

CONTROL DE UN MOTOR DC CON COMPUTADOR PERSONAL

Ing. Bolívar Ledesma G.
Sr. Xavier Vinuesa H.

Politécnica Nacional

RESUMEN.- Este trabajo presenta los resultados del diseño y construcción de un equipo utilizado para el control de motores de corriente continua con ayuda de un computador personal.

Para el efecto se utiliza un esquema de disparo, basado en un algoritmo de búsqueda de datos en tablas, implementado en el microcontrolador i8751 para así, controlar un convertor AC-DC de estado sólido.

Además se hace una breve revisión en lo que a comunicación computador personal microcontrolador, y teclado-microcontrolador se refiere. Finalmente, se exponen algunas conclusiones y recomendaciones sobre este tipo de sistemas de control.

ABSTRACT.- this paper presents the results of design and construction of an equipment used to control a direct current motor with a personal computer.

For this reason, a firing scheme based on a table-look-up algorithm is used to fire a solid state AC-DC converter; it was implemented in the i8751 microcontroller.

Furthermore, a brief revision is made about the communications between the microcontroller and peripherals (keyboard and personal computer). Finally, some conclusions and recommendations are described about this type of control system.

1.- INTRODUCCION

Desde hace algún tiempo, en el campo industrial, han venido evolucionando los sistemas de control (aplicado sobretodo a máquinas de corriente continua); la tendencia sin duda abarca los siguientes aspectos:

a.- Lógica.- el cálculo de instantes de tiempo que un elemento de potencia puede estar encendido o apagado.

b.- Actuador de conmutación.- la forma de onda, duración, amplitud de la señal de compuerta del tiristor, o de base del transistor de potencia.

c.- Regulación.- realimentación de

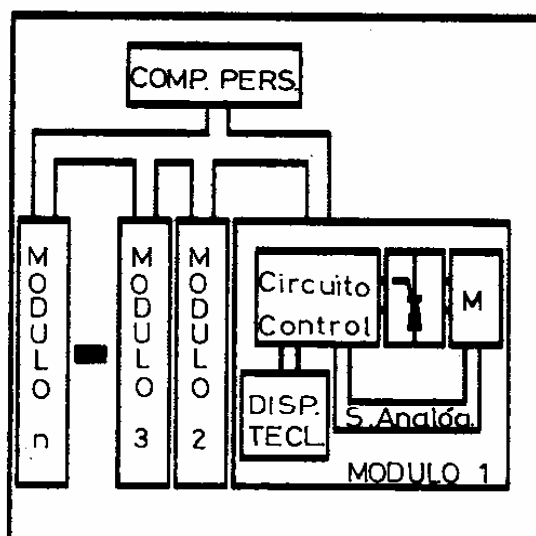


Figura N.1 Esquema General del equipo

lazos internos de voltaje y corriente, o lazos externos de velocidad.

d.- Protección.- monitoreo y acciones correctivas frente a sobrecargas, fallas, malos disparos o fallas de equipo.

e.- Diagnósticos.- diagnósticos de fallas on-line y off-line con sus respectivas indicaciones y señalizaciones.

f.- Secuencia.- secuencias de encendido y apagado de fuentes de poder, contactores, ventiladores, referencias y otros.

Los microprocesadores, son en si una buena alternativa para cubrir los requerimientos antes citados; éstos son dispositivos digitales aplicados en drivers y hacen lo mismo que: circuitos analógicos, transistores y lógica de circuitos integrados, relés, y otros que todavía no se realizan. En la Figura N.1 se muestra en forma de bloque lo que el equipo en general representa. Cabe señalar que el diseño considera la opción de que el computador personal pueda controlar y monitorear a varios equipos de idénticas características al mismo tiempo.

En la Sección II de este trabajo se detallan algunos requerimientos tanto en potencia como en el sistema de control y de comunicación. En la Sección III se explica en detalle el diseño y operación del programa implementado en el microcontrolador. Finalmente, en la Sección

IV, algunas recomendaciones y conclusiones serán mencionadas, además se expondrán ciertas limitaciones y avances del equipo en general.

II REQUERIMIENTOS GENERALES

El elemento de potencia a ser controlado se muestra en la Figura N.2 éste es un convertor de estado sólido trifásico semicontrolado. Este elemento de potencia va a funcionar en las siguientes configuraciones:

Convertor trifásico semicontrolado de 6 pulsos.

Convertor trifásico una vía de 3 pulsos.

Convertor monofásico semicontrolado.

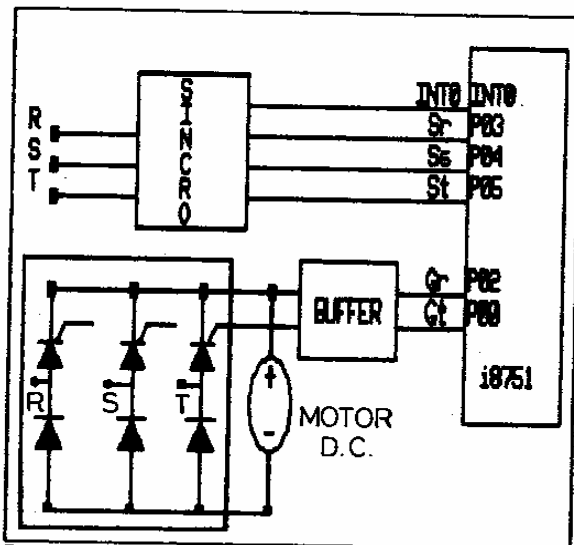


Figure 2 circuito de control de disparo.

En la misma figura podemos ver el circuito de control de disparo de este puente; las señales de compuerta son generadas por el microcontrolador. Estas pueden manejar directamente al puente utilizando opto-aisladores.

Es frecuentemente deseable producir una relación lineal entre el voltaje de control (entrada) y el voltaje medio de salida del puente. Si la corriente de carga es considerada continua, este efecto puede ser alcanzado incluyendo una función coseno inverso en el controlador. Hay muchas maneras de hacer esto con controladores analógicos. En sistemas digitales la manera más simple y rápida es utilizando tablas de traducción. Esta es la técnica utilizada en este trabajo, con la única diferencia de que no se tiene voltaje de control que pueda ser traducido a valor digital sino el dato de alfa se da digitalmente a través del computador personal o un teclado independiente. El control con voltaje análogo es posible en

el equipo contruido puesto que se dispone de un convertor A/D de 8 canales multiplexados (ADC 0809).

III. DISEÑO Y OPERACION DEL PROGRAMA

El microcontrolador 8751 de la Intel fue escogido para la implementación del circuito de control, por sus características de manipulación de variables, tanto por bytes como por bits; a continuación se dan algunas características de este elemento:

- 4K x 8 EPROM en el chip.
- 128 x 8 RAM en el chip.
- 2 temporizadores de 16 bits.
- canal serial full-duplex de alta resolución.
- memoria externa expandible a 128K
- 4 bancos de registros de 8 bits.
- stack de 128b.
- gran capacidad de operación aritmética
- 32 líneas de entrada/salida.
- 5 fuentes de interrupción con 2 niveles de prioridad.

La Figura N.3 muestra un diagrama de bloques de este microcontrolador. Como se muestra en la figura N.2, no se necesita mayor circuiteria fuera del de sincronización y fuentes de alimentación, pues el micro provee memoria interna, temporizadores, pórtricos, y lo más importante, la CPU. Se utiliza además un convertor A/D con fines de recibir señales analógicas externas para realimentación externa o interna, ya sea de voltaje, velocidad o corriente respectivamente; además es utilizado para adquisición de datos y su señalización a través del microcontrolador.

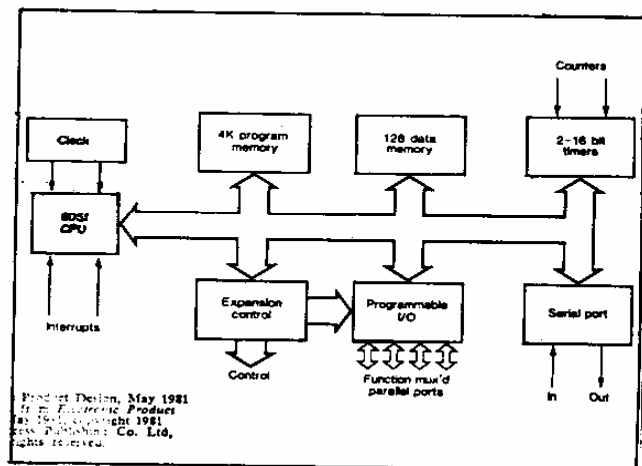


Figura N.3 Microcontrolador 8751.

A. Sincronización.

Esta parte es muy importante, pues de ésta

depende la exactitud del sistema de disparo; una correcta sincronización entre los voltajes de línea y el punto donde el ángulo de retardo debe empezar, asegurará que los tiristores se disparen adecuadamente.

Para el caso trifásico, en la figura N.4 se muestran las señales que permiten obtener los pulsos donde el ángulo de retardo alfa debe comenzar para cada fase (S_1, S_2, S_3) y además se obtiene la señal INTO de la suma lógica de las tres anteriores.

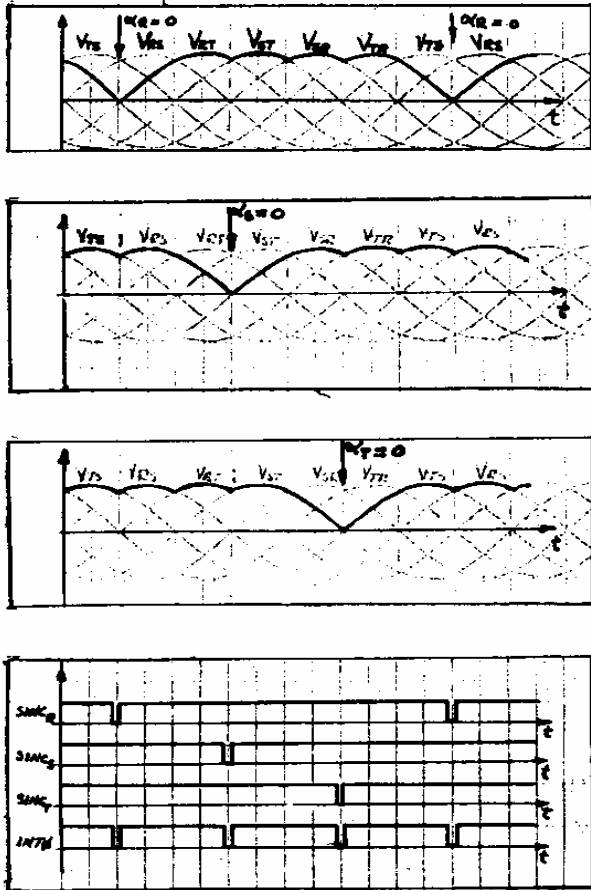


Figura N.4. Sincronización Trifásica.

Las señales de sincronización anteriores son utilizadas para verificación de secuencia y detección de fallas por ausencia de fase a cada pulso dado por la señal INTO la misma que entra directamente al microcontrolador y es la interrupción con más alto grado de prioridad.

Para el caso monofásico, se realiza la conexión que se muestra en la Figura N.5 para efecto de conseguir las señales de sincronización mostradas en la misma figura.

Estas señales también son utilizadas

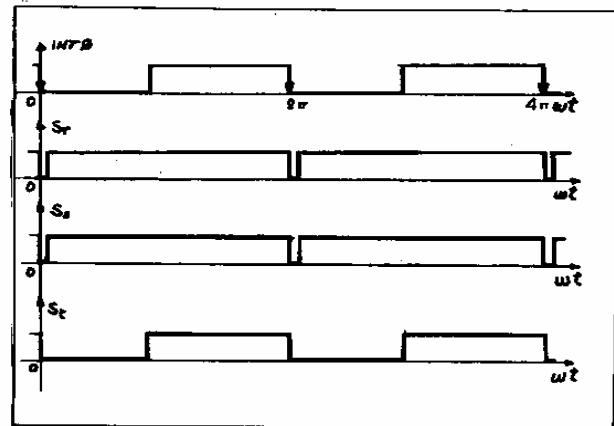
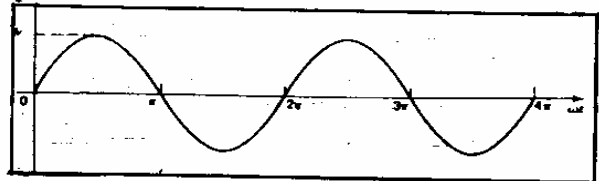
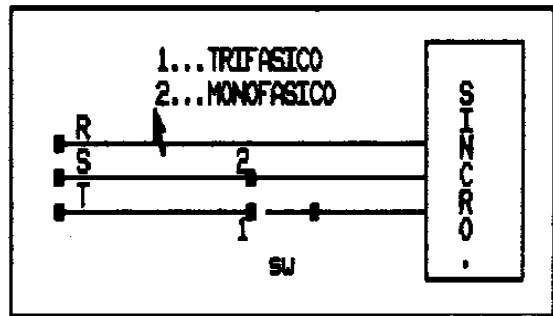


Figura N.5 Sincronización Monofásica

para efectos de detección de fallas por ausencia de fase. Cabe señalar que a cada flanco negativo de INTO se realiza un cruce por cero ascendente de la señal de voltaje, pero, el flanco de subida no coincide con el cruce por cero descendente, esto es debido a que se emplea el mismo circuito de sincronización utilizado para el caso trifásico el único cambio se da en la Figura N.5.

Para el caso del convertor trifásico de 3 pulsos, se mantienen las mismas señales de sincronización que en el primer caso; pero con un ancho máximo del pulso de disparo de 240° ; es por esta razón que para el caso trifásico en general, el rango de control de alfa es de 0° a 240° .

El método de sincronización implementado

en este trabajo, es conveniente por los siguientes aspectos:

1. Las señales de compuerta se producen a intervalos regulares de tiempo, lo que minimiza la producción de armónicos en la corriente de línea.

2. Una vez iniciado el funcionamiento, la sincronización se chequea tres veces por ciclo, lo que asegura un mínimo de error debido a sincronización.

B.Control de Disparo y programa.

Los principales pasos en la ejecución del programa se presentan en el diagrama de flujo de la Figura N.6 . Cuando el sistema digital de control es inicializado, el programa realiza una serie de pasos de inicialización, es cuando se determina la secuencia de fase de la fuente .

B.1 Determinación de la secuencia de fase.

La secuencia de fase se determina utilizando las señales de sincronización y la de interrupción mostradas en la Figura N.4. Las tres primeras entran al pórtico cero como se muestra en la figura N.2; el programa entonces espera al primer flanco negativo de S_r , luego espera una interrupción, y en este momento se leen las tres señales de sincronización , si como resultado se tiene 101 entonces la secuencia puede ser positiva, luego se espera otra interrupción y se leen nuevamente las tres señales, si resulta 110 entonces se asegura que es secuencia positiva, caso contrario, si resulta algún valor distinto será por efecto de ausencia de fase .

B.2 Programa principal.

En el programa principal se procede a realizar las siguientes tareas:

1. Buscar valores a cargar en el temporizador que genere el retardo respectivo.
2. Monitorear y supervisar cada una de las interrupciones con la ayuda de banderas.
3. Entablar total comunicación con el computador personal, y el teclado independiente.

Para cada valor de alfa ingresado al microcontrolador, ya sea por computador o por teclado, con comandos de incremento y decremento de 1 o 10 grados , es actualizado inmediatamente tanto para displays como para buscar su valor correspondiente en la tabla de traducción. Esta tabla de traducción contiene los valores que hay que cargar en un temporizador .El ángulo puede variar en pasos de 1 grado. Los valores de la tabla se calculan de acuerdo al hecho de que el

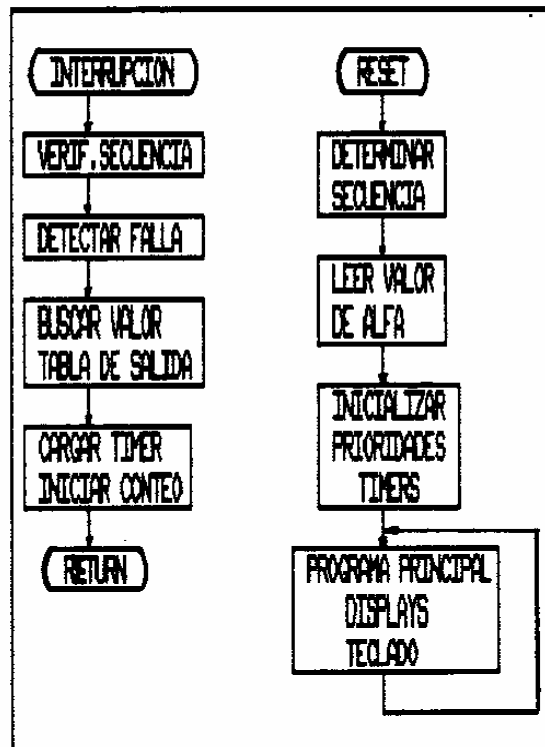


Figura N.6 Diagrama de flujo del programa implementado.

timer incrementa su valor cada 12 periodos de reloj, entonces , de acuerdo a la frecuencia del reloj utilizado se calcula el valor a cargar en el temporizador, tal que el tiempo que le lleve alcanzar el valor máximo (FFFF H) sea justamente el tiempo de retardo correspondiente al dato de alfa actualizado. Dado que el rango de control de alfa es de 240° , la tabla ocupará 255 bytes, es decir una hoja de programación.

Para cada flanco de INTO, se obtiene, según las señales de sincronización , el valor que se debe cargar en el pórtico cero y saber así cual tiristor va ha ser disparado; en la Tabla 1 se muestran estos valores para la condición de secuencia positiva y negativa, alfa mayores y menores que 120° . El rango de 240° se logra haciendo que en cada flanco negativo de la señal de interrupción INTO, una compuerta permanezca activa. Por ejemplo; para el flanco de sincronización de la fase R, el pulso terminará en el flanco de T y no antes, sea cual fuere el ángulo de retardo. Así, para la fase S el pulso terminará en el flanco de R, y para la fase T, terminará en R.

El programa presenta un problema para el caso en que el ángulo de retardo vale 120° pues en este instante se atenderían a las dos interrupciones de mas alta prioridad, lo que implica una decisión por la externa cero. La solución a esta condición, fue la de desplazar este valor de alfa a 121° ; este cambio solo es apreciable cuando se

incrementa alfa en pasos de 1° . De acuerdo a la Tabla I, para valores de alfa mayores de 120° , a cada flanco de interrupción se envían ceros a las compuertas y el tiempo de retardo a cargar en el temporizador es de $(\alpha - 120^\circ)$. Por ejemplo; en el flanco de R, y con un ángulo de retardo de 180° , el timer correrá un equivalente de 60° para la fase T, en el flanco de S, correrá 60° para la fase R, y en el flanco de T, correrá 60° para S. Este esquema es fácil de implementar con la ayuda de banderas.

Para el caso monofásico, dadas las características mostradas en la Figura N.5, el método de control varía un poco. Al flanco negativo se carga el temporizador con el valor correspondiente a alfa, al término del conteo se disparan ambos tiristores luego se carga el mismo temporizador con el valor suplementario, terminado el conteo se carga nuevamente con el valor inicial, y terminado éste se carga finalmente con el suplemento, el mismo que terminará justo coincidiendo con el siguiente flanco negativo, completando así un ciclo de 360° . Este método se basa en la sincronización con método interno, el temporizador es el encargado de sincronizar una mitad del ciclo completo.

DESCRIP.	>120°						<120°		
	St	Ss	Sr	Bt	Bs	Gr	Bt	Bs	Gr
PORTICO	5	4	3	2	1	0	2	1	0
Sec +	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	1	1	1	0	1	0	1	0	1
	1	0	1	0	0	0	0	0	1
	1	1	1	1	0	0	0	1	1
	0	1	1	0	0	0	0	1	0
	1	1	1	0	0	1	0	1	0
Sec -	1	1	0	0	0	0	0	1	0
	1	1	1	1	0	0	0	1	1
	0	1	1	0	0	0	0	0	1
	1	1	1	0	1	0	1	0	1
	1	1	0	0	0	0	1	0	0
	1	1	1	0	0	1	1	1	0

TABLA I. Tabla de conversión.

B.3 Comunicación Serial.

La comunicación serial es realizada por el pòrtico del microcontrolador funcionando a 9600 baudios. El temporizador encargado de generar esta velocidad de transmisión es el uno. El baud rate es calculado con la fórmula:

$$\text{BAUD RATE} = \frac{K \times \text{Frec. Oscilador}}{32 \times 12 \times [256 - (\text{TH1})]}$$

Si SMOD=0, K=1
Si SMOD=1, K=2

ésta contiene la frecuencia del reloj con que esta funcionando el microcontrolador que es de un cristal de 7.3728 MHz. También contiene el modo de transmisión que es el uno. Este modo de transmisión especifica que la transmisión será de 8 bits, un bit de parada (0) y un bit de inicio, y a un baud rate fijo; TH1 es el registro del temporizador 1 encargado de generar el baud rate.

Por el lado de Computador Personal, se utiliza QUICKBASIC para la comunicación con su pòrtico serial. La instrucción OPEN COMn, permite abrir un archivo de entrada o salida, exclusivamente para comunicación serial. En ésta, se especifican las características de la comunicación como paridad, número de bits de datos, bit de parada, baud rate.

Cabe señalar que debido a la mayor velocidad de operación del microcontrolador, respecto de la del Computador Personal, fue necesario introducir lazos de retardo en el procesador de tal manera que no exista un error de sobreflujo en el Computador; esta condición es más notoria cuando se leen datos del convertor A/D, cuando una falla del sistema es identificada en el programa en quickbasic, ya que continuamente se envía un carácter especial -según la falla- hacia el buffer del pòrtico serial del computador; por lo tanto hay que esperar que éste se descarge. Es por esta razón que cualquier algoritmo de control debe ser implementado en el microcontrolador (assembler) y no en lenguaje de alto nivel.

Respecto al sistema de adquisición de datos, el programa lee n datos del convertor A/D, de los cuales, los m ($m < n$) más grandes y los m más bajos son eliminados; del resto ($n - 2m$) se extrae el promedio. El programa del computador permite la selección del canal a leerse (0 a 7), y los parámetros m y n.

Fue necesario, cambiar de niveles de voltaje de la salida del computador a niveles lógicos TTL, aceptados por el microcontrolador. Para ese efecto se utiliza un solo chip que hace este cambio, éste es el MAX232.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Respecto de la sincronización, podemos decir, que el programa está configurado de tal manera que el microcontrolador realice tareas como la de actualizar datos, mostrar en display, atender interrupciones como la serial, externa 1, timer 1, externa 0,

timer ϕ ; de las cuales, las dos últimas tienen la máxima prioridad. De esta forma, el micro atiende la presencia de una interrupción de baja prioridad en el instante en que ésta llega, pero no la ejecuta inmediatamente, sino luego de que haya terminado la tarea que lo ocupaba. Este método evita que el micro esté en estado de espera de interrupción sin realizar tareas adicionales.

Sin embargo la ausencia de estado de espera de interrupción, introduce cierta incertidumbre en el servicio de interrupciones, ya que éstas son atendidas luego de que cierto grupo de instrucciones han sido ejecutadas. El tiempo de incertidumbre depende del lugar donde se atiende la interrupción, y no pasará de algunos ciclos de reloj que no influirán mucho en la exactitud de la operación del conversor AC-DC.

El hecho de que el diseño presentado sea para una frecuencia fija de operación, normalmente una fuente estable de poder no causaría mayor problema. Sin embargo el control puede trabajar para 50 y 60 Hz. haciendo necesario la construcción de una nueva tabla de traducción que puede ser seleccionada oportunamente por el programa.

La operación con frecuencia variable requiere de un programa más complejo. Respecto a la tabla de traducción, ésta puede ser eliminada si representa una función lineal, fácil de implementar en este microcontrolador por sus características de multiplicación y división. Una solución sería, monitorear constantemente la frecuencia de la red, y utilizar un factor de multiplicación en la tabla de traducción. Otra solución sería, utilizar un reloj externo para manejar al temporizador de sincronización. Este reloj, obviamente sería un PLL sincronizado con la línea. Mas aún, el mismo PLL puede ser sustituido por un oscilador controlado por el mismo procesador para evitar señales espúreas de referencia que con señales de referencia externas fácilmente ingresarían.

Algunas ventajas del sistema microprocesado de control pueden ser resumidas en las tres siguientes:

1. Pueden ser programadas funciones no-lineales de control.
2. Alguna modificación al control se lo hace en software y no en hardware.
3. Se pueden obtener características especiales tales como eliminación de rebote en teclado, rechazo de malas referencias de tiempo, etc.

El equipo fue diseñado de manera modular, así, está proyectado que el Computador Personal controle a un número determinado de éstos con idénticas características, lo que hizo necesario implementar en el microcontrolador un sistema de identificación.

El equipo fue probado en un motor de corriente continua de imán permanente de 1 H.P. (180 V , 5 A, 1750 RPM), los resultados fueron los esperados.

V. BIBLIOGRAFIA

S.B.DEWAN y W.DUNFORD, "A Microprocessor-Based Controller for a Three-Phase Controller Rectifier bridge", IEEE, Trans. Ind. Apl. Vol. IA-19 pp 113-118 Enero 1983.

P.TANG, S.LU y Y.WU, "Microprocessor-Based Design of a Firing Circuit for Three Phase Full Wave Thyristor Dual Converter", IEEE, Trans. Ind. Elec. Vol. IE-29 pp.67-76, Febrero 1982.

A. KUSKO , D. GALLER, "Survey of Microprocessors in Industrial Motor Drivers", IEEE, Ind. Applic. Annual Meeting pp.435-438.

BIOGRAFIA.



LEDESMA, BOLIVAR. Nació en Quito el 5 de Diciembre de 1962. Obtuvo el título de bachiller en Humanidades Modernas en el Colegio San Gabriel de Quito 1980. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Control en 1987. Actualmente presta sus servicios en calidad de Profesor Auxiliar en el Area de Control Electrónico de Potencia de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional. Al momento, se encuentra asistiendo a un curso sobre Fuentes Renovables de Energía en Italia.



VINEZA, XAVIER. Nació en Riobamba, el 27 de Agosto de 1964. Obtuvo el título de Bachiller en Humanidades Modernas, especialidad de Físico-Matemático en el Colegio Santo Tomás Apóstol Riobamba (1982). Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, egresando de la Facultad de Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Electrónica y Control. Actualmente se encuentra desarrollando la tesis de grado sobre el presente trabajo.