminar cualquier tipo de oscilación en la señal de voltaje de corriente directa en la salida (pin3: Vo) del regulador 7805 y filtrar cualquier corriente parasita que pueda surgir, aunque no es necesario conectarle este capacitor (C9) porque el circuito de control (Figura 3-17) no trabaja con altas frecuencias, pero se agregara el capacitor C9 al momento de elaborar físicamente la fuente de alimentación.

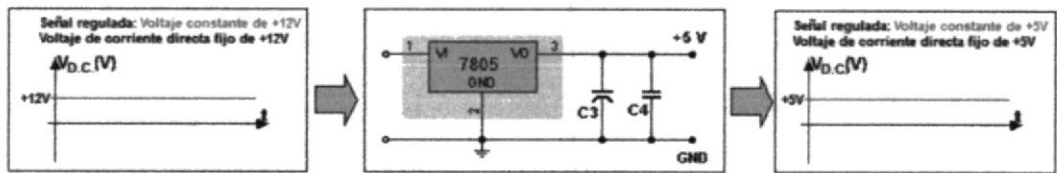


Figura 3-46. Señales de voltaje en la entrada (pin1=Vi) y salida (pin3=Vo) del regulador de C.I. 7805

Modulo 8: Salida para alimentación de +12V y +5V

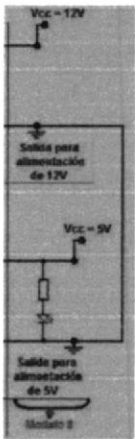


Figura 3-47. Modulo 8 del diagrama de la fuente de alimentación.

Este modulo consiste de la siguiente manera:

Después del capacitor C4 (capacitor cerámico 100nF) se coloco dos conectores tal como se muestra en la Figura 3-48 para la alimentación de +12V, lo cual servirá para alimentar el circuito de activación de activación de las bobinas del Motor Paso a Paso (Figura 3-18).



Figura 3-48. Conectores bananas agregados al C4 para la alimentación de +12V

Después del capacitor C6 (capacitor cerámico 100nF) se ha conectado un diodo led (D5) con una resistencia en serie de 330Ω (R2) que sirven para indicar si el circuito de la fuente de alimentación esta activo (ver Figura 3-49). También se ha agregado 2 conectores después del diodo led para la alimentación de +5V, lo cual servirá para alimentar el circuito de control (Figura 3-17).

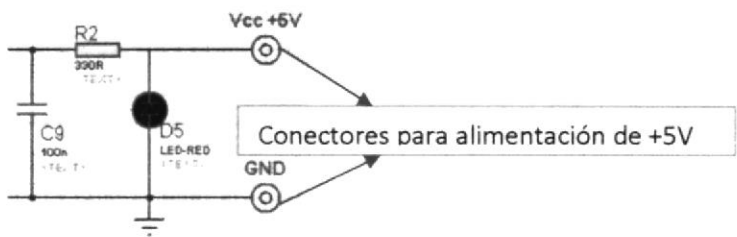


Figura 3-49. Conexión del diodo le con una resistencia de 330Ω y los conectores para alimentación de +5V

3.2.1 Esquema y componentes de la fuente de alimentación

Conectando todos los módulos que hemos mencionado en la **sección 3.2** el diseño del circuito electrónico de la fuente de alimentación para el presente proyecto estaría terminado tal como se muestra en la Figura 3-50, la cual soportara máximo 1A de corriente.

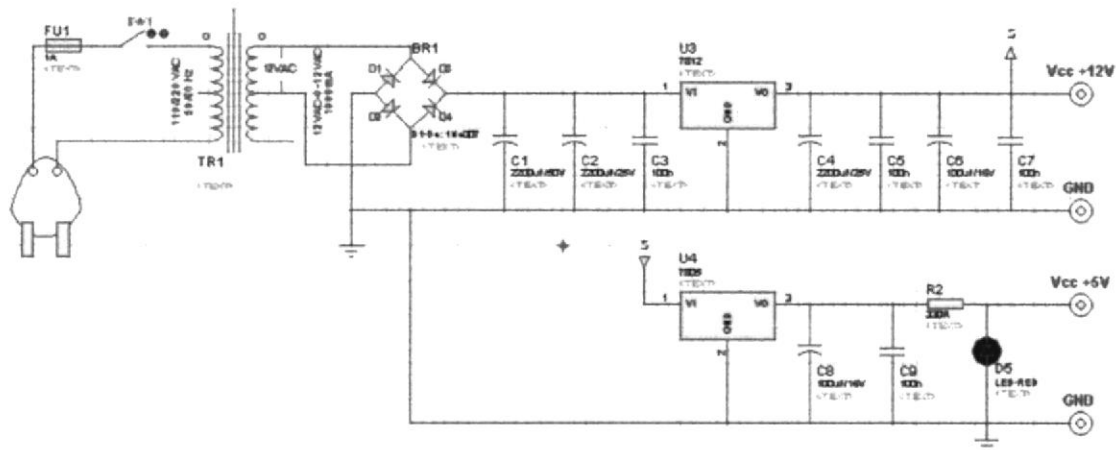


Figura 3-50. Circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto

Los componentes electrónicos usados en el circuito de la fuente de alimentación del presente proyecto, se observan en la Tabla 3-2 con su numeración, valor y descripción.

Tabla 3-2: Componentes electrónicos de la fuente de alimentación.

Numeración de los componentes	Valor de los componentes	Descripción de los componentes
FU1	1A	Fusibles de 1A
TR1	220/110 12-0-12 1A 60Hz	Transformador con tap central a 12V en el devanado secundario y 1A de corriente máxima.
D1, D2, D3 y D4	1N4007 / 1A	Diodos rectificadores 1N4007 que soportan máximo 1A de corriente.
C1	2200 μ F/50V	Capacitor electrolítico de 2200 μ F a 50V
C3, C5, C7, C9	100nF	Capacitor cerámico de 100nF.
U3	7812	Regulador de voltaje positivo de C.I. de +12V
U4	7805	Regulador de voltaje positivo de C.I. de +5V
C2, C4 y C8	2200 μ F/25V	Capacitor electrolítico de 2200 μ F a 25V.
C6	100 μ F/16V	Capacitor electrolítico de 100 μ F a 16V.
R2	330 Ω	Resistencia de 330 Ω a 1/4 W
D5	LED-RED	Diodo led rojo

3.3 Circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.

La función principal de este circuito es activar las bobinas de los Motores paso a paso de 1A-3A para que giren en diferentes sentidos (izquierda y derecha) al igual que el circuito que se explica en la **sección 3.1.2**, pero la diferencia de este circuito es que se pueden conectar y hacer pruebas con motores de 1A-3A, en cambio en el circuito de la **sección 3.1.2** solo se pueden conectar motores paso a paso de máximo 500mA.

El presente circuito (Figura 3-51) básicamente está conformado por 4 transistores de potencia TIP122, 4 diodos rectificadores 1N5408, 4 resistencias de 10K Ω a 1W y un motor paso a paso unipolar de 1A – 3A. Este circuito está polarizado tal como se muestra en la Figura 3-51 y será agregado al equipo didáctico del presente proyecto; también será conectado al circuito de control (Figura 3-17) solo en el momento que se desee controlar y hacer la prueba con un motor paso a paso de 1A – 3A.

Este circuito de activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A-3A (Figura 3-51) al momento de conectarlo al circuito de control (Figura 3-17), será conectado en los pines de salida 15, 16, 17, 18 del PIC16F887 todas las bases (A, B, C y D) de los transistores de potencia TIP122.

Al estar conectado el circuito de la Figura 3-51 en los pines de salida 15, 16, 17 y 18 del PIC16F887 que pertenecen al puerto C (PORTC), los Motores Paso a Paso de 1A-3A serán controlado por el PIC16F887, ya que el PIC16F887 enviara señales por sus pines de salida (PORTC: pin 15, 16, 17 y 18) y la recibirán las bases (A, B, C y D) de los transistores de potencia TIP122, luego pasaran a los colectores de los transistores de potencia TIP122, para activar las bobinas de los motores Paso a Paso de 1A-3A y empezaran a girar, ya que los Motores Paso a Paso se encontraran conectados en los colectores de los transistores TIP122.

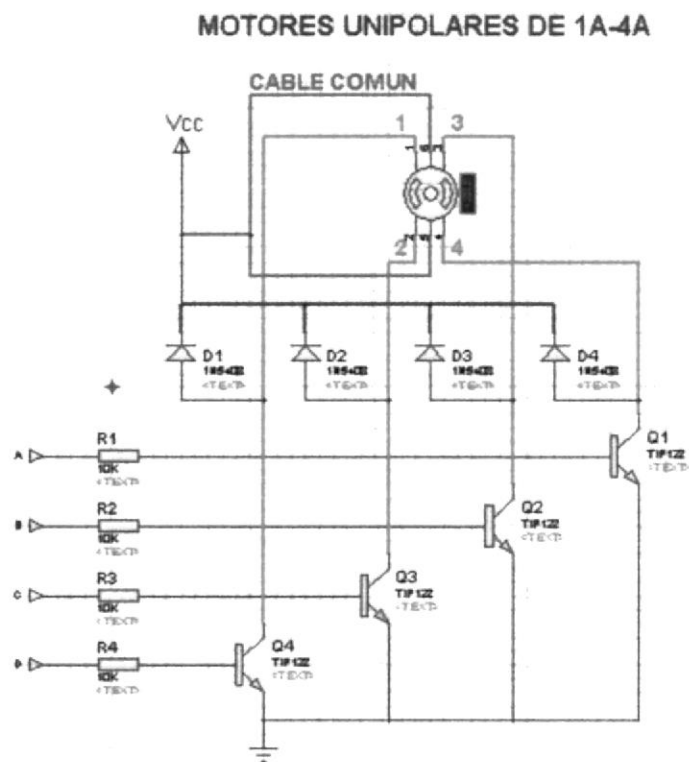


Figura 3-51. Circuito de activación de bobinas para Motores Paso a Paso de 1A-3A.

Tabla 3-3: Componentes electrónicos del circuito de activación de bobinas de motores de paso de 1A-3A.

Numeración de los componentes	Valor de los componentes	Descripción de los componentes
R1, R2, R3 y R4	10KΩ	Resistencia de 10KΩ a 1W
D1, D2, D3 y D4	1N5408 / 3A	Diodos rectificadores 1N5408 que soportan máximo 3A de corriente
Q1, Q2, Q3 y Q4	TIP122/5A	Transistores de potencia TIP122
M	Motor	Motor paso a paso unipolar

Debido a que el nivel de corriente que nos entrega el PIC16F887 es de máximo 25mA con un nivel de tensión de 5V, por esta razón se conecta transistores de potencia TIP122 con resistencias de 10KΩ en sus bases a los motores paso a paso de 1A-3A porque estas corrientes son altas, para que quede limitada con la resistencia de 10KΩ y evitar que no sobrepase el nivel de corriente al PIC16F887, adicionalmente se ponen diodos rectificadores 1N5408 (D1,D2, D3 y D4) de protección del colector de cada transistor TIP122 al voltaje positivo (Vcc) que esté conectado el cable común del motor paso a paso (Figura 3-51), esto ayudara a proteger al PIC16F887 del efecto inductivo y de la Fuerza contra-electromotriz que generan los motores paso a paso de 1A-3A. Los transistores TIP122 nos ayudan a energizar las bobinas de los motores paso a paso de 1A-3A y soportan una corriente máxima de 5A.

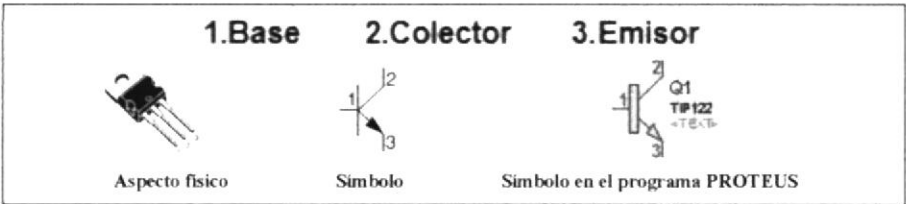


Figura 3-52. Transistor de potencia TIP122.

3.4 Conexiones y montajes de los componentes electrónicos.

3.4.1 Elaboración de los circuitos impresos

Los circuitos impresos (PCB) para el presente proyecto se los procedió a diseñar en el software ARES, el cual es el subentorno del software PROTEUS que permite diseñar el circuito impreso (PCB) rápidamente si tenemos listo el diseño de los circuitos electrónicos en el subentorno ISIS (ver **sección 2.2** y todas sus **sub-secciones**). También permite colocar los componentes electrónicos en el lugar más adecuado, para así variar el espesor de las pistas o líneas de conexión y lograr que todos los componentes electrónicos queden conectados.

Los circuitos impresos (PCB) diseñados para el presente proyecto se muestran a continuación:

- a) Circuito impreso (PCB) para circuito electrónico para controlar el motor paso a paso del presente proyecto.
- b) Circuito impreso (PCB) para el circuito electrónico de la fuente de alimentación.

3.4.1.1 Circuito impreso (PCB) para circuito electrónico para controlar el motor paso a paso del presente proyecto.

El circuito impreso (PCB) para el circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-19), es de doble cara o de doble lado y con un tamaño de 146mmX94mm, debido a que en el mercado se logro conseguir una baquelita virgen (Figura 3-53) de este tamaño y al momento de diseñarlo en el software ARES no se logro colocar las todas las pistas automáticamente en un solo lado o en una sola cara.

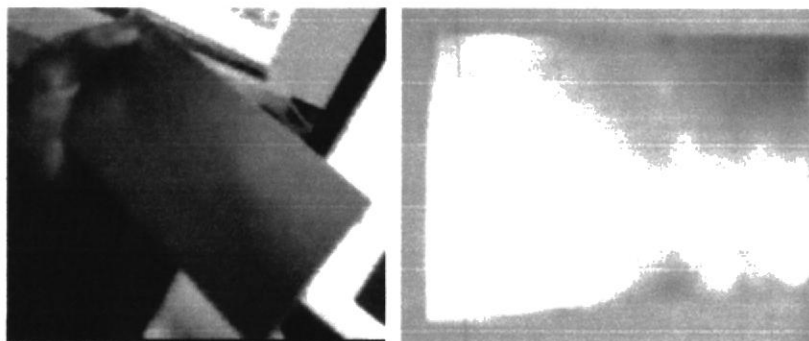


Figura 3-53. Baquelita virgen de 2 caras de 146mmX94mm

El circuito impreso del circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-19) diseñado en el software ARES se lo puede apreciar en la Figura 2-45, donde las pistas azules pertenecen al primer lado o a la primera cara (parte de frontal) (Figura 3-54) y las pistas rojas al segundo lado o a la segunda cara (parte trasera) (Figura 3-55). En el primer lado o en la primera cara (parte frontal) del circuito impreso (PCB) van los componentes electrónicos de disposición y otros datos, el Screen de estos componentes electrónicos y los otros datos lo podemos apreciar en la Figura 3-56. En el segundo lado o en la segunda cara (parte trasera), se debe tomar en cuenta que aparecen puntos sin conexión, pero estos si lo están con conexión, las pistas se encuentran en el primer lado o primera cara.

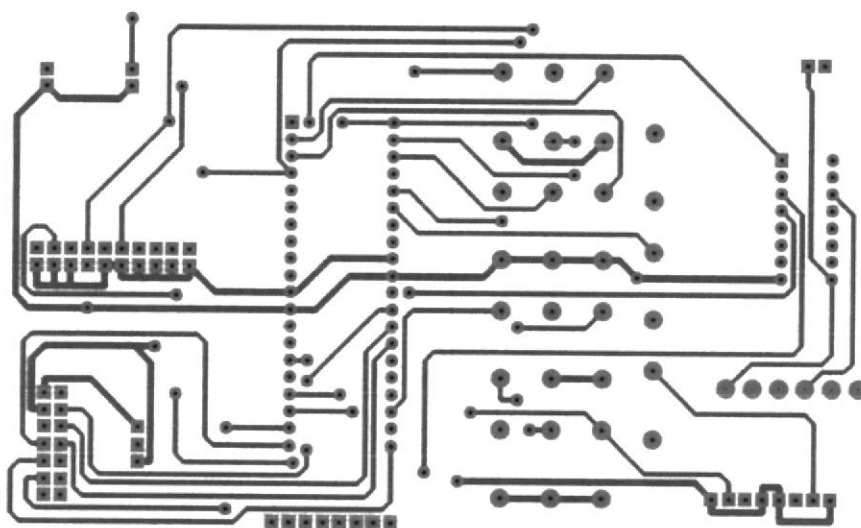


Figura 3-54. Primera cara del circuito impreso del circuito analógico del presente proyecto

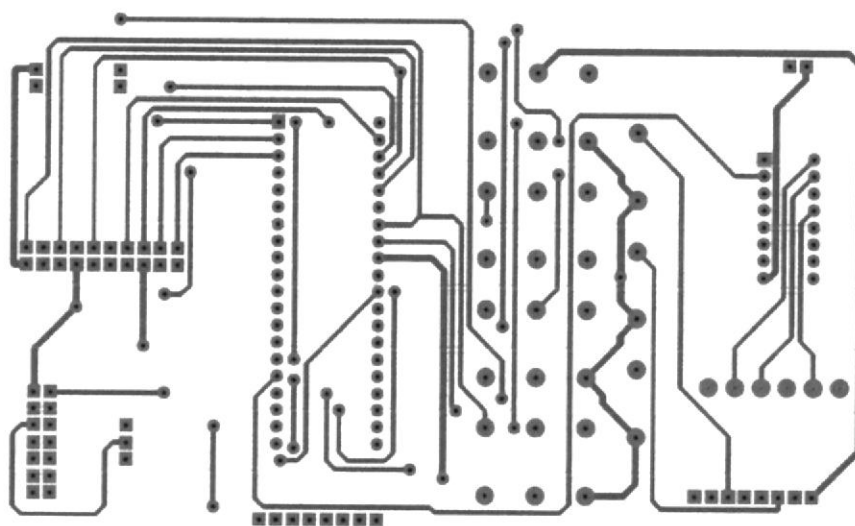


Figura 3-55. Segunda cara del circuito impreso del circuito analógico del presente proyecto

Para finalizar el diseño del circuito impreso del circuito electrónico (Figura 3-19) del presente proyecto, se procede a imprimir los dos lados o las dos caras y el Screen de los elementos de disposición en hojas de transferencia PCB, al imprimir aplicamos los pasos que se explican en la **sección 2.2.1.1.1** y tenemos impreso las dos pistas (Figura 2-49) y el Screen de los componentes electrónicos de disposición (Figura 2-50) para elaborar físicamente su placa finalizada.

En la Figura 3-63 se presenta elaborada físicamente su placa con sus elementos electrónicos de disposición montados. Los pasos para su elaboración física se encuentran explicados en el **ANEXO C**.



Figura 3-56. Screen de los elementos de disposición pertenecientes a la primera cara del circuito impreso

3.4.1.2 Circuito impreso (PCB) para el circuito electrónico de la fuente de alimentación.

El circuito impreso (PCB) para el circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto (Figura 3-50), es de una cara y con un tamaño de 100mmX84mm, debido a que se utilizó una baquelita virgen de este tamaño con una cara de cobre (Figura 3-57) y los elementos electrónicos que posee la fuente de alimentación (Tabla 3-2 y Figura 3-50) son pocos. Al momento de diseñarlo en el software ARES se logró colocar todas las pistas automáticamente en un solo lado o en una sola cara, pero menos la del capacitor C3 (Capacitor cerámico de 100nF) y C9 (Capacitor cerámico de 100nF), pero el capacitor C3 se lo soldará sobre las pistas del capacitor C2 (Capacitor electrolítico de 2200 μ F/25V y capacitor C9 se lo soldará sobre las pistas del capacitor C8 (Capacitor electrolítico de 100 μ F/16V) al momento de elaborar físicamente el circuito impreso (PCB) de la fuente de alimentación con sus elementos montados (Figura 3-64).

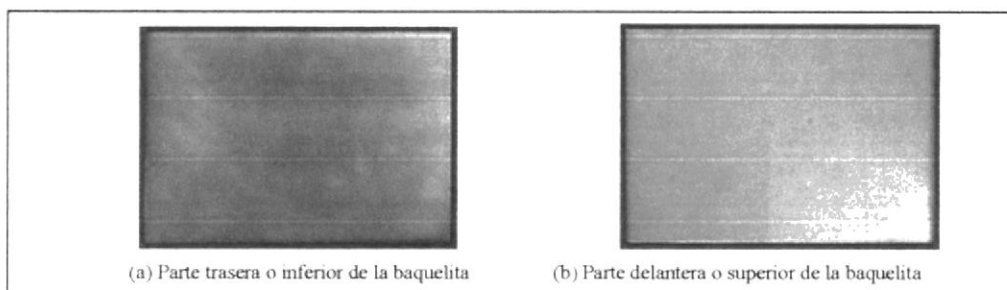


Figura 3-57. Baquelita virgen de 1 cara de 100mmX84mm

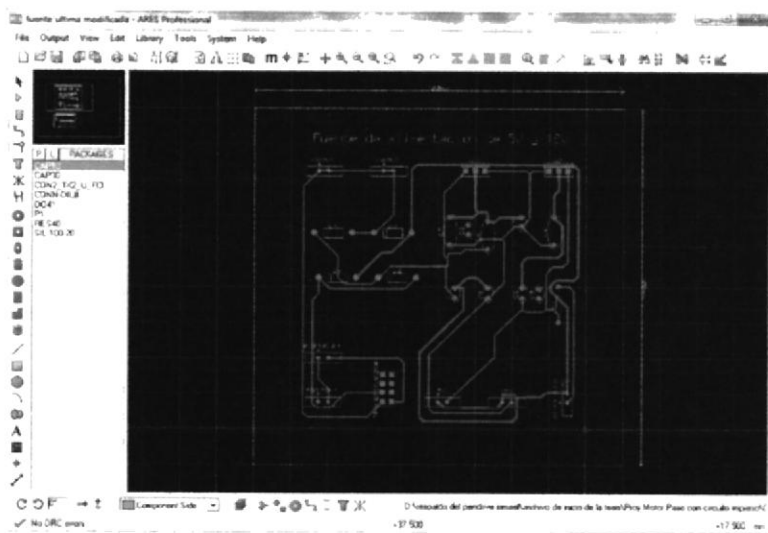


Figura 3-58: Circuito impreso (PCB) de la Fuente de alimentación del presente proyecto

El circuito impreso del circuito electrónico de fuente de alimentación del presente proyecto (Figura 3-50) para diseñarlo en el software ARES se aplico los mismos pasos (sección 2.2.1 y sección 2.2.1.1) con que se diseño el circuito impreso del circuito analógico del presente proyecto (Figura 2-45) y se lo puede apreciar en la Figura 3-58 donde solo se observan pistas azules porque es de una sola cara. Al momento de elaborar físicamente el circuito impreso (PCB) de la fuente de alimentación, las pistas azules (Figura 3-59) van colocadas en la parte trasera de la baquelita (Figura 3-57(a)) y en la parte delantera (Figura 3-57(b)) se colocaran los elementos electrónicos con otros datos, tal como nos indica el Screen de los componentes electrónicos de disposición de la fuente de alimentación (Figura 3-60) para facilitar su colocación y soldarlos sobre las pistas que se encuentran en la parte trasera.

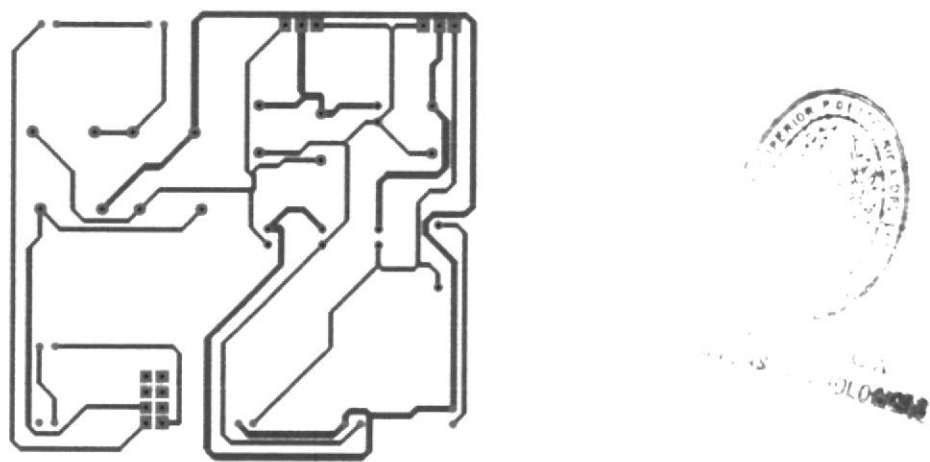


Figura 3-59. Pistas del circuito impreso del circuito analógico de la fuente de alimentación del presente proyecto



Figura 3-60. Screen de los elementos de disposición pertenecientes al circuito impreso de la Fuente de alimentación

Al finalizar el diseño del circuito impreso del circuito electrónico de la fuente de alimentación (Figura 3-50) del presente proyecto para luego procederlo a elaborar físicamente, se procede a imprimir las pistas (Figura 3-59) y el Screen de los elementos de disposición de la fuente de alimentación (Figura 3-60) en hojas de transferencia PCB, al imprimir aplicamos los mismos pasos que aplicamos al circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-19), los cuales se explican en la **sección 2.2.1.1.1** y tenemos impreso las pistas (Figura 2-61) y el Screen de los componentes electrónicos de disposición (Figura 2-62) para elaborar físicamente su placa.

Pistas para el circuito impreso de la fuente de alimentación del presente proyecto, para ser colocada en la parte trasera de la baquelita virgen de 83mmX100mm (Figura 3-57 (b)).

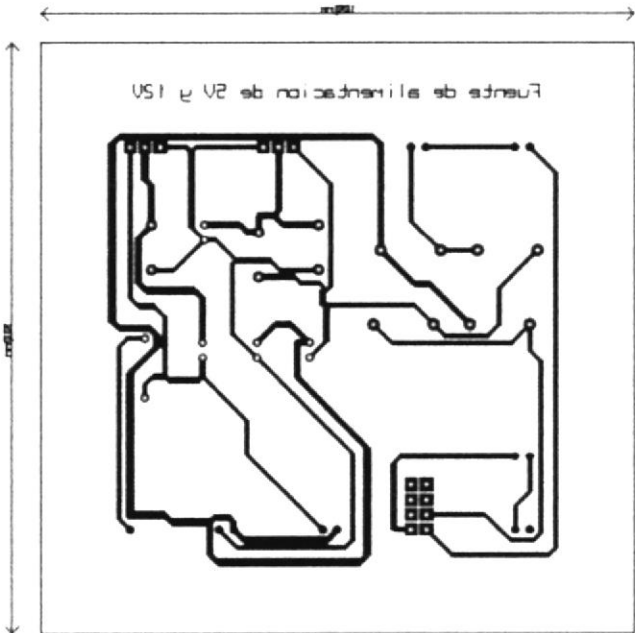


Figura 3-61. Impresión de las pistas del circuito impreso de la fuente de alimentación del presente proyecto

Screen de los elementos de disposición de la fuente de alimentación del presente proyecto, para ser colocada en la parte delantera de la baquelita virgen de 83mmX100mm (Figura 3-57 (a)) y colocarlos con mas facilidad.

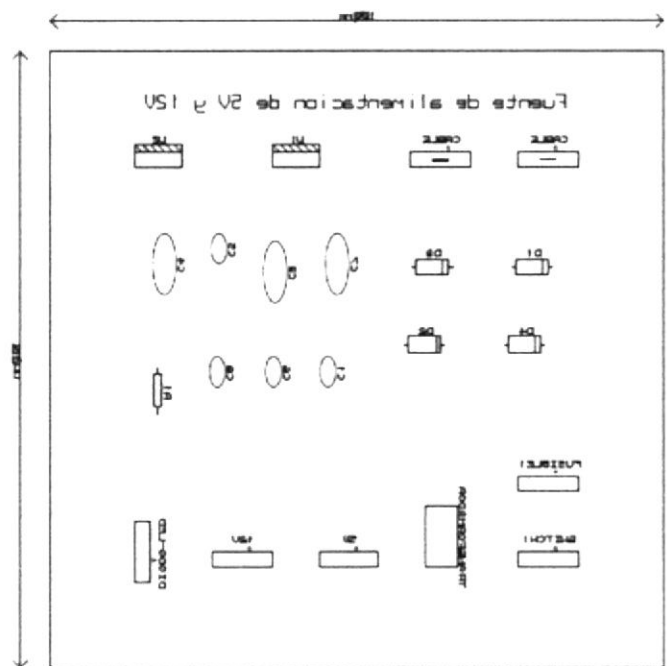


Figura 3-62: Impresión del screen de los elementos de disposición de la fuente de alimentación.

En la Figura 3-66 se presenta la placa finalizada de la fuente de alimentación elaborada físicamente con sus elementos electrónicos de disposición montados y los pasos para elaborarlo físicamente se encuentran explicados en el ANEXO C.

3.4.2 Montaje de los componentes electrónicos.

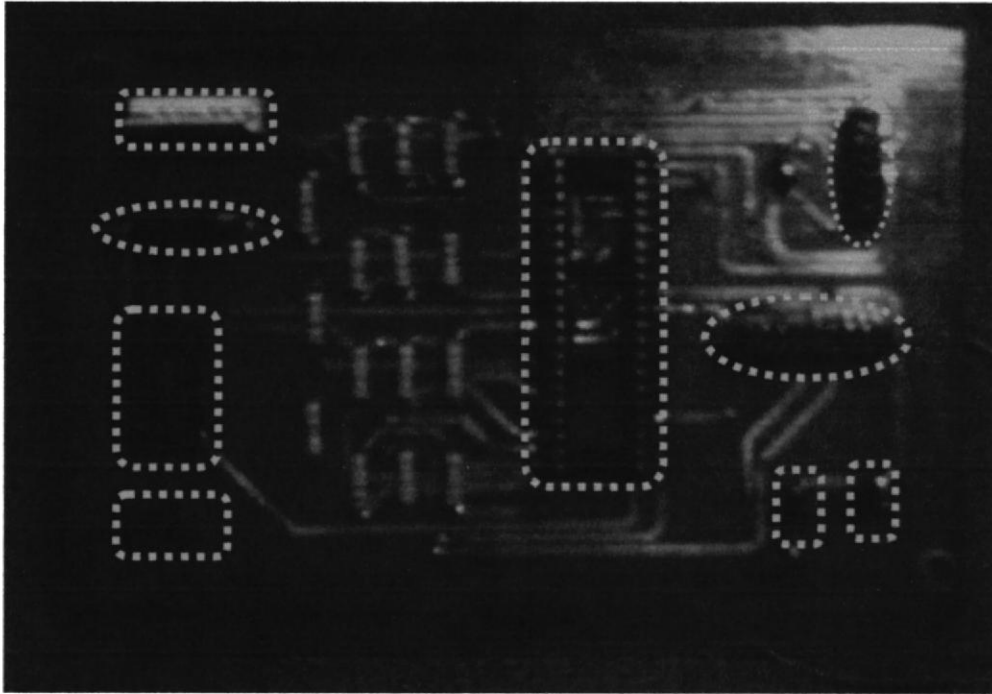
Al montar de los componentes electrónicos en las placas y en las baquelitas perforadas, debemos tener precaución de no dañar las pistas al momento de soldar los componentes electrónicos con estaño.

3.4.2.1 Montaje de los componentes electrónicos en la placa circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.

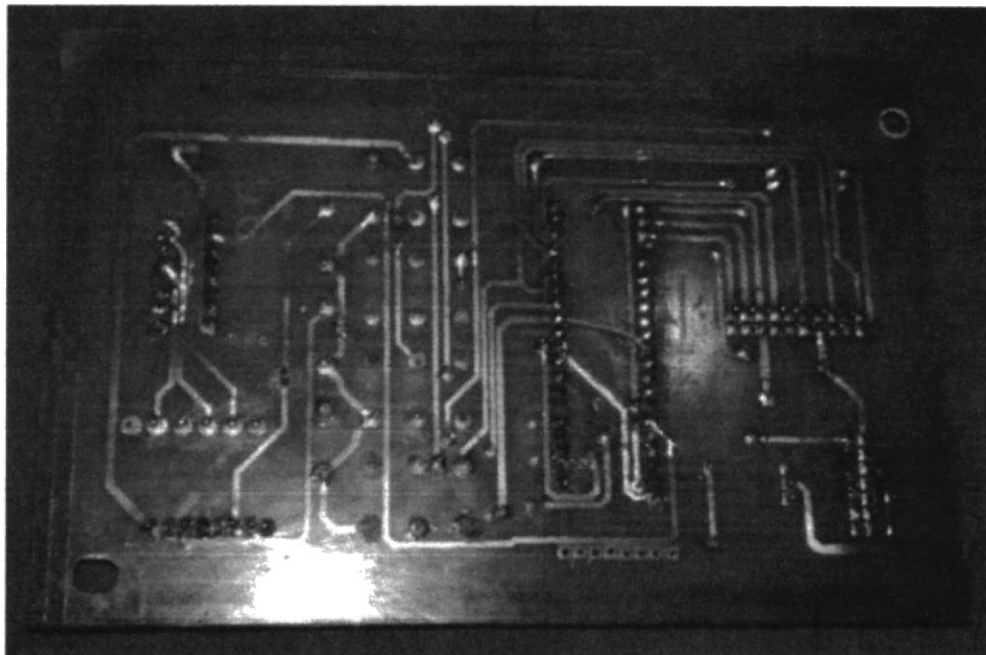
El montaje de los componentes electrónicos en la placa del circuito electrónico (Figura 3-19) del presente proyecto se muestra en la Figura 3.63a, aunque la placa es de doble lado pero el montaje se lo realiza en un solo lado (parte superior o delantera de la placa con los componentes electrónicos montados, Figura 3-63a), después se los procede a soldar con estaño y finalizamos la construcción física del circuito electrónico o la tarjeta electrónica del presente proyecto (Figura 3-63) para controlar motores paso a paso de máximo 500mA de corriente.

En la **Figura 3-64** se observa mas ampliada y completa la parte delantera o superior de la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto (**Figura 3-63a**) con todos sus componentes electrónicos ya que

algunos componente electrónicos no lo podemos observar en la **Figura 3-63a** porque van conectado con diferentes conectores y cables largos.



(a) Parte delantera o superior de la tarjeta del circuito con sus componentes electrónicos montados y con puntos de soldadura con estaño.



(b) Parte trasera o inferior de la tarjeta del circuito con puntos de soldadura con estaño.

Figura 3-63: Construcción física del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.

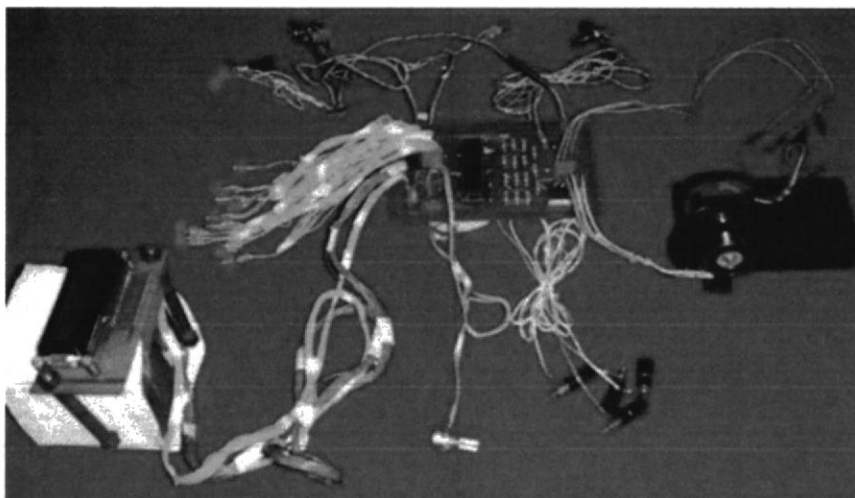


Figura 3-64: Parte superior de la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto con todos sus componentes electrónicos soldados y conectados.

En la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto (Figura 3-63) se ha recortado cuatro pistas para agregar ocho conectores bananas hembras tal como se muestra en la Figura 3-65 ya que se necesita conectar la tarjeta electrónica del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A (Figura 3-67) en el momento de hacer la prueba con un motor paso a paso de 1A – 3A y cuando se termine de ensamblar el equipo didáctico (ver sección 3.4.3).

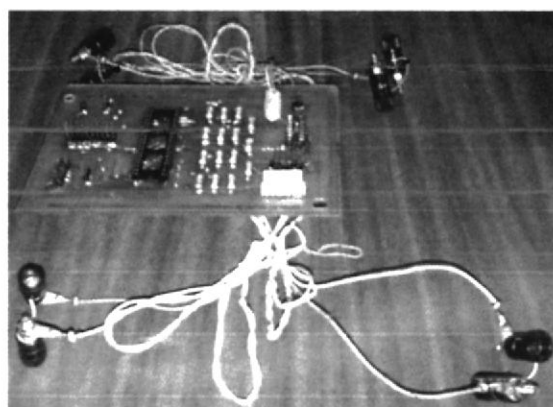


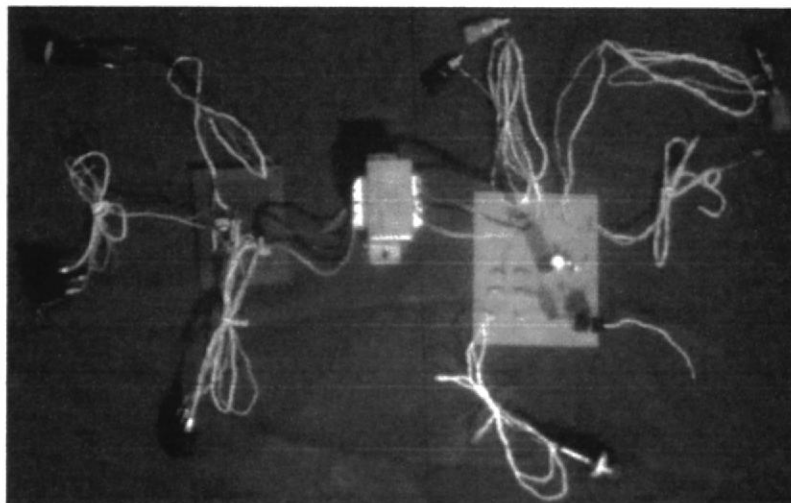
Figura 3-65: Conectores bananas hembras agregados en la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.

Para agregar los Conectores bananas hembras en la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto (Figura 3-63) realizamos orificios con un taladro en las pistas recortadas de la misma tarjeta electrónica y soldamos los conectores bananas hembras con cables y estaño (Figura 3-65).

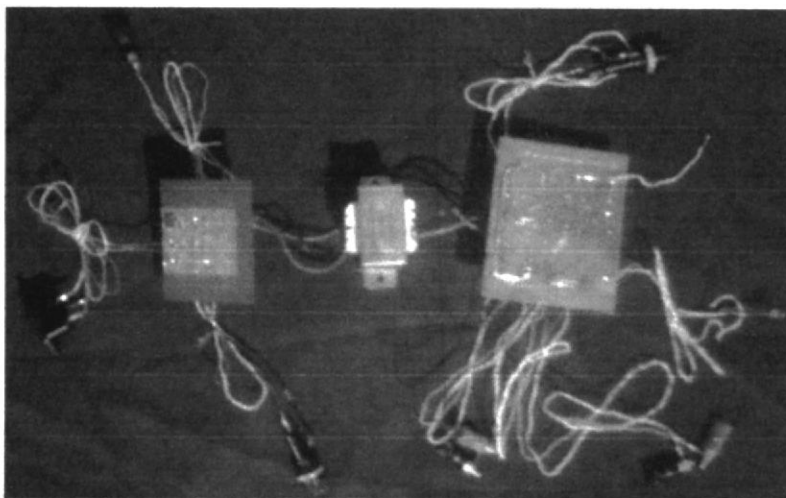
3.4.2.2 Montaje de los componentes electrónicos en la placa del circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto.

El montaje de los componentes electrónicos en la placa del circuito electrónico de la fuente de alimentación (Figura 3-50) del presente proyecto se muestra en la Figura 3.66a, la placa es de una cara y el montaje de los componentes electrónicos se lo realiza

en la parte superior o delantera de la placa (Figura 3-66a) con su respectivo transformador y en la parte inferior o trasera se monta también 2 componentes electrónicos faltantes los cuales son dos capacitores de cerámica de 100nF ($C3=100\text{nF}$ y $C9=100\text{nF}$), después se los procede a soldar con estaño en la parte inferior o trasera de la placa junto con los dos capacitores de cerámica de 100nF ($C3=100\text{nF}$ y $C9=100\text{nF}$) y finalizamos la construcción física del circuito electrónico o la tarjeta electrónica de la fuente de alimentación del presente proyecto (Figura 3-66) para alimentar la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto (Figura 3-64).



(a) Parte delantera o superior de la tarjeta del circuito con sus componentes electrónicos montados



(b) Parte trasera o inferior de la tarjeta del circuito con puntos de soldadura con estaño.

Figura 3-66. Tarjeta electrónica de la fuente de alimentación del presente proyecto

3.4.2.3 Montaje de los componentes electrónicos del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.

El montaje de los componentes electrónicos del circuito para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A (Figura 5-51) se lo realizó en una baquelita perforada de tamaño 65mmX45mm, ya que sus componentes electrónicos son pocos

(Tabla 3-3). El montaje de los componentes electrónicos se lo realiza en la parte superior o delantera de la baquelita perforada (Figura 3-67a), después se los procede a soldar con estaño en la parte inferior o trasera de la baquelita perforada (Figura 3-67b) y finalizamos la construcción física del circuito electrónico o la tarjeta electrónica del circuito para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A (Figura 3-67).

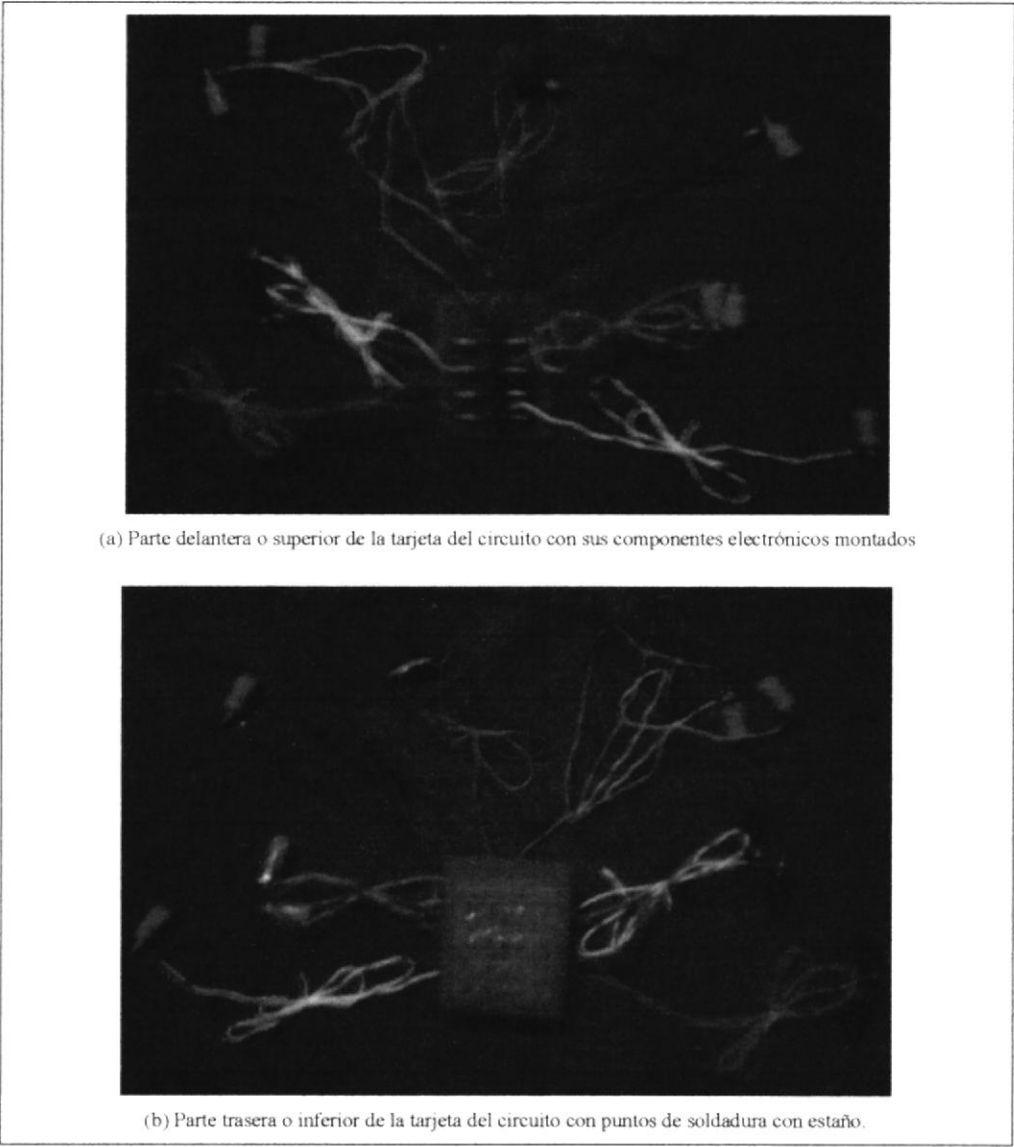


Figura 3-67. Tarjeta electrónica del circuito para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.

3.4.3 Ensamblaje del equipo didáctico para controlar motores pasó a paso unipolares.

El ensamblaje del equipo didáctico se realizo una vez que se lograron terminar las tarjetas electrónicas: la del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto (Figura 3-63), la del circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto (Figura 3-66) y la del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A (Figura 3-67).

Para ensamblar el equipo didáctico, en primer lugar conseguimos una caja metálica cubica de 1mx50cmx15cm y desunimos sus lados. En segundo lugar hicimos un diseño en AUTOCAD para la parte exterior superior, parte exterior lateral izquierda, parte exterior lateral derecha, parte exterior delantera y parte exterior trasera de la caja, luego los imprimimos en hoja adhesiva y los pegamos en los lugares externos correspondientes.

En tercer lugar perforamos los lados externos correspondiente (Figura 3-68) y montamos en la caja metálica cubica de 1mx50cmx15cm todas las tarjetas electrónicas del presente proyecto:

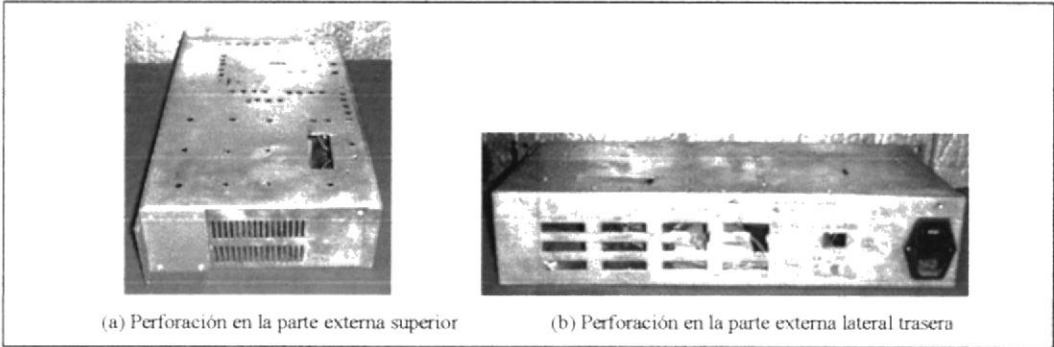


Figura 3-68. Perforación en los lados externos correspondientes en la caja metálica cubica.

La tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto (Figura 3-63) se la monto con tornillos en el lado derecho de la parte interna inferior de la caja (Figura 3-69) y sus componentes electrónicos que tiene conectados con diferentes conectores y cables largos (pulsadores, pantalla LCD, diodo LED, motor paso a paso, encoder y conectores bananas hembras) los colocamos en el lado derecho y izquierdo de la parte interna superior de la caja para que sean visibles en el lado derecho y izquierdo de la parte externa superior de la caja, la pantalla LCD también está montada con pernos en el lado derecho de la parte interna inferior de la caja, en cambio el motor paso a paso y el encoder están montados con pernos en el lado izquierdo de la parte externa superior de la caja y finalizamos el montaje de esta tarjeta electrónica.

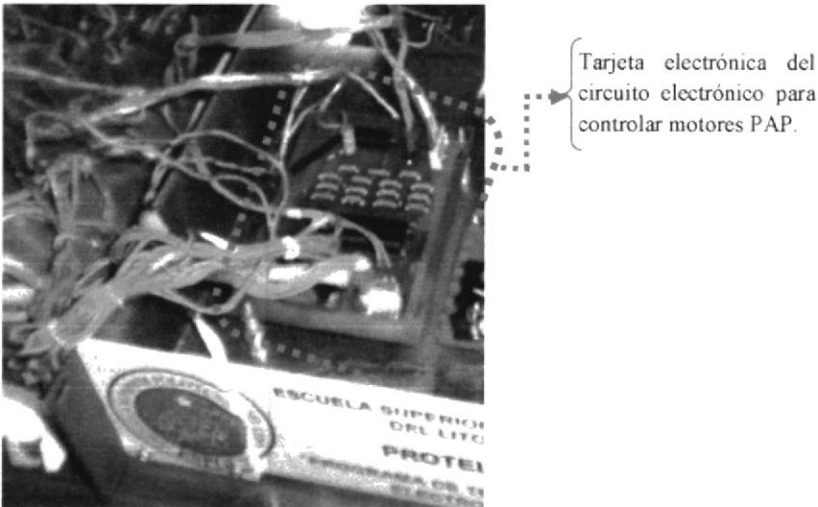


Figura 3-69. Montaje de la tarjeta electrónica del circuito electrónico para controlar motor paso a paso del presente proyecto.

La tarjeta electrónica del circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto (Figura 3-66) se la monto con tornillos en el lado izquierdo de la parte interna inferior de la caja (Figura 3-70) y sus componentes electrónicos que tiene conectados con diferentes conectores y cables largos (SWICH, porta fusible y diodo LED, etc.) los colocamos en el lado derecho y izquierdo de la parte interna lateral trasera de la caja para que sean visibles en el lado derecho y izquierdo de la parte externa lateral trasera de la caja (Figura 3-71) y finalizamos el montaje de esta tarjeta electrónica.

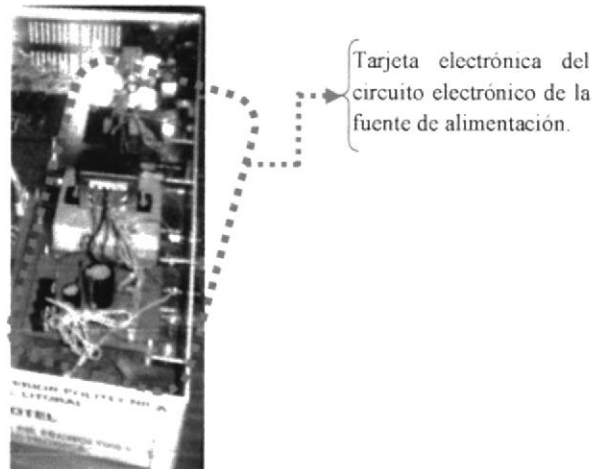


Figura 3-70. Montaje de la tarjeta electrónica del circuito electrónico de la fuente de alimentación del presente proyecto

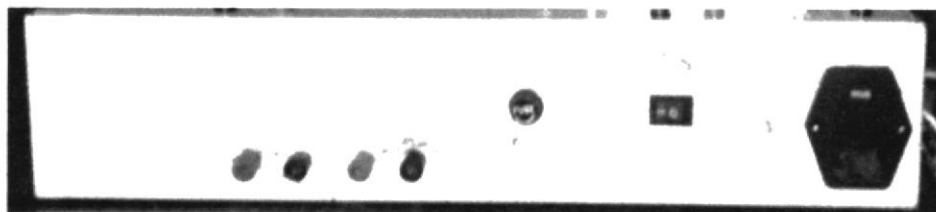


Figura 3-71. Vista lateral trasera del exterior del equipo didáctico.

La tarjeta electrónica del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A (Figura 3-67) se la monto con tornillos en el lado izquierdo de la parte interna inferior de la caja (Figura 3-72) y sus componentes electrónicos que tiene conectados con diferentes conectores y cables largos (conectores bananas hembras) los colocamos en la parte interna superior de la caja (Figura 3-73) para que sean visibles en la parte externa superior de la caja (Figura 3-74) y finalizamos el montaje de esta tarjeta electrónica.

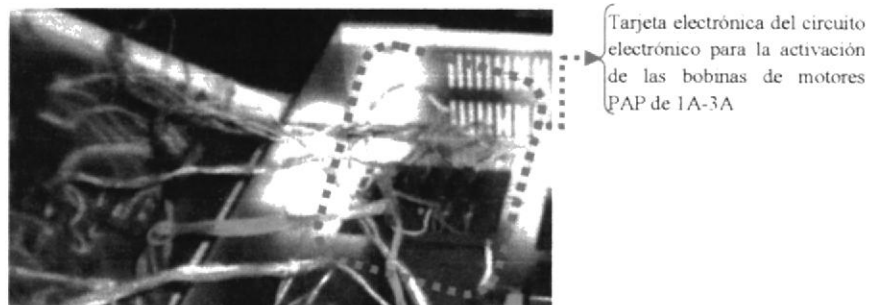


Figura 3-72. Montaje de la tarjeta electrónica del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.

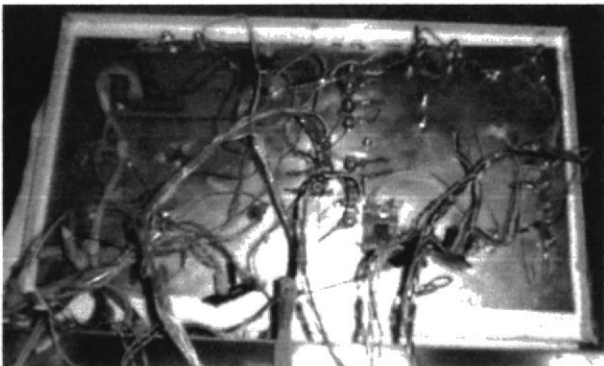


Figura 3-73. Vista superior completa del interior del equipo didáctico.

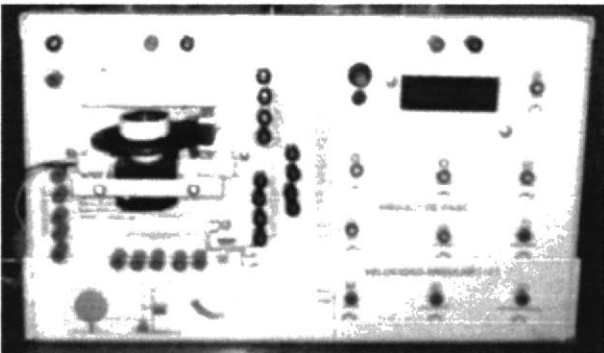


Figura 3-74. Vista superior completa del exterior del equipo didáctico.

Finalmente unimos todas las partes de la caja metálica cubica de 1mx50cmx15cm con todas las tarjetas montadas y componentes electrónicos montados y finalizamos el ensamblaje del equipo didáctico, el cual se lo puede apreciar en la Figura 3-75.

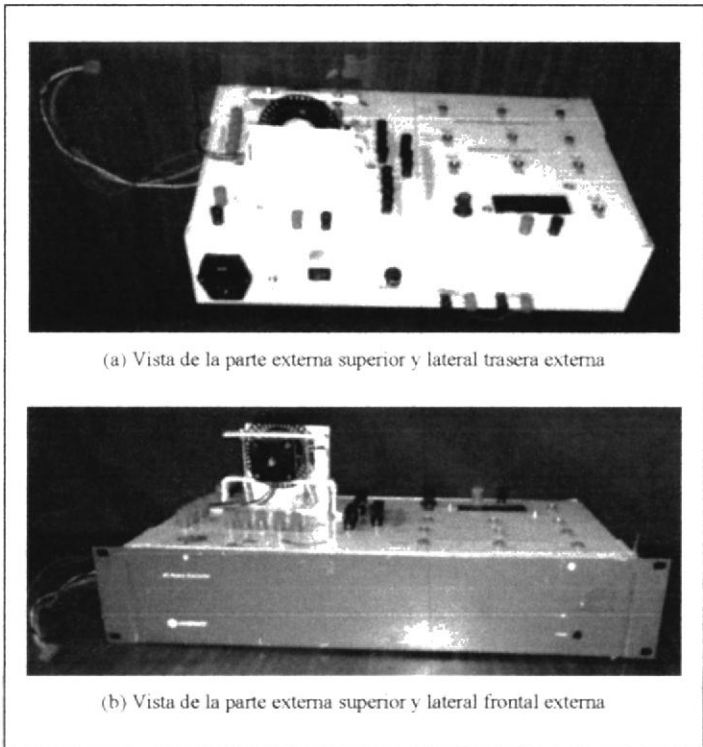
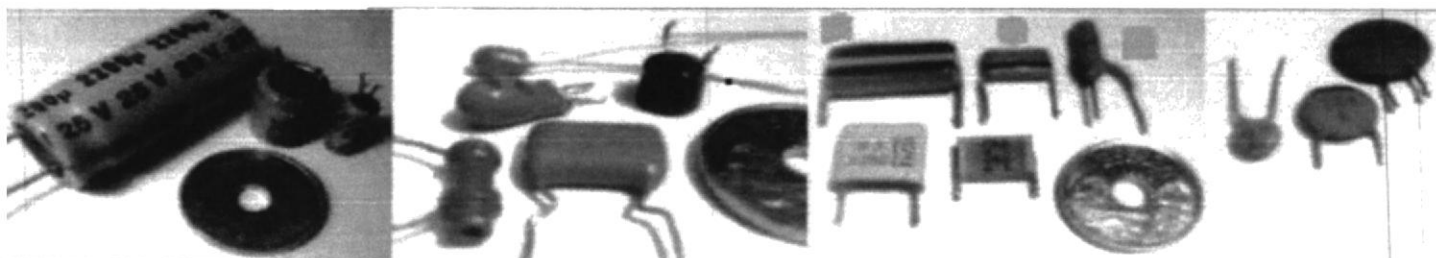


Figura 3-75. Vista del equipo didáctico terminado.



CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS.



CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS.

Al finalizar el ensamblado del equipo didáctico (Figura 3-75) para controlar motores paso a paso unipolares, se lo pone a prueba y también se le hizo un manual de usuario tal como se indica en la **sección 4.1**.

4.1 Manual de usuario

Al usar el equipo didáctico primero observemos en la **Figura 4.1** y la **Figura 4.2** los componentes electrónicos que tienen letras (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j) y números (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), luego leer la descripción de cada uno, la cual se encuentra con su propio numero o letra después de la **Figura 4.1** y la **Figura 4.2** para así dar un buen uso el equipo didáctico.

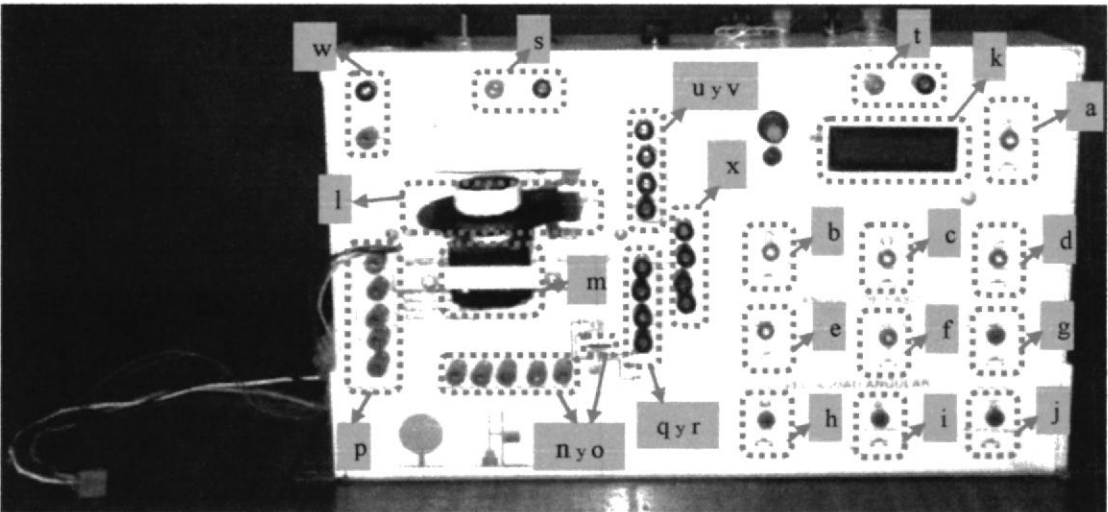


Figura 4-1: Descripción de la parte superior externa.

- a.- Pulsador de encendido y apagado (ON/OFF) del equipo didáctico.
- b.- Pulsador de reset (reinicio).
- c.- Pulsador de sentido de giro del motor.
- d.- Pulsador de aceptar datos (velocidad angular, ángulo de paso y sentido de giro) en la pantalla LCD para giro del motor.
- e.- Pulsador de ingreso de velocidad angular en la pantalla LCD.

- f.- Pulsador de aumento de la velocidad angular ingresada en la pantalla LCD.
- g.- Pulsador de disminución de la velocidad angular ingresada en la pantalla LCD.
- h.- Pulsador de ingreso del ángulo de paso en la pantalla LCD.
- i.- Pulsador de aumento del ángulo de paso ingresado en la pantalla LCD.
- j.- Pulsador de disminución del ángulo de paso ingresado en la pantalla LCD.
- k.- Pantalla LCD para que se visualice la velocidad angular, ángulo de paso y sentido de giro que se le aplica al motor paso a paso unipolar.
- l.- Encoder Incremental rotatorio.
- m.- Motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001**.
- n.- Conectores bananas hembras y conector WAFER macho del Motor paso a paso unipolar **KP4M4-001** (también puede ser para motores paso a paso unipolares de máximo 500mA).
- o.- Conectores bananas hembras y conector WAFER macho para conexión del Motor paso a paso unipolar **KP4M4-001** a la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- p.- Conectores bananas hembras para conexión de Motores paso a paso unipolares de 1A-3A.
- q.- Conectores bananas hembras de conexión del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso unipolares de 1A – 3A.
- r.- Conectores bananas hembras para conexión de Motores paso a paso unipolares de 1A-3A a la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- s.- Conectores bananas hembras para la alimentación de 12V en la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- t.- Conectores bananas hembras para la alimentación de 5V en la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- u.- Conectores bananas hembras de conexión del circuito electrónico para la activación de las bobinas del motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** (también puede ser otro modelo de motor paso a paso unipolares, pero de máximo 500mA), este circuito se encuentra incluido en la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- v.- Conectores bananas hembras del circuito electrónico para la activación de las bobinas del Motor Paso a Paso unipolares modelo **KP4M4-001** (También pueden ser Conectores bananas hembras del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso unipolares de máximo 500mA).
- w.- Conectores bananas hembras para alimentación de voltaje en la tarjeta electrónica del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.
- x.- Conectores de las entradas del circuito electrónico de la activación de las bobinas de motores paso a paso unipolares, de máximo 500mA (Motor PAP unipolar modelo KP4M4-001), el cual se encuentra incluido en la tarjeta electrónica del presente proyecto.

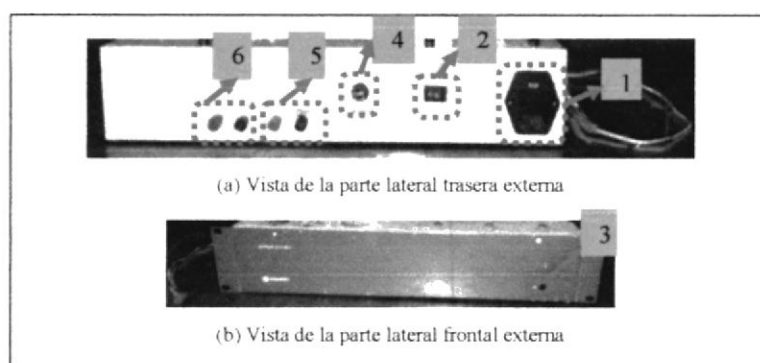


Figura 4-2: Descripción de la parte lateral trasera externa

- 1.- Conector del cable de alimentación de red eléctrica de la fuente de alimentación de 12V y 5V.
- 2.- SWICH de encendido y apagado de la fuente de alimentación de 12V y 5V.
- 3.- LED de aviso para estado de encendido y apagado de la fuente de alimentación de 12V y 5V.
- 4.- Porta fusible de la fuente de alimentación de 12V y 5V.
- 5.- Tomas o conectores bananas hembras para voltaje de salida de 12V en la fuente de alimentación.
- 6.- Tomas o conectores bananas hembras para voltaje de salida de 5V en la fuente de alimentación.

4.1.1 Modo de uso del equipo didáctico.

Para usar el equipo didáctico, si utilizamos el Motor paso a paso unipolar **KP4M4-001**, seguir los siguientes pasos:

- 1) Se realiza una conexión con los cables que tienen conectores bananas machos desde los conectores bananas hembras para voltaje de salida de 12V de la fuente de alimentación hacia los conectores bananas hembras de alimentación de 12V en la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- 2) Se realiza una conexión con los cables que tienen conectores bananas machos desde los conectores bananas hembras para voltaje de salida de 5V de la fuente de alimentación hacia los conectores bananas hembras de alimentación de 5V en la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- 3) Se realiza una conexión con los cables que tienen conectores bananas machos desde los conectores bananas hembras del circuito electrónico para la activación de las bobinas del Motor Paso a Paso unipolares modelo **KP4M4-001** hacia los conectores bananas hembras para conexión del circuito electrónico para la activación de las bobinas del motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001**.
- 4) Se conecta el cable de alimentación de la red eléctrica de la fuente de alimentación de 12V y 5V que se encuentra en el equipo didáctico a la toma de red eléctrica pública.
- 5) Se presiona el SWICH de encendido y apagado de la fuente de alimentación de 12V y 5V y se lo coloca en alto (1).
- 6) Se presiona el pulsador de encendido y apagado (ON/OFF) del equipo didáctico.
- 7) Se ingresa el valor de la velocidad angular mayor que 0 en la pantalla LCD con el pulsador de ingreso de velocidad angular, para que gire el motor con la velocidad ingrese (todos los valores de velocidad angular que se ingresen en la pantalla LCD no girara el motor, solo girara con los que se demuestra en la **Tabla 4-1** y **Tabla 4-2**).
- 8) Se ingresa el valor del ángulo de paso en la pantalla LCD con el pulsador de ingreso del ángulo de paso, para que gire el motor con cierto ángulo de paso que se ingrese (todos los valores de ángulo de paso que se ingresen en la pantalla LCD no girara el motor, solo girara con los que se demuestra en la **Tabla 4-1** y **Tabla 4-2**).
- 9) Se ingresa el sentido de giro (IZQ o DER) que deseamos que gire el motor en la pantalla LCD con el pulsador de sentido de giro del motor.

- 10) Se presiona el pulsador de aceptar datos (velocidad angular, ángulo de paso y sentido de giro) ingresados en la pantalla LCD y empezara a girar (cuando finalice el giro de acuerdo a los datos ingresado se volverá a presentar el ángulo de paso y la velocidad angular con un pequeño error en la parte derecha de la pantalla LCD).

Para hacer pruebas con el equipo didáctico, utilizando otro Motor paso a paso unipolar de máximo 500mA diferente al motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001**, primero debemos aplicar las opciones a, b y c siguientes:

- a) Modificar el código fuente que se encuentra en el ANEXO B de acuerdo a los datos técnicos del motor paso a paso unipolar que se utilice.
- b) Una vez modificado el código fuente, volver a programar el microcontrolador PIC16F887, aplicando los pasos que se explican en la **sección 2.4.1.1** (para volver a programar el microcontrolador PIC16F887, primero debemos retirarlo del circuito de la Figura 3-65 y una vez programado lo volvemos a colocar).
- c) Al finalizar las dos opciones a y b anteriores, aplicar los pasos (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10) anteriores.

Para hacer pruebas con el equipo didáctico, utilizando otros Motores paso a paso unipolares de 1A-3A, primero debemos aplicar las opciones a, b y c anteriores y luego los siguientes pasos:

- 1) Se realiza una conexión con los cables que tienen conectores bananas machos desde una fuente de alimentación de 1A en adelante hacia los conectores bananas hembras para alimentación de voltaje en la tarjeta electrónica del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso de 1A – 3A.
- 2) Se realiza una conexión con los cables que tienen conectores bananas machos desde los conectores bananas hembras para voltaje de salida de 5V de la fuente de alimentación hacia los conectores bananas hembras de alimentación de 5V en la tarjeta electrónica del presente proyecto.
- 3) Se realiza una conexión con los cables que tienen conectores bananas machos desde los conectores bananas hembras del circuito electrónico para la activación de las bobinas del Motor Paso a Paso unipolares de 1A-3A hacia los conectores bananas hembras para conexión del circuito electrónico para la activación de las bobinas de Motores Paso a Paso Unipolares de 1A – 3A.
- 4) Se conecta el cable de alimentación de la red eléctrica de la fuente de alimentación que soporte corriente desde 1A en adelante a la toma de red eléctrica pública.
- 5) Se presiona el SWICH de encendido y apagado de la fuente de alimentación que soporte corriente desde 1A en adelante y se lo coloca en alto (1), luego realizar los pasos 6, 7, 8, 9 y 10 anteriores.

4.2 Pruebas del equipo didáctico

Una vez ensamblado el equipo didáctico, se lo empezó a poner a prueba y lo primero que se debe consultar es el manual de usuario que se explica en la **sección 4.1** y la **sección 4.1.1**.

Al realizar varias pruebas con el equipo didáctico, se ha utilizado hasta el momento el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001**, ya que este fue el primer motor que se logro conseguir para ser utilizado en el presente proyecto como principal.

Las pruebas realizadas utilizando el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** consistieron en ingresar valores de velocidad angular (Tabla 4-1), valores de ángulos de paso (Tabla 4-1) y sentido de giro en la pantalla LCD, para que el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** gire hacia la derecha (DER) o hacia la izquierda (IZQ).

Tabla 4-1: Valores de velocidad, valores ángulo de paso y sentidos ingresados en la pantalla LCD

Velocidades angular (RPM)	Ángulos de paso (°)	Sentidos
16 rev/min	39.60°	IZQ
16 rev/min	39.60°	DER
6 rev/min	50.39°	IZQ
6 rev/min	50.39°	DER

Los valores de velocidades angulares y ángulos de paso que se demuestran en la **Tabla 4-1** fueron ingresados en la pantalla LCD para los dos sentidos (IZQ y DER), al momento de presionar el pulsador ACEPTAR para cada par valores (velocidad angular y ángulo de paso para cada sentido IZQ y DER) ingresados, el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** giro con esos valores demostrados en la Tabla 4-1.

Tabla 4-2: Valores de velocidad y ángulos de paso con los que ha girado el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** hacia la derecha (DER).

GIRO HACIA LA DERECHA (DER)					
Velocidad ingresada en la LCD [RPM]	Velocidad medida [RPM]	Angulo de paso ingresado en la LCD [°]	Angulo de paso medido [°]	Error de Velocidad [%]	Error de ángulo de paso [%]
16	15.4	39.60	39.60	0.6 = 60%	0 = 0%
6	5.91	50.39	50.39	0.09 = 9%	0 = 0%

Tabla 4-3: Valores de velocidad y ángulos de paso con los que ha girado el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** hacia la izquierda (IZQ).

GIRO HACIA LA IZQUIERDA (IZQ)					
Velocidad ingresada en la LCD [RPM]	Velocidad medida [RPM]	Angulo de paso ingresado en la LCD [°]	Angulo de paso medido [°]	Error de Velocidad [%]	Error de ángulo de paso [%]
16	15.4	39.60	39.60	0.6 = 60%	0 = 0%
6	5.91	50.39	50.39	0.09 = 9%	0 = 0%

Al finalizar su giro el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** en ambos sentidos (IZQ y DER) con cada una de las velocidades angulares y ángulos de paso ingresadas en la pantalla LCD (**Tabla 4-2** y **Tabla 4-3**), se volverán a presentar en la parte derecha de la pantalla LCD, demostrándonos que se han medido la cada velocidad angular y cada ángulo de paso en el momento de girar el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001**.

Cada una velocidades angulares medidas y presentadas en la pantalla LCD al momento de finalizar el giro del motor en ambos sentidos (IZQ y DER), se las observo y se pudo

comprobar que las lecturas eran similares con un margen de error absoluto que no supero el 1%, 2%, etc., los cuales se los calculo con la siguiente fórmula:

$$\text{Error absoluto de velocidad} = \text{Valor de velocidad ingresada} - \text{Valor ideal de la velocidad medida}$$

Donde:

Valor de velocidad ingresada: Es la velocidad angular que ingresamos en la pantalla LCD con un pulsador, la cual procedemos a leerla y con la misma hacer girar el motor.

Valor ideal de la velocidad medida: Es la velocidad angular que se presenta en la pantalla LCD cuando finaliza en girar el motor.

En cambio en los ángulos de paso medidos y presentados en la pantalla LCD se los observo y se pudo comprobar con la siguiente fórmula que las lecturas eran similares con ningún margen de error:

$$\text{Error de } \alpha_p = \text{Valor de } \alpha_p \text{ ingresado} - \text{Valor ideal del } \alpha_p \text{ medido}$$

Donde:

α_p : Representación del ángulo de paso

Valor de α_p ingresado: Es el ángulo de paso que ingresamos en la pantalla LCD para leerlo y con el mismo hacer girar el motor.

Valor ideal del α_p medido: Es el ángulo de paso que se presenta en la pantalla LCD cuando finaliza en girar el motor.

4.3 Resultados

A continuación presentamos las demostraciones en la pantalla LCD cuando se empieza a dar funcionamiento al equipo didáctico y cuando se finaliza en darle funcionamiento:

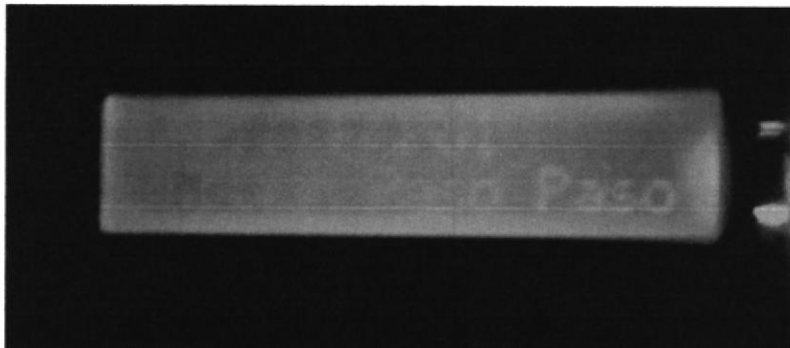


Figura 4-3. Pantalla inicial de la LCD

Al empezar a dar alimentación de voltaje al equipo y al presionar el pulsador de encendido y apagado (ON/OFF) del equipo didáctico después, se presentara como inicio el mensaje “Control Motor Paso a Paso” en la pantalla LCD, tal como se muestra en la Figura 4-3.

Luego presionando los pulsadores mencionados con literales **b**, **c**, **d**, **e**, **f**, **g**, **h**, **i** y **j** de la **sección 4.1** se accede a la opción de hacer girar el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** con un sentido de giro, una velocidad angular y un ángulo de paso, las

cuales serán medidas y presentadas en la pantalla LCD. En la Figura 4-4 se demuestra la presentación de dos velocidades angulares y dos ángulos de paso en la pantalla LCD, con las cuales el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** giro en ambos sentidos (IZQ y DER) en el momento de hacer prueba con el equipo didáctico aunque gira con mas velocidades angulares y ángulos de paso .

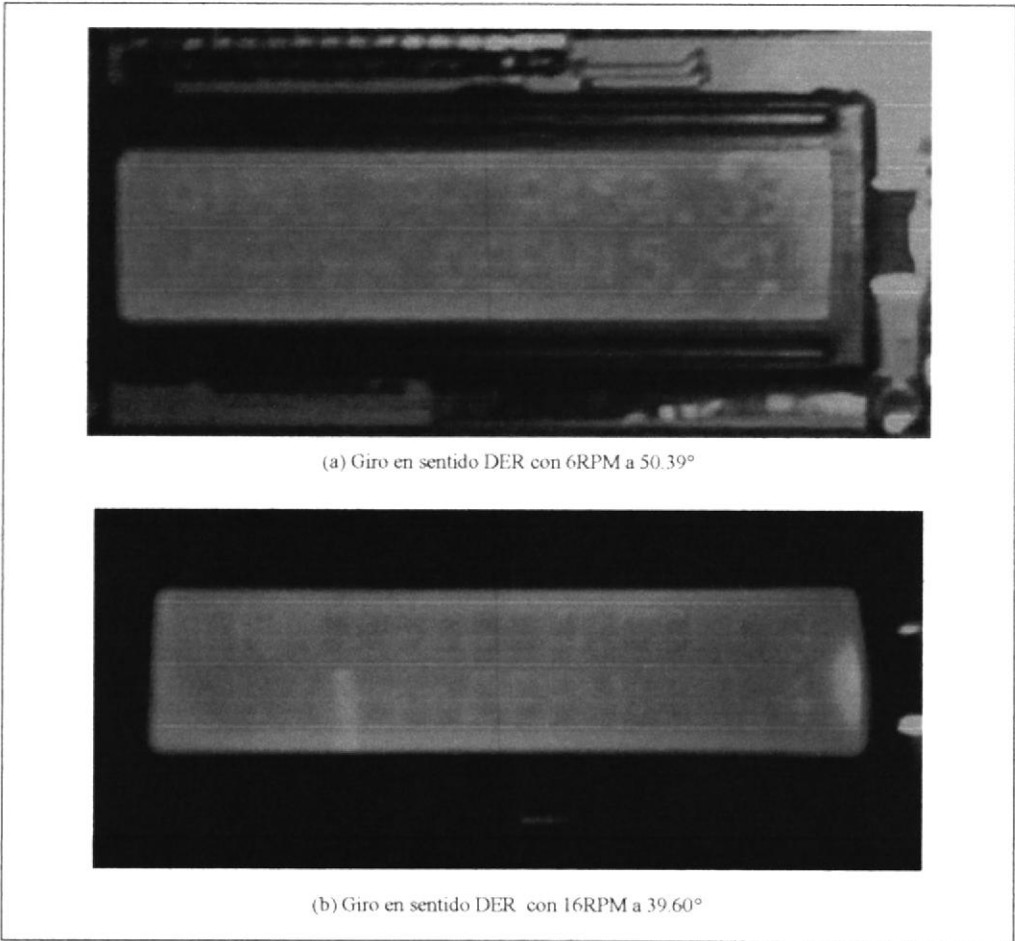


Figura 4-4: Presentación en la pantalla LCD de velocidades angulares y ángulos de paso y sentidos (IZQ y DER) de giro motor paso a paso unipolar modelo KP4M4-001 .

Las velocidades y ángulos de pasos que se muestran en la Figura 4-4 el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** giro en ambos sentidos (IZQ y DER), entre todas estas velocidades y ángulos de paso, podemos mencionar la mínima velocidad angular y el mínimo ángulo de paso que el motor ha girado en ambos sentidos en el momento de hacer pruebas con el equipo didáctico, se demuestra en la Figura 4-4(a) y en la Figura 4-4(b), también representamos estos valores mínimos en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Valor minimo de velocidad y ángulo de paso que ha girado el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** en ambos sentidos (IZQ y DER).

GIRO HACIA LA DERECHA (DER)	
Velocidad angular mínima medida [RPM]	Angulo de paso mínimo medido [°]
5.91 rev/min	50.33°
GIRO HACIA LA IZQUIERDA (IZQ)	
Velocidad angular mínima medida [RPM]	Angulo de paso mínimo medido [°]
5.91 rev/min	50.33°

La máxima velocidad angular y el máximo ángulo de paso que el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** ha girado en ambos sentidos (IZQ y DER) en el momento de hacer pruebas con el equipo didáctico, se demuestra en la Figura 4-4(k) y en la Figura 4-4(l), también las representamos estos valores máximos en la Tabla 4-4.

Tabla 4-5: Valor máximo de velocidad y ángulo de paso que ha girado el motor paso a paso unipolar modelo **KP4M4-001** en ambos sentidos (IZQ y DER).

GIRO HACIA LA DERECHA (DER)	
Velocidad angular máxima medida [RPM]	Angulo de paso máximo medido [°]
60 rev/min	360°
GIRO HACIA LA IZQUIERDA (IZQ)	
Velocidad angular máxima medida [RPM]	Angulo de paso máximo medido [°]
60 rev/min	360°

Cuando se quiere dejar de hacer pruebas en el equipo didáctico después de hacer girar el motor varias veces en ambos sentidos (IZQ y DER), presionamos pulsador de encendido y apagado (ON/OFF) del equipo didáctico mencionado con literal a en la **sección 4.1** se presentara la pantalla LCD tal como se muestra en la Figura 4-5.

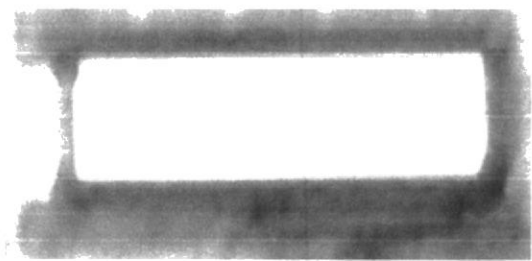


Figura 4-5: Demostración de la LCD cuando se presiona por segunda vez pulsador de encendido y apagado (ON/OFF) del equipo didáctico

Finalmente quitamos la alimentación del equipo didáctico presionando el SWICH de encendido y apagado de la fuente de alimentación de 12V y 5V colocándolo en bajo (0) después aparecerá la pantalla LCD tal como se muestra en la Figura 4-6.

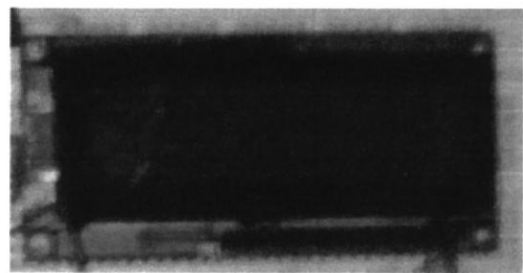
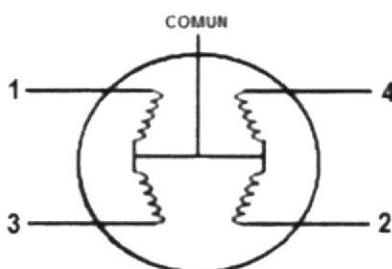


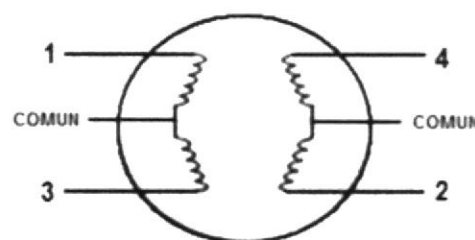
Figura 4-6: Demostración de la LCD cuando no tiene alimentación el equipo didáctico

CONCLUSIONES

- ❖ El estudio de los motores de pasos facilita la selección de los mismos, según el tipo de operación y carga que deban soportar.
- ❖ En el equipo didáctico construido en el presente proyecto se puede probar diferentes tipos de motores paso a paso, pero se debe realizar respectivas modificaciones en el código fuente o el programa del microcontrolador del presente proyecto sobre el número de pasos, el ángulo y la velocidad del motor paso a paso.
- ❖ El microcontrolador y otro dispositivo digital se encuentran montados en zócalos, lo que facilita la reposición de los mismos en el caso de estar dañados y también cuando se vuelva a reprogramar varias veces el microcontrolador.
- ❖ Los motores paso a paso (PAP) de imán permanente, son un tipo especial de motores que permiten el avance de su eje en ángulos muy precisos y por pasos en las dos posibles direcciones de movimiento (izquierda o derecha). Aplicando a ellos una determinada secuencia de señales digitales, avanzan por pasos hacia un lado u otro y se detienen exactamente en una determinada posición.
- ❖ En un motor PAP cada paso tiene un ángulo muy preciso determinado por la construcción del motor, lo que permite realizar movimientos exactos.
- ❖ A un motor paso a paso se le puede ordenar por medio del control, que avance cinco o diez pasos hacia la derecha, luego un determinado número de pasos hacia atrás o simplemente que no gire, lo cual permite el control de posición, velocidad, y sentido (dirección).
- ❖ Cuando se trabaja con motores paso a paso usados o bien nuevos, pero de los cuales no tenemos hojas de datos. Es posible averiguar la distribución de los cables a los bobinados y el cable común en un motor de paso unipolar de 5 o 6 cables siguiendo las instrucciones que se detallan a continuación:



Motor PaP con 5 cables de salida



Motor PaP con 6 cables de salida

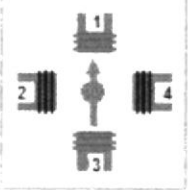
1. **Aislando el cable(s) común que va a la fuente de alimentación:** Como se aprecia en las figuras anteriores, en el caso de motores con 6 cables, estos poseen dos cables *comunes*, pero generalmente poseen el mismo color, por lo que lo mejor es unirlos antes de comenzar las pruebas.

Usando un multímetro para chequear la resistencia entre pares de cables, el cable común será el único que tenga la mitad del valor de la resistencia entre ella y el resto de los cables.

Esto es debido a que el cable común tiene una bobina entre ella y cualquier otro cable, mientras que cada uno de los otros cables tiene dos bobinas entre ellos. De ahí la mitad de la resistencia medida en el cable común.

2. Identificando los cables de las bobinas (1, 2, 3 y 4): Aplicar un voltaje al cable común (generalmente 12 voltios, pero puede ser más o menos) y manteniendo uno de los otros cables a tierra (GND) mientras vamos poniendo a tierra cada uno de los demás cables de forma alternada y observando los resultados.

El proceso se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Seleccionar un cable y conectarlo a tierra. Ese será llamado cable 1.	
Manteniendo el cable 1 conectado a masa, probar cuál de los tres cables restantes provoca un paso en sentido antihorario al ser conectado también a tierra. Ese será el cable 2.	
Manteniendo el cable 1 conectado a tierra, probar cuál de los dos cables restantes provoca un paso en sentido horario al ser conectado a tierra. Ese será el cable 4.	
El último cable debería ser el cable 3. Para comprobarlo, basta con conectarlo a tierra, lo que no debería generar movimiento alguno debido a que es la bobina opuesta a la 1.	

Nota: La nomenclatura de los cables (1, 2, 3 y 4) es totalmente arbitraria

- ❖ En un encoder incremental rotatorio un simple sistema lógico permite determinar desplazamientos a partir de un origen, a base de contar impulsos de un canal y determinar el sentido de giro a partir del desfase entre los dos canales. Algunos encoders pueden disponer de un canal adicional que genere un pulso por vuelta y la lógica puede dar número de vueltas más fracción de vuelta.
- ❖ El circuito de control de motores paso a paso del presente proyecto, solo podrá controlar motores paso a paso unipolares que trabajen con corrientes menores o iguales a 500mA, porque si se conecta un motor mayor de 500mA el driver ULN2003A se quema.

RECOMENDACIONES

- ❖ Para la realización del circuito impreso, se debe realizar a través de una lámina de papel fotográfico tipo GLOSSY o una lámina de transferencia de calor. La cual se imprime a través de una impresora láser y se estampa dichas pistas sobre la baquelita de cobre virgen. Luego se debe proceder a ingresarle en el cloruro férrico y desprender el cobre que no se va a utilizar.
- ❖ Se recomienda limpiar muy bien la placa después de soldar los elementos con el estaño y el cautín porque las impurezas pueden causar lecturas erróneas.
- ❖ Debemos utilizar guantes, mascarillas y un ventilador encendido en el momento de soldar los elementos para evitar la inhalación de humos. La ventilación en los trabajos de soldadura es decisiva para limitar la inhalación de humos por el soldador y con las mascarillas nos protegemos de que los humos de soldadura penetren hasta la zona más profunda de los pulmones y a lo largo del tiempo de muy distinta relevancia.
- ❖ Para continuar soldando bien los elementos con el cautín caliente se lo debe ingresar en la pasta de soldar para que el estaño coja bien la soldadura.
- ❖ Si utilizamos circuitos integrado para controlar motores de paso unipolares, se recomienda utilizar los que tengan integrado internamente diodos (por ejemplo el ULN2003AN) para evitar que los impulsos de voltaje del motor no les cause algún daño y nos ahorraríamos de comprar diodos porque ya no es necesario conectarle diodos a la salida. Recordemos que el circuito integrado ULN2003AN soporta una corriente máxima de 0.5A y si queremos controlar motores con corriente mayor a 0.5A o más potentes, deberemos montar nosotros mismos el circuito de control a base de transistores de potencia (por ejemplo TIP122) con una resistencia en la base de cada transistor de potencia para limitar la corriente y no sobrepasar los niveles de corriente del Microcontrolador PIC.
- ❖ Recordemos que el microcontrolador PIC tiene tecnología CMOS, esto quiere decir que consume muy poca corriente pero a la vez es susceptible a daños por estática, se recomienda utilizar pinzas para manipular y así poder transportar desde el grabador al protoboard y al zócalo o viceversa.
- ❖ No sobrepase los niveles de corriente, tanto de entrada como de salida, recuerde que el microcontrolador PIC puede entregar por cada uno de sus pines una corriente máxima de 25mA. Asimismo soporta una corriente máxima de entrada de 25mA.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Verle, Milan. (2009). *PIC Microcontrollers - Programming in C; 1st edition*. mikroElektronika.
- [2]. García, Eduardo. (Junio de 2008). *Compilador C CCS y simulador PROTEUS para Microcontroladores PIC; primera edición*. Mexico: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- [3]. Presentaciones en PowerPoint de Curso PROTEUS.
- [4]. Gardner, Niger. (1998). *PIC C - An Introduction to programming the Microchip PIC in C*. UK: Character Press Limited.
- [5]. Cánovas, Andrés; Dorado, Víctor;. *MANUAL DE USUARIO DEL COMPILADOR PCW DE CCS ®. C Compiler for Microchip PICmicro® MCUs*.
- [6]. Félix Rubio; Jose Aladro; Juan Meleiro. *CURSILLO DE ELECTRÓNICA PRÁCTICA*. Club de Electrónica del Centro de Residencias de Eibar.
- [7]. Reyes, Carlos A. (2008). *Microcontroladores PIC Programación en Basic; Tercera edición*. Quito: RISPERGRAF.
- [8]. Palacios, Enrique; Remiro, Fernando; López, Lucas J.. (Agosto 2004). *Microcontrolador PIC16F84. Desarrollo de proyectos*. Espana, Mexico: RA-MA Editorial, Alfaomega Grupo Editor.
- [9]. *Catalogo Interruptores pulsadores y Tact Switches*. Archivo pdf. Disponible: www.superpbenavides.com/catalogo/componentes-electromecanicos/interruptores/Pulsadores%2520y%2520Tact.pdf
- [10]. *ENCODER INCREMENTAL. Información General*. Eltra. Disponible: <http://www.hohner.es/de/increm/increm2.htm>
- [11]. Tutorial sobre motores paso a paso. Disponible: <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>
- [12]. Tutorial6. Paul Aguayo S.. (21 de Diciembre 2004). *Motores Paso a Paso (Stepper)*. Disponible: <http://www.olimex.cl/tutorial/tutorial6.pdf>
- [13]. Motor paso a paso unipolar de imán permanente, modelo: KP4M4-001. Disponible: <http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/kp4m4/>

- [14]. Stepping Sequences for a Four-Phase. Unipolar Permanent Magnet Stepper Motor. Disponible:
<http://www.doc.ic.ac.uk/~ih/doc/stepper/control2/connect.html#5804>
- [15]. Manual de Aplicación de Encoders. Disponible:
<http://www.westmexico.com.mx/pfd/dynapar/catalogos/4.-Manual%20de%20Aplicacion%20de%20Encoders.pdf>
- [16]. Guía Básica para utilizar el software PICKIT 2 y su propio programador de microcontroladores PIC.
: <http://www1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51553e.pdf>
- [17]. BOYLESTAD, Robert, NASHELSKY, Louis. “Electrónica: Teoría de Circuitos”. Editorial Prentice Hall: Sexta edición (2006).

ANEXOS:

ANEXO A:

HOJAS DE DATOS DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS



ANEXO A-1:

DATASHEET: MICROCONTROLADOR PIC16F887



PIC16F882/883/884/886/887

Data Sheet

28/40/44-Pin, Enhanced Flash-Based 8-Bit
CMOS Microcontrollers with
nanoWatt Technology



Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break Microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is provided only for your convenience and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. MICROCHIP MAKES NO REPRESENTATIONS OR WARRANTIES OF ANY KIND WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, WRITTEN OR ORAL, STATUTORY OR OTHERWISE, RELATED TO THE INFORMATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ITS CONDITION, QUALITY, PERFORMANCE, MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PURPOSE. Microchip disclaims all liability arising from this information and its use. Use of Microchip devices in life support and/or safety applications is entirely at the buyer's risk, and the buyer agrees to defend, indemnify and hold harmless Microchip from any and all damages, claims, suits, or expenses resulting from such use. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any Microchip intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoQ, KEELoQ logo, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, rPIC, SmartShunt and UNI/O are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

FilterLab, Linear Active Thermistor, MXDEV, MXLAB, SEEVAL, SmartSensor and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, dsSPEAK, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, Mindi, MiWi, MPASM, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, mTouch, nanoWatt XLP, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PICtail, PIC³² logo, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, REAL ICE, rLAB, Select Mode, Total Endurance, TSHARC, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2009, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==

Microchip received ISO/TS-16949:2002 certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona; Gresham, Oregon and design centers in California and India. The Company's quality system processes and procedures are for its PIC® MCUs and dsPIC® DSCs, KEELoQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, nonvolatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.



PIC16F882/883/884/886/887

28/40/44-Pin Flash-Based, 8-Bit CMOS Microcontrollers with nanoWatt Technology

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 Instructions to Learn:
 - All single-cycle instructions except branches
- Operating Speed:
 - DC – 20 MHz oscillator/clock input
 - DC – 200 ns instruction cycle
- Interrupt Capability
- 8-Level Deep Hardware Stack
- Direct, Indirect and Relative Addressing modes

Special Microcontroller Features:

- Precision Internal Oscillator:
 - Factory calibrated to $\pm 1\%$
 - Software selectable frequency range of 8 MHz to 31 kHz
 - Software tunable
 - Two-Speed Start-up mode
 - Crystal fail detect for critical applications
 - Clock mode switching during operation for power savings
- Power-Saving Sleep mode
- Wide Operating Voltage Range (2.0V-5.5V)
- Industrial and Extended Temperature Range
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Brown-out Reset (BOR) with Software Control Option
- Enhanced Low-Current Watchdog Timer (WDT) with On-Chip Oscillator (software selectable nominal 268 seconds with full prescaler) with software enable
- Multiplexed Master Clear with Pull-up/Input Pin
- Programmable Code Protection
- High Endurance Flash/EEPROM Cell:
 - 100,000 write Flash endurance
 - 1,000,000 write EEPROM endurance
 - Flash/Data EEPROM retention: > 40 years
- Program Memory Read/Write during run time
- In-Circuit Debugger (on board)

Low-Power Features:

- Standby Current:
 - 50 nA @ 2.0V, typical
- Operating Current:
 - 11 μ A @ 32 kHz, 2.0V, typical
 - 220 μ A @ 4 MHz, 2.0V, typical
- Watchdog Timer Current:
 - 1 μ A @ 2.0V, typical

Peripheral Features:

- 24/35 I/O Pins with Individual Direction Control:
 - High current source/sink for direct LED drive
 - Interrupt-on-Change pin
 - Individually programmable weak pull-ups
 - Ultra Low-Power Wake-up (ULPWU)
- Analog Comparator Module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (CVREF) module (% of VDD)
 - Fixed voltage reference (0.6V)
 - Comparator inputs and outputs externally accessible
 - SR Latch mode
 - External Timer1 Gate (count enable)
- A/D Converter:
 - 10-bit resolution and 11/14 channels
- Timer0: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Programmable Prescaler
- Enhanced Timer1:
 - 16-bit timer/counter with prescaler
 - External Gate Input mode
 - Dedicated low-power 32 kHz oscillator
- Timer2: 8-bit Timer/Counter with 8-bit Period Register, Prescaler and Postscaler
- Enhanced Capture, Compare, PWM+ Module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM with 1, 2 or 4 output channels, programmable "dead time", max. frequency 20 kHz
 - PWM output steering control
- Capture, Compare, PWM Module:
 - 16-bit Capture, max. resolution 12.5 ns
 - 16-bit Compare, max. resolution 200 ns
 - 10-bit PWM, max. frequency 20 kHz
- Enhanced USART Module:
 - Supports RS-485, RS-232, and LIN 2.0
 - Auto-Baud Detect
 - Auto-Wake-Up on Start bit
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave Modes with I²C Address Mask

PIC16F882/883/884/886/887

Device	Program Memory	Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	ECCP/ CCP	EUSART	MSSP	Comparators	Timers 8/16-bit
	Flash (words)	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)							
PIC16F882	2048	128	128	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F883	4096	256	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F884	4096	256	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F886	8192	368	256	24	11	1/1	1	1	2	2/1
PIC16F887	8192	368	256	35	14	1/1	1	1	2	2/1

PIC16F882/883/884/886/887

Pin Diagrams – PIC16F882/883/886, 28-Pin PDIP, SOIC, SSOP

28-pin PDIP, SOIC, SSOP

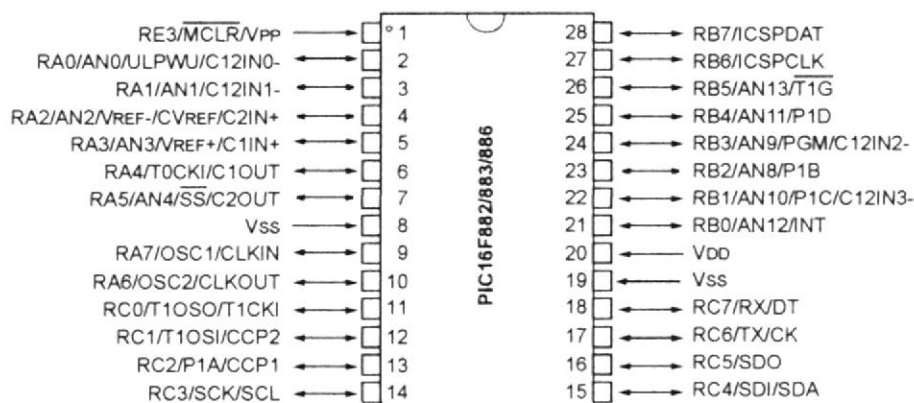


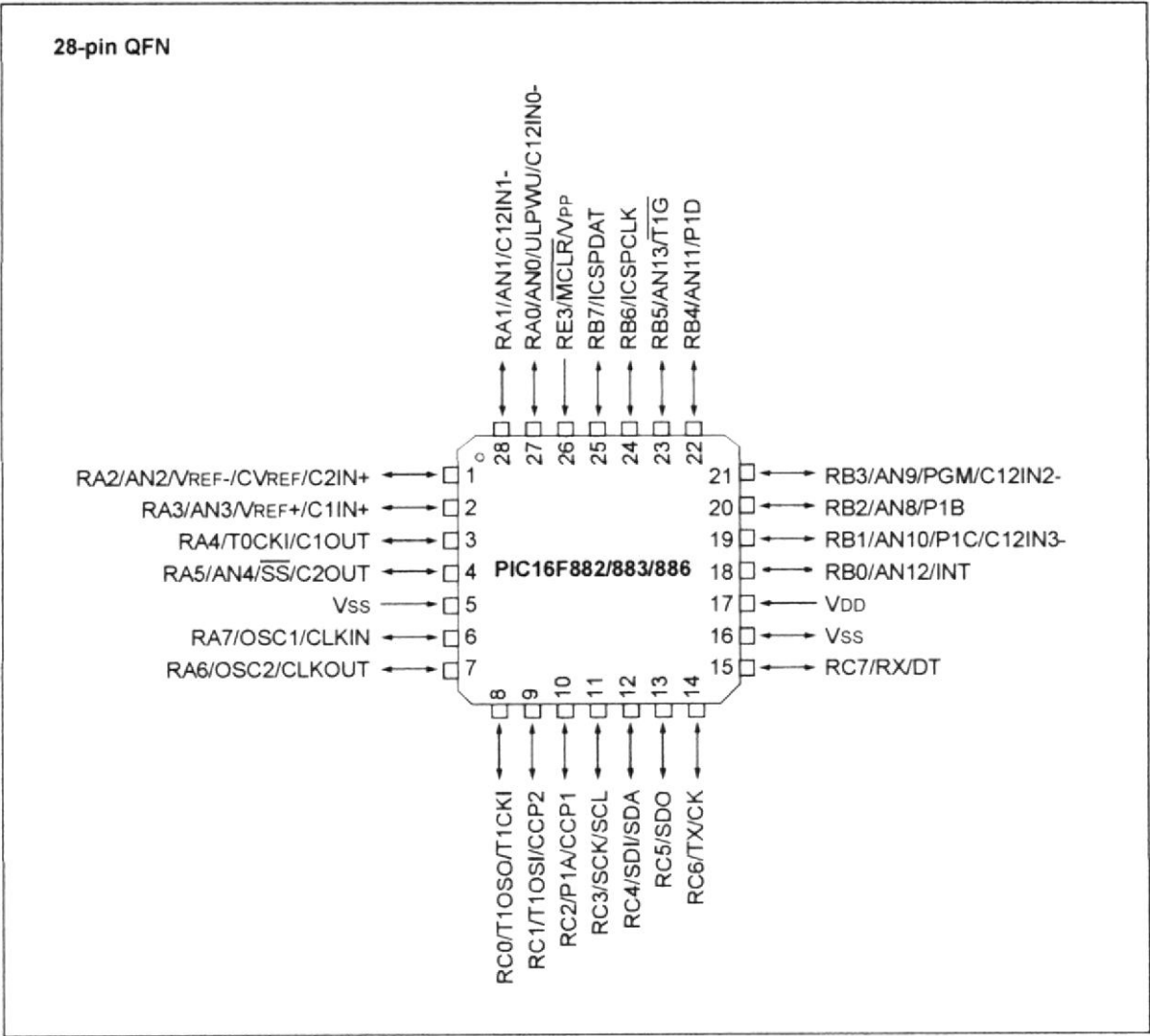
TABLE 1: PIC16F882/883/886 28-PIN SUMMARY (PDIP, SOIC, SSOP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	10	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	9	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	21	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	22	AN10	C12IN3-	—	P1C	—	—	IOC	Y	—
RB2	23	AN8	—	—	P1B	—	—	IOC	Y	—
RB3	24	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	25	AN11	—	—	P1D	—	—	IOC	Y	—
RB5	26	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	27	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	28	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	11	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	12	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	13	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	14	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	15	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	16	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	17	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	18	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y ⁽¹⁾	MCLR/Vpp
—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	19	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

PIC16F882/883/884/886/887

Pin Diagrams – PIC16F882/883/886, 28-Pin QFN



PIC16F882/883/884/886/887

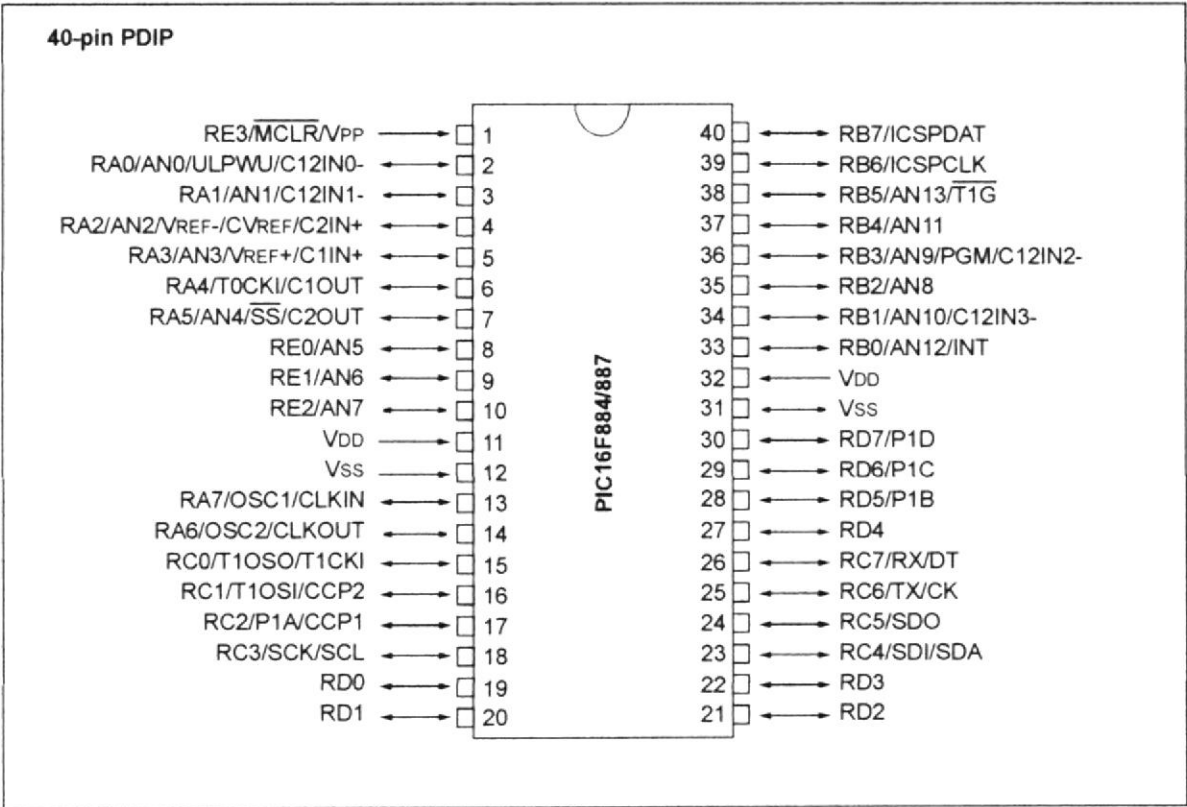
TABLE 2: PIC16F882/883/886 28-PIN SUMMARY (QFN)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	27	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	28	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	1	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	2	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	3	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	4	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	7	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	6	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	18	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	19	AN10	C12IN3-	—	P1C	—	—	IOC	Y	—
RB2	20	AN8	—	—	P1B	—	—	IOC	Y	—
RB3	21	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	22	AN11	—	—	P1D	—	—	IOC	Y	—
RB5	23	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	24	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	25	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	8	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	9	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	10	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	11	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	12	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	13	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	14	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	15	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RE3	26	—	—	—	—	—	—	—	Y ⁽¹⁾	MCLR/VPP
—	17	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	5	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	16	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

PIC16F882/883/884/886/887

Pin Diagrams – PIC16F884/887, 40-Pin PDIP



PIC16F882/883/884/886/887

TABLE 3: PIC16F884/887 40-PIN SUMMARY (PDIP)

I/O	Pin	Analog	Comparators	Timers	ECCP	EUSART	MSSP	Interrupt	Pull-up	Basic
RA0	2	AN0/ULPWU	C12IN0-	—	—	—	—	—	—	—
RA1	3	AN1	C12IN1-	—	—	—	—	—	—	—
RA2	4	AN2	C2IN+	—	—	—	—	—	—	VREF-/CVREF
RA3	5	AN3	C1IN+	—	—	—	—	—	—	VREF+
RA4	6	—	C1OUT	T0CKI	—	—	—	—	—	—
RA5	7	AN4	C2OUT	—	—	—	SS	—	—	—
RA6	14	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC2/CLKOUT
RA7	13	—	—	—	—	—	—	—	—	OSC1/CLKIN
RB0	33	AN12	—	—	—	—	—	IOC/INT	Y	—
RB1	34	AN10	C12IN3-	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB2	35	AN8	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB3	36	AN9	C12IN2-	—	—	—	—	IOC	Y	PGM
RB4	37	AN11	—	—	—	—	—	IOC	Y	—
RB5	38	AN13	—	T1G	—	—	—	IOC	Y	—
RB6	39	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPCLK
RB7	40	—	—	—	—	—	—	IOC	Y	ICSPDAT
RC0	15	—	—	T1OSO/T1CKI	—	—	—	—	—	—
RC1	16	—	—	T1OSI	CCP2	—	—	—	—	—
RC2	17	—	—	—	CCP1/P1A	—	—	—	—	—
RC3	18	—	—	—	—	—	SCK/SCL	—	—	—
RC4	23	—	—	—	—	—	SDI/SDA	—	—	—
RC5	24	—	—	—	—	—	SDO	—	—	—
RC6	25	—	—	—	—	TX/CK	—	—	—	—
RC7	26	—	—	—	—	RX/DT	—	—	—	—
RD0	19	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD1	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD2	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD3	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD4	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—
RD5	28	—	—	—	P1B	—	—	—	—	—
RD6	29	—	—	—	P1C	—	—	—	—	—
RD7	30	—	—	—	P1D	—	—	—	—	—
RE0	8	AN5	—	—	—	—	—	—	—	—
RE1	9	AN6	—	—	—	—	—	—	—	—
RE2	10	AN7	—	—	—	—	—	—	—	—
RE3	1	—	—	—	—	—	—	—	Y ⁽¹⁾	MCLR/VPP
—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	32	—	—	—	—	—	—	—	—	VDD
—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS
—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	VSS

Note 1: Pull-up activated only with external MCLR configuration.

ANEXO A-2:
DATASHEET: ULN2003A



DS2003

High Current/Voltage Darlington Drivers

General Description

The DS2003 is comprised of seven high voltage, high current NPN Darlington transistor pairs. All units feature common emitter, open collector outputs. To maximize their effectiveness, these units contain suppression diodes for inductive loads and appropriate emitter base resistors for leakage.

The DS2003 has a series base resistor to each Darlington pair, thus allowing operation directly with TTL or CMOS operating at supply voltages of 5.0V.

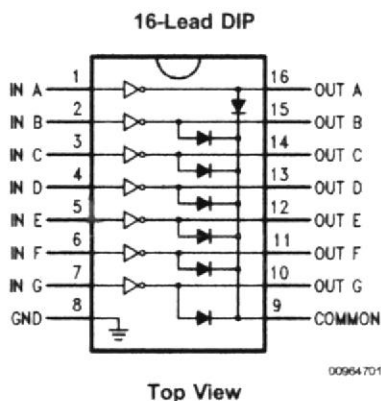
The DS2003 offers solutions to a great many interface needs, including solenoids, relays, lamps, small motors, and

LEDs. Applications requiring sink currents beyond the capability of a single output may be accommodated by paralleling the outputs.

Features

- Seven high gain Darlington pairs
- High output voltage ($V_{CE} = 50V$)
- High output current ($I_C = 350\text{ mA}$)
- TTL, PMOS, CMOS compatible
- Suppression diodes for inductive loads
- Extended temperature range

Connection Diagram



Order Numbers

N Package Number N16E	M Package Number M16A
DS2003TN	DS2003TM
DS2003CN	DS2003CM

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
DS2003TN, DS2003TM	-40°C to +105°C
DS2003CN, DS2003CM	0°C to +85°C
Lead Temperature	
Soldering, 10 seconds	265°C

N16E Package	1330 mW
M16A Package	770 mW
Input Voltage	-0.3V to 30V
Output Voltage	55V
Emitter-Base Voltage	6.0V
Continuous Collector Current	500 mA
Continuous Base Current	25 mA

Note: *Derate N16E package 13.3 mW/°C for T_A above 25°C. Derate M16A package 7.7 mW/°C for T_A above 25°C.

Maximum Power Dissipation* at T_A
= 25°C

Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
I_{CEX}	Output Leakage Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CE} = 50\text{V}$ (Figure 1)			20	μA
		$T_A = 85^\circ\text{C}$, $V_{CE} = 50\text{V}$ (Figure 1) for DS2003CN, DS2003CM			100	
		$T_A = 105^\circ\text{C}$, $V_{CE} = 50\text{V}$ (Figure 1) for DS2003TN, DS2003TM			150	
$V_{CE(Sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 350\text{ mA}$, $I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$ (Figure 3) (Note 3)		1.25	1.6	V
		$I_C = 200\text{ mA}$, $I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$ (Figure 3)		1.1	1.3	
		$I_C = 100\text{ mA}$, $I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$ (Figure 3)		0.9	1.1	
$I_{I(ON)}$	Input Current	$V_I = 3.85\text{V}$ (Figure 4)		0.93	1.35	mA
$I_{I(OFF)}$	Input Current (Note 4)	$T_A = 85^\circ\text{C}$ for DS2003CN, DS2003CM $I_C = 500\text{ }\mu\text{A}$ (Figure 5)	50	100		μA
$V_{I(ON)}$	Input Voltage (Note 5)	$V_{CE} = 2.0\text{V}$, $I_C = 200\text{ mA}$ (Figure 6)			2.4	V
		$V_{CE} = 2.0\text{V}$, $I_C = 250\text{ mA}$ (Figure 6)			2.7	
		$V_{CE} = 2.0\text{V}$, $I_C = 300\text{ mA}$ (Figure 6)			3.0	
C_I	Input Capacitance			15	30	pF
t_{PLH}	Turn-On Delay	0.5 V_I to 0.5 V_O			1.0	μs
t_{PHL}	Turn-Off Delay	0.5 V_I to 0.5 V_O			1.0	μs
I_R	Clamp Diode Leakage Current	$V_R = 50\text{V}$ (Figure 7) $T_A = 25^\circ\text{C}$			50	μA
		$T_A = 85^\circ\text{C}$			100	μA
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_F = 350\text{ mA}$ (Figure 8)		1.7	2.0	V

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The tables of "Electrical Characteristics" provide conditions for actual device operation.

Note 2: All limits apply to the complete Darlington series except as specified for a single device type.

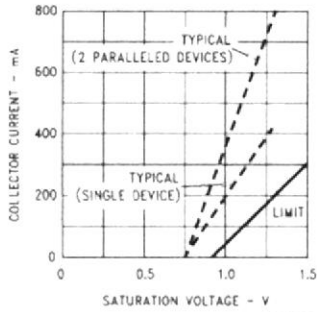
Note 3: Under normal operating conditions these units will sustain 350 mA per output with $V_{CE(Sat)} = 1.6\text{V}$ at 70°C with a pulse width of 20 ms and a duty cycle of 30%.

Note 4: The $I_{I(OFF)}$ current limit guarantees a minimum output sink current per the specified test conditions.

Note 5: The $V_{I(ON)}$ voltage limit guarantees a minimum output sink current per the specified test conditions.

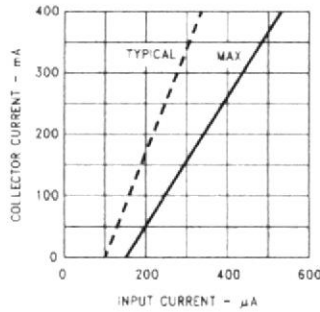
Typical Performance Characteristics

Collector Current vs Saturation Voltage



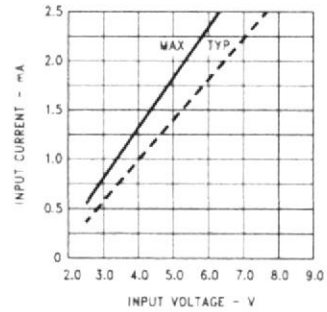
00964718

Collector Current vs Input Current



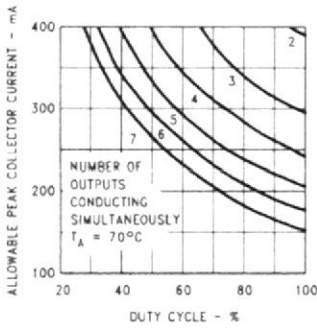
00964719

Input Current vs Input Voltage



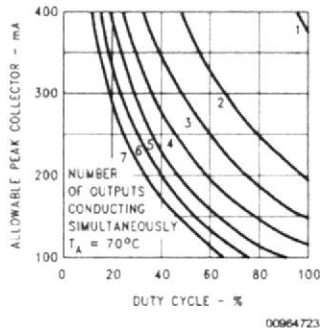
00964720

Peak Collector Current vs Duty Cycle and Number of Outputs (Molded Package)



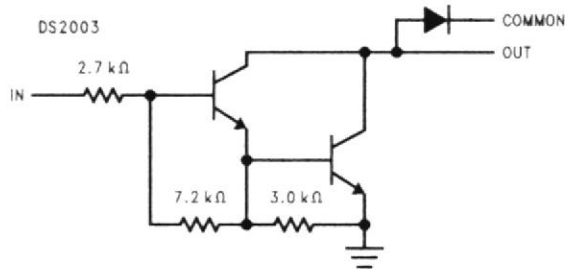
00964722

Peak Collector Current vs Duty Cycle and Number of Outputs (Ceramic Package)



00964723

Equivalent Circuits



00964703

Test Circuits

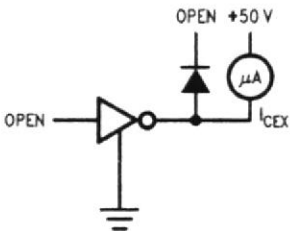


FIGURE 1.

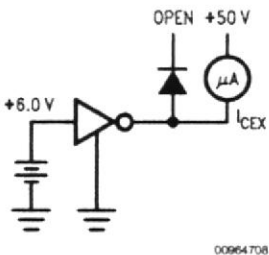


FIGURE 2.

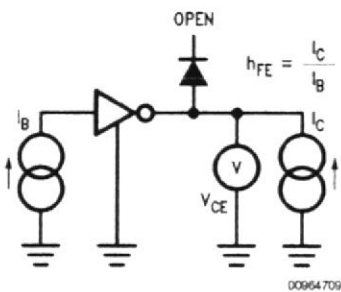


FIGURE 3.

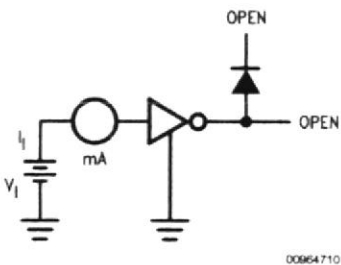


FIGURE 4.

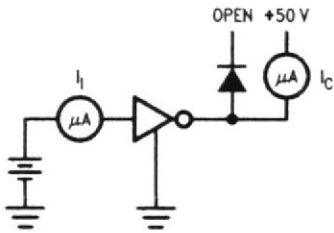


FIGURE 5.

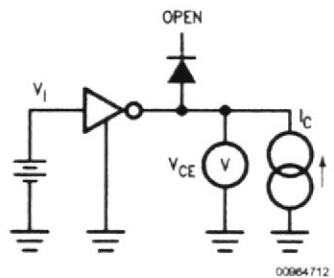


FIGURE 6.

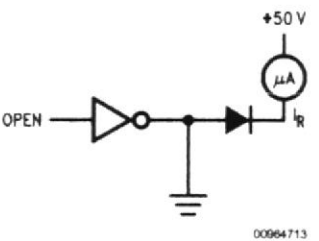


FIGURE 7.

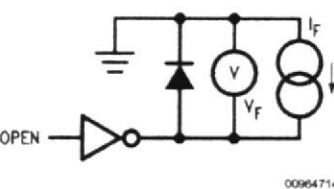


FIGURE 8.

Notes

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
Americas
Email: support@nsc.com

www.national.com

National Semiconductor Europe

Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group

Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.

Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

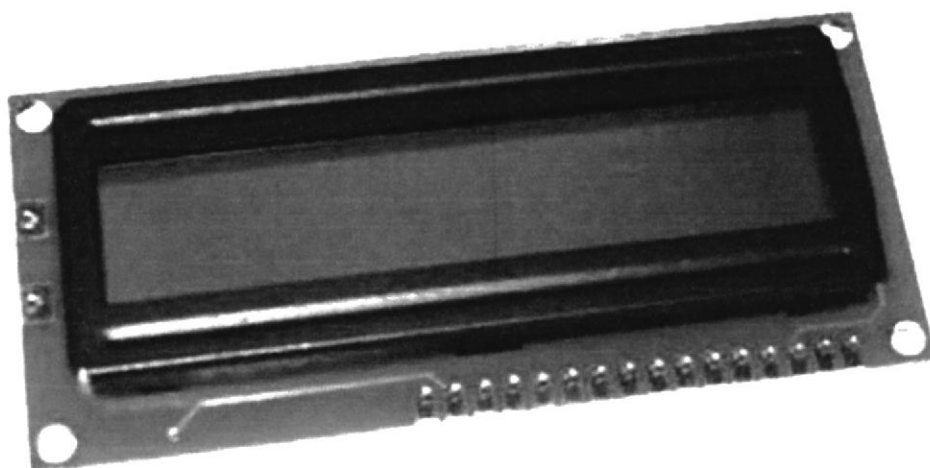
ANEXO A-3:
LCD 2X16



2x16 LCD Module

DATA SHEET

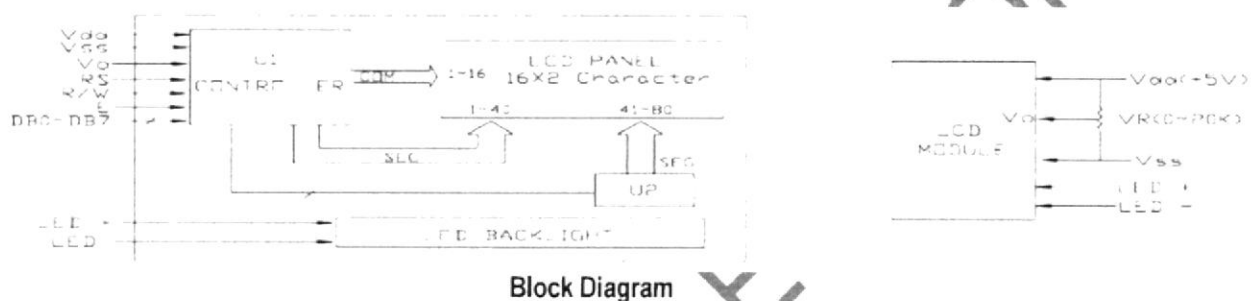
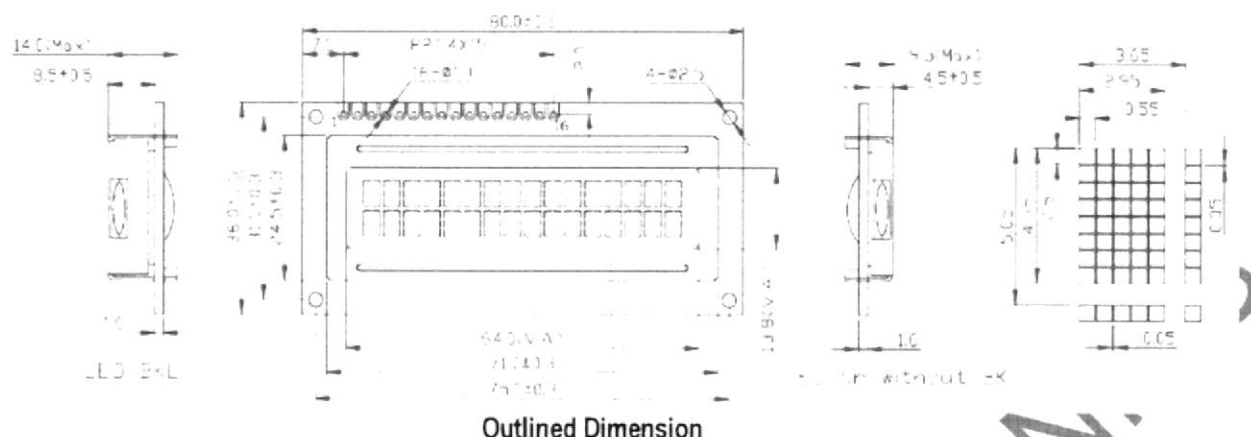
RoHS
Leadfree Soldering
VICS



Specifications:

Display Format	: 16 characters (W) x 2 lines (H)
General Dimensions	: 80.0 mm (W) x 36.0 mm (H) x 9.5 mm (T)
Character Size	: 2.95 mm (W) x 4.35 mm (H)
Character Pitch	: 3.65 mm (W) x 5.05 mm (H)
Viewing Area	: 64.0 mm (W) x 13.8 mm (H)
Dot Size	: 0.55 mm (W) x 0.50 mm (H)
Dot Pitch	: 0.60 mm (W) x 0.55 mm (H)
Display Type	: Positive or Negative
LC Fluid	: STN Yellow-Green
Backlight LED	: Optional
Polarizer Mode	: Reflective
View Angle	: 6 o'clock or 12 o'clock
Controller	: S6A0069 or Equivalent
Temperature Range	: 0°C to 50°C (Operating); -20°C to 70°C (Storage)

Diagrams:



Pin Connections:

Pin Number	Symbol	Function
1	Vss	Ground for Logic
2	Vdd	Power Supply for Logic
3	Vo	Power Supply for LCD
4	RS	Register Selection (H: Data, L: Instruction)
5	RW	Read/Write Selection (H: Read, L: Write)
6	E	Enable Signal
7-14	DB0 - DB7	Data Bus Lines
15	A	BKL +
16	K	BKL -

Electrical Characteristics:

Item	Symbol	Test Condition	Minimum	Typical	Maximum
Operating Voltage (V)	Vdd	Ta=25 °C	-	5.0	-
Operating Voltage for LCD (V)	Vlcd	Ta=25 °C	-	4.5	-
Current Supply (mA)	Idd	Ta=25 °C, Vdd=5.0V	-	2.0	3.0
Voltage Supply for LED (V)	Vf	Ta=25 °C, R=6.8Ω	-	4.2	-
Current Supply for LED (mA)	If	Ta=25 °C, Vf=4.2V	-	110	-

ANEXO A-4:

DATASHEET: DIODO 1N4001 – 1N4007



1N4001 - 1N4007

1N4001-1N4007

Features

- Low forward voltage drop.
- High surge current capability.



DO-41

COLOR BAND DENOTES CATHODE

General Purpose Rectifiers (Glass Passivated)

Absolute Maximum Ratings*

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current, 375 " lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Device							Units
		4001	4002	4003	4004	4005	4006	4007	
V_F	Forward Voltage @ 1.0 A	1.1							V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 75^\circ\text{C}$	30							μA
I_R	Reverse Current @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	5.0 500							μA μA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$	15							pF

Typical Characteristics

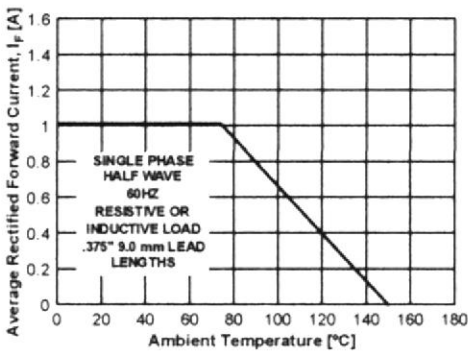


Figure 1. Forward Current Derating Curve

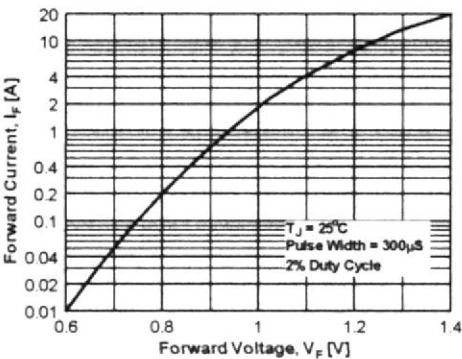


Figure 2. Forward Voltage Characteristics

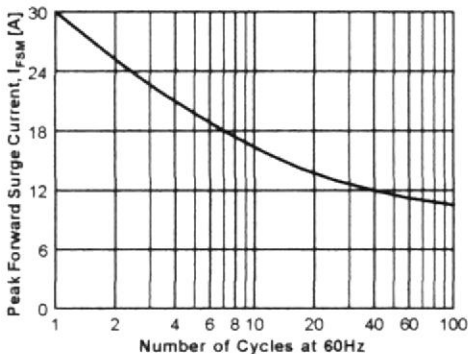


Figure 3. Non-Repetitive Surge Current

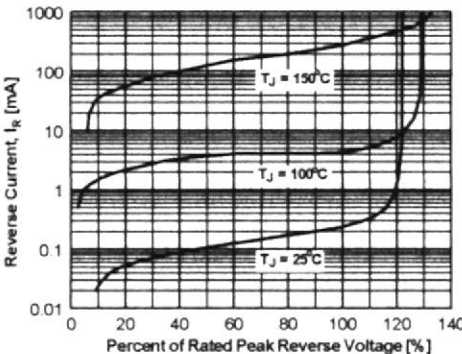


Figure 4. Reverse Current vs Reverse Voltage

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE [™]	FAST [®]	OPTOLOGIC [™]	SMART START [™]	VCX [™]
Bottomless [™]	FAST [™]	OPTOPLANAR [™]	STAR*POWER [™]	
CoolFET [™]	FRFET [™]	PACMAN [™]	Stealth [™]	
CROSSVOLT [™]	GlobalOptoisolator [™]	POP [™]	SuperSOT [™] -3	
DenseTrench [™]	GTO [™]	Power247 [™]	SuperSOT [™] -6	
DOVE [™]	HiSeC [™]	PowerTrench [®]	SuperSOT [™] -8	
EcoSPARK [™]	ISOPPLANAR [™]	QFET [™]	SyncFET [™]	
E ² CMOS [™]	LittleFET [™]	QS [™]	TinyLogic [™]	
EnSigna [™]	MicroFET [™]	QT Optoelectronics [™]	TruTranslation [™]	
FACT [™]	MicroPak [™]	Quiet Series [™]	UHC [™]	
FACT Quiet Series [™]	MICROWIRE [™]	SILENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]	

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

ANEXO A-5:

**DATASHEET: TRANSISTOR TIP120, TIP121, TIP122,
TIP125, TIP126, TIP127.**





TIP120, TIP121, TIP122 TIP125, TIP126, TIP127

Complementary power Darlington transistors

Features

- Low collector-emitter saturation voltage
- Complementary NPN - PNP transistors

Applications

- General purpose linear and switching

Description

The devices are manufactured in planar technology with "base island" layout and monolithic Darlington configuration. The resulting transistors show exceptional high gain performance coupled with very low saturation voltage.

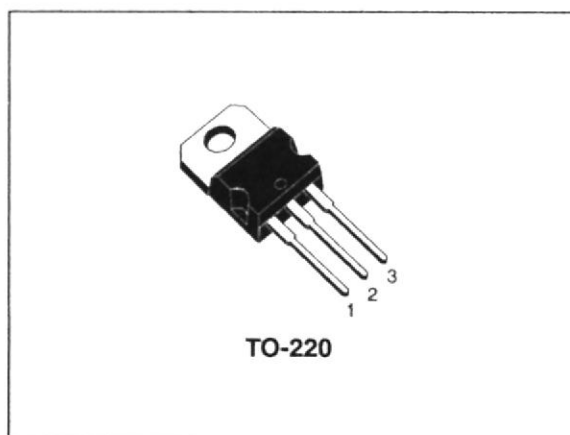


Figure 1. Internal schematic diagrams

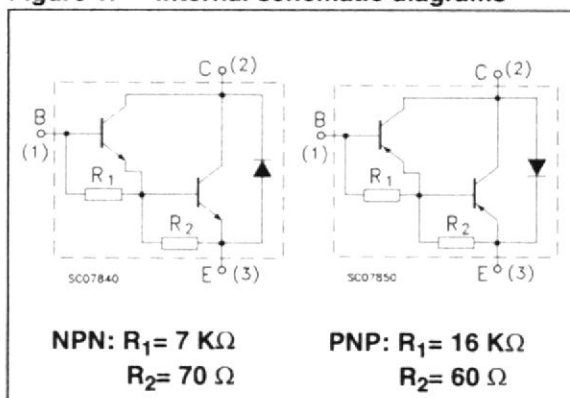


Table 1. Device summary

Order codes	Marking	Package	Packaging
TIP120	TIP120	TO-220	Tube
TIP121	TIP121		
TIP122	TIP122		
TIP125	TIP125		
TIP126	TIP126		
TIP127	TIP127		

Content

1	Electrical ratings	3
2	Electrical characteristics	4
	2.1 Electrical characteristics (curves)	5
3	Test circuits	7
4	Package mechanical data	8
5	Revision history	11

1 Electrical ratings

Table 2. Absolute maximum rating⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Value				Unit
		NPN	TIP120	TIP121	TIP122	
		PNP	TIP125	TIP126	TIP127	
V_{CBO}	Collector-base voltage ($I_E = 0$)	60	80	100		V
V_{CEO}	Collector-emitter voltage ($I_B = 0$)	60	80	100		V
V_{EBO}	Emitter-base voltage ($I_C = 0$)	5				V
I_C	Collector current	5				A
I_{CM}	Collector peak current	8				A
I_B	Base current	0.12				A
P_{TOT}	Total dissipation at $T_c \leq 25\text{ °C}$	65				W
	$T_{amb} \leq 25\text{ °C}$	2				
T_{stg}	Storage temperature	-65 to 150				°C
T_J	Max. operating junction temperature	150				

1. For PNP types voltage and current values are negative.

Table 3. Thermal data

Symbol	Parameter	Value	Unit
$R_{thj-case}$	Thermal resistance junction-case max.	1.92	°C/W
$R_{thj-amb}$	Thermal resistance junction-ambient max.	62.5	

2 Electrical characteristics

($T_{\text{case}} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; unless otherwise specified)

Table 4. Electrical characteristics⁽¹⁾

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CEO}	Collector cut-off current ($I_{\text{B}} = 0$)	for TIP120/125 $V_{\text{CE}} = 30\text{ V}$ for TIP121/126 $V_{\text{CE}} = 40\text{ V}$ for TIP122/127 $V_{\text{CE}} = 50\text{ V}$			0.5 0.5 0.5	mA mA mA
I_{CBO}	Collector cut-off current ($I_{\text{B}} = 0$)	for TIP120/125 $V_{\text{CE}} = 60\text{ V}$ for TIP121/126 $V_{\text{CE}} = 80\text{ V}$ for TIP122/127 $V_{\text{CE}} = 100\text{ V}$			0.2 0.2 0.2	mA mA mA
I_{EBO}	Emitter cut-off current ($I_{\text{C}} = 0$)	$V_{\text{EB}} = 5\text{ V}$			2	mA
$V_{\text{CEO(sus)}}^{(2)}$	Collector-emitter sustaining voltage ($I_{\text{B}} = 0$)	$I_{\text{C}} = 30\text{ mA}$ for TIP120/125 for TIP121/126 for TIP122/127	60 80 100			V V V
$V_{\text{CE(sat)}}^{(2)}$	Collector-emitter saturation voltage	$I_{\text{C}} = 3\text{ A}$ $I_{\text{B}} = 12\text{ mA}$ $I_{\text{C}} = 5\text{ A}$ $I_{\text{B}} = 20\text{ mA}$			2 4	V V
$V_{\text{BE(on)}}^{(2)}$	Base-emitter on voltage	$I_{\text{C}} = 3\text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 3\text{ V}$			2.5	V
$h_{\text{FE}}^{(2)}$	DC current gain	$I_{\text{C}} = 0.5\text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 3\text{ V}$ $I_{\text{C}} = 3\text{ A}$ $V_{\text{CE}} = 3\text{ V}$	1000 1000			

1. For PNP types voltage and current values are negative.

2. Pulsed duration = 300 μs , duty cycle $\leq 2\%$

2.1 Electrical characteristics (curves)

Figure 2. Safe operating area

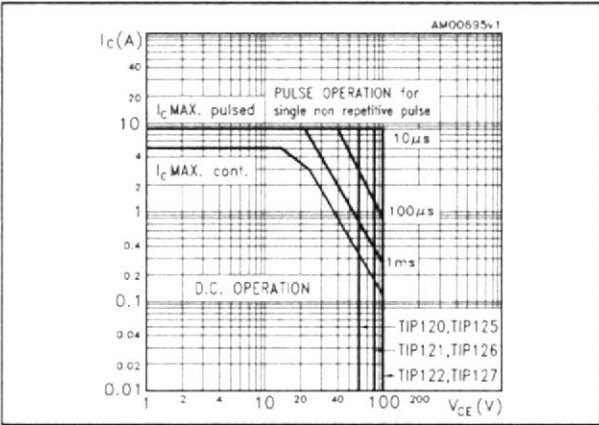


Figure 3. Derating curve

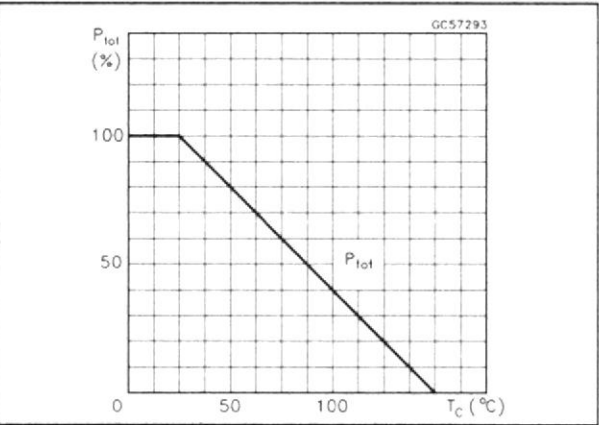


Figure 4. DC current gain for NPN type

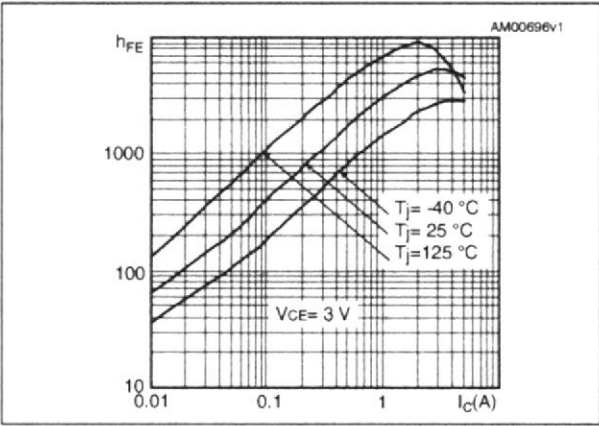


Figure 5. DC current gain for PNP type

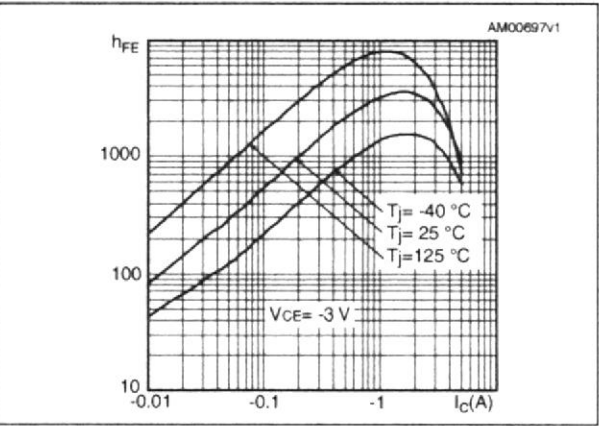


Figure 6. Collector-emitter saturation voltage for NPN type

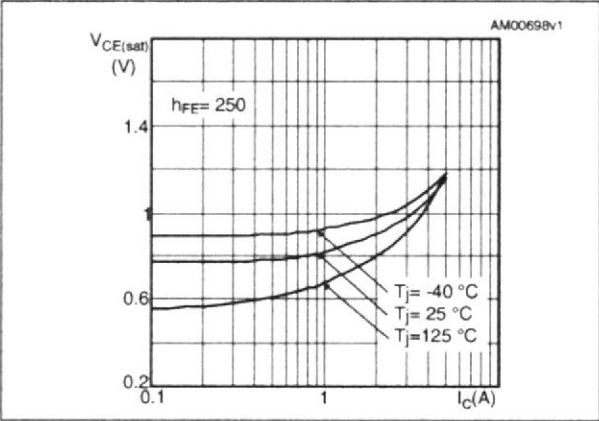


Figure 7. Collector-emitter saturation voltage for PNP type

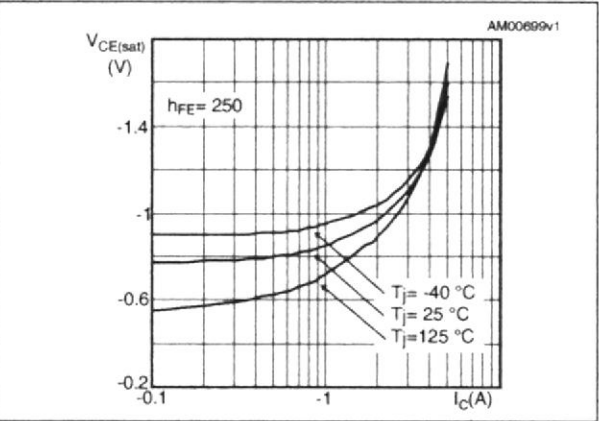


Figure 8. Base-emitter saturation voltage for NPN type

Figure 9. Base-emitter saturation voltage for PNP type

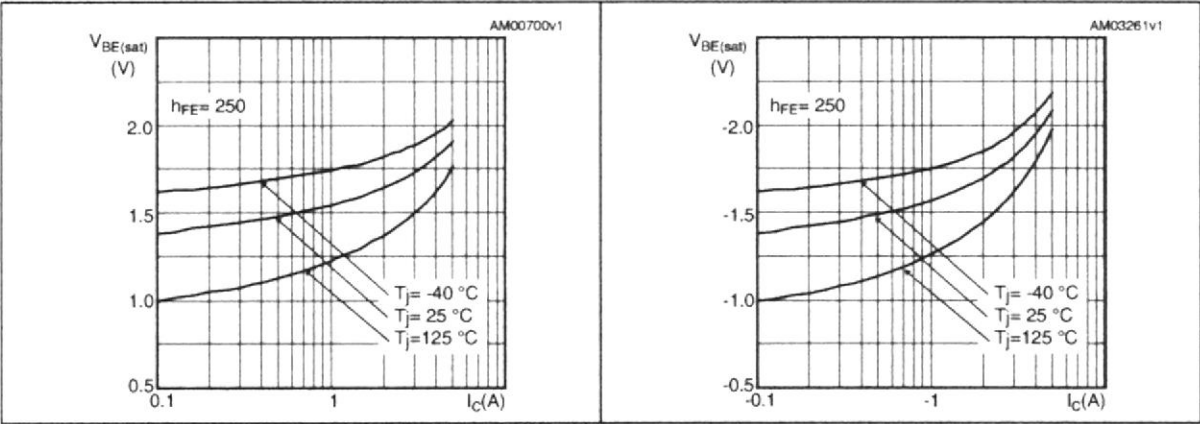


Figure 10. Base-emitter on voltage for NPN type

Figure 11. Base-emitter on voltage for PNP type

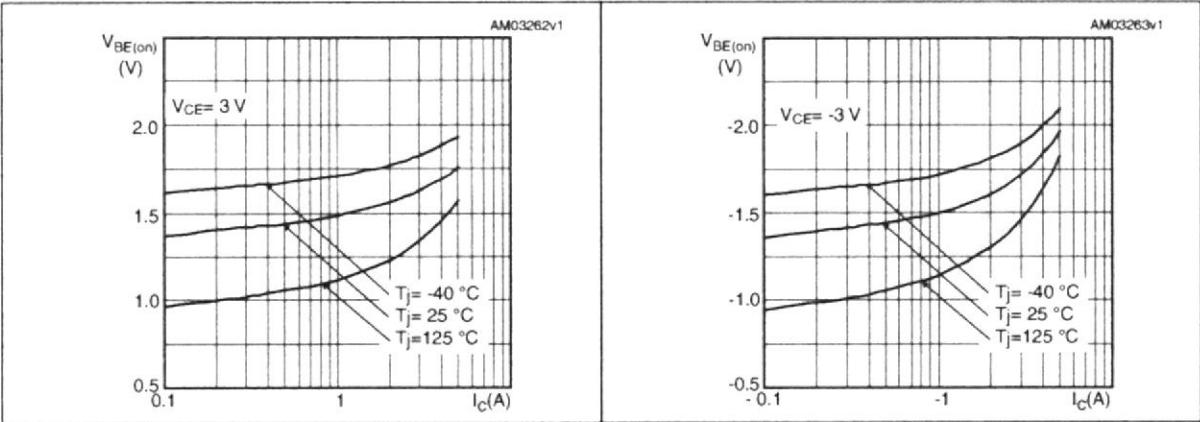


Figure 12. Switching time on resistive load for NPN type (on)

Figure 13. Switching time on resistive load for PNP type (on)

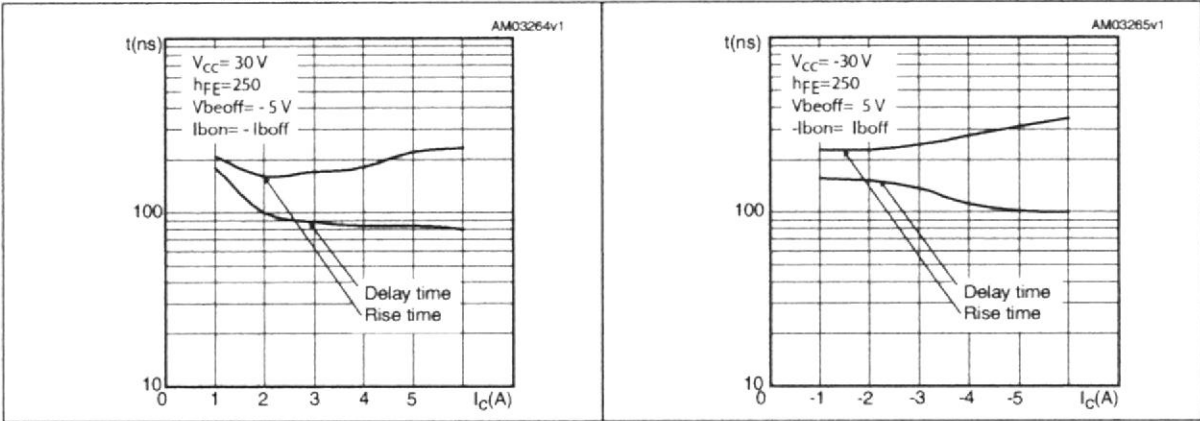


Figure 14. Switching time on resistive load for NPN type (off) Figure 15. Switching time on resistive load for PNP type (off)

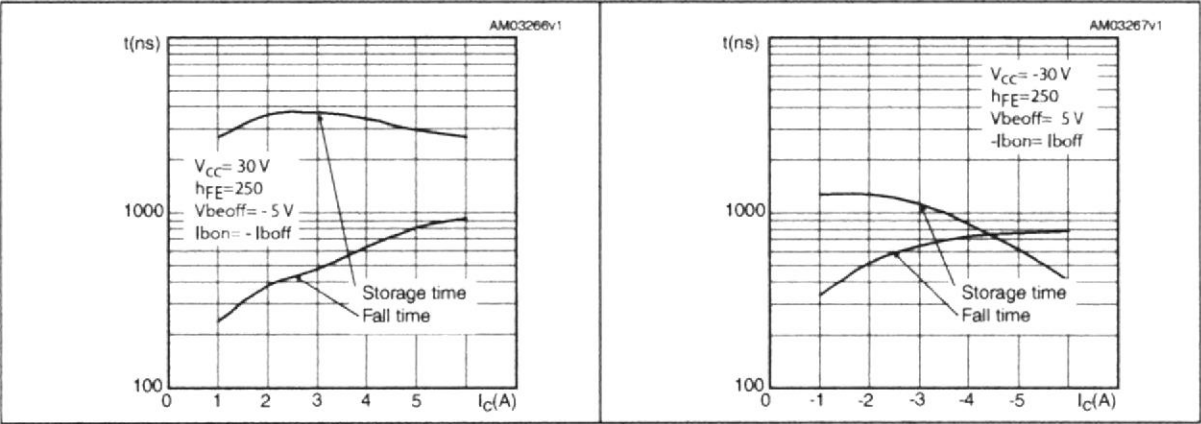
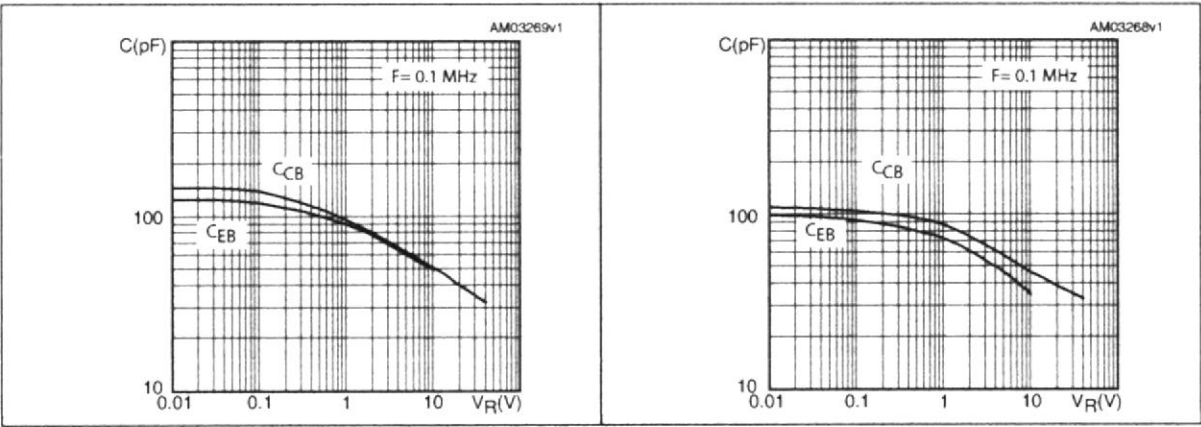


Figure 16. Capacitances for NPN type Figure 17. Capacitances for PNP type



3 Test circuits

Figure 18. Resistive load switching for NPN type

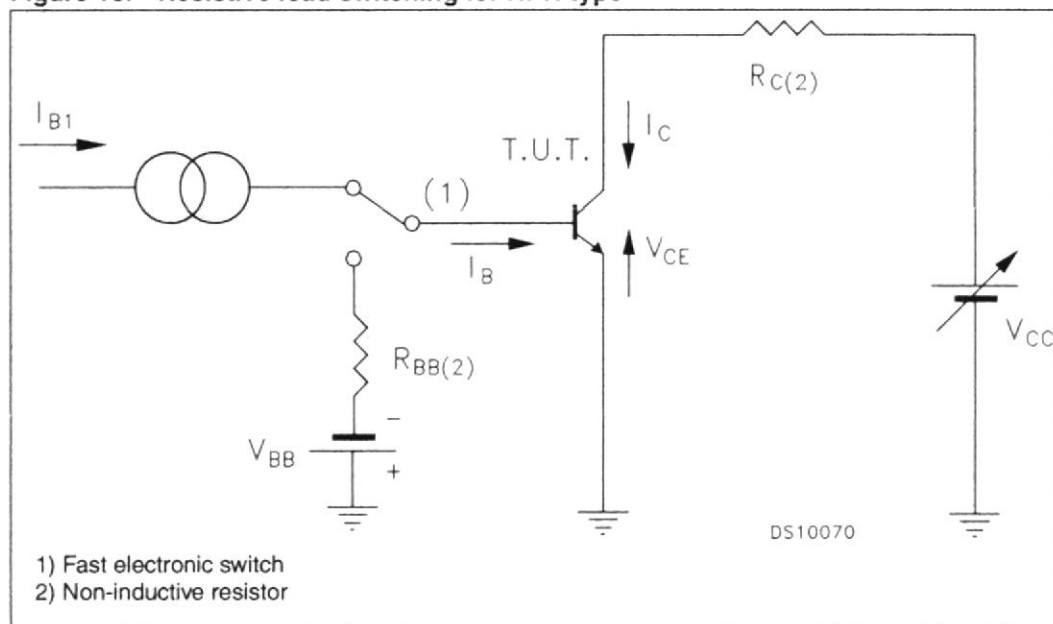
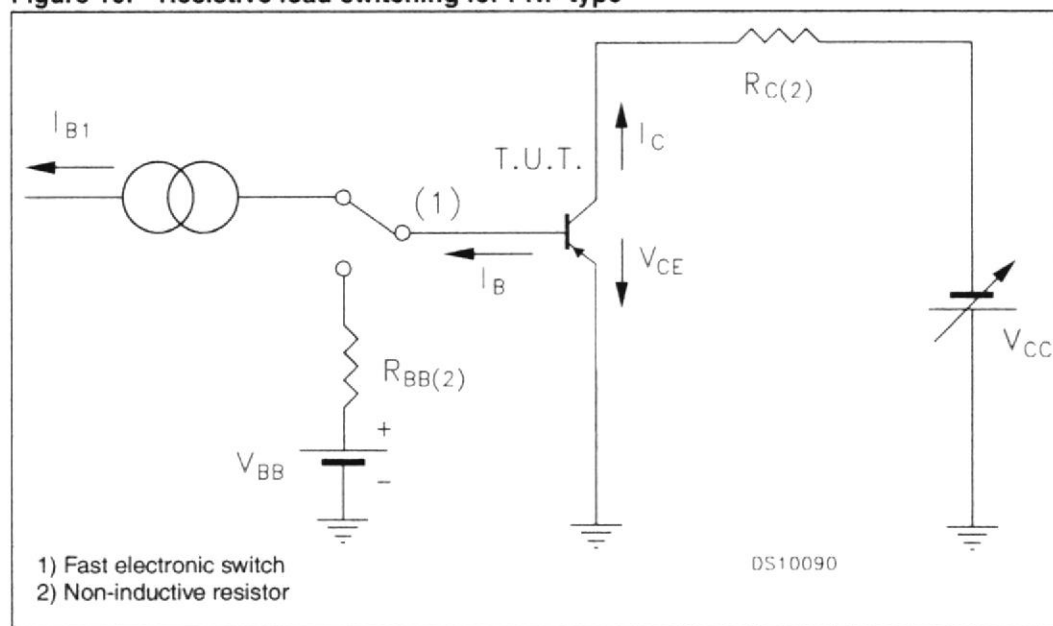


Figure 19. Resistive load switching for PNP type

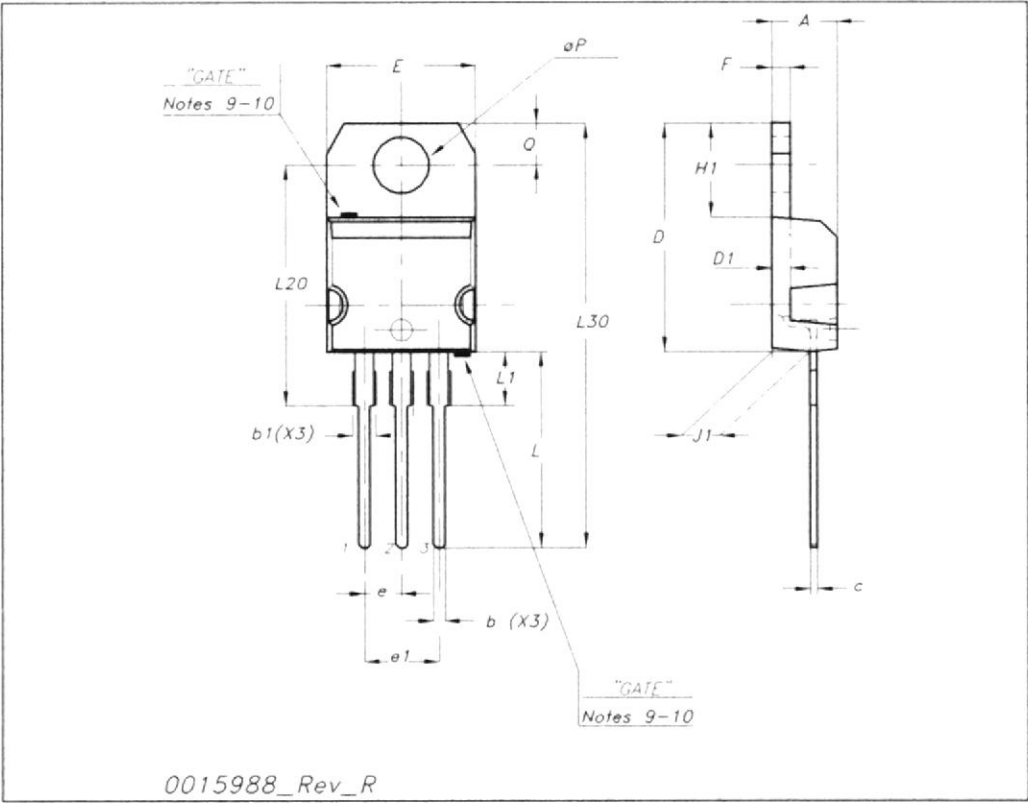


4 Package mechanical data

In order to meet environmental requirements, ST offers these devices in ECOPACK® packages. These packages have a lead-free second level interconnect . The category of second level interconnect is marked on the package and on the inner box label, in compliance with JEDEC Standard JESD97. The maximum ratings related to soldering conditions are also marked on the inner box label. ECOPACK is an ST trademark. ECOPACK specifications are available at: www.st.com

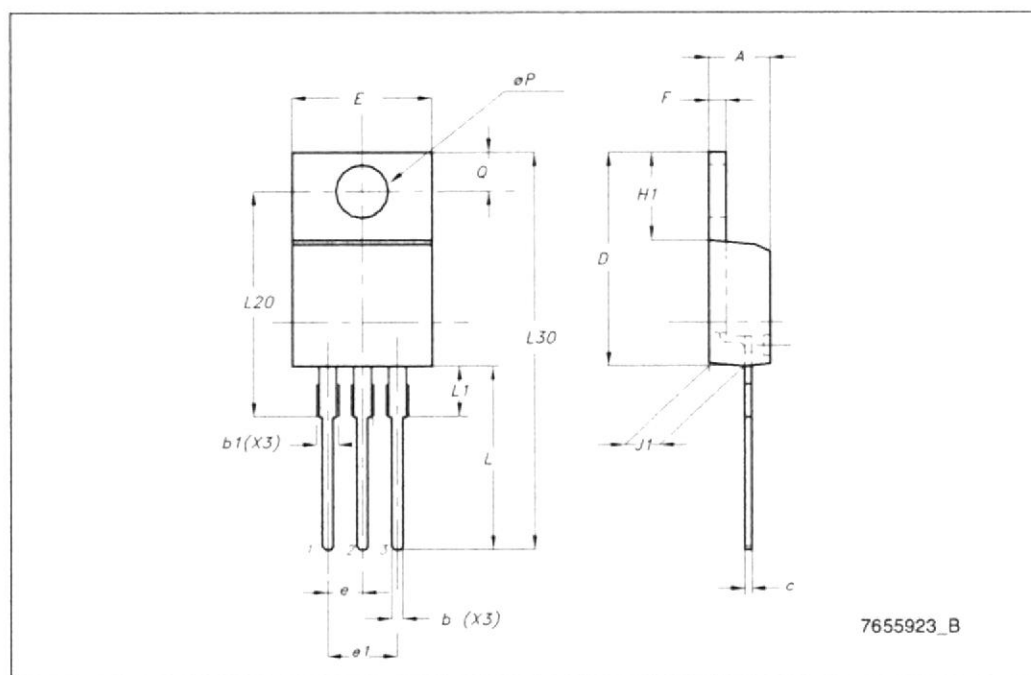
TO-220 mechanical data

Dim	mm			inch		
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max
A	4.40		4.60	0.173		0.181
b	0.61		0.88	0.024		0.034
b1	1.14		1.70	0.044		0.066
c	0.48		0.70	0.019		0.027
D	15.25		15.75	0.6		0.62
D1		1.27			0.050	
E	10		10.40	0.393		0.409
e	2.40		2.70	0.094		0.106
e1	4.95		5.15	0.194		0.202
F	1.23		1.32	0.048		0.051
H1	6.20		6.60	0.244		0.256
J1	2.40		2.72	0.094		0.107
L	13		14	0.511		0.551
L1	3.50		3.93	0.137		0.154
L20		16.40			0.645	
L30		28.90			1.137	
ØP	3.75		3.85	0.147		0.151
Q	2.65		2.95	0.104		0.116



TO-220 type E mechanical data

DIM.	mm.		
	MIN.	TYP	MAX.
A	4.47		4.67
b	0.70		0.91
b1	1.17		1.37
c	0.31		0.53
D	14.60		15.70
E	9.96		10.36
e		2.54	
e1	4.98	5.08	5.18
F	1.17		1.37
H1	6.10		6.80
J1	2.52		2.82
L	12.70		13.80
L1	3.20		3.96
L20	15.21		16.77
øP	3.73		3.94
Q	2.59		2.89



5 Revision history

Table 5. Document revision history

Date	Revision	Changes
21-Jun-2004	3	
25-Nov-2008	4	Inserted new <i>Section 2.1: Electrical characteristics (curves)</i>

Please Read Carefully:

Information in this document is provided solely in connection with ST products. STMicroelectronics NV and its subsidiaries ("ST") reserve the right to make changes, corrections, modifications or improvements, to this document, and the products and services described herein at any time, without notice.

All ST products are sold pursuant to ST's terms and conditions of sale.

Purchasers are solely responsible for the choice, selection and use of the ST products and services described herein, and ST assumes no liability whatsoever relating to the choice, selection or use of the ST products and services described herein.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted under this document. If any part of this document refers to any third party products or services it shall not be deemed a license grant by ST for the use of such third party products or services, or any intellectual property contained therein or considered as a warranty covering the use in any manner whatsoever of such third party products or services or any intellectual property contained therein.

UNLESS OTHERWISE SET FORTH IN ST'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ST DISCLAIMS ANY EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY WITH RESPECT TO THE USE AND/OR SALE OF ST PRODUCTS INCLUDING WITHOUT LIMITATION IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (AND THEIR EQUIVALENTS UNDER THE LAWS OF ANY JURISDICTION), OR INFRINGEMENT OF ANY PATENT, COPYRIGHT OR OTHER INTELLECTUAL PROPERTY RIGHT.

UNLESS EXPRESSLY APPROVED IN WRITING BY AN AUTHORIZED ST REPRESENTATIVE, ST PRODUCTS ARE NOT RECOMMENDED, AUTHORIZED OR WARRANTED FOR USE IN MILITARY, AIR CRAFT, SPACE, LIFE SAVING, OR LIFE SUSTAINING APPLICATIONS, NOR IN PRODUCTS OR SYSTEMS WHERE FAILURE OR MALFUNCTION MAY RESULT IN PERSONAL INJURY, DEATH, OR SEVERE PROPERTY OR ENVIRONMENTAL DAMAGE. ST PRODUCTS WHICH ARE NOT SPECIFIED AS "AUTOMOTIVE GRADE" MAY ONLY BE USED IN AUTOMOTIVE APPLICATIONS AT USER'S OWN RISK.

Resale of ST products with provisions different from the statements and/or technical features set forth in this document shall immediately void any warranty granted by ST for the ST product or service described herein and shall not create or extend in any manner whatsoever, any liability of ST.

ST and the ST logo are trademarks or registered trademarks of ST in various countries.

Information in this document supersedes and replaces all information previously supplied.

The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics. All other names are the property of their respective owners.

© 2008 STMicroelectronics - All rights reserved

STMicroelectronics group of companies

Australia - Belgium - Brazil - Canada - China - Czech Republic - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States of America

www.st.com

ANEXO B: CODIGO FUENTE

A continuación se presenta el código fuente (programa para el microcontrolador PIC16F887), escrito en PIC C compiler.

```

*****
#include <16F887.h>           // libreria para el manejo del pic16f887
#include <delay.h>            // declara la frecuencia del cristal
#include <NOWDT,NOPUT,NOPROTECT,NOMCLR,INTRC_IO
#include <STDLIB.H>
#include <STRING.H>
#include <LCD.C>              // libreria para el manejo del LCD

***** Declaracion de Variables *****
int veces=0,n_desborde=1,primer_flanco=1,Derecha=2,direccion=2,opcion_ang=0,opcion_w=0,
    opcion_acept=0,paso_bobina_1=1,bandera=0,paso_bobina_2=8 ;
long delay=0,do_paso=0,did_paso=0,velocidad=0;
float RPM=0,Time=0,angulo=0,angulo_med=0,mayor=0;
***** Declaracion de Funciones *****
*****

***** Funcion para indicar el Encendido: Apagado *****
void led()
{
    output_high(PIN_C4);
    delay_ms(500);
    output_low(PIN_C4);
    delay_ms(500);
    output_high(PIN_C4);
}

***** Funcion para validar si se presiona el boton de Encendido *****

void OFF()
{
    if(input(PIN_B3)==1)
    {
        output_low(PIN_C4);
        while(input(PIN_B3)==1){}
        disable_interrupts(INT_EXT);
        lcd_putc("\f");
        reset_cpu();
    }
}

***** Funcion para validar si se presiona el boton de Encendido *****
void ON()
{
    if(input(PIN_B3)==0)
    {
        lcd_putc("\f");
        while(input(PIN_B3)==0){} }
    else{ while(input(PIN_B3)==1){} }
}

***** Funcion que envia una secuencia de direccion al motor *****
void Giro_1(long retardo )
{
    output_c(paso_bobina_1);
    delay_ms(retardo);
    rotate_left(&paso_bobina_1,1);
    if(bit_test(paso_bobina_1,4)==1)
    { paso_bobina_1=1;}
}

***** Funcion que envia una secuencia de direccion al motor *****
void Giro_2(long retardo )
{
    output_c(paso_bobina_2);
    delay_ms(retardo);
}

```

```

    if(bit_test(paso_bobina_2,0)==1)
    { paso_bobina_2=16;}
    rotate_right(&paso_bobina_2,1);
}
***** Funcion para setear todas la variables *****
void Set_Variables(void )
{ did_paso=0, do_paso=0, direccion=2, opcion_acept=0, angulo=0, velocidad=0, veces=0,
  Time=0, delay=0, RPM=0, primer_flanco=1, opcion_ang=0, angulo_med=0, bandera=0,
  mayor=0, opcion_w=0, paso_bobina_1=1, output_c(16), n_desborde=1, paso_bobina_2=8,
}
/***** Subrutinas de Interrupciones *****/
#INT_EXT //INTERRUPCION EXTERNA
void extern_interrupt(){
    veces++;
    //! if(input(PIN_B2)==1)
    //! { derecha=1;}
    //! else{ derecha=0; }

    if(veces==1)
    {
        if(primer_flanco==1)
        { set_timer1(0);
          primer_flanco=0;
          n_desborde=1;
        }
        else
        {
            Time=(get_timer1());
            set_timer1(0);
            if(n_desborde>1)
            { Time=(65536*(n_desborde-1))+Time;
              }
            n_desborde=1;
            if(bandera==0){ bandera=1;}
        }
    }
    else
    {
        Time=(get_timer1());
        set_timer1(0);
        if(n_desborde>1)
        { Time=(65536*(n_desborde-1))+Time;
          }
        n_desborde=1;
        veces=0;
    }
    RPM=(1000000/(6*(Time)));
    if(RPM<=(velocidad))
    { if(bandera==1){ mayor=RPM; bandera=2; }
      if(RPM> mayor){ mayor=RPM;}
    }

clear_interrupt(INT_EXT); //Limpio la bandera de Interrupciones
}
*****
#INT_TIMER1 //INTERRUPCION TIMER1
void clock_isr() {
    n_desborde++;

```

```

clear_interrupt(INT_TIMER1); //Limpio la bandera de Interrucciones
set_timer1(0); //Carga de nuevo el Timer1 para generar la siguiente interrupcion con 3035 para
generar interrupciones cada 0.5segundo
}
/*****
//Inicio del programa principal
*****/
void main()
{
    set_tris_a(0b00000111); //Seteo los pines de PORTA como entrada o salida (1 Entrada 0 Salida)
    set_tris_b(0b11111111); //Seteo los pines de PORTB como entrada o salida (1 Entrada 0 Salida)
    set_tris_c(0b10000000); //Seteo los pines de PORTC como entrada o salida (1 Entrada 0 Salida)
    set_tris_d(0b00000000); //Seteo los pines de PORTD como entrada o salida (1 Entrada 0 Salida)
    set_tris_e(0b00001000); //Seteo los pines de PORTE como entrada o salida (1 Entrada 0 Salida)

    port_b_pullups(false); //Deshabilito las resistencias pullups del PORTB
    OUTPUT_D(0x00); //Seteo a 0 todas las salidas del PORTD
    OUTPUT_C(0x00); //Seteo a 0 todas las salidas del PORTC
    ON(); //Funcion que espera hasta que se presione el boton de Encendido/Apagado

    setup_adc(ADC_OFF); //Configuro el klok a utilizara para en convertidor ADC
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS); //Elijo que pin del port va a ser analogico como entrada para el
convertidor ADC

    set_timer1(0); //Carga de nuevo el Timer1 para generar la siguiente interrupcion con 3035 para
generar interrupciones cada 0.5segundo
    setup_timer_1 ( T1_INTERNAL | T1_DIV_BY_8 );

    ext_int_edge(L_TO_H);
    disable_interrupts (INT_EXT); // Habilita Interrupción Externa mediante RB0
    disable_interrupts(int_rda); // Desabilita Interrupción RDA
    disable_interrupts (INT_RB); // Desabilita Interrupción Externa por cambios RB5-RB7
    disable_interrupts (INT_TIMER1); //Habilito la interrupcion por desborde del TIMER1
    enable_interrupts(global); // Habilita interrupciones

    lcd_init(); //Inicializo LCD
    lcd_putc("\f Control "); //Funcion para imprimir una cadana de caracteres en la LCD
    led(); //Indicador de Estado (ON/OFF)
    lcd_putc("\n Motor Paso Paso");
    led();
    while(TRUE){
        OFF(); //Funcion que espera hasta que se presione el boton de Encendido/Apagado
        /***** Opcion Angulo *****/
        if(input(PIN_B4)==1) //Pregunto por el button de control de angulo
        { while(input(PIN_B4)==1){}
            opcion_ang=1;
            lcd_putc("\f");
        }
        if(opcion_ang==1)
        {
            if(input(PIN_B5)==1)//Pregunto por el button de control de Inc angulo
            { while(input(PIN_B5)==1){}
                angulo= angulo+ 3.6;
                lcd_putc("\f");
                do_paso++;
            }
            if(input(PIN_B6)==1)//Pregunto por el button de control de Dec angulo
            { while(input(PIN_B6)==1){}
                if(angulo>=3.6)

```

```

    {angulo= angulo - 3.6;
    lcd_putc("\f");
    do_paso--;
    }
}
lcd_gotoxy(1,1);
printf(lcd_putc,"A:%.2f%c",angulo,165);
}

/***** Opcion Velocidad *****/

if(input(PIN_B7)==1) // Pregunto por el button de control de Velocidad
{ while(input(PIN_B7)==1){}
  opcion_w=1;
  lcd_putc("\f");
}
if(opcion_w==1)
{
  if(input(PIN_A0)==1) // Pregunto por el button de control de Inc velocidad
  { while(input(PIN_A0)==1){}
    lcd_putc("\f");
    if(velocidad<60)
    { velocidad++; }
  }
  if(input(PIN_A1)==1) // Pregunto por el button de control de Dec velocidad
  { while(input(PIN_A1)==1){}
    lcd_putc("\f");
    if(velocidad>0)
    { velocidad--;}
  }
  lcd_gotoxy(1,2);
  printf(lcd_putc,"W:%ldrpm",velocidad);
}

/***** Opcion Aceptar *****/

if(input(PIN_A2)==1) // Pregunto por el button de control Aceptar
{ while(input(PIN_A2)==1){}
  if((velocidad>0)&&(angulo>0)&&(direccion!=2))
  { opcion_acept=1; }else{opcion_acept=0; }
}

/***** Opcion Direccion *****/

if(input(PIN_B1)==1) // Pregunto por el button de control de direccion para el motor
{ while(input(PIN_B1)==1){} // Espero a que suelte el button
  if(direccion==0 || direccion==2) // Variable para almacenar ordenes de direccion
  { direccion=1; }
  else if(direccion==1){ direccion=0; }
}
if(direccion==1)
{ lcd_gotoxy(8,2); lcd_putc("DER");

}
else if(direccion==0)
{ lcd_gotoxy(8,2); lcd_putc("IZQ");

}

/***** Opcion Aceptar *****/

if(opcion_acept==1) // Pregunto si ha presionado el boton aceptar y se ha ingresado todos los datos
{
  enable_interrupts(INT_EXT);
  enable_interrupts(INT_TIMER1);
}

```

```

//!   if(velocidad >=10){ delay=((3248 - (58*velocidad))/46); }
//!   else { delay=((6644 - (604*velocidad))/9); }//   (58*(56-velocid))/46
delay=(30000/(45*velocidad));
do{
    if(direccion==1){
        Giro_1(delay);
        did_paso++;
        angulo_med=angulo_med+3.6;

    }
    else if(direccion==0) {
        Giro_2(delay);
        did_paso++;
        angulo_med=angulo_med+3.6;

    }
} while(did_paso!=do_paso);

lcd_gotoxy(10,1);
printf(lcd_putc,"A:%.2f%c",angulo_med,165);
lcd_gotoxy(11,2);
printf(lcd_putc,"W:%.2frpm",mayor);

Set_Variables();
disable_interrupts(INT_EXT);
disable_interrupts(INT_TIMER1);

}
}
}

```


ANEXO C:

Fabricación Físicamente de placa del circuito electrónico (Figura 3-19) del presente proyecto y de la fuente de alimentación (Figura 3-50) en forma casera por transferencia térmica.



ANEXO C-1:

Pasos utilizados en la Fabricación Físicamente de la placa del circuito electrónico (Figura 3-19) del presente proyecto y de la fuente de alimentación (Figura 3-50)

Para empezar a fabricar físicamente de la placa del circuito electrónico (Figura 3-19) primero realizamos su circuito pcb (Figura 2-45) en el software ARES para proceder a pasar su circuito pcb a la baquelita, con los siguientes materiales que tenemos a disposición:

MATERIALES:

Baquelita virgen de 2 caras de 146mmX94mm (Figura 3-53)

Hoja de papel fotográfico tipo GLOSSY A4

Plancha (las que se usan para planchar la ropa)

Lustre para limpiar la película de protección que viene en la baquelita

Broca 1mm

Acido ferrico

Recipiente

Una vez listo los materiales empezamos con manos a la obra

MANOS A LA OBRA:

1. Imprimimos su circuito pcb (Figura 2-49) en una impresora “LASER” tal como se explica en la **sección 2.2.1.1.1** (no se debe usar impresora a tinta) ya que el método a seguir se llama transferencia térmica.
2. Una vez impreso vamos a pasar nuestra imagen del circuito a la baquita.
3. Limpiamos la película de protección de la baquelita con un lustre hasta que quede brillante.
4. Recortar o utilizar la baquelita a una medida un poco mayor a la del circuito impreso (la baquelita virgen de 2 caras de 146mmX94mm que hemos utilizado es un poco mayor a la del circuito PCB del circuito electrónico, Figura 2-49).
5. Sobreponemos el papel con la baquelita virgen de 2 caras de 146mmX94mm (Figura 3-53) y sujetamos con cinta transparente.
6. Encendemos la plancha y la ponemos a la máxima temperatura.
7. Procedemos a planchar, en los primeros momentos mantenemos por unos 15 seg la plancha sobre el papel para asegurarnos que no se deslice luego de ello hacemos ligeros movimientos hasta estar seguros de haber cubierto todas las áreas hacemos esto por unos 5 min (el tiempo puede variar de acuerdo al tamaño del circuito).

8. Una vez planchado llevamos la baquelita a una tina de agua y la sumergimos (con esto hacemos que la hoja se empape y quede la impresión sobre la baquelita) esperamos unos minutos y vamos retirando el papel suavemente.
9. Podremos apreciar que la impresión va quedando en la baquelita y limpiamos con un cepillo los restos de papel que estén por ahí.
10. Si en el caso de que se llegue a perder una línea se puede arreglar con un marcador indeleble la falla.
11. Preparamos el ácido férrico con agua hasta una medida donde pueda cubrir la baquelita en nuestro recipiente.
12. Sumergimos la baquelita en el ácido, hacemos movimientos para que el líquido este corriendo por todas partes.
13. Esperamos hasta que el ácido se halla comido la parte que no es circuito.
14. Limpiamos, perforamos donde van los elementos, luego montamos o soldamos todos sus elementos y tenemos listo la Placa del circuito impreso perteneciente al circuito electrónico del presente proyecto (Figura 3-63).

ANEXO C-2:

Pasos utilizados en la Fabricación Físicamente de placa del circuito electrónico de la fuente de alimentación (Figura 3-50)

Para empezar a fabricar físicamente de la placa del circuito electrónico de la fuente de alimentación (Figura 3-19) primero realizamos su circuito pcb (Figura 2-45) en el software ARES para proceder a pasar su circuito pcb a la baquelita, con los siguientes materiales que tenemos a disposición:

MATERIALES:

Baquelita virgen de 1 cara de 100mmX84mm (Figura 3-58)
Hoja de papel fotográfico tipo GLOSSY A4
Plancha (las que se usan para planchar la ropa)
Lustre para limpiar la película de protección que viene en la baquelita
Broca 1mm
Acido ferrico
Recipiente

Una vez listo los materiales empezamos con manos a la obra

MANOS A LA OBRA:

1. Imprimimos su circuito pcb (Figura 3-62) en una impresora “LASER” tal como se explica en la **sección 2.2.1.1.1** (no se debe usar impresora a tinta) ya que el método a seguir se llama transferencia térmica.
2. Una vez impreso vamos a pasar nuestra imagen del circuito a la baquita.
3. Limpiamos la película de protección de la baquelita con un lustre hasta que quede brillante.
4. Recortar o utilizar la baquelita a una medida un poco mayor a la del circuito impreso (la baquelita virgen de 1 caras de 100mmX84mm que hemos utilizado es un poco mayor a la del circuito PCB del circuito de la fuente de alimentación, Figura 3-19).
5. Sobreponemos el papel con la baquelita virgen de 1 cara de 146mmX94mm (Figura 3-58) y sujetamos con cinta transparente, luego realizar los pasos 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 y 13 del **ANEXO C-1**.
6. Limpiamos, perforamos donde van los elementos y tenemos listo la Placa del circuito impreso perteneciente al circuito electrónico de la fuente de alimentación (Figura 3-68).

ANEXO D:

La identificación de los cables de los leds y fototransistores que se encuentran internamente en la capsula del sensor infrarrojo optoacoplado de ranura L7849/TI

