

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE SERVOS PARA EL
LABORATORIO DE CONTROL AUTOMATICO.**

**L.Vargas
A.Reina
J. Parra**

Autores:

**Ing. Electrónico Lauro Norberto Vargas López , 1998
Ing. Electrónico Alfredo Xavier Reina Logroño , 1998
Ing. Electrónico Jesús Vicente Parra Zamora , 1998**

Director de Tesis:

**Ing. En Electricidad Hugo Villavicencio
Post-grado : Master of Sciences in Electrical Engineering ,
North Dakota State University
Profesor de la Espol : Desde 1975 hasta el presente**

RESUMEN

El propósito de esta tesis es el de dar a conocer el diseño y construcción de un servomecanismo para controlar la velocidad y posición de un motor DC utilizando circuitos *analógicos* y diseño de un *controlador digital* basado en un microcomputador.

En algunos capítulos se analiza la diferencia entre sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado, también se hace un estudio de los diferentes leyes de control: *control proporcional(P)*, *proporcional - integral(PI)*, *proporcional - derivativo(PD)*, *proporcional integral - derivativo(PID)*. Se expone además el manual de usuario (digital y analógico) del sistema de servos con los diferentes experimentos didácticos que realizarán los estudiantes en el Laboratorio de Control Automático.

INTRODUCCION

El presente trabajo ilustra el diseño y construcción de un sistema de control utilizando métodos analógicos y digitales. Nuestro sistema está conformado en su estructura analógica por un circuito sumador , amplificador y uno de fuerza el cual se encarga de manejar el motor DC.

La estructura digital está conformado por una tarjeta de interfaz de datos y un circuito de fuerza encargado de operar el motor de acuerdo a las órdenes enviadas por el microcomputador a través de la tarjeta controladora de datos.

OBJETIVOS Y DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

OBJETIVOS

Debido a la necesidad de equipos didácticos para complementar con experimentos prácticos las clases teóricas en el área de control automático, se diseñará un sistema de servos tomando en cuenta criterios didácticos para la enseñanza de los diferentes sistemas tales como: control de velocidad y control de posición e ilustrando las diferentes acciones de algoritmos generalizados PID. Se diseñará interfaces necesarias para ejercer acciones de control mediante el computador. Todos los circuitos estarán ensamblados en un banco experimental en el laboratorio de control automático, que será utilizado por los estudiantes de tal manera que lleguen a una comprobación de la teoría de control y adquieran una cierta experiencia con la práctica.

DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

Un sistema de lazo cerrado genera una señal de error la cual opera el sistema. En la figura 1 se muestra un diagrama de bloques de un **sistema de lazo cerrado**.

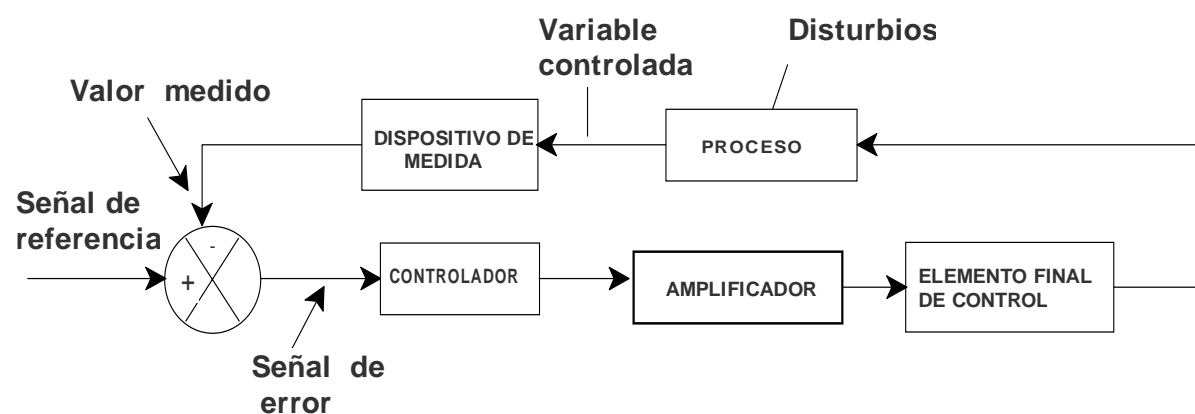


Figura 1 Diagrama de bloques de un sistema de lazo cerrado

En primer lugar una cierta variable de proceso que está siendo controlada (velocidad o posición mecánica) es medida y enviada a un comparador que en nuestro caso es un circuito sumador analógico implementado con op-amps. Este sumador hace la comparación entre el valor de referencia, el cual representa el valor deseado de la variable, y el valor medido de la variable controlada. El comparador genera entonces

una señal de error la cual representa la diferencia entre el valor deseado y el valor medido.

Cuando se dispone de un controlador proporcional integral, en el cual la parte proporcional controla el sistema en proporción al error que exista en ese momento, la parte de control integral se da cuenta que existe un error (desbalance), por lo tanto a medida que pasa el tiempo, el control integral ayuda a reducir el desbalance, con lo que eventualmente el error se reduciría a cero.

Por otro lado cuando el control es proporcional derivativo, un rápido cambio en el error produce una acción correctora mayor que un cambio lento en el error; o sea la parte derivativa del controlador intenta mirar adelante y prevee que el proceso sufrirá un gran cambio basándose en las medidas actuales.

Finalmente un controlador PID resulta de la combinación de las tres anteriores. En la figura 1 se muestra que la salida del controlador es enviada al elemento final de control; puede ser necesaria una amplificación si la señal de salida del controlador no tiene la suficiente potencia para manejar el dispositivo final de control que en nuestro caso es un motor DC. El dispositivo de medida es un tacómetro que genera una señal de voltaje proporcional a la velocidad del motor, lo cual nos da el valor medido.

En cuanto al sistema de control digital la señal de error es generada en el computador mediante la sustracción del valor deseado, ingresado por el teclado y el valor actual de medición o variable del proceso(velocidad o posición). En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques para este sistema.

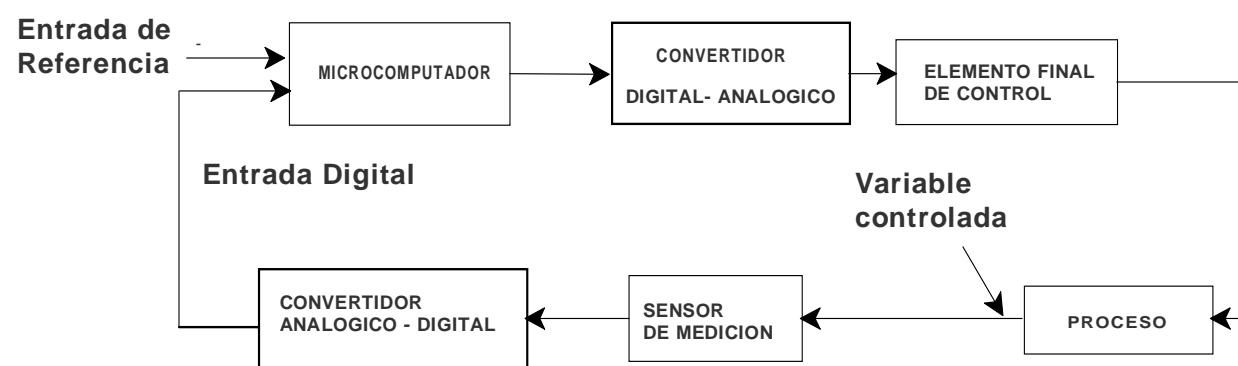


Figura 2 Diagrama de bloques de un sistema de control digital

Luego compara la posición o velocidad actual con la posición o velocidad deseada produciendo un error. Con el error producido se genera la señal de control de acuerdo al algoritmo aplicado por el microcomputador. Esta señal de control es procesada por un circuito convertidor digital - analógico que luego es amplificada para operar el elemento final de control (motor DC). El sensor de medición mide la señal de salida la cual es procesada por un convertidor analógico - digital para ser enviada al microcomputador.

AMPLIFICADORES DE SEÑAL

ETAPA PREAMPLIFICADORA

Esta etapa es la encargada de manejar la señal de error. En la figura 3 se muestra la representación esquemática para este preamplificador. La característica de esta etapa es su alta ganancia, por lo tanto es necesario un pequeño voltaje de entrada entre -1 y 1 V. Esta etapa tiene una ganancia de aproximadamente 20, con un voltaje de salida entre $+13$ V y -13 V. Además tiene la característica de poseer dos entradas y dos salidas. Para una entrada positiva en el pin 1 se tendrá un voltaje positivo en el pin 3 y un voltaje de 0 V en el pin 4; en cambio para una entrada negativa en el pin 1 se tendrá un voltaje de salida positivo en el pin 4 y un voltaje de 0 V en el pin 3, característica que nos sirve para manejar el motor en las dos direcciones. En la figura 4 se muestra las características tanto de ganancia como de linealidad de esta etapa, por lo tanto este amplificador se lo utilizará en su zona lineal que corresponde a un rango de voltaje de entrada entre -0.6 V y $+0.6$ V.

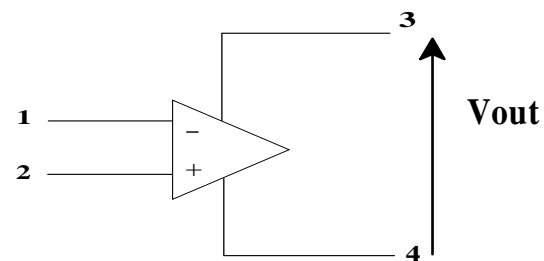


Figura 3 Etapa Pre - Amplificadora

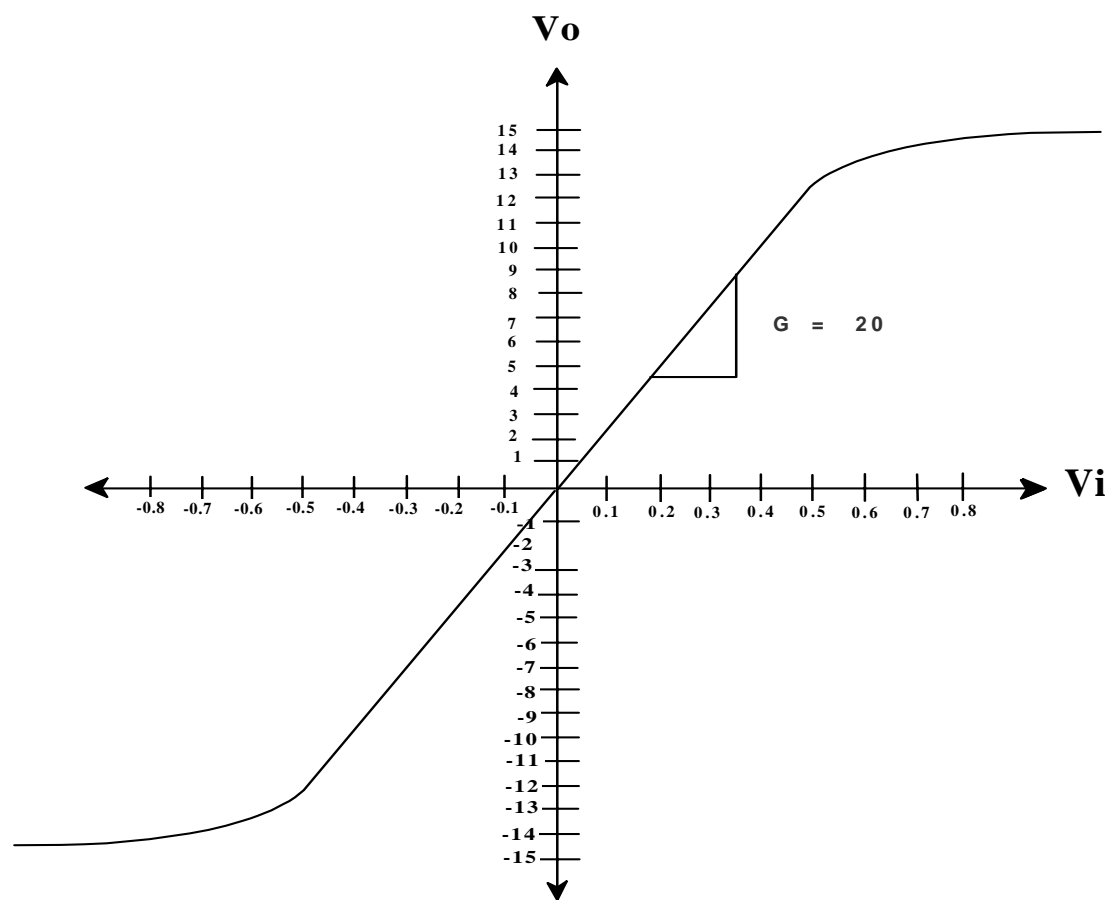


Figura 4 Característica de Ganancia del Preamplificador
ETAPA AMPLIFICADORA

Esta etapa consta de un amplificador operacional usado como un amplificador inversor - sumador implementado con el CI LM741, esta etapa en nuestro proyecto se denomina detector de error, es decir determina el error mediante la sustracción de la señal de referencia y el valor medido. En la figura 5 se muestra el circuito completo. La realimentación está abierta para proporcionarle ganancia variable o ganancia de 1 cerrando la realimentación. Si cerramos el lazo, el voltaje de salida es : $V_o = - (V_1 + V_2 + V_3)$, si tenemos resistencias iguales ; pero, si introducimos una ganancia variable con P_1 , entonces tendremos:

Eliminac
 Eliminac

$V_o \equiv - (V_1 + V_2 + V_3) / \alpha$, α es un porcentaje de P_1 .

Eliminac
 switch de
 en la reali
 si el switc
 entonces,
 $V_o = - R$
 $V_3) . . .$

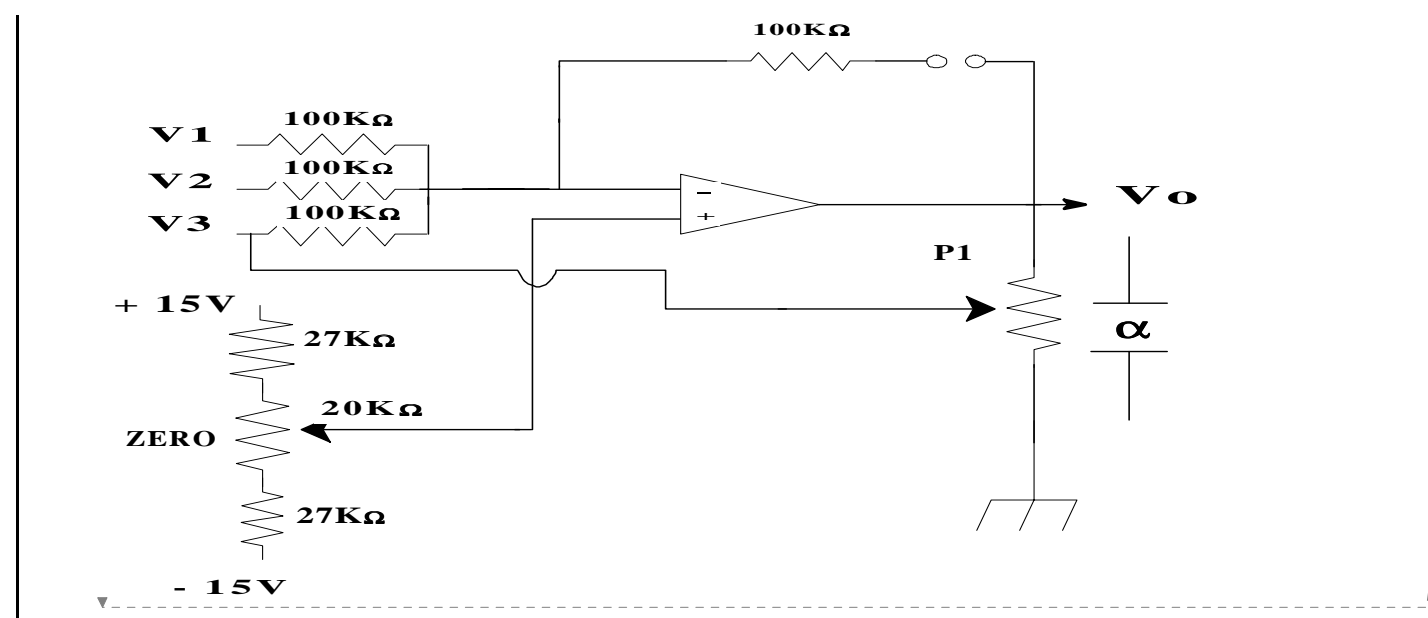


Figura 5 Etapa Amplificadora

Para utilizar este detector de error, el primer paso consiste en encerrarlo, anulando de este modo el voltaje offset que se presenta en la salida.

CONTROL DIGITAL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DC

OBJETIVOS

En este capítulo se analizará el control de velocidad utilizando un sistema digital diseñado con puertos de entrada/salida, convertidores ADC y DAC y sensor de velocidad. Para esta aplicación el uso del microcomputador está orientado a controlar la realimentación mediante algoritmos apropiados. El sistema digital supera el funcionamiento de controles analógicos convencionales, ya que este es más flexible y adaptable a varios requerimientos.

DIAGRAMA DE BLOQUES

Para mejor ilustración del diseño de un sistema de control de velocidad se lo ha dividido en bloques, cuyo diagrama se presenta en la figura 6. El control se lo realiza mediante los siguientes pasos:

1. Medir la velocidad actual del motor (esta es suministrada por el tacómetro el cual nos da una señal de voltaje proporcional a la velocidad del motor).
2. Comparar la velocidad actual con la velocidad deseada para producir el error.
3. Con el error producido se genera la señal de control de acuerdo al algoritmo aplicado en el microcomputador
4. La señal de control es transmitida al puerto I/O y al convertidor digital analógico, cuya salida es amplificada para manejar el servo-motor

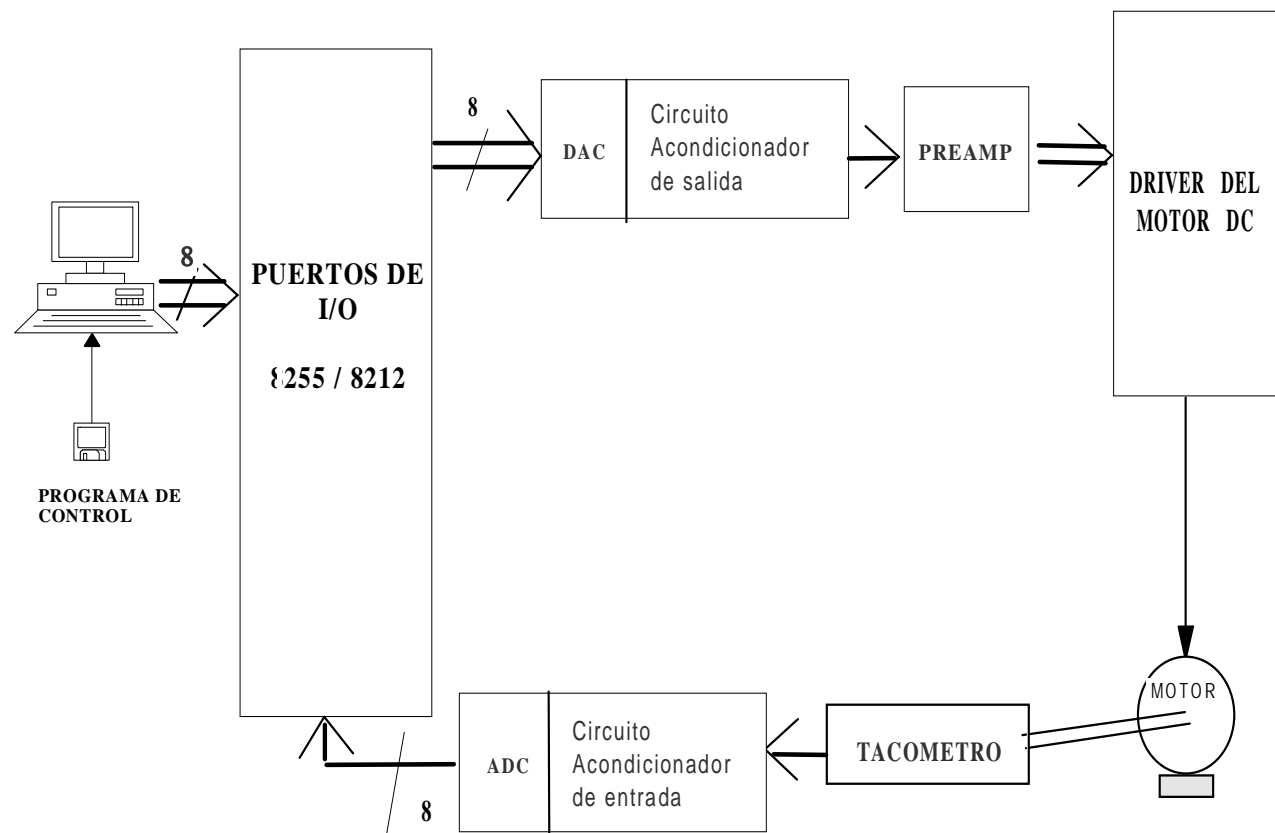


Figura 6 Sistema de Control Digital de Velocidad

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema se lo ha dividido en tres partes para su mejor entendimiento:

1. **Interface Acondicionadora de Entrada**, la cual permite el ingreso de la variable controlada del proceso (velocidad) hacia el sistema controlador.
2. **Interface de Entrada/Salida con la Microcomputadora**, la cual controla y convierte los datos de I/O.
3. **Interface Acondicionadora de Salida**, la cual permite la utilización de la señal de salida de la microcomputadora (*variable manipulada*), en el proceso.

INTERFACE ACONDICIONADORA DE ENTRADA

El circuito acondicionador de entrada recibe la señal del tacómetro la cual genera una señal de voltaje proporcional a la velocidad en el eje de alta del motor. Esta señal es acondicionada mediante un circuito amplificador no inversor.

Su funcionamiento es como sigue: la señal proveniente del tacómetro es reducida mediante R1 y R2 para luego ser amplificada a través de RF a un nivel de voltaje

compatible con la entrada del ADC0808. Además en este circuito mediante el potenciómetro de *zero* eliminamos el offset de tal manera que para una velocidad cero tengamos cero voltios a la entrada del ADC. En la figura 7 se muestra el diagrama del circuito acondicionador de entrada.

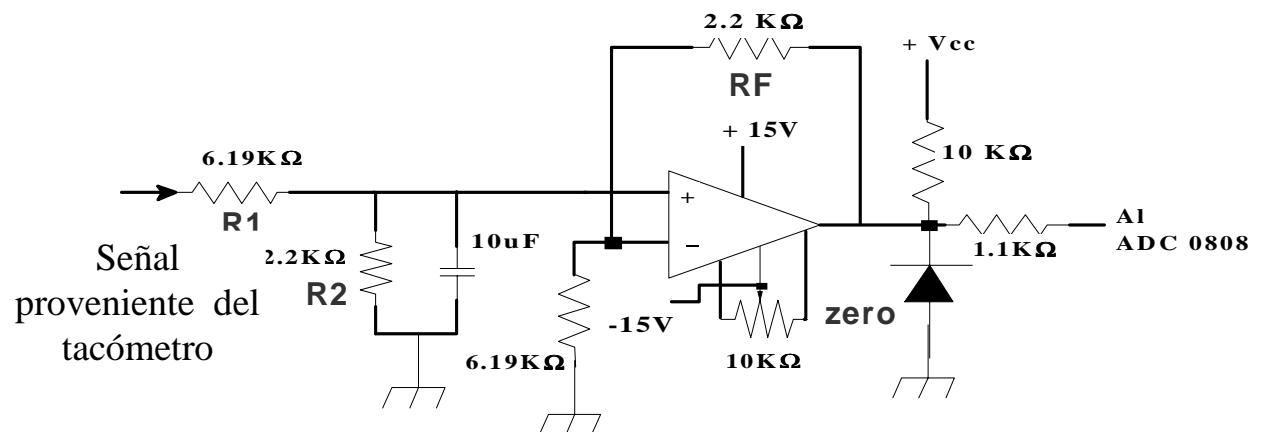


Figura 7 Circuito Acondicionador de Entrada

INTERFACE DE ENTRADA/SALIDA CON LA MICROCOMPUTADORA

En el diseño de esta *interface* se debe tener en cuenta que las señales provenientes del medio externo son de tipo analógico y que la misma permitirá entradas analógicas en un rango de 0-5 V.

Bajo estas condiciones, la señal proveniente de la interface acondicionadora de entrada ingresa al multiplexor de 8 canales (IN6) interno del ADC 0808, tal como lo muestra la figura 8.

La selección del canal del mux a través del cual se admite el dato, se logra colocando en los pines **23,24** y **25** del ADC (A0,A1,A2) las señales con niveles lógicos bajo, alto y alto respectivamente, siendo A2 el bit más significativo.

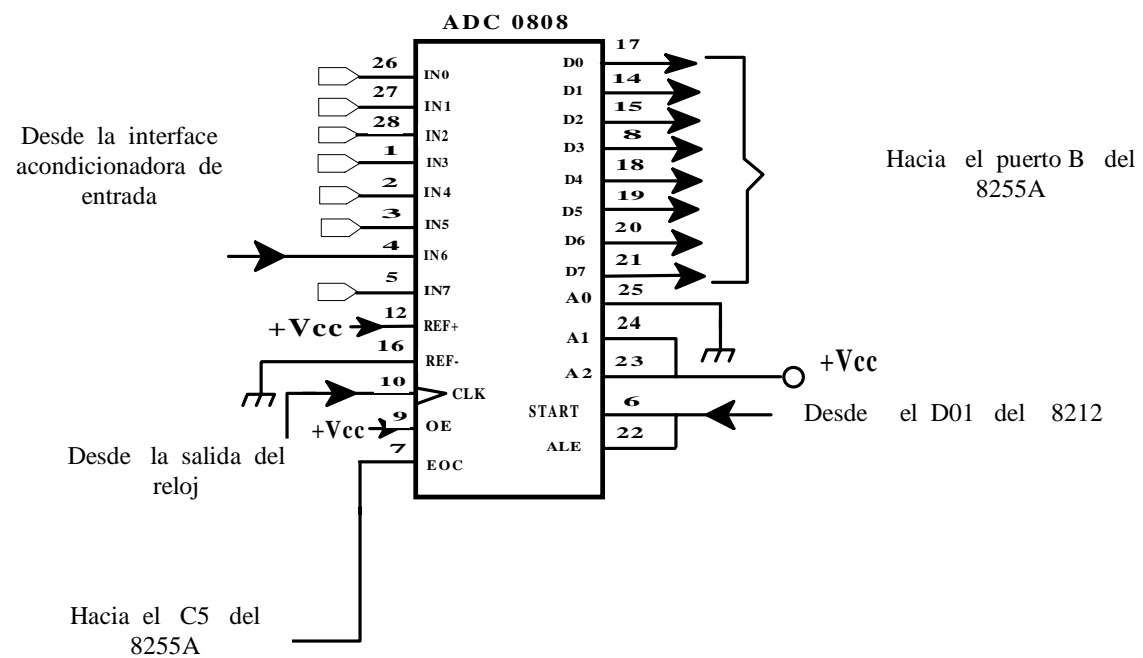


Figura 8 Circuito convertidor analógico - digital

Las líneas IOR , IOW y GND son señales que van conectadas directamente al bus de control del microcomputador. Las líneas A0-A7 del puerto A son programadas como salidas por el registro de control del 8255. Estas líneas van conectadas a la entrada del DAC 0808 para su conversión.. Esto se muestra en la figura 9.

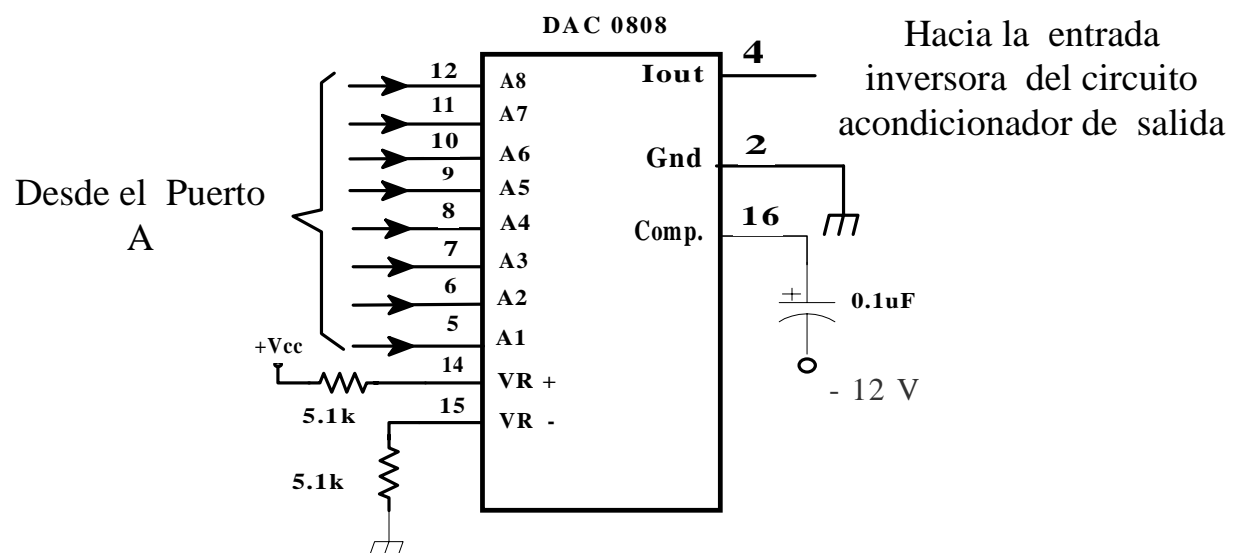


Figura 9 Circuito convertidor digital - analógico

El DAC 0808 posee además una entrada de referencia que está limitada a $V_{cc} = 5V$. La salida del DAC es una señal de corriente, que representa la información digital de posición o de velocidad, según sea la aplicación del controlador digital.

INTERFACE ACONDICIONADORA DE SALIDA

Esta interface comprende un convertidor digital - analógico y un circuito acondicionador de salida. El circuito acondicionador de salida recibe la señal del DAC (entre 0 y -5 V) cuyo voltaje es proporcional a la entrada digital del convertidor. Este circuito se lo ha diseñado de tal manera que en su salida tengamos voltajes V_o (entre -1 y 1 V), los cuales son los adecuados para manejar el preamplificador. En la figura 10 se muestra este circuito. La ecuación que gobierna este circuito es:

$$V_o = - \left[\frac{R_F}{R_i} V_i + \frac{R_F}{R_x} (5 V) \right]$$

en donde R_i es una resistencia interna del DAC0808 la cual genera V_i .

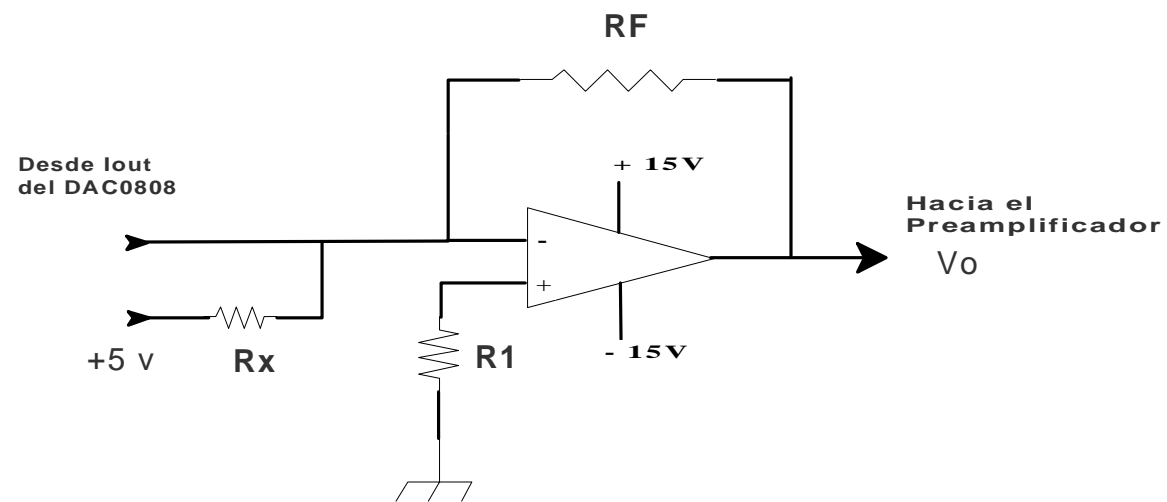


Figura 10 Circuito Acondicionador de Salida

CONTROL DIGITAL DE POSICION DEL SISTEMA

OBJETIVOS

El controlador digital también ha sido diseñado para controlar la posición del motor DC, utilizando como medio transductor de posición, un codificador de eje.

Con el uso del computador, se aprovechan sus características de flexibilidad, las cuales brindan al sistema de control de posición un mejor manejo de la señal utilizando la misma circuitería con algunas variaciones en software.

DIAGRAMA DE BLOQUES

La figura 11, muestra el diagrama de bloques del sistema básico de control digital de posición. Este sistema utiliza el mismo esquema del control de velocidad; la diferencia radica en que mientras en el sistema de control de velocidad la realimentación de la señal se lo hace a través del tacogenerador, ahora en el sistema de control de posición se lo realiza a través del codificador acoplado al eje de baja velocidad del motor.

El codificador de eje realiza una conversión analógica a digital, de la posición actual del eje de baja velocidad del motor. Dicha posición actual será comparada con la posición requerida del eje del motor, y el resultado de esa comparación será procesado por el algoritmo de control de posición, implementado en el microcomputador.

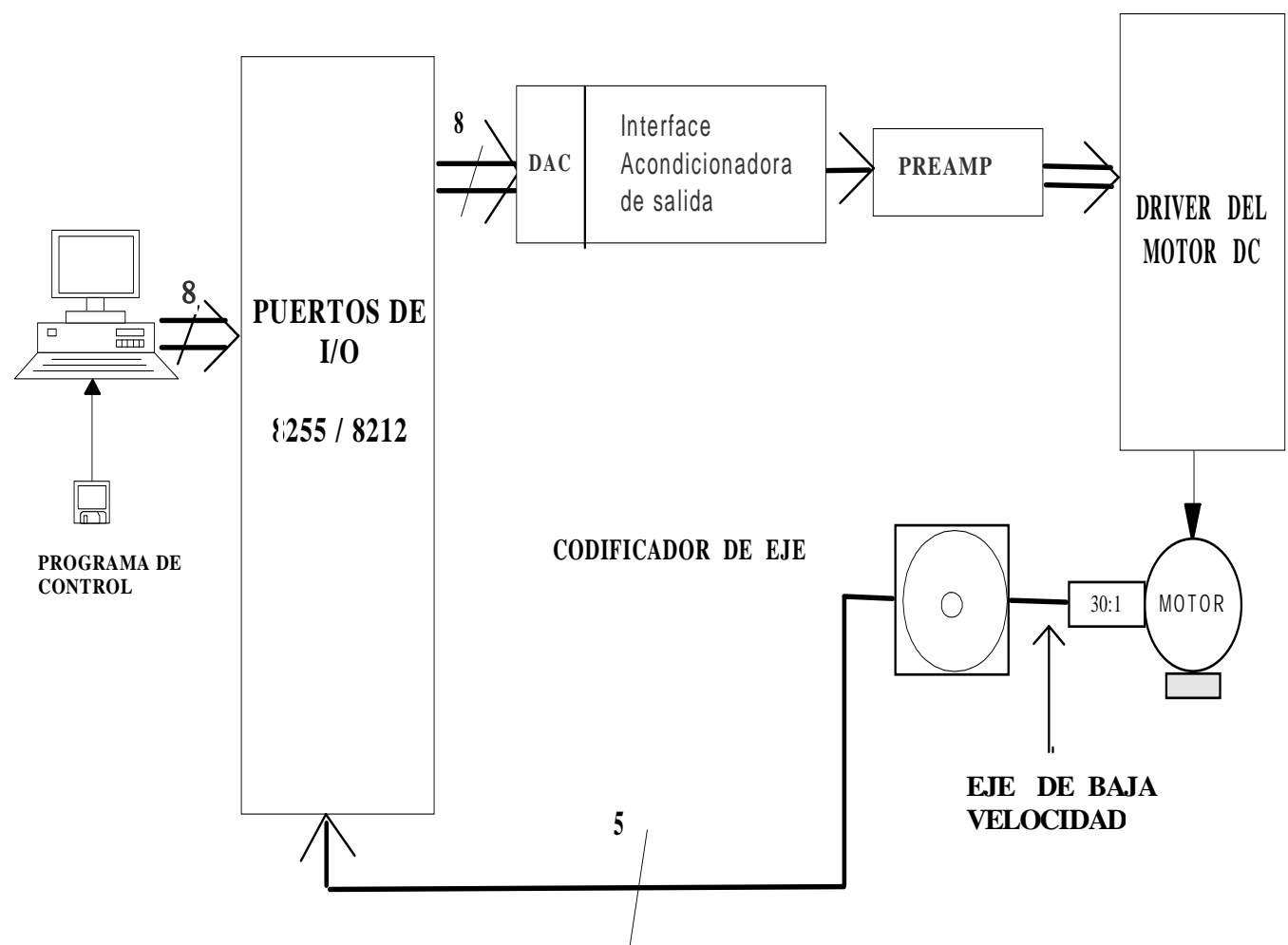


Figura 11 Diagrama de bloques del sistema de Control de Posición

CODIFICADOR DE EJE DEL MOTOR

El codificador de eje del motor DC aplicado al control de posición es utilizado como un elemento convertidor, ya que convierte la posición del eje de baja velocidad de una

forma analógica a una digital. El codificador en mención provee una salida de cinco bits codificados en código GRAY.

El código GRAY tiene algunas aplicaciones interesantes en un tipo de convertidor especial denominado *codificador posicional o rotacional*. El codificador rotacional o codificador de eje utilizado en el sistema es usado para convertir la posición angular del eje en formato digital.

La técnica utilizada en su estructura emplea un disco óptico acoplado al eje, el cual posee ventanas estratégicamente localizadas en patrones circulares a través de las cuales la luz puede pasar y activar un fotosensor, que para el tipo de codificador utilizado, es un fototransistor.

En la tabla I se ilustra la correspondencia que existe entre la posición hexadecimal del disco y los grados de circunferencia.

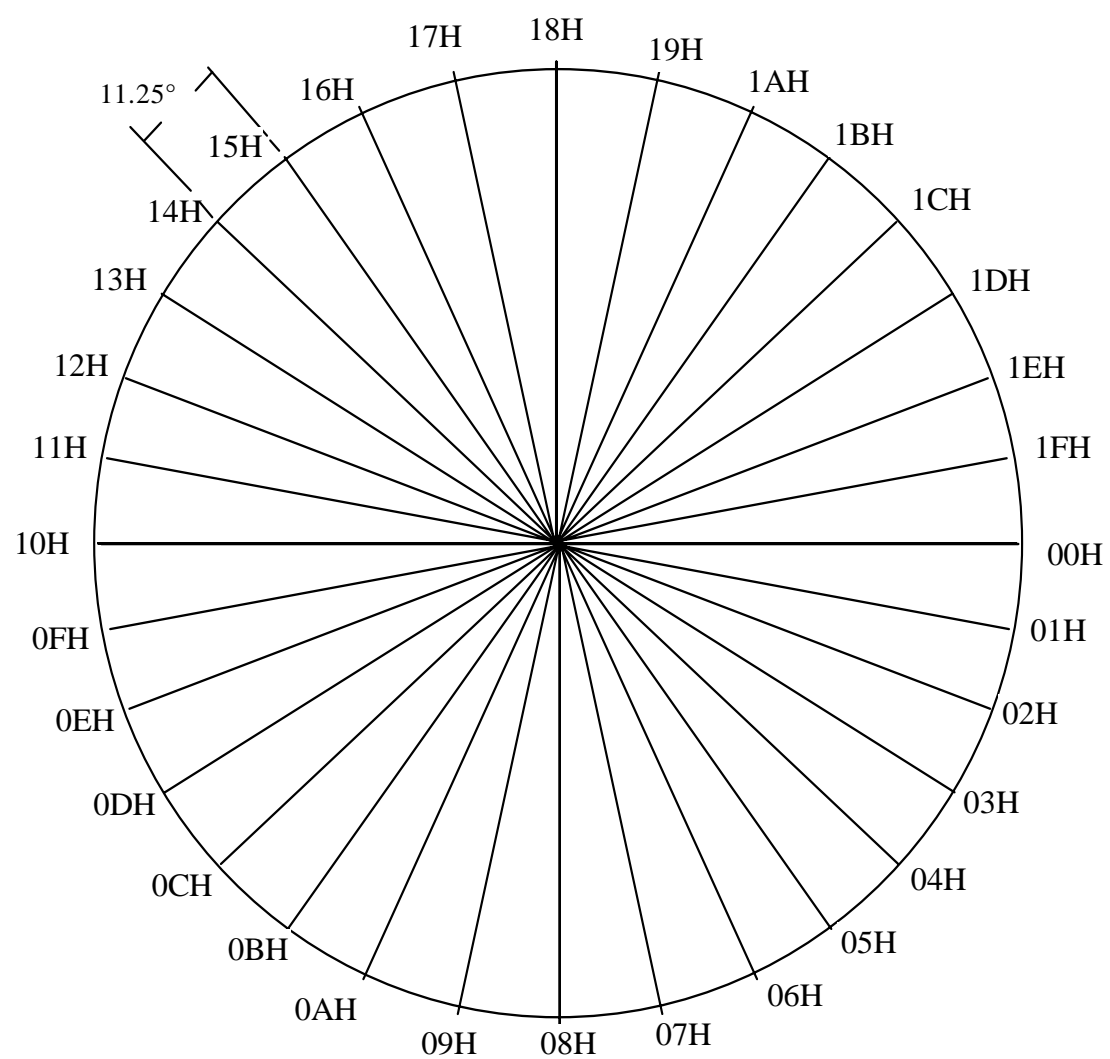


Figura 12 Representación del Disco Posicional

Tabla I

**Correspondencia entre la posición hexadecimal del disco
y los grados de circunferencia**

POSICION HEXADECIMAL	GRADOS
00	0
01	11.25
02	22.50
03	33.75
04	45.00
05	56.25
06	67.50
07	78.75
08	90.00
09	101.25
0A	112.50
0B	123.75
0C	135.00
0D	146.25
0E	157.50
0F	168.75
10	180.00
11	191.25
12	202.50
13	213.75
14	225.00
15	236.25
16	247.50
17	258.75
18	270.00
19	281.25
1A	292.50

1B	303.75
1C	315.00
1D	326.25
1E	337.50
1F	348.75

CONCLUSIONES

En términos generales la presente tesis constituye una base muy importante para demostrar la teoría de control automático, teniendo presente que esta puede ser aplicada en otras ciencias para demostrar algunos de los principios que estas involucran. Se ha logrado demostrar que las respuestas obtenidas experimentalmente justifican el análisis teórico, es por este motivo que el *banco de pruebas* se ha convertido en una herramienta muy importante para cada uno de los estudiantes que desean comprobar lo que en la teoría se les ha instruido.

La construcción del banco de pruebas se lo ha realizado de una forma muy didáctica y ordenada, el cual está respaldado por varios experimentos que se ponen a consideración de todos los estudiantes de la ESPOL. El grupo humano que hemos trabajado estamos seguros que entregamos a nuestra Universidad un material de alta calidad de enseñanza para que las futuras generaciones se presenten a la sociedad con soluciones que sean respaldadas de una forma analítica y experimental.

En el aspecto económico el proyecto resultaría muy conveniente ya que el costo total es muy inferior con respecto a los valores que exponen compañías extranjeras dedicadas a la venta de proyectos didácticos para estudiantes. Los integrantes de la presente tesis nos ponemos a disposición de toda Institución u Organismo que solicite la construcción individual o serie de cualquier equipo electrónico didáctico o de trabajo; garantizando de antemano un correcto funcionamiento y un respaldo científico del proyecto en cuestión.

REFERENCIAS

a) Libro

1. M. Jacob , Industrial Control Electronics (Applications and design: New York, Prentice Hall, 1989).

b) Libro

2. K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna (Mexico, Prentice Hall, 1993).

c) Libro

3. C. Chesmond, Control System Technology (Australia, Edward Arnold, 1982).

d) Libro

4. Jr. Pertence, Amplificadore Operacionales (España, McGraw - Hill, 1991).

e) Libro

5. F. Driscoll, Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales (Prentice Hall, 1993).

f) Libro

6. W. Fletcher, An engineering approach to digital design (Prentice Hall, 1980).

g) Tesis

7. J. Puente, Diseño y construcción de un controlador digital basado en un microprocesador 8085A de Intel, para uso en el Laboratorio de Control Automático de la ESPOL (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 1983).

h) Tesis

8. F. Velez, Diseño y construcción de un controlador digital basado en un microcomputador (Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, 1995).