



INSTITUTO SUPERIOR
MINERO METALÚRGICO DE MOA
Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ

Ingeniería Eléctrica
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Eléctrico

Título: Desarrollo de una aplicación de software para el control de motores de CD.

Autor: Dunia Monges Merencio
Tutor: Ing. Eduardo Smith Galano

Moa, 2016

Declaración de Autoridad

Yo Dunia Monges Merencio autor de este trabajo de diploma titulado:

“Desarrollo de una aplicación de software para el control de motores de CD”, certifico su 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.

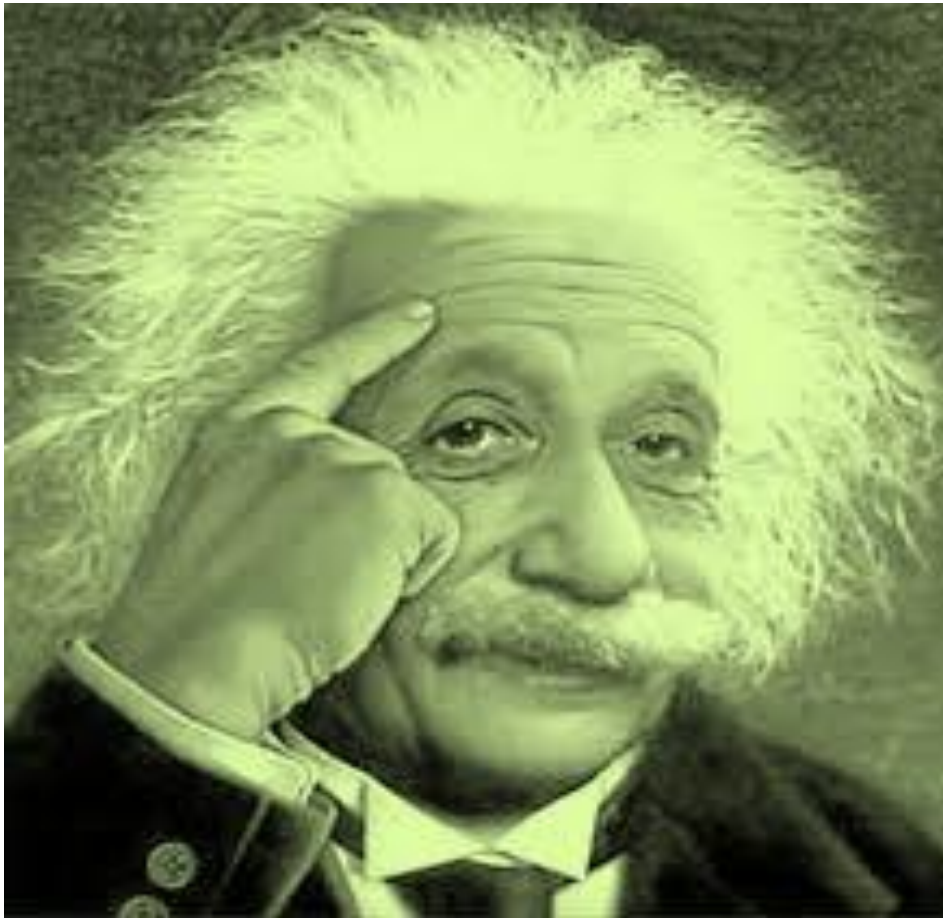
Firma del Diplomante
Dunia Monges Merencio

Firma del Tutor
Ing. Eduardo Smith G

Pensamiento:

*Hay una fuerza motriz más poderosa que
el vapor, la electricidad y la energía atómica:
la voluntad."*

Albert Einstein.



Dedicatoria:

Este Trabajo de Diploma, que es el fruto del sacrificio de mis padres, está dedicado a las dos personas más importantes en mi vida:

A mi madre, por ser mi ejemplo de superación y de abnegación a seguir, por su cariño y apoyo incondicional.

Y a esa personita tan especial que ocupa el lugar más grande en mi corazón, que pacientemente espera por mí en casa, que es mi razón de vivir y que es el motor impulsor de todo mi esfuerzo: mi hija.

Agradecimientos:

A mi familia, por su apoyo incondicional.

A la familia paterna de mi hija, por el amor que desinteresadamente nos brindaron a mi hija y a mí.

A mi tutor Eduardo Smith Galano, por hacer posible este trabajo.

Al profesor Dr C. Ignacio Romero Rueda, por su apoyo a lo largo de la carrera.

A mis amigos(as), por todas las cosas que hemos compartido en el transcurso de estos cinco años.

A todas las personas que, de una forma u otra, hicieron posible la realización este trabajo.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

En el presente trabajo se implementa una aplicación de software capaz de controlar la velocidad de un motor de CD desde la PC, empleando el microcontrolador 87C52 como interfaz de comunicación entre la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments modelo 6009 y el circuito de control para la velocidad del motor. La variación de la velocidad se logra empleando la técnica de modulación por ancho de pulso (PWM) y el circuito de control se diseña y simula en el software Proteus 8.1. Para la realización de la interfaz se utiliza el LabVIEW 8.5, el cual emplea un lenguaje de programación gráfico (G) y contribuye significativamente en la simplificación de la programación del microcontrolador. Se realiza la valoración económica del proyecto, resultando el mismo ser factible y de mucha utilidad para la realización de prácticas de laboratorio en la disciplina de Aplicación de los Microcontroladores a la Electroenergética.

ABSTRACT

In this paper an application of software able to control the speed of a DC motor from the PC using the 87C52 microcontroller as communication interface between the card data acquisition National Instruments model 6009 and the control circuit to be implemented engine speed. The speed variation is achieved using the technique of pulse-width modulation (PWM) control circuit is designed and simulated in the software Proteus 8.1. For performing interface LabVIEW 8.5, which employs a graphical programming language (G) and contributes significantly simplifying programming the microcontroller is used. economic assessment of the project is realized, resulting it to be feasible and very useful for performing laboratory practice in the discipline of Application of Microcontrollers.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEORICO-CONTEXTUAL.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Estado del Arte	1
1.3 Motores de CD.....	2
1.4 Breve reseña del control de velocidad de los motores de corriente directa.....	4
1.4.1 Principales dispositivos de conmutación empleados para la regulación de velocidad de los motores de CD	6
1.4.1.2 Características de control de los dispositivos semiconductores de potencia	6
1.5 Tipos de circuitos electrónicos de potencia	7
1.5.1 Breve descripción de los distintos circuitos electrónicos de potencia:	7
1.6 Tiristores.....	8
1.6.1 Características y conceptos importantes de los tiristores	8
1.6.2 Tipos de tiristores	10
1.7 Técnicas empleadas para la variación de velocidad de motores de CD.....	13
1.7.1 Control de Armadura con Tiristor.....	13
1.7.2 Control a PWM	13
1.8 Microcontroladores	14
1.8.1 Características generales de los Microcontroladores.	15
1.8.2 Tipos de Microcontroladores	16
1.9 Generalidades de los SAD.....	17
1.10 Interfaz de comunicaciones USB.....	19
1.10.1 Funciones de una interfaz	19
1.11 Conclusiones del capítulo	20
CAPÍTULO II DISEÑO DEL HARDWARE Y EL SOFTWARE PARA EL CONTROL DEL MOTOR DE CC.....	21
2.1 Introducción	21
2.2 Proteus	21
2.3.2 Keil uVision (MicroVision)	22

ÍNDICE

2.3 LabVIEW	23
2.3.1 Lenguaje de programación G	24
2.3.2 Características de LabVIEW	25
2.3.3 Aplicaciones de LabVIEW	25
2.3.4 Diseño de una interfaz en LabVIEW	26
2.3.5. Controles	27
2.3.6. Funciones	27
2.3.7 Estructuras	28
2.3.7.1 Estructura Case	29
2.3.7.2 Estructura Sequence.....	30
2.3.7.3 Lazo For	30
2.3.7.4 Lazo While	31
2.4 Tiristor NTE5458.....	31
2.7 Modulación por ancho de pulso	32
2.5 Puente H.....	33
2.6 Fuente de alimentación.....	34
2.8 Microcontrolador 87C752.....	35
2.8.1 Lenguaje Ensamblador.	36
2.8.2 Ventajas de Lenguaje Ensamblador.....	37
2.9 Dispositivo multifunción USB modelo 6009	37
2.9.1Requisitos de Software y Hardware.....	39
2.10 Conclusiones	39
CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y VALORACIÓN ECONÓMICA	40
3.1 Introducción	40
3.2 Simulación y resultados	40
3.3 Realización del software	41
3.4 Valoración económica.....	43
3.5 Cálculo económico	45
3.6 Conclusiones	45
Conclusiones generales	47

ÍNDICE

Recomendaciones.....	48
Bibliografía	49
ANEXO1 Diseño completo del circuito de control para la variación de velocidad del motor de CD.	50
ANEXO II Programación del microcontrolador 87C52.....	51
ANEXO III Otros aspectos importantes del NI USB-6009	52
ANEXO IV: Diagrama de flujo.	54

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el vertiginoso desarrollo de la electrónica y la microelectrónica han motivado que todas las esferas de la vida humana se estén automatizando, por ejemplo: la industria, el hogar, los comercios, la agricultura, la ganadería, el transporte y las comunicaciones.

En los últimos años las herramientas CAD (Diseño Asistido por Computadora) han avanzado significativamente en el diseño y simulación de circuitos electrónicos apareciendo un sin número de aplicaciones con aportes significativos al sector educacional y es precisamente en el campo de los CAD donde han aparecido algunos softwares como LabWindowsCVI y LabVIEW ambos de National Instruments que han ido ganando adeptos en el mundo ingenieril haciéndose casi indispensable el tener conocimientos básicos en el trabajo con dichas herramientas.

El desarrollo de la electrónica, especialmente la de potencia ha alcanzado lugares importantes. Dispositivos tales como los Tiristores, Triac y los IGBT son empleados tanto en el control de velocidad de motores de CD y CA como en fuentes de alimentación regulables. La llegada de los microcontroladores al mercado ha permitido desarrollar circuitos muy pequeños con aplicaciones muy seguras, estos son dispositivos más versátiles que permiten llevar a cabo numerosas operaciones. Los microcontroladores permiten además la comunicación con otros dispositivos, especialmente los PC's, en los cuales se pueden llevar a cabo un mejor procesamiento de los datos. En la actualidad 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 bajo requerimientos de energía y mejor realización y que emplean además las bondades de los equipos de cómputo para un control más preciso del hardware. 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.

La incorporación en los programas docentes del uso de herramientas como el LabVIEW se impone para un desarrollo integral del futuro ingeniero eléctrico por lo

que se hace necesaria la confección de aplicaciones que puedan ser empleadas en las prácticas de laboratorio como medio de enseñanza.

Situación Problemática

En la actualidad el uso de las PC's en las aplicaciones electrónicas permite profundizar en el almacenamiento, procesamiento y visualización de datos. La aparición de los microcontroladores permite la comunicación, por software, entre los circuitos y las computadoras. En la carrera de Ingeniería Eléctrica, aunque se impulsa la implementación de circuitos electrónicos vinculados con el control de motores de CD, no se potencia el uso de aplicaciones informáticas que permitan un mejor aprovechamiento del hardware.

Problema de la Investigación

¿Cómo emplear aplicaciones en PC con interfaz gráfica programada en LabView para el control de motores de CD?

Hipótesis:

Si se desarrollan aplicaciones de software en LabView para el control de motores de CD se contaría con una herramienta que permitiría el desarrollo de laboratorios en la disciplina de electrónica.

Objetivo general:

Desarrollar una aplicación de hardware y de software para el control de un motor de CD.

Objetivos específicos:

- Realizar un estudio de los sistemas de control de corriente directa (CD).
- Diseñar un circuito con microcontroladores para el control de motores de corriente directa (CD).
- Implementar el circuito diseñado.
- Elaborar la aplicación necesaria para el control del motor de CD desde la PC.

Tareas de la investigación:

- Realización del estado del arte con SAD.

- Diseño del circuito de control del motor de CD.
- Simulación del diseño propuesto
- Elaboración de la aplicación necesaria para el control del motor de CD desde la PC.
- Implementación del circuito diseñado.

Objeto de la investigación:

Aplicación para el control del motor de CD desde la PC.

Campo de acción:

Disciplina de electrónica.

Métodos de investigación:

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

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO-CONTEXTUAL

1.1 Introducción

Con el objetivo de ubicarnos teórica y contextualmente en el desarrollo de aplicaciones que permitan el control de motores de CD en este capítulo se realiza un análisis de los trabajos precedentes; se hace una breve reseña de los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD), así como de varios métodos para lograr el control previsto. Se describen las principales características de los microcontroladores y tiristores.

1.2 Estado del Arte

En la tesis de **(Mena, 2006)**, se implementa un dispositivo capaz de controlar la velocidad y sentido de giro de dos motores de cd mediante un microcontrolador PIC utilizando modulación de ancho de pulso, se utiliza el programa Visual BASIC 6.0 que no es especializado en instrumentación, por lo que disminuye las opciones de la aplicación.

En **(Moreno, 2010)**, se diseña un sistema de control que regula la velocidad de una maqueta de tren eléctrico, accionado por un motor de corriente continua, basado en acelerómetros, implantado en un microprocesador, sin embargo, no se realiza una aplicación de software que permita el control del circuito desde la PC.

En **(Garavito, 2012)**, se presenta la metodología para realizar una interfaz que permita la comunicación entre LabVIEW y un microcontrolador PIC18F4550 de Microchip. Este es un trabajo bastante amplio, pero solo se limita a la comunicación del PC con el micro para la visualización de datos y no para el control de una aplicación de hardware.

(Jiménez, 2014), diseña e implementa un control de velocidad y giro de un motor de DC, utilizando únicamente la electrónica de potencia. Este trabajo, aunque no explora la posibilidad de la utilización de los microcontroladores ni utiliza ningún SAD, es bastante rico en conocimiento.

En **(Matos, 2015)**, se realiza el diseño y simulación de un Sistema de Adquisición de Datos empleando para ello el software Proteus 8.1, se establece además la comunicación entre el SAD diseñado y una aplicación creada con LabVIEW utilizando el protocolo serie rs-232, pero se detiene solamente en la visualización y procesamiento de los datos.

En **(Macey, 2015)**, se desarrolla un circuito de mando experimental, a base de microcontroladores, utilizando la herramienta de diseño Proteus 8.1 para la regulación de velocidad de motores de CD implicando varias técnicas, pero no se realiza una aplicación de software que permita el control del circuito propuesto desde la PC.

1.3 Motores de CD

En la figura 1.1 se observan algunos clásicos micro motores DC (Direct Current) o también llamados CC (corriente continua) de los utilizados generalmente en aplicaciones de robótica. Los hay de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento. A diferencia de los motores paso a paso y los servomecanismos, los motores de corriente continua no pueden ser posicionados o enclavados en una posición específica. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite.



Figura 1.1 Motores de corriente continua en varias formas y tamaño

La máquina de corriente continua necesita de una corriente de campo para crear el campo magnético de excitación. Dicho devanado se llama devanado de campo o inductor y se encuentra en el estator para lograr un comportamiento constante. El

estator es la parte fija del motor.

El rotor, del motor de corriente continua, está hecho de acero laminado y está formado por el circuito de armadura o inducido. El colector de delgas o conmutador, el cual se encarga de la acción rectificadora que permite una corriente continua entre las escobillas. Dicha rectificación es necesaria ya que dentro de la máquina circulan corrientes alternas.

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

$$V_a = E_a + I_a * R_a \quad (0.1)$$

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:

$$E_a = k\phi\omega \quad (0.2)$$

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

$$T_{ind} = kI_a\phi \quad (0.3)$$

El motor de corriente continua puede conectarse en autoexcitación o excitación independiente. Una máquina que provee su propia excitación, es posible sólo si sus piezas de polos de campo tienen retenido una pequeña cantidad de flujo o magnetismo remanente. Por otro lado, las máquinas con excitación independiente son aquellas en las que el circuito de armadura y el circuito de campo se alimentan de dos fuentes de energía independientes.

Dentro de los motores autoexcitados, se pueden encontrar las siguientes configuraciones: motores con excitación serie, paralela y compuesta.

Los motores de corriente directa poseen características variables, pueden proporcionar un alto par de arranque y también permiten el control de velocidad en un amplio rango de valores. Por estas razones, son útiles para todas aquellas

aplicaciones en las que se requiere:

- Grandes variaciones de velocidad
- Cambios o inversiones rápidas de la marcha
- Control automático de pares y velocidad

Para este tipo de motores, los métodos de control de velocidad son más simples y menos costosos que los utilizados para los motores de corriente alterna. Sin embargo, debido a los conmutadores, los motores de cd no son adecuados para aplicaciones de alta velocidad y requieren más mantenimiento que los motores de CA.[1]

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 requieran 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 - 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 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). 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 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 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 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. [2]

1.4.1 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:

- 1. Diodos de potencia
- 2. Tiristores
- 3. Transistores Bipolares de Juntura de potencia (BJT)
- 4. MOSFET de potencia
- 5. Transistores Bipolares de Compuerta Aislada (IGBT)
- 6. Transistores de Inducción Estáticos (SIT)

Además, los tiristores se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- Tiristor de conmutación forzada
- Tiristor conmutado por línea
- Tiristor desactivado por compuerta (GTO)
- Tiristor de conducción inversa (RCT)
- Tiristor de inducción estático
- Tiristor de inducción estático (SITH)
- Tiristor desactivado con asistencia de compuerta (GATT)
- Rectificador controlado de silicio fotovoltaico (LASCR)
- Tiristores controlados por MOS (MCT)

1.4.1.2 Características de control de los dispositivos semiconductores de potencia

Una de las principales funciones de los dispositivos semiconductores de potencia es la de operar como interruptores, mediante la aplicación de señales de control, ya sea en la terminal de compuerta en el caso de los tiristores o en la base en el caso de los

transistores bipolares. Mediante la variación del tiempo de conducción, de dichos dispositivos de conmutación, se logra la señal de salida deseada. En el caso de los tiristores, una vez que se encuentran en modo de conducción, la señal de compuerta ya no tiene efecto alguno. Es importante saber que cuando un dispositivo semiconductor de potencia se encuentra en modo de conducción, los niveles de tensión, a través del mismo, son tan pequeños que casi se podrían considerar despreciables.[2]

1.5 Tipos de circuitos electrónicos de potencia

Para el manejo y control de la potencia eléctrica, es importante convertir la potencia eléctrica de una forma a otra. Y para ello, las características de interrupción de los dispositivos de potencia permiten la conversión necesaria. Un convertidor puede ser considerado como una matriz de conmutación. Los circuitos electrónicos de potencia se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Rectificadores de diodos
2. Convertidores CA-CD (rectificadores controlados)
3. Convertidores CA-CD (controladores de voltaje)
4. Convertidores CA-CD (pulsadores de cd)
5. Convertidores de CD-CA (inversores)
6. Interruptores estáticos

1.5.1 Breve descripción de los distintos circuitos electrónicos de potencia:

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).[2]

1.6 Tiristores

Los tiristores son muy utilizados en los circuitos de potencia debido a su característica de conmutadores biestables, que les permite pasar de un estado de conducción a uno de no conducción.

1.6.1 Características y conceptos importantes de los tiristores

- Posee cuatro capas de estructura pnpn con tres uniones pn.
- Este dispositivo tiene tres terminales: ánodo, cátodo y compuerta.
- Cuando la tensión del ánodo se hace positivo con respecto a la tensión en el cátodo, las uniones J1 y J3 tienen polarización directa o positiva. La unión J2 tiene polarización inversa y solo fluirá una corriente muy pequeña de fuga del ánodo hacia el cátodo. En este caso el tiristor está en condición de bloqueo directo o estado desactivado. En este caso se denomina a la corriente de fuga corriente de estado inactivo
- Si la tensión ánodo a cátodo VAK aumenta a un valor lo suficientemente grande, la unión J2 entrará en ruptura (ruptura por avalancha) y la tensión correspondiente se llama tensión de ruptura directa VBO. Y debido a que las uniones J1 y J3 tienen polarización directa, existirá un movimiento libre de portadores a través de las tres uniones, que provocará un gran paso de corriente a través del dispositivo. Entonces el dispositivo se encontrará en estado de conducción o activado.
- En estado de conducción, la caída de tensión, a través del dispositivo, será muy pequeña y se deberá a la caída óhmica de las cuatro capas, por lo general 1 V.

- Para mantener la cantidad requerida de flujo de portadores a través de la unión, la corriente del ánodo debe ser mayor que la corriente de enganche I_L . Si no es así, al reducirse la tensión V_{AK} , el tiristor volverá al estado de bloqueo.
- La corriente de enganche, es la corriente del ánodo mínima requerida para mantener el tiristor en estado de conducción inmediatamente después de que se ha activado y se ha retirado la señal de compuerta.
- Cuando el tiristor ya se ha activado, este se comporta como un diodo en conducción y ya no existe control sobre el dispositivo. Aun así, si se reduce la corriente directa del ánodo a un valor menor que la corriente de mantenimiento I_H , el tiristor entrara en estado de bloqueo.
- La corriente de mantenimiento I_H , es la corriente del ánodo mínima para mantener al tiristor en estado de régimen permanente. Esta es menor que la corriente de enganche y ronda en el orden de los miliamperios. En la figura 2.2 se pueden observar las características de corriente y tensión del tiristor.
- Si la tensión del cátodo es positiva con respecto al ánodo. El tiristor se encontrará en estado de bloqueo inverso y una corriente de fuga inversa (Corriente inversa I_R), fluirá a través de él.
- Otra manera de activar el tiristor es aumentando la tensión directa V_{AK} más allá del V_{BO} , pero esta manera resulta destructiva. Normalmente, a nivel práctico, la tensión directa se mantiene por debajo de V_{BO} y el tiristor se activa mediante la aplicación de una tensión positiva entre la compuerta y el cátodo.

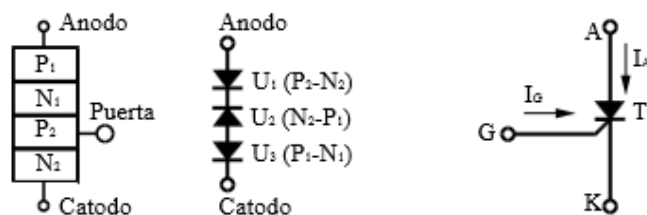


Figura 1.2 (a) Estructura del tiristor y (b) Símbolo del tiristor.

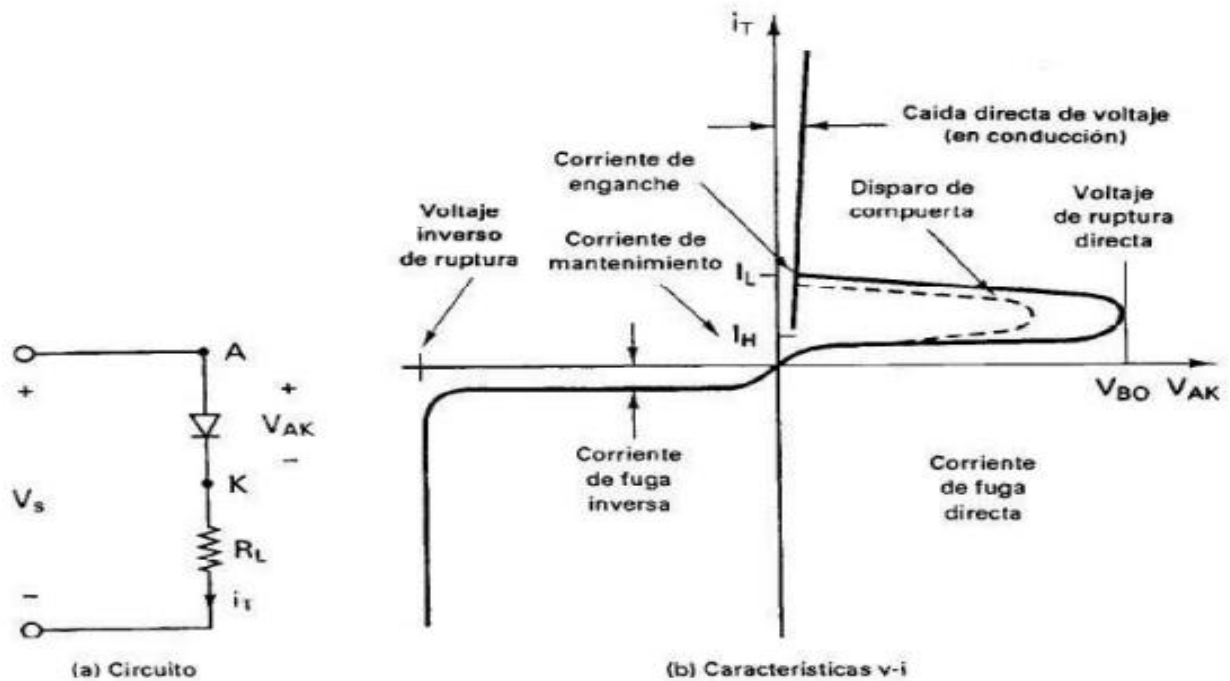


Figura 1.3 Circuito del tiristor y características de tensión – corriente

1.6.2 Tipos de tiristores

De acuerdo con la construcción física y del modo de activación y desactivación los tiristores se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Tiristores de control de fase (SCR)
- Tiristores de conmutación rápida (SCR)
- Tiristores de desactivación por compuerta (GTO)
- Tiristores de triodo bidireccional (TRIAC)
- Tiristores de conducción inversa (RCT)
- Tiristores de inducción estática (SITH)
- Tiristores controlados por FET (FET-CTH)
- Tiristores controlados por MOS (MCT)

Tiristores de control de fase: También conocidos como tiristores convertidores o rectificador controlado de silicio (SCR). Opera a la frecuencia de línea y se desactiva por conmutación natural. El tiempo de desactivación t_q , se encuentra entre los 50 y 100 μs , lo cual es un tiempo adecuado para aplicaciones de baja velocidad. La tensión en estado activo (VT), varía desde 1.15 V hasta 2.5 V.

Tiristores de conmutación rápida: También conocido como tiristor inversor. Utilizados para aplicaciones de conmutación de alta velocidad con conmutación forzada. Su tiempo de desactivación es corto, entre los 5 y 50 μs . La tensión en estado activo varía, aproximadamente, en función inversa del tiempo de desactivación t_q , pero por lo general para un tiristor de 2200 A a 1800 V es de 1.7 V.

Tiristores de desactivación por compuerta (GTO): De igual manera que los SCR, estos tiristores pueden activarse mediante la aplicación de una señal positiva de compuerta. Pero, a la vez, se puede desactivar utilizando una señal negativa de compuerta. Los GTO tienen las siguientes ventajas sobre los SCR

- Se eliminan los componentes auxiliares en la conmutación forzada, esto implica menos costo, peso y volumen.
- Se reduce el ruido acústico y electromagnético debido a la eliminación de bobinas de inducción en la conmutación.
- Tiempos de desactivación más cortos, lo que permite frecuencias de conmutación más altas.
- Convertidores más eficientes

Tiristores de triodo bidireccional: También llamados TRIAC, estos pueden conducir en ambas direcciones. El TRIAC se puede considerar como dos SCR conectados en antiparalelo con una conexión de compuerta común. Identificar las terminales del TRIAC como ánodo y cátodo no es posible, ya que este es un dispositivo bidireccional.

Tiristores de conducción inversa: Un RCT puede considerarse como un tiristor con un diodo antiparalelo incorporado. Se conoce también como tiristor asimétrico (ASCR). El diodo antiparalelo permite un flujo de corriente inversa debido a una carga inductiva y mejora el requisito de desactivación en un circuito de conmutación.

Tiristores de inducción estática: Un SITH es muy similar a un MOS-FET. Generalmente, es activado mediante una señal de tensión positiva en la compuerta, como los tiristores normales, y desactivado por medio de una tensión negativa en la compuerta. Este es un dispositivo de portadores minoritarios, por lo tanto, tiene una baja resistencia en estado activo y una baja caída de potencial. Tiene velocidades de conmutación muy rápidas, el tiempo de conmutación es del orden de 1 a 6 μ s. Las especificaciones de tensión pueden alcanzar hasta 2500 V y la corriente está limitada a 500 A.

Tiristores controlados por FET: Un FET-CTH combina un MOSFET y un tiristor en paralelo. Aplicando una tensión suficiente, típicamente 3 V, a la compuerta del MOSFET, se genera internamente una corriente de disparo para el tiristor. Este dispositivo posee una alta velocidad de conmutación y se puede activar como los tiristores convencionales, pero no se puede desactivar mediante control de compuerta.

Tiristores controlados por MOS (MCT): Este dispositivo combina las características de un tiristor regenerativo de cuatro capas y una estructura de compuerta MOS. La estructura NPNP se puede representar por medio de un transistor NPN Q1 y un transistor PNP Q2 y la estructura de compuerta MOS se puede representar por un MOSFET de canal p M1 y un MOSFET de canal n M2. Debido a la estructura NPNP, el ánodo sirve como la terminal de referencia con respecto a la cual se aplican todas las señales de compuerta. Este dispositivo tiene baja caída de tensión directa durante la conducción, un tiempo de activado y desactivado rápido, bajas pérdidas de conmutación, baja capacidad de bloqueo de tensión inversa y alta impedancia de entrada de compuerta.[1, 2]

1.7 Técnicas empleadas para la variación de velocidad de motores de CD

1.7.1 Control de Armadura con Tiristor

En este caso el SCR (Silicone 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 un rectificador semicontrolado para el control del voltaje de armadura de un motor de corriente directa.

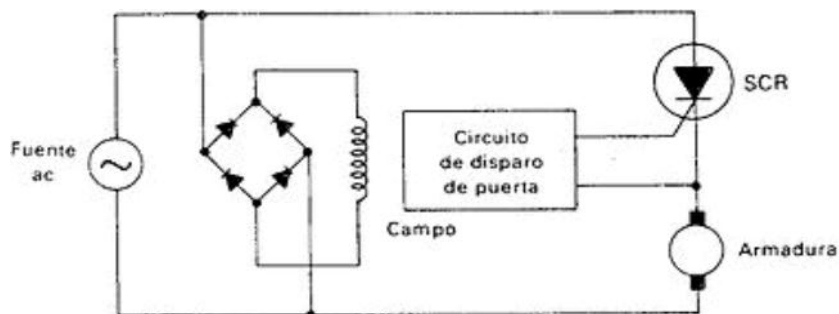


Figura 1.4 Control de motores de cd con un tiristor.

1.7.2 Control a PWM

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. La modulación en ancho de pulso,

tiene muchas aplicaciones, por ejemplo para atenuar la iluminación de un LED, la iluminación del BLACKLIGHT de un LCD, para variar la velocidad de un motor de cd, que es lo que veremos en este caso. [3]

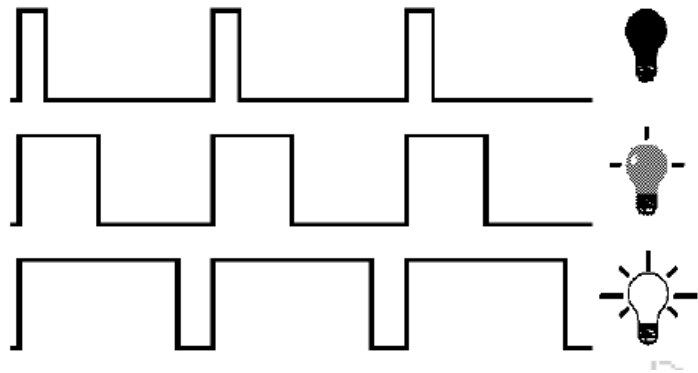


Figura 1.5 Control PWM de potencia.

1.8 Microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado digital monolítico que contiene todos los elementos de un procesador digital secuencial síncrono programable de arquitectura Harvard o Princeton (Von Neumann). Se le suele denominar también como computador integrado o empotrado (Embedde procesor) y está especialmente orientado a tareas de control y comunicaciones. Por su pequeño tamaño los microprocesadores permiten empotrar un procesador programable en muchos productos industriales. Su costo reducido y consumo de energía y velocidad adaptables, resultan apropiados para numerosas aplicaciones. Los microcontroladores se utilizan para la realización de sistemas eléctricos empotrados en otros sistemas (eléctricos mecánicos, etcétera, Fig. 1.6) [4]

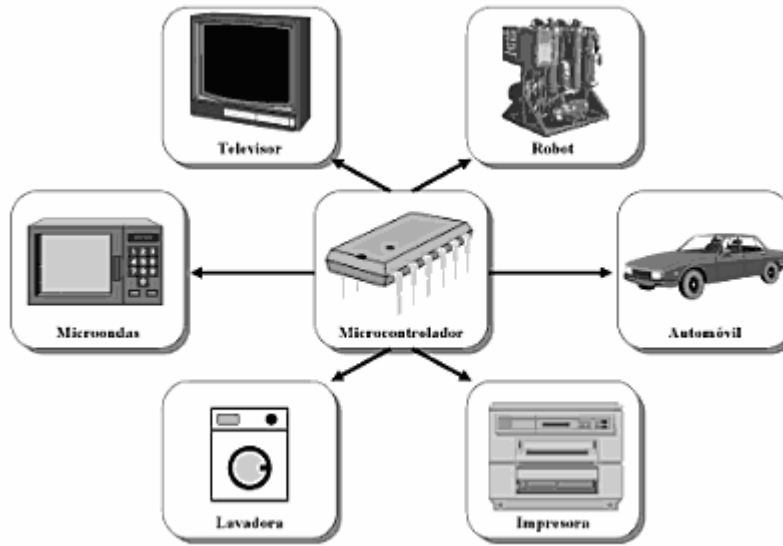


Fig. 1.6 Algunos ejemplos de campos de aplicación de los microcontroladores.

1.8.1 Características generales de los Microcontroladores.

Los microcontroladores son esencialmente, microcomputadoras en una pastilla. En ellos se combinan los recursos fundamentales de una microcomputadora, es decir, el microprocesador, la memoria RAM (*Random Acces Memory*) y ROM (*Read Only Memory*), EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*), EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) y las facilidades de entrada salida, como son la gestión de interrupciones, puertos paralelos, serie y temporizadores, todo en un único circuito integrado. Pueden incluir también entradas y salidas analógicas asociadas a convertidores A/D y D/A y circuito de Watch Dog (Perro Guardián).

Se trata de tener en el menor espacio posible y a un costo razonable, los elementos esenciales para desarrollar este tipo de aplicación. Se hace énfasis en las facilidades de entrada salida del dispositivo (manejo de bits individuales, interrupciones, señales analógicas, etc.)

- 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 (convertidores analógico/digital), etc.).
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

1.8.2 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, smart-cards, 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.

Características:

Microcontroladores de 4 bits

- Pocos bytes de RAM.
- Sin SO.
- Todo el software en ensamblador.
- Cada vez menos usados.

Microcontroladores de 8 bits

- RAM de unos pocos bytes a unos cientos de KB.
- Usan ensamblador, pero también C, C++, Java.

- Pueden llevar SO específico.

Microcontroladores de 16 y 32 bits

- RAM de pocos KB a muchos MB.
- Generalmente llevan un SO de tiempo-real.
- Pueden o no tener cachés.

Microcontroladores de 32 ó 64 bits

- Básicamente un PC en un encapsulado pequeño.
- Llevan Windows XP, Linux.
- Relativamente caros.[5]

1.9 Generalidades de los SAD.

Los sistemas de adquisición de datos son muy utilizados en laboratorios de investigación, industrias y laboratorios académicos. Puede ser solo para la lectura de las variables físicas (presión, nivel, temperatura, etc.), para visualizar el estado de un proceso en tiempo real o bien, para el procesamiento de estas variables con la finalidad de realizar el control de dichos procesos. Una gran cantidad de procesos industriales se monitorean y/o controlan con tarjetas de adquisición de datos y una computadora, además de graficadores y de registros.

Los sistemas de adquisición de datos se pueden clasificar en dos clases principales, sistemas analógicos y digitales. Los sistemas analógicos tratan, en forma analógica, la información de mediciones. Un sistema analógico se puede definir como una función continua, como una gráfica de voltaje contra tiempo o desplazamiento contra presión. Los sistemas digitales manejan cantidades digitales que representan la información. Una cantidad digital puede consistir en un número de pulsos discretos y discontinuos cuya relación de tiempo contiene información referente a la magnitud o naturaleza de la cantidad

Todo sistema de adquisición de datos cuenta con cuatro partes principales, las cuales son (Figura 1.7):

- Captura de señales.
- La etapa de Acondicionamiento de señal (Hardware)
- El dispositivo de adquisición de datos (Hardware).

- La interfaz gráfica para la visualización en la PC de los datos adquiridos (Software).

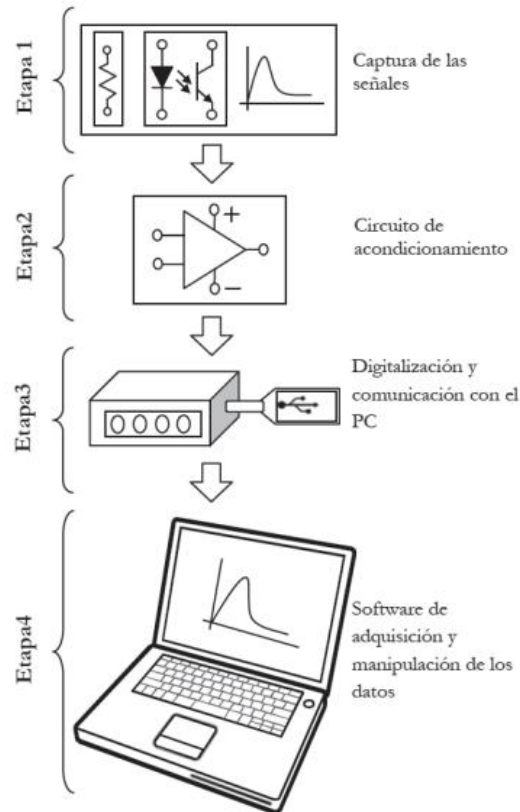


Figura 1.7 Etapas de un sistema de adquisición de datos.

Un sistema de adquisición de datos analógico consta de alguno o todos los elementos siguientes:

- Transductores para la transformación de parámetros físicos en señales eléctricas.
- Acondicionadores de señal para la amplificación, modificación o selección de ciertas partes de estas señales.
- Dispositivos de presentación visual para monitoreo continuo de las señales de entrada. Estos dispositivos pueden incluir osciloscopios de varios canales o de un solo canal, osciloscopios de almacenamiento, panel de medidores, desplegados numéricos, entre otros.
- Instrumentos de registro de gráficas para obtener un registro permanente de los datos de entrada. Estos incluyen registradores de tinta y plumilla para proporcionar registros continuos sin cortes de papel, sistemas de registro

óptico como los registradores de galvanómetro de espejo y los registradores ultravioleta.

El S.A.D debe tener una estructura y organización muy equilibrada que le permita su buen funcionamiento de ello depende de que el mismo rinda al máximo y sin ningún defecto .[6]

1.10 Interfaz de comunicaciones USB

El bus USB se ha convertido en los últimos años en el método habitual de comunicación entre los ordenadores y sus periféricos. Este tipo de bus tiene importantes ventajas, como su velocidad, facilidad de conexión e incluso la capacidad de alimentar directamente elementos de bajo consumo. En cambio, la programación y la gestión a nivel de hardware resultaban complicadas en los primeros años de uso. La aparición de circuitos adaptadores de bajo coste como el FT232BL de FTDI que además suministraban controladores gratuitos y de uso libre, redujeron notablemente el nivel de complejidad en la utilización de este bus.

Este permite la interacción entre la persona y la máquina. Tradicionalmente estos sistemas consistían en paneles compuestos por indicadores y comandos, tales como luces pilotos, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectan en la máquina o proceso. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementados con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas bastante más poderosos y eficientes, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso. Las señales son conducidas por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida digitales y analógicas.

1.10.1 Funciones de una interfaz

- Permitir una comunicación eficiente y cómoda con el dispositivo de campo.
- Monitoreo: Es la habilidad de obtener y mostrar datos de la planta en tiempo real. Estos datos se pueden mostrar como números, texto o gráficos que permitan una lectura y fácil interpretación.

- Supervisión: Esta función permite junto con el monitoreo la posibilidad de ajustar las condiciones de trabajo del proceso directamente desde la computadora.
- Alarmas: Es la capacidad de reconocer eventos excepcionales dentro del proceso y reportarlos. Las alarmas se ajustan según los límites de control preestablecidos.
- Control: Es la capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso y así mantener estos valores dentro de ciertos límites. El control va más allá del control de supervisión removiendo la necesidad de la interacción humana, sin embargo, la aplicación de esta función desde un software corriendo en una PC puede quedar limitada por la confiabilidad de los datos que llegan al sistema.
- Históricos: Es la capacidad de muestrear y almacenar en archivos, datos del proceso a una determinada frecuencia. Este almacenamiento de datos es una poderosa herramienta para la optimización y corrección de procesos.

1.11 Conclusiones del capítulo

Fueron expuestos en este capítulo los principales aspectos relacionados con el control de velocidad de motores de corriente directa, así como las principales características de los microcontroladores, los tiristores, los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD), y se abordaron además el concepto de interfaz y así como sus principales funciones. Se realizó un estudio de trabajos precedentes que demuestran la actualidad del tema y su utilidad.

CAPÍTULO II DISEÑO DEL HARDWARE Y EL SOFTWARE PARA EL CONTROL DEL MOTOR DE CC

2.1 Introducción

En 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. Para la realización y simulación de estos diseños fueron utilizados el *Proteus* como simulador de *Labcenter Electronics* y el compilador *Keil uVision*, este último se auxilia de una serie de funciones del lenguaje C y un grupo de directivas pertenecientes a su biblioteca.

2.2 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.

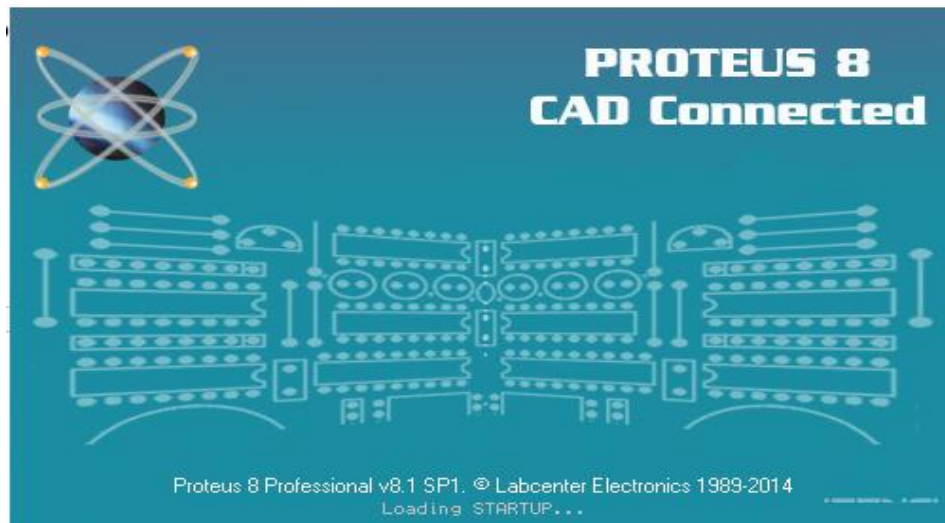


Figura 2.1. Proteus 8.1.

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.

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 clics 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.

Posee una muy buena colección de bibliotecas de modelos tanto para dibujar, simular o para las placas. Además, permite la creación de nuevos componentes, su modelización para su simulación e, incluso, la posibilidad de solicitar al fabricante (*Labcenter Electronics*) que cree un nuevo modelo.[6]

2.3.2 Keil uVision (MicroVision)

El IDE (Entorno de diseño Integrado) de "Keil Micro Vision" 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]

2.3 LabVIEW

Hoy en día es más frecuente ver en la industria la utilización de la PC para la instrumentación y el control de procesos, ya sea para monitorear variables en el proceso de fabricación o bien para medir la calidad del producto final. Sobre este contexto se ubica la instrumentación virtual, es decir la idea de bajo un módulo de software simular tanto en apariencia como en funcionamiento a un instrumento real tal como un osciloscopio o multímetro.

Un instrumento virtual es un módulo de software que simula el panel frontal de instrumento común y, apoyándose en elementos de hardware accesibles por la PC (tarjetas de adquisición de datos, tarjetas DSP, rs-232), realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real.

Hasta hace poco, la tarea de construcción de un Instrumento Virtual (VI) se llevaba a cabo con paquetes de programas que ofrecían una serie de facilidades, como funciones de alto nivel y la incorporación de elementos gráficos, que simplificaban la tarea de programación y de elaboración del panel frontal. Sin embargo, el cuerpo del programa seguía basado en texto, lo que suponía mucho tiempo invertido en detalles de programación que nada tienen que ver con la finalidad del VI (*Virtual Instrument*). Con la llegada de softwares de programación gráfica, LabVIEW de National Instrument, el proceso de creación de un VI se ha simplificado notablemente, minimizándose el tiempo de desarrollo de las aplicaciones. LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico (G). Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. Es tan potente que inspira a resolver problemas, ayuda a acelerar la productividad y da la seguridad para innovar continuamente. Con LabVIEW se puede lograr más en menos tiempo, ya que es el único entorno de programación gráfica que integra bibliotecas específicas para ingeniería, de funciones de software e interfaces de hardware y características para análisis, visualización y compartimiento de datos.[7]

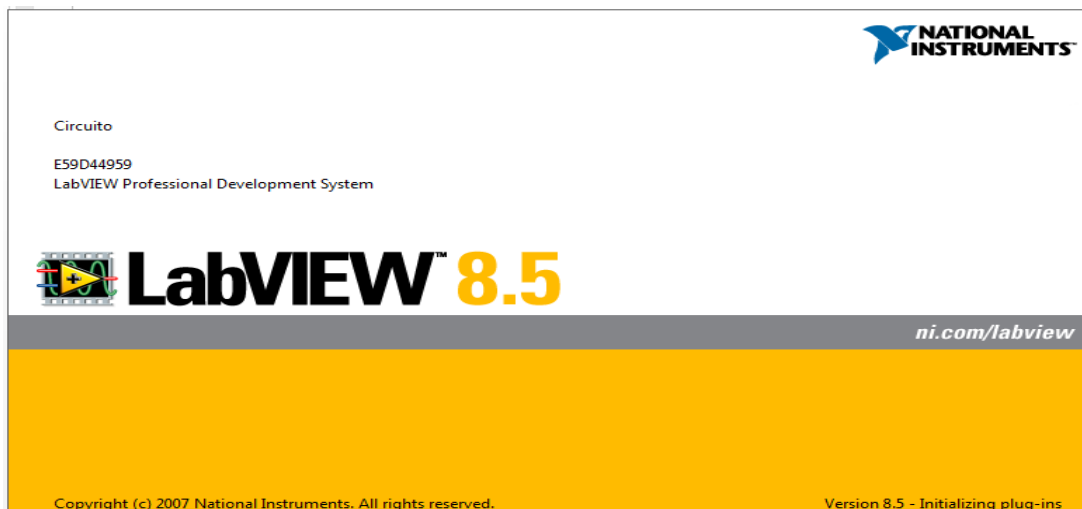


Figura 2.2. LabVIEW 8.5.

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. Permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactivo basado en software. Usted puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. Es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

2.3.1 Lenguaje de programación G

Este lenguaje de programación permite desarrollar de una forma más rápida cualquier aplicación, especialmente de instrumentación, en comparación con lenguajes de programación tradicionales basados en texto, sin embargo si usted desea una aplicación sencilla como un programa que sume dos números, definitivamente construirlo bajo LabVIEW es más demorado y tedioso, sería más sencillo mediante un programador de texto donde usted simplemente incluirá una línea.

Pero para un programa más complejo usted puede diseñar un prototipo y modificarlo de una manera más rápida con LabVIEW, gracias a que es un lenguaje programación gráfico.

2.3.2 Características de LabVIEW

Una de las principales características de LabVIEW es su modularidad, es decir, la capacidad de utilizar bloques funcionales para la definición de la especificación.

LabVIEW permite conectarse a otras aplicaciones mediante un intercambio de datos como Active X, librerías dinámicas, bases de datos, Excel y/o a protocolos de comunicación como DataSocket, TCP/IP, UDP, RS-232, entre otras.

Una característica de cada aplicación o función consiste en que se puede utilizar en cualquier parte de otro programa, dándole a LabVIEW una estructura jerárquica.

Otra característica se encuentra en el flujo de datos, que muestra la ejecución secuencial del programa, es decir, una tarea no se inicia hasta no tener en todas sus variables de entrada información o que las tareas predecesoras hayan terminado de ejecutarse. Debido al lenguaje gráfico el compilador con que cuenta LabVIEW es más versátil ya que sobre el mismo código de programación se puede ver fácilmente el flujo de datos, así como su contenido.

Mediante un constructor de aplicaciones también es posible generar un archivo que puede ejecutarse fuera de LabVIEW.

2.3.3 Aplicaciones de LabVIEW

LabVIEW tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control, un ejemplo de esto pueden ser sistemas de monitoreo en transportación, laboratorios para clases en universidades y procesos de control industrial. LabVIEW es muy utilizado en procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras.

LabVIEW como su nombre lo indica es un lenguaje que se enfoca hacia el laboratorio, la realización de mediciones y por lo tanto la adquisición y análisis de datos. Mediante el uso de tarjetas es posible obtener señales analógicas o digitales a partir de una conexión al bus de interconexión de computadoras periféricas o PCI (Peripheral Component Interconnect) en una computadora, estas tarjetas se diferencian por el número de muestras por segundo que pueden realizar, por el número de bits (resolución) y por el número de canales que manejan. Esta herramienta permite verificar que tarjetas hay instaladas en la PC, esto solo para el caso de tarjetas de adquisición de datos o de imágenes de National Instruments. LabVIEW también permite comunicarse con otras tarjetas mediante el puerto paralelo o serie, utilizando la herramienta LabWindowsCVI de National Instruments. Con este software se pueden diseñar en C las bibliotecas de enlace dinámico o DLL (dynamic-link library) para el funcionamiento de las tarjetas, estas DLL se pueden integrar a LabVIEW y a todas sus funcionalidades o creadas desde otros programas clásicos como Visual Basic o Borland.[6]

2.3.4 Diseño de una interfaz en LabVIEW

En el ambiente de trabajo de LabVIEW existen dos paneles, el panel frontal y el panel de programación, en el panel frontal se diseña la interfaz con el usuario y en el panel de programación se relacionan los elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que determinan en sí cómo funciona el programa o el sistema, exactamente es la parte donde se realizan las especificaciones funcionales. En el panel de programación usted puede diseñar de manera gráfica y como si fuera un diagrama de bloques el funcionamiento de su sistema. La programación gráfica se basa en la realización de operaciones mediante la asignación de iconos que representen los datos numéricos e iconos que representan los procedimientos que se deben realizar, con estos iconos y mediante una conexión simple como lo es una línea recta se enlazan para determinar una operación y/o una función. Al diseñar el programa de forma gráfica, se hace visible una programación orientada al flujo de datos, donde se tiene una interpretación de los datos también de forma gráfica, por ejemplo un dato booleano se caracteriza por ser una conexión verde, cada tipo de

dato se identifica con un color diferente dentro de LabVIEW; también es necesario tener en cuenta que cuando se realiza una conexión a un VI esta conexión se identifica por un tipo de dato específico, que debe coincidir con el tipo de dato de la entrada del VI (aunque esto no necesariamente es cierto ya que puede haber varios tipos de datos conectados de VI a VI, además de que un arreglo de datos ``cluster`` puede albergar varios tipo de variables) permitiendo una concordancia en el flujo de datos; no siempre el tipo de dato de la entrada del VI es el mismo que el de la salida, pero sin embargo para la mayoría de los casos si se cumple. El flujo de datos va de izquierda a derecha en el panel de programación y está determinado por las operaciones o funciones que procesan los datos. Es fácil observar en el panel de programación como se computan los datos en cada parte del programa cuando se realiza una ejecución del programa paso a paso. En LabVIEW las variables se representan mediante una figura tanto en el panel frontal como en el panel de programación, de esta forma se puede observar su respuesta en la interfaz del usuario y en el flujo de datos del código del programa. Otros objetos como gráficas y accesos directos a páginas web cumplen estas mismas condiciones.

2.3.5. Controles

La programación G (gráfica) de LabVIEW consta de un panel frontal y un panel de código como se menciona anteriormente. En el panel frontal es donde se diseña la interface de usuario y se ubican los controles e indicadores. En el panel de código se encuentran las funciones. Cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el panel de código o de programación. Los controles pueden ser booleanos, numéricos, strings, un arreglo matricial de estos o una combinación de los anteriores; y los indicadores pueden ser como para el caso de controles pero pudiéndolos visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, browser, entre otros.

2.3.6. Funciones

Las funciones pueden ser prediseñadas y que pueden ser reutilizados en cualquier aplicación, estos bloques funcionales constan de entradas y salidas, igual que en un

lenguaje de programación estándar, las funciones procesan las entradas y entregan una o varias salidas, estos VI pueden también estar conformados de otros subVIs y así sucesivamente, de esta forma se pueden representar como un árbol genealógico donde un VI se relaciona o depende de varios SubVIs. LabVIEW tiene VIs de adquisición de datos e imágenes, de comunicaciones, de procesamiento digital de señales, de funciones matemáticas simples, hasta funciones que utilizan otros programas como Matlab o HiQ para resolver problemas, otras más complejas como "nodos de fórmula" que se utilizan para la resolución de ecuaciones editando directamente estas como en lenguajes de programación tradicionales y definiendo las entradas y las salidas. LabVIEW también se puede utilizar para graficar en tres dimensiones, en coordenadas polares y cartesianas, tiene disponibles herramientas para análisis de circuitos RF como la Carta de Smith, tiene aplicaciones en manejo de audio y se puede comunicar con la tarjeta de sonido del computador para trabajar conjuntamente. Entre sus muchas funciones especiales se encuentran las de procesamiento de imágenes, como capturar una imagen a través de una tarjeta de adquisición como la PCI-1408 (monocromática), analizarla y entregar respuestas que difícilmente otros sistemas realizarían.

2.3.7 Estructuras

En la paleta de funciones la primera opción es la de las estructuras. Éstas controlan el flujo del programa, bien sea mediante la secuenciación de acciones, ejecución de bucles, etc. Las estructuras se comportan como cualquier otro nodo en el diagrama de bloques, ejecutando automáticamente lo que está programado en su interior una vez tiene disponibles los datos de entrada, y una vez ejecutadas las instrucciones requeridas, suministran los correspondientes valores a los cables unidos a sus salidas. Sin embargo, cada estructura ejecuta su subdiagrama de acuerdo con las reglas específicas que rigen su comportamiento, y que se especifican a continuación. Un subdiagrama es una colección de nodos, cables y terminales situados en el interior del rectángulo que constituye la estructura. El For Loop y el While Loop únicamente tienen un subdiagrama. El Case Structure y el Sequence Structure, sin embargo, pueden tener múltiples subdiagramas, superpuestos como si se tratara de cartas en una baraja, por lo que en el diagrama de bloques únicamente será posible

visualizar al tiempo uno de ellos. Los subdiagramas se construyen del mismo modo que el resto del programa

2.3.7.1 Estructura Case

Al igual que otras estructuras posee varios subdiagramas, que se superponen como si de una baraja de cartas se tratara. En la parte superior del subdiagrama aparece el identificador del que se está representando en pantalla. A ambos lados de este identificador aparecen unas flechas que permiten pasar de un subdiagrama a otro. En este caso el identificador es un valor que selecciona el subdiagrama que se debe ejecutar en cada momento.

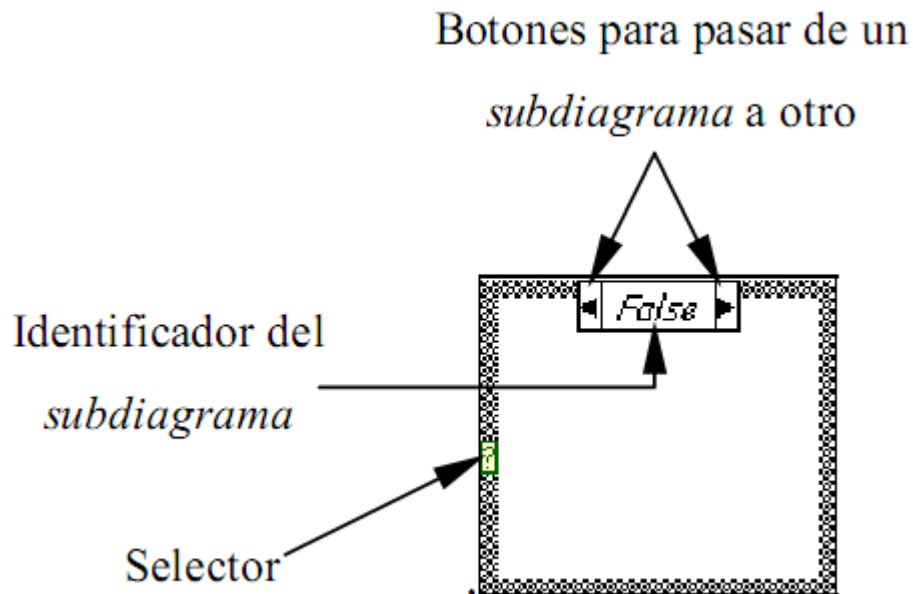


Figura 2.3 Estructura Case

La estructura Case tiene al menos dos subdiagramas (True y False). Únicamente se ejecutará el contenido de uno de ellos, dependiendo del valor de lo que se conecte al selector.

2.3.7.2 Estructura Sequence

De nuevo, este tipo de estructuras presenta varios subdiagramas, superpuestos como en una baraja de cartas, de modo que únicamente se puede visualizar una en pantalla. También poseen un identificador del subdiagrama mostrado en su parte superior, con posibilidad de avanzar o retroceder a otros subdiagramas gracias a las flechas situadas a ambos lados del mismo. Esta estructura secuencía la ejecución del programa. Primero ejecutará el subdiagrama de la hoja (frame) número 0, después el de la número 1, y así sucesivamente. Para pasar datos de una hoja a otra se pulsará el botón derecho del ratón sobre el borde de la estructura, seleccionando la opción Add sequence local.

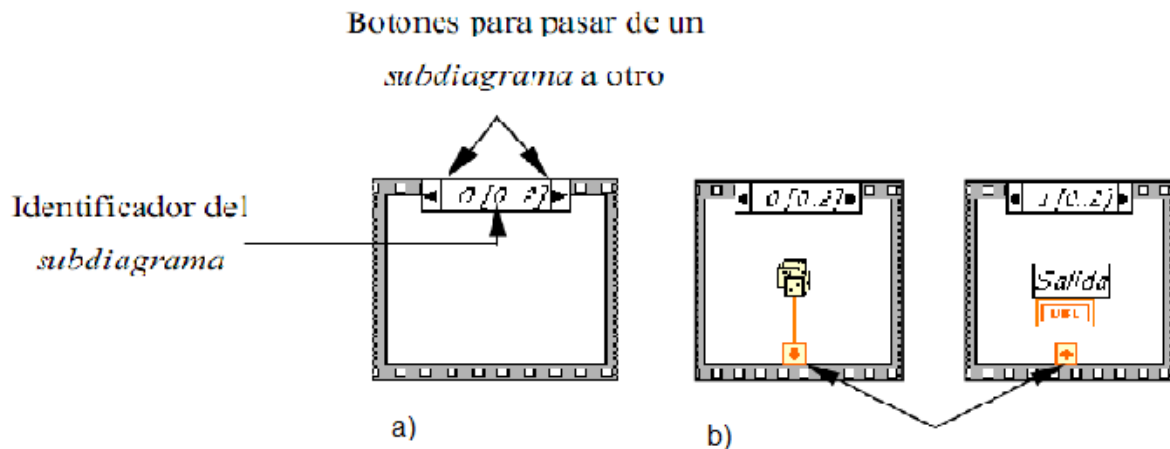


Figura 2.4 a) Estructura Sequence. b) Paso de un dato de la frame 0 a la 1.

2.3.7.3 Lazo For

Es el equivalente al bucle for en los lenguajes de programación convencionales. Ejecuta el código dispuesto en su interior un número determinado de veces. Ejecutar el bucle for es equivalente al siguiente fragmento de código:

For i = 0 to N – 1

Ejecutar el subdiagrama del interior del Bucle

Para pasar valores de una iteración a otra se emplean los llamados shift registers. Para crear uno, se pulsará el botón derecho del ratón mientras éste se halla situado sobre el borde del bucle, seleccionando la opción Add Shift Register. El shift register consta de dos terminales, situados en los bordes laterales del bloque. El terminal izquierdo almacena el valor obtenido en la iteración anterior. El terminal derecho guardará el dato correspondiente a la iteración en ejecución. dicho dato aparecerá, por tanto, en el terminal izquierdo durante la iteración posterior. Se puede configurar un shift register para memorizar valores de varias iteraciones

2.3.7.4 Lazo While

Es el equivalente al bucle while empleado en los lenguajes convencionales de programación. Su funcionamiento es similar al del bucle for. El bucle while es equivalente al código siguiente:

Do

Se ejecuta lo que hay en el interior del bloque

while terminal condicional is true

El programa comprueba el valor de lo que se halla conectado al terminal condicional al finalizar el bucle. Por lo tanto, el bucle siempre se ejecuta al menos una vez. Con esta estructura también se pueden emplear los shift registers para tener disponibles los datos obtenidos en iteraciones anteriores (es decir, para memorizar valores obtenidos). Su empleo es análogo al de los bucles for, por lo que se omitirá su explicación.

2.4 Tiristor NTE5458

Los encapsulados TO202 de los SCR fueron diseñados para ser manipulados directamente con CI y dispositivos CMOS. Este tiristor puede ser cambiado desde un estado de no conducción a conducción, por un pulso de corriente aplicado a la puerta. Está diseñado para aplicaciones de alumbrado, calentamiento, enfriamiento y relés de conmutación estática. Algunas de sus características eléctricas se muestran a continuación.

Tabla2.1 Características eléctricas del tiristor NTE5458

Parámetros	Símbolo	Condiciones de prueba	Mín	Típ	Máx	Unidad
Corriente de pico	I_{rrm}	$V_{rrm}=Max, V_{drxm}=Max$	–	–	100	μA
en no conducción	I_{drxm}	$T_c=+100^{\circ}C, R_g-k=1k\Omega$	–	–	100	μA
Tensión de max en conducción	V_{tm}	$T_c=+25^{\circ}C, I_t=4A(Pico)$	–	–	2,2	V
Corriente de apuntalamiento	I_{hold}	$T_c=+25^{\circ}C$	–	–	3	mA
Corriente de disparo	I_{gt}	$V_d=6V_{CD}, R_L=100\Omega, T_c=+25^{\circ}C$	–	50	200	μA

El circuito típico de disparo por CC es el representado en la figura 2.5

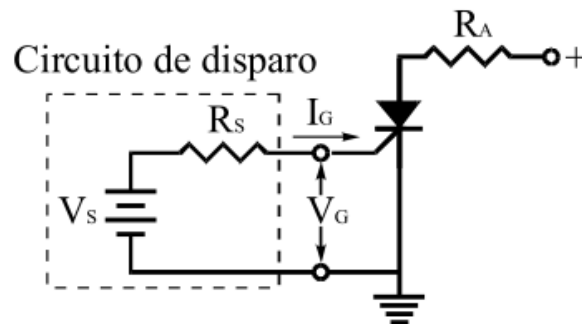


Figura 2.5 Circuitos de disparo por C.C.

2.7 Modulación por ancho de pulso

La regulación por ancho de pulso, PWM por sus siglas en inglés, de un motor de DC está basada en el hecho de que, si se recorta la corriente continua de alimentación en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta (habilita corriente) y baja (cero corriente) del ciclo de la onda cuadrada.

Controlando esta relación se logra variar la velocidad del motor de una manera bastante aceptable (Fig.2.6). Otra estrategia de controlar la velocidad de un motor DC es disminuyendo el voltaje suministrado para su funcionamiento, pero al hacer esto también se ve afectada la potencia del motor.

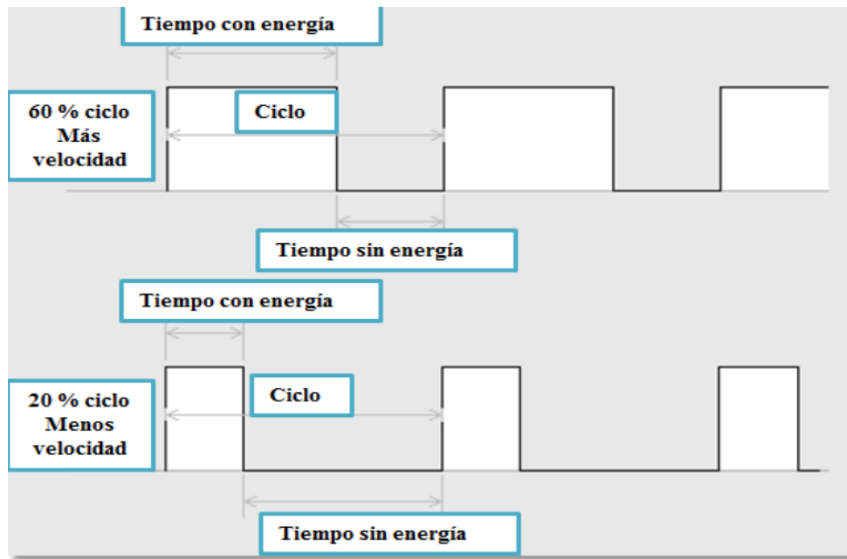


Fig.2.6 Control de velocidad por ancho de pulso (PWM).

2.5 Puente H

La figura 2.3 muestra el hardware a implementar para el control del motor de CD. El cual permite realizar arranque, parada, control de la velocidad e inversión de giro del motor empleando la modulación por ancho de pulso. Cuando los optoacopladores U6 y U9 reciben un pulso en bajo, los tiristores U2 y U5 perciben una señal de encendido y se activan dándole el movimiento al motor en un sentido; cuando reciben un pulso en alto los tiristores divisan la señal de tierra y se apagan, dando lugar a que ocurra el procedimiento anteriormente explicado con los optoacopladores U7 y U8 y los tiristores U4 y U3 respectivamente.

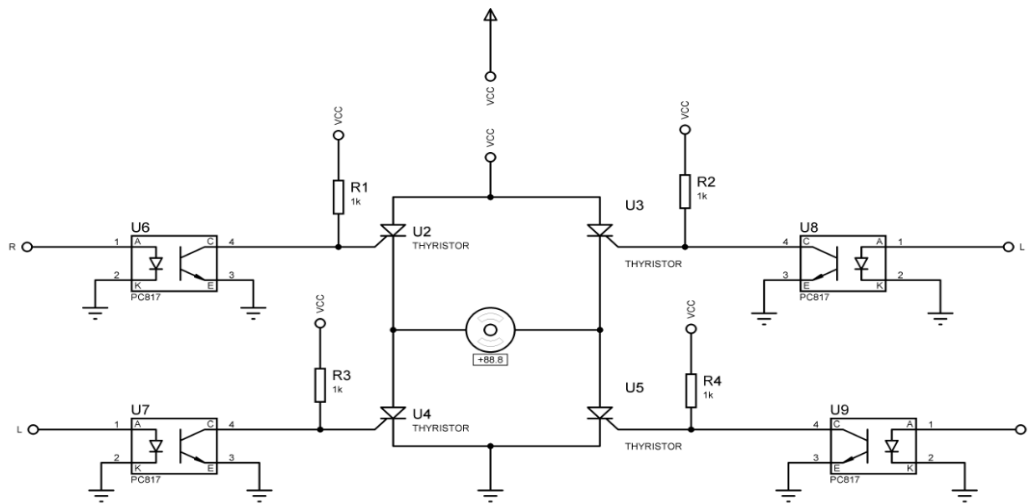


Figura 2.3 Circuito de Puente H

2.6 Fuente de alimentación

El circuito propuesto (Figura 2.), está compuesto por un regulador (LM7805) el cual posee protección contra cortocircuitos, el transformador es de derivación central y convierte de 110 V a 10 V por cada devanado debido a que el voltaje mínimo que puede haber entre la entrada y salida del regulador (voltaje de *dropout*) es de 2 V. Para el uso de este regulador es recomendable usar un capacitor a la entrada de 0.33 μF y otro a la salida de 0.1 μF , el primero es empleado cuando el regulador se encuentra a una distancia apreciable del filtro de la fuente, mientras el segundo es necesario para la estabilidad en las respuestas transitorias. Los diodos que acompañan a los reguladores permiten que los capacitores tengan un camino de descarga y que no lo hagan a través de estos causándoles su destrucción. A la salida del regulador se encuentra también otro diodo, este tiene como función la protección en caso de que ocurra un cortocircuito en la salida. El LM7805 soporta voltajes de entrada de entre 7 V y 20 V con corrientes de salida de entre 5 mA y 1 A con una potencia menor o igual a 15 W.

Conociendo las características del regulador mencionado es posible saber si son adecuados para los requerimientos de la interfaz. En primer lugar, es necesario determinar los valores de corriente que se demanda del regulador y si la potencia

que debe disipar está dentro de los valores admisibles para él. El LM7805 suministra el voltaje y la corriente de alimentación del micro.

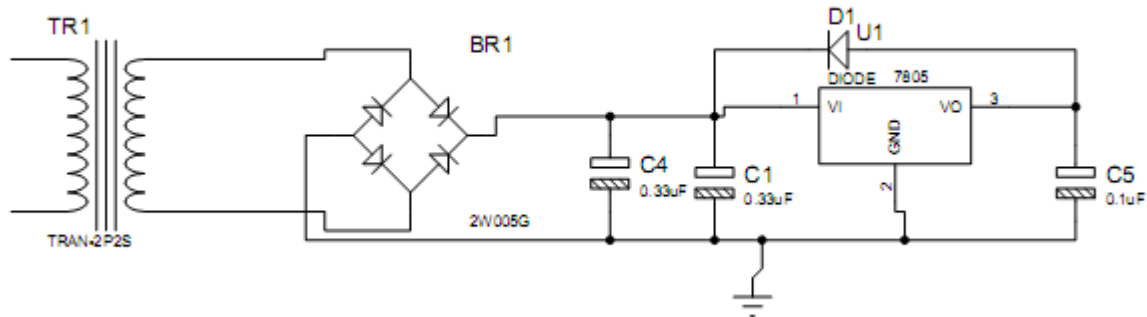


Figura 2.4 Fuente de alimentación.

2.8 Microcontrolador 87C752

En este trabajo se va a utilizar específicamente el microcontrolador 87C752 basado en la arquitectura del popular 8051 de INTEL.

El 87C752 de Philips ofrece muchas de las ventajas de la arquitectura del 80C51 en un encapsulado más pequeño y de menor costo. Este es fabricado con una tecnología CMOS de alta densidad. Contiene 2 Kb $\times$ 8 EPROM, 64 $\times$ 8 RAM, 21 líneas de entada /salida, un temporizador/contador de 16 bit autorrecargable, permite establecer el nivel de prioridad de las interrupciones, contiene una interfaz de comunicaciones (I²C), convertidor análogo a digital de 8 bits, con 5 canales de entrada y una salida PWM de 8 bit, el módulo de comunicación I²C permite que el micro opere como un dispositivo amo/esclavo en una pequeña red de trabajo.

Es un micro muy versátil, otras de sus principales características son:

- 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.

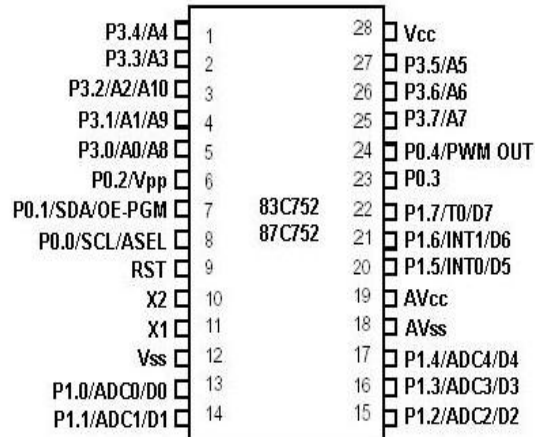


Figura2.7 Distribución de pines del microcontrolador 87C752.

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. [4]

2.8.1 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 máquina específico para cada arquitectura de computadoras legible por un programador. 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. Un programa codificado en lenguaje C resulta muy útil en la aplicación de microcontroladores, dado que lenguaje de máquina. Lo descriptivo de la sintaxis permite elaborar de mejor forma los algoritmos olvidándose de los molestos push y pop usados en el lenguaje de máquina cuando se usan saltos a subrutinas.

2.8.2 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.[8].

2.9 Dispositivo multifunción USB modelo 6009

La tarjeta de adquisición con que se va a sustentar el proyecto es una National Instruments modelo 6009.

El USB-6009 de National Instruments brinda funcionalidad de adquisición de datos básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio. Es accesible para uso de estudiantes y lo suficientemente poderoso para aplicaciones de medida más sofisticadas. Para usuarios de Mac OS X y Linux, descargue el software NI-DAQmx Base y programe el USB-6009 con LabVIEW o C. Para un muestreo más rápido, medidas más precisas, soporte para calibración y mayor número de canales, considere los dispositivos de adquisición de datos de alto rendimiento energizados por bus USB, NI USB-6210 y NI USB-6211. Las siguientes son las especificaciones técnicas:

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s).
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits.
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada.
- La versión OEM está disponible.
- Compatible con LabVIEW, LabWindows/CVI y Measurement Studio para VisualStudio .NET
- Software controlador NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW
- SignalExpress LE para registro de datos.

En el desarrollo de las prácticas se hace necesario el control de algunos parámetros que hacen posible que la práctica se desarrolle de manera correcta, sin que sean considerados como variables al interior de la prueba, como por ejemplo el encendido y apagado de un compresor que proporciona al carril un colchón de aire que impide que en el fenómeno se presente rozamiento. En algunos casos el control de estos parámetros se realiza con la ayuda de Microcontroladores.

La tarjeta está compuesta de tres elementos, el elemento principal de la DAQ (se refiere a la tarjeta NI USB-6009) y dos grupos de borneras, tal como se observa a continuación:

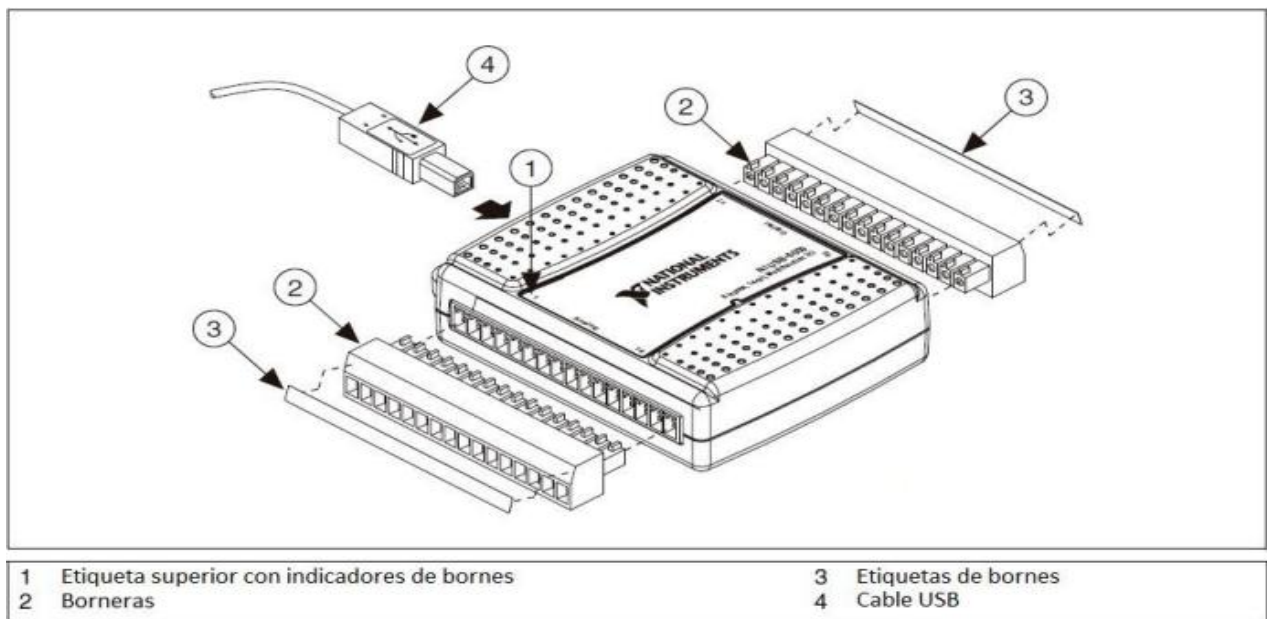


Figura 2.8 El USB-6009

Un grupo de borneras corresponden a las entradas y salidas analógicas y el grupo opuesto corresponden a las entradas y salidas digitales (Figura 2.9), entrada de trigger o contador, +5 V y tierra, como se indica a continuación:

Entradas/salidas analógicas del borne 1 al 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
GND	+AI0 -		GND	+AI1 -		GND	+AI2 -		GND	+AI3 -		GND	AO0	AO1	GND
GND	AI0	AI4	GND	AI1	AI5	GND	AI2	AI6	GND	AI3	AI7	GND	AO0	AO1	GND

Entradas/salidas digitales, +5 V y tierra del borne 17 al 32

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
GND	+5V	+2.5V	PFI0	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0

Figura 2.9 Entradas y salidas del USB-6009

2.9.1 Requisitos de Software y Hardware.

Para poder trabajar con la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009 es necesario disponer de los siguientes elementos:

- Computador con NI LabVIEW1
- NI-DAQmx2, compatible con la versión de LabVIEW instalada
- Tarjeta de adquisición de datos NI USB-60093 y,
- Cable USB tipo USB A/M a USB B/M.

2.10 Conclusiones

En este capítulo se definieron cada uno de las herramientas utilizadas para el diseño, simulación y programación del circuito de control, estas fueron caracterizadas y se explicó brevemente su funcionamiento. Se abordó además el uso de las herramientas para el diseño, programación y simulación del circuito el cual se logró montar hasta nivel experimental.

CAPÍTULO III: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN 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, evaluar los costos del mismo e implementar su ahorro. 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, así como el consumo energético de los equipos electrodomésticos utilizados.

3.2 Simulación y resultados

Para la realización del diseño y la simulación del circuito de control para la velocidad del motor de CD se utilizó el software Proteus 8.1. Para la simulación del circuito de control (Figura 3.1) se tomaron en cuenta todas las consideraciones expuestas en los capítulos anteriores. La misma muestra que, para un mayor tiempo en alto de la señal modulada, menor será la velocidad del motor (Figura 3.2).

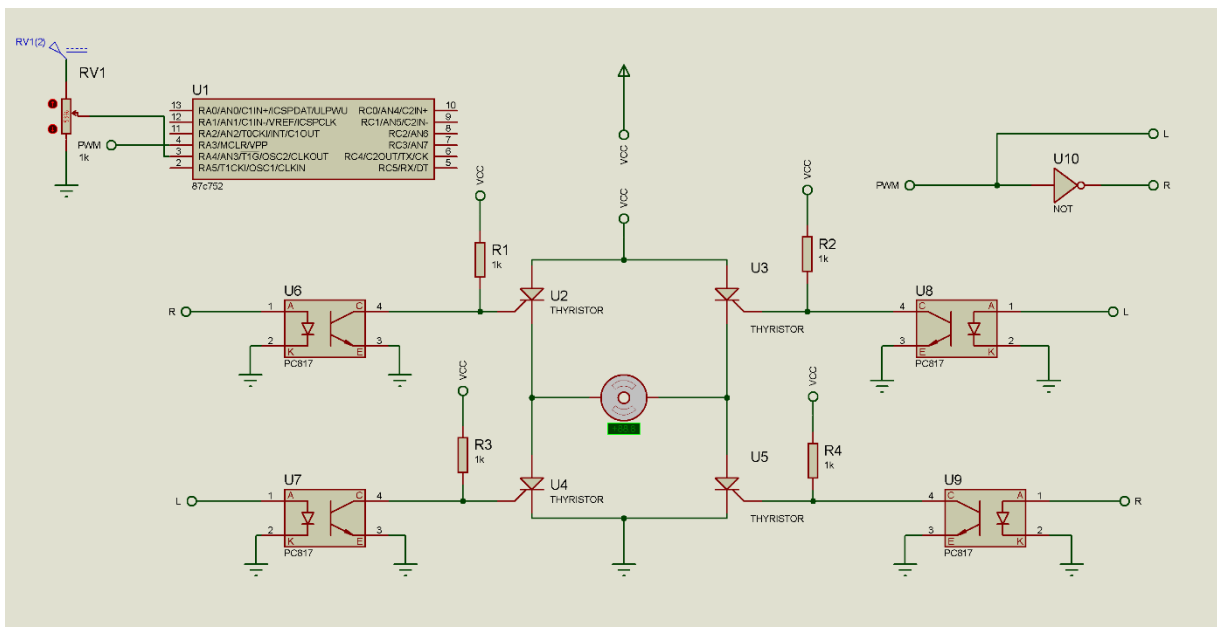


Figura 3.1 Simulación del circuito de control para la velocidad del motor de CD.

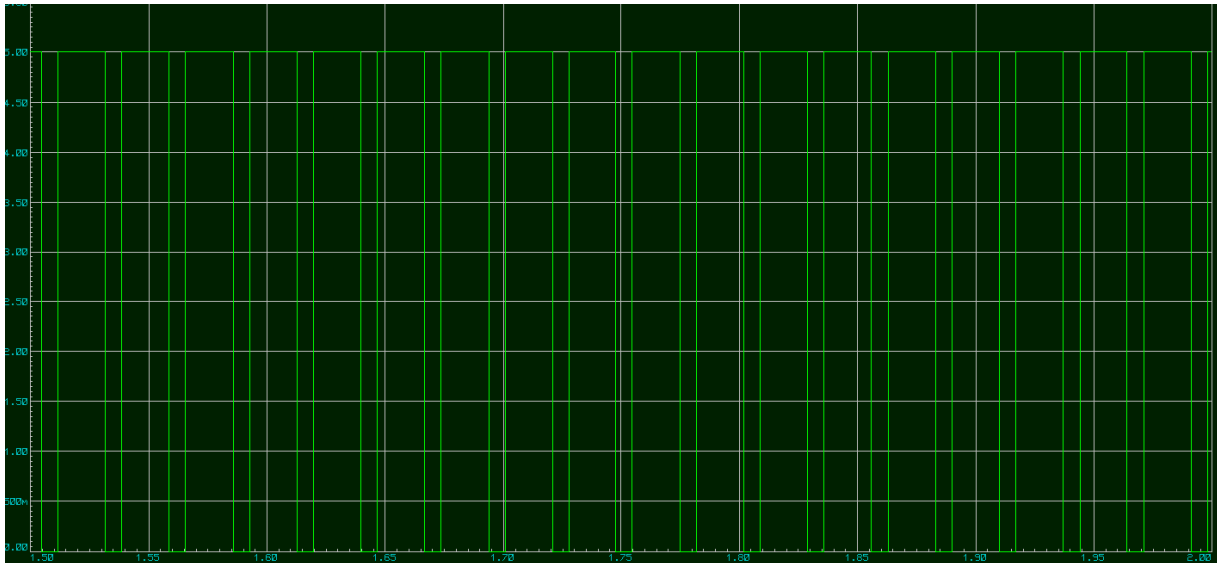


Figura 3.2 Señal modulada.

3.3 Realización del software

El software a realizar consta de tres partes; una relacionada con el control de la señal modulada, donde se encuentra un dial que controla el porcentaje del ciclo útil y controles numéricos, donde se introducen valores de amplitud y frecuencia; en el centro se encuentran una serie de elementos que permitirán, en dependencia del motor y los datos suministrados, la velocidad a la que se mueve en revoluciones por segundo, la señal será enviada independientemente de que los datos del motor se introduzcan o no, aunque en este último caso no se podrá visualizar la variación de la velocidad; por último, en la parte derecha del software, se podrá visualizar el componente gráfico de la forma de onda de la señal modulada como se muestra en la figura 3.2

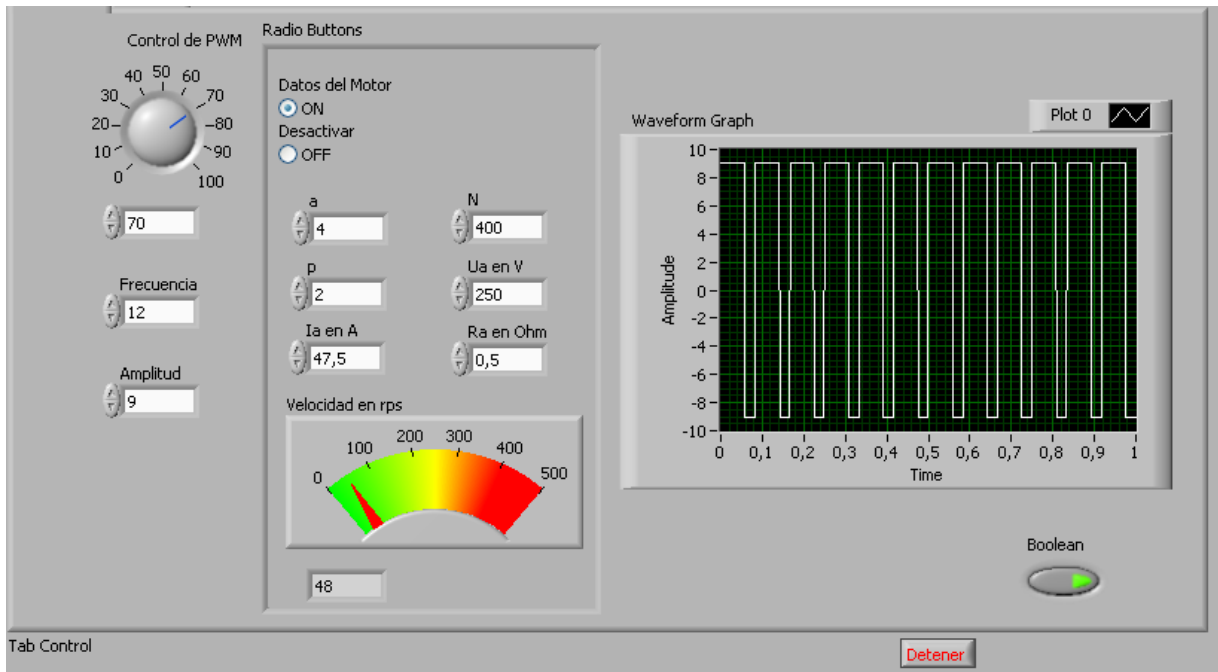


Figura 3.2 Paleta de control de la interfaz realizada en LabVIEW para el control del motor de CD.

Para visualizar el valor de la velocidad se parte de la siguiente ecuación:

$$\omega = \frac{Ua - IaRa}{cm\phi} \quad 3.1$$

Donde:

ω - Velocidad del motor de CD en rad/seg

Ua - Tensión en la armadura

Ia - Corriente en la armadura

Ra - Resistencia en la armadura

ϕ - Flujo bajo de cada polo en el entrehierro

cm - constante

$$cm = \frac{pN}{2\pi a} \quad 3.2$$

Donde:

p- pares de polos

N- Número de conductores en la armadura

a-Pares de ramas en paralelo

La ecuación de la velocidad anteriormente planteada está dada en radianes por segundo, para la simulación se necesita en revoluciones por segundo, por lo que se necesita convertirla. Este procedimiento se explicará a continuación, tómese ω_1 como la velocidad del motor expresada en revoluciones por segundo:

$$\omega = \omega_1 \frac{2\pi}{60} \quad 3.3$$

Se despeja ω_1 y se obtiene:

$$\omega_1 = \frac{60\omega}{2\pi} \quad 3.4$$

Sustituyendo la ecuación 3.1 en la 3.4 y después de realizadas las operaciones matemáticas pertinentes se obtiene:

$$\omega_1 = \frac{60a(Ua - IaRa)}{pN} \quad 3.5$$

La ecuación 3.5 es la que se introducirá en el software para visualizar el valor de la velocidad del motor.[9]

3.4 Valoración económica

Cada proyecto realizado debe estar sujeto a un análisis económico que junto a su viabilidad técnica determinará la posibilidad de su ejecución, en este trabajo se realizó el diseño y simulación de una aplicación de software que incide en el hardware permitiendo el control de la velocidad del motor de CD por lo que los gastos económicos están determinados por el consumo de energía incurridos en el desarrollo del trabajo realizado y el costo de los dispositivos necesarios para implementar el hardware propuesto.

Tabla 3.1. Costo del consumo de los medios empleados.

Equipos	Horas de Trabajo (h)	kW consumidos (kW)	Costo de kW consumido (MN)	Gastos por equipo (MN)
Aire acondicionado	366	653,31	0,09	58,80
Computadora	488	195,2	0,09	17,57
Lámparas	976	19,52	0,09	1,76
Total	1830	868,03	0,09	78,13

Como se puede observar el gasto del proyecto en energía es de \$78,13.

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 3.2 Precios de los elementos utilizados en el circuito propuesto.

Nombres de los componentes	Cantidad	Precio por Unidad CUC	Precio Total
Diodos	5	0.15	0.75
optoacopladores PC814	4	0.50	2.00
Transformador de tensión	1	2.45	2.45
Microcontrolador 87c752	1	1.90	1.90
Resistencia de 1kΩ	4	0.10	0.40
Regulador 7805	1	1.30	1.30
Tiristores de potencia	4	1.85	7.4
Total	20	8.25	16.2

Como se puede observar en la tabla 3.2, el precio total de la implementación del hardware es de \$16.2 CUC que equivale a \$405.00 en MN.

3.5 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:

$$C_t = PC + S_d \cdot H_d + S_e \cdot h_e \quad 3.6$$

Dónde:

C_t - Costo total

PC- Precio total de los componentes

S_d y S_e- Salario por hora del diseñador y el técnico electrónico respectivamente.

H_d y h_e – Horas trabajadas por el diseñador y el técnico electrónico respectivamente.

Sustituyendo en la fórmula anterior se calcula que el costo total es de: \$ 421.00 MN. A este resultado se le suma el consumo de energía y se obtiene un valor final de \$499.65 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.

3.6 Conclusiones

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 y el consumo de energía, se obtuvo la cantidad necesaria de efectivo para la realización del proyecto demostrando que es factible.

Conclusiones generales

- Se llevaron a cabo estudios sobre el control de la velocidad de los motores de CD, los microcontroladores, los tiristores, los Sistemas de Adquisición de Datos (SAD), se definió además el concepto de interfaz así como sus principales funciones.
- Se realizó un estudio de trabajos precedentes que demuestran la actualidad del tema y su utilidad.
- Se diseñaron, el circuito de control para la variación de la velocidad de motores de CD y la interfaz gráfica, realizadas en Proteus 8.1 y LabVIEW respectivamente, las cuales se montaron hasta nivel experimental.
- Se analizaron los resultados obtenidos después del montaje, observando que realmente se asemejan a los alcanzados en la simulación.
- A través de un sencillo cálculo económico basándose en el costo de los componentes que integran el módulo construido y el consumo de energía, se obtuvo la cantidad necesaria de efectivo para la realización del proyecto demostrando que es factible y de gran utilidad para la realización de prácticas de laboratorios de la asignatura de Aplicación de los Microcontroladores a la Electroenergética. .

Recomendaciones

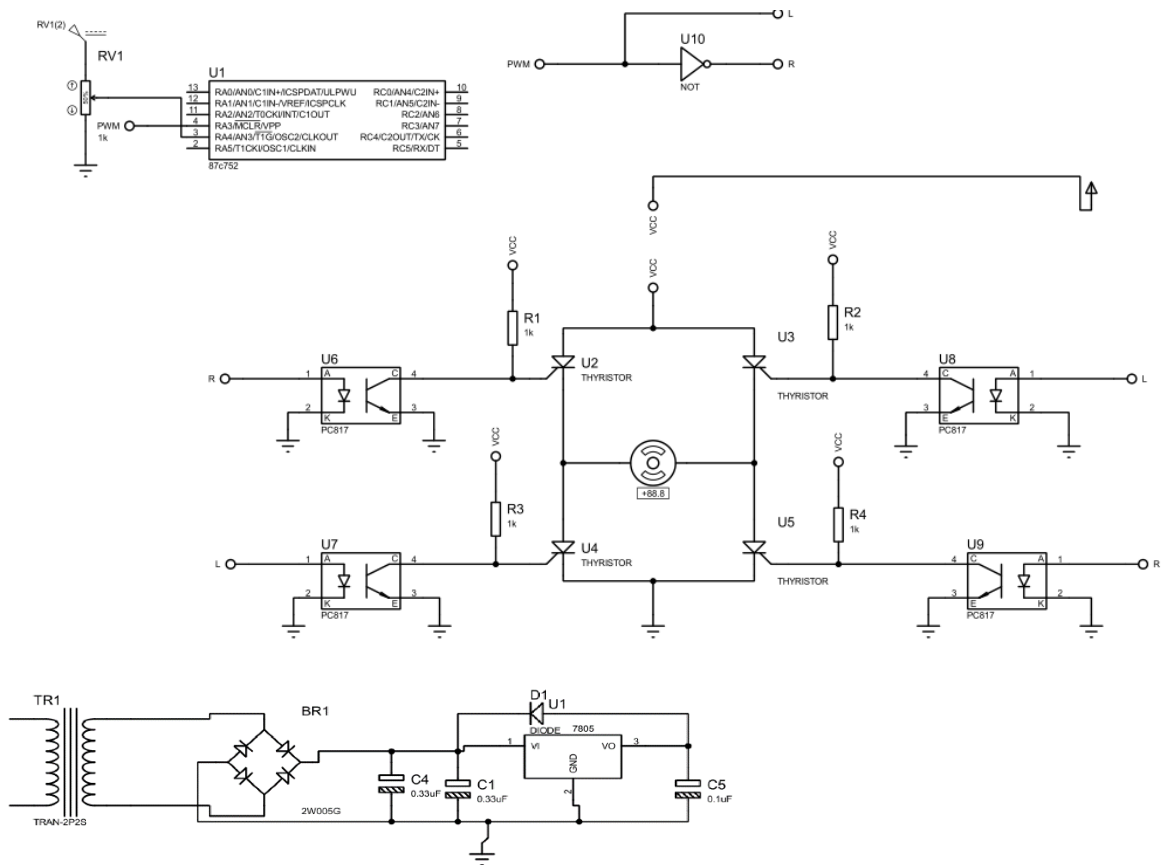
- Construir una maqueta del SAD basados en el diseño propuesto.
- Emplear el protocolo de comunicación USB para el envío de datos a la PC.
- Diseñar Prácticas de Laboratorios empleando la aplicación realizada.

Bibliografía

- [1] M. J. Gamboa, "Sistema de control de velocidad y giro de un motor de corriente continua," 2014.
- [2] A. Macey, "Aplicación de los microcontroladores en la regulación de velocidad de motores de corriente directa" 2015.
- [3] J. w. Mena, "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.," 2006.
- [4] "Philips Semiconductors. Applications notes and tools for 80C51 Microcontrollers," 1995.
- [5] V. R. V. Corps, "Diseño , simulacion y montaje a nivel experimental de una tarjeta de adquisicion de datos para bancos de ensayos amotores electricos.," 2012.
- [6] K. Matos, "Diseño y simulación de un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) utilizando microcontroladores como medio de enseñanza virtual.," 2015.
- [7] A. A. Garavito, "Desarrollo de HMI para adquisición de datos entre LabVIEW y PIC18F4550 ", 2012.
- [8] J. A. V. M. y. F. A. L. L. Byron Xavier Lima Cedillo, "Diseño de equipos didacticos para practicas de laboratorio de control automatico.," 2010.
- [9] M. Z. Izquierdo, *Maquinas de Corriente Directa*.

ANEXOS

ANEXO1 Diseño completo del circuito de control para la variación de velocidad del motor de CD.



ANEXO II Programación del microcontrolador 87C52

```
$MOD752
$DEBUG
org 00h
jmp start
org 03h
jmp Intr1
org 013h
jmp Intr2
start:
    setb    P3.1
    MOV     PWMP,P3.0
    MOV     PWCM,P1
    MOV     PWENA,#1
    setb    EA
salto:
    jmp     salto
Intr1:
    MOV     PWENA,#0
    reti
Intr1:
    clr     P3.1
    reti
end
```


ANEXO III Otros aspectos importantes del NI USB-6009**ADQUISICIÓN DE DATOS**

LabVIEW incluye un grupo de VI que permiten configurar, adquirir datos y enviarlos a los dispositivos DAQ. Frecuentemente un dispositivo puede ejecutar una variedad de funciones (conversión análogo a digital –A/D– , conversión digital a análogo – D/A, E/S digital y operaciones de contador / temporizador. Cada dispositivo soporta diferentes DAQ y velocidades de generación de señal. También cada dispositivo DAQ es diseñado para plataformas de hardware y sistemas operativos específicos.

HARDWARE DE ADQUISICIÓN DE DATOS

La tarjeta NI6009 es una tarjeta de adquisición de datos multifuncional para Windows 2000/XP/Vista, MAC OS X, LINUX; posee alto rendimiento y alta velocidad de muestreo. Las especificaciones de la tarjeta y el soporte de proveedores externos hacen ideal su uso para un amplio rango de aplicaciones en nuestro caso el de la adquisición de datos, para la industria, laboratorios, control de procesos y automatización de sistemas en las fábricas.

Características:

Canales de entrada analógica seleccionados por software: 8 canales unipolares y 4 diferenciales. Un convertidor A/D de 14 bits de aproximaciones sucesivas. Y 13 bits de modo diferencial. El rango máximo de muestreo de la tarjeta es 5 MHz.

Rangos de entradas analógicas seleccionadas por software:

- Unipolares: $\pm 10V$.
- Diferenciales: $\pm 20V$, $\pm 10V$, $\pm 5V$, $\pm 4V$, $\pm 2.5V$, $\pm 2V$, $\pm 1.25V$, $\pm 1V$.

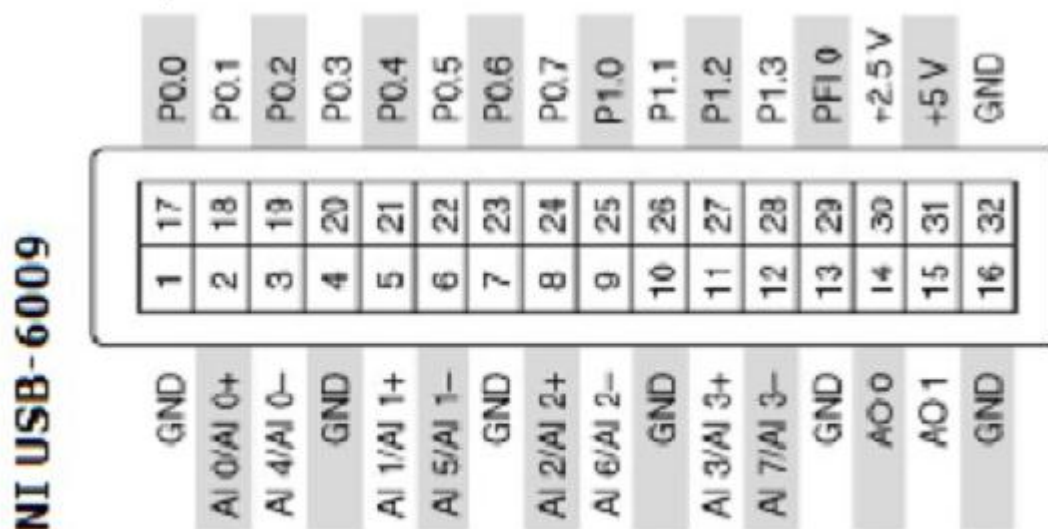
Provee de dos modos de disparo para el A/D: por software y por disparador digital externo.

Resolución de entrada: 14 bits en modo unipolar y 13 bits en modo diferencial.

Muestreo de tasa máxima: Un canal 48 KS/s, para múltiples canales 42KS/s.

Voltaje de trabajo $\pm 10V$, con una impedancia de entrada de $144K\Omega$ y una protección de sobretensión de $\pm 35V$.

Cuenta con 8 entradas analógicas y 8 digitales ambas pueden configurarse como entradas o salidas por medio de software además posee 8 salidas digitales con 2 salidas analógicas utilizando un convertidor de aproximaciones sucesivas.



Pinout de la tarjeta DAQ USB 6009

ANEXO IV: Diagrama de flujo.