

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Eléctrico

*Título:
Aplicación de los
microcontroladores en la regulación de
velocidad de motores de corriente directa*

***Autora: Adelquis Macey Tamayo.
Tutor: MSc. Oscar Wilfredo Peña
Guilarte.***

Moa, 2015

"Año 57 de la Revolución"





Declaración de Autoría.

En decisión conjunta, el autor Adelquis Macey Tamayo y el tutor MSc. Oscar Wilfredo Peña Guilarte, certificamos como nuestra propiedad intelectual este Trabajo de Diploma con el título: Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa, donde el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, podrá hacer uso del mismo, para fines docentes y educativos.

Para que así conste se firma la presente a los__ días del mes de Junio de 2015.

Firma del autor.

Firma del tutor.



Agradecimientos.

A mis padres por sus consejos y bendiciones, cada herramienta y cada enseñanza que me han dado me han permitido desarrollarme y ser mejor persona cada día.

A mis amigos casi hermanos de toda la vida que han estado pendientes de mí, dando su apoyo aún sin pedírselo.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias.

A mi novio por su compañía, paciencia y apoyo incondicional.

A mi tutor M.Sc Oscar W. Peña Guilarte que con sus sugerencias, confianza y lucha para conmigo me guió a realizar este sueño.

A mis compañeros de aula que han estado pendientes de mí, dando su apoyo aún sin pedírselo.

Quiero agradecer de forma muy especial a todas las personas que de una o de otra forma me brindaron de su apoyo, paciencia y consejos para terminar de forma exitosa este proyecto.



Dedicatoria.

Este trabajo está dedicado a una persona muy especial en mi vida que no se encuentra hoy entre nosotros, pero que sin él no sería posible haber llegado hasta aquí, donde quiera que estés Ariel Macey Tamayo gracias por haberme brindado la dirección adecuada para formarme espiritual, humana y profesionalmente, por estar en todo momento, por darme confianza y apoyo, valores que me impulsaron para finalizar una etapa más de mi carrera profesional.

Adelquis Macey Tamayo.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

Pensamiento.

“El mundo camina hacia la era electrónica... Todo indica que esta ciencia se constituirá en algo así como una medida del desarrollo; quien la domine será un país de vanguardia. Vamos a volcar nuestros esfuerzos en este sentido con audacia revolucionaria”

Ché.



Resumen.

En este trabajo se desarrolla un circuito de mando experimental, a base de microcontroladores, para la regulación de velocidad de motores de CD implicando varias técnicas tales como la variación del ángulo de disparo para tiristores (SCR) de un rectificador monofásico semicontrolado y la Modulación por Ancho de Pulso para regular tensión mediante un Chopper o troceador. El circuito fue diseñado y simulado en la herramienta de diseño Proteus y montado a nivel experimental sobre un Protoboard. El trabajo aborda los principales aspectos teóricos relacionados con la variación de velocidad de motores de corriente directa, incluyendo las diferentes formas de controlar los dispositivos de conmutación, describe además las principales características de los microcontroladores, los tiristores y los rectificadores, haciendo énfasis en el rectificador monofásico semicontrolado. Se definen los algoritmos a seguir para la implementación del control a través del microcontrolador 87C752, asimismo se muestran cada uno de los pasos seguidos en el montaje a nivel experimental. En el último capítulo se analizan los resultados obtenidos con los ensayos del montaje observando la semejanza con la simulación, finalmente se hace una evaluación técnica y económica de la investigación.



Summary.

At this work, it is developed an experimental control circuit, through microcontrollers, in order to regulate DC motor's speed applying many technics such as shot-degree variation to SCR in a semi controlled monophasic rectifier and Pulse-Wide Modulation to regulate tension through a Chopper. Circuit have been designed and simulated in design tool Proteus, then mounted experimentally on a Protoboard. This work aboard the main theory aspects related to DC motors speed variation, including different ways of control the switching devises, describes, besides, microcontroller's, SCR's and rectifier's main characteristics, emphasizing in semi controllers monophasic rectifiers. Algorithms to follow have been defined in order to implement control through microcontroller 87C752, same as each steep followed in experimental mounting level are shown. In last chapter tests obtained results are analyzed observing similitudes with simulation ones, finally investigations technical and economical evaluation is made.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

Tabla de contenido

Introducción.	1
CAPÍTULO I MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.	4
1.1 Introducción:.....	4
1.2 Estudio de trabajos precedentes.	4
1.3 Principales dispositivos de conmutación empleados para la regulación de velocidad de los motores de CD.....	7
1.4 Breve reseña del control de velocidad de los motores de corriente directa.	9
1.4.1 Técnicas de control empleadas para la variación de velocidad de motores de CD.....	11
1.4.2 Control de Armadura con Tiristor.....	12
1.4.3 Control a PWM.	13
1.5 Definición y aspectos generales de los rectificadores.	14
1.5.1 Rectificador semicontrolado.....	15
1.6 Características generales de los Microcontroladores.....	17
1.7 Características del Microcontrolador 87C752.....	17
1.8Conclusiones.....	18
CAPÍTULO II: Diseño, simulación e implementación del circuito de control para variación de velocidad.	19
2.1 Introducción.....	19
2.2 Características del control con microcontroladores.....	19
2.2.1 Ventajas de un controlador digital.....	20
2.2.2 Desventajas de un controlador digital.	20
2.2.3.....	21



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

2.3 Herramientas utilizadas para el diseño.	21
2.3.1 Proteus:	21
2.3.2 Keil uVision (MicroVision)	23
2.4 Programación de los microcontrolador.	23
2.4.1 Lenguaje Ensamblador.	23
2.4.2 Ventajas de Lenguaje Ensamblador.	24
2.5 Diseño y captura esquemática de la aplicación utilizando el proteus.	24
2.6 Bloques de fuerza.	24
2.7 Descripción de los principales bloques del circuito de control para ambas técnicas.	26
2.7.1 Detector de cruce por cero	27
2.7.2 Entradas analógicas y acondicionamiento de la señal.	28
2.7.3 Entradas digitales.	29
2.7.4 Circuito de disparo de los tiristores.	30
2.7.5 Control del troceador o chopper.	30
2.7.6 Circuito Oscilador.....	31
2.7.7 Circuito RESET.....	32
2.7.8 Display de Cristal Líquido (LCD).....	32
2.7.9 Circuito de disparo.	33
2.7.10 El Microcontrolador.	34
2.7.11 Fuente de alimentación.....	35
2.8 Algoritmos a seguir para el desarrollo de la programación del 87C752. .	36
2.9 Particularidades de la programación	40
2.10 Particularidades de la simulación.	41



*Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad
de motores de corriente directa*

2.10.1 Instrumentación virtual.....	42
2.11 Resultados de la simulación.....	42
2.12 Montaje experimental del circuito de control.	44
2.13 Conclusiones del capítulo.....	47
Capítulo III Análisis de los resultados y valoración económica.....	48
3.1 Introducción.....	48
3.2 Resultados de las pruebas realizadas.....	48
3.3 Valoración técnica.	51
3.5 Valoración económica	52
3.4 Cálculo económico	53
3.5 Impacto social.	54
3.6 Conclusiones del capítulo.....	54
CConclusiones Generales	55
Recomendaciones.	56
Referencia bibliográfica	57
Anexos.....	59



Introducción.

El desarrollo de habilidades prácticas es uno de los objetivos fundamentales que busca alcanzar el Ministerio de Educación Superior (MES) en los estudiantes, apoyado en las prácticas laborales y las prácticas de laboratorios, que debe implementar cada asignatura. La electrónica de potencia y la electrónica analógica son especialidades propias de la carrera ingeniería eléctrica las cuales han desarrollado en el centro varios trabajos enfocados en puestos para que los estudiantes realicen laboratorios prácticos. En ese sentido se ha prestado especial atención a la asignatura Aplicación de los Microcontroladores a la electroenergética la cual tiene un sin número de utilidades, incluyendo las de las asignaturas antes mencionadas. El desarrollo de la electrónica en general y específicamente la de potencia, ha alcanzado lugares importantes. Dispositivos tales como los Tiristores, Triac y los IGBT son altamente empleados tanto en el control de velocidad de motores de corriente directa (CD) y corriente alterna (CA) como en fuentes de alimentación regulables. La llegada de los microcontroladores al mercado ha permitido desarrollar circuitos muy pequeños y con aplicaciones muy seguros. Hoy en día el incremento competitivo en el mercado de la Industria Electrónica crea la necesidad de diseñar sistemas con mejores características, que sean, además, de menor tamaño, bajos requerimientos de energía y mejor realización; teniendo un especial énfasis sobre todo en la facilidad de duplicidad del sistema diseñado. Con el avance de la miniaturización todos los componentes que se requieren para ese sistema fueron llevados a un solo chip y así nacieron los Microcontroladores. En estos circuitos se pueden programar funciones que, de otra forma, con la circuitería tradicional de compuertas, utilizarían muchos componentes además del espacio físico de los mismos. Son dispositivos más versátiles que permiten llevar a cabo un sin número de aplicaciones. El estudio de estos dispositivos es de primordial importancia en la enseñanza superior



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

para estar a un nivel de información adecuado con la velocidad de avance de las nuevas tecnologías en el mundo.

Situación problemática.

Los microcontroladores tienen una amplia gama de aplicaciones y constituyen una variante inevitable a tener en cuenta cuando se busca reducir los costos por cantidad de dispositivos a utilizar y en consecuencia se reducen los costos por mantenimiento. La carrera de eléctrica cuenta con varios puestos de laboratorios que permiten consolidar los conocimientos prácticos en los estudiantes en diversas asignaturas tales como: la electrónica de potencia y la electrónica analógica, sin embargo la asignatura de Aplicación de los microcontroladores en la electroenergética carece de los mismos.

Problema

¿Cómo introducir a los microcontroladores en las aplicaciones que involucren regulación de velocidad de motores de CD por varias técnicas?

Objetivo general:

Desarrollar un circuito de mando experimental, a base de microcontroladores, para la regulación de velocidad de motores de CD que impliquen varias técnicas.

Hipótesis:

Si se implementa un circuito de mando experimental para la regulación de velocidad de motores de CD, empleando un microcontrolador, se estaría creando las bases para la aplicación de los mismos a la Electroenergética.

Objetivos específicos:

1. Investigar el estado del arte de las diferentes temáticas a tratar tales como variación de velocidad de los Motores de CD, Circuitos de control a



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

base de microcontroladores de accionamientos a fines a la investigación (rectificadores semicontrolados).

2. Diseñar, simular y realizar un montaje experimental del circuito de control del rectificador monofásico semicontrolado de onda completa, utilizando la herramienta de diseño Proteus.
3. Evaluar técnico y económicamente los resultados de la investigación.

Tareas:

- Diagnóstico del estado técnico de la instalación.
- Diseño y simulación del circuito de control empleando una herramienta de diseño.
- Montaje a nivel experimental del circuito propuesto.

Objeto de investigación:

Circuito de mando para la regulación de velocidad de motores de CD.

Campo de acción:

Disciplina de Electrónica.

Métodos de investigación:

- Histórico-lógico.
- Análisis-síntesis.
- Inductivo-deductivo.
- Sistémico-estructural.
- Análisis documental clásico.
- Modelación-Simulación-Experimento.



CAPÍTULO I MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.

1.1 Introducción:

En este capítulo se abordan los principales elementos teóricos sobre la regulación de velocidad de motores de corriente directa, partiendo de un profundo estudio del arte de la temática tratada. Se describen las principales características de los rectificadores, los microcontroladores y los tiristores.

1.2 Estudio de trabajos precedentes.

Para la confección de este trabajo se realizó un estudio de algunos proyectos donde se hace referencia a la regulación de velocidad de los motores de corriente directa, con la finalidad de ver como lograban el mismo los distintos autores y encontrar una manera factible de realizar este trabajo. A continuación se hace referencia a los mismos:

En la tesis de (Quinde, 1990) se realiza un sistema de rectificación controlada a base de tiristores; en el que se pueden probar diversas configuraciones de rectificadores de voltaje, así como regular la velocidad de un motor de corriente continua. Para ello se diseñó y construyó la tarjeta para producir seis pulsos de disparos para los tiristores (SCR) correspondientes. Se generan 2 pulsos por cada fase de control desfasados 180° entre sí, la variación del ángulo de disparo se consigue mediante un voltaje variable llamado “referencia”, la modulación de pulsos se hace necesaria para proveer al sistema de un método seguro para el disparo de los SCR. Este trabajo necesitó para su diseño, de muchos dispositivos electrónicos, ya que en los años noventa no existían los adelantos de hoy, por lo que se recomienda realizar un nuevo trabajo que tenga en cuenta los adelantos de ahora.

En la tesis de (Mendoza, 2003) se presenta el diseño y construcción de un sistema de control para regular el voltaje y la frecuencia de salida de una planta de energía. El accionamiento se realiza por medio de una banda y dos poleas.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

El sistema de control está basado en dos microcontroladores que se encarga de mantener el voltaje y la frecuencia en su valor. El trabajo esta bastante detallado y constituye una fuente de conocimiento a consultar sobre el tema.

En la tesis de (Guadalupe, 2006) se realizó el diseño y construcción de una interfaz electrónica para analizar los experimentos de control que constan de un circuito a base de amplificadores operacionales para generar una señal modulada en el ancho del pulso a partir de la comparación de la señal de control y una señal triangular de amplitud y frecuencia constante. En este trabajo los resultados fueron favorables y ayudan a la comprensión del comportamiento de un motor de CD variando la velocidad del mismo por PWM.

En la tesis de (Centeno., 2008) se desarrolló un sistema experimental para el control de movimientos de motores de corriente directa. El algoritmo base fue un controlador PI sintonizado para un desempeño óptimo. El sistema desarrollado permite, la identificación fuera de línea de los parámetros de la función de transferencia para controlar la velocidad de motores, corregir efectos de zona muerta y, eliminar el sobre impulso que se genera cuando un sistema de control trata de compensar variaciones de carga.

En la tesis de (Alvarado, 2009) se diseña y construye un vehículo eléctrico monoplaza, accionado por un sistema electrónico de potencia con el cual se regula la velocidad de un motor de CD. Se diseñó e implemento un convertidor de CD a CD basado en dispositivos semiconductores de potencia, un microcontrolador que en función de una comparación entre una señal de entrada de referencia y una señal triangular fija, genera diferentes señales PWM; la segunda etapa proporciona la energía suficiente para controlar la velocidad del motor de CD; la última es la encargada acoplamiento entre la etapa lógica y la etapa de potencia.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

En la tesis de (Pérez, 2010) se desarrolló el diseño de un sistema de control de velocidad de un motor de corriente continua basado en acelerómetros. En el trabajo realiza el diseño de un sistema de control que permite regular la velocidad de una maqueta de un tren eléctrico, accionado por un motor de corriente continua, en función de la aceleración normal que experimenta en cada instante. Dicho control fue implementado en un microcontrolador. El diseño del sistema de control, y su adecuación al tiempo discreto para su posterior desarrollo software e implantación en el microprocesador, fue basada en el SOTR FreeRTOS©. El trabajo está bastante completo y constituye una fuente de conocimientos a consultar.

En la tesis de (Berbesí, 2011) se controla un motor de acuerdo a la técnica de control de velocidad por PWM acción ejecutada por un microcontrolador PIC 16f877, el cual genera una señal de PWM que excita a los dispositivos de potencia y controla la velocidad y sentido de giro de los motores. La velocidad en revoluciones por minuto a la que se desea que el motor gire será introducida por un teclado matricial de 3 por 4, esta velocidad será mostrada en el LCD. Este trabajo se quedó en la parte experimental.

En la tesis de (Guapacha, 2013) se desarrolló una metodología para el aprendizaje de convertidores de corriente alterna (CA) a corriente directa (CD), se hace referencia al diseño e implementación del rectificador monofásico controlado, semicontrolado y no controlado, y el diseño e implementación de control de fase con sus respectivas variantes, este trabajo tiene como elemento principal el control del sistema on line (Internet, Cliente - Servidor) a través de software libre. Constituye un medio de enseñanza y está bastante completo.

En este trabajo se pretende diseñar, simular e implementar de manera experimental un circuito de control basado en microcontroladores, que permita la variación de velocidad de motor de CD empleando dos técnicas, la primera



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

es variar el ángulo de disparo de los tiristores de un rectificador monofásico semicontrolado de onda completa, en tanto que la segunda técnica consiste en generar una señal PWM para controlar un troceador o chopper. Se estudiará la vinculación de dispositivos semiconductores de potencia con el microcontrolador 87C752 aprovechando las facilidades que brinda el mismo, permitiendo definir varias aplicaciones de estos dispositivos a la electroenergética. Para la simulación del sistema propuesto se utilizarán varios software entre los que se encuentran: el Proteus, una herramienta que facilita el desarrollo de programa en los lenguajes de ensamblador o C, el lenguaje ensamblador será el que se usará en este trabajo, además del Keil uVision 3 que permite la depuración de errores en la programación del microcontrolador y facilita la simulación en conjunto con el Proteus. A continuación se **abordarán** algunos aspectos a tener en cuenta en la regulación de velocidad de motores de CD.

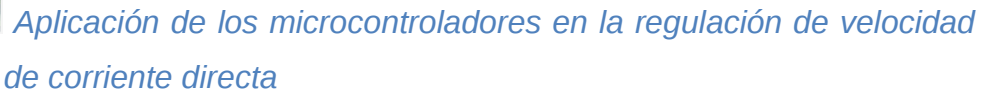
1.3 Principales dispositivos de conmutación empleados para la regulación de velocidad de los motores de CD.

Dentro de los principales dispositivos semiconductores empleados en las diferentes técnicas de control y regulación de la velocidad en motores CD se encuentran:

- El tiristor (SCR).
- El MOSFET.
- EL IGBT.
- Otros

MOSFET es un dispositivo controlado por voltaje que, requiere solo de una pequeña corriente de entrada. La velocidad de conmutación es muy alta siendo los tiempos de conmutación del orden de los nanosegundos.

IGBT tienen una amplia impedancia al igual que los MOSFET y bajas pérdidas de conducción en estado activo. No presentan problemas de ruptura secundaria.



8



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

Los modos de funcionamiento del SCR pueden ser:

- Todo o nada: para una señal de entrada, el SCR suprime algunos semiperíodos suministrando a la carga paquetes de semiondas.
- Ángulo de fase: se mantienen todos los semiperíodos, se suprime parte de cada uno de ellos (ángulo de bloqueo) y el resto se transmite a la carga (ángulo de conducción).

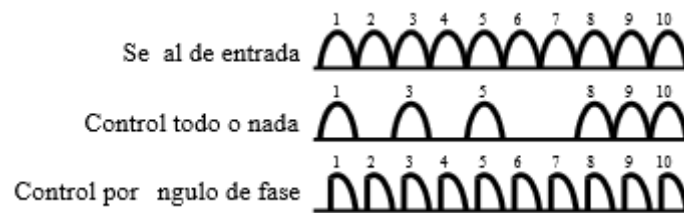


Figura 1.3 Modos de funcionamiento del tiristor.

1.4 Breve reseña del control de velocidad de los motores de corriente directa.

Tradicionalmente el motor de corriente continua (CC) ha sido más empleado en accionamientos que requerían y requieren una velocidad regulable. Inicialmente, y como ya se ha mencionado, la regulación se conseguía con ayuda de reóstatos y combinadores (controllers) que modificaban la resistencia de excitación (control del flujo) y del inducido. Un paso adelante representó la regulación Ward-Leonard, en la que el flujo del campo se mantenía constante (excitación independiente) y se aplicaba una tensión continua variable al inducido por medio de una combinación: motor de corriente alterna - dínamo. Con la llegada de los tiratrones e ignitrones en la década de 1930, en las máquinas pequeñas se sustituyeron los grupos Ward Leonard rotativos por sistemas estáticos que regulaban la tensión continua que se aplicaba a los inducidos de los motores. Al llegar el tiristor y conseguir un aumento en sus prestaciones (soportar mayores tensiones y corrientes) se ha conseguido realizar regulaciones de velocidad de motores de CC que llegan a potencias de hasta 10.000 kW. Fundamentalmente, el control de velocidad se realiza en la



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

parte de potencia, por medio de convertidores a tiristores controlados por fase (cuando la alimentación procede de CA) y también por medio de troceadores o «Choppers» (cuando la alimentación procede de CC). La regulación puede realizarse a par constante o a potencia constante y se emplea, en el caso de que se utilice el control de fase, convertidores de cuatro cuadrantes o duales (formados por dos puentes trifásicos completos que transforman la tensión trifásica de entrada en una tensión continua variable en magnitud y signo), que permiten la operación en sentido directo e inverso, aumentando la capacidad de frenado por recuperación de energía, lo que es importante en aplicaciones como trenes de laminación en acerías y papeleras y también en tracción eléctrica. En casos más simples, donde no se requiere inversión de velocidad, se emplean convertidores de uno o dos cuadrantes, y tales son las aplicaciones de regulación de velocidad de ventiladores, bombas centrífugas, cintas transportadoras, máquinas herramientas, etc. Cuando se emplean troceadores, que son convertidores CC a CC, la tensión constante de alimentación se conmuta rápidamente por medio de transistores, consiguiendo una señal de salida que se compone de trozos de la señal de entrada, lo que da lugar a una regulación del valor medio de la tensión de alimentación al motor. Cuando los tiempos de conducción y no conducción son variables, pero manteniendo constante el período total conducción no conducción, se dice que la regulación se realiza por modulación de la anchura de impulsos (PWM: Pulse Width Modulation). Cuando el tiempo de conducción es constante y el de no conducción es variable, se dice que la regulación se efectúa por modulación de la frecuencia. Este tipo de control de velocidad de motores de CC se realiza en los ferrocarriles metropolitanos, coches eléctricos, trolebuses, carretillas elevadoras alimentadas por acumuladores, etc. Con este sistema de regulación se ha logrado controlar máquinas de hasta 2.500 kW. El control de los impulsos de disparo de los tiristores es muy diverso; desde los casos más simples, que han utilizado UJT, hasta el control digital moderno por microprocesador, pasando por osciladores tipo PLL (phase-locked loop, es decir, con lazo de



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

amarre de fase). La ventaja de la regulación de velocidad en los motores de CC procede de que las fuerzas magnetomotrices del inductor y del inducido están a 90° (en la terminología habitual de estas máquinas se denomina al eje de los polos, eje directo "d", mientras que al eje de escobillas que se sitúa en la línea neutra a 90° eléctricos del anterior se le denomina eje en cuadratura "q"), es decir, están prácticamente desacopladas y no interaccionan entre sí, lo que permite un control independiente de ambas variables. Como quiera que el par de un motor de CC es proporcional al producto del flujo inductor por la corriente del inducido, al mantener el flujo inductor constante y modificar la corriente del inducido no se tendrán cambios en el campo y las variaciones en el par serán copia exacta de los cambios en la corriente del inducido. La desventaja de estos motores es que son más caros que los de CA y menos robustos que éstos en virtud de la existencia del colector de delgas, lo que se traduce en un mayor coste de mantenimiento. (Mora, 2003)

1.4.1 Técnicas de control empleadas para la variación de velocidad de motores de CD.

Los tres métodos más comunes para el control de la velocidad en motores de CD, son:

Ajuste del flujo de dispersión: se utiliza grandemente en los motores shunt cuando se requieren velocidades relativamente altas se realiza mediante la variación del reóstato intercalado en serie con el circuito excitador. Las pérdidas caloríficas en este método son mínimas. Las dificultades del mismo consisten en dificultades de conmutación y las características del desempeño de la máquina desde el punto de vista mecánico su estructura no le permite soportar valores de velocidad por encima de la nominal.

Ajustando de la resistencia asociada con el circuito de la armadura: se utiliza en motores shunt y serie cuando se requieren velocidades relativamente bajas consiste en intercalar varias resistencias externas en serie con el devanado de



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

armadura. Tiene como inconveniente que la regulación se logra suavemente existen grandes variaciones de velocidad con pequeños cambios en la carga cuando la resistencia intercalada en la armadura es de considerable magnitud.

Ajustando el voltaje en las terminales de la armadura: mediante este método se logra una amplia variación del voltaje, brinda la posibilidad de invertir el sentido del giro. Es el más eficiente porque no tiene pérdidas (Martínez., 1986). Esto se observa con mayor claridad es la ecuación 1.1.

$$n = \frac{v_t - I_a \cdot R_{arm}}{k\phi} \quad (1.1)$$

Dónde:

n es la velocidad del motor.

V_t voltaje en los terminales.

R_{arm} es la resistencia de la armadura.

k φ constante de flujo.

1.4.2 Control de Armadura con Tiristor.

En este caso el SCR (Sillicone Controlled Rectifier) puede hacer la mayor parte de las funciones de un reóstato, en el control de la corriente promedio de una carga sin las limitaciones de gran potencia. Estos son pequeños, poco costosos y eficientes en energía. Es natural acoplar el motor para control de armadura para la velocidad del motor. Según la figura 1.4 el SCR proporciona entonces rectificación de media onda y control al devanado de armadura. Si se da un temprano disparo del SCR, el voltaje y la corriente promedio de la armadura aumentan y el motor puede trabajar con más rapidez. Al disparar el SCR más tarde, se reducen el voltaje y la corriente promedio y el motor trabaja más lento. Además de este tipo de control se puede realizar de manera más compleja como es el caso de este trabajo que tratara el control del ángulo de disparo de



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

un rectificador semicontrolado para el control del voltaje de armadura de un motor de corriente directa. (Andrade)

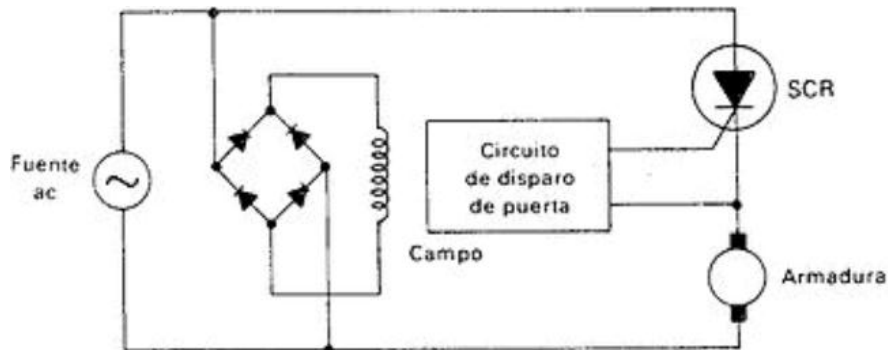


Figura 1.4 Control de motores de cd con un tiristor.

1.4.3 Control a PWM.

El control PWM se describe a continuación debido a su gran importancia en el campo de la automatización. Una señal PWM es una forma de onda digital binaria de una determinada frecuencia y ciclo de trabajo (duty cycle) variable. Un ejemplo típico de aplicación es el control PWM de potencia según se muestra en la figura 1.5, que se suele utilizar para el control de una lámpara incandescente o un motor DC. Si se considera que el nivel 0 representa OFF y el nivel 1 representa ON, la potencia que consume la carga será directamente proporcional a la duración del pulso. ("Control PWM de un motor DC con microcontroladores PIC," 2009)

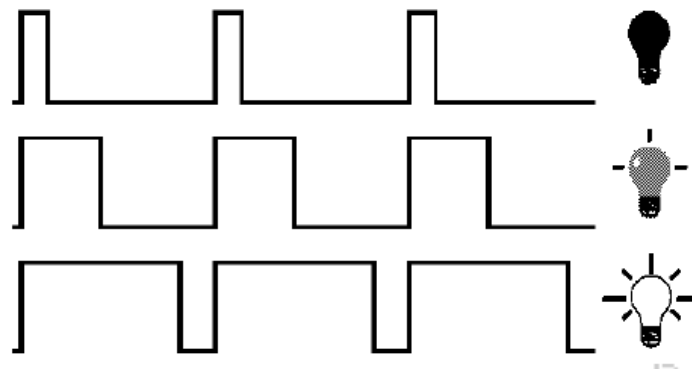


Figura 1.5 Control PWM de potencia.



1.5 Definición y aspectos generales de los rectificadores.

Los rectificadores o convertidores de CA a CC son dispositivos estáticos compuestos por elementos semiconductores que se alimentan directamente de la tensión alterna sinusoidal de la red y la transforma en tensión de corriente continua. En la figura 1.6 se observa el esquema del convertidor de CA a CD.



Figura 1.6 Esquema del convertidor de CA a CC.

Todas las configuraciones de puentes rectificadores se pueden clasificar según varios criterios:

–Según estén constituidos por diodos, diodos y tiristores o tiristores.

- Rectificadores no controlados: están constituidos por diodos únicamente y suministran una tensión unidireccional. El valor de esta tensión prácticamente es constante, pero queda afectada prácticamente por la naturaleza de la carga (inductiva, capacitiva) y la tensión de alimentación. Si se representa la característica tensión-corriente de salida de este puente rectificador, se obtiene una estrecha franja horizontal situada en el primer cuadrante.
- Rectificadores semicontrolados o híbridos: están formados por una determinada combinación de diodos y tiristores. Solamente pueden trabajar suministrando una tensión variable unidireccional, cubriendo el primer cuadrante del diagrama de tensión-corriente.
- Rectificadores completos o totalmente controlados: están formados por tiristores únicamente. Éstos a su vez, pueden clasificarse en simple y



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

doble puente, los cuales pueden trabajar en el primer y cuarto cuadrantes únicamente, o Modelado de un convertidor CA/CC trifásico para el análisis de la distorsión armónica bien en los cuatro cuadrantes, respectivamente. Es de observar que en los puntos de funcionamiento del primer y tercer cuadrantes la potencia va de la red a la carga, y en los segundos del segundo y cuarto cuadrantes la potencia va de la carga a la red.

- Según se alimenten de redes monofásica o trifásica, serán puentes rectificadores
 - monofásicos o trifásicos. En general, una fuente de CA es adecuada para rectificadores de 1 o 2 kW, pero para potencias más elevadas se utiliza normalmente una fuente de CA trifásica.
- Según se rectifiquen solamente los semiciclos positivos o se rectifiquen, tanto los semiciclos positivos como los negativos, son de media onda o de onda completa.

1.5.1 Rectificador semicontrolado.

La disposición del circuito de un semiconvertidor monofásico aparece en la figura. Se colocó una carga inductiva; la corriente de carga se supone continua y libre de componentes ondulatorios.

Operación:

Durante el ciclo positivo, el tiristor T_1 tiene polarización directa. Cuando el tiristor T_1 se dispara en $\omega t = \alpha$, la carga se conecta a la alimentación de entrada a través de T_1 y D_2 durante el período $\alpha \leq \omega t \leq \pi$. Durante el período $\pi \leq \omega t \leq (\pi + \alpha)$, el voltaje de entrada es negativo y el diodo de marcha libre D_m tiene una polarización directa. D_m conduce para proporcionar la continuidad de corriente de la carga inductiva. La corriente de carga se transfiere de T_1 y D_2 a D_m , y el tiristor T_1 así como D_2 se desactivan. Durante el ciclo negativo el voltaje de entrada del tiristor T_2 queda con polarización directa, entrando en conducción



en el instante $\omega t = \alpha + \pi$, hasta $\omega t = 2\pi$ invirtiéndose entonces la polaridad del diodo D_m y desactivándolo. La carga se conecta ahora a la alimentación través de T_2 y D_1 .

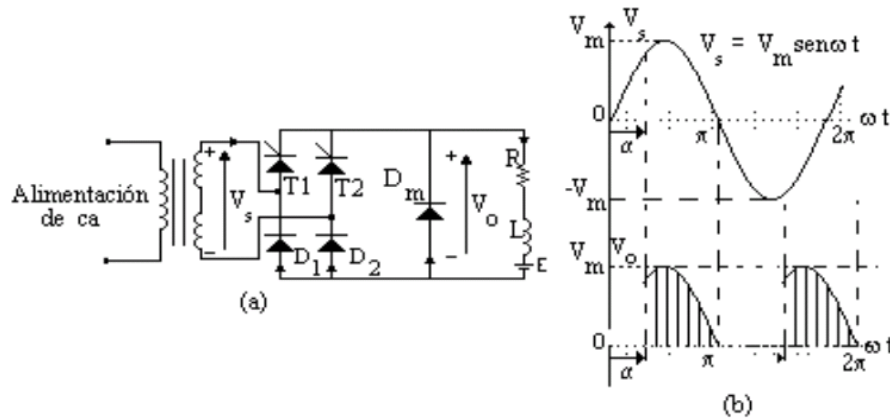


Figura 1.7 Rectificador semicontrolado monofásico y forma de onda.

La tensión promedio de salida se puede calcular a partir de la ecuación 1.2:

$$V_{do\alpha} = \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_M \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2V_M}{2\pi} [-\cos \omega t]_{\alpha}^{\pi} = \frac{V_M}{\pi} [1 + \cos \alpha] \quad (1.2)$$

Pudiéndose variar V_{do} desde $\frac{2V_M}{\pi}$ hasta 0, simplemente con variar α entre 0 y π , la tensión media máxima de salida V_{do} (seria para $\alpha=0$) y el voltaje de salida medio normalizado V_n tendría las ecuaciones 1.3 y 1.4:

$$V_{do} = \frac{2V_M}{\pi} \quad (1.3)$$

$$V_n = \frac{V_{do\alpha}}{V_{do}} = 0.5 \times (1 + \cos \alpha) \quad (1.4)$$

La tensión eficaz de salida (o tensión rms) se determina a partir de la ecuación 1.5 y 1.6:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t)} \quad (1.5)$$



$$V_{rms} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} \times \sqrt{\left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]} \quad (1.6)$$

Este tipo de convertidor presenta un mejor factor de potencia debido a la operación del diodo de marcha libre y es de uso común en aplicaciones de hasta 15 kW, donde la operación en un solo cuadrante es todavía aceptable. (Rashid, 1993)

1.6 Características generales de los Microcontroladores.

- Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:
- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para Contener los datos.
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.
- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puertas serie
- Y paralelo, CAD: conversores analógico/digital, etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

1.7 Características del Microcontrolador 87C752

En este trabajo se va a utilizar específicamente el microcontrolador 87C752 basado en la arquitectura del popular 8051 de INTEL. Es un micro muy versátil y entre sus principales características tiene:

- Convertidor análogo a digital de 8 bits, con 5 canales de entrada.
- Salida / contador PWM de 8 bits
- Interface serial I²C
- Memoria de programa de 2K x 8bits
- Contador /temporizador auto recargable de 16 bits



de motores de corriente directa

- 21 líneas de entrada / salida
- 7 fuentes de interrupción
- Amplio rango de frecuencia del oscilador
- Bajo consumo de potencia
- Procesador Booleano

En la figura1.2 que se muestra a continuación se observa el microcontrolador 87C752 y como están distribuidos sus pines.

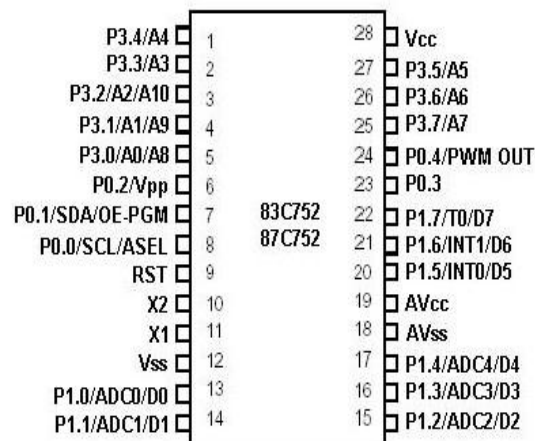


Figura1.5 Distribución de pines del microcontrolador 87C752.

Quienes han tenido contacto con el microcontrolador 87C750, encontrarán que, además, el 87C752 tiene ciertas ventajas, por ejemplo: 1024 posiciones de memoria y 2 líneas adicionales de entrada / salida, el convertidor análogo a digital, la salida PWM y la interface serial I²C; además de las interrupciones asociadas a estas. Tiene, también, un temporizador de vigilancia denominado Timer 1 que está orientado para la generación de tiempos y monitoreo del bus I²C y cuando no se va a utilizar el bus puede servir como una base de tiempo fija. ("Manual de microcontroladores.," 1989)

1.8Conclusiones.

Fueron expuestos los principales aspectos relacionados el control de velocidad de motores de corriente directa, así como las principales características de los microcontroladores, los tiristores y los rectificadores haciendo énfasis en el



rectificador monofásico semicontrolado. Se realizó un estudio de trabajos precedentes que demuestran la actualidad del tema y su utilidad.

CAPÍTULO II: Diseño, simulación e implementación del circuito de control para variación de velocidad.

2.1 Introducción.

El estudio de la teoría inherente a los sistemas de regulación de velocidad en motores de CD con microcontroladores, estos últimos controlando el ángulo de disparo de tiristores y generando una señal con PWM para el control de un troceador o chopper, sirve como base de diseño para determinar condiciones iniciales a la hora de realizar el mismo. La información sobre los rectificadores semicontrolados establece un parámetro de partida en el diseño y explora las soluciones actuales a este problema. En este capítulo se abordan aspectos relacionados con las herramientas de diseño, los sistemas de control y el diseño del circuito de control en cuestión.

2.2 Características del control con microcontroladores.

Los circuitos de control de rectificadores monofásicos a base de microcontroladores son de mucha ayuda para la industria en el mundo de hoy. Es importante mencionar las ventajas y desventajas que se tienen al desarrollar un regulador de velocidad digital (a base de microcontroladores) frente a uno del tipo analógico (con amplificadores operacionales y otros), las que se presentan a continuación.



2.2.1 Ventajas de un controlador digital.

Los componentes digitales tienen menor susceptibilidad al envejecimiento y a las variaciones de las condiciones ambientales, además son menos sensibles al ruido y las perturbaciones.

- Mayor confiabilidad y flexibilidad en el funcionamiento, ya que una modificación en el programa, no requiere añadir hardware.
- Mayor control en cuanto a eventos y funciones de tiempo.
- Un sistema digital requiere por lo regular una fuente de 5V, y el consumo de corriente es considerablemente bajo.
- Los procesadores digitales tienen un tamaño y peso menor. Pueden fabricarse microcontroladores (μC), microprocesadores (MP) y procesadores de señal digital (PDS) de un solo circuito integrado, muy infalibles y de gran capacidad para aplicaciones de control.
- Los costos de los μC , MP y PDS son cada vez menores.
- Proporcionan una mejor sensibilidad a variaciones en los parámetros.

2.2.2 Desventajas de un controlador digital.

Retardados en el control debido a los cálculos, pueden provocar inestabilidad.

Limitaciones en la velocidad de cálculo y en la resolución de la señal debida a la longitud de la palabra finita del procesador digital. En contraste los controladores analógicos trabajan en tiempo real y tienen una resolución teóricamente infinita.

La longitud de palabra finita del procesador digital con frecuencia da origen a inestabilidades en el sistema, mismas que se manifiestan como ciclos límites en sistema de lazo cerrado.

Las limitaciones en la velocidad de cálculo provocan retrasos en el lazo de control, los cuales pueden provocar inestabilidad en sistema de lazo cerrado.



2.2.3 Desventajas que presenta un controlador analógico.

Sus elementos están montados de manera fija, de modo que las características del controlador no pueden ser modificadas, dificultando realizar cambios en el diseño.

El envejecimiento de los componentes y la sensibilidad de éstos a cambios en el medio ambiente pueden llegar a ser muy importante. Los elementos analógicos exhiben una susceptibilidad mayor a problemas de ruido. (Pérez, 2010)

2.3 Herramientas utilizadas para el diseño.

Hace varios años atrás el diseño de cualquier dispositivo o proyecto era ejecutado manualmente y en el mejor de los casos se empleaban Ploters para su impresión, mientras que eran muy escasas las herramientas o instrumentos para validar el diseño, que en la mayoría de las veces se fundamentaban sobre la base de cálculos, manuales y tablas. Hoy en día ésta tarea de diseño se simplifica enormemente con el desarrollo del software de diseño y mejor aún con los que además permiten realizar una simulación bastante cercana a la realidad, gracias a la diversidad de modelos introducidos en ellos.

Uno de estas herramientas de software para el diseño y simulación es el Proteus, otra herramienta que facilita el desarrollo de programa en los lenguajes de ensamblador o C, además de la depuración de errores a microcontroladores es el Keil uVision 3. También se dispone de una herramienta de desarrollo para la programación del microcontrolador 87C752 llamada DS-750. A continuación se describen en detalle cada uno de ellos.

2.3.1 Proteus:

El software de diseño y simulación Proteus es una herramienta útil para estudiantes y profesionales que desean acelerar y mejorar sus habilidades para el desarrollo de aplicaciones analógicas y digitales.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

Este programa es una aplicación de diseño que se compone de tres módulos diferentes:

- ISIS (Intelligent Schematic Input System): módulo de captura de esquemas.
- ARES (Advanced Routing Modelling): para la realización de circuitos impresos.
- VSM (Virtual System Modelling): el módulo de simulación virtual.

Este software permite el diseño de circuitos empleando un entorno gráfico en el cual es posible colocar los símbolos representativos de los componentes y realizar la simulación de su funcionamiento sin el riesgo de ocasionar daños a los circuitos.

La simulación puede incluir instrumentos de medición y la inclusión de gráficas que representan las señales obtenidas en la simulación. Lo que más interés ha despertado en los usuarios es la capacidad de simular adecuadamente el funcionamiento de los microcontroladores más populares (PICS, ATMEL-AVR, MOTOROLA, 8051, etc.), empleando el Sistema de Modelos Virtuales (VSM).

Luego de construir el circuito mediante una interfaz de dibujo esquemático, el usuario puede programar virtualmente los micros presentes en el circuito, y correr una completa simulación del mismo. Esto permite validar el diseño, corregir errores e introducir mejoras antes de implementar el circuito real en el laboratorio.

La simulación de Proteus es interactiva, puesto que el usuario, mediante clicks del mouse sobre los dispositivos periféricos, puede cambiar el estado de las señales de entrada al micro y observar la respuesta de éste de acuerdo a su programación.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

También tiene la capacidad de pasar el diseño a un programa integrado llamado ARES en el cual se puede llevar a cabo el desarrollo de placas para circuitos impresos.

2.3.2 Keil uVision (MicroVision)

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará el IDE (Entorno de diseño Integrado) de Keil, "Keil Micro Vision". Keil ofrece una implementación altamente cercana a la especificación del lenguaje ensamblador, lo cual permite que con los conocimientos generales de programación en lenguaje ensamblador se pueda comenzar a desarrollar rápidamente cualquier programación.

El Keil uVisión y el Proteus tienen una relación de compatibilidad, dado que los archivos generados de la compilación en el Keil son asimilados en el proteus para realizar la simulación.

Aparte del compilador, el Keil incluye un depurador que permite la ejecución del código programado paso a paso, posibilitando además el monitorear el contenido de la memoria interna y de las variables del usuario.

2.4 Programación de los microcontrolador.

El lenguaje nativo de los microcontroladores es el ASM este es un lenguaje que está mucho más cerca del hardware que del programador, y gracias a la miniaturización que permite incorporar cada vez más memoria dentro de este sin aumentar prácticamente su costo, han surgido compiladores de lenguaje de alto nivel. Entre ellos se encuentran varios dialectos BASIC y C.

2.4.1 Lenguaje Ensamblador.

El Lenguaje Ensamblador es un tipo de lenguaje de bajo nivel utilizado para escribir programas informáticos, y constituye la representación más directa del código maquina específico para cada arquitectura de computadoras legible por



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

un programado. Fue usado principalmente en los inicios del desarrollo del software, cuando aún no se contaba con los potentes lenguajes de alto nivel. Actualmente se utiliza con frecuencia en ambientes académicos y de investigación, especialmente cuando se requiere la manipulación directa del hardware, se pretenden altos rendimientos o un uso de recursos regulado y reducido.

2.4.2 Ventajas de Lenguaje Ensamblador.

Es el lenguaje de bajo nivel natural de la línea PIC tanto para gama baja, media o alta. Con él se tiene un aprovechamiento eficiente de los recursos del PIC.

Se pueden crear marcos con este lenguaje, para después simplificar el código en diferentes desarrollos. Con él se pueden controlar los tiempos y los registros bit a bit. Excelente para manejar interrupciones simultaneas. Cuando se genera el archivo .hex este es completamente optimizado.(Byron Xavier Lima Cedillo, 2010).

2.5 Diseño y captura esquemática de la aplicación utilizando el proteus.

En el capítulo anterior quedo quedó definida la selección de los dos circuitos de variación de velocidad en motores de CD a los que se le aplicaría el control empleando los microcontroladores.

- Variación del ángulo de disparo de los tiristores de un rectificador monofásico semicontrolado de onda completa.
- Generación de una señal PWM para controlar un troceador o chopper.

A continuación se describen cada uno de los elementos que conforman dicha aplicación.

2.6 Bloques de fuerza.

Los esquemas en bloques que se muestran en las figuras 2.1 y 2.2 representan dos circuitos típicos utilizados regularmente para variar la velocidad en motores CD. El primero es el bloque de fuerza para variar la velocidad del motor CD con



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

rectificador semicontrolado variando el ángulo de disparo de los tiristores (SCR), se incluye además el bloque de inversión de giro del motor a base de contactores magnéticos. El segundo esquema representa el bloque de fuerza para variar la velocidad del motor CD con troceador o chopper utilizando la modulación por ancho de pulso (PWM).

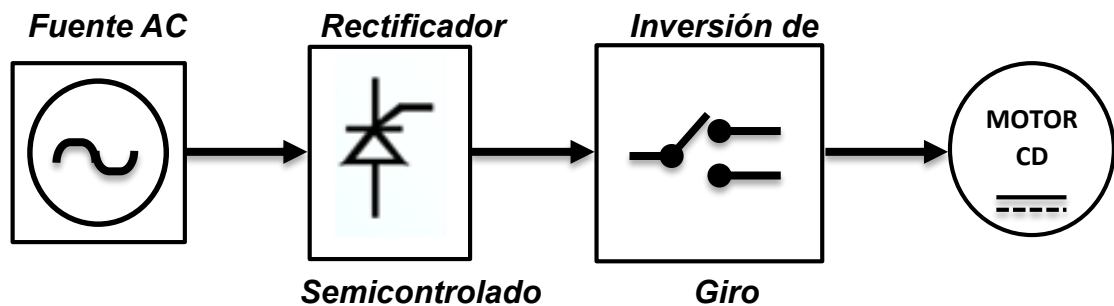


Figura 2.1 Esquema de fuerza para variar la velocidad del motor CD con rectificador semicontrolado.

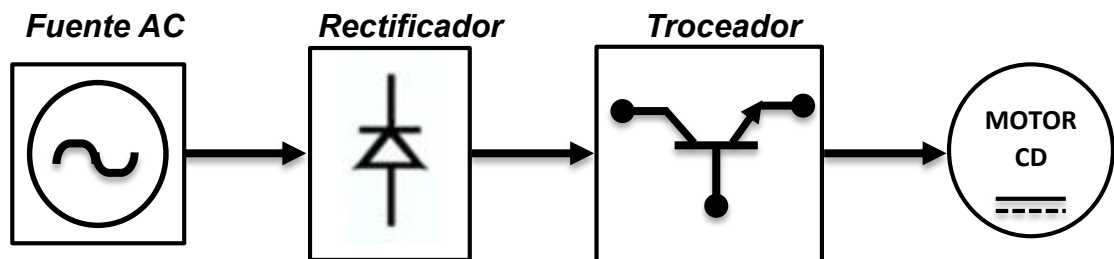


Figura 2.2 Esquema de fuerza para variar la velocidad del motor CD con troceador o chopper.

La figura 2.3 muestra la captura esquemática de ambos circuitos de fuerza donde se pueden apreciar los diferentes bloques que lo integran. En el circuito de arriba se observa la fuente de entrada, el bloque rectificador semicontrolado, el bloque de inversión de giro empleando contactos de relés magnéticos y por último el motor de CD. En el circuito mostrado en la parte baja de la figura 2.3 se observa el puente rectificador a base de diodos, el bloque troceador utilizando un dispositivo de conmutación, en este caso se utilizó un IGBT,



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

aunque se experimentó con otros dispositivos como los transistores bipolares y MOSFET.

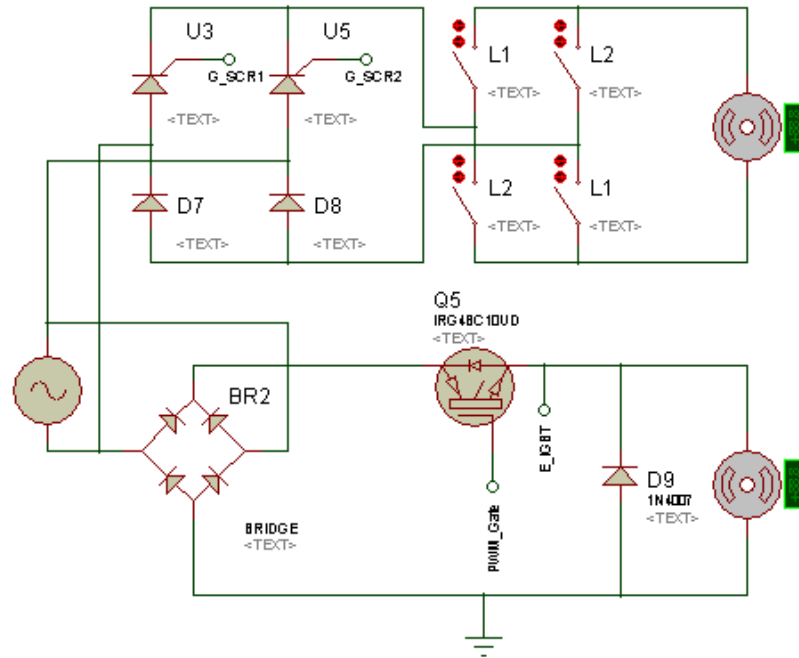


Figura 2.3 Captura esquemática de los dos circuitos de fuerza.

2.7 Descripción de los principales bloques del circuito de control para ambas técnicas.

El diseño del circuito de control en cada una de las técnicas anteriormente mencionadas aplicando la electrónica analógica y digital se realizaría con una considerable cantidad de componentes, como el que se muestra en la figura 2.xx, implicando un gasto excesivo en comparación con el diseño propuesto en este trabajo aplicando los microcontroladores.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

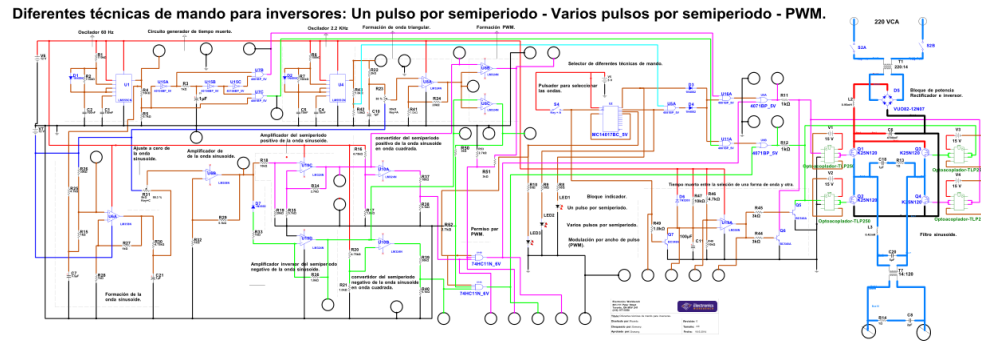


Figura 2.4 Circuito de control de inversores aplicando solamente las electrónicas analógica y digital.

En este trabajo se propone el diseño, simulación y montaje experimental del control de los circuitos de fuerza mostrados en la figura 2.3 utilizando el microcontrolador 87C752, para ello, se realizó un desglose de los diferentes bloques que integran la aplicación. A continuación se describe cada bloque y la función que realizan sus componentes.

2.7.1 Detector de cruce por cero

El detector de cruce por cero es el encargado de censar los cambios de signo de la señal de voltaje de corriente alterna (CA). En cada transición del semiciclo positivo al negativo de la señal de CA, se genera un pulso de 5V a una frecuencia equivalente a la señal de entrada que para este caso es de 60 Hz. Dicho pulso es recibido por el microcontrolador 87C752 a través del pin INT0, el cual detecta el flanco de subida y genera una interrupción.

En la Figura 2.5 se muestra la configuración del detector de cruce por cero, en él se puede observar que la señal de entrada es reducida, por medio de los diodos en antiparalelo, a niveles permisibles por el amplificador operacional quien es configurado como comparador, para ello se utilizó el LM358 ya que es compatible con niveles TTL (0 a 5V), que son los valores de voltaje que maneja el microcontrolador.

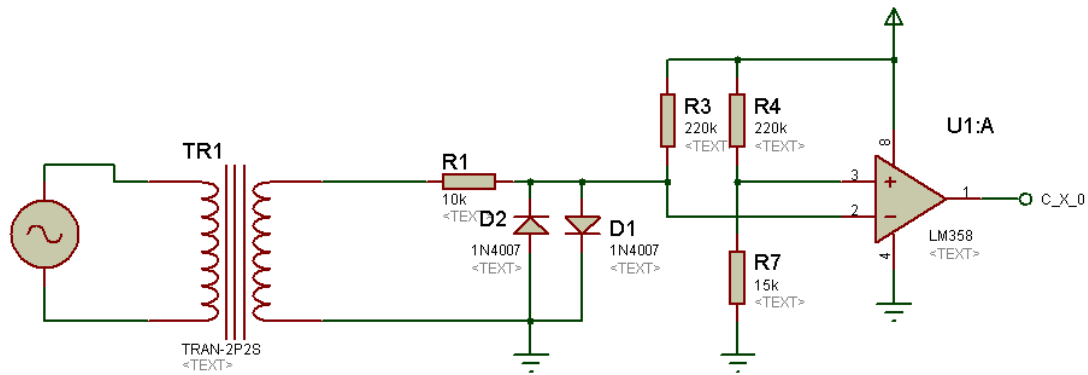


Figura 2.5 circuito detector de cruce por cero.

La estructura interna del amplificador operacional LM358 se muestra en la figura 2.6.

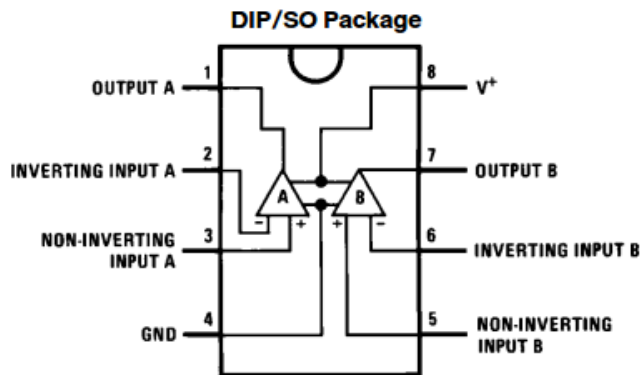


Figura 2.6 Circuito integrado LM358.

2.7.2 Entradas analógicas y acondicionamiento de la señal.

Para la regulación, tanto del ángulo de disparo de los tiristores, como del pre-escalador de la salida PWM se utiliza un potenciómetro de 1 k Ω , cuya salida es pasada a través de un amplificador operacional en configuración de seguidor de tensión para acondicionar la señal que será leída por el canal analógico 0 del MCU 87C752. En tanto que la regulación del ancho de los pulsos de la salida PWM se lleva a cabo por otro potenciómetro de 1 k Ω , que al igual que el anterior es pasado por un seguidor de tensión para acondicionar la señal de la



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

entrada analógica en el canal 1 del MCU, como se puede observar en la figura 2.7.

2.7.3 Entradas digitales.

El control de cualquier sistema de regulación de velocidad para motores CD necesita de al menos una botonera de arranque (START) y parada (STOP), en este trabajo, además de la botonera antes mencionada, se utiliza un interruptor que selecciona uno de los dos circuitos a controlar (Rectificador o Chopper) designado como SELECT. Los tres botones en cuestión se muestran en la figura 2.8.

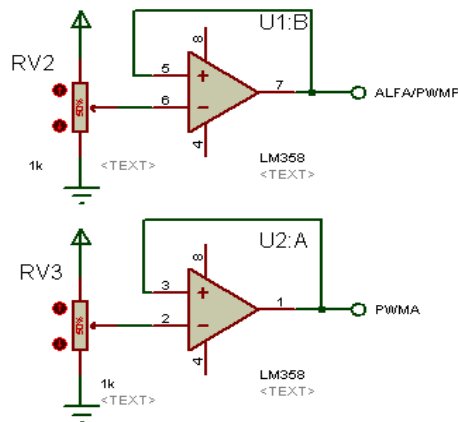


Figura 2.7 Entradas analógicas para variar los parámetros del circuito

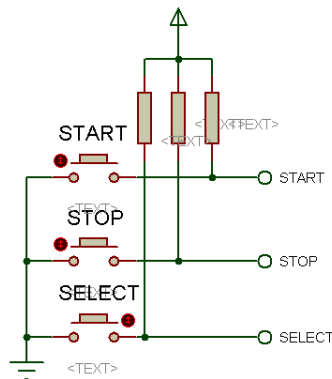


Figura 2.8 Entradas digitales para el control de la aplicación



2.7.4 Circuito de disparo de los tiristores.

El circuito de disparo de los tiristores para el rectificador semicontrolado de onda completa que representa el primer circuito para variar la velocidad del motor CD, está compuesto principalmente por un optoacoplador para aislar galvánicamente el circuito de control del de fuerza. Éste activa a un transistor que es el encargado de producir un pequeño pulso para disparar a uno de los tiristores por la salida G_SCR1. El otro tiristor es activado de la misma forma desde el pulso proveniente desde el microcontrolador (SCR2) el cual llega con un ángulo de desfasaje de 180 grados respecto al primero. En la figura 2.9 se observa el circuito de disparo en cuestión.

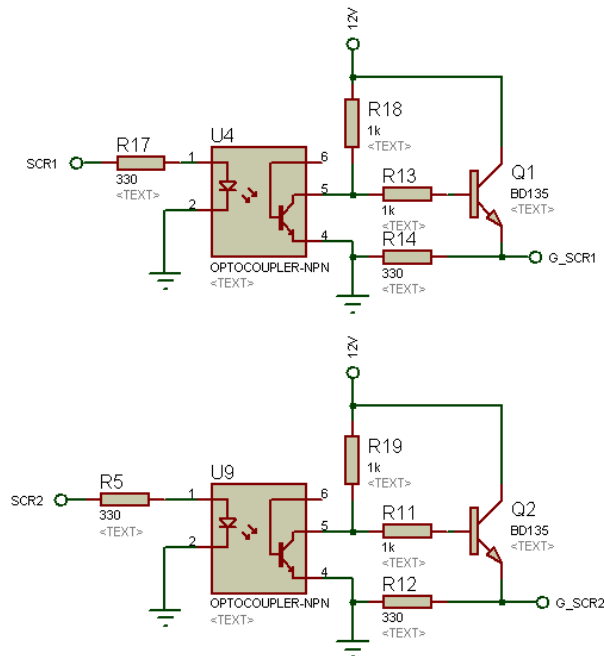


Figura 2.9 Circuito de disparo de los SCR.

2.7.5 Control del troceador o chopper.

Para controlar el segundo circuito de variación de velocidad utilizando un troceador o chopper se emplea un optoacoplador para aislar galvánicamente la fuerza del control quien recibe la señal PWM desde el microcontrolador y a través del optoacoplador se activa directamente al transistor encargado de



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

realizar la función de chopper que en este caso fue empleado un IGBT. La figura 2.10 muestra el circuito activador del IGBT.

2.7.6 Circuito Oscilador.

El microcontrolador 87C752, al igual que cualquier microcontrolador de la familia INTEL necesita de una señal de reloj que le servirá como base para la ejecución de las instrucciones y la generación de los tiempos internos: un oscilador que, básicamente, está formado por dos condensadores del orden de los pico Faradios (pF) conectados a los terminales de un cristal de cuarzo que puede llegar a ser de hasta 40 MHz, quien se conecta al MCU a través de los terminales X1 y X2 como se evidencia en la figura 2.11. En este trabajo se utilizó un cristal de 12 MHz el cual cumple con las exigencias de la aplicación en cuanto a las frecuencias y tiempos a generar.

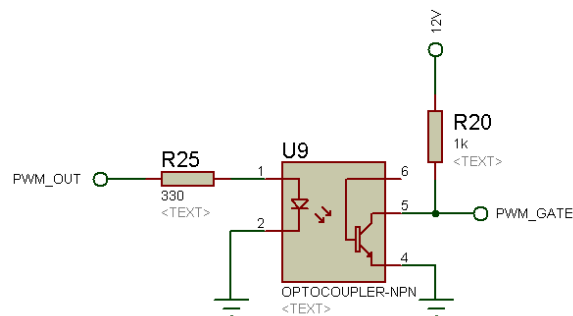


Figura 2.10 Circuito para activar al IGBT.

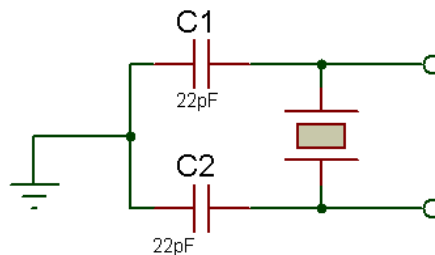


Figura 2.11 Circuito oscilador del microcontrolador 87C752.



2.7.7 Circuito RESET.

Todo MCU o sistema basado en microprocesadores necesita en algún momento ser reiniciado. Esto se logra dando un pulso positivo al pin RESET. El circuito puede verse en la figura 2.12.

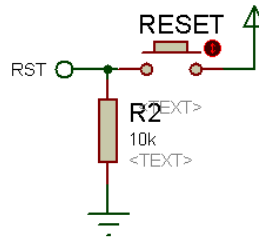


Figura 2.12 Esquema de circuitos RESET

2.7.8 Display de Cristal Líquido (LCD).

Para la visualización de los datos y mensajes que genera la aplicación se utilizó un LCD de 2 líneas por 16 caracteres debido a sus ventajas de empleo para estos tipos de proyecto. El LCD a emplear es un MTC-16205D cuyo equivalente en el Proteus es el LM16L, el cual puede interconectarse directamente con el bus de datos de cualquier microprocesador o microcontrolador, gracias a que dispone de un bus de datos con capacidad de tercer estado. Además contiene una memoria RAM que le permite almacenar hasta 128 caracteres y una memoria ROM con 160 caracteres matriciales de 5x7 pixel, y 30 caracteres de 5x10 pixel. La ventana del display permite ver 32 caracteres a la vez, en 2 líneas de 16 caracteres cada una. La figura 2.13 muestra la representación del LCD en el Proteus mostrando información relacionada con el ángulo de disparo que en ese instante se le está enviando a los SCR.

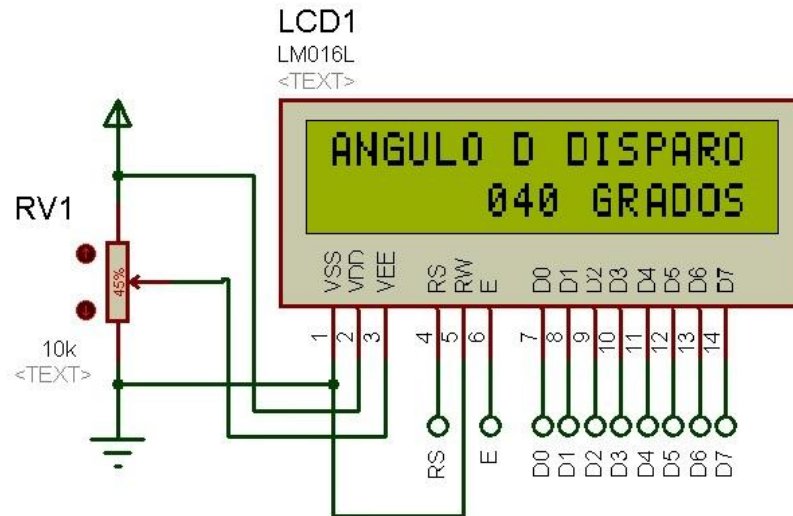


Figura 2.13 Display de cristal líquido (LCD).

2.7.9 Circuito de disparo.

El circuito de disparo de los tiristores para el rectificador semicontrolado de onda completa que representa el primer circuito para variar la velocidad del motor CD, está compuesto principalmente por un optoacoplador para aislar galvánicamente el circuito de control del de fuerza. Éste activa a un transistor que es el encargado de producir un pequeño pulso para disparar a uno de los tiristores por la salida G_SCR1. El otro tiristor es activado de la misma forma desde el pulso proveniente desde el microcontrolador (SCR2) el cual llega con un ángulo de desfase de 180 grados respecto al primero. En la figura 2.14 se observa el circuito de disparo en cuestión.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

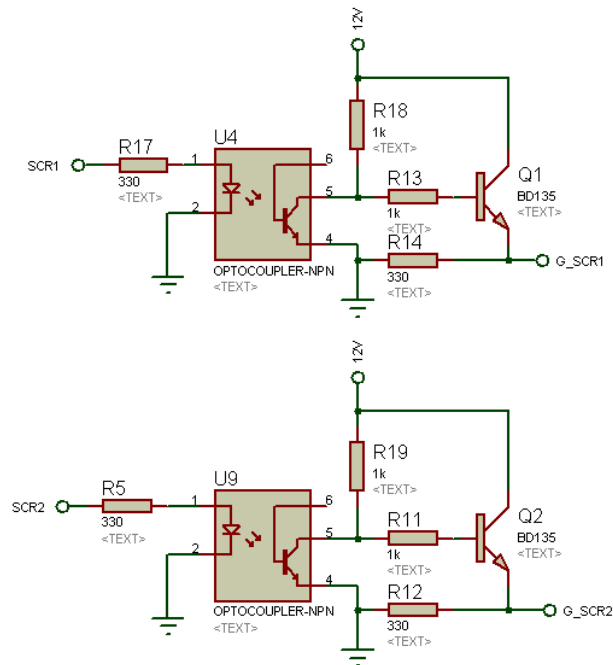
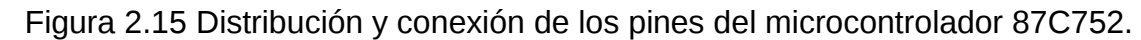
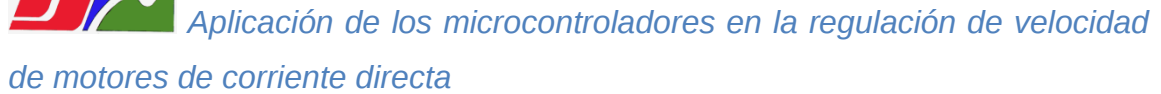


Figura 2.14 Circuitos de disparo.

2.7.10 El Microcontrolador.

El elemento fundamental en el circuito propuesto lo constituye precisamente el microcontrolador, debido a que es el que realiza todas las funciones de control en los dispositivos que intervienen directamente en la regulación de la velocidad de motores CD, según la propuesta de este trabajo. El microcontrolador empleado en el diseño de la aplicación es un 87C752 cuyas características fueron detalladas en el capítulo anterior. La figura 2.15 muestra el modelo esquemático del 87C752 en el Proteus.



El microcontrolador necesita una fuente de alimentación que le proporcione corriente continua al igual que otros módulos del circuito que también puede requerir su propia fuente de alimentación, que necesiten de otros voltajes. La fuente utilizada en este trabajo cuenta con un transformador que se va a encargar de bajar el voltaje a los niveles necesarios, a la salida del cual se tiene un rectificador tipo puente de diodos que va a convertir la forma de onda de corriente alterna a corriente rectificada, la onda obtenida se filtra mediante un condensador y mediante dos reguladores de tensión, se fijan los voltajes a la salida de los reguladores, 12V para el 7812 y en la salida de éste se coloca en cascada el regulador 7805 para estabilizar 5V en su salida. La alimentación de 12V es requerida para alimentar al circuito LM358, así como los transistores que dan el pulso a los tiristores, en tanto que los 5V son necesarios para el resto de los componentes del circuito. En la figura 2.16 se muestra el diseño de la fuente de alimentación.

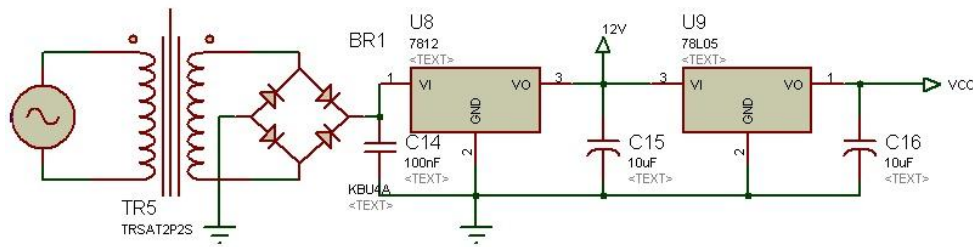


Figura 2.16 Fuente de alimentación.

2.8 Algoritmos a seguir para el desarrollo de la programación del 87C752.

La programación de microcontrolador constituye una de las tareas fundamentales de este trabajo por la importancia que tiene en el cumplimiento de los objetivos propuestos. Dicha programación está estructurada en un programa principal, dos subrutina de atención a las interrupciones generadas por el Temporizador 0 y por la entrada externa 0 (INT0), además de varias subrutinas de apoyo al desarrollo de las diferentes funciones que debe realizar la aplicación en cuestión. Un buen programa siempre está fundamentado por el algoritmo que le dio origen de ahí la justificación de mostrar el algoritmo seguido para elaborar la programación del microcontrolador.

Debido a lo extenso que pudiera ser la confección de un diagrama de flujo que describa toda la programación, solamente se escogieron aquellas subrutinas que aportan mayor información para la comprensión del programa. Para ello se elaboraron los siguientes algoritmos:

- Algoritmo del programa principal.
- Algoritmo para la subrutina de atención a la interrupción externa 0
- Algoritmo para la subrutina de atención a la interrupción del temporizador 0.

La figura 2.17 muestra el diagrama de flujo que representa el algoritmo seguido para la elaboración del programa principal.

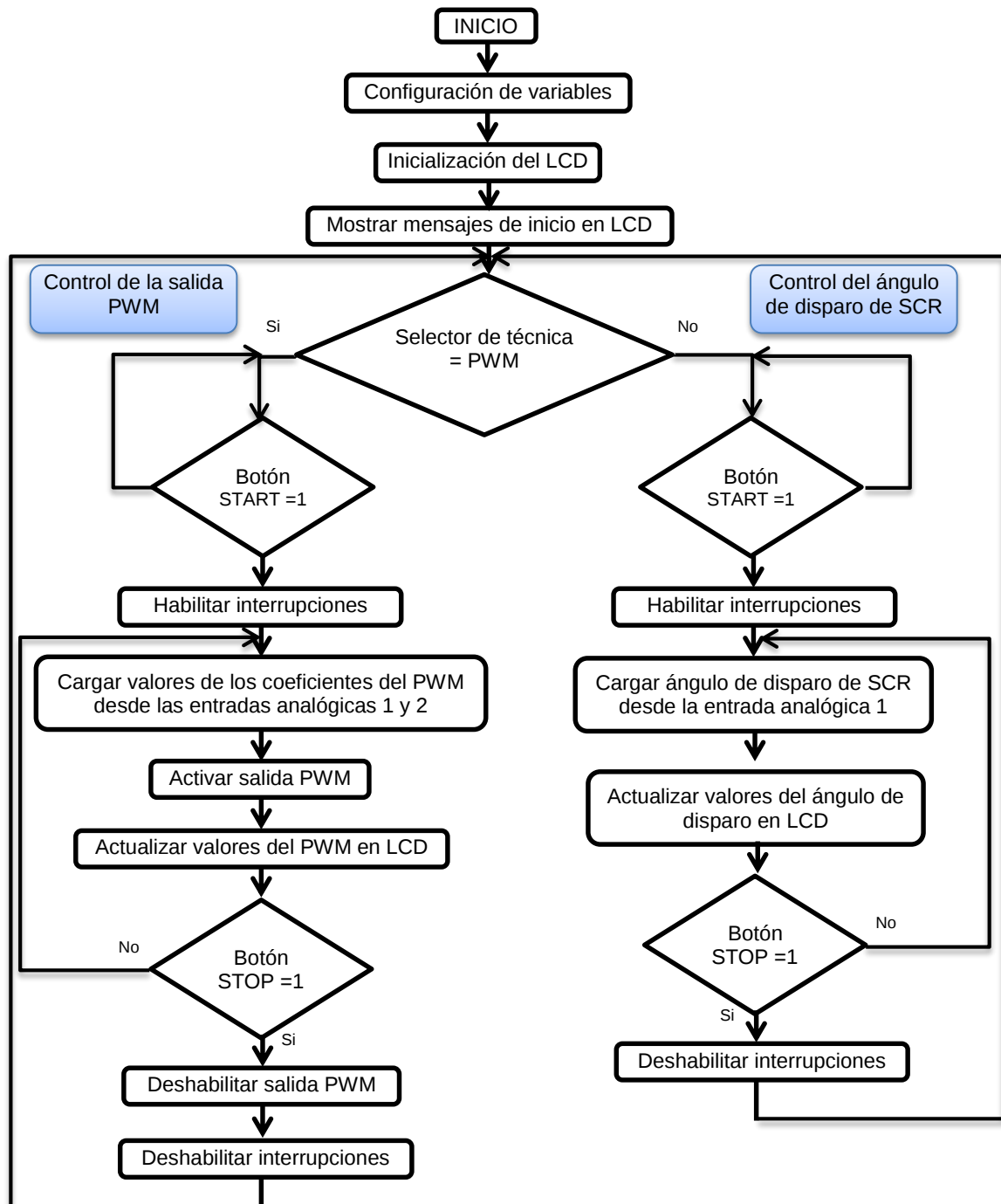


Figura 2.17 Diagrama de flujo del algoritmo a seguir para el desarrollo del programa principal.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

En este algoritmo se puede ver que el procedimiento consiste básicamente en la configuración de las variables que utiliza el sistema, la inicialización o activación de las interrupciones externa 0 y la del temporizador 0, posteriormente se procede a la inicialización del LCD, para luego mostrar los diferentes mensajes que informan el estado de la técnica de mando que ha sido seleccionada por el interruptor SELECT. Luego, en dependencia de la técnica seleccionada, se procede con la lectura del botón (Start) que es quien permite que inicie el control de dicha aplicación, que básicamente consiste en cargar los valores correspondientes al ángulo de disparo para el caso del rectificador o de los coeficientes de frecuencia y amplitud de pulso para el caso del chopper o troceador. Luego se actualizan los valores de dichas variables en el LCD, y seguidamente se verifica si botón Stop ha sido presionado para salir de la aplicación de lo contrario permanece en un ciclo realizando las funciones de lectura y actualización del ángulo de disparo. Al presionar el botón Stop se deshabilitan las interrupciones. Esta misma operación es ejecutada en caso de estar seleccionada la técnica del PWM, cargando los valores de los coeficientes de frecuencia y de amplitud de los pulsos, luego se actualizan en el LCD y luego continúa con el lazo o la verificación de la salida de la aplicación con la opresión del botón Stop. Una vez que se abandona la función que se estaba realizando el programa regresa a verificar el Selector de técnica de regulación de la velocidad de motores CD.

El diagrama de flujo mostrado en la figura 2.18 representa la subrutina de atención a la interrupción externa 0. Es la encargada de iniciar el temporizador y contador del tiempo establecido para darle el pulso a los tiristores debido a que es a través de la entrada INTO que se detecta la transición de la señal de la red por cero, o sea la detección del cruce por cero. Inicialmente se detiene el temporizador, luego se carga en el contador el valor del ángulo de disparo, seguidamente se activa la bandera de ciclo negativo lo cual permite definir a cuál de los tiristores se le debe dar el pulso, a continuación se carga el



temporizador con base de tiempo igual a $46\mu\text{s}$ equivalente a un grado, se activa el temporizador 0 y se retorna de la subrutina.

Subrutina de atención a interrupción externa 0.

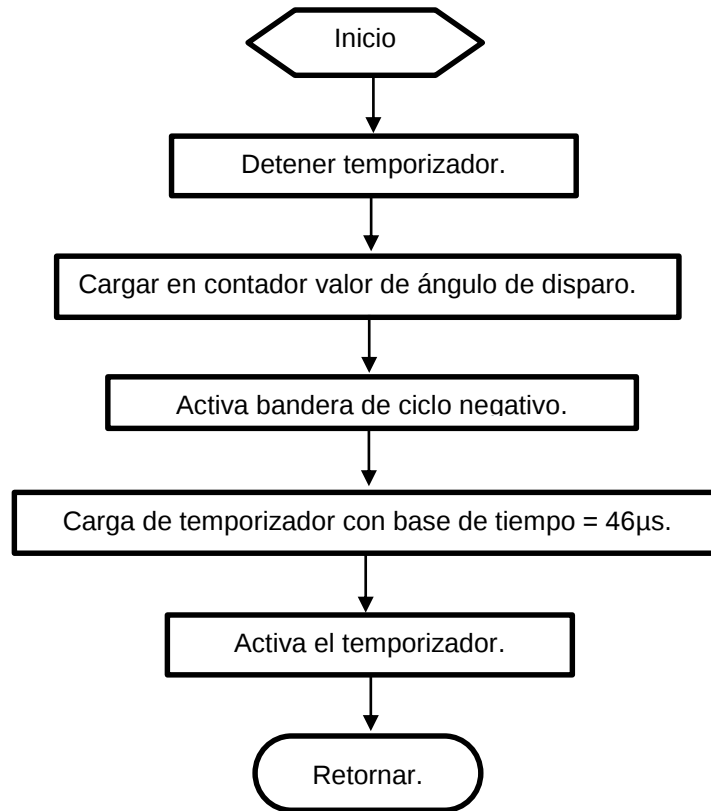


Figura 2.18 Diagrama de flujo subrutina de atención externa.

En la figura 2.19 se muestra el algoritmo para el desarrollo de la subrutina encargada de atender la interrupción generada por el temporizador 0, por lo que empieza deteniendo el temporizador 0, luego se decrementa el contador de ángulo de disparo y si éste no ha llegado a la cantidad fijada, el contador es recargado nuevamente con el valor de $46\mu\text{s}$ que corresponde a un grado para una frecuencia de 60 Hz, de lo contrario se activa el pulso para el tiristor que corresponde a ese semiciclo y a continuación el contador de ángulo de disparo se carga con el valor de 180 para activar al otro tiristor precisamente en el



mismo ancho de pulso que el primero. Seguidamente se recarga el temporizador con base $46\mu s$ y se retorna de la subrutina.

Subrutina de atención a interrupción del temporizador.

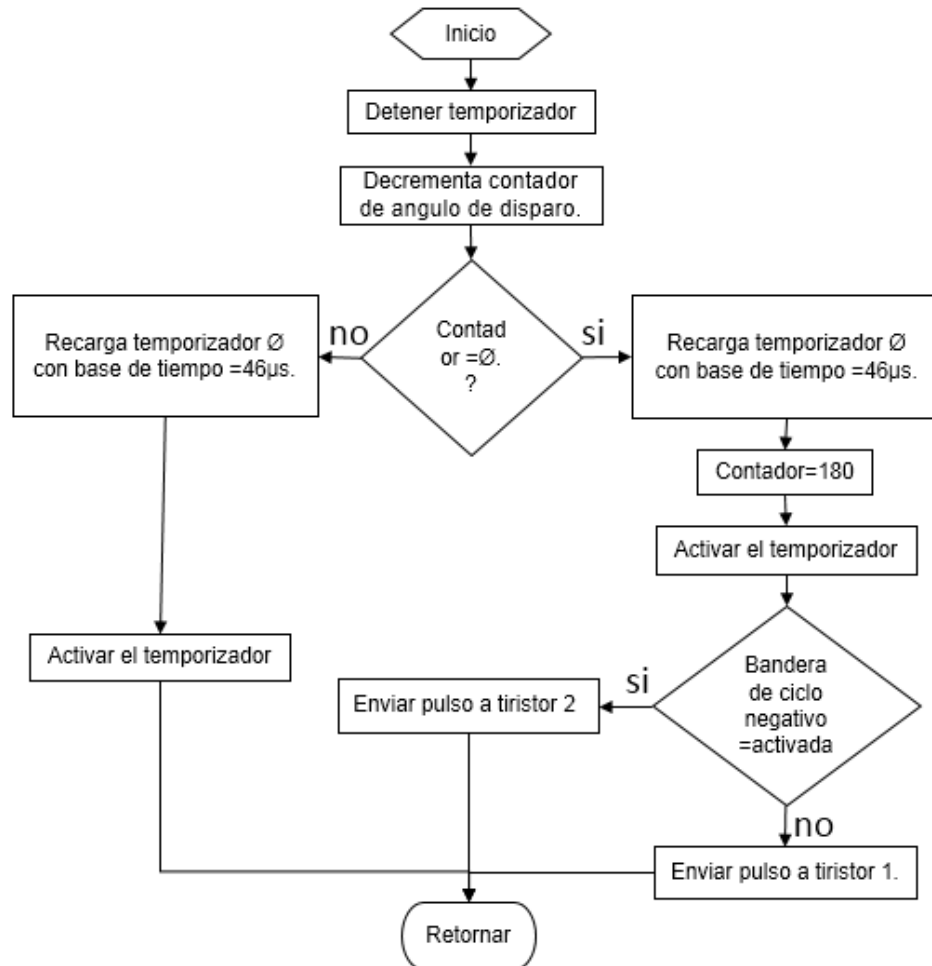


Figura 2.19 Diagrama de flujo de interrupción al temporizador.

2.9 Particularidades de la programación

El microcontrolador 87C752 es el elemento más importante de éste trabajo, no solo por contener al ADC internamente sino porque a través de su programación se va a realizar cada una de las funciones previstas. Para ello es necesario programarlo en cualquiera de los lenguajes de programación permitido por su fabricante Phillips Semiconductores. El 87C752 está basado en



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

el MCU de Intel 80C51 y por tanto hereda su conjunto de instrucciones y muchos de sus registros especiales. Los lenguajes asimilados por éste son el Ensamblador del 80C51 y el C. Como ya fue planteado la herramienta prevista para su programación en este trabajo es el Keil uVision el cual tiene la capacidad de compilar los programas en cualquiera de estos dos lenguajes, existen también otros ensambladores tales como el ASM51 y el A51 que cumplirían la misma función de ensamblar el código generado para su programación, pero no poseen la capacidad de depurar (debugger) o de ejecutar el programa paso a paso, elemento este tan importante como el diseño mismo, pues ésta posibilidad permite corregir errores no sintácticos que provienen del modo de pensar de cada programador y no del conocimiento del lenguaje en sí. Luego de pasado esta fase solo resta introducir el programa al microcontrolador en el software de simulación que en este caso es el Proteus. Es en este punto donde se unen el hardware diseñado con el programa o software que lo controlará para completar la simulación del proyecto en cuestión. Gracias a que el Proteus también dispone de la posibilidad de depurar el programa, los conflictos o errores existentes a la hora de conformar el circuito, pueden ser fácilmente corregidos puesto que se va ejecutando paso a paso el programa y verificando si el hardware modelado está cumpliendo con las especificaciones de la aplicación. Este proceso de depuración de errores puede necesitar de varias compilaciones del programa y de varios ajustes en los componentes del diseño, de acuerdo a los requerimientos de cada cual. El programa integro se encuentra el anexo 2.

2.10 Particularidades de la simulación.

El poder simular previamente el proyecto permitió llegar a valores óptimos en la selección de componentes, facilitando las siguientes etapas de montaje y validación de los resultados.

El Proteus puede simular cualquier circuito analógico, pero su punto fuerte está en la posibilidad de simular los modelos VSM de los microcontroladores más



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

populares que se usan en la actualidad, ya que es un software específicamente diseñado para trabajar la microelectrónica.

En el proceso de simulación los diseñadores tratan de simular virtualmente lo que se espera montar en la práctica, pero en ocasiones se encuentran con ciertas situaciones donde no aparece cierto elemento o no se puede simular cierto fenómeno de la forma convencional, lo que los obliga a buscar alternativas para solucionar estas situaciones. Poder simular el circuito paso a paso, permitió encontrar las mejores variantes en el diseño de los diferentes bloques. Después de llegar a la configuración de circuito que sería utilizado, se realizaron varias pruebas para un mejor resultado facilitando de esta manera el montaje físico del circuito. El circuito integro se encuentra en el anexo 1.

2.10.1 Instrumentación virtual.

La posibilidad de utilizar instrumentos virtuales en el Proteus, tales como voltímetros y amperímetros de corriente alterna y directa, además de osciloscopio permitió conocer el comportamiento de los parámetros del circuito en diferentes puntos de este así como chequear las formas de onda presentadas en los diferentes puntos y tener todo bien calculado para que a la hora del montaje físico, ningún componente quede dañado o no se logre obtener el resultado esperado.

2.11 Resultados de la simulación.

Las gráficas que se muestran a continuación son el resultado de la simulación en el programa proteus, en ellas se observa el comportamiento que debe tener el circuito luego de montado experimentalmente.

La Figura 2.20 muestra las formas de onda de entrada y salida del circuito detector de cruce por cero. La entrada es una onda sinusoidal medida a la salida del transformador de 6.36 V, cuando esta señal es menor que el voltaje de referencia 0.3V, el detector envía a la salida un voltaje positivo, de lo



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

contrario envía 0V generando así una señal cuadrada de 5V a 60Hz, medición realizada con el osciloscopio.

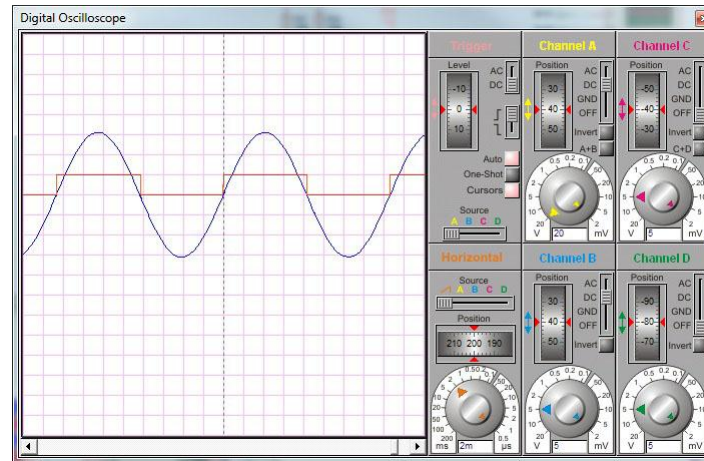


Figura 2.20 Forma de onda del bloque detector de cruce por cero.

En la figura 2.21, además de la señal de cruce por cero, se muestra la forma de onda del ángulo de disparo de los tiristores. Se observa el tren de pulsos generado para lograr un disparo seguro en los tiristores.

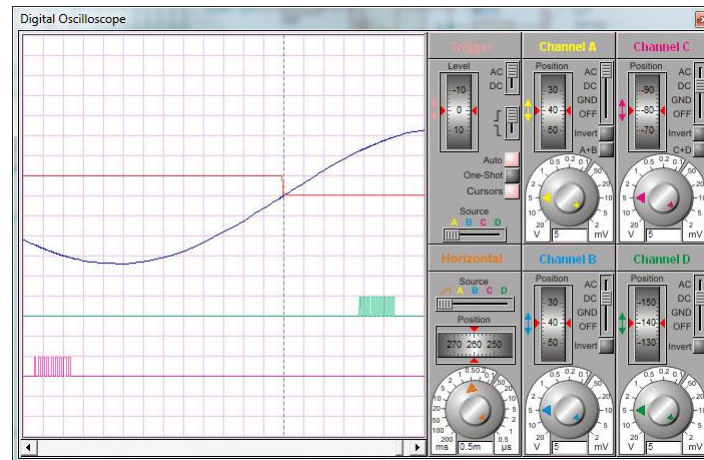


Figura 2.21 Tren de pulsos para el disparo de los tiristores

En la figura 2.22 se observa la forma de onda a la salida del puente rectificador semicontrolado donde se evidencia la influencia del ángulo de disparo de los



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

tiristores sobre la señal que alimenta al motor CD provocando la regulación de la velocidad por variación en el valor medio de la tensión.

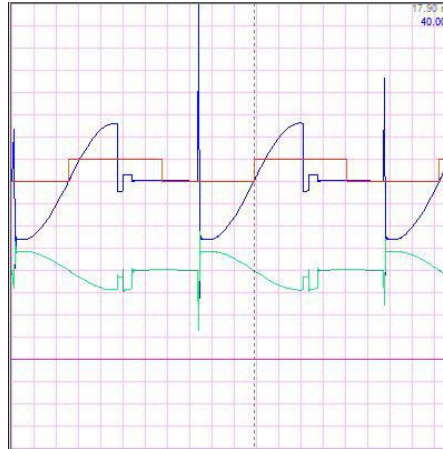


Figura 2.22 Forma de onda en la entrada y salida del rectificador.

En la figura 2.23 se muestra la señal de salida PWM para el control del IGBT que realiza la función de troceador o chopper.

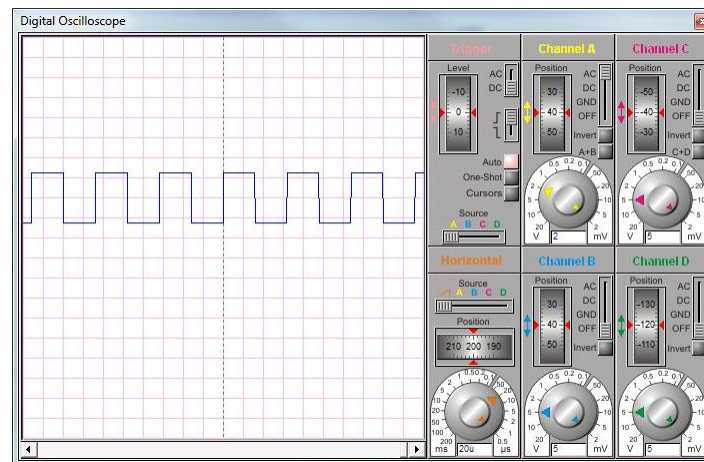


Figura 2.23 Salida PWM para el control del IGBT.

2.12 Montaje experimental del circuito de control.

La vía que se utiliza para la experimentación y validación de la simulación realizada fue el montaje del circuito a nivel de laboratorio sobre un kit DK 457000 que está dispuesto en el laboratorio de la institución, que consiste en



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

una estación de montaje sobre un Protoboard donde además se dispone de fuentes regulables y estabilizadas, potenciómetros, generador de varias funciones posibilidad de variar amplitud y frecuencia. En el proceso de montaje del circuito, primeramente fueron montadas ciertas prácticas con la intención de ir probando algunos de los periféricos a ser utilizados en él, como son las pruebas al display de cristal líquido. Ver Figura 2.24.



Figura 2.24 Display de cristal líquido (LCD).

También fueron montados y probados individualmente los bloques que conforman este circuito, como son el detector de cruce por cero y el circuito de disparo, luego de comprobar el funcionamiento de estos se realizó el montaje general y se procedió a introducir la programación al microcontrolador utilizando el programador DS-750. En la figura 2.25 se observa el circuito detector de cruce por cero montado en el Protoboard.

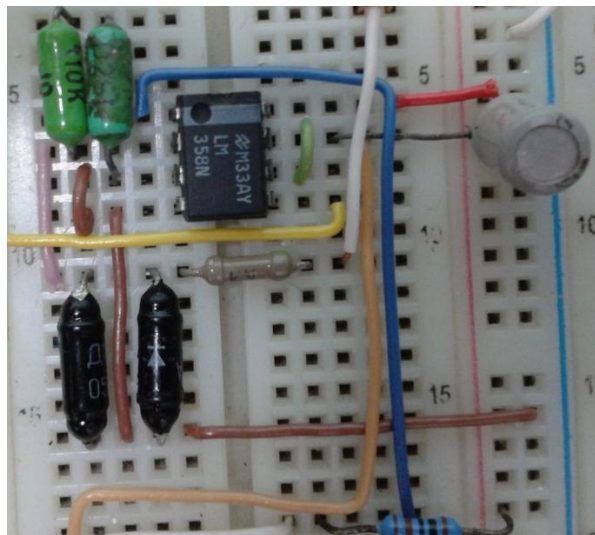


Figura 2.25 Circuito detector de cruce por cero.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

La figura 2.26 muestra los tiristores utilizados en el montaje del circuito rectificador semicontrolado que se utilizó en el montaje experimental.



Figura 2.26 Tiristores utilizados en el montaje.

Para realizar las comprobaciones fue necesario utilizar un osciloscopio. En la figura 2.27 se observa el circuito montado en el Protoboard.

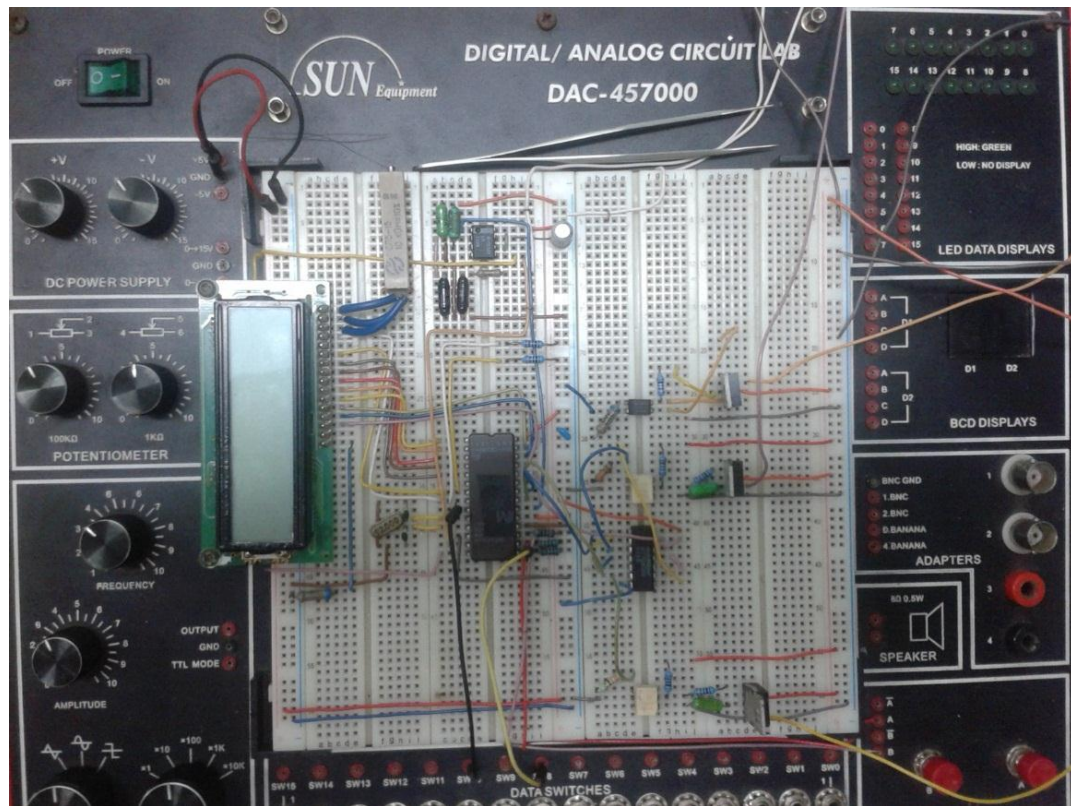


Figura 2.27 Montaje experimental del circuito de control.



2.13 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se definieron cada uno de los elementos que compondrán el circuito de control estos fueron caracterizados y se explicó brevemente su funcionamiento. Se abordó sobre la importancia del uso de las herramientas para el diseño, programación y simulación del circuito el cual se logró montar hasta nivel experimental.



Capítulo III Análisis de los resultados y valoración económica.

3.1 Introducción.

El desarrollo de este capítulo tiene el propósito de realizar una valoración económica que permita analizar las posibilidades reales de una inversión, evaluar los costes de la técnica e implementar su ahorro; actualmente es primordial que todo profesional tenga conocimientos que le permitan escoger, no solo las variantes más eficientes sino también las más económicas. Esta es la razón que hace imprescindible el análisis técnico-económico de cada proyecto a ejecutar y para eso se toman los precios estándares en el mercado mundial de los dispositivos utilizados y los salarios por hora de un diseñador y un técnico electrónico respectivamente. Se aborda, además, el impacto social del trabajo con la finalidad de evaluar los resultados obtenidos.

3.2 Resultados de las pruebas realizadas.

En esta sección se mostraran los datos obtenidos en el laboratorio, las mediciones se realizaron utilizando un osciloscopio digital de la marca RIGOL modelo DS1022C de 2 canales de 25 MHz y 400 MSa/s, una fuente de alimentación de CD marca UNIT-T modelo UTP3702 de 2 canales variables y uno fijo de 5V y un Multímetro digital de marca UNIT-T modelo UT81B. La figura 3.1 muestra la imagen de estos instrumentos. Además se utilizó un motor CD pequeño para los ensayos.



Figura 3.1 Instrumentos utilizados en el ajuste y montaje del circuito propuesto.



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

En la figura 3.2 se observa la señal con la que el circuito detector del cruce por cero debe trabajar, si se compara con la figura 2.22 del capítulo anterior se observa que las simulaciones guardan semejanza con la realidad.

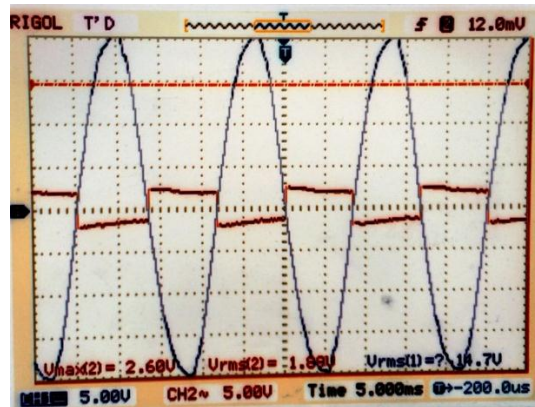


Figura 3.2 Señal del circuito detector de cruce por cero.

En la figura 3.2 se observan las dos señales con tren de pulso generadas por el microcontrolador para disparar los tiristores. Aunque no está señalado en la figura, ambas señales están separadas a 180 grados con una frecuencia de 60 Hz, mientras que los pulsos internos tienen una frecuencia de 10.6 kHz. La captura de esta señal por el osciloscopio ratifica la señal generada en la simulación mostrada a través de la figura 2.22.

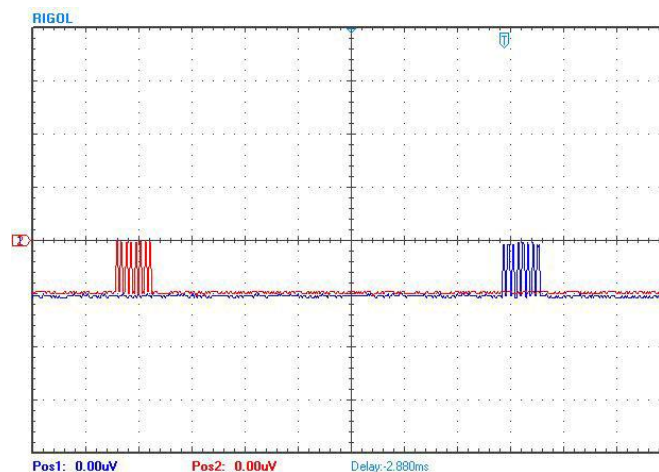


Figura 3.3 Tren de pulso para el disparo de los tiristores.

La figura 3.4 muestra la forma de onda a la salida del puente rectificador semicontrolado donde se aprecia un ángulo de disparo de los tiristores de



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

alrededor de los 130 grados por la forma de onda característica, provocando la reducción de la tensión que alimenta al motor CD y por ende la reducción de su velocidad.

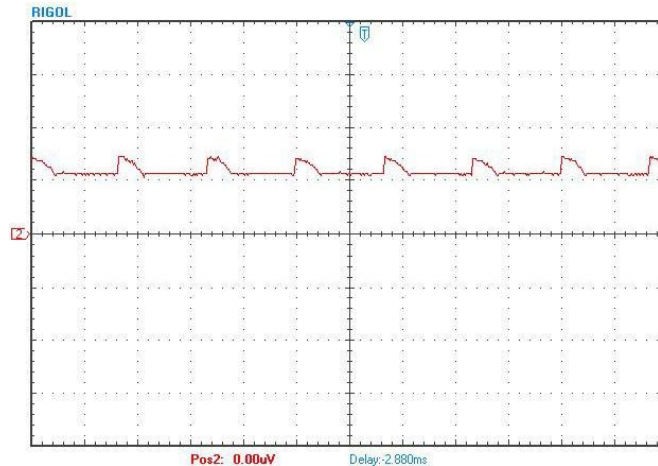


Figura 3.4 Señal que alimenta la entrada del motor CD.

Las gráficas de la figura 3.5 a) y b) muestran la variación del ancho de pulso en la señal del PWM medida por el osciloscopio. La forma de onda 1 corresponde a la señal PWM enviada desde el microcontrolador hacia el optoacoplador, mientras que la forma de onda 2 es tomada a la entrada del IGBT donde se aprecia que le llega negada por la configuración del optoacoplador que en este caso funciona como negador. Al igual que en las otras figuras, ésta corrobora la señal obtenida en la simulación mostrada en la figura 2.24.

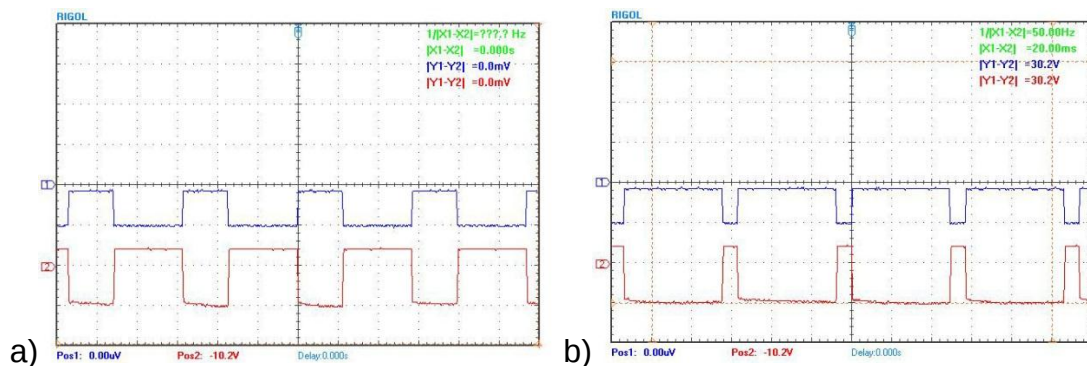


Figura 3.5 señal del PWM



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

Los resultados de las pruebas realizadas al montaje experimental del circuito de control son similares a los obtenidos mediante la simulación. Al comparar las gráficas obtenidas en el Proteus y las que se adquirieron con el osciloscopio al medir las señales a la salida del circuito se puede ver que el ángulo de disparo varía desde 0 hasta 180, sin embargo en los puntos límites, o sea, 0 y 180 el ángulo de disparo no se visualiza. Ambos circuitos de variación de velocidad de motores CD fueron verificados también con carga pasiva, en este caso se empleó un reóstato de 250 W, de las pruebas realizadas se puede decir que la presencia del motor provocaba distorsiones en la señal de salida del rectificador e incluso en la salida del Chopper, sin embargo esta situación no se apreciaba en presencia de la carga resistiva pura, lo que corrobora la teoría analizada en el capítulo 1.

3.3 Valoración técnica.

Desde el punto de vista técnico, la propuesta del diseño de un circuito de control para variar la velocidad de un motor de CD empleando dos técnicas de mando, (variación del ángulo de disparo de los tiristores de un rectificador monofásico semicontrolado y la Modulación por Ancho de Pulso (PWM)) cumplió con las expectativas de poder aplicar los microcontroladores en la electroenergética, abriendo la posibilidad de creación de varios medios de enseñanza que faciliten la asimilación de conocimiento en el área del accionamiento, la electrónica en general y el control automático.

Se realizaron varias pruebas que permitieron ajustar cada uno de los bloques que conforman el circuito. Fueron empleadas diversas herramientas de software reconocidas internacionalmente que permitieron diseñar, simular y programar cada uno de los bloques que conformaron la aplicación.

Los instrumentos empleados pueden considerarse de buena actualidad y con magníficas prestaciones que garantizaron el buen funcionamiento de todo el sistema de mediciones.



3.5 Valoración económica

Para la valoración económica primeramente se analizará el valor de cada uno de los componentes necesarios para la construcción de este circuito. La siguiente tabla muestra el nombre, cantidad y precios por unidad y total de cada uno de dichos dispositivos en el mercado internacional en usd.

Tabla # 1 Precios de los elementos utilizados en el circuito propuesto.

Nombres de los componentes	Cantidad	Precio por Unidad CUC	Precio Total
Amplificador Operacional LM358N	1	1.75	1.75
Base p/ circuito integrado de 8 pines	1	0.25	0.25
Base p/ circuito integrado de 28 pines	1	1.00	1.00
Base p/ circuito integrado de 14 pines	1	0.50	0.50
Diodos	6	0.15	0.90
optoacopladores	2	0.50	1.00
Transistor de potencia	1	1.45	1.45
Cristal de 12 MHz	1	1.10	1.10
Microcontrolador 87c752	1	1.90	1.90
Resistencias de 330Ω	4	0.10	0.40
Resistencia de 1K	1	0.03	0.03
Resistencia de 10K	6	0.30	1.8
Resistencia de 560Ω	1	0.10	0.10
Transistor Darlington	1	1.80	1.80
Tiristores de potencia	2	1.85	3.7



Total	30	12.78	17.68
--------------	-----------	--------------	--------------

3.4 Cálculo económico

Para lograr diseñar y construir este seguidor, es necesario un diseñador y un técnico electrónico; obteniendo; cada uno, un salario en moneda nacional de \$1.71 y \$1.21 por hora respectivamente. Teniendo en cuenta que ambos emplean 4 y 8 horas en el diseño y montaje del módulo y sumándole el precio de los componentes que integran el mismo se puede determinar el costo total de la instalación del sistema por la siguiente fórmula:

$$Ct = PC + Sd \cdot Hd + Se \cdot he \quad (3.1)$$

Dónde:

Ct - Costo total

PC- Precio total de los componentes

Sd y Se- Salario por hora del diseñador y el técnico electrónico respectivamente.

Hd y he – Horas trabajadas por el diseñador y el técnico electrónico respectivamente.

Sustituyendo en la formula anterior se calcula que el costo total es de: \$ 34.20 CUC. Si se realiza una comparación de estos resultados con los de la tesis de (González, 2014) se llega a la conclusión de que este trabajo es mucho más económico y fiable. Teniendo en cuenta que la mayoría de los componentes utilizados en el diseño se encuentran en el instituto, pueden ser reciclados y que la construcción del dispositivo puede llevarse a cabo en el centro por la simplicidad del circuito se demuestra la importancia en el aspecto económico del trabajo. Cabe mencionar que el control realizado se escogió por permitir reducir considerablemente las pérdidas que traerían consigo los otros métodos de regulación de velocidad.



3.5 Impacto social.

Las prácticas de laboratorios consolidan la teoría recibida, demuestran la veracidad de éstas, logran llevar al estudiante a un nivel superior de aprendizaje, y posibilitan una vinculación más directa con la industria. Con este trabajo se sientan las bases para crear un nuevo puesto de laboratorio que puede ser utilizado para las prácticas en la asignatura Aplicación de los Microcontroladores a la Electroenergética, por tener características que facilitan explotar las habilidades adquiridas por el estudiante en la teoría y además sirve para estimular el interés de los estudiantes por la asignatura.

3.6 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo se analizaron los resultados obtenidos después del montaje observando que realmente se asemejan a los alcanzados en la simulación. Se demostró la factibilidad de reciclar componentes de tarjetas en desuso y/u obsoletas que permitirán incrementar los puestos de laboratorio en la asignatura Aplicación de los Microcontroladores a la Electroenergética; y a través de un sencillo cálculo económico basándose en el costo de los componentes que integran el módulo construido se obtuvo la cifra ahorrada por el departamento en este caso.



Coclusiones Generales .

- Se logró montar un circuito de mando experimental, a base de microcontroladores, para la regulación de velocidad de motores de CD que utilizó varias técnicas.
- Se realizó una comparación de los resultados económicos logrados con los obtenidos en otro trabajo que no usaron microcontroladores, llegando a la conclusión de que al utilizar los microcontroladores se reduce el costo hasta un 70%.
- Se realizó un análisis de trabajos anteriores que sentaron las bases teóricas del trabajo.



Recomendaciones.

- Que este trabajo se tome en cuenta para el desarrollo de laboratorio en las asignaturas de Aplicaciones de los Microcontroladores.
- Realizar la implementación del circuito en una placa impresa.
- Implementar el uso de los microcontroladores en otras asignaturas de la carrera donde este tenga aplicación.



Referencia bibliografica

- Alvarado, G. I. P. (2009). *Diseño y contrucción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor de corriente directa a corriente directa.*
- Andrade, J. c. Control de velocidad motor DC, from Control de velocidad motor DC - Monografias.com.htm
- Berbesí, E. T. D. C. y. F. F. L. (2011). *Control de velocidad de un motor de corriente continua por pwm* Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga
- Byron Xavier Lima Cedillo, J. A. V. M. y. F. A. L. L. (2010). *Diseño de equipos didacticos para practicas de laboratorio de control automatico.*
- Centeno., J. P. (2008). *Compenzación de Zona Muerta y Variacion de Carga en el Control de Velocidad de Motores de Corriente Directa.*
- . Control PWM de un motor DC con microcontroladores PIC. (2009), from Control PWM de un motor DC con microcontroladores PIC - TecMikro.htm
- González, R. R. (2014). *Implementación de puesto de laboratorio, técnicas de*
- *mando para inversor de tensión monofásico.*
- Guadalupe, M. S. J. (2006). *Control de velocidad en motores de corriente directa con propósito de bombeo en sistemas hidráulicos.*
- Guapacha, J. B. (2013). *Metodología de aprendizaje de convertidores de corriente alterna a corriente directa.*
- Manual de microcontroladores. (1989).
- Martínez., E. A. (1986). *Electrotecnia basica.*
- Mendoza, E. Y. (2003). *Control de una planta generadora de energía eléctrica.*
- Mora, J. F. (2003). *Máquinas Electricas.*



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

- Pérez, F. M. (2010). *Diseño de un sistema de control de velocidad de un motor de corriente continua basado en acelerómetros.*
- Quinde, F. F. S. (1990). *Diseño y construcción de un equipo didactico para el análisis experimental de rectificadores controlados. Y sistema de control de velocidad para motores de corriente continúa.*
- Rashid, M. H. (1993). *Electronica de potencia.*



Anexos

```
1
;*****
2 ;Aplicaciones de los microcontroladores en las técnicas de
mando
3 ;para la regulacion de velocidad de motores de CD.
4 ;Control de un Rectificador monofásico semicontrolado a base
de SCR
5 ;Control de Chopper a base de IGBT
6 ; MCU 87C752 de Phillips Fosc = 12 MHz
7
;*****
8
9 $MOD752
10 $DEBUG
11
;*****
00B0 12 LCD_DATA EQU P3
13
0080 14 LCD_RS EQU P0.0
0081 15 LCD_En EQU P0.1
0083 16 TREN EQU P0.3
0084 17 PWM_OUT EQU P0.4
0090 18 ADC_CH0 EQU p1.0
0091 19 ADC_CH1 EQU p1.1
0092 20 SELECT EQU p1.2
0093 21 START EQU P1.3
0094 22 STOP EQU P1.4
0095 23 CX0 EQU P1.5
0096 24 SCR1 EQU P1.6
0097 25 SCR2 EQU P1.7
0080 26 LCDADDR1 EQU 80H
00C0 27 LCDADDR2 EQU 0C0H
0030 28 C_DATA data 30H
0031 29 Dig1 data 31H
0032 30 Dig2 data 32H
0033 31 Dig3 data 33H
0034 32 ALFA_V DATA 34H
0035 33 ALFA_N data 35H
0036 34 CONTADOR data 36H
0037 35 CONTADOR2 DATA 37H
0038 36 ADC_Dat DATA 38H
0039 37 ADC0_DATA DATA 39H
```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad

de motores de corriente directa

```
003A      38  ADC1_DATA    DATA  3AH
          39
0001      40  CICLO_POS    bit     1
0002      41  PULSE_ACT    BIT     2
          42
          43
          44

.*****
,
          45  ; INICIO
          46
.*****
,
          47
0000      48                      ORG 0
0000 805C      49                      SJMP INICIO
          50
0003      51                      ORG 3
0003 8008      52                      SJMP SUB_INT0
          53
000B      54                      ORG 0BH
000B 800E      55                      SJMP SUB_TMR0
          56
          57
.*****
,
          58  ; SUBROUTINA DE ATENCION A INTERRUPCION
          59
.*****
,
          60
000D      61  SUB_INT0:
000D C28C      62                      CLR     TR
000F C28D      63                      CLR     TF
0011 853436      64                      MOV     CONTADOR,ALFA_V
0014 C201      65                      CLR     CICLO_POS
0016 C202      66                      CLR     PULSE_ACT
0018 D28C      67                      SETB    TR
001A 32      68                      RETI
          69
001B      70  SUB_TMR0:
001B C28C      71                      CLR     TR
001D C28D      72                      CLR     TF
001F 209237      73                      JB     SELECT,TRG_PWM
0022 300214      74                      JNB    PULSE_ACT,SEGUIR
0025 D53708      75                      DJNZ   CONTADOR2,TRIGER
0028 C296      76                      CLR     SCR1
```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad

de motores de corriente directa

```
002A C297      77      CLR      SCR2
002C C202      78      CLR      PULSE_ACT
002E 8009      79      SJMP    SEGUIR
0030           80      TRIGER:
0030 200104     81      JB      CICLO_POS,TRG_T1
0033 B297      82      CPL      SCR2
0035 8002      83      SJMP    SEGUIR
0037           84      TRG_T1:
0037 B296      85      CPL      SCR1
0039           86
0039           87      SEGUIR:
0039 D5361A     88      DJNZ    CONTADOR,RECARGAR
003C 7536B4     89      MOV     CONTADOR,#180
003F D28C      90      SETB    TR
0041 30010C     91      JNB     CICLO_POS,ACTIVA_T1
0044 D297      92      SETB    SCR2
0046 C296      93      CLR      SCR1
0048           94      PULSO:
0048 B201      95      CPL      CICLO_POS
004A 753710     96      MOV     CONTADOR2,#16
004D D202      97      SETB    PULSE_ACT
004F 32        98      RETI
0050           99
0050           100     ACTIVA_T1:
0050 C297      101     CLR      SCR2
0052 D296      102     SETB    SCR1
0054 80F2      103     SJMP    PULSO
0056           104
0056           105     RECARGAR:
0056 D28C      106     SETB    TR
0058 32        107     RETI
0059           108
0059           109     TRG_PWM:
0059 B283      110     CPL      TREN
005B D28C      111     SETB    TR
005D 32        112     RETI
005E           113
005E           114
*****
;
005E           115     ; PROGRAMA PRINCIPAL
005E           116
*****
;
005E           117
005E           118     INICIO:
```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

005E 75A803	119	MOV	IE,#03H	;EA = 0,
ET0=1, EX0=1				
0061 C296	120	CLR	SCR1	
0063 C297	121	CLR	SCR2	;;#0
0065 75B000	122	MOV	LCD_DATA,#0	
0068 758804	123	MOV	TCON,#04H	
006B 758CFF	124	MOV	TH,#0FFH	
006E 758AE0	125	MOV	TL,#0E0H	
0071 758DFF	126	MOV	RTH,#0FFH	
0074 758BE0	127	MOV	RTL,#0E0H	
0077 753496	128	MOV	ALFA_V,#150	
	129			
007A 7401	130	MOV	A,#1	
007C 31B5	131	ACALL	DELAY	
	132			
007E 317F	133	ACALL	LCD_init	
	134			
0080	135	LAZO1:		
0080 7401	136	MOV	A,#01H	;Limpia al
LCD				
0082 31BF	137	ACALL	LCD_command	
	138			
0084 90020E	139	MOV	DPTR,#MSG1	
0087 31D5	140	ACALL	LCD_sendstring	
	141			
0089 31AC	142	acall	LCD_busy	
	143			
008B 74C0	144	mov	A,#LCDADDR2	
008D 31BF	145	acall	LCD_command	
	146			
008F 90021F	147	MOV	DPTR,#MSG2	
0092 31D5	148	ACALL	LCD_sendstring	
	149			
0094 7402	150	MOV	A,#2	
0096 31B5	151	ACALL	DELAY	
	152			
0098 7401	153	MOV	A,#01H	;Limpia al
LCD				
009A 31BF	154	ACALL	LCD_command	
	155			
009C 900230	156	MOV	DPTR,#MSG3	
009F 31D5	157	ACALL	LCD_sendstring	
	158			
00A1 31AC	159	acall	LCD_busy	



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

```

                                160
00A3 74C0                      161      mov      A,#LCDADDR2
00A5 31BF                      162      acall   LCD_command
                                163
00A7 900241                    164      MOV     DPTR,#MSG4
00AA 31D5                      165      ACALL   LCD_sendstring
                                166
00AC 7403                      167      MOV     A,#3
00AE 31B5                      168      ACALL   DELAY
                                169
00B0 7401                      170      MOV     A,#01H           ;Limpia al
LCD
00B2 31BF                      171      ACALL   LCD_command
                                172
00B4                          173 LAZO_PPAL:
00B4 20924E                    174      JB      SELECT,Salida_PWM
```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

CTRL_SCR

PAGE 4

```
00B7 75FE00          175          MOV          PWENA,#0
;disable PWM OUT
176
177 ;*****
178 ; CONTROL DE LOS SCR
179 ;*****
00BA          180 SCR_CTRL:
00BA 7401          181          MOV          A,#01H          ;Limpia al
LCD
00BC 31BF          182          ACALL LCD_command
183
00BE 900252          184          MOV DPTR,#MSG5
00C1 31D5          185          ACALL LCD_sendstring
186
00C3 31AC          187          acall LCD_busy
188
00C5 74C0          189          mov A,#LCDADDR2
00C7 31BF          190          acall LCD_command
191
00C9 900263          192          MOV DPTR,#MSG6
00CC 31D5          193          ACALL LCD_sendstring
194
00CE 209234          195 AQUÍ: JB SELECT,Salida_PWM
00D1 2093FA          196          JB START,AQUÍ
00D4 75A883          197          MOV IE,#83H
00D7 C283          198          CLR TREN
199
00D9          200 LAZO_interno:
00D9 74C6          201          mov A,#LCDADDR2 + 6
00DB 31BF          202          acall LCD_command
00DD 31AC          203          acall LCD_busy
204
00DF E4          205          CLR A
00E0 315A          206          ACALL ADConv
00E2 F535          207          MOV ALFA_N,A
00E4 B4B402          208          CJNE A,#180,DIFERENTE
00E7 8005          209          SJMP COMPARA
00E9          210 DIFERENTE:
00E9 4003          211          JC COMPARA
00EB 7535B4          212          MOV ALFA_N,#180
00EE          213 COMPARA:
```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad

de motores de corriente directa

```
00EE E535      214      MOV      A,ALFA_N
00F0 B53402    215      CJNE    A,ALFA_V,ACTUALIZA
00F3 8009      216      SJMP    IS_STOP
00F5           217  ACTUALIZA:
00F5 853534    218      MOV      ALFA_V,ALFA_N
00F8 E534      219      MOV      A,ALFA_V
00FA 31DF      220      acall    converter
00FC 3166      221      acall    DATA_print
00FE           222  IS_STOP:
00FE 2094D8    223      JB       STOP,LAZO_interno
0101 C2AF      224      CLR      EA
0103 80AF      225      SJMP    LAZO_PPAL

                226
227      ;*****
228      ; SALIDA PWM
229      ;*****

0105           230  Salida_PWM:
0105 7401      231      MOV      A,#01H      ;Limpia al
LCD
0107 31BF      232      ACALL    LCD_command
                233
0109 900274    234      MOV      DPTR,#Msg7      ;Point to
message string.
010C 31D5      235      ACALL    LCD_sendstring      ;Send
message.
                236
010E 74C0      237      mov     A,#LCDADDR2
0110 31BF      238      acall    LCD_command
                239
0112 900285    240      MOV      DPTR,#Msg8      ;Point to
message string.
0115 31D5      241      ACALL    LCD_sendstring      ;Send
message.
                242
0117           243  LAZO_interno1:
0117 3092A0    244      JNB      SELECT,SCR_CTRL
011A 2093FA    245      JB       START,LAZO_interno1
011D 75A882    246      MOV      IE,#82H
                247
0120           248  LAZO_interno2:
0120 309297    249      JNB      SELECT,SCR_CTRL
0123 E4        250      CLR      A
0124 315A      251      ACALL    ADConv      ;Start A/D
conversion.
```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

```

0126 F539      252      MOV      ADC0_DATA,A
                                253
0128 7401      254      MOV      A,#1
012A 315A      255      ACALL     ADConv      ;Start A/D
conversion.
012C F53A      256      MOV      ADC1_DATA,A
                                257
012E 85398F    258      MOV      PWMP,ADC0_DATA      ;Set up
PWM prescaler.
0131 E53A      259      MOV      A,ADC1_DATA      ;Set initial PWM
value.
0133 F4        260      CPL      A      ;Complement the value for
the PWM.
0134 F58E      261      MOV      PWCM,A      ;Set PWM value.
0136 75FE01    262      MOV      PWENA,#1      ;Start PWM.
                                263
0139          264      PRT_result:
0139 74C5      265      mov      A,#LCDADDR2 + 5
013B 31BF      266      ACALL     LCD_command
                                267
013D E539      268      MOV      A,ADC0_DATA
013F 31DF      269      acall     converter
0141 3166      270      acall     DATA_print
                                271
0143 74CD      272      mov      A,#LCDADDR2 + 13
0145 31BF      273      ACALL     LCD_command
                                274
0147 E53A      275      MOV      A,ADC1_DATA
0149 31DF      276      acall     converter
014B 3166      277      acall     DATA_print      ;Print
A/D value.
                                278
014D 2094D0    279      JB       STOP,LAZO_interno2
0150 85FF8E    280      MOV      PWCM,255      ;Set PWM value.
0153 75FE00    281      MOV      PWENA,#0      ;Stop PWM.
0156 C2AF      282      CLR      EA
0158 80BD      283      SJMP     LAZO_interno1
                                284
                                285
.*****
,
                                286
015A 4428      287      ADConv: ORL      A,#28h      ;Add control bits to
channel #.
015C F5A0      288      MOV      ADCON,A      ;Start conversion.

```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad

de motores de corriente directa

```

015E E5A0      289  ADC1:  MOV    A,ADCON
0160 30E4FB    290          JNB    ACC.4,ADC1      ;Wait for conversion
complete.
0163 E584      291          MOV    A,ADAT          ;Read A/D.
0165 22        292          RET
293
0166          294  DATA_print:
0166 900296    295          mov     dptr,#tabla2
0169 E533      296          mov     a,dig3
016B 93        297          movc    a,@a+dptr
016C 31CA      298          ACALL   LCD_senddata
016E 31AC      299          acall   LCD_busy
0170 E532      300          mov     a,dig2
0172 93        301          movc    a,@a+dptr
0173 31CA      302          ACALL   LCD_senddata
0175 31AC      303          acall   LCD_busy
0177 E531      304          mov     a,dig1
0179 93        305          movc    a,@a+dptr
017A 31CA      306          ACALL   LCD_senddata
017C 31AC      307          acall   LCD_busy
017E 22        308          ret
309
017F          310  LCD_init:
017F 75B038    311          mov     LCD_data,#38H ;Function set: 2 Line, 8-
bit, 5x8 dots
0182 C280      312          clr     LCD_rs      ;Selected command register
0184 D281      313          setb    LCD_en      ;Enable H->L
0186 C281      314          clr     LCD_en
0188 31AC      315          acall   LCD_busy      ;Wait for LCD to process the
command
316
018A 75B00C    317          mov     LCD_data,#0CH ;Display on,
Curson blinking command
018D C280      318          clr     LCD_rs      ;Selected instruction register
018F D281      319          setb    LCD_en      ;Enable H->L
0191 C281      320          clr     LCD_en
0193 31AC      321          acall   LCD_busy      ;Wait for LCD to process the
command
322
0195 75B001    323          mov     LCD_data,#01H ;Clear LCD
0198 C280      324          clr     LCD_rs      ;Selected command
register
019A D281      325          setb    LCD_en      ;Enable H->L
019C C281      326          clr     LCD_en

```



019E 31AC	327	acall LCD_busy	;Wait for LCD to process the command
-----------	-----	----------------	--------------------------------------

```

328
01A0 75B006      329      mov    LCD_data,#06H  ;Entry mode, auto
increment with no shift
01A3 C280        330      clr    LCD_rs      ;Selected command register
01A5 D281        331      setb   LCD_en      ;Enable H->L
01A7 C281        332      clr    LCD_en
01A9 31AC        333      acall   LCD_busy    ;Wait for LCD to process the
command
01AB 22          334      ret              ;Return from routine
335
01AC            336      LCD_busy:
01AC 7F05        337      mov     r7,#05H
01AE            338      back:
01AE 7EFF        339      mov     r6,#0FFH
01B0 DEFE        340      djnz    r6,$
01B2 DFFA        341      djnz    r7,back
01B4 22          342      ret              ;Return from busy routine
343
01B5            344      DELAY:
01B5 FC          345      MOV      R4,A
01B6 7DFF        346      DEMORA:  MOV      R5,#0FFH
01B8 31AC        347      DEMORA1: acall   LCD_busy
01BA DDFC        348      DJNZ     R5,DEMORA1
01BC DCF8        349      DJNZ     R4,DEMORA
01BE 22          350      RET
351
352      ;Routine to send command to LCD
353
01BF            354      LCD_command:
355
01BF C280        356      clr    LCD_rs      ;Selected command register
01C1 D281        357      setb   LCD_en      ;Enable H->L
01C3 F5B0        358      mov     LCD_data,A    ;Move the command to
LCD port
01C5 C281        359      clr    LCD_en
01C7 31AC        360      acall   LCD_busy    ;Wait for LCD to process the
command
01C9 22          361      ret              ;Return from busy routine
362
363      ;Routine to send data (single character) to LCD
364
01CA            365      LCD_senddata:

```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa

```

01CA F5B0      366      mov  LCD_data,A
01CC D280      367      setb LCD_rs      ;Selected data register
01CE D281      368      setb LCD_en      ;Enable H->L
01D0 C281      369      clr  LCD_en
01D2 31AC      370      acall LCD_busy    ;Wait for LCD to process the
data
01D4 22        371      ret              ;Return from busy routine
372
373      ;Sending string to LCD Example
374
01D5          375 LCD_sendstring:
01D5 E4        376      clr  a              ;clear Accumulator for any
previous data
01D6 93        377      movc  a,@a+dptr      ;load the first character in
accumulator
01D7 6005      378      jz   exit            ;go to exit if zero
01D9 31CA      379      acall lcd_senddata    ;send first char
01DB A3        380      inc  dptr            ;increment data pointer
01DC 80F7      381      sjmp  LCD_sendstring  ;jump back to send the
next character
01DE          382 exit:
01DE 22        383      ret              ;End of routine
384
01DF          385 Converter:
01DF F530      386      mov  C_DATA,a
01E1 B4640D    387      cjne A,#100,dif1
01E4          388 lg_My1:
01E4 E530      389      mov  A,C_DATA
01E6 75F064    390      mov  B,#100
01E9 84        391      div  AB
01EA F533      392      mov  Dig3,A
01EC E5F0      393      mov  A,B
01EE 5104      394      acall Div_10
01F0 22        395      ret
396
01F1          397 dif1:
01F1 50F1      398      jnc  lg_My1
01F3 753300    399      mov  Dig3,#0
01F6 B40A03    400      cjne A,#10,dif2
01F9          401 lg_My2:
01F9 5104      402      acall Div_10
01FB 22        403      ret
404
01FC          405 dif2:

```



Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad

de motores de corriente directa

```
01FC 50FB      406      jnc  lg_My2
01FE 753200    407      mov  Dig2,#0
0201 F531      408      mov  Dig1,A
0203 22        409      ret
                        410
0204          411  Div_10:
0204 75F00A    412      mov  B,#10
0207 84        413      div  AB
0208 F532      414      mov  Dig2,A
020A 85F031    415      mov  Dig1,B
020D 22        416      ret
                        417
020E 43495243  418  MSG1: DB  'CIRCUITO DE CTRL'
0212 5549544F
0216 20444520
021A 4354524C
021E 00        419      DB   0
021F 20434F4E  420  MSG2: DB  ' CON MCU 87C752 '
0223 204D4355
0227 20383743
022B 37353220
022F 00        421      DB   0
0230 44455341  422  MSG3: DB  'DESARROLLADO POR'
0234 52524F4C
0238 4C41444F
023C 20504F52
0240 00        423      DB   0
0241 4144454C  424  MSG4: DB  'ADELQUIS MACEY T'
0245 51554953
0249 204D4143
024D 45592054
0251 00        425      DB   0
0252 414E4755  426  MSG5: DB  'ANGULO D DISPARO'
0256 4C4F2044
025A 20444953
025E 5041524F
0262 00        427      DB   0
0263 20202020  428  MSG6: DB  '      GRADOS'
0267 20202020
026B 20204752
026F 41444F53
0273 00        429      DB   0
0274 20205341  430  MSG7: DB  ' SALIDA PWM '
0278 4C494441
```



de motores de corriente directa

```
027C 20205057
0280 4D202020
0284 00      431      DB    0
0285 5052453D      432  MSG8: DB 'PRE=  CMP=  '
0289 20202020
028D 20434D50
0291 3D202020
0295 00      433      DB    0
0296 30      434  Tabla2: DB  '0'
0297 31      435      DB  '1'
0298 32      436      DB  '2'
0299 33      437      DB  '3'
029A 34      438      DB  '4'
029B 35      439      DB  '5'
029C 36      440      DB  '6'
029D 37      441      DB  '7'
029E 38      442      DB  '8'
029F 39      443      DB  '9'
02A0 00      444      DB    0
                                445
                                446      END
```

VERSION 1.2k ASSEMBLY COMPLETE, 0 ERRORS FOUND

```
ACC..... D ADDR 00E0H PREDEFINED
ACTIVA_T1..... C ADDR 0050H
ACTUALIZA..... C ADDR 00F5H
ADAT..... D ADDR 0084H PREDEFINED
ADC0_DATA..... D ADDR 0039H
ADC1..... C ADDR 015EH
ADC1_DATA..... D ADDR 003AH
ADCON..... D ADDR 00A0H PREDEFINED
ADCONV..... C ADDR 015AH
ADC_CH0..... NUMB 0090H NOT USED
ADC_CH1..... NUMB 0091H NOT USED
ADC_DAT..... D ADDR 0038H NOT USED
ALFA_N..... D ADDR 0035H
ALFA_V..... D ADDR 0034H
AQUI..... C ADDR 00CEH
B..... D ADDR 00F0H PREDEFINED
BACK..... C ADDR 01AEH
CICLO_POS..... B ADDR 0001H
COMPARA..... C ADDR 00EEH
CONTADOR..... D ADDR 0036H
CONTADOR2..... D ADDR 0037H
```



de motores de corriente directa

CONVERTER..... C ADDR 01DFH
CX0..... NUMB 0095H NOT USED
C_DATA..... D ADDR 0030H
DATA_PRINT..... C ADDR 0166H
DELAY..... C ADDR 01B5H
DEMORA..... C ADDR 01B6H
DEMORA1..... C ADDR 01B8H
DIF1..... C ADDR 01F1H
DIF2..... C ADDR 01FCH
DIFERENTE..... C ADDR 00E9H
DIG1..... D ADDR 0031H
DIG2..... D ADDR 0032H
DIG3..... D ADDR 0033H
DIV_10..... C ADDR 0204H
EA..... B ADDR 00AFH PREDEFINED
EXIT..... C ADDR 01DEH
IE..... D ADDR 00A8H PREDEFINED
IG_MY1..... C ADDR 01E4H
IG_MY2..... C ADDR 01F9H
INICIO..... C ADDR 005EH
IS_STOP..... C ADDR 00FEH
LAZO1..... C ADDR 0080H NOT USED
LAZO_INTERNO..... C ADDR 00D9H
LAZO_INTERNO1..... C ADDR 0117H
LAZO_INTERNO2..... C ADDR 0120H
LAZO_PPAL..... C ADDR 00B4H
LCDADDR1..... NUMB 0080H NOT USED
LCDADDR2..... NUMB 00C0H
LCD_BUSY..... C ADDR 01ACH
LCD_COMMAND..... C ADDR 01BFH
LCD_DATA..... NUMB 00B0H
LCD_EN..... NUMB 0081H
LCD_INIT..... C ADDR 017FH
LCD_RS..... NUMB 0080H
LCD_SENDDATA..... C ADDR 01CAH
LCD_SENDSTRING..... C ADDR 01D5H
MSG1..... C ADDR 020EH
MSG2..... C ADDR 021FH
MSG3..... C ADDR 0230H
MSG4..... C ADDR 0241H
MSG5..... C ADDR 0252H
MSG6..... C ADDR 0263H
MSG7..... C ADDR 0274H
MSG8..... C ADDR 0285H



de motores de corriente directa

P0 D ADDR 0080H PREDEFINED
P1 D ADDR 0090H PREDEFINED
P3 D ADDR 00B0H PREDEFINED
PRT_RESULT C ADDR 0139H NOT USED
PULSE_ACT..... B ADDR 0002H
PULSO..... C ADDR 0048H
PWCM..... D ADDR 008EH PREDEFINED
PWENA..... D ADDR 00FEH PREDEFINED
PWMP D ADDR 008FH PREDEFINED
PWM_OUT..... NUMB 0084H NOT USED
RECARGAR C ADDR 0056H
RTH..... D ADDR 008DH PREDEFINED
RTL..... D ADDR 008BH PREDEFINED
SALIDA_PWM C ADDR 0105H
SCR1 NUMB 0096H
SCR2 NUMB 0097H
SCR_CTRL C ADDR 00BAH
SEGUIR C ADDR 0039H
SELECT NUMB 0092H
START..... NUMB 0093H
STOP NUMB 0094H
SUB_INT0 C ADDR 000DH
SUB_TMR0 C ADDR 001BH
TABLA2 C ADDR 0296H
TCON D ADDR 0088H PREDEFINED
TF B ADDR 008DH PREDEFINED
TH D ADDR 008CH PREDEFINED
TL D ADDR 008AH PREDEFINED
TR B ADDR 008CH PREDEFINED
TREN NUMB 0083H
TRG_PWM..... C ADDR 0059H
TRG_T1 C ADDR 0037H
TRIGGER C ADDR 0030H