Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad Metalurgia-Electromecánica

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Eléctrico

Título:

Diseño de un sistema de control de velocidad para el motor dc de la pulidora metalográfica modelo 3E881M.

Autor: Michel Canelles Muir

Tutor: Ing. Eduardo Smith Galano

Moa, 2017

Declaración de autoridad.

Yo Michel Canelles Muir.

Autor de este Trabajo de Diploma tutorado por el Ing. Eduardo Smith Galano certifico la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

_____	_____
Ing. Eduardo Smith Galano	*Michel Canelles Muir*
(Tutor)	*(Diplomante)*

Pensamiento:

Para ser exitoso no tienes que hacer cosas extraordinarias, haz cosas ordinarias extraordinariamente bien".

Ernesto Che Guevara

Dedicatoria

Dedico mi Trabajo de Diploma con todo amor y cariño a mi padre Santiago Canelles y hermanos, quienes han visto siempre en mí la capacidad de crecerme como ser humano y para la cual soy su mayor orgullo.

A todas aquellas personas que pusieron su granito de arena en esta investigación y sin los cuales hubiera sido imposible su realización. .

Agradecimientos

A mí querida familia por la ayuda brindada y en especial a mi padre Santiago.

A todos las personas que de una forma u otra hicieron posible la realización de este sueño.

RESUMEN

Tradicionalmente el motor de corriente directa (dc) ha sido más empleado en accionamientos que requerían y requieren una velocidad regulable y control automático de torques y velocidades. En este trabajo se diseña y simula un sistema de control de velocidad para el motor dc de la pulidora metalográfica modelo 3E881M presente en el laboratorio ciencia de los materiales del ISMM. Para el diseño se emplea el método de control del voltaje en los terminales de la armadura con la configuración de voltaje constante de acoplamiento de dc con modulación de ancho de pulso (PWM) de una sola polaridad para el cual se utiliza un microcontrolador del tipo (PIC). Como resultado se logro el diseño de un sistema de control más eficiente y económico, concluyendo que el sistema de control diseñado permite poner en funcionamiento la maquina abriendo la posibilidad de explotación de la misma y permitiendo la adecuada realización de practicas de laboratorio e investigaciones que involucren este medio.

ABSTRACT

Traditionally the direct current (dc) motor has been more used in drives that required and require an adjustable speed and automatic control of torques and speeds. In this work, a speed control system is designed and simulated for the 3E881M metallographic polishing engine present in the material science laboratory of the ISMM. For the design, the voltage control method is used in the armature terminals with the single-polarity pulse width modulation (PWM) DC coupling constant voltage configuration for which a microcontroller of the type PIC). As a result, the design of a more efficient and economical control system was achieved, concluding that the control system designed allows the machine to be started up, opening the possibility of exploitation of the same and allowing the proper execution of laboratory practices and investigations involving This medium.

Contenido

Introducción. 1

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO-CONTEXTUAL 2

1.1 Introducción. 3

1.2 Estudio de trabajos precedentes. 3

1.3 Motores dc. 5

1.3.1 Ecuaciones fundamentales que caracterizan estos motores. 5

1.3.2 Los motores dc según su excitación pueden ser. 6

1.3.3 Las partes fundamentales de un motor dc son. 7

1.3.4 Control de velocidad de los motores dc. 8

1.4 Los métodos utilizados para el control de velocidad de los motores dc. 10

1.4.1 Método de Control de la corriente de campo. 10

1.4.2 Método de control de la resistencia del circuito de armadura o inducido. 12

1.4.3 Método de Control del voltaje en los terminales de la armadura. 13

1.5 El control PWM. 14

1.6 Circuitos electrónicos utilizados en controles de motores dc. 16

1.6.1 Elementos que los componen. 16

1.7 Microcontroladores. 17

1.7.1 Características generales de los microcontroladores. 18

1.7.2 Tipos de Microcontroladores. 18

1.7.3 Recursos especiales de los microcontroladores. 19

1.8 Conclusiones del capítulo. 22

CAPÍTULO II: DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD. 23

2.1 Introducción. 23

2.2 Especificaciones de este método de control. 23

2.2.1 Resumiendo el comportamiento de causa y efecto de este método de control de velocidad se tiene. 24

2.3 Características del control con microcontroladores. 24

2.3.1 Ventajas de un controlador digital. 24

2.3.2 Desventajas de un controlador digital. 25

2.3.3 Desventajas que presenta un controlador analógico. 25
2.4 Herramientas utilizadas para el diseño..... 25
2.4.1 Proteus 25
2.4.2 El compilador MikroC PRO. 27
2.4.3 Lenguaje utilizado para la programación..... 29
2.5 Características del motor dc de la pulidora metalográfica: 29
2.6 Cálculos necesarios para el diseño del control de velocidad..... 30
2.7 Diseño y captura esquemática del control de velocidad 31
2.7.1 Descripción de los bloques que componen la aplicación. 32
2.8 Transistor IGBT (IRG4PC40U). 32
2.9 Diodo de recuperación rápida (P600G) 33
2.10 Características del microcontrolador a utilizar. 35
2.10.1 El Modulo CCP. 36
2.11 Elementos que conforman el circuito de control. 36
2.11.1 Display LCD de caracteres. 36
2.11.2 Entradas digitales. 37
2.11.3 Control del pulsador. 38
2.11.4 Circuito Oscilador. 39
2.11.5 Circuito de RESET. 39
2.11.6 El Microcontrolador. 40
2.11.7 Fuente de alimentación para el circuito de control. 40
2.12 Programación del microcontrolador PIC 16F877A. 41
2.12.1 Diagrama de flujo 42
2.13 Resultados de la simulación. 43
2.14 Conclusiones del Capítulo. 45
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y VALORACIÓN ECONÓMICA. 46
3.1 Introducción. 46
3.2 Resultados de las pruebas realizadas. 46
3.3 Valoración técnica..... 47
3.4 Valoración económica..... 49

3.5 Conclusiones. 50

Conclusiones generales..... 51

Recomendaciones. 52

Bibliografía. 53

Anexos..... 55

Introducción.

A nivel mundial la maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o casi-constante, y con valores que dependen de la alimentación y de las características propias del motor, las cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de sistema de control de velocidad o variador de velocidad. Los cuales se emplean en una amplia gama de aplicaciones.(Alpajón. 2009)

En Cuba, fundamentalmente en las industrias, los sistemas de control de velocidad de motores eléctricos son de vital importancia debido a que resulta una opción a tener en cuenta cuando de ahorro de energía se trata. Entre las diversas ventajas en el control del proceso proporcionadas por el empleo de variadores de velocidad se destacan la compensación de variables en procesos variables, el adecuado control del par del motor, así como operaciones lentas para fines de ajuste o pruebas. Debido a esto, algunas de las universidades cubanas han introducido el estudio de estos sistemas para favorecer su comprensión.

En el laboratorio Ciencia de los Materiales perteneciente al Instituto Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) Dr Antonio Núñez Jiménez se encuentra una pulidora metalográfica modelo 3E881M del año 1985 destinada a la preparación de muestras o secciones de metales para la realización de prácticas de laboratorio e investigaciones de la carrera ingeniería mecánica, estas pulidoras generalmente son accionadas por motores de corriente directa debido al control par-velocidad que ofrecen estos motores. Esta pulidora metalográfica varía su velocidad mediante el método de control de la resistencia del circuito

de armadura con el fin de tratar diversos tipos de metales. En los últimos años el laboratorio Ciencia de los Materiales se ha visto limitado debido al deterioro paulatino de este medio haciéndose necesario el diseño de un sistema de control de velocidad que permita la puesta en marcha del mismo, dando lugar al **problema de la investigación:** ¿Cómo diseñar un sistema de control de velocidad para el motor (dc) de la pulidora metalográfica del laboratorio de Ciencia de los Materiales?

Objetivo general:

Diseñar un sistema de control de velocidad para el motor (dc) de la pulidora metalográfica modelo 3E881M.

Objetivo específico:

- Realizar un estudio de las diferentes técnicas para el control de velocidad de motores (dc)
- Diseñar un control de velocidad para el motor (dc) de la pulidora metalográfica modelo 3E881M a base de microcontroladores.
- Valorar técnica y económicamente el circuito diseñado.

Objeto de la investigación:

Motor (dc) de la pulidora metalográfica modelo 3E881M del laboratorio de Ciencias de los Materiales del ISMMM.

Campo de acción:

Sistemas de control de velocidad para motores (dc) a base de microcontroladores.

Hipótesis:

Si se diseña un sistema de control de velocidad a base microcontroladores permitirá la puesta en funcionamiento de la pulidora metalográfica, para un mejor desarrollo del los Laboratorio de Ciencia de los Materiales.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO-CONTEXTUAL

1.1 Introducción.

Para el adecuado estudio de las características estructurales o de constitución de los metales o aleaciones se emplean varios medios entre ellos la pulidora metalográfica que resulta ser una máquina destinada al pulido de metales duros o blandos. En ella se pueden tratar superficies planas de diferentes aleaciones y minerales por medio de lijas, abrasivos para la rectificación, debido a que trata diferentes tipos de materiales opera a velocidad variable dependiendo del material, generalmente estas pulidoras son accionadas por motores eléctricos de corriente directa debido a las ventajas que estos ofrecen. Los motores de Corriente Directa en lo adelante motores (dc), poseen condiciones de operación idóneas para variar su velocidad sin detrimento de sus parámetros de funcionamiento, con el objetivo de ubicarnos teórica y contextualmente en este capítulo se abordan los principales elementos teóricos sobre la regulación de velocidad de motores de corriente directa, así como el estudio de trabajos precedentes. Además de describir las principales características de los microcontroladores y demás elementos que componen dicho regulador de velocidad.

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. A continuación, se hace referencia a los mismos.

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. Sin embargo, no explora la posibilidad de la utilización de microcontroladores.

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 .Si embargo no cuenta con elementos de visualización de parámetros.

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 no cuenta con ningún tipo de microcontrolador que le permitiera el control del disparo de los SRC.

En (Jiménez, 2014), diseña e implementa un control de velocidad y giro de un motor de DC, utilizando únicamente componentes discretos. Este trabajo, aunque no explora la posibilidad de la utilización de los microcontroladores es bastante rico en conocimiento.

1.3 Motores dc.

El motor dc es una máquina capaz de convertir la energía eléctrica, en movimiento rotativo con el fin de producir trabajo útil su funcionamiento se basa en los principios de Lenz y Faraday de inducción, descubierto por Michael Faraday en 1831; que señala, que si un conductor se mueve a través de un campo magnético se induce una corriente eléctrica en el conductor. Y el principio que André Ampére observo en 1820, en el que establece que si una corriente pasa a través de un conductor es capas de producir un campo magnético a su alrededor. (Feito 2002)

El movimiento giratorio de los motores dc se basa en el empuje derivado de la repulsión y atracción entre polos magnéticos. Creando campos constantes convenientemente orientados en estator y rotor, se origina un par de fuerzas que obliga a que el rotor o armadura gire buscando la posición de equilibrio. Gracias a un juego de conexiones entre unos conductores estáticos, llamados escobillas, y las bobinas que lleva el rotor, los campos magnéticos que produce el rotor cambian a medida que gira, para que el par de fuerzas que lo mueve se mantenga . Se utilizan en casos en los que es importante el poder regular continuamente la velocidad del motor, y donde es imprescindible utilizar corriente directa, como es el caso de motores accionados por pilas o baterías.(mora 2003, L.Herman 2015)

1.3.1 Ecuaciones fundamentales que caracterizan estos motores.

La relación entre la tensión inducida (contra-electromotriz) y la tensión en terminales está dada por la siguiente ecuación:

$$Va = Ea + Ia * Ra \qquad (1.1)$$

Además, la fuerza contra-electromotriz o tensión interna es proporcional al flujo y la velocidad de rotación de la máquina, tal y como se muestra a continuación:

$$Ea = K\varphi\omega \qquad (1.2)$$

Y el par inducido desarrollado por la máquina está dado por:

$$\tau ind = KIa\varphi \qquad (1.3)$$

1.3.2 Los motores dc según su excitación pueden ser.

- Serie
- Paralelo
- Compound
- Independiente

Motor serie: es un tipo de motor eléctrico de corriente continua en el cual el devanado de campo (campo magnético principal) se conecta en serie con la armadura. Este devanado está hecho con un alambre grueso porque tendrá que soportar la corriente total de la armadura.

Motor shunt o motor paralelo: es un motor de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducidos e inductor auxiliar. Al igual que en las dinamos shunt, las bobinas principales están constituidas por muchas espiras y con hilo de poca sección, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es muy grande.

Motor compound: es un motor de corriente continua cuya excitación es originada por dos bobinados inductores independientes; uno dispuesto en serie con el bobinado inducido y otro conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducido, inductor serie e inductor auxiliar. Los motores compuestos tienen un campo serie sobre el tope del bobinado del campo shunt. Este campo serie, el cual consiste de pocas vueltas de un alambre grueso, es

conectado en serie con la armadura y lleva la corriente de armadura. El flujo del campo serie varia directamente a medida que la corriente de armadura varía, y es directamente proporcional a la carga. El campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal shunt. Los motores compound se conectan normalmente de esta manera y se denominan como compound acumulativo.(Pozueta 2010)

Motor con excitación Independiente: son las máquinas en las que el devanado inductor es alimentado mediante una fuente de alimentación externa a la máquina, que puede ser, por ejemplo, una batería de acumuladores.

1.3.3 Las partes fundamentales de un motor dc son.

- Estator: Es el que crea el campo magnético fijo, al que le llamamos excitación. En los motores pequeños se consigue con imanes permanentes.
- Rotor: También llamado armadura. Lleva las bobinas cuyo campo crea, junto al del estator, el par de fuerzas que le hace girar.
- Escobillas: Normalmente son dos tacos de grafito que hacen contacto con las bobinas del rotor. A medida que éste gira, la conexión se conmuta entre unas y otras bobinas.
- Colector: Los contactos entre escobillas y bobinas del rotor se llevan a cabo intercalando una corona de cobre partida en sectores. El colector consta a su vez de dos partes básicas. La figura 1.1 muestra las partes fundamentales de un motor dc.

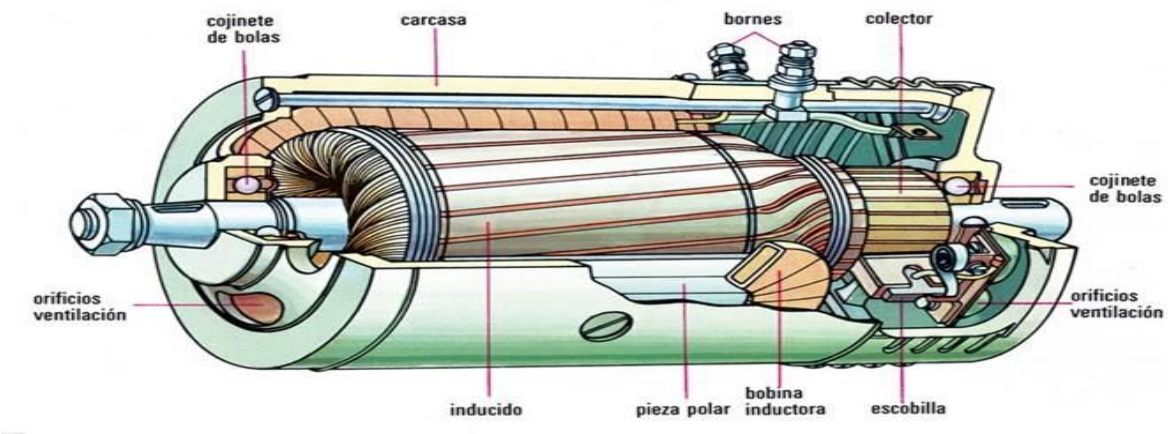


Figura 1.1 Partes fundamentales de un motor dc.

1.3.4 Control de velocidad de los motores dc.

Tradicionalmente el motor de corriente directa (dc) ha sido más empleado en accionamientos que requerían y requieren una velocidad regulable. Inicialmente, y como 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 (CA) - 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 (dc) que llegan a potencias de hasta 10.000 kW. Fundamentalmente, el control de velocidad se realiza en la 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 dc). 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 dc a dc, 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). Si 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 dc 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 amarre de fase). La ventaja de la regulación de velocidad en los motores de dc 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 el par de un motor de dc 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.(Tamayo 2015)

1.4 Los métodos utilizados para el control de velocidad de los motores dc.

Los métodos más comunes de control de la velocidad para los motores dc son de ajuste del flujo, que por lo común se realiza controlando la corriente de campo, ajustando la resistencia asociada con el circuito de la armadura y ajustando el voltaje en los terminales de la armadura.

1.4.1 Método de Control de la corriente de campo.

Con frecuencia se usa el control de la corriente de campo para controlar la velocidad de un motor de dc con devanados de campo excitados por separados o en derivación, el método también es aplicable a los motores combinados. Es posible ajustar la corriente de campo en derivación por medio de una resistencia variable en serie con ese campo. De modo alternativo se puede alimentar la corriente de campo por medio de circuitos electrónicos de potencia, los cuales se utilizan para cambiar con rapidez la corriente de campo como respuesta a una amplia variedad de señales de control. Como pueden ser la modulación de ancho de pulso. Por lo tanto, el voltaje promedio aplicado al devanado de campo será igual a

$$Vf = D*Vcd \qquad (1.4)$$

Donde D es el ciclo de servicio de la forma de onda de conmutación.

La corriente resultante de campo debido a que en el estado estable el voltaje promedio aplicado al inductor debe ser igual a cero, entonces la corriente promedio de campo *será* igual a.

$$If = \frac{Vf}{Rf} = \frac{D * Vcd}{Rf} \qquad (1.5)$$

Por lo tanto, la corriente de campo se puede regular fácilmente al controlar el ciclo de servicio del modulador de ancho de pulso.

Entonces el voltaje generado de un motor dc es:

$$Ea = Kf * If * \omega m \qquad (1.6)$$

En donde:

If: es la corriente promedio de campo

Wm: es la velocidad angular

Kf: es una constante geométrica que depende de las dimensiones del motor, de las propiedades del material magnético usado para su construcción, así como del número de vueltas en el devanado de campo.

El par electromagnético queda expresado por.

$$\tau mec = \frac{Ea * Ia}{\omega m} = Kf * If * Ia \qquad (1.7)$$

Donde

$$Ia = \frac{(Va - Ea)}{Ra} \qquad (1.8)$$

Después de hacer el par del motor igual al torque de carga (Tcarga), wm es:

$$\omega m = \frac{(Va - Ia * Ra)}{Kf * If} \qquad (1.9)$$

Por lo tanto para un par de carga dado, la velocidad del motor aumentara al decrecer la corriente de campo y viceversa. La velocidad más baja que es posible obtener es la correspondiente a la corriente máxima de campo. En la figura 1.2 a) se presenta las limitaciones de la potencia y figura1.2 b del par del método de corriente de campo y el de control de voltaje en los terminales de armadura combinados. (Lobosco, da Costa Dias et al. 1990)

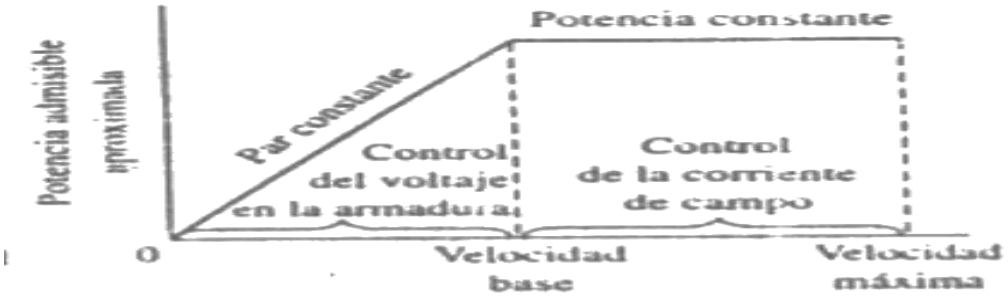


Figura 1.2 a) Limitaciones de la potencia de ambos métodos combinados.

1.4.2 Método de control de la resistencia del circuito de armadura o inducido.

El control de la resistencia del circuito de armadura o inducido proporciona un medio para obtener la velocidad reducida mediante la inserción de una resistencia externa en serie con el circuito de la armadura. Se puede usar en los motores con excitación en serie, en derivación y compuestos, para los dos últimos tipos el resistor en serie se debe conectar entre el campo en serie y la armadura y no entre la línea y el motor. Este es un método común de control de la velocidad para los motores con excitación en serie y en general su acción es análoga a la del control del motor de inducción de rotor devanado por la adición de resistencia externa en serie al rotor. De acuerdo con el valor de la resistencia en serie de la armadura, la velocidad puede variar de manera significativa con

la carga ya que esa velocidad depende tanto de la caída de voltaje en esta resistencia como de la corriente de armadura demandada por la carga. Una desventaja significativa de este método control de la velocidad es que la pérdida de potencia en el resistor externo es grande en especial cuando la velocidad se reduce mucho. De hecho para una carga de par constante la entrada de potencia al motor mas el resistor permanece constante en tanto que la salida de potencia a la carga decrece en proporción con la velocidad. Por lo tanto los costos de operación son comparativamente elevados para una operación larga a velocidades reducidas. No obstante debido a su bajo costo inicial, el método de la resistencia en serie o la variación de éste a menudo resultará atractivo desde el punto de vista económico para operaciones en la que sólo se requiere la reducción de la velocidad por corto tiempo o intermitente.

1.4.3 Método de Control del voltaje en los terminales de la armadura.

Es posible realizar con facilidad el control de voltaje en los terminales de la armadura con el uso de sistemas electrónicos de potencia, se utilizan tres posibles configuraciones las cuales son.

- Voltaje variable de acoplamiento de dc producido por un rectificador controlado por fase aplicado directamente a los terminales del motor dc
- Voltaje constante de acoplamiento de dc con modulación de ancho de pulso de una sola polaridad.
- Voltaje constante de acoplamiento de dc con un puente completo en H.

Donde las ecuaciones que caracterizan este método son:

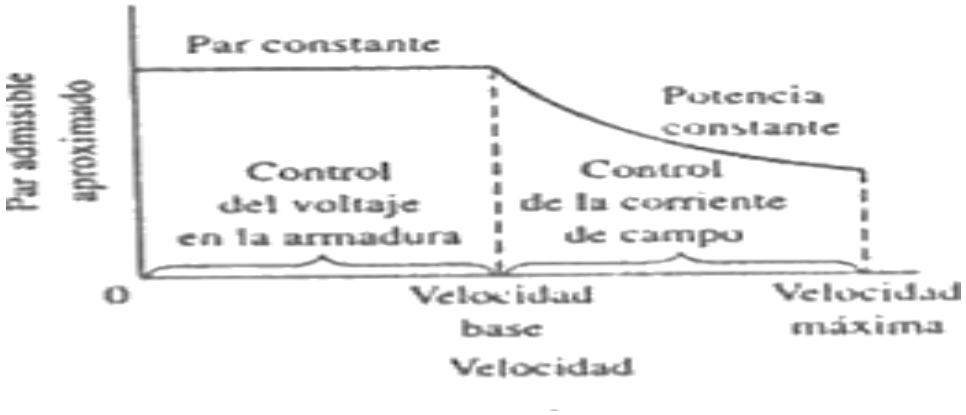
$$Va = D*Vcd \qquad (1.10)$$

Va: voltaje promedio en la armadura

Vcd: voltaje de acoplamiento de cd

D: ciclo de servicio de la PWM

Donde se cumplen las ecuaciones (1.6),(1.7) , (1.8), (1.9).



La figura 1.2 b) Limitaciones del par de ambos métodos combinados.

El control de voltaje de la armadura saca ventaja del hecho de que debido a que la caída de voltaje a través de la resistencia de armadura es más o menos pequeña un cambio en el voltaje en los terminales de la armadura de un motor en derivación en el estado estable viene acompañado por un cambio muy similar en su velocidad.(Fitzgerald 2004)

1.5 El control PWM.

Modulación por Ancho de Pulso o (PWM).

La Regulación por Ancho de Pulso de un motor dc está basada en el hecho de que si se recorta la alimentación en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta (tiempo en 1) y la parte en baja (tiempo en 0) del ciclo de la onda cuadrada. Controlando esta relación se logra variar la velocidad del motor de una manera bastante aceptable. La figura 1.3 a) muestra las formas de onda en el caso de 10%, 50% y 90% de la señal propuesta y la figura 1.3 b) presenta la relación existente entre la señal y la velocidad del motor.(Wildi 2010)

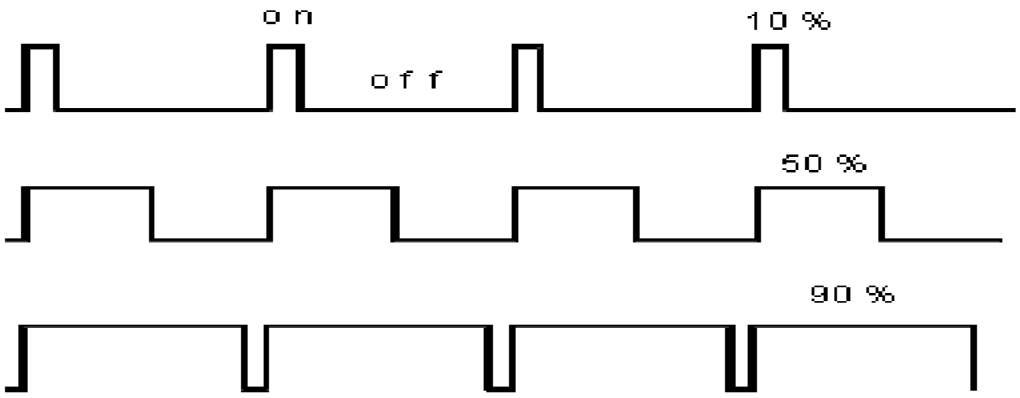


Figura 1.3 a) Formas de ondas.

Figura 1.3 b) Relación existente entre la señal y la velocidad.

Estas señales se envían al motor a una determinada frecuencia. El resultado final del proceso de PWM es que la potencia total enviada al motor se puede ajustar desde x % ciclo de trabajo a casi 100% del ciclo de trabajo) con un buen rendimiento y un control estable**.**(Correa Eras and Remache Ortega 2006, Mena 2006)

1.6 Circuitos electrónicos utilizados en controles de motores dc.

Rectificadores de diodos: Convierte la tensión de CA a una tensión de cd fija. La tensión a la entrada del rectificador puede ser monofásica o trifásica**.**

Convertidores de CA-CD: Convierte la tensión de CA a una tensión de cd variable. La tensión de entrada puede ser monofásica o trifásica

Convertidores CA-CA: Utilizados para obtener una tensión de salida de CA variable a partir de una tensión de CA fija.

Convertidores CD-CD: Se encargan de convertir una fuente de poder de corriente directa de tensión fija a una fuente de tensión variable. También conocidos como pulsadores o reguladores de conmutación.

Convertidores CD-CA: También conocidos como inversores. Son utilizados para obtener una tensión de corriente alterna a partir de una señal de corriente directa. Interruptores estáticos: Constan de uno o más elementos semiconductores que conforman el contacto, y un circuito de mando que determina la posición del contacto. Este puede ser abierto los semiconductores en alta impedancia o cerrado impedancia nula.(H.Rashid 1993)

1.6.1 Elementos que los componen.

- Diodos de potencia
- Tiristores
- Transistores bipolares de juntura de potencia (BJT)
- Mosfet de potencia
- Transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT) y transistores de inducción estáticos.

1.7 Microcontroladores.

Los microcontroladores son computadores digitales integrados en un chip que cuentan con un microprocesador o unidad de procesamiento central (CPU), una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y puertos de entrada salida. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en los computadores PC, los microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas. Su funcionamiento está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos leguajes de programación. Además, la mayoría de ellos pueden reprogramarse repetidas veces. Por las características mencionadas y su alta flexibilidad, los microcontroladores son ampliamente utilizados como el cerebro de una gran variedad de sistemas embebidos que controlan máquinas, componentes de sistemas complejos, como aplicaciones industriales de automatización y robótica, domótica, equipos médicos, sistemas aeroespaciales, e incluso dispositivos de la vida diaria como automóviles, hornos de microondas. Frecuentemente se emplea la notación µC o las siglas MCU (por microcontroller unit para referirse a los microcontroladores).

El microcontrolador es uno de los logros más sobresalientes del siglo XX, Hace un cuarto de siglo tal afirmación habría parecido absurda. Pero cada año, el se acerca más al centro de nuestras vidas, forjándose un sitio en el núcleo de una máquina tras otra, su presencia ha comenzado a cambiar la forma en que percibimos el mundo e incluso a nosotros mismos. Cada vez se hace más difícil pasarlos por alto como otro simple producto en una larga línea de innovaciones tecnológicas. Ninguna otra invención en la historia se ha diseminado tan aprisa por todo el mundo o ha tocado tan profundamente tantos aspectos de la vida humana. Hoy existen 15.000 millones de microchips de alguna clase en uso. De cara a esa realidad, ¿Quién puede dudar que el microcontrolador no sólo está transformando los productos que usamos, sino también nuestra forma de vivir .

1.7.1 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.

1.7.2 Tipos de Microcontroladores.

Los diversos tipos de microcontroladores varían dependiendo de la finalidad con la cual serán utilizados, como por ejemplo, el control de algún electrodoméstico, hasta una computadora. De eso dependerá la correcta selección del microcontrolador para alguna tarea determinada:

- **Gama baja**

  De 4, 8 y 16 bits. Dedicados fundamentalmente a tareas de control (Electrodomésticos, cabinas telefónicas, smartcards, algunos periféricos de Computadoras, etc.) Generalmente son µC.
- **Gama media**

  De 16 y 32 bits. Utilizados para tareas de control con cierto grado de procesamiento (control en automóvil, teléfonos móviles, PDA) Suelen ser periféricos integrados, y memoria externa**.**
- **Gama alta**

  De 32, 64 y 128 bits. Dedicados Fundamentalmente a procesamiento (computadoras, videoconsolas, etc.) Casi en su totalidad son µP + circuitería periférica + memoria.

1.7.3 Recursos especiales de los microcontroladores.

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplía las capacidades de las memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, etc. La labor del diseñador es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el coste, el hardware y el software.

Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o “Timers”.
- Perro guardián o “Watchdog”.
- Protección ante fallo de alimentación o “Brownout”.
- Estado de reposo o de bajo consumo.
- Conversor A/D.
- Comparador analógico.
- Modulador de anchura de impulsos o PWM.
- Puertas de E/S digitales.
- Puertas de comunicación.

Temporizadores o “Timers”: Se emplean para controlar periodos de tiempo (temporizadores) y para llevar la cuenta de acontecimientos que suceden en el exterior (contadores). Para la medida de tiempos se carga un registro con el valor adecuado y a continuación dicho valor se va incrementando o decrementando al ritmo de los impulsos de reloj o algún múltiplo hasta que se desborde y llegue a 0, momento en el que se produce un aviso. Cuando se desean contar acontecimientos que se materializan por cambios de nivel o flancos en alguna de las patitas del microcontrolador, el mencionado registro se va incrementando o decrementando al ritmo de dichos impulsos.

Perro guardián o "Watchdog": Cuando el computador personal se bloquea por un fallo del software u otra causa, se pulsa el botón del reset y se reinicializa el sistema. Pero un microcontrolador funciona sin el control de un supervisor y de forma continuada las 24 horas del día. El Perro guardián consiste en un temporizador que, cuando se desborda y pasa por 0, provoca un reset automáticamente en el sistema. Se debe diseñar el programa de trabajo que controla la tarea de forma que refresque o inicialice al Perro guardián antes de que provoque el reset. Si falla el programa o se bloquea, no se refrescará al Perro guardián y, al completar su temporización, "ladrará y ladrará" hasta provocar el reset.

Protección ante fallo de alimentación o "Brownout": Se trata de un circuito que resetea al microcontrolador cuando el voltaje de alimentación (VDD) es inferior a un voltaje mínimo ("brownout"). Mientras el voltaje de alimentación sea inferior al de brownout el dispositivo se mantiene reseteado, comenzando a funcionar normalmente cuando sobrepasa dicho valor.

Estado de reposo ó de bajo consumo: Son abundantes las situaciones reales de trabajo en que el microcontrolador debe esperar, sin hacer nada, a que se produzca algún acontecimiento externo que le ponga de nuevo en funcionamiento. Para ahorrar energía, (factor clave en los aparatos portátiles), los microcontroladores disponen de una instrucción especial (SLEEP en los PIC), que les pasa al estado de reposo o de bajo consumo, en el cual los requerimientos de potencia son mínimos. En dicho estado se detiene el reloj principal y se "congelan" sus circuitos asociados, quedando sumido en un profundo "sueño" el microcontrolador. Al activarse una interrupción ocasionada por el acontecimiento esperado, el microcontrolador se despierta y reanuda su trabajo.

Conversor A/D (CAD): Los microcontroladores que incorporan un Conversor A/D (Analógico/Digital) pueden procesar señales analógicas, tan abundantes en las aplicaciones. Suelen disponer de un multiplexor que permite aplicar a la entrada del CAD diversas señales analógicas desde las patitas del circuito integrado, también transforman los datos digitales obtenidos del procesamiento del computador en su correspondiente señal analógica que saca al exterior por una de las patitas de la cápsula. Existen muchos efectores que trabajan con señales analógicas.

Comparador analógico: Algunos modelos de microcontroladores disponen internamente de un Amplificador Operacional que actúa como comparador entre una señal fija de referencia y otra variable que se aplica por una de las patitas de la cápsula. La salida del comparador proporciona un nivel lógico 1 ó 0 según una señal sea mayor o menor que la otra. También hay modelos de microcontroladores con un módulo de tensión de referencia que proporciona diversas tensiones de referencia que se pueden aplicar en los comparadores.

Modulador de anchura de impulsos o PWM: Son circuitos que proporcionan en su salida impulsos de anchura variable, que se ofrecen al exterior a través de las patitas del encapsulado.

Puertas de E/S digitales: Todos los microcontroladores destinan algunas de sus patitas a soportar líneas de E/S digitales. Por lo general, estas líneas se agrupan de ocho en ocho formando Puertas. Las líneas digitales de las Puertas pueden configurarse como Entrada o como Salida cargando un 1 ó un 0 en el bit correspondiente de un registro destinado a su configuración.

Puertas de comunicación: Con objeto de dotar al microcontrolador de la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos externos, otros buses de microprocesadores, buses de sistemas, buses de redes y poder adaptarlos con

otros elementos bajo otras normas y protocolos. Algunos modelos disponen de recursos que permiten directamente esta tarea, entre los que destacan:

- UART, adaptador de comunicación serie asíncrona.
- USART, adaptador de comunicación serie síncrona y asíncrona.
- Puerta paralela esclava para poder conectarse con los buses de otros Microprocesadores.
- USB (Universal Serial Bus), que es un moderno bus serie para los PC.
- Bus I 2 C, que es un interfaz serie de dos hilos desarrollado por Philips.
- CAN (Controller Área Network), para permitir la adaptación con redes de

Conexionado multiplexado desarrollado conjuntamente por Bosch e Intel para el cableado de dispositivos en automóviles. En EE.UU. se usa el J185O.(Microchip 2009)

1.8 Conclusiones del capítulo.

En este capitulo fueron expuestos los principales aspectos teóricos relacionados con el control de velocidad de motores de corriente directa, sus partes fundamentales, su principio de funcionamiento, así como las principales características de los microcontroladores y circuitos que forman dicho control de velocidad.

CAPÍTULO II: DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.

2.1 Introducción.

Para el diseño se empleara el método de control del voltaje en los terminales de la armadura con la configuración de voltaje constante de acoplamiento de dc con modulación de ancho de pulso de una sola polaridad, para el cual se utilizara un microcontrolador del tipo PIC el cual genera una señal (PWM) variable que hace conmutar al elemento de potencia y así lograr variar la tensión en la armadura. Como se muestra en la figura 2.1.

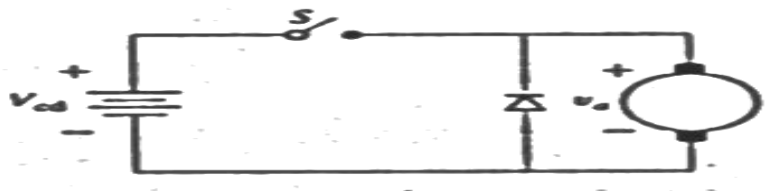


Figura 2.1 Esquema del control de voltaje en los terminales de armadura.

2.2 Especificaciones de este método de control.

Cuando un motor dc funciona con sus valores de tensión, corriente de excitación y potencia asignadas o nominales se dice que gira a la velocidad base. La regulación por control de la tensión aplicada al inducido se realiza para velocidades inferiores a la velocidad base, pero no para velocidades superiores a ella, ya que requeriría una tensión mayor que la asignada, por lo que podría dañarse el inducido. La regulación por control de la corriente de excitación se emplea para velocidades superiores a la velocidad base. En la regulación de velocidad por ajuste de la tensión aplicada al inducido (caso de motores con excitación independiente), cuanto menor es la tensión aplicada, menor es la velocidad, y cuanto mayor es la tensión, más elevada es la velocidad que alcanza el motor, existe una velocidad máxima que puede alcanzar la máquina con este procedimiento, y corresponde al valor máximo de la tensión permitida (tensión asignada).Este método es capas de ofrecer un par constante

mientras varia su velocidad y potencia demostrando ser más factible desde el punto de vista energético ya que requiere para bajas velocidades ,bajas potencias ,en comparación con el método de control de la corriente de campo que trabaja a potencia constante.

2.2.1 Resumiendo el comportamiento de causa y efecto de este método de control de velocidad se tiene.

- Un incremento en el (Va) aumenta $Ia = \frac{Va \uparrow - Ea}{Ra}$
- Un incremento en (Ia) aumenta $\tau ind = Kf * \varphi * Ia \uparrow$
- Un incremento en (ℓind) hace que ℓind > ℓcarga y aumenta ωm.
- Un incremento en (ωm) aumenta $Ea = Kf * \varphi * \omega m \uparrow$
- Un incremento en (Ea) disminuye $Ia = \frac{Va - Ea \uparrow}{Ra}$
- Una disminución en (Ia) disminuye ℓind hasta que ℓind= ℓcarga a una velocidad ωm más alta.(Guru, Hiziroglu et al. 2003)

2.3 Características del control con microcontroladores.

Los circuitos de control a base de microcontroladores son de gran ayuda para las industrias. 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.

2.3.1 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.
- Los procesadores digitales tienen un tamaño y peso menor.
- Los costos de los µC, MP y PDS son cada vez menores.

2.3.2 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.

2.3.3 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.

2.4 Herramientas utilizadas para el diseño.

Para el diseño de circuitos a base de microcontroladores se usan herramientas de apoyo, o sea, programas como simuladores y compiladores que permiten poner en práctica los diseños. Ejemplos de estos son.

2.4.1 Proteus

El entorno de diseño electrónico Proteus de Labcenter Electronics ofrece la posibilidad de simular código microcontrolador de alto y bajo. Esto permite el

diseño tanto a nivel hardware como software y realizar la simulación en un mismo y único entorno. Para ello, se suministran tres potentes subentornos

- El ISIS para el diseño gráfico,
- VSM (Virtual SystemModelling) para la simulación
- El ARES para el diseño de circuitos impresos.

En la figura 2.2 se puede apreciar la vista del software Proteus 8.1.

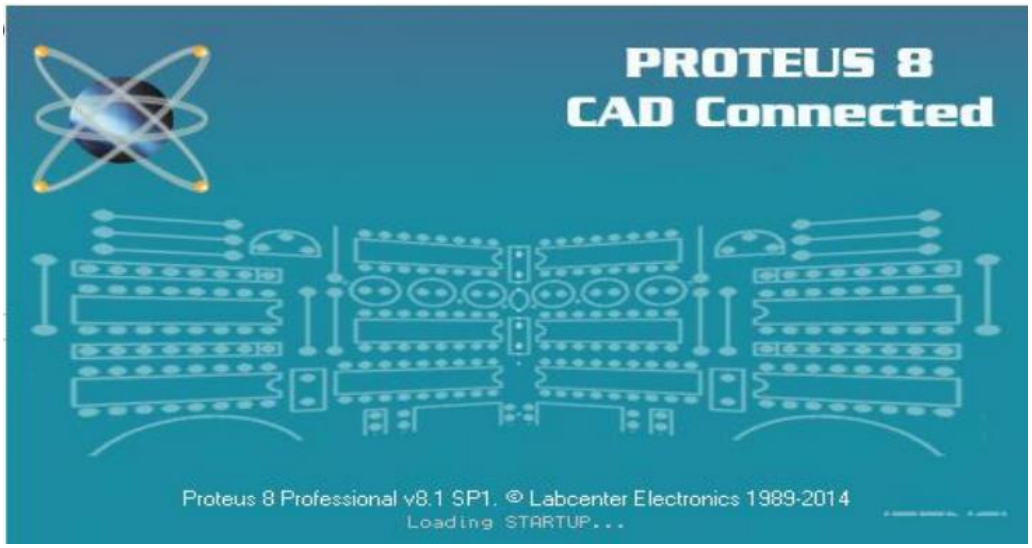


Figura 2.2. Proteus 8.1.

ISIS es un potente programa de diseño electrónico que permite realizar esquemas que pueden ser simulados en el entorno VSM o pasados a un circuito impreso ya en el entorno ARES. El simulador ISIS de Proteus es un poderoso paquete de software, desarrollado por la compañía Labcenter Electronics, que se ha posicionado desde hace más de 10 años, como una de las herramientas más útiles para la simulación de los microcontroladores PICMicro. El ISIS permite la simulación de las familias de los PICMicro más populares tales como la: 12F, 16F, 18F.Además de los PIC, ISIS puede simular una gran variedad de dispositivos digitales y analógicos, entre los dispositivos digitales es posible simular displays de siete segmentos, de caracteres, y gráficos. ISIS puede simular sensores de temperatura, humedad, presión, y

luminosidad, entre otros. El simulador permite, simular actuadores como: motores dc, servo motores, luces incandescentes entre otros. Es posible simular periféricos de entrada y salida como teclados, y puertos físicos del ordenador como: RS232, y USB. Este simulador cuenta con una amplia variedad de instrumentos de medición como voltímetros, amperímetros, osciloscopios, y analizadores de señal. En conclusión estás y otras características hacen del ISIS de Proteus, una herramienta ideal para el diseño y estudio de los PICMicro. En la figura 2.3 se puede apreciar la apariencia visual del entorno de desarrollo del ISIS.

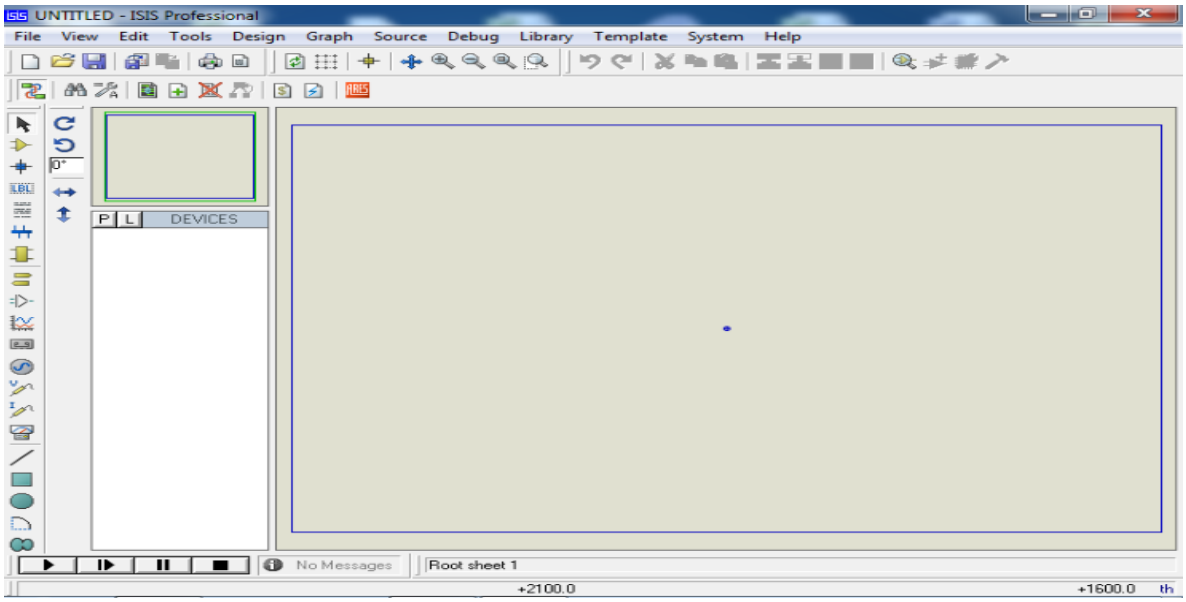


Figura 2.3.Vista del entorno de desarrollo del ISIS.

2.4.2 El compilador MikroC PRO.

La programación de microcontroladores se basa en un código de máquina que es conocido como código ensamblador, este código contiene una a una las instrucciones del programa, este código ensamblador o también conocido como código asembler es minucioso, y tedioso de editar. El asembler crea códigos de programa extensos y de difícil comprensión. La creación de compiladores de alto nivel facilitó la edición y creación de programas en todo modo de

programación lógica, por supuesto los microcontroladores no fueron la excepción, comercialmente existen varios compiladores de diferentes fabricantes y diferentes lenguajes de alto nivel. Es posible adquirir compiladores como el PICC, CCS, PIC Basic, entre otros, el compilador MikroC PRO, que es un compilador en lenguaje C para microcontroladores PICMicro de la familia 12F, 16F, y 18F, es un paquete de software con una amplia variedad de ayudas y herramientas que facilita la creación de proyectos y aplicativos . El compilador de alto nivel en lenguaje C utiliza estructuras que facilitan la programación, optimiza las operaciones matemáticas y los procesos, por medio del uso de funciones predefinidas y las no predefinidas que el desarrollador puede crear, así como el uso de un conjunto de variables, de tipo carácter, entero, y punto decimal. El compilador crea automáticamente el código ensamblador y a su vez un código similar consignado en un archivo con extensión *.hex, este archivo es el resultado primordial del compilador dado que con este se programa eléctricamente el microcontrolador o con el mismo se puede realizar una simulación computacional. En la figura 2.4 se puede apreciar la apariencia visual del entorno de desarrollo.

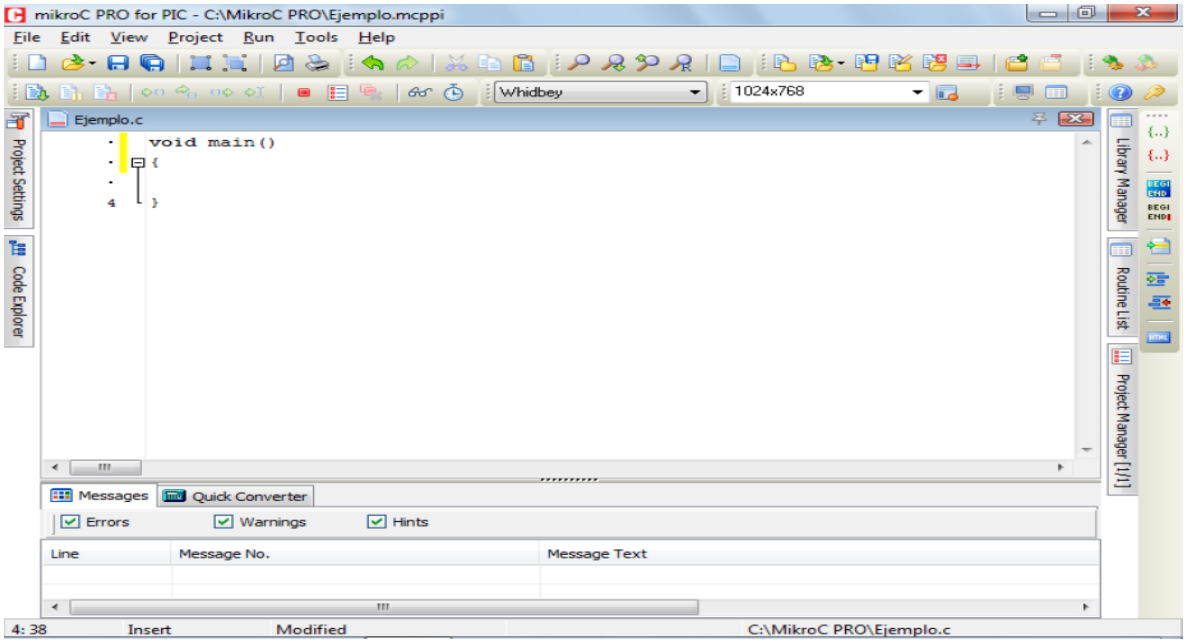


Figura 2.4.Vista del entorno de Micro C Pro.

2.4.3 Lenguaje utilizado para la programación.

El lenguaje C data del año 1972; fue creado por los laboratorios Bell como resultado de la necesidad de reescribir los sistemas operativos UNIX con el fin de optimizar el conocido código ensamblador. De igual manera el lenguaje C fue la evolución de lenguajes previos llamados B, y BCPL. El nuevo lenguaje C, rápidamente tomó fuerza por su funcionalidad y facilidad en la implementación en diversos sistemas computacionales que requerían códigos de máquina. La estructura de un programa en lenguaje C es relativamente simple, primero es indispensable declarar las variables globales que el desarrollador considere necesarias para el funcionamiento del programa, estás variables globales son reconocidas por todos los puntos de código del programa incluidas las funciones propias del desarrollador y la función main. El paso a seguir es hacer las declaraciones de funciones diseñadas por el desarrollador para las tareas específicas en su programa. Posteriormente se declara la función main y al comienzo de está se deben declarar las variables que se requieran dentro de la misma. El código que sigue debe configurar e inicializar los puertos y módulos del microcontrolador que sean indispensables en la aplicación. Por último se edita el código que contiene el aplicativo concreto del programa.

2.5 Características del motor dc de la pulidora metalográfica:

- Potencia (P)=1.17 Kw
- Tensión (V)=220 V
- Corriente (I)=6.48 A
- Corriente de campo (If) = 0.35 A
- Corriente de armadura (Ia) =6.13 A
- Velocidad (n)= 3150 rpm
- Constante geométrica (Kf)= 1.582 V⁄A*rad⁄s
- Resistencia de armadura (Ra)= 6.1Ω
- Resistencia de campo (Rf) =632Ω
- Eficiencia (η) = 78 %

- Tipo de servicio (S1) o servicio permanente (El motor debe suministrar la potencia nominal permanentemente.)

2.6 Cálculos necesarios para el diseño del control de velocidad.

Para la preparación de secciones metalográficas la pulidora gira en un rango de velocidad de 75 rpm a 1500 rpm dependiendo del tipo de material**,** la cual cuenta con una trasmisión por poleas que reduce la velocidad del motor de 3150 rpm a 1500 rpm. Originalmente constaba de 4 pasos de velocidad, y con el objetivo de ampliar su funcionalidad se le incrementaron 3 pasos dentro de su rango de velocidad, empezando por la velocidad mínima de 75 rpm hasta la máxima de 1500 rpm.

Utilizando la ecuación de conversión de velocidad de rpm a radianes por segundo seria.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \qquad (2.1)$$

Donde

w :es la velocidad angular en radianes por segundo

n : es velocidad en revoluciones por minuto (rpm)

Debido al método de control a utilizar se hace necesario conocer el voltaje de armadura del motor para cada paso de velocidad mediante la ecuación (1.9) y realizando un despeje del voltaje de armadura la ecuación seria

$$Va = \omega m * Kf * If + Ia * Ra \qquad (2.2)$$

Para el primer paso de velocidad el motor gira a 157.5 rpm mientras que el disco de la pulidora gira a velocidad de 75 rpm producto a la trasmisión por poleas que posee la maquina que reduce la velocidad del motor utilizando la ecuación (2.1) y sustituyendo la velocidad del motor en radianes por segundo es.

$$\omega m = \frac{2*\pi*157.5}{60} = 16.5 rad \diagup seg$$

Sustituyendo el valor de velocidad en la ecuación (2.2) el voltaje de armadura para una velocidad de 75rpm es.

$$Va = 16.5*1.582*0.35 + (6.13*6.1) = 46.5V$$

Por lo tanto utilizando la ecuación (1.10) y despejando el ciclo de servicio de la señal PWM seria.

$$D = \frac{46.5}{220} = 0.21621\%$$

Para los siete escalones de velocidad se realizaron los cálculos pertinentes y los principales resultados se muestran en la tabla 2.1.

Velocidad de la pulidora (rpm)	Velocidad del motor (rpm)	Velocidad del motor en (rad⁄seg)	Voltaje de armadura del motor (V)	Ciclo de servicio de la PWM (%)
75	157.5	16.5	46.5	21
350	735	76.9	79.9	36
550	1155	120.8	104.3	47
750	1575	164.9	128.6	58
1000	2100	219.8	159	72
1250	2625	274.7	189.5	86
1500	3150	329.7	219.9	99

Tabla 2.1 Relación de velocidad, ciclo de servicio de la señal y voltaje de armadura.

2.7 Diseño y captura esquemática del control de velocidad

Para la realización del control de velocidad de la pulidora metalográfica quedo definida la utilización de un método de variación de velocidad al cual se le

aplicaría un control empleando un microcontrolador del tipo pic 16F877A mediante la generación de una señal PWM que controla un dispositivo semiconductor en función de chopper.

2.7.1 Descripción de los bloques que componen la aplicación.

Circuito de fuerza.

Está compuesto por un transistor del tipo IGBT realizando la función de pulsador o chopper y un diodo de potencia del tipo de recuperación rápida en función de marcha libre para proveer una trayectoria a la corriente de la carga inductiva del motor. La figura 2.5 muestra la captura esquemática del circuito de fuerza de la aplicación.

Figura 2.5 Vista esquemática del circuito de fuerza.

2.8 Transistor IGBT (IRG4PC40U).

Para realización de esta investigación se escogió un transistor del tipo IGBT (IRG4PC40U) debido a su capacidad de manejar grandes corrientes, sus bajas perdidas en operación, así como su velocidad de conmutación, en la figura 2.6 a) y 2.6 b) se muestra se representación física y vista esquemática del software Proteus. La tabla 2.2 muestra los parámetros eléctricos del elemento.

Parámetros Eléctricos	Símbolos	Valor
Voltaje colector - emisor	Vce	600 V (dc)
Voltaje gate-emisor	Vge	± 20 V (dc)
Corriente de colector	Ic	40 A
Pulso repetitivo de corriente por colector	Icm	160 A

Tabla 2.2 Parámetros eléctricos del transistor IGBT (IRG4PC40U).

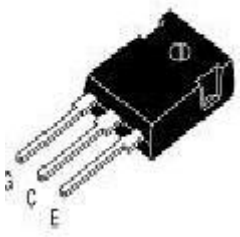


Figura 2.6 a) Apariencia física.

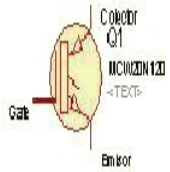


Figura 2.6 b) Vista esquemática.

2.9 Diodo de recuperación rápida (P600G)

Es un diodo de potencia con un menor tiempo de recuperación inversa es decir, el paso del estado de conducción al de bloqueo en el diodo no se efectúa instantáneamente. Si un diodo se encuentra conduciendo una intensidad, la zona central de la unión P-N está saturada de portadores mayoritarios. Si mediante la aplicación de una tensión inversa forzamos la anulación de la corriente con cierta velocidad resultará que después del paso por cero de la corriente existe cierta cantidad de portadores que cambian su sentido de movimiento y permiten que el diodo conduzca en sentido contrario durante un instante. La tensión inversa entre ánodo y cátodo no se establece hasta después del tiempo llamado tiempo de almacenamiento, en el que los

portadores empiezan a escasear y aparece en la unión la zona de carga espacial. La intensidad todavía tarda un tiempo llamado tiempo de caída en pasar de un valor de pico negativo (IRRM) a un valor despreciable mientras van desapareciendo el exceso de portadores a la suma de estos dos tiempos se le conoce como tiempo de recuperación inversa. La tabla 2.3 muestra los parámetros eléctricos del diodo de recuperación rápida escogido para el trabajo. La figura 2.7 a) muestra su apariencia física y 2.7 b) vista esquemática del software Proteus.

Parámetros Eléctricos	Símbolo	Valor
Tensión inversa de pico repetitivo	V_{RRM}	400 V
Tensión inversa continua	V_R	400 V
Intensidad media nominal	$I_{F(Fe)}$	7.5 A
Perdidas en conducción	V_F	0.90 V
tiempo de recuperación inversa	t_{rr}	50 ns

Tabla 2.3 Parámetros eléctricos del diodo de recuperación rápida.

Figura 2.7 a) Apariencia física.

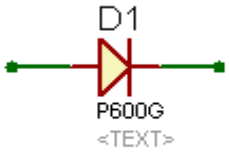


Figura 2.7 b) Vista esquemática.

2.10 Características del microcontrolador a utilizar.

El microcontrolador PIC16F877A.

Para la realización de este trabajo se utilizo el microcontrolador PIC16F877A el cual es el encargado de producir una señal del tipo PWM variable dependiendo del usuario, además de visualizar en un dispositivo LCD los parámetros y mensaje que genera la aplicación.

PIC 16F877A.

Es uno de los microcontroladores de familia Microchip de los más comunes actualmente, poseen características que hacen a estos microcontroladores dispositivos muy utilizados en diferentes ramas de la industria y la sociedad.

Características específicas

- Frecuencia máxima 20MHz
- Memoria de programa FLASH (palabra de 14 bits) 8k
- Memoria RAM de datos (bytes) 368
- Memoria EEPROM de datos (bytes) 256
- Puertos E/S A,B,C,D,E
- Número de terminales 40
- Tres temporizadores
- Dos módulos CCP(Capture/Compare/PWM)
- Comunicaciones serie MSSP, USART
- Comunicación paralelo PSP
- Ocho módulo de CAD (Conversor A/D) de 10 bits
- Arquitectura Harvard
- Dos canales PWM
- Dos comparadores analógicos
- CPU RISC

2.10.1 El Modulo CCP.

El control PWM es uno de los tres posibles modos de operación del modulo CCP de los microcontroladores PIC. En este modo, el pin CCP1 produce una señal de hasta 10 bits de resolución, lo que significa que tiene 1024 opciones de configuración del ciclo de trabajo. Este pin tiene que configurarse como salida por medio del registro TRIS. La figura 2.8 muestra un diagrama de bloques del modulo CCP operando como control PWM.

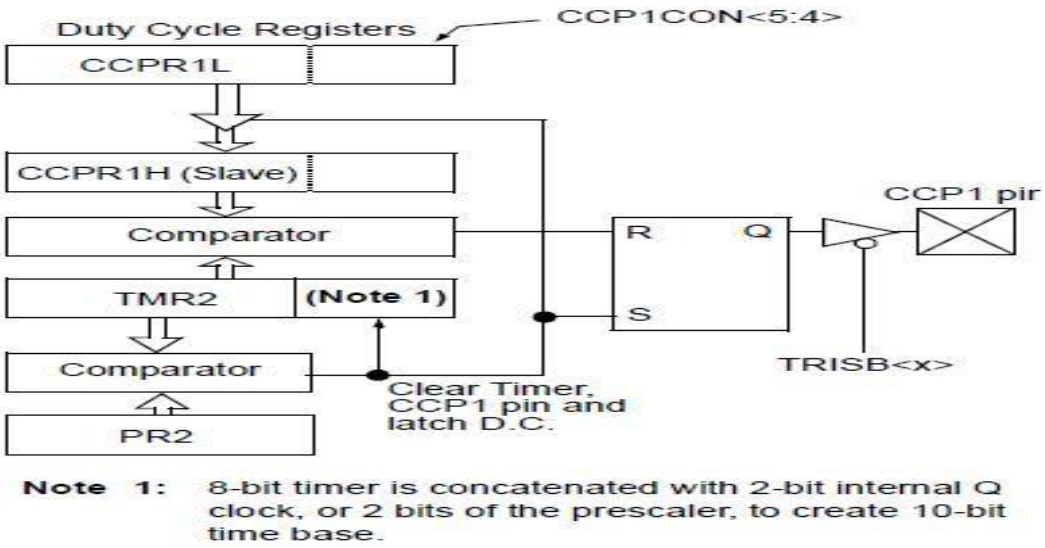


Figura 2.8 Diagrama del CCP**.**

2.11 Elementos que conforman el circuito de control.

2.11.1 Display LCD de caracteres.

Para la visualización de datos y mensajes que genera la aplicación se utiliza un display de caracteres LCD, los cuales son módulos prefabricados que contienen controladores incluidos. Estos displays cuentan con un bus de datos y un bus de control. La apariencia física y la vista en ISIS de estos LCD es la que se puede apreciar en las gráficas 2.9 a) y 2.9 b).

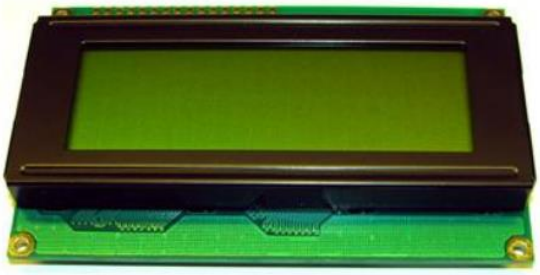


Figura 2.9 a) Apariencia física

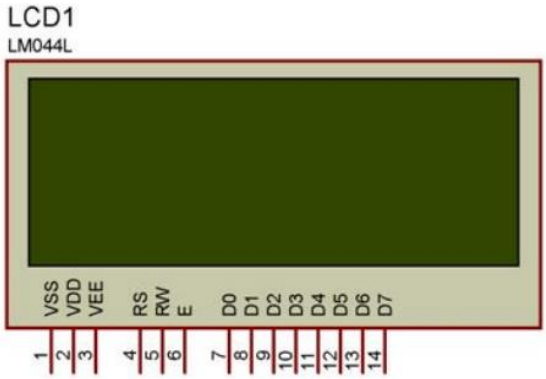


Figura 2.9 b) Vista esquemática.

Los displays LCD, permiten graficar los caracteres contemplados en el código ASCII. Además del código ASCII, los displays LCD admiten graficar hasta 8 caracteres diseñados por el desarrollador, otra característica fundamental de los LCD, es la conexión del bus de datos, físicamente tienen 8 bits, pero es posible configurar las conexiones con solo 4 bits. La conexión de 8 bits implica una mayor cantidad de cables para su uso, pero la velocidad de trabajo es mayor, por consiguiente la conexión de 4 bits minimiza las conexiones pero disminuye la velocidad de trabajo.

2.11.2 Entradas digitales.

Para el control de cualquier sistema de regulación de velocidad para motores dc se necesita de al menos un panel de botones que permitan la puesta en marcha y parada, además de la selección del sentido de giro del motor. Los botones en cuestión se muestran en la figura 2.10.

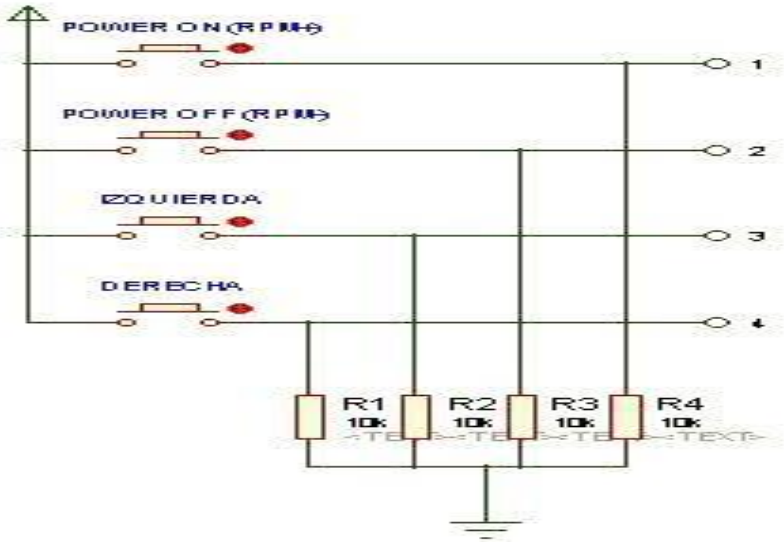


Figura 2.10 Vista esquemática del panel de botones desde el software Proteus.

2.11.3 Control del pulsador.

Para controlar el pulsador 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 el transistor encargado de realizar la función de pulsador que en este caso fue empleado un transistor del tipo IGBT. La figura 2.11 muestra el circuito activador del mismo.

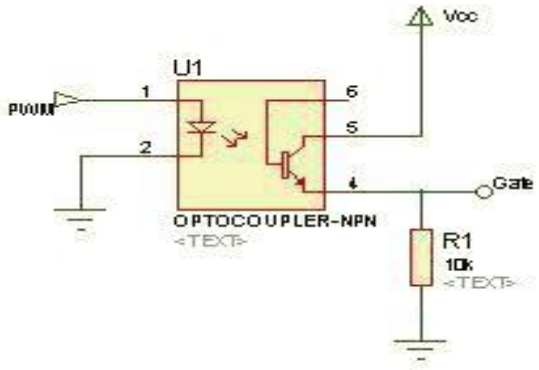


Figura 2.11 Circuito de disparo.

2.11.4 Circuito Oscilador.

El microcontrolador PIC 16F877A, al igual que cualquier microcontrolador de la familia Microchip necesita de una señal de reloj que le servirá como base de tiempo para la ejecución de las instrucciones, a pesar de poseer un fuente de reloj interna que brinda la comodidad de reducir el número de componentes externos su precisión y estabilidad frente a los cambios de temperatura no es la mejor. Por lo tanto se utilizara un oscilador a cristal externo de 4 MHz el cual se conecta a través de los pines OSC1 y OSC2 del microcontrolador. El diseño de la oscilación externa tuvo en cuenta los datos suministrado por Microchip. La figura 2.12 muestra la vista esquemática del Proteus del circuito oscilador.

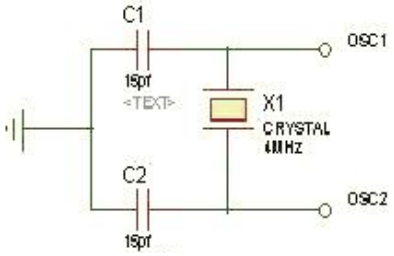


Figura 2.12 Circuito Oscilador.

2.11.5 Circuito de RESET.

Todo MCU o sistema basado en microprocesadores necesita en algún momento ser reiniciado. Esto se logra dando un pulso positivo al pin RESET. La vista esquemática del software Proteus puede verse en la figura 2.13.

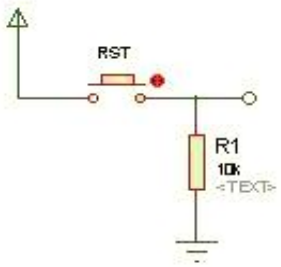
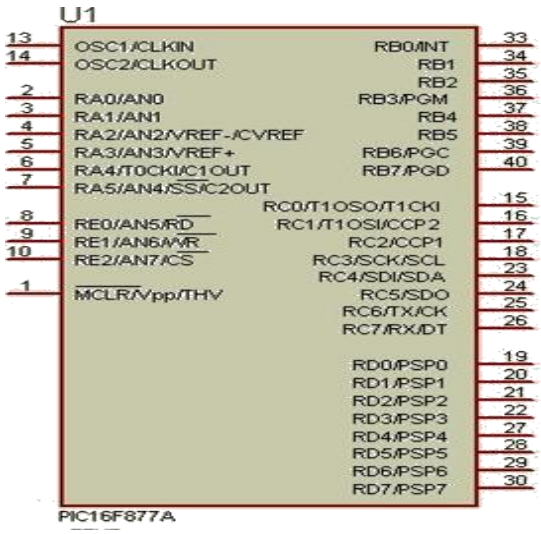


Figura 2.13 Circuito de Reset.

2.11.6 El Microcontrolador.

El elemento fundamental en el circuito propuesto lo constituye precisamente el microcontrolador, debido a que realiza todas las funciones de control en los dispositivos que intervienen directamente en la regulación de la velocidad del motor dc según la propuesta de este trabajo. El microcontrolador empleado en el diseño de la aplicación es un PIC 16F877A cuyas características fueron detalladas anteriormente. La figura 2.14 muestra el modelo esquemático del PIC 16F877A en el software Proteus.



La figura 2.14 muestra el modelo esquemático y su distribución de pines.

2.11.7 Fuente de alimentación para el circuito de control.

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 la excitación del chopper, en tanto que los 5V son necesarios para el resto de los componentes del circuito. La figura 2.15 muestra el diseño de la fuente de alimentación.

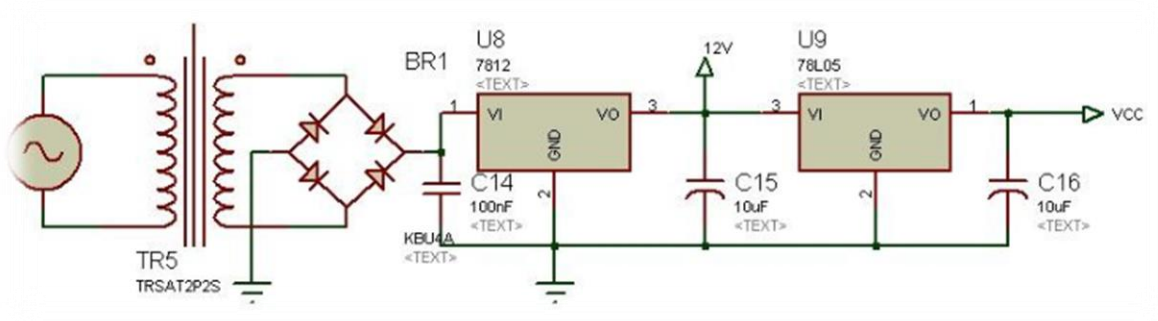
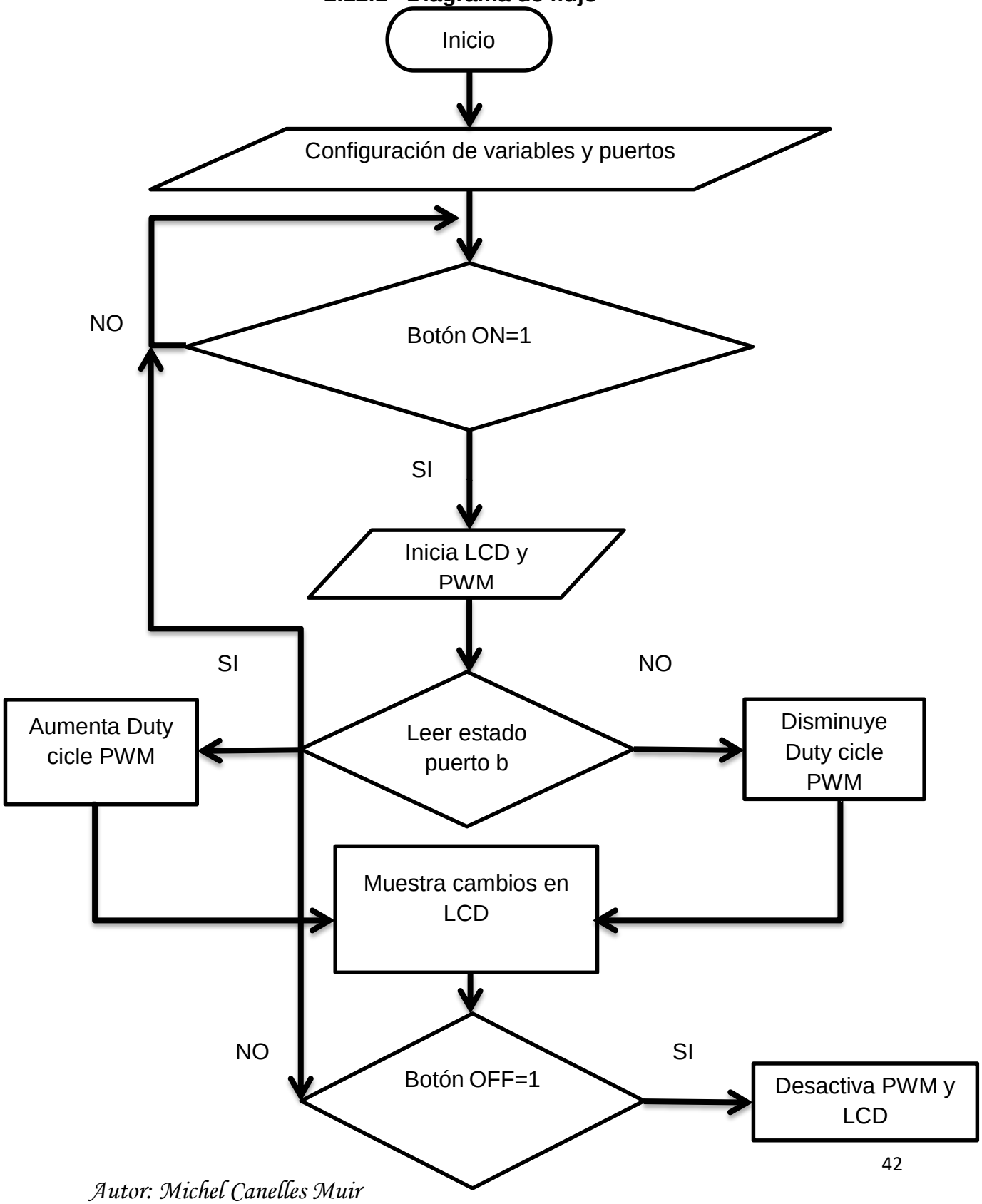


Figura 2.15 Vista esquemática de la fuente de alimentación.

2.12 Programación del microcontrolador PIC 16F877A.

El microcontrolador PIC 16F877A es el elemento más importante de éste trabajo, no solo por contener la función PWM 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. La programación del microcontrolador constituye unas de las tareas fundamentales de este trabajo debido al papel que desempeña en el control del motor (dc) de la pulidora metalográfica. Dicha programación está fundamentada por el algoritmo que le dio origen de ahí la justificación de mostrar el algoritmo seguido para elaborar la programación del microcontrolador. El siguiente diagrama de flujo representa el algoritmo seguido para la elaboración del programa principal.

2.12.1 Diagrama de flujo



En este algoritmo se puede apreciar el procedimiento a seguir, que básicamente consiste en la configuración de variables y puertos utilizados por el sistema, la lectura del botón (POWER ON) que es quien permite la puesta en marcha del sistema de control, posteriormente se inicializa el modulo LCD para la visualización de mensajes y parámetros que genera la aplicación, luego se inicializa la señal PWM del microcontrolador para proceder a la lectura del los botones del puerto B del microcontrolador, dependiendo del botón pulsado y de la duración del pulso se incrementan o decrementan los valores del ciclo de trabajo de la señal PWM, se actualizan los nuevos valores en el visualizador LCD y se pregunta por el estado del botón (POWER OFF) dependiendo de su estado y duración del pulso se procede a desactivar la señal PWM y apagar el sistema de control o a repetir el ciclo del programa.

2.13 Resultados de la simulación.

Las gráficas que se muestran a continuación son el resultado de la simulación en el software Proteus 8.1, en ellas se observa el diseño del circuito y el comportamiento que debe tener luego de montado experimentalmente. La figura 2.16 muestra el diseño de la aplicación mientras las figuras 2.17 a) y 2.17 b) muestra las formas de onda de entrada y salida del circuito de fuerza de la aplicación para una velocidad de 75 RPM y 1500 RPM respectivamente.

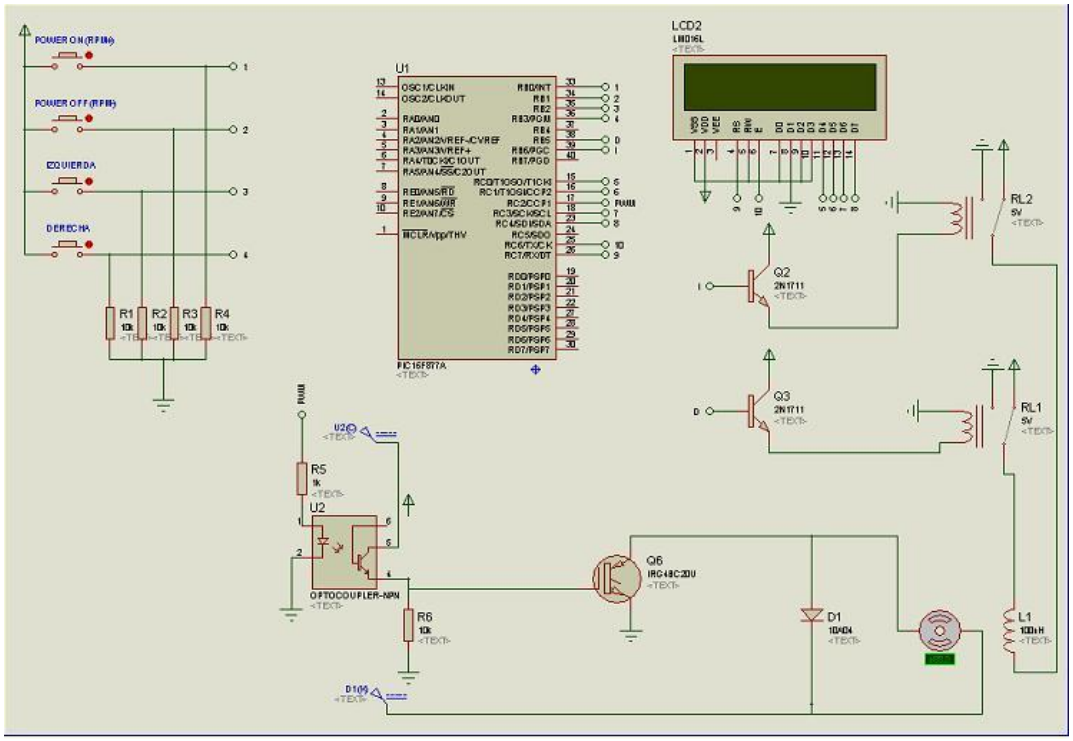


Figura 2.16 Diseño de la aplicación.

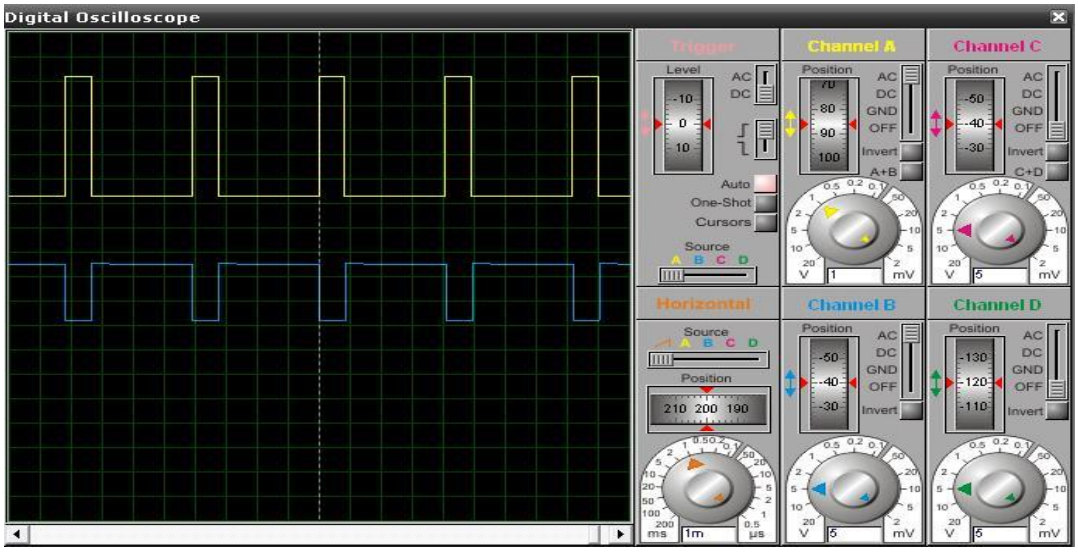


Figura 2.17 a) Señal de entrada y salida del circuito de fuerza de la aplicación para una velocidad de 75 RPM.

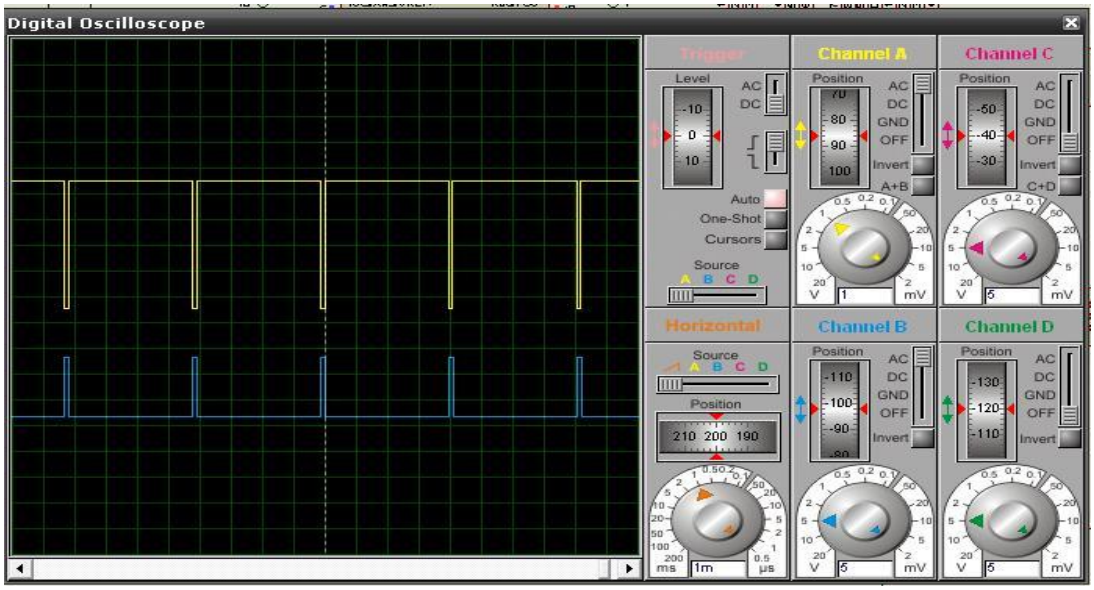


Figura 2.17 b) Señal de entrada y salida del circuito de fuerza de la aplicación para una velocidad de 1500 RPM.

2.14 Conclusiones del Capítulo.

En este capítulo se definieron cada una de las herramientas utilizadas para el diseño, simulación y programación del circuito de control, se caracterizaron los elementos utilizados para el diseño, además de quedar definida la utilización de un método de control basado en el microcontrolador PIC 16F877A para la puesta en marcha de la pulidora metalográfica modelo 3E881M .

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y VALORACIÓN ECONÓMICA.

3.1 Introducción.

El desarrollo de este capítulo tiene el propósito de demostrar la fiabilidad de este proyecto a través de los resultados obtenidos y la valoración económica, esta última permite analizar las posibilidades reales de una inversión. Actualmente es primordial que todo profesional tenga conocimientos que le permitan escoger, no solo las variantes más eficientes sino también las más económicas.

3.2 Resultados de las pruebas realizadas.

Las mediciones obtenidas en el laboratorio fueron realizadas utilizando un osciloscopio digital de la marca RIGOL modelo DS1022C de 2 canales de 25 MHz, además fue utilizada una tarjeta de entrenamiento para microcontroladores PIC modelo HJ-5G V2.0 contando esta con un módulo LCD 16x2 ,40 pines entrada salida, un puerto USB, además de un teclado matricial 4x4. Para el ajuste del control de velocidad se utilizo un pequeño motor (dc). La figura 3.1 muestra la imagen de los instrumentos utilizados.

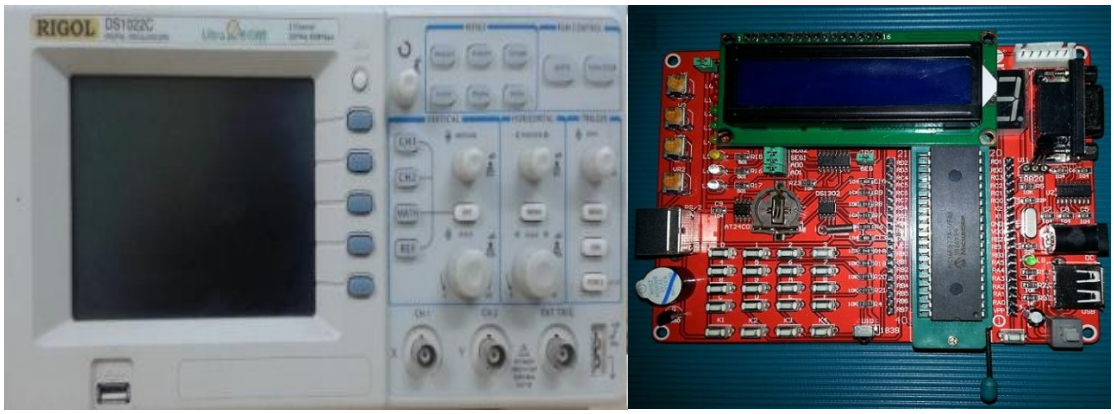


Figura 3.1 herramientas utilizadas para el montaje.

En la figura 3.2 a) y 3.2 b) se muestra la variación del ancho de pulso en la señal 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 salida del IGBT para una velocidad de 75 rpm y 1500 rpm respectivamente, si se compara con los resultados obtenidos de la simulación figura 2.17 a) y 2.17 b) del capitulo anterior se observa que guardan semejanza con la realidad.

a) Velocidad 75 rpm. b) Velocidad 1500 rpm.

Figura 3.2 Señal PWM

3.3 Valoración técnica.

Desde el punto de vista técnico, la propuesta del diseño de un circuito de control para variar la velocidad del motor (dc) de la pulidora metalográfica modelo 3E881M presente en el laboratorio Ciencias de los Materiales del ISMM, empleando la técnica de mando de Modulación por Ancho de Pulso (PWM) generada por un microcontrolador, aplicada al método de control del voltaje en los terminales de armadura del motor (dc), presenta ventajas con respecto al anterior método de control utilizado, el control de la resistencia del circuito de armadura el cual presenta una desventaja significativa, la pérdida de potencia en el resistor externo es grande en especial cuando la velocidad se reduce. De

hecho, para una carga de par constante la entrada de potencia al motor más el resistor permanece constante en tanto que la salida de potencia a la carga decrece en proporción con la velocidad. Por lo tanto, los costos de operación son comparativamente elevados para una operación larga a velocidades reducidas. Mientras que el control del voltaje en los terminales de armadura proporciona un par constante a la vez que varía su velocidad y potencia demostrando ser más eficiente desde el punto de vista energético, además la inserción de tres velocidades más dentro del rango de trabajo de la pulidora permite el tratamiento de metales como los aceros al carbono. La tabla 3.1 muestra la relación velocidad material del control de velocidad antiguo de la pulidora metalográfica, mientras que la tabla 3.2 muestra la relación de velocidad material para el nuevo diseño.

Control Antiguo	
Velocidad de pulidora (rpm)	**Materiales**
75	Metales blandos
350	Metales blandos
1250	Aleaciones de metales
1500	Aleaciones de metales

Tabla 3.1Relación velocidad material.

Nuevo diseño	
Velocidad de pulidora (rpm)	**Materiales**
75	Metales blandos
350	Metales blandos
550	Aceros al carbono
750	Aceros al carbono
1000	Aceros al carbono
1250	Aleaciones de metales
1500	Aleaciones de metales

Tabla 3.2 Relación velocidad material.

3.4 Valoración económica.

Para la valoración económica se analizará el valor de cada uno de los componentes necesarios para la construcción de este circuito. La tabla 3.3 muestra el nombre, cantidad y precios por unidad y total de cada uno de los dispositivos en el mercado internacional en usd.

Tabla 3.3 Precios de los elementos utilizados.

Nombres de los componentes	**Cantidad**	**Precio por Unidad (usd)**	**Precio Total**
Microcontrolador PIC 16F877A	1	5.45	5.45
Transistor de potencia IGBT	1	4.25	4.25
Optoacoplador NPN	1	0.50	0.50
Transistor BJT NPN	2	0.27	0.54
Display LCD de caracteres	1	4.09	4.09
Diodo de recuperación rápida	1	0.15	0.15
Diodo	4	0.15	0.60
Relés	1	1.90	1.90
Resistencias de 10K	5	0.30	1.5
Resistencias de 1K	1	0.03	0.03
Push Button	4	0.74	2.96
Transformador de Tensión	1	2.45	2.45
Regulador 7805	1	1.30	1.30
Regulador 7812	1	2.15	2.15
Condensador 100nf	1	0.19	0.19
Total			28.06

Como se puede observar en la tabla 3.3, el precio total de la implementación del hardware es de $28.06 CUC que equivale a $701.5 en MN. Teniendo en cuenta que la mayoría de los componentes utilizados en el diseño se encuentran en el

instituto, y que la construcción del dispositivo puede llevarse a cabo en el centro por la simplicidad del circuito, este proyecto es altamente económico. 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 Conclusiones.

En este capítulo se analizaron los resultados obtenidos. Se demostró la factibilidad de reciclar componentes de tarjetas en desuso y/u obsoletas además basándose en el costo de los componentes que integran el módulo construido, se obtuvo la cantidad necesaria de efectivo para la realización del proyecto demostrando que es factible económicamente.

Conclusiones generales.

- Se realizaron estudios sobre el control de velocidad de los motores dc, microcontroladores y circuitos que intervienen en el control de motores.
- Se realizó un estudio de trabajos precedentes que demuestran la actualidad del tema y su utilidad.
- Se diseñó el circuito de control para variar la velocidad del motor dc de la pulidora metalográfica.
- Se analizaron los resultados obtenidos después del montaje, observando que realmente se asemejan con los de la simulación.
- Se demostró su factibilidad económica basada en el costo de los componentes utilizados para el diseño.
- Se le agregaron tres velocidades más dentro del rango de trabajo de la pulidora permitiendo el pulido metalográfico de otros materiales, como los aceros al carbono.

Recomendaciones.

- Implementar al circuito propuesto el método de control de corriente de campo y así lograr un control dual tanto para velocidades inferiores como superiores a la velocidad base y ampliar el rango de velocidad del motor.
- Implementar el diseño propuesto a la pulidora metalográfica modelo 3E881M presente en el laboratorio Ciencia de los Materiales del ISMM.

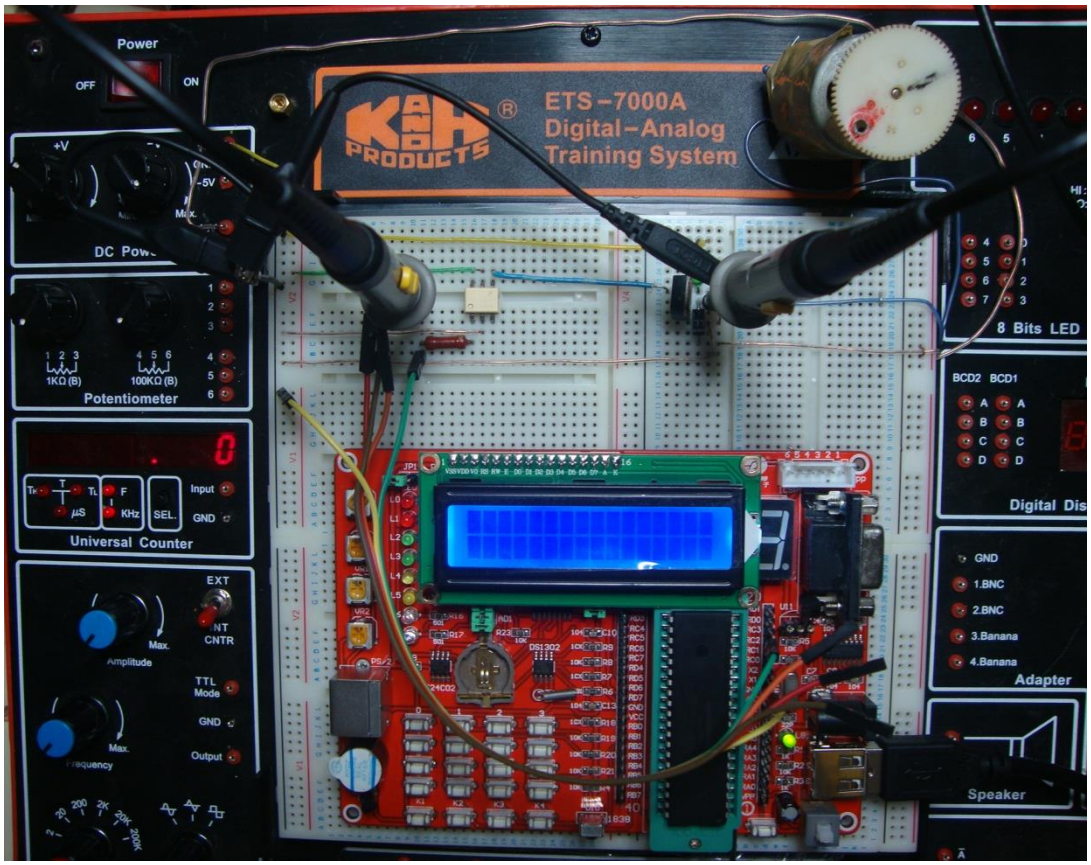
Bibliografía.

1) Alpajón., D. F. (2009). Interfaz para comunicación de sistema SCADA de accionamientos con variadores de velocidad.
2) Alvarado (2009). Diseño y construcción de un vehiculo electrico con variador de velocidad mediante un convertidor de corriente directa a corriente directa.
3) Correa Eras, A. Y. and E. P. Remache Ortega (2006). "Sistema para controlar la velocidad de un motor DC utilizando modulación de ancho de pulso."
4) Feito, J. S. (2002). máquinas eléctricas.
5) Fitzgerald, A. E. (2004). máquinas eléctricas
6) Guadalupe (2006). Control de velocidad en motores de corriente directa con proposito de bombeo en sistemas hidráulicos.
7) Guru, B. S., H. R. Hiziroglu and J. E. Brito (2003). Máquinas eléctricas y transformadores, Oxford University Press.
8) H.Rashid, M. (1993). Electrónica de potencia
9) L.Herman, S. (2015). Electric Motor Control.
10) Lobosco, O. S., J. L. P. da Costa Dias and D. Oliver (1990). Selección y aplicación de motores eléctricos, Marcombo.
11) Mena, J. w. (2006). Implementacion del programa y la targeta para le control de la velocidad de dos motores de cc con microcontrolador PIC por medio de la transmision serial con protocolo RS-232 y modulacion por ancho de pulso.
12) Microchip (2009). manual del microcontrolador pic
13) mora, J. f. (2003). máquinas eléctricas.
14) Pozueta, M. A. R. (2010). CONSTITUCIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.
15) Quinde (1990). Diseño y construcción de un equipo didactico para el análisis experimental de rectificadores controlados y sistemas de control de velocidad para motores de corriente contínua.

16) Tamayo, A. M. (2015). Aplicación de los microcontroladores en la regulación de la velocidad de motores de corriente directa.

17) Wildi, T. (2010). "Electrical Machines."

Anexos.



Anexo 1 Sistema de control de velocidad montado en Protoboard.

Anexo 2 Programación del microcontrolador PIC 16F877A.

```
  sbit LCD_RW at RA4_bit;
  sbit LCD_RS at RA5_bit;
  sbit LCD_EN at RA3_bit;
  sbit LCD_D4 at RD4_bit;
  sbit LCD_D5 at RD5_bit;
  sbit LCD_D6 at RD6_bit;
  sbit LCD_D7 at RD7_bit;
  sbit LCD_RW_Direction at TRISA4_bit;
  sbit LCD_RS_Direction at TRISA5_bit;
  sbit LCD_EN_Direction at TRISA3_bit;
  sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;
  sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
  sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
  sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
  short estado=0;
  unsigned int varx=0;
  unsigned int varx1=0;
  unsigned int vary=0;
  unsigned  int velocidad=0;
  unsigned  int i=0;
  unsigned  int set=0;
  unsigned  int set1=0;
unsigned  int mio=0;
unsigned int apagado=0;
 int acumulador=0;
   void main(){
    char text [6];
   TRISA=0; //porta as input
   PORTA=0;
   ADCON1=7; //all input digital
TRISB=0b00011111;
PWM1_Init(245) ;
PWM1_Start();
Lcd_Init();
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);
mas: while(set1==0){
if(Button(&PORTB,0,5,0))estado=1 ;
if(estado==1){if(mio==1)if(Button(&PORTB,0,5,1)){estado=0;acumulador++;}  }
if (estado==1){if(mio==0)if(Button(&PORTB,0,5,1)){ varx=0;            } }
if (estado==1)if(mio==0){varx++;}
if(varx==200){ varx=0;mio=1;goto
bienvenida;}if(Button(&PORTB,1,5,0))apagado=1;
```

```
if(apagado==1)if(Button(&PORTB,1,5,1)){apagado=0;acumulador--;vary=0;}
if(apagado==1){if(acumulador>0);vary++;}
if(apagado==1)if(Button(&PORTB,1,5,1))vary=0;
if(vary==80)if(Button(&PORTB,1,5,0)) {PWM1_Set_Duty(0);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);lcd_out(1,3,"*CONTROL OFF*");
acumulador=0;vary=0; mio=0;delay_ms(600);Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
set=0;RB5_bit=0;RB6_bit=0;goto mas;}
if(acumulador==0){acumulador=0;velocidad=0;   }
if (acumulador>=7)acumulador=7;
if(acumulador<1){acumulador=0;velocidad=0; }
if (acumulador==1){velocidad=75;}
if(acumulador==2){velocidad=350 ;}
if(acumulador==3){velocidad=550;}
if (acumulador==4){velocidad=750;}
if(acumulador==5){velocidad=1000;}
if (acumulador==6){velocidad=1250;}
if(acumulador==7){velocidad=1500;}
wordToStr(velocidad,text);
if (mio==1)switch(acumulador){
case 0:Lcd_Out(2,4,(text));
PWM1_Set_Duty(0);
velocidad=0;
break ;
case 1: Lcd_Out(2,4,(text));
Lcd_Out(2,10,"rpm");
PWM1_Set_Duty(53);
velocidad=0;
break ;
case 2: Lcd_Out(2,4,(text));
PWM1_Set_Duty(90);
velocidad=0;
break ;
case 3: Lcd_Out(2,4,(text));
PWM1_Set_Duty(117);
velocidad=0;
break ;
case 4: Lcd_Out(2,4,(text));
PWM1_Set_Duty(145);
velocidad=0;
break ;
case 5:Lcd_Out(2,4,(text));
PWM1_Set_Duty(180);
break ;
```

```
case 6:Lcd_Out(2,4,(text));
PWM1_Set_Duty(215);
velocidad=0;
break ;
case 7:Lcd_Out(2,4,(text));
PWM1_Set_Duty(248);
velocidad=0;
break ;} };
bienvenida:lcd_Out(1,3,"*Bienvenidos*")  ;
Delay_ms(300);
for(i=0; i<12; i++){Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_LEFT);
delay_ms(300);}
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
while(set==0){
if(set==0){ lcd_OUt(1,1,"*Ingrese sentido de giro*");
delay_ms(300) ;
for(i=0; i<24; i++){Lcd_Cmd(_LCD_SHIFT_LEFT);
if(Button(&PORTB,3,5,0))set=1;i=24; if(Button(&PORTB,2,5,0))set=1;i=24;   }
 if(set==1)Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
if(set==1)if(Button(&PORTB,2,5,1)){lcd_out(1,4,"*DERECHA*
");RB5_bit=1;RB6_bit=0;
 delay_ms(800);
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
 set1=0;goto esto;  }
 if(Button(&PORTB,3,5,0))set=1;
if(set==1)if(Button(&PORTB,3,5,1)){lcd_out(1,4,"*IZQUIERDA*");RB5_bit=0;
  RB6_bit=1;
 delay_ms(800);
 Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);
 set1=0;goto esto;
 esto:lcd_out(1,4,"*INGRESADO*");
 delay_ms(500);Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);lcd_OUt(1,3,"*CONTROL ON*");
 goto mas ; }}} }
```