



UNIVERSIDAD LA SALLE
ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

300617

19
2ej'

**"DESARROLLO DE UN CONTROL PARA UN MOTOR DE CORRIENTE
DIRECTA A PARTIR DE UNA COMPUTADORA PERSONAL"**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A:
MAURICIO MARTIN ALVAREZ
DIRECTOR DE TESIS: ING. JOSE ANTONIO TORRES H.

México, D. F.

1989

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE GENERAL POR CAPITULOS

CAPITULO I	METODOS CONVENCIONALES EN EL CONTROL DE VELOCIDAD DE UN MOTOR DE C.D.	PAG. 1
CAPITULO II	OPTOACOPLADORES.	PAG. 16
CAPITULO III	SISTEMAS DE CONTROL.	PAG. 31
CAPITULO IV	SISTEMA PROPUESTO.	PAG. 60
CAPITULO V	DESARROLLO DEL "SOFT-WARE" DE CONTROL.	PAG. 90
CAPITULO VI	PRUEBAS Y APLICACIONES.	PAG. 121
	CONCLUSIONES.	PAG. 141

**CAPITULO I. Métodos convencionales en el control de
velocidad de un motor de C.D.**

- 1.1 Breve historia del uso de los motores de C.D.**
- 1.2 Sistema Ward Leonard**
- 1.3 Control electrónico**
- 1.4 Control de motores con dispositivos semiconductores.**
- 1.5 Control de motores Por medio del PLL.**
- 1.6 Control de la dirección de rotación y frenado
de los motores de D.C.**

1.1 HISTORIA DEL USO DE LOS MOTORES DE C.D.

En Plantas industriales, localizadas en áreas urbanas, los motores de corriente directa fueron utilizados para manejar maquinaria pesada, estos motores eran operados desde una línea de voltaje constante. La variación de velocidad era posible mediante la regulación del flujo a través del campo en el motor, esto producía serios problemas en los anillos de conmutación, limitando así la vida de estos y de las escobillas.

Dado a que en ese entonces no se conocían las técnicas de conmutación, solo se podían obtener variaciones en la velocidad, variando el flujo y dejando el motor a una velocidad durante largos períodos de tiempo.

En la figura 1.1, se muestra el diagrama del controlador de velocidad, arriba descrito.

Pero la necesidad de obtener variaciones en la velocidad pronto se incrementó, esto llevo a la creación de interpolos, ayudando y mejorando la conmutación lográndose así una gran mejoría.

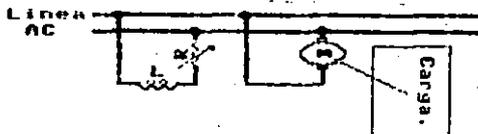
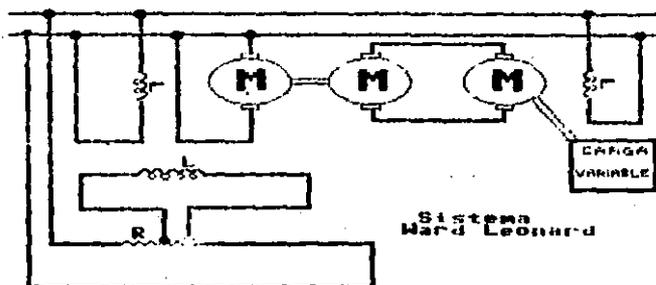


FIGURA 1.1.



1.2 SISTEMA WARD LEONARD.

El desarrollo del sistema Ward Leonard, fue introducido al mercado por el año de 1890, significó un gran paso en la evolución del control de motores.

Este sistema utiliza el Principio M-G (motor-generator), en el cual el Motor se hace girar a una velocidad constante y así el generador entrega voltaje constante al motor de C.D.

Variando la excitación del campo en el generador, el voltaje generado puede incrementarse o decrementarse y obteniendo de este modo un control más exacto en la velocidad del motor. Para éste caso se mantiene constante el flujo magnético del campo en el motor.

El sistema Ward Leonard Provee un torque constante así como tambien los HP de carga que este manejando, Para el primero, (ver figura 1.2) en el modo de torque constante, el flujo en el motor se mantiene invariable y el voltaje en la armadura es controlado. En el segundo caso, en el modo de HP constantes, el voltaje de la armadura es mantenido invariable en su valor nominal y la corriente del campo es controlada, este sistema es muy Preciso en el control de velocidad de motores.

El motor de corriente directa en el sistema M-O, es desplazado por el motor de corriente alterna, este cambio es debido a que el suministro de energía utilizado hoy en día, es de corriente alterna.

Ventajas y Desventajas.

Ventajas:

1. Gran rango de variación de velocidad en ambos sentidos de giro.
2. Automáticamente la energía es regenerada a la línea de corriente alterna, a través del sistema M-O cuando se reduce la velocidad.

3. La corriente que circula a través de la armadura en el motor de corriente directa esta prácticamente sin ondulación.
4. La capacidad del sistema de tiempo en corto por sobre carga es grande.

Desventajas:

1. El costo del sistema es elevado.
2. La eficiencia es baja, aproximadamente de 88% y se requiere gran espacio para su instalación.
3. El mantenimiento tiene que hacerse en periodos cortos, para evitar fallas.

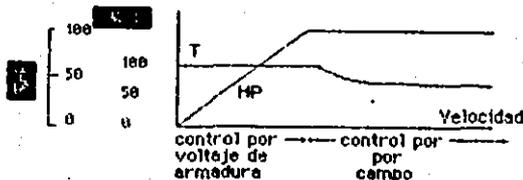


figura 1.2

1.3 CONTROL ELECTRONICO

Entre 1940 y 1950 se llevo a cabo un gran avance en lo que a dispositivos se refiere, se inicio la utilizacion de bulbos en los excitadores y reguladores del sistema M-G. Con la implementacion de estos dispositivos se empezo a utilizar el control de lazo cerrado obteniendose con esto un mejor control de los equipos.

Poco despues estuvieron al alcance los bulbos para corrientes grandes y fueron usados en la conversion de corriente alterna a corriente directa, en el control de motores. Estos rectificadores fueron utilizados para motores de poca potencia aprox. de 9-10 HP.

1.4 CONTROL DE MOTORES CON DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

A finales de los años cincuentas los dispositivos semiconductores tales como diodos de silicio y diodos controlados de silicio (SCR's) estuvieron disponibles en el mercado a precios economicos.

Estos dispositivos semiconductores ofrecen larga vida, respuesta rapida y menor tamaño.

Durante la década de los sesentas los ingenieros en diseño realizaron fuentes de voltaje variables con el fin de poder

regular el voltaje entregado al motor gobernando así la velocidad de éste.

En nuestros días los motores con excitación separada, controlados por tiristores tienen una gran aplicación.

El ajuste por debajo de la velocidad nominal del motor se obtiene controlando el voltaje en la armadura, mientras que el control de la velocidad por encima de la velocidad nominal del motor es obtenida disminuyendo el flujo.

Las limitaciones de potencia y velocidad están determinadas solo por las limitaciones del motor y no por los dispositivos semiconductores.

Los tiristores (SCR's) pueden ser conectados en serie o paralelo obteniéndose así mayor manejo de voltaje o corriente respectivamente.

Diferentes tipos de control:

a) Control de fase.

(ver fig. 1.4.1)

La conversión de corriente alterna en directa es lograda por medio de rectificación, el tiristor conecta la fuente con el motor durante cierto tiempo en cada medio ciclo y lo desconecta de la fuente en lo que queda del medio ciclo.

b) Control por integración de ciclo.

(ver fig. 1.4.2)

El tiristor conecta la fuente con el motor de corriente directa sólo por medios ciclos y desconecta al motor durante varios medios ciclos.

c) Control por troceador.

(ver fig. 1.4.3)

El tiristor opera entre los estados de conducción y no-conducción a alta frecuencia generando un voltaje en forma de pulsos el cual se alimenta al motor.

El voltaje entregado puede ser controlado variando el ancho del pulso.

En el caso en que se utilice una fuente de corriente alterna, se deberá utilizar una combinación de rectificador y troceador.

En el control de fase y el control de integración de ciclo, la fuente apaga al tiristor y no se necesita ningún circuito de conmutación, por lo tanto el control de fase es muy usado y puede obtenerse el voltaje a la salida casi sin ondulación.

El control por integración es mejor entre mas alta sea la frecuencia. Este sistema no se ha utilizado con muy buenos resultados ya que el control puede oscilar.

Por otro lado si se utiliza una fuente de corriente directa

Y como control uno de los del tipo troceador entonces se requieren circuitos auxiliares para disparar al tiristor. Los tiristores son operados a altas frecuencias para reducir la ondulación en el voltaje entregado al motor. Los tiristores por lo tanto se requieren para operar a altas frecuencias, esto hace que se incremente el costo del control.

La ventaja que se obtiene al utilizar la combinación de rectificador troceador es que los dispositivos a utilizar en la fuente serán de menor tamaño y precio.

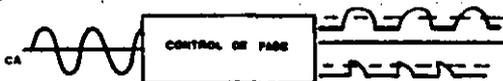


Figura 1A3

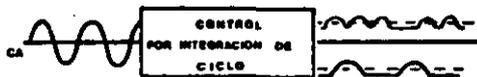


Figura 1A2

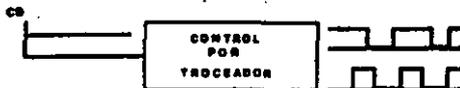


Figura 1A3

Ventajas y desventajas del control por tiristores

Ventajas:

- 1) El módulo de tiristores elimina el retraso eléctrico del campo y la armadura. Por lo tanto, el tiempo de respuesta es más corto limitado solamente por la habilidad de conmutación del motor y la inercia del mismo.
- 2) Fácil de operar y muy confiable.
- 3) Requiere de poco mantenimiento.
- 4) La eficiencia de operación es alta, aprox 95%.
- 5) Requiere de poco espacio para su instalación debido al tamaño y peso de los componentes.

Desventajas:

- 1) La salida con ondulación en el voltaje hace que el motor se caliente.
- 2) La capacidad por sobre carga es baja en comparación con el sistema M-G.
- 3) Este tipo de control genera distorsión para la fuente de corriente alterna y la línea telefónica debido a la conmutación de estados del SCR.

1.5 CONTROL POR MEDIO DEL PLL.

El funcionamiento básico del circuito PLL (Phase locked loop) es mostrado en la fig. 1.5.1. Este circuito es también conocido como, detector de fase o comparador.

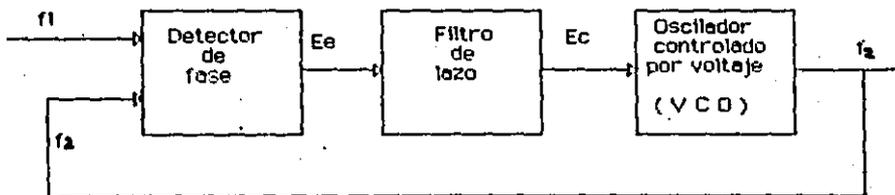


figura 1.5.1

Este circuito toma dos señales en forma de trenes de Pulsos f_1 y f_2 a la entrada y produce una salida E en PWM (modulación del ancho de pulso), en el cual el ancho del pulso es proporcional a la diferencia en fase entre los dos trenes de pulsos.

Si los dos trenes de pulsos tienen la misma frecuencia y coinciden en el tiempo la salida del detector de fase es cero. La salida del detector es alimentada al VCO (Oscilador controlado por voltaje), en el cual la frecuencia de salida cambia en respuesta al voltaje de entrada, por lo tanto algún error en fase entre f_1 y f_2 es detectado y tiende a corregirse, tratando de mantener f_1 y f_2 iguales.

En el diagrama 1.5.2 un motor y un codificador de pulsos de velocidad muestra la salida del filtro del control de lazo y la fuente de poder del motor.



figura 15.2

Se alimenta el PLL con un tren de pulsos como referencia de la velocidad requerida y en la otra entrada los pulsos correspondientes a la velocidad actual del motor. Por lo tanto cualquier variación en la velocidad es detectada y corregida.

Al utilizar este tipo de control, se tiene la seguridad de que la detección será casi instantánea y por lo tanto la velocidad de respuesta es rápida.

Con este tipo de control se puede lograr un porcentaje de regulación en el orden de 0.002%.

1.6 CONTROL DE LA DIRECCION DE ROTACION Y FRENADO DE LOS MOTORES DE C.D.

La forma de cambiar la dirección de rotación de un motor de corriente directa ya sea compuesto, serie o paralelo, se hace de cualquiera de las dos formas siguientes:

- a) Cambiando la dirección del flujo de corriente que pasa, a través de la armadura
- b) Cambiando la dirección del flujo de corriente que pasa a través del campo

La dirección de rotación de este tipo de motores no puede cambiarse solamente intercambiando las conexiones en el interruptor principal, ya que al hacer esto cambiaría el sentido de flujo de corriente en el campo y en la armadura quedando sin variación la dirección de rotación del motor.

En la figura 1.6 se muestran los diagramas del control de sentido en un motor de corriente directa (paralelo).

La ventaja que presentan los motores que tienen interpolos es que el neutro magnético es siempre el neutro mecánico, el cual no es afectado por cambios de cargas o cambios en la dirección de rotación. Por lo tanto la posición de las escobillas no debe modificarse, al ser modificada la dirección de rotación.

Cuando los motores no tienen interpolos es muy importante que las escobillas estén localizadas propiamente con respecto al sentido de rotación. Si las escobillas están localizadas a un ángulo θ° en sentido de las manecillas del reloj con respecto al neutro mecánico, se producirá una rotación en contra de las manecillas del reloj. Si por el contrario, son colocadas a un ángulo θ° en contra de las manecillas del reloj, se producirá una rotación en sentido de las manecillas del reloj.

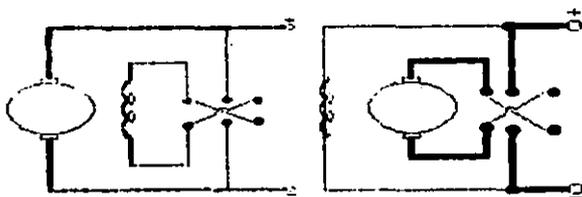


figura 1.6

Frenado:

El frenado en los motores es importante en la mayoría de las aplicaciones, una manera utilizada frecuentemente es el frenado por fricción. El frenado por medio de fricción es indeseable debido a las características de éste. Es necesario darle mantenimiento preventivo en cortos períodos de tiempo haciendo este sistema caro.

Se sabe que al disminuir la velocidad en los motores, la energía cinética del sistema es convertida en energía eléctrica, y aprovechando el gran potencial del control por medio de tiristores se puede obtener un control en el frenado del tipo eléctrico.

En el frenado del motor de tipo eléctrico se tienen dos clases que son el dinámico y el regenerativo. En el control de frenado dinámico la energía es disipada en un conjunto de resistencias, mientras que en el frenado regenerativo la energía es regresada a la alimentación, siendo este sistema más eficiente.

En la mayoría de vehículos operados por baterías, la potencia está dada por convertidores y los frenos utilizados son los regenerativos.

CAPITULO II. Optoacopladores

2.1 Introducción.

2.2 Características de entrada de un optoacoplador.

2.3 Características de transferencia de carga.

2.4 Acoplamiento lineal.

2.5 Tipos de encapsulado.

2.6 Especificaciones de un Optoacoplador.

2.7 MOC 3011.

2.1 INTRODUCCION

Una manera sencilla de interconectar circuitos que operen señales digitales con circuitos de corriente alterna o directa de alto voltaje, es el uso de optoacopladores. Los optoacopladores tienen grandes ventajas como son:

- a) Aislar electricamente dos circuitos.
- b) Compatibles con circuitos lógicos.
- c) Tamaño reducido.
- d) Fácil adquisición.

Estos dispositivos pueden ser usados en aplicaciones que requieren aislamiento eléctrico, como por ejemplo el control de velocidad de un motor a partir de circuitos lógicos. Otro uso del Optoacoplador es el de adaptar una señal de nivel alto a un circuito lógico, un ejemplo de esto sería tomar como referencia para la frecuencia de un computador, la frecuencia de la línea (60 Hz).

Cuando se trabaja con circuitos integrados o con circuitos electrónicos operando a bajos niveles, hay ocasiones en las cuales se requiere aislar completamente los circuitos, esto es separar tierras, correr los niveles de voltaje y algunas otras aplicaciones.

DESARROLLO DE UN OPTOACOPLADOR.

Los dos métodos comunes de aislamiento son: acoplamiento por transformador y acoplamiento óptico. El acoplamiento por transformador funciona con circuitos de corriente alterna, Pero es difícil implementarlo para circuitos de corriente directa, bajas frecuencias y circuitos a base de Pulsos.

Los Primeros acopladores ópticos consistían en focos incandescentes y fotoceldas. Este tipo de dispositivos requerían varios miliamperes para obtenerse un muy bajo control a la salida.

Con el desarrollo de los LED's (diodo emisor de luz) y los fotodetectores, fue posible acoplarlos para formar un Optoacoplador. Este dispositivo semiconductor contiene un LED a la entrada y un fotodetector a la salida, requiriendo poca corriente para su funcionamiento.

En la fig. 2.1. Pueden verse algunos de los símbolos de varios optoacopladores (considerando un LED a la entrada y un fotodetector a la salida).

El LED usualmente emite rayos infra-rojos, teniendo el área de unión entre éste y el fotodetector llena de material sólido, especial para facilitar el paso de los rayos. Estos Optoacopladores pueden ser fotodiodos, fototransistores,

"fotoderlynton", fototriacs etc.



Figure 2.1

2.2 CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA DE UN OPTOCOPLADOR.

Las características de un Optocoplador Infrarrojo son mostradas en la figura 2.2.

Esta gráfica representa la relación voltaje contra corriente. El voltaje de ruptura inverso (BVR), es la capacidad de voltaje inverso del diodo, después de este punto la corriente se incrementa rápidamente y si no se limita ésta, se puede destruir el dispositivo.

El diodo normalmente opera en Polarización directa, y este se Polariza análogamente a un LED.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE TRANSFERENCIA DE CARGA.

En la figura 2.3 se describe la característica de transferencia de un Optocoplador Darlington. Esta curva nos Proporciona el voltaje de salida como función de la corriente de entrada Para varias resistencias de carga, con 20 volts aplicados en la etapa de salida.

Por otro lado se muestra en la figura 2.3.1 la característica de transferencia de carga Para un Optocoplador con foto-transistor pudiéndose notar que el foto-darlington es más sensible que el foto-transistor.

Estas gráficas se Proporcionan en las hojas de

especificaciones debido a que dependen del voltaje aplicado, junto con estas gráficas se proporciona la gráfica de CTR (Curva de la relación de transferencia). Un ejemplo de este es mostrado en la figura 2.3.2 Para el caso de un foto-Darlington.

Las curvas CTR se definen como: la corriente de colector (I_c) dividida entre la corriente de entrada. Esta relación es independiente del voltaje aplicado.

La salida del optoacoplador con foto-transistor, también puede ser conectada como emisor común (salida por el colector) como se muestra en la figura 2.3.3 quedando la salida por lo tanto fuera de fase con respecto a la entrada. El LED durante el período de conducción causa que el foto-transistor incremente su conducción, incrementándose así la corriente sobre la resistencia de carga.

Un ejemplo práctico sería el acoplamiento de circuitos TTL y circuitos CMOS. La salida por el colector es recomendada para circuitos TTL porque éste tiene el regreso de tierra por el mismo foto-transistor. La salida por el emisor puede ser utilizada para manejar lógica con circuitos CMOS, transistores y circuitos integrados analógicos. Para cualquiera de estos circuitos la resistencia debe ser escogida para limitar a un máximo la corriente que circula a través del detector. En la figura 2.3.4 se puede observar el diagrama para los dos casos mencionados anteriormente.

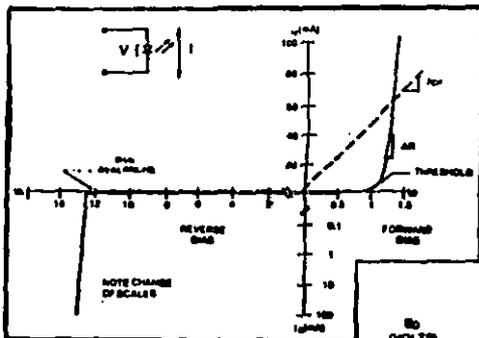


FIGURE 2.2

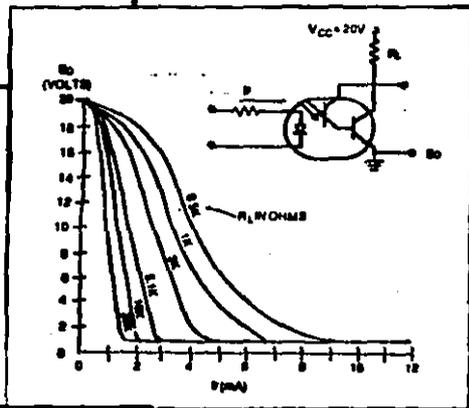


FIGURE 2.3

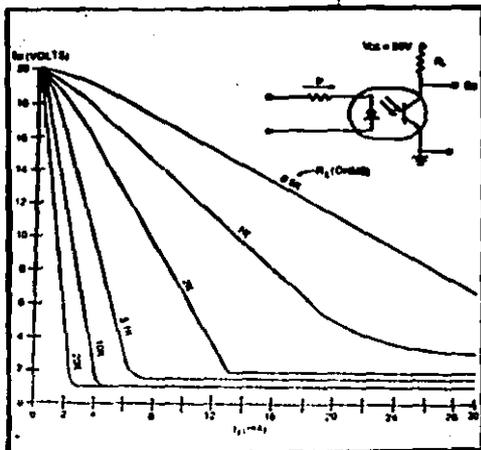


FIGURE 2.3.1

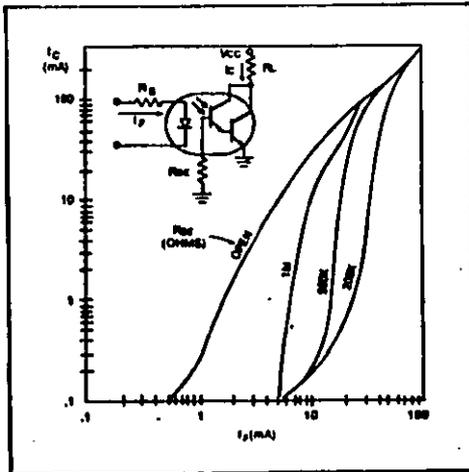


Figura 2.3.2

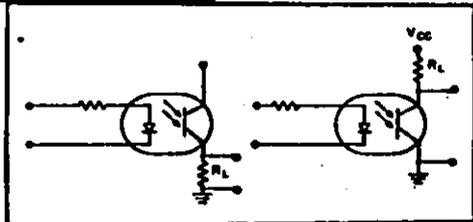


Figura 2.3.3

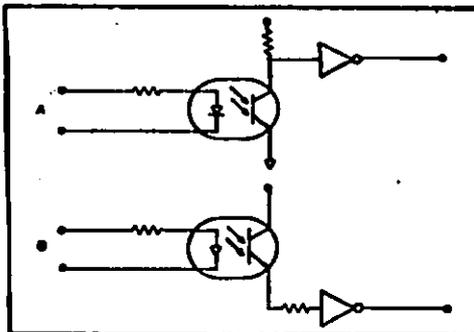


Figura 2.3.4

2.4 ACOPLAMIENTO LINEAL.

Los Optoacopladores también se pueden utilizar en acoplamiento lineal, pero al diseñar se deben tener en cuenta más parámetros para lograr su buen funcionamiento.

Para conseguir un acoplamiento satisfactorio, el circuito debe operarse en la porción lineal en la curva de la característica de transferencia. En la figura 2.4.1 se muestra la región lineal en donde deben de ser operados. También se ilustra la curva de la característica de transferencia típica para un Optoacoplador con una resistencia de carga de 2 Kohms.

Para establecer el punto de operación, la entrada debe ser polarizada más o menos en la mitad de la línea de carga, esto es en la porción lineal cuando no se encuentra señal en la entrada.

En el ejemplo de la figura anterior este punto sería 8 mA. Esta polarización a 8 mA, provee a la salida 9 volts, cuando no hay señal en la entrada. Si la corriente de la señal aplicada se incrementa a 10 mA, el voltaje de salida cae a 6 volts, y si la corriente de la señal aplicada se decrementa a 6 mA, el voltaje de salida se incrementa a 12 volts.

Debe tomarse en cuenta que si el LED es un dispositivo controlado por corriente, este debe ser controlado vía una fuente de corriente, un pequeño cambio de voltaje en la entrada

resultará un gran cambio de corriente en el LED.

Si la señal de control es una fuente de voltaje, se debe incorporar una fuente de corriente para obtener los resultados requeridos. (ver figura 2.4.1)

En este diagrama se utiliza un amplificador con baja impedancia a la salida para proveer la corriente de control, mientras que la resistencia variable se fija en el punto de polarización.

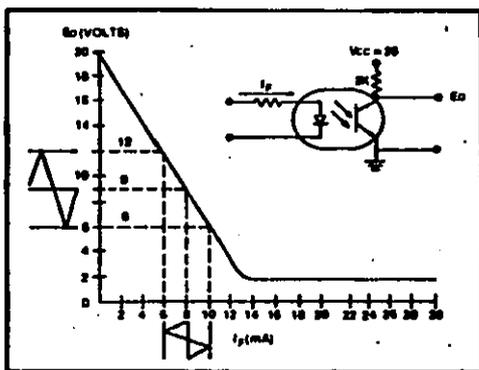


Figura 2.4.1

2.5 TIPOS DE ENCAPSULADO.

Los encapsulados más comunes para los Optoacopladores son: el de 6 Pines DIP (dual in-line package) para unidad sencilla, 6 Pines DIP para unidades dobles y 16 Pines DIP para unidades cuádruples. Los Optoacopladores están también disponibles en encapsulado tipo axial, como es el TO-5, TO-77 y TO-18.

2.6 ESPECIFICACIONES DE UN OPTOACOPLADOR

En las hojas de especificaciones para los Optoacopladores se proporcionan varios parámetros, algunos de los cuales son importantes. Estos parámetros pueden ser tablas de números y/o curvas.

* Aislamiento de voltaje:

Es la máxima diferencia de voltaje entre la entrada y la salida. Este debería ser por lo menos 10 veces el voltaje aplicado.

* Ancho de banda:

Es la respuesta a la frecuencia del Optoacoplador. Para aplicaciones de pulsos este parámetro afecta los tiempos de subida y bajada en el pulso de salida.

* Relación de transferencia de corriente:

Es la ganancia de corriente del dispositivo. Este parámetro sirve para determinar la entrada requerida para una carga dada.

* Pico inverso de voltaje en la entrada:

Este es el voltaje máximo inverso que puede ser aplicado en la entrada del LED.

* Voltaje en directa a la entrada:

Este es el nivel de voltaje en la entrada del LED.

* Voltaje de ruptura C-E:

Es el voltaje máximo entre el colector y emisor que puede ser aplicado al Optoacoplador (en caso de un foto-transistor). En caso de ser un foto-diodo, este parámetro sería voltaje en directa de salida del diodo.

* Voltaje de saturación a la salida:

Este es la mínima caída de voltaje, cuando el detector está en saturación. Por más que se incremente la corriente en la entrada no debe de bajar de ese valor.

2.7 MOC 3011

Este Optoacoplador consiste en un diodo emisor de rayos infrarrojos, el cual excita ópticamente a un foto-detector (triac), este dispositivo esta diseñado especialmente para manejar cargas controladas por triacs en la línea de 115 volts.

El foto-detector es un dispositivo complejo que tiene un funcionamiento parecido a un triac pero en escala, el cual genera las señales necesarias para manejar el triac.

Este integrado permite manejar cargas de gran potencia con un número reducido de componentes y permite el aislamiento de la línea hacia el dispositivo de disparo.

El LED de GaAs (Arseniuro de Galio) tiene una caída en directa de 1.3 volts @ 10 mA, con un voltaje de ruptura inverso mayor de 3 volts. La corriente máxima en directa para el diodo es 50 mA.

El detector puede pasar 100 mA en ambas direcciones. Una vez disparado el dispositivo (estado de conducción), el detector permanece disparado hasta que la corriente caiga por debajo de la corriente de sostenimiento (I_h), la cual es de 100 μ a aprox.

TIPOS DE CARGA

Cargas resistivas:

Quando se están controlando cargas resistivas se puede utilizar el circuito mostrado en la figura 2.7, con cargas como lámparas incandescentes, calentadores resistivos, con la condición de proteger el dispositivo contra cambios bruscos de voltaje, que puedan sobrepasar el valor nominal del triac.

Cargas inductivas:

Las cargas inductivas (motores), presentan un problema para los triacs, tanto en el foto-triac como el triac de control, debido a que el voltaje y la corriente no están en fase, se producen disparos en falso.

Transitorios estáticos de línea (dv/dt):

Los transitorios de voltaje en la línea de corriente alterna que superen el valor máximo del dispositivo, pueden dispararlo. Este no es un problema serio, excepto en casos de ruido, debido a que el triac cambia de estado en el siguiente cruce por cero en la línea de voltaje. Se debe tener en cuenta la sensibilidad de

carga, ya que esta puede sufrir daños con dichos transitorios.

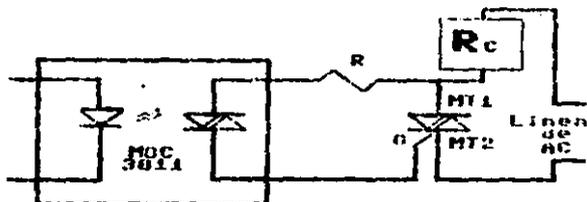


Figura 2.7

CAPITULO III. Sistemas de control

3.1 Definición general

3.2 Transductores

3.3 Actuadores

3.4 Clasificación de los sistemas de control

3.5 Sistemas de control electrónico

3.6 Clasificación y características de sistemas analógicos

3.7 Clasificación y características de sistemas digitales

3.8 Niveles jerárquicos en los sistemas reguladores de control

3.1 DEFINICION GENERAL.

Dentro de los Procesos industriales existen variables cuya magnitud debe mantenerse cercana a un valor previamente determinado, llamado Punto de calibración (set Point). La función básica de un sistema de controles, es comparar la señal medida con el valor deseado mediante el Punto de calibración, y si existe alguna diferencia entre éstos, se debe actuar sobre el proceso hasta minimizar al máximo posible dicha diferencia. La función de control se puede implantar en formas muy variadas, tales como acciones mecánicas, neumáticas, hidráulicas, eléctricas, electrónicas ya sean analógicas o digitales.

En general los sistemas de control se pueden clasificar en dos tipos siendo el primero de malla abierta y el segundo de malla cerrada. Entendiéndose por "sistema de control de malla abierta" aquel en el cual la información relativa a la variable controlada, no es empleada para ajustar alguna de las variaciones en las demás variables del proceso. Por otra parte, un sistema de control de malla cerrada implica que la variable controlada es medida empleando el resultado de dicha medición para manipular alguna de las variables del proceso.

Por otra parte, en los sistemas de control de malla cerrada, la información que se logra acerca de la variable controlada se realimenta hacia otras, a la entrada del sistema, con la finalidad de ejecutar la acción de control. Sin embargo, si

Pueden medirse las fuentes de variación de nuestras condiciones, es posible actuar directamente sobre la variable de control para compensar las posibles diferencias entre el punto de calibración y la variable. A esta clase de acción se le conoce como realimentación hacia adelante.

Los sistemas con realimentación hacia adelante son esencialmente un modelo del proceso, y representan la ventaja de una mayor rapidez de respuesta, respecto a los sistemas con realimentación hacia atrás.

Dentro de los sistemas industriales de control, se pueden encontrar una gran variedad de dispositivos que van desde los controladores ENCENDIDO - APAGADO (ON-OFF), que son los más simples de todos, ya que la salida está encendida cuando la señal medida está abajo del punto de calibración, o bien se mantiene apagada cuando se encuentra arriba de dicho punto; llegando hasta complicadas redes de computadoras altamente especializadas en diferentes aspectos.

No importando que tan diferentes sean las estrategias de control, los sistemas normalmente requieren ejecutar diferentes funciones entre las que se encuentran:

- 1) La adquisición de datos del proceso.
- 2) Dar aviso de alarma bajo condiciones normales.
- 3) Indicar y grabar las mediciones del proceso, puntos de calibración y valores de las salidas.
- 4) Lograr el control de una sola variable empleando los

algoritmos comunes de realimentación hacia atrás.

5) Realizar acciones de control cuando existe más de una variable.

6) Comunicación de datos a diferentes sistemas de supervisión y procesamiento de la información.

3.2 TRANSDUCTORES.

Los transductores han sido definidos como dispositivos capaces de transferir energía entre dos o más sistemas, como son los de información, estados físicos, o transmisión. Sin embargo estas definiciones son muy burdas para ser empleadas con fines prácticos.

En 1959 La Sociedad de Instrumentos de America (ISA) publicó su norma S37.1, esta norma denominada nomenclatura y terminología de transductores eléctricos, define a un transductor como "el dispositivo que proporciona una salida útil como respuesta a una excitación específica. Entendiéndose por excitación a la variable física, propiedad o condición que va a ser medida."

En la mayoría de los transductores se presenta la condición de tener la excitación como elemento sensible por lo cual llega a considerarse que un sensor es un transductor.

Debido a que el transductor varía su respuesta al modificarse las condiciones de la excitación, su comportamiento puede ser modulado mediante una relación teórica entre la entrada y se

conoce con el nombre de función de transferencia, la cual puede ser representada por una curva teórica, una ecuación determinada, una tabla de valores, etc.

Los transductores se pueden clasificar de una manera muy amplia si consideramos todos los factores que los puedan caracterizar, pero si solo consideramos el principio de funcionamiento, se clasifican de la siguiente manera:

capacitivos	Por efecto hall
resistivos	fotoconductorios
termoelectricos	fotovoltaicos
fotoelectricos	reluctivos
Por ionización	inductivos
indicadores de esfuerzo	electromagneticos

3.2.1 TRANSDUCTORES OPTOELECTRICOS.

Hablaremos en especial de los transductores optoelectricos por ser del tipo de transductor que estamos utilizando en este trabajo.

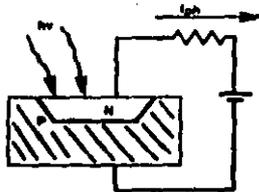
Los transductores optoelectricos convierten la energía radiante en energía eléctrica mediante el empleo de diferentes principios físicos.

Sabemos que la materia está constituida por átomos los cuales contienen electrones con diferentes niveles de energía, según la

teoría cuántica de Planck; por otra parte si a un electrón que se encuentra en determinado nivel se le proporciona cierta cantidad específica de energía denominada quantum, éste brinca a un nuevo nivel liberando o absorbiendo la misma cantidad de energía cedida. La gama de energías que pueden tener los electrones sin que presenten tendencia de cambio de nivel se le denomina "banda de valencia", cuando por el contrario si esta presente dicha tendencia existe la posibilidad de una corriente eléctrica teniéndose lo que se conoce como "banda de conducción". La energía necesaria para hacer pasar un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción puede serle comunicada por un fotón con energía $h\nu$ donde h es la constante de Planck y ν la velocidad de la radiación.

En un elemento fotosensible de unión, si un fotón de energía $h\nu$, superior a la de actuación del semiconductor, incide en la unión polarizada inversamente, libera en el interior de la zona de carga de espacio un par electrón hueco. Gracias al intenso campo eléctrico existente, dicha carga queda recolectada inmediatamente por la unión, originando con ello una corriente llamada fotoeléctrica, prácticamente proporcional a la energía luminosa que lo ha producido.

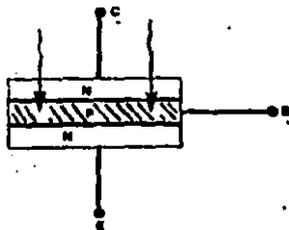
El dispositivo más simple de entre todos los elementos fotosensibles de unión, es el fotodiodo obtenido por un proceso planar.



Fotodiodo

Si dicho diodo se construye de tal modo que la zona de carga de espacio sea igual o mayor que la Profundidad de Penetración de los fotones y manteniendo la Polarización invertida, al incidir los fotones con un nivel adecuado de energía se produce una corriente Proporcional a la intensidad luminosa.

Por otra Parte los fototransistores son una derivación del fotodiodo, teniendo estos una ganancia mayor. Normalmente el colector se halla Polarizado en sentido directo y la base se encuentra en "flotación". La energía radiante desarrolla cargas eléctricas en la región de la base, como haría normalmente la corriente de base.



Fototransistor

3.3 ACTUADORES.

Primero definiremos qué cosa es un elemento final de control. "Se define como elemento final de control aquel mecanismo capaz de alterar el valor de la variable manipulada, como respuesta a las señales de salida de un controlador automático, manual, o de manipulación manual directa".

Los actuadores convierten las señales de control desde una forma, nivel de energía o potencia en otros diferentes; por ejemplo, obtener un movimiento mecánico a partir de un señal eléctrica.

Los sistemas con controles automáticos contienen normalmente dos partes siendo estas un actuador, el cual traduce las señales de salida del dispositivo de control en acciones para manipular grandes fuerzas o bien, grandes flujos de potencia; por otra parte un dispositivo responsable de la fuerza con la cual el actuador puede ajustar el valor de la variable manipulada. Por ejemplo puede emplearse al actuador para cambiar la posición del vástago de una válvula en un orificio, o bien para modificar la velocidad de un dispositivo rotatorio, así como para regular el flujo de potencia que puede ser entregado a una carga eléctrica.

Los actuadores como cualquier otro elemento final de control poseen características dinámicas de retardo así como constantes de tiempo. Esto es los dispositivos responden instantáneamente a cambios en las señales de control así como a perturbaciones en la

carga. Los efectos que pueden acarrear dichos retardos dependen del tipo de proceso en el cual se esté aplicando el dispositivo. Los actuadores se clasifican en:

Hidráulicos

Neumáticos

Electrohidráulicos

Electroneumáticos

Mecánicos

Eléctricos

3.3.1 VENTAJAS QUE PRESENTA EL USO DE ACTUADORES ELÉCTRICOS

La complejidad de las instalaciones modernas así como el constante aumento en el monitoreo de procesos, hacen indispensable el empleo de elementos de maniobra que realicen las operaciones programadas por el algoritmo de control. Resulta difícil para un grupo de operarios suficientemente entrenados, poder verificar al mismo tiempo y con la misma exactitud, todo el conjunto de maniobras que efectúan automáticamente los actuadores eléctricos cuando cambian las condiciones de funcionamiento. Bastaría con un solo error o incluso, un retraso por parte de un solo operario para que el sistema entero corriese el riesgo de presentar una condición de falla.

Por otra parte el empleo de actuadores eléctricos facilitan la integración de los elementos de control y señalización en un panel centralizado, con el cual se facilita el conocimiento del estado actual de sistema, facilitando la toma de decisiones, aun sin instalar un controlador programable.

Un actuador eléctrico ha de ser concebido para realizar las mismas funciones que efectuaría la mano de obra del hombre y además ofrecer diferentes opciones en cuanto al comportamiento del sistema, tales como mayor rapidez en su respuesta y mejor precisión en su operación.

3.4 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Si se tomaran todos los factores que pudieran influir en la clasificación, sería esta muy diversa. Por lo cual nos limitaremos en clasificar dichos sistemas de acuerdo al medio que utilizan para el control.

Los sistemas de control se clasifican de acuerdo con el medio que emplean en su operación en:
Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos, Electrónicos y Mecánicos.

A continuación se da una breve explicación de las características de los sistemas arriba mencionados haciendo mayor énfasis en los sistemas eléctricos y electrónicos.

Los sistemas mecánicos de control fueron los primeros en desarrollarse, por lo que son los de menor precisión y eficiencia.

debido esto a que su operación es puramente mecánica, y se tienen pérdidas por rozamiento, así como otras deficiencias inherentes a estos sistemas. Un ejemplo clásico de un sistema de control mecánico es el conocido como regulador de Watt, en el cual en base a la fuerza centrífuga se controla la velocidad.

En los sistemas hidráulicos se utiliza como fuente de potencia la presión hidráulica de un líquido, generalmente derivados del petróleo o un líquido resistente al fuego, y emplean además para su operación actuadores hidráulicos usualmente. Los controladores hidráulicos poseen varias ventajas con respecto a otros sistemas, como la alta potencia que pueden desarrollar junto con el tiempo de respuesta bastante admisible, y sin olvidar la prolongada vida útil que tienen, debida ésta, a la naturaleza de los componentes que utilizan dichos sistemas y las propiedades lubricantes del fluido empleado.

Un controlador neumático es similar al hidráulico, con la diferencia que el fluido utilizado en este caso es aire comprimido. El propósito básico de un controlador neumático es suministrar aire presurizado para accionar un actuador, en respuesta a una señal de control.

Una ventaja significativa de estos controladores para con los hidráulicos es la disponibilidad del fluido de trabajo, ya que siempre es más fácil contar con aire comprimido que con alguna fuente hidráulica a presión. El uso de sistemas neumáticos ha sido muy generalizado debido a sus características y

confiabilidad, sin embargo el empleo de los sistemas hidráulicos y mecánicos no ha disminuido totalmente, ya que en ciertas aplicaciones es más costeable y conveniente usar estos sistemas.

Con respecto a los sistemas de control eléctricos y electrónicos, se tiene que éstos presentan las características que más desean para el control de procesos, algunas de las cuales son su alta velocidad de respuesta, gran precisión y sensibilidad y la disponibilidad del suministro de energía necesaria. Los controladores eléctricos y electrónicos son muy versátiles y en la actualidad muy económicos debido al desarrollo que han tenido en los últimos años, por lo cual su aplicación se ha extendido.

Los controladores eléctricos y electrónicos se pueden clasificar en base al modo de control en:

- 1.-Dos posiciones (ON-OFF)
- 2.-Controles Proporcionales (P)
- 3.-Controles integrales
- 4.-Controles Proporcionales e integrales (PI)
- 5.-Controles Proporcionales y derivativos (PD)
- 6.-Controles Proporcionales derivativos e integrales (PID)

Se pueden clasificar por su tipo de controlador en:

- 1.-Función Propia (Self-Operated)
- 2.-Electrónico

CONTROLADOR DE FUNCIONAMIENTO PROPIO

Esta clase de dispositivos obtienen la energía que necesitan para la operación del elemento final de control, así como la de su detector de error, del mismo proceso que está regulando. Lo anterior se logra mediante el uso de un elemento sensor como un diafragma, fuelle, flotador, etc. Típicamente estos controles son aparatos muy simples, muy empleados en industrias químicas para el control de temperatura, presión, nivel, etc. Un ejemplo de un controlador de este tipo, es un control de temperatura, que basa su operación en una unión bimetalica.

CONTROLADOR ELECTRONICO

Con los sistemas digitales se puede implementar algoritmos de control muy sofisticados, además de los utilizados por los clásicos controles analógicos, y por los sistemas neumáticos e hidráulicos.

3.5 SISTEMAS DE CONTROL ELECTRONICO

Los sistemas electrónicos de control presentan ventajas tales como mayor disponibilidad, servicio de fácil mantenimiento, menor tamaño físico, costos de instalación menores etc.

Por otra parte, los controles electrónicos pueden ser sinto-

nizados con mayor Precisión que otros sistemas, además los Puntos de calibración muestran corrimientos menores, sin tomar en consideración que se requiere un número menor de partes móviles con respecto a otros sistemas tales como neumáticos y los hidráulicos.

En general, los sistemas electrónicos pueden ser agrupados en dos grandes categorías: controles continuos y controles discretos. En la mayoría de los casos, los controles continuos se han desarrollado fundamentalmente para cubrir las necesidades de las industrias de Proceso y transformación, mientras que los controles discretos se han desarrollado para cubrir las necesidades de las industrias de manufactura. Se entiende por sistema continuo aquel en el cual todas sus señales esenciales son por naturaleza continuas en el tiempo. En forma variable se relacionan la entrada y la salida del sistema mediante expresiones algebraicas, generalmente del tipo diferencial, con lo cual podemos decir que son controles analógicos. Por otra parte un control discreto se define como un sistema en el cual todas sus señales esenciales son por naturaleza discreta en el tiempo; lo cual nos representa un Proceso dinámico en el que la información se encuentra presente como una secuencia de datos discretos, para ser operada y genera otra secuencia numérica de datos como salida. A este tipo de sistemas se les conoce como sistemas digitales de control.

Los sistemas de control continuo o analogicos de alguna manera deben manipular las variables del Proceso Para mantenerlas dentro de un rango, Predeterminado. Dentro de esta clase la accion de control más completa la lleva a cabo la malla denominada P.I.D. (Proporcional-Integral-Derivativo) que será explicada más adelante con detalle.

Por otra Parte, los controles discretos o digitales se emplean ampliamente en el control de procesos industriales. Una de las Primeras funciones que realizaron este tipo de dispositivos fue la adquisicion de datos. En esta clase de aplicaciones se capturan los datos directamente del Proceso Para ser Posteriormente analizados tabulados y sacados ya sea bajo solicitud específica o en forma de reporte Periodico.

Posteriormente, los sistemas de control digital tuvieron una aplicación más sofisticada consistente en una acción supervisora, en la cual los datos del Proceso son empleados Para realizar y optimizar los calculos de las expresiones del algoritmo de control. Estos calculos proveen los puntos de calibración adecuados Para los controladores analogicos que son los que realizan la primera intervencion de control dentro del proceso.

Por ultimo, el uso más poderoso que presenta este tipo de sistemas es el control digital directo (D.D.C.). En este caso, el sistema digital de control captura los datos directamente del Proceso empleando dicha información Para resolver ecuaciones que son equivalentes a las funciones analogicas de control; una vez

hecho esto, el sistema ajusta los actuadores para efectuar un control regulatorio apropiado. Los puntos de calibración de este tipo de mallas pueden, además, ser suministrados ya sea por el operario o bien por el mismo sistema al realizar una acción supervisora. Las ventajas que presentan los sistemas D.D.C sobre los controles analógicos reside en la flexibilidad que existe para implantar algoritmos de control más sofisticados que el P.I.D. Una desventaja importante en los sistemas D.D.C se presenta en condiciones de falla ya que, cuando ésta se presenta, todas las mallas del control se ven afectadas, al contrario de los sistemas analógicos donde una falla no afecta todas las mallas del proceso. Por esta razón los sistemas de control digital generalmente cuentan con un respaldo analógico para los puntos más críticos del proceso bajo control.

Los sistemas de control ya sean analógicos o digitales, como ya se mencionó, pueden resolver ecuaciones algebraicas o bien diferenciales, correspondientes al algoritmo de control. Por lo tanto la selección de alguno de estos dos tipos está regida por la cantidad de trabajo de controlador y costo de efectuar dicha labor. En la figura 3.5.1 se muestran las curvas características básicas de las relaciones costo-trabajo de los sistemas de control analógicos y digitales.

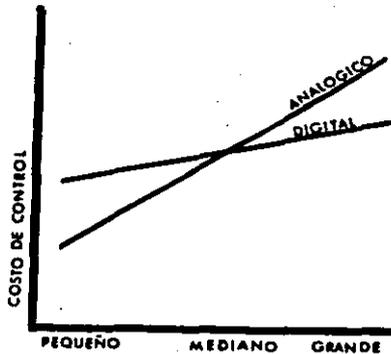


Figura 3.5.1 Costo-trabajo de sistemas

Como se puede apreciar, los costos de un sistema de control analógico dependen grandemente de la cantidad de trabajo a realizar, empezando con una inversión inicial baja para trabajos pequeños. Por otra parte los sistemas de control digital tienen una inversión inicial mayor; sin embargo, presentan una menor dependencia del trabajo a efectuar. Cuando la cantidad de trabajo a realizar no da una idea clara para poder seleccionar el equipo adecuado existen otros factores importantes para normar un criterio. Entre estos factores se encuentran:

Ventajas de los sistemas
analógicos

Ventajas de los sistemas
digitales

- Menor costo Para sistemas Pequeños
- Mayor flexibilidad Para sistemas Pequeños
- Menor complejidad en la conexión
- Menor costo Para sistemas grandes.
- Mayor flexibilidad Para sistemas grandes.
- Menores costos de expansión.

3.6 CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS ANALÓGICOS.

El uso de los sistemas de control de tipo continuo o analógicos en el pasado fue muy intenso, ya que este tipo de sistemas fueron los primeros en desarrollarse. En la actualidad ha bajado la aplicación de dichos sistemas en virtud del advenimiento de los sistemas digitales, que tienen cualidades por encima de los continuos.

Se ha considerado como una columna vertebral de los sistemas analógicos el sistema P.I.D (Proporcional-integral-derivativo). Por lo que a continuación se da una explicación de los diferentes sistemas P, PI, PD que los constituyen.

CONTROL DE DOS POSICIONES (ON-OFF)

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento accionador tiene solamente dos posiciones fijas, que en muchos

casos son simplemente conectado y desconectado.

La señal de salida $m(t)$ y la señal de error actuante $e(t)$. En un control de dos posiciones, la señal $m(t)$ permanece en un valor máximo o mínimo, según sea el signo de la señal de error actuante esta acción es representada por:

$$m(t) = M1 \text{ Para } e(t) \text{ mayor a cero.}$$

$$m(t) = M2 \text{ Para } e(t) \text{ menor a cero.}$$

En donde $M1$ y $M2$ son constantes.

MODO DE CONTROL PROPORCIONAL (P).

Un controlador Proporcional suministra una señal de salida que es Proporcional a la diferencia entre la señal de referencia (set-point) y la variable que se está controlando. Este tipo de control entrega una acción Proporcional Promedio que ejecuta una corrección exacta de la entrada del Proceso Para varias condiciones de carga.

Esta forma de control produce esencialmente el control no cíclico, de muchos procesos que son demasiado complejos Para solo usar un simple controlador de dos posiciones (on-off).

La acción Proporcional suministra una continua relación lineal entre la desviación de la variable media y la señal de referencia, esta acción es expresada por:

$$m(t) = K_P e(t)$$

donde

$m(t)$ = variable manipulada

K_P = Cte de Proporcionalidad (ganancia)

$e(t)$ = Desviación

MODO PROPORCIONAL-DERIVATIVO (PD)

En esta acción de control la salida es Proporcional a la combinación lineal de la entrada con la velocidad de cambio de la misma (derivada de la señal de error).

La relación que modela este tipo de control es la siguiente:

$$m(t) = K_P e(t) + K_P T_d de(t)/dt$$

$de(t)/dt$ = derivada de la desviación

T_d = tiempo de derivación

La acción derivativa corrige la señal de salida en un valor Proporcional al cambio de la variable controlada.

MODO PROPORCIONAL-INTEGRAL (PI)

En esta forma de control la salida del controlador es Proporcional a la combinación lineal de la entrada con la integral de la desviación de la misma.

En el control integral el cambio de variable manipulada es Proporcional a la desviación que se presenta en dicha variable, esta acción se expresa con la siguiente ecuación:

$$m(t) = K_P e(t) + K_P / T_i \int e(t) dt$$

en donde

T_i = tiempo de integración

El tiempo T_i es el tiempo en el cual está cambiando la variable que se está controlando.

MODOS DE CONTROL PROPORCIONAL-INTEGRAL-DERIVATIVO (PID).

El control P.I.D es el resultado de la conjunción de los controles P, PI, PD. Este control ha sido uno de los de mayor aplicación en los Procesos industriales, ya que es capaz de manejar rápidos cambios en la señal de error, y contrarrestar el incremento de las desviaciones de la señal que controla.

La función de transferencia que moldea este sistema es:

$$m(s) = K_P e(s) + K_P T_D \frac{de(s)}{ds} + K_P / T_I e(s) \int ds$$

3.7 CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE SISTEMAS DIGITALES

Los sistemas digitales pueden realizar diferentes acciones de control dependiendo de su complejidad, sin embargo, si tomamos en cuenta el tipo de funciones que ejecutan, podemos clasificarlos en dos grandes categorías que son:

- 1-Sistemas de control regulador
- 2-Sistemas de control supervisor

La relación que guardan estos sistemas entre sí, así como el proceso a controlar mediante la intervención de dispositivos de medición, transductores y actuadores, se muestra en la figura

3.7.1

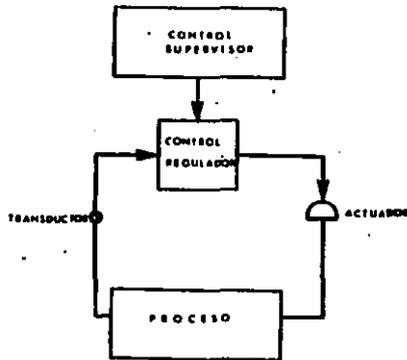


figura 3.7.1

1.-Sistemas de control regulador

Este tipo de sistemas conocidos también como controladores reguladores aceptan ya sea una o varias señales provenientes de uno o varios sensores con el fin de determinar los ajustes a realizar, si es que hay que efectuar alguno para mantener los valores críticos del proceso en un entorno cercano a los puntos de calibración previamente determinados. Esencialmente el propósito de este tipo de controladores es mantener el proceso dentro de los límites especificados de operación. Las características que

se encuentran en estos sistemas son: requerir gran número de entradas, muestreo rápido de dichas entradas, computación relativamente veloz, se requiere un gran número de salidas, equipo de respaldo para fallas.

2.-Sistemas de control supervisor

El propósito fundamental de los sistemas de control supervisores es determinar las condiciones óptimas de operación del proceso en un instante dado. Por otra parte, como ya se mencionó, podemos considerar que estos sistemas generalmente son los responsables del procesamiento numérico de la información de acuerdo al algoritmo de control que se esté aplicando, con el fin de obtener el mejor proceso posible.

Entre las características que presentan este tipo de sistemas se encuentran: requerir un menor número de entradas con respecto a los controladores reguladores, menor equipo de respaldo, computación relativamente lenta, y muestreo relativamente lento. Al analizar las características, es fácil suponer que estos controladores permiten la existencia de jerarquías dentro de los sistemas de control, ya que se puede considerar que un sistema regulador puede ser esclavo de un sistema supervisor y así sucesivamente.

Así como los sistemas de control se pueden dividir en dos áreas de estudio, los sistemas de controlador se pueden

clasificar a su vez en tres grandes áreas de interés que son:

- a) Componentes de los sistemas de control.
- b) Controles de Propósito General.
- c) Controles de Propósito específico.

a) Componentes:

Los expendedores de componentes proveen el equipo básico que se puede emplear para desarrollar un gran número de aplicaciones entre las que se encuentran los reguladores. Las compañías que compran componentes dispersos los ensamblan en sistemas que satisfacen sus necesidades, ya que prefieren smoldar sus sistemas a sus necesidades en lugar de smoldar sus necesidades al sistema.

Ejemplos de componentes vienen a ser los sistemas de adquisición de datos. Entendiéndose por un sistema de adquisición de datos, aquel en el cual se pueden realizar las funciones siguientes:

- 1.- Conversión de las señales del proceso a una forma útil para un sistema digital.
- 2.- Transferencia de la información digitalizada a la memoria de la computadora maestra encargada del proceso.
- 3.- Conversión de los datos provenientes directamente del proceso a una representación que pueda ser interpretada más

fácilmente.

En muchos casos los sistemas de adquisición de datos sirven como secciones de entrada de datos para sistemas computacionales mayores.

b) Controles de Propósito General.

Los controles de Propósito General son más sofisticados cada día debido a la gran revolución de los microprocesadores. La finalidad de los controladores de Propósito General, es tratar de adaptarse a una gran variedad de algoritmos de control mediante la versatilidad de programación de un microprocesador en un mismo sistema de control.

c) Controles de Propósito específico:

Este tipo de controles generalmente basan su funcionamiento en el empleo de microprocesadores difiriendo de los de Propósito General en el hecho de que cuentan con una arquitectura interna altamente especializada orientada hacia algún proceso en particular, teniendo por lo tanto un moldeado mejor al sistema. La desventaja que presenta este tipo de sistema es que deben ser construidos bajo pedido específico de alguna industria, ya que no pueden estandarizarse porque varían los procesos de una industria

a otra, aún dentro de la misma rama.

3.8 NIVELES JERARQUICOS DE SISTEMAS REGULADORES DE CONTROL

El gran desenvolvimiento que han tenido los sistemas digitales de control ha hecho que actualmente se pueda disponer de un gran número de estos sistemas para múltiples aplicaciones, así como sistemas especializados para usos muy específicos. También se puede observar que algunos controladores presentan características comunes con respecto al diseño, arquitectura, o alguna otra cualidad de sistemas de esta clase, por lo cual se puede hacer una clasificación de los sistemas de control digital en base a alguna de las características que estos sistemas poseen.

Los sistemas reguladores de control pueden clasificarse (Instrumentation and Control Systems) en:

- a) Controladores de arquitectura integral.
 - b) Controladores de arquitectura separada.
 - c) Sistemas de control distribuido.
 - d) Controladores de lógica programable. (PLC)
 - e) Computadoras de control de procesos.
- a) Controladores de arquitectura integral

En un controlador de arquitectura integral todas las funcio-

nes que se requieren para el control de algún proceso están contenidas en una unidad de proceso única. En este sistema se acepta una señal de algún proceso, la cual mediante alguna forma de control es procesada y se obtiene una señal de salida apropiada para un actuador.

En estos sistemas el operador puede modificar las condiciones de operación del controlador por medio de la interfaz con que cuenta, en la cual se presenta la información del proceso y el operador puede poner el sistema en automático, manual, o incluso cambiar el punto de referencia (SET-POINT), según las necesidades que se presenten.

b) Controladores de arquitectura separada.

Este sistema básicamente es similar al anterior solo que en este caso la unidad de proceso está separada de la interfaz para el control del operador.

Una ventaja de este tipo de sistemas sobre el anterior es que en éste se puede tener el control del operador en un lugar separado del proceso que se está regulando, lo cual es más conveniente cuando las características de dicho proceso puedan ser peligrosas.

En estos controladores las funciones de control son realizadas en circuitos impresos que se introducen en la unidad de proceso, con lo cual se facilita su manejo, y en caso de

Presentarse alguna falla o si se requiere hacer alguna modificación a cierto algoritmo de control, todo será más sencillo de realizarse.

c) Sistemas de control distribuido.

Un sistema de control distribuido esencialmente está formado de un grupo de controladores basados en microprocesadores, que están dispuestos a lo largo de la red de comunicación, la cual está enlazada a un consola de control o un computadora supervisora que dirige las acciones del sistema.

Los sistemas distribuidos se pueden clasificar en dos tipos: uno de los cuales, llamado controlador inteligente, proporciona una respuesta automática; también acepta las señales del proceso y si es necesario hace los ajustes que se requieran para poder llevar a cabo la acción de control. El otro tipo de controlador, no es más que una interfaz remota, la cual solo acepta las señales del proceso y las envía a la red de comunicación.

d) Controladores de lógica programable.

Un controlador de lógica programable (PLC) de acuerdo a las normas NEMA se define como un dispositivo electrónico operado digitalmente, que usa memoria programable para almacenamiento interno de instrucciones, con las cuales se realizan funciones específicas tales como secuencias lógicas, acciones de conteo, de

tiempo y aritméticas, todo para el control de máquinas y procesos.

Un PLC es usado para reemplazar relevadores, relojes (timers) y secuenciadores en sistemas de control tradicionales, y son diseñados generalmente para operación en plantas de procesos industriales.

e) Computadoras de control de procesos

Un sistema de este tipo está formado básicamente por una computadora, la cual se utilizará para llevar a cabo un proceso de control.

Lo que se requiere en un sistema de este nivel, a parte de la computadora, es tener un sistema de adquisición de datos que cumpla con los requerimientos, así como una interfaz para que el operador mantenga comunicación con el sistema, la cual puede ser una terminal de video. También es necesario contar con todos los sistemas de emergencia y alarma que se requieran.

Un sistema de control por computadora ofrece muchas flexibilidades, ya que pueden realizarse muchos algoritmos, y manejar una gran cantidad de información en poco tiempo.

CAPITULO IV. Sistema Propuesto.

- 4.1 Arquitectura del commodore 64
- 4.2 Puerto de usuario
- 4.3 Descripción General del C.I. LM2907
- 4.4 Tarjeta interfaz
- 4.5 Tarjeta de control
- 4.6 Fuente de alimentación

4.1 ARQUITECTURA DEL MICROCOMPUTADOR COMMODORE 64

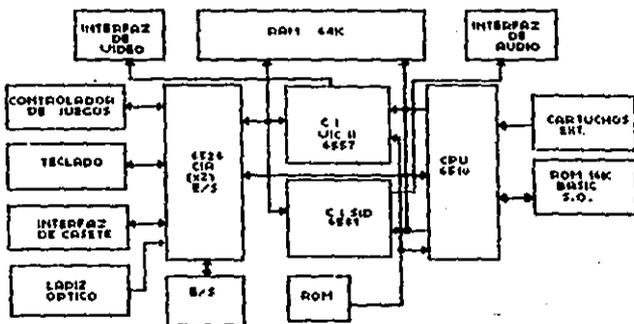


figura. (arquitectura interna del commodore 64)

El diagrama anterior muestra la relación entre los diferentes elementos del microcomputador.

El commodore 64 tiene un microprocesador 6510. Como todo

microProcesador tiene su bus de datos, bus de direcciones y bus de control. Estos permiten acceder a la memoria que contiene los programas en basic o lenguaje máquina, según sea el caso. Además de la memoria existen componentes especializados que se presentan al microProcesador como simples direcciones en memoria. Estos circuitos especializados están destinados a realizar las operaciones de entrada y salida. Se trata de los circuitos CIA (Complex Interface Adapter), que tiene como referencia 6526. En el Commodore existen dos de estos circuitos, y su función primordial es la de gestionar por medio de un programa apropiado las salidas serie, Puerto de usuario y Puerto de control (Palancas de juego). Conectado a ellos, existe un circuito especializado con referencia 6566, el cual se encarga de controlar la pantalla y su misión es generar todas las señales necesarias para la visualización en el monitor o televisor.

Existe también otro circuito especializado con referencia 6581, su función es la de controlar los sonidos, así como la lectura de los potenciómetros en el Puerto de control. Todos los circuitos especializados mencionados anteriormente funcionan de manera casi transparente al microProcesador, esto es posible al trabajar con interrupciones acompañadas del programa necesario.

4.1.2 DISTRIBUCION DE MEMORIA

65535	FFFF	ROM MONITOR 8Kbytes
57334	F000	ENTRADAS Y SALIDAS DEL USUARIO (02)
57080	DF00	ENTRADAS Y SALIDAS (CP/M) (01)
56033	DE00	CIRCUITO CIA2 (BUS SERIE)
56576	DD00	CIRCUITO CIA1 (TECLADO)
56320	DC00	RAM COLOR
55296	D800	CIRCUITO CONTROLADOR DE SONIDO
54272	D400	CIRCUITO CONTROLADOR DE PANTALLA
53248	D000	4K RAM UTIL PARA EL USUARIO
49152	C000	ROM BASIC 8Kbytes
40960	A000	RAM (ALMACENAMIENTO DE PROG. BASIC)
02048	0800	

RAN PANTALLA Y PUNTEROS DE SPRITES

01024 0400

ZONA DE TRABAJO Y PILA DEL 6510

00000 0000

4.2 PUERTO DE USUARIO

Este Puerto es llamado así debido a que está disponible al operador y también por ser de fácil acceso al mismo.

Nosotros hemos utilizado este puerto porque contiene el número de entradas y salidas necesarias para efectuar el control.

Otra razón importante es la de tener acceso a los contadores programables disponibles en el microcomputador, que son indispensables para el funcionamiento de este diseño en especial y del cual hablaremos más a detalle en el siguiente capítulo.

Comúnmente este puerto es utilizado para conectar diferentes accesorios al microcomputador como son la interfaz paralelo, serie, "modem", etc.

Las salidas disponibles en el puerto son:

1 TIERRA

2 +5 V

Alimentación +5VCC

3 NRESET

Reinicialización

4 CNT1	Entrada externa utilizada por los contadores.
5 SP1	Salida serie
6 CNT2	Entrada externa utilizada por los contadores.
7 SP2	Salida serie
8 PC2	Sincronización (handshaking)
9 Serial ATN	línea ATN del bus serie
10 +5VAC	Alimentación alterna procedente del transformador (50 mA max.)
11 -5VAC	
12 TIERRA	
R TIERRA	
B FLAG 2	Sincronización
C PB0	línea #0 del Puerto B
D PB1	línea #1 del Puerto B
E PB2	línea #2 del Puerto B
F PB3	línea #3 del Puerto B
H PB4	línea #4 del Puerto B
J PB5	línea #5 del Puerto B
K PB6	línea #6 del Puerto B
L PB7	línea #7 del Puerto B
M PA2	línea #2 del Puerto A
N TIERRA	

4.3 DESCRIPCION GENERAL DEL C.I. LM2907

El circuito integrado LM2907 a diferencia de otros convertidores de frecuencia a voltaje requiere de pocos componentes externos para ser puesto en funcionamiento, esto es debido a que posee tanto circuitos de entrada como de salida para su fácil interconexión. La función de este circuito integrado es proporcionar una salida en voltaje proporcional a la frecuencia de entrada.

Para explicar mejor el funcionamiento, podemos dividirlo en tres etapas.

- 1.- Amplificador de entrada
- 2.- Circuito cargador
- 3.- Amplificador de salida

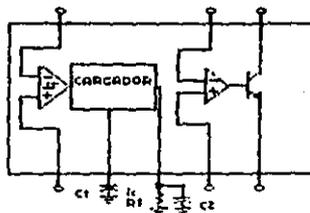


Figura 4.3.1

Una ventaja presente en este circuito integrado es la de tener un transistor a la salida, ya que puede interconectarse a una amplia variedad de cargas, ya sea positivas o negativas; esto

es, conectando adecuadamente el transistor. La capacidad en manejo de corriente de la salida es menor o igual a 50 mA.

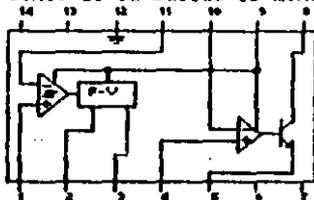


figura 4.3.2

Seguindo la figura anterior, la primera etapa es la del circuito cñsador cuya función es la de convertir la frecuencia de entrada en voltaje de corriente directa a la salida. Los elementos externos que se requieren son:

- Capacitor para dar el tiempo de carga (C1)
- Resistencia y capacitor como filtro (R1, C2)

Cuando existe un cruce por cero en la entrada (fent) el capacitor (C2), es cargado o descargado linealmente entre dos voltajes, el cual tiene un valor igual a la mitad del voltaje de alimentación (Vcc/2). Por lo tanto en un medio ciclo de la frecuencia de entrada el cambio de carga en el capacitor es igual a Vcc/2xC1, dado esto la cantidad promedio de corriente presente en el capacitor es:

$$\frac{\Delta Q}{T} = I_c (\text{prom}) = \frac{C1 \cdot V_{cc} \cdot (2 \text{ fent})}{2} = V_{cc} \cdot \text{fent} \cdot C1 \quad (4.3.1)$$

La corriente a la salida del circuito de carga se encuentra presente en la resistencia (R1). Dado que esta corriente viene dada en pulsos es necesario integrarla con el capacitor C2, quedando entonces el voltaje de salida igual a $V_o = I(\text{Prom}) \times R1$..(4.3.2).

Sustituyendo (4.3.1) en (4.3.2) tenemos:

$$V_o = V_{cc} \cdot f_{ent} \cdot C1 \cdot R1 \cdot K \quad (4.3.3)$$

Donde la constante K es definida por el usuario, en nuestro caso $K=1$.

El valor del capacitor es independiente del voltaje en la salida, pero si toma parte en el voltaje de rizo y en la rapidez de respuesta del circuito.

$$V_{rizo} = \frac{V_{cc}}{2} \cdot \frac{C1}{C2} \left(1 - \frac{V_{cc} \cdot f_{ent} \cdot C1}{I} \right) \text{ p-p} \quad (4.3.4)$$

4.3.1 CALCULO DE R1, C1 Y C2

Existen diferencias para escoger estos componentes, C1 por ejemplo provee una compensación interna para la etapa de carga, por lo tanto debe mantenerse en un valor mayor a 100pf, valores

menores a este Pueden causar un error en la corriente Presente en R_1 . Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La resistencia R_1 debe ser mayor o igual a la división entre el voltaje máximo y la corriente mínima que debe circular por ella ($I = 150 \mu A$).

$$R_1 \geq \frac{V_3 \text{ max}}{I_3 \text{ min}} \quad (4.3.5)$$

- Si el valor de la resistencia R_1 es muy grande, este puede ser parte significativa en la impedancia degradando la linealidad del circuito.

$$C_2 = \frac{V_{CC}}{2} \cdot \frac{C_1}{\sqrt{R_1 I_3}} \left(1 - \frac{V_3}{R_1 I_3} \right) \quad (4.3.6)$$

$$C_1 = \frac{V_3 \text{ max}}{R_1 \cdot V_{CC} \cdot F \text{ max}} \quad (4.3.7)$$

4.3.2 LINEALIDAD

Es posible obtener hasta un 0.3 % de linealidad en el circuito, pero esto dependerá en gran parte del valor de la resistencia y de la temperatura.

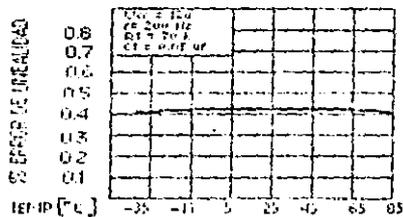


figura 4.3.3

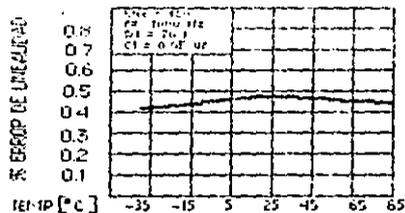


figura 4.3.4

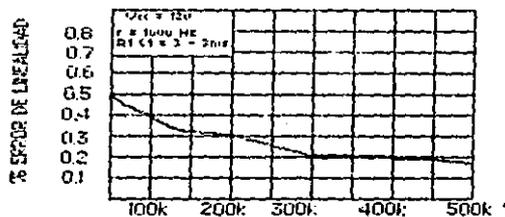


figura 4.3.5

4.4 TARJETA INTERFAZ

Por las limitaciones existentes de corriente en el puerto de usuario del microcomputador, y debido a que la tarjeta de control se encuentra a distancia del microcomputador, es necesario aumentar el valor de ganancia en corriente para que las señales no se atenuen en el cable de conexión.

Para realizar el diseño de nuestra interfaz, debemos tener en cuenta cuantos canales deseamos ocupar como salidas y cuantos como entradas. De los ocho canales disponibles en el puerto de usuario, nosotros ocuparemos cuatro como entradas y cuatro como salidas, siendo PB0-PB2, CNT1 y PB4-PB7 entradas y salidas respectivamente.

En la figura 4.4.1 se muestra el circuito utilizado para las salidas.

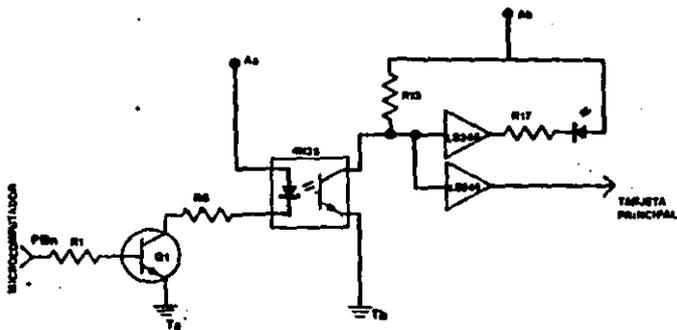


Figura 4.4.1

Las características del optoacoplador 4N35 indican que el diodo emisor de luz interno, trabaja con una corriente de 15mA, y a una tensión de 1.5 V.

$$I_c = 3.5 / 15 \text{ mA} = 233 \quad 220$$

La corriente mínima necesaria en la base con una $\beta = 150$:

$$I_b = 15 \text{ mA} / 150 = 0.1 \text{ mA}$$

Para asegurar la conmutación usaremos $I_b = 1 \text{ mA}$.

$$R_b = (5 - 0.7) / 1 \text{ mA} = 4300 \quad 4K7$$

$R_{25} - R_{26} = R_5 - R_8 = 220 \text{ ohms}$

$R_9 - R_{16} = 4K7$

$R_{17} - R_{24} = (5V - 1.5V) / 10 \text{ mA} = 350 \quad 330$

Por otro lado, la interfaz también nos es útil para aislar las tierras del microcomputador con la tarjeta de control y evitar que algún resaca de tensión dañe nuestro microcomputador. En la figura 4.4.2 se muestra el circuito utilizado por las entradas PB0-PB2 y CNT1, en donde A_a representa la alimentación proveniente del microprocesador y A_b la alimentación de la tarjeta de control.

LISTA GENERAL DE PARTES.

LOC	CANTIDAD	DESCRIPCION
Q1-Q4	4	Transistor NPN 2N2222
M1-M3	3	Optoacoplador 4N35

M9-M10	2	Circuito integrado 74LS244
R9-R16	8	Resistencias 4K7 1/4W 5%
R5-R8		
R25-R28	8	Resistencia 220 ohms 1/4W 5%
D1-D4	4	Diode emisor de luz rojo.
D5-D8	4	Diode emisor de luz verde.
R17-R24	8	Resistencias 330 ohms 1/4W 5%

La razón de utilizar diodos emisores de luz en la tarjeta interfaz, es la de facilitar tanto la Programación como la visualización de las señales de entrada y salida.

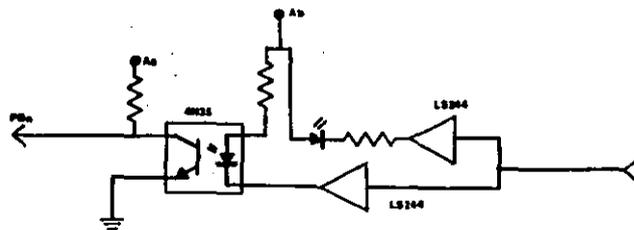


figura 4.4.2

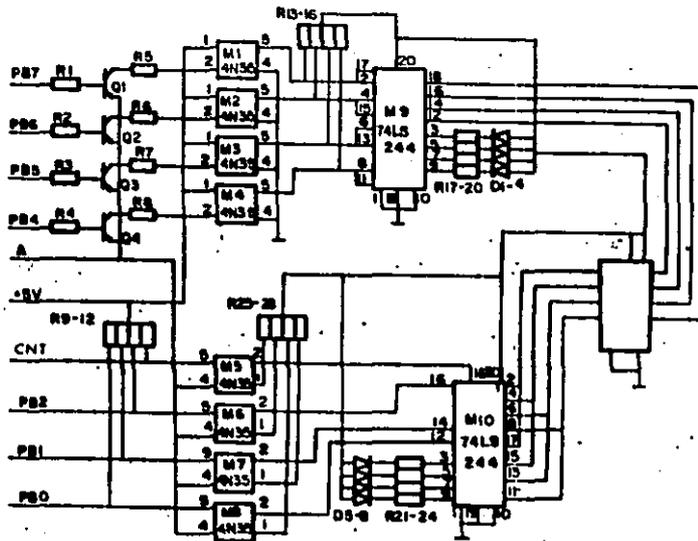


Figura 4.4.4. Diagrama general de la tarjeta interfaz

4.5 TARJETA DE CONTROL

El circuito propuesto es un control que puede entrar en la clasificación de supervisorio, dado que el microcomputador es el encargado de proveer a la tarjeta de control, tanto de las señales de control como la referencia de velocidad para que realice el control. Los parámetros a controlar son:

- Velocidad
- Sentido de rotación
- Tiempo de rotación

En la figura 4.5.1 se muestra el diagrama de bloques del control Propuesto. La computadora Proporciona las señales de referencia a la tarjeta de control por medio de la interfaz descrita en el punto 4.4, actuando directamente sobre el motor. La tarjeta de control recibe la señal de velocidad Proveniente del motor Para poder corregir cualquier desviación en la misma. Esta misma señal de retroalimentación también es recibida por el microcomputador a través de la tarjeta interfaz, con el fin de visualizar en la pantalla la velocidad actual del motor desplegándose esta en revoluciones Por minuto (RPM).

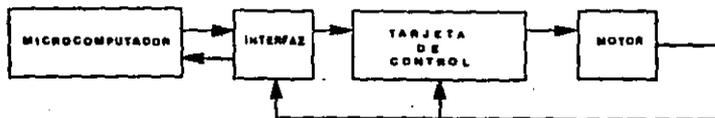


Figura 4.5.1

El motor de corriente directa tiene acoplado en la flecha un disco con seis ranuras, con el objeto de Poder detectar la velocidad del motor. La detección se hace mediante un diodo emisor de luz infra-roja y un fototransistor como detector, de esta manera, al girar el motor, el disco ranurado corta el rayo de luz produciéndose un tren de pulsos, que varía su frecuencia según varíe la velocidad. Esta detección Puede ser hecha con algún otro transductor; se utilizó de este tipo Por economía y facilidad.

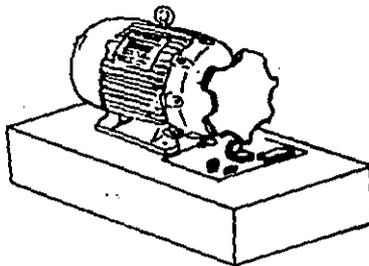


figura 4.5.2 Detección de velocidad

La frecuencia de referencia que la tarjeta de control ocupa viene directamente del microcomputador, esta frecuencia es generada por uno de los contadores internos programables. La forma en la cual son generados estos impulsos será tratada más adelante en el siguiente capítulo.

Como se puede observar en la figura 4.5.3, el tren de pulsos con la frecuencia de referencia es convertido a voltaje de corriente directa por el primer convertidor de frecuencia voltaje (LM2907) existente en la tarjeta de control.

Para asignar los rangos de frecuencia del tren de pulsos de referencia, es necesario determinar primero el rango de frecuencia en el cual nuestro motor estará operando. El motor que se está utilizando para la demostración del control es alimentado con una tensión de 18V y una corriente de 2 amperios. Con esta tensión el motor desarrolla 3200 revoluciones por minuto en operación normal. Por lo tanto, el motor estará trabajando en el siguiente rango:

$$f = \frac{\text{RPM}}{60} = \frac{3200}{60} = 53.33333$$

La frecuencia total generada es igual a la frecuencia del motor por el número de ranuras en el disco.

$$f_{\text{tot}} = f_{\text{mot}} \times \text{número de ranuras}$$

$$f_{\text{tot}} = 53.33333 \times 6 = 320 \text{ Hz}$$

Teniendo el rango de frecuencia del motor (0-320 Hz), podemos determinar el rango de frecuencia del tren de pulsos que el microcomputador debe de generar.

Como la frecuencia que genera el microcomputador es mediante un contador programable, utilizaremos un rango 10 veces mayor al motor, para de esta manera aumentar el rango de programación del contador (3200 Hz).

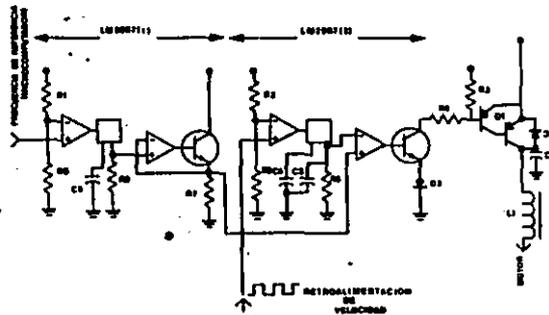


figura 4.5.3

CALCULO DE LOS COMPONENTES:

Una vez teniendo los dos rangos de frecuencia en los que va a trabajar nuestro control, podemos determinar los valores de los componentes utilizados en el mismo.

De la ecuación (4.3.5) tenemos:

$$R5 = R8 = \frac{V8_{max}}{I8_{max}} = \frac{10V}{150\mu A} = 66.66K \quad 100K$$

Para obtener el voltaje en el primer convertidor de frecuencia-voltaje consideraremos que $C5=0.001 \mu f$, la unica restriccion Para $C5$ es que sea mayor de $100Pf$, Por cuestiones de estabilidad, $C6$ y $C3 = 0.47\mu f$. Sustituyendo estos valores en la ecuación (4.3.2) tenemos:

$$V_{sal} = 12 \times 3200 \times 0.001 - 10 \times 100 - 10 = 3.84 V$$

El voltaje que obtenemos al variar la frecuencia del tren de pulsos en el microcomputador tiene un rango de 0-3.84 V.

Como el voltaje generado por el tren de pulsos de nuestro motor tiene que ser igual al generado por el microcomputador, tenemos:

$$C4 = \frac{V_{sal}}{f_{ent} \times R5 \times V_{cc}} = \frac{3.84}{320 \times 100 \cdot 10^3 \times 12} = 1 \cdot 10^{-8}$$

$$C4 = 0.01 \text{ uf}$$

El conjunto de resistencias R1-R2, R6, R9 se utiliza como divisor para tener como referencia un voltaje positivo diferente de cero; esto con el fin de asegurar que los convertidores detecten la frecuencia. Considerando como referencia +1V y R9=R6=1K tenemos:

$$V_{ref} = (V_{cc} \times R9) / (R9 + R1)$$

$$R2=R1 = (V_{cc} \times R9 - R9 \times V_{ref}) / V_{ref}$$

$$R2=R1 = (12 \times 1K - 1K \times 1V) / 1V = 11K \quad 12K$$

Las tensiones obtenidas en ambos convertidores de frecuencia voltaje son comparados en el amplificador operacional interno del segundo convertidor; así de esta manera cuando el voltaje de retroalimentación desciende por debajo del obtenido por la frecuencia de referencia del microcomputador, el transistor de salida del circuito integrado LM2907 queda en saturación al igual que el transistor Q1, y por el contrario cuando el voltaje excede al voltaje de referencia ambos transistores permanecen en corte, dejando sin tensión al motor de corriente directa. Con esto

tenemos en la base del transistor Q1 un tren de Pulsos, como se muestra en la figura 4.5.4. Con el filtro utilizado, L1 y C2, tenemos un voltaje de corriente directa variable.

TRANSISTORES DE POTENCIA

Los transistores de Potencia están disponibles en el mercado para altos voltajes y grandes corrientes. Estos son usados comunmente en modo de conmutación, de esta manera sus aplicaciones en el control de motores han venido a ser una opción en el uso de los tiristores.

Cuando el transistor de Potencia conduce una corriente grande, la caída de voltaje (colector-emisor, voltaje de saturación) está en el orden de 0.3 a 0.8 V, comparado con 1.2 a 2 V para los tiristores. Por lo tanto, la potencia perdida en el transistor de Potencia es menor que en un tiristor de capacidad similar de Potencia.

Los transistores de Potencia conmutan mas rápido que un SCR, y los problemas de "apagado" son casi inexistentes.

Una desventaja que presentan hasta ahora los transistores de Potencia, es la de estar limitados en capacidad, en comparación con los tiristores; no obstante, se pueden encontrar transistores de Potencia con una capacidad de 300 V y 100 A.

Para mantener un transistor en estado de "conducción" se requiere una corriente constante en la base. En un dispositivo de alta corriente la ganancia de base colector es de 10 aproximadamente, por lo tanto una corriente en la base de varios amperios

es requerida para mantenerlo en estado de "conducción", teniendo por esto una pérdida de potencia en la base. Por tal motivo optamos por utilizar transistores en configuración darlington, obteniendo una ganancia en corriente de base colector de alrededor de 500.

El sistema propuesto está diseñado para demostrar el control de motores de corriente directa que tengan un consumo en corriente de 0-2A, no obstante pueden controlarse motores de mayor potencia utilizando los dispositivos adecuados para el manejo de tensión y corriente en la última etapa del controlador. Para este diseño el transistor que cumple con las características buscadas es el TIP 125 (Darlington). Para asegurar que el transistor se encuentre en corte ocuparemos dos resistencias R4 y R3 con valor de 10K y 100K respectivamente.

Los diodos D1-D8 son para proteger a los transistores de cualquier rebote de tensión, ya que estamos manejando cargas inductivas. La razón de colocar los transistores Q6, Q7, Q9, es porque en la mayoría de los controles el motor a controlar se encuentra a distancia, teniendo así un mayor manejo de corriente a la salida del controlador; aunque para efectos de demostración los transistores de potencia se encuentran en la misma tarjeta de circuito impreso. En el colector de estos transistores necesitamos 20mA para mantener en corte a los transistores Q2-Q5, Q8=TIP125. Por lo tanto la resistencia en la base de los transistores Q2-Q5 y Q8 es:

$$R12 = (18 - 1.4) / 20 \text{ mA} = 830 \quad 1000$$

$Rb = R12 = R15 = R16 = R20.$

Mientras que en el colector de los transistores Q6, Q7 y Q9 tenemos que:

$$R10 = 18V / 20 \text{ mA} = 900 \quad 1K$$

La beta del transistor 2N2222 es: 100 a 300

tomando $\beta = 100$, $Ic = \beta I_{b}$ por lo tanto $Ib = 20\text{mA}/100 = .2 \text{ mA}$

Por lo tanto la corriente mínima para mantener el transistor en corte es de .2mA, utilizando una corriente de .3mA tenemos:

$$R11 = (5 - 0.7) / 0.3 \text{ mA} = 14433.3 \quad 12K$$

$R10 = R14 = R18; R11 = R17 = R20; R12 = R15 = R13 = R16$



figura 4.5.4 (Pulsos Presentes en la base del transistor Q1)

SENTIDO DE ROTACIÓN

El control del sentido de rotación del motor se logra mediante el circuito que se muestra en la figura 4.5.7. Como se trata de un motor de corriente directa "serie", necesitamos cambiar solamente la corriente que fluye ya sea en el rotor o en el estator, en nuestro caso, para cambiar el sentido de giro cambiaremos el sentido de corriente a través del rotor.

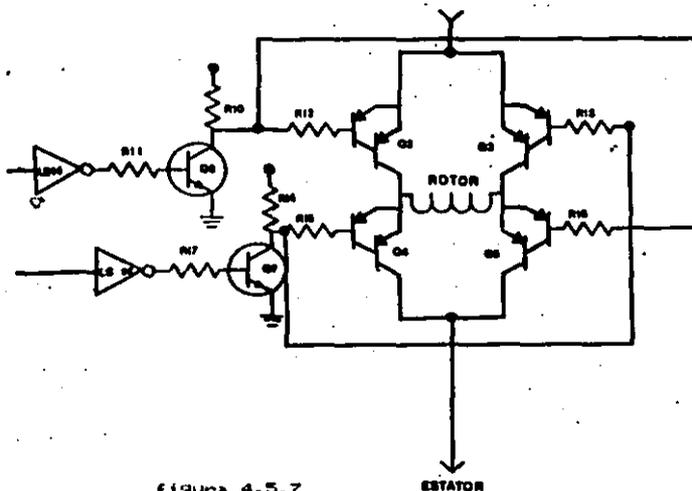


figura 4.5.7

Las señales que cambian el sentido de giro son las señales PB4 y PB5 del microcomputador; cuando la base del transistor Q6 está en estado alto "+5V", los transistores Q2 y Q5 están en saturación haciendo pasar la corriente a través del rotor en un sentido como

se muestra en la figura 4.5.8. Por el contrario cuando Q6 está en corte y Q7 en saturación sucede lo mismo, Pero con los transistores Q4 y Q3 cambiando el sentido de la corriente en el rotor como se muestra en la figura 4.5.9. Como las señales que controlan el sentido de giro del motor Proviene directamente del microcomputador y, al encenderse éste, las señales presentes en el Puerto de usuario son aleatorias esto podría poner los cuatro transistores (Q2-Q5) en saturación, Por lo tanto es necesario colocar un circuito que prevenga este caso, dicho circuito es el mostrado en la figura 4.5.10, que corte la corriente que pasa a través del motor.

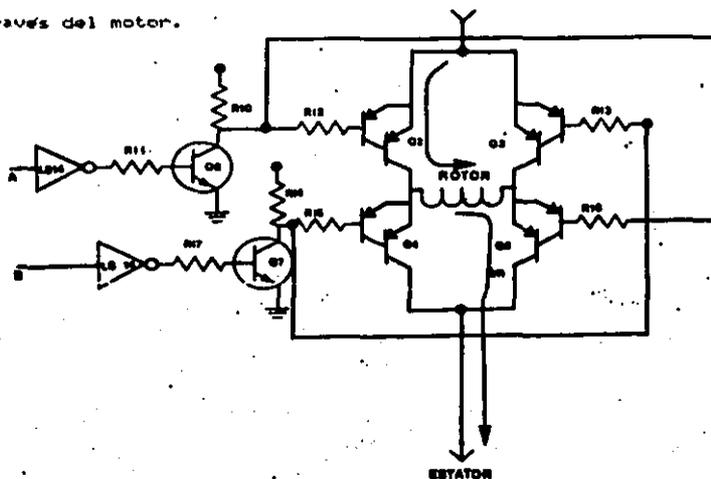


figura 4.5.8

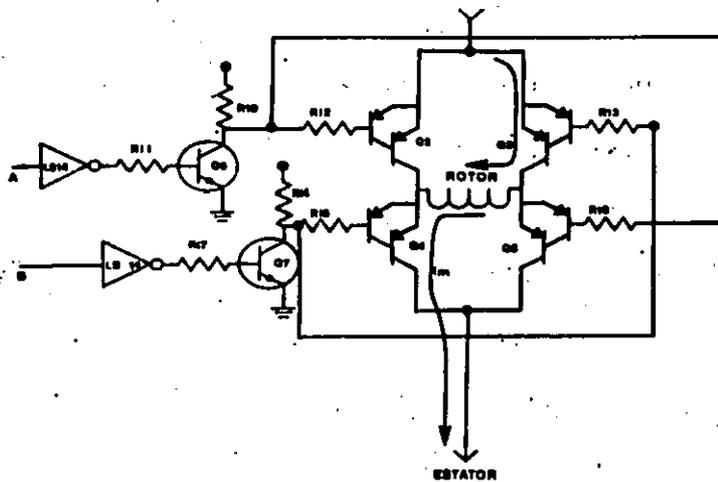


figura 4.5.9

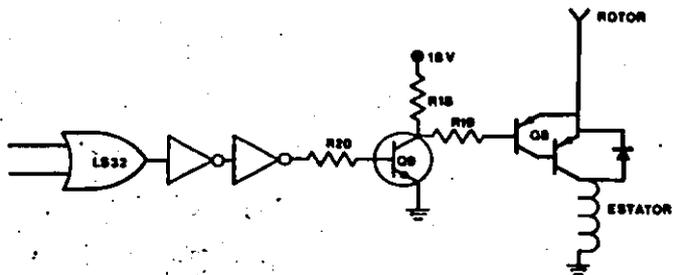


figura 4.5.10 Circuito de Protección.

TIEMPO DE ROTACION

El tiempo de rotacion del sistema Propuesto estara dado mediante el microcomputador directamente, mediante el uso de un reloj interno. De esta manera el usuario Podra Programar la secuencia de velocidades y sentido de rotacion que requiera en el tiempo que desee. La razon de utilizar este Procedimiento Para el control del motor es la simplificacion en la Programacion, no obstante Puede cambiarse la metodologia de la Programacion de actividades del motor cambiando directamente el Programa Principal.

4.6 FUENTE DE ALIMENTACION

Para llevar a cabo la demostracion del control de motores de corriente directa es necesario incorporar una fuente de alimentacion. Los requerimientos de nuestro control son:

- .- 18 VDC , 2A
- .- 12 VDC , 100 mA
- .- 5 VDC , 200 mA

La Primera etapa consiste en un transformador de 24 voltios, y 2.5 A. En donde 2 Amperios son Para el motor y el resto Para el circuito controlador. Los diodos utilizados Para la rectificacion son 1N5400 que Por sus caracteristicas de corriente, voltaje y voltaje de Pico Inverso, es el que se ajusta a nuestras necesidades.

El capacitor que filtrará la salida dentro del margen de nuestras necesidades es:

$$C = (I \times T_o) / \Delta V$$

$$C = (2.3A \times 8.3ms) / 2.5V = 7636 \mu F$$

Por lo tanto $C_1 = 4700\mu F // 4700\mu F = 9400\mu F$

Para regular a 18 Voltios utilizaremos el regulador variable LM350. Cambiando la referencia de este regulador es posible variar el voltaje de 1.2V a 33V. La salida de 18 voltios la obtendremos calculando el valor correspondiente para R2.

$$V_{sal} = 1.25(1+R2/r1)+R2 I_{ajuste}$$

Obteniendo la corriente de ajuste del manual, y considerando una temperatura de operación de 15 C. tenemos $I_{ajuste} = 50\mu A$.

$$R2 = (V_{sal} - 1.25) / (1.25/R1 + I_{ajuste})$$

$$R2 = (18 - 1.25) / (1.25/240 + 50\mu A) = 3185$$

Debido a que el valor de resistencia que obtuvimos no es comercial, lo ajustaremos utilizando una resistencia de 2K7 en serie con un potenciómetro variable de 1K. Los diodos D1-D2 son para proteger al regulador contra rebotes de tensión. La potencia que el regulador disipa es:

$$P = (24 - 18) \times 2.3 A = 13.8 W$$

La Potencia máxima de disipación de este regulador es de 20W. Utilizaremos un capacitor C3=10 Uf Para el rechazo de frecuencias de 120Hz.

Para los convertidores de frecuencia voltaje, ocuparemos un regulador 7812 (regulador 12 Voltios positivos), tomando una

derivación del regulador LM350. La potencia de disipación para este segundo regulador es:

$$P = (18 - 12) \times 100 \text{ mA} = 600 \text{ mW.}$$

Para la sección lógica del control, se tomara una derivación de este ultimo regulador, regulándola con un circuito 7805 (regulador de +5V). Por ultimo la potencia de disipación de este regulador es:

$$P = (12 - 5) \times 200 \text{ mA} = 1.4 \text{ W.}$$

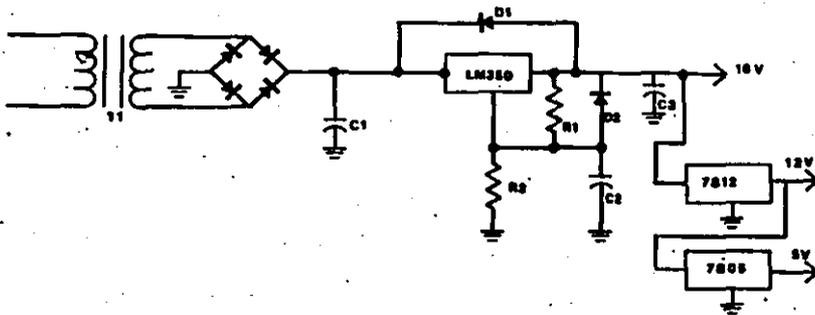


figura 4.5.11 Fuente de alimentación.

CAPITULO V. Desarrollo del "Soft-ware" de control

5.1 Registros especializados

5.2 Contadores

5.3 Acceso al lenguaje maquina a Partir del basic

5.4 Diagrama de flujo

5.5 Listado General

5.1 REGISTROS ESPECIALIZADOS.

El objetivo de este capítulo es mostrar el programa utilizado para la demostración del controlador.

Como la velocidad en algunos Pasos de Programación no es crítica, hemos desarrollado la mayoría del Programa en traductor basic. En el caso de que el resultado obtenido dependa de la velocidad de ejecución, utilizamos subProgramas escritos en lenguaje máquina. Este subprograma es llamado desde el Programa basic como si fuera una subrutina que al terminar su ejecución regresa a la línea siguiente de la que fue llamada.

El subprograma que utilizamos en el Programa de demostración, es el que se encarga de activar, Poner a tiempo, y desplegar al reloj interno que posee el Commodore 64. Más adelante, en este mismo capítulo, veremos que existen cuatro registros denominados TOD 10, TOD SEC, TOD MIN, TOD HRS, relativo a este reloj.

El reloj interno del circuito integrado 6526 indica las horas, minutos, segundos, y décimas de segundo. Funciona bajo un ciclo de 12 horas y el bit de peso fuerte del registro TOD HRS, indica si es AM o PM.

La hora se presenta en un formato BCD (un octeto está compuesto por dos cifras comprendidas entre 0 y 9, por tanto entre 0000 - 1001).

Este reloj utiliza como referencia los 60 Hz procedentes de la red. Puede ser programado (Puesto en hora), o leído. Además

Posee una alarma incorporada capaz de generar una interrupción en el momento deseado;

Para ver el reloj será suficiente con leer los diferentes registros TOD, con la condición de que el bit CRB7 se encuentre en estado lógico "0".

Para poner en hora el reloj también es suficiente con escribir en los registros TOD inicializándose primero las horas, después los minutos, a continuación los segundos y por último las décimas de segundo. El reloj no comienza a funcionar hasta que el último parámetro ha sido cargado, lo que asegura siempre una buena precisión. Este reloj es totalmente independiente a las diferentes funciones que desempeña el microprocesador, de esta manera no tendremos lecturas erróneas. Debido a esto tomaremos el reloj como referencia en la ejecución del programa, basándonos en él para determinar la velocidad real en revoluciones por minuto que experimenta nuestro motor.

La forma en que el subprograma trabaja es mediante interrupciones cada décima de segundo, este subprograma genera una interrupción para que el microprocesador despliegue los diferentes contenidos de los registros del reloj.

Como se dijo anteriormente, el programa está hecho casi en su totalidad en basic para facilitar la programación de diferentes algoritmos y el despliegue de las características en el estado en que se encuentre el motor.

Para aumentar la velocidad de ejecución sin perder las ventaj-

Las que se presentan al utilizar basic decidimos utilizar un compilador, que traduce el basic en un código que por sus características aumenta en un gran porcentaje la velocidad de ejecución del programa.

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los controladores de Pantalla, sonido, reloj, entradas y salidas se presentan como un conjunto de posiciones en memoria, en las cuales se puede leer o escribir según sea el caso.

A continuación se enlistan las posiciones de memoria con las que se puede controlar las salidas o bien poner en marcha el reloj interno del microcomputador.

REGISTRO	POSICION 1	POSICION 2	MISION
PRA	56320 \$DC00	56576 \$DD00	Puerto A
PRB	56321 \$DC01	56577 \$DD01	Puerto B
DDRA	56322 \$DC02	56578 \$DD02	Dirección del dato del registro A
DDRB	56323 \$DC03	56579 \$DD03	Dirección del dato del registro B
TAL	56324 \$DC04	56580 \$DD04	Contador A octeto de menor peso
TAH	56325 \$DC05	56581 \$DD05	Contador A octeto de mayor peso
TBL	56326 \$DC06	56581 \$DD06	Contador B octeto de menor peso

TBH	56327	\$DC07	56582	\$DD07	Contador B octeto de mayor Peso
TOD10	56328	\$DC08	56584	\$DD08	Reloj décimas de segundo
TOD SEC	56329	\$DC09	56585	\$DD09	Reloj segundos
TOD MIN	56330	\$DC0A	56586	\$DD0A	Reloj minutos
TOD HRS	56331	\$DC0B	56587	\$DD0B	Reloj horas
SOR	56332	\$DC0C	56588	\$DD0C	Registro comunicación serie
ICR	56333	\$DC0D	56589	\$DD0D	Registro control de inter- rpciones
CRA	56334	\$DC0E	56590	\$DD0E	Registro de control A
CRB	56335	\$DC0F	56591	\$DD0F	Registro de control B

5.2 CONTADORES

El microcomputador "commodore 64" dispone, como ya se dijo antes, de dos contadores de 16 bits cada uno, por lo tanto es posible contar hasta 65536. Los datos valor inicial pueden ser escritos en tapones especiales que podrán modificar el contenido de los contadores en el momento que se desee. Estos tapones pueden ser conectados individualmente o entre sí cuando se requiera de un conteo de mayor duración.

Los contadores tienen diferente modo de funcionamiento. El modo de funcionamiento está dado por los registros de control CRA (56334 \$DC0E, 56590 \$DD0E) y CRB (56335 \$DC0F, 56591 \$DD0F), para el contador A y B respectivamente.

Estos registros de control disponen de ocho bits cada uno. Para el registro A el funcionamiento de cada bit es el siguiente:

BIT 0. - Permite arrancar o Parar el funcionamiento del contador

"1" : El contador funciona.

"0" : El contador está Parado

BIT 1. - Poniendo en estado lógico "1" este bit, es posible

obtener la salida del contador A, en PB6.

"0" : Funcionamiento normal.

BIT 2. - Permite seleccionar la forma de la señal generada en PB6,

cuando este bit se encuentra en "0", tenemos una salida

"biestable". Cada vez que el contador se pone a cero

cambia el estado en la salida PB6 en el puerto de

usuario (de 1 a 0 ó de 0 a 1), el valor se carga con el nuevo valor contenido en los tapones.

Cuando este bit se encuentra en "1" (modo de generación

de impulsos), cada vez que el contador se pone a "0", hay

una generación de un pulso positivo único en la salida

PB6, que dura un ciclo de reloj (1. micro segundo).

BIT 3. - Este bit permite seleccionar el funcionamiento de impulso

continuo. Cuando este bit se encuentra en "1", se elige

el modo "impulso", el contador cuenta hacia atrás a

partir del valor presente en el tapón hasta alcanzar el

valor de cero, cuando éste se alcanza genera un impulso

cargándose con el valor contenido en los tapones y se

para.

Cuando se encuentra en estado lógico de "0", el contador repite el Procedimiento anterior continuando hasta ser Parado por el bit 0.

BIT 4.- Permite cargar el tapón de contador A en cualquier momento. Habrá una carga forzada cuando este bit este en "1".

BIT 5.- El contador A Puede contar hacia adelante o hacia atrás a razón de una unidad por ciclo de reloj, o bien puede ser mediante la acción de una señal externa aplicada en el canal CNT. Cuando este bit se encuentra en estado lógico "0", el contador cuenta los ciclos de reloj generados por el C.I. 6510 en forma interna. Cuando este bit se encuentra en "1", cuenta las transiciones negativas (Paso de 1 a 0), de la señal aplicada en CNT.

BIT 6.- Registro de desplazamiento utilizado por las entradas y salidas serie.

BIT 7.- Si este bit se encuentra en estado lógico "1", el modo de funcionamiento para el reloj es de 50 Hz, y si se encuentra en estado lógico "0", se encuentra en el modo de funcionamiento de 60 Hz.

REGISTRO B

Los bits del 0 al 4 de este registro son similares a los bits equivalentes en el registro A, con la excepción de que las salidas del contador B son por la salida PB7 del Puerto de usuario. Los bits del 5 al 6 permiten seleccionar la señal bajo la cual el contador B cuenta hacia atrás.

BIT 5 BIT 6

- | | | |
|---|---|--|
| 0 | 0 | El contador cuenta los ciclos de reloj. |
| 0 | 1 | El contador cuenta las transiciones negativas en el canal CNT del Puerto de usuario. |
| 1 | 0 | El contador B cuenta los Pulsos Generados Por el contador A cuando se Pone en cero. |
| 1 | 1 | El contador B cuenta los impulsos Generados Por el contador A cuando se Pone en cero Pero solamente si el canal CNT se encuentra en estado lógico "0". |

BIT 7.- Permite Programar la hora o la alarma. Cuando este bit se encuentra en estado lógico "1", se accede a los registros de la alarma, y cuando se encuentra a "0", se accede a los registros de puesta en hora del reloj.

La siguiente tabla muestra la manera de escribir y leer el contenido en los registros del reloj.

	BIT 0-3	BIT 4-7
TOD10	Décimas de segundo	0 0 0 0
TOD SEC	Segundos (unidades)	segundos (decenas)
TOD MIN	minutos (unidades)	minutos (decenas)
TOD HRS	Horas (unidades)	horas (decenas 0 ó 1) bit 7 "0" AM, "1" PM.

Con los ocho bits de los registros DDR A y DDR B, Para los puertos A y B respectivamente, es posible determinar que bits serán salidas y cuales serán entradas.

Cuando este bit se encuentra en estado lógico "0" indica que

es una salida, y cuando se encuentra en estado lógico "1" indica que se trata de una entrada. Por ejemplo si se tiene en el registro DDRB el siguiente dato:

PB7							PB0
1	1	1	0	0	1	1	1

Esto indica que:

PB0: Salida
PB1: Salida
PB2: Salida
PB3: Entrada
PB4: Entrada
PB5: Salida
PB6: Salida
PB7: Salida

En nuestro caso el valor decimal que asignaremos al registro DDRB es: $128+64+32+16=240$.

En donde:

PB0-PB3 son Entradas.
y PB4-PB7 son salidas.

De esta manera, para realizar una salida se coloca el dato en el registro PRB, y así se tiene presente en el Puerto de usuario. La instrucción en basic para realizar una salida es:

POKE dirección,dato

Para realizar una entrada solo es necesario leer el dato que

se tiene en el registro PRB, la instrucción en basic que realiza esta acción es:

PEEK, dirección

Al utilizar los contadores descritos con anterioridad es posible obtener un tren de pulsos de frecuencia variable en la salida PB6 y PB7 del Puerto de usuario.

Para realizar esta salida se selecciona el modo biestable y el modo continuo, después se carga el tapón del contador A o B con el número de ciclos necesarios para generar el tren de pulsos con la frecuencia requerida para después arrancar el contador mediante la Puesta a "0" del registro de control B.

De esta forma el contador B empieza a contar en forma decreciente hasta alcanzar el valor de cero. Cuando este valor es alcanzado la salida en PB6 cambia de estado lógico (0-1 o 1-0), como se puede ver en la figura 5.2.1.

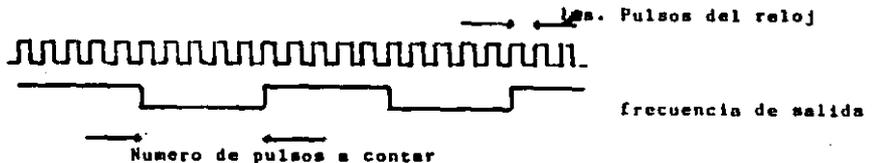


Figura 5.2.1

El contador se carga de nuevo con el valor existente en el tapón, volviendo a contar en forma regresiva. El contador permanece en un estado cíclico hasta que es detenido por medio del bit cero del registro de control. El valor contenido en los tapones de ambos contadores puede ser cambiado en cualquier momento. La duración de los pulsos del reloj interno del microcomputador "Commodore 64", es de 1 micro seg. Por lo tanto el rango de frecuencia que puede ser generado de esta forma está dado por:

Rango inferior = $1/65536 \times 2 \times 1E-6 = 7.62 \text{ Hz}$

Rango superior = $1/1 \times 2 \times 1E-6 = 500 \text{ KHz.}$

Por otro lado, el contador A lo utilizaremos para obtener la lectura de velocidad del motor. Para realizarla utilizaremos una base de tiempo de 9 seg. (como se puede ver en la figura 5.2.2). De esta manera el contador A estará contando los pulsos generados por el motor durante estos 9 segundos, desplazando y borrando el contenido del tapón de este contador en el siguiente segundo, para después seguir con el conteo.

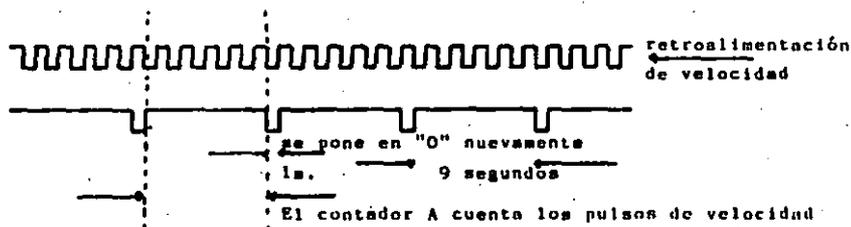


Figura 5.2.2

5.3 ACCESO AL LENGUAJE MAQUINA A PARTIR DEL BASIC.

Cuando se utiliza basic en aplicaciones de control es muy difícil alcanzar la velocidad de ejecución del programa requerida. Por esta razón, nosotros incluiremos dentro del Programa Principal escrito en basic un subPrograma escrito en lenguaje máquina.

La forma de acceder a estos subProgramas escritos en lenguaje máquina a Partir del basic es mediante el uso de las instrucciones SYS y USR. Teniendo la instrucción SYS el siguiente formato: SYS (dirección); en donde "dirección" es un número decimal comprendido entre 0 y 65536 (0-FFFF hexadecimal).

La instrucción USR se distingue de la instrucción SYS por Permitir Pasar un Parámetro entre el Programa Basic y el subPrograma escrito en lenguaje máquina, siendo el formato de esta instrucción el siguiente:

USR (X); en donde X es el Parámetro a Pasar.

La instrucción USR no contiene la dirección de comienzo del subprograma, esta dirección debe almacenarse previamente en una posición de memoria asignada para este propósito, siendo estas direcciones: 785 y 786, en las cuales es necesario guardar el octeto de peso débil y el octeto de peso fuerte de la dirección del comienzo del subprograma.

El parámetro se sitúa en el acumulador, que ocupa desde la dirección 97 a la 102 en la página cero. Este parámetro es

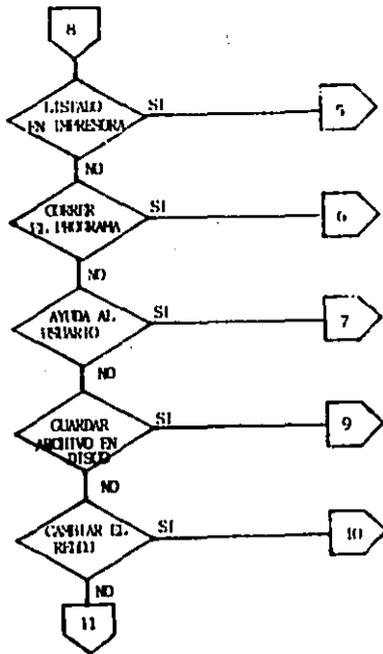
almacenado en la forma real de Punto flotante. El Primer octeto corresponde al exponente, del segundo octeto al quinto corresponde a la mantisa y el sexto octeto al signo.

En el caso de utilizar esta instrucción es necesario guardar primero la dirección de comienzo del subprograma y después ejecutar la instrucción USR(X).

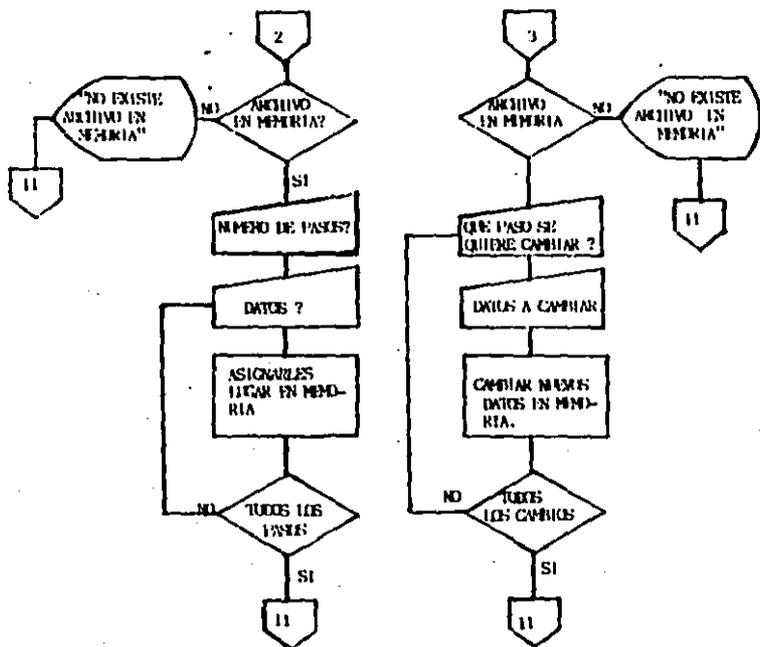
Al utilizar la instrucción SYS (dirección) es posible pasar parámetros indirectamente, esto es poniendo el valor directamente en las posiciones de memoria que sabemos nuestro subprograma utiliza como datos.

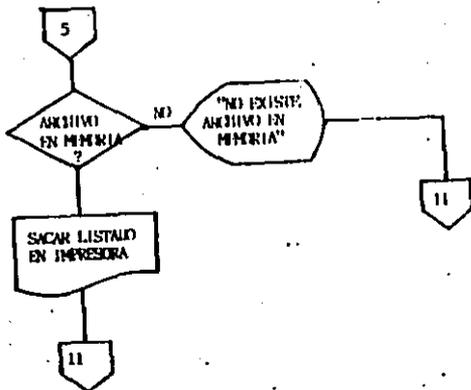
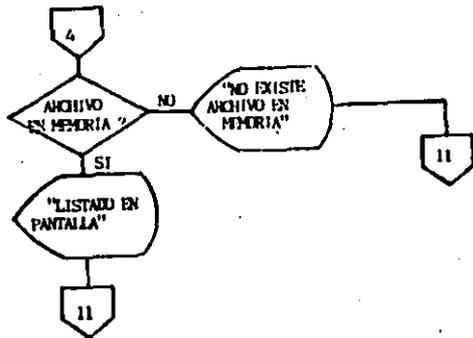
Como ya se mencionó antes, para poder pasar tanto las instrucciones del programa como los datos utilizaremos la instrucción POKE DIRECCION, DATO en donde DATO es un número decimal comprendido entre 0 y 255.

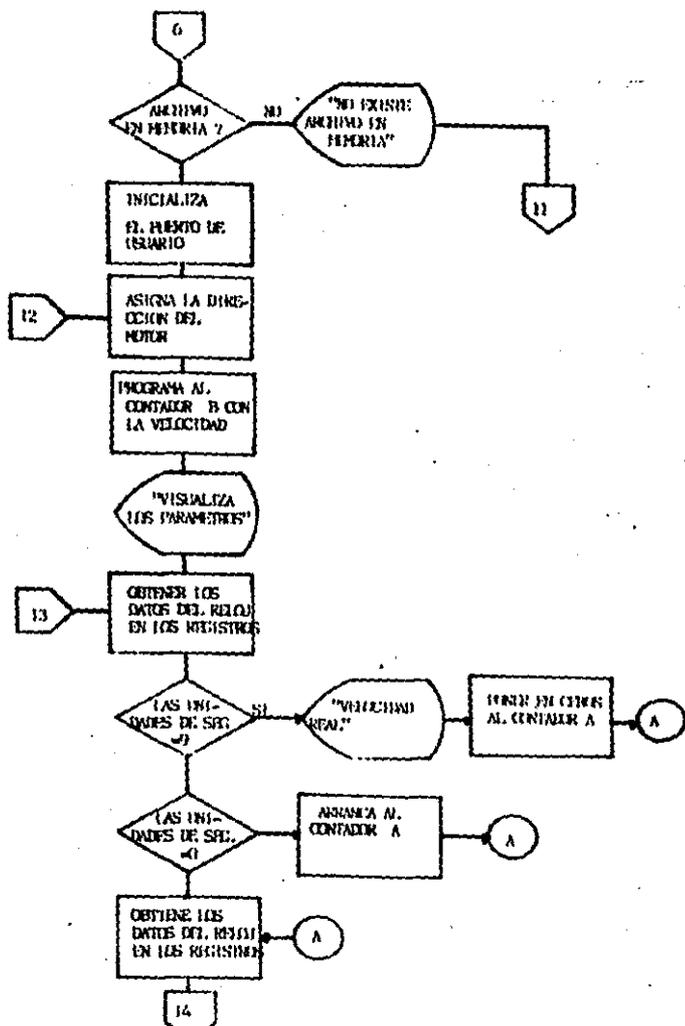
Los subprogramas necesitan ser guardados en un lugar que no interfiera con el basic, o bien, se puede recortar la memoria disponible para el basic y ocuparla para ese propósito. En nuestro caso, el subprograma escrito en lenguaje máquina lo guardamos en la memoria que es utilizada por el dataset (grabadora de cassette) como memoria intermedia.

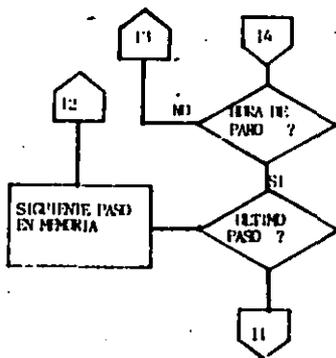


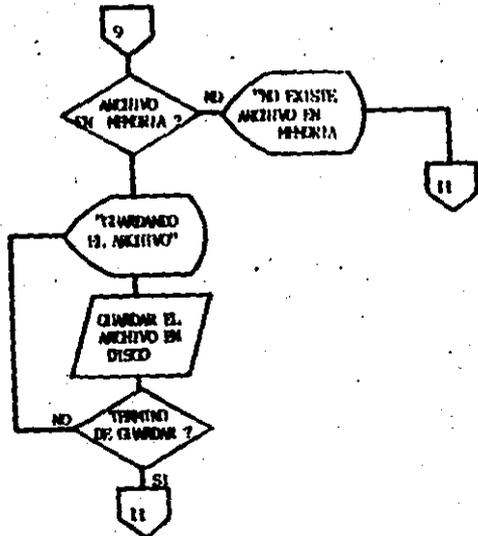
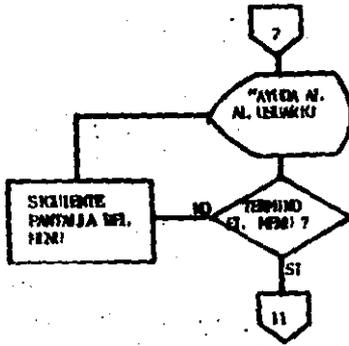













```

568 POKE 54276,17
569 POKE 54276,32
570 RETURN
571 POKE 54277,1*14+14:POKE 54278,15*16+8
573 POKE 54273,AA:POKE 57274,BB
574 POKE 54276,17
575 POKE 54276,32
576 RETURN
580 GOTO 2000
600 PRINT"J"
603 PRINT"ARCHIVO: ";NO$
605 PRINT""
607 PRINT"#####VELOCIDAD REAL = "
610 PRINT"-----"
620 RETURN
630 PRINT"J"
633 PRINT"ARCHIVO: ";NO$
635 PRINT"#####CONTROL DE VELOCIDAD"
636 PRINT"PASO"TAB(6);"VELOC."TAB(13);"DIRECCION: "TAB(24);"TIEMPO DE PARO"
640 PRINT"-----"
650 RETURN
900 PRINT"#####RETURN> P/CONTINUAR"
910 GET SS$
920 IF SS$<>CHR$(13) GOTO 910
925 GOSUB 571
930 RETURN
1000 GOSUB 600
1010 PRINT"INTRODUCCION:"
1020 PRINT"ESTE PROGRAMA ESTA DISENADO PARA CONTROLAR UN MOTOR DE C.D.
1030 PRINT" LOS PARAMETROS A CONTROLAR SON LA VELOCIDAD";
1040 PRINT" LA DIRECCION Y EL TIEMPO DE ROTACION.";
1050 PRINT"#####DENTRO DEL MENU PRINCIPAL EXISTEN 9 OPCIONES";
1060 PRINT" QUE FACILITAN LA OPERACION DEL PROGRAMA. "
1070 PRINT" EN LA ESQUINA SUPERIOR IZQUIERDA SE ENCUENTRA EL NOMBRE";
1080 PRINT" DEL ARCHIVO CON EL CUAL ESTAN TRABAJANDO, TODAS LAS";
1090 PRINT" FUNCIONES DEL MENU PRINCIPAL. "
1100 GOSUB 500
1110 GOSUB 600
1120 PRINT"ES INDISPENSABLE QUE SE PONGA EN HORA REAL EL RELOJ";
1130 PRINT" YA QUE ESTE PROGRAMA SE BASA EN EL PARA EL BUEN FUNCIONAMIENTO
1140 GOSUB 900
1150 GOSUB 600
1160 PRINT"RECOMENDACIONES ."
1170 PRINT"##### ASEGURARSE QUE EL RELOJ ESTE CORRECTO"
1180 PRINT"##### TECLAR EL NOMBRE DEL ARCHIVO"
1190 PRINT" CORRECTAMENTE"
1200 PRINT"##### TENER EN CUENTA EL ARCHIVO QUE SE ENCUENTRA EN MEMORIA"
1210 PRINT"##### ANTES DE EJECUTAR EL PROGRAMA GRABAPLO PARA EVITAR PERDERLO"
1220 PRINT"##### NO ASIGNAR NOMBRES MUY LARGOS AL ARCHIVO"
1230 GOSUB 900
1240 GOSUB 600
1245 PRINT"##### DESPUES DE HACER CAMBIOS"
1246 PRINT" GUARDAR EL ARCHIVO ANTES DE EJECUTAR"

```

```

1300 GOSUB 900
1400 GOTO 2000
1500 GOSUB 600:IF PA>0 THEN GOTO 1520
1510 PRINT"#####NO EXISTE ARCHIVO EN MEMORIA####"
1515 GOSUB 900:GOSUB565:GOTO2000
1520 PRINT"#####OPCIONES DE CONTINUAR "
1521 PRINT"#####VERIFICAR QUE LA IMPRESORA"
1522 PRINT"#####ESTE LISTADO####":GOSUB 900
1530 GOSUB 600
1540 PRINT"#####IMPRIENDO...#"
1550 OPEN 2,4
1555 P$=CHR$(16)
1560 FOR I=0 TO 3:PRINT#2, "NEXTI
1565 PRINT#2, "C O N T R O L   D E   V E L O C I D A D"
1570 PRINT#2, "PRINT#2, "A R C H I V O ( ";HO$
1575 FOR I=0 TO 1:PRINT#2, "NEXTI
1580 PRINT#2, P$; "05"; "PASO" P$; "15"; "VELOCIDAD" P$; "30";
1585 PRINT#2, "DIRECCION" P$; "56"; "HORA DE PAGO"
1590 FOR I=1 TO 79:PRINT#2, CHR$(103); "NEXTI
1595 PRINT#2, "PRINT#2,
1600 FOR PR=1 TO PA
1610 IF DRX(PR)=2 THEN DI$="DERECHA":GOTO 1630
1620 DI$="IZQUIERDA"
1630 IF AMX(PR)=1 THEN TM$="AM":GOTO1650
1640 TM$="PM"
1650 PRINT#2, P$; "06"; PR; P$; "17"; VELX(PR); P$; "30"; DI$; P$; "55";
1660 PRINT#2, HRX(PR); P$; "58"; " "; P$; "60"; MINX(PR); P$; "64"; " "; P$; "66";
1665 PRINT#2, SEGX(PR); P$; "71"; TM$
1670 NEXT PR
1680 PRINT#2, "PRINT#2,
1685 PRINT#2, "TOTAL DE PASOS : ";PA
1690 FOR I=1 TO 5:PRINT#2, "NEXTI
1695 CLOSE#2
1697 GOSUB 565
1700 GOTO2000
1790 GOTO 2000
1800 GOSUB 600:IF PA>0 THEN GOTO 1810
1805 PRINT"#####NO EXISTE ARCHIVO EN MEMORIA####":GOSUB 900:GOTO 2000
1810 PRINT"#####PRIME < ESPACIO > P/CONTINUAR"
1820 PRINT"#####PRIME < RETURN > P/MENU PRINCIPAL"
1830 GET SS$
1840 IF SS$=CHR$(13) THEN HT=0:UU=0:GOSUB571:GOTO 2000
1850 IF SS$=CHR$(32) THEN GOSUB 571:GOTO 1870
1860 GOTO 1830
1870 PRINT"#####QUE PASO SE DESEA CAMBIAR";
1880 INPUT PK
1885 UU=55:GOTO 2055
1890 GOSUB 600:GOTO 1810
2000 GOSUB 600
2010 PRINT "#####F1= CARGAR ARCHIVO DE DISCO"
2011 PRINT "#####F2= CREAR UN ARCHIVO"
2012 PRINT"#####F5= HACER CAMBIOS EN EL ARCHIVO"
2013 PRINT"#####F7= SACAR LISTADO EN PANTALLA"

```

```

2014 PRINT"*****F2# SACAR LISTADO EN IMPRESORA"
2015 PRINT"*****F4# CORRER EL PROGRAMA"
2016 PRINT"*****F6# AYUDA AL USUARIO"
2017 PRINT"*****F8# GUARDAR ARCHIVO EN DISCO"
2020 PRINT"*****F9# PONER A TIEMPO EL RELOJ"
2040 GET AR#
2042 IF AR# =CHR$(133)THEN GOSUB571:GOTO 3005
2044 IF AR# =CHR$(134)THEN GOSUB571:GOTO 2050
2046 IF AR# =CHR$(135)THEN GOSUB571:GOTO 1800
2048 IF AR# =CHR$(136)THEN GOSUB571:GOTO 6000
2050 IF AR# =CHR$(137)THEN GOSUB571:GOTO 1500
2052 IF AR# =CHR$(138)THEN GOSUB571:GOTO 4000
2054 IF AR# =CHR$(139)THEN GOSUB571:GOTO 1000
2056 IF AR# =CHR$(140)THEN GOSUB571:GOTO 2250
2057 IF AR# =CHR$(82) THEN GOSUB 571:SYS(994):GOTO325
2058 GOTO 2040
2060 GOSUB 600
2070 PRINT"*****CUANTOS PASOS DE PROGRAMACION";
2075 INPUT PA
2080 IF PA=0 OR PA>50 GOTO 2070
2094 FOR PR=1 TO PA
2095 GOSUB 600
2096 PRINT"*****PASO <";PR;">"
2100 PRINT"*****VELOCIDAD ";
2105 INPUT VEL$(PR)
2110 PRINT"*****QUE HORA DEBE PARAR"
2120 PRINT"*****HORA 0-12";
2122 INPUT HR$(PR)
2129 PRINT"*****0-31"
2124 GET PM#
2126 IF PM#="A" THEN AM$(PR)=1:GOTO 2130
2127 IF PM#="P" THEN AM$(PR)=16:GOTO 2130
2128 GOTO 2124
2130 PRINT"*****MINUTOS 0-59 ";
2135 INPUT MIN$(PR)
2136 PRINT"*****SEGUNDOS 0-59 ";
2137 INPUT SEG$(PR)
2140 PRINT"*****QUIERDA O DERECHA"
2150 GET DE#
2151 IF DE#="I" THEN DR$(PR)=1:GOTO 2160
2152 IF DE#="D" THEN DR$(PR)=2:GOTO 2160
2159 GOTO 2150
2160 IF HR$(PR)>12 GOTO 2170
2161 IF MIN$(PR)>59 GOTO 2170
2162 IF SEG$(PR)>59 GOTO 2170
2163 IF VEL$(PR)>4000 GOTO 2170
2165 GOTO 2150
2170 GOSUB 600:PRINT"*****ERROR AL INTRODUCIR DATOS 1 "
2175 GOSUB 900
2180 GOTO 2095
2190 IF UU=55 THEN GOTO 1890
2200 NEXT
2205 GOSUB 565
2210 GOTO 2000

```

```

2250 GOSUB 600
2270 PRINT"#####NOMBRE DEL ARCHIVO"
2280 INPUT NO#
2291 GOSUB 571
2285 IF LEN(NO#)>>10 THEN PRINT "NOMBRE MUY LARGO":GOSUB 900:GOTO 2250
2287 GOSUB 600
2280 PRINT"#####GUARDANDO EL ARCHIVO#"
2290 OPEN S,S,S:"@:"+NO#+",S,W"
2295 PRINT#9,PA
2300 FOR PR=1 TO PA
2310 PRINT#9,VEL%(PR)
2311 PRINT#9,HR%(PR)
2312 PRINT#9,MIN%(PR)
2313 PRINT#9,AM%(PR)
2314 PRINT#9,DR%(PR)
2315 PRINT#9,SEQ%(PR)
2320 NEXT
2330 CLOSE 9
2335 GOSUB 565
2340 GOTO 2000
3005 GOSUB 600
3010 PRINT"#####NOMBRE DEL ARCHIVO "
3020 INPUT NO#
3023 IF NO#=CHR*(13) THEN GOTO 3065
3025 GOSUB 600
3026 PRINT"#####CARGANDO EL ARCHIVO#"
3030 OPEN S,S,S:"@:"+NO#+",S,R"
3031 INPUT#9,PA
3032 FOR PR=1 TO PA
3040 INPUT#9,VEL%(PR)
3041 INPUT#9,HR%(PR)
3042 INPUT#9,MIN%(PR)
3043 INPUT#9,AM%(PR)
3044 INPUT#9,DR%(PR)
3045 INPUT#9,SEQ%(PR)
3050 NEXT PR
3060 CLOSE 9
3065 GOSUB 565
3070 GOTO 2000
4000 GOSUB 600:IF PA>0 THEN 4005
4001 PRINT"#####NO EXISTE ARCHIVO EN MEMORIA#####":GOSUB 900:GOTO 2000
4005 POKE 56579,240:POKE 56577,0
4010 FOR PR=1 TO PA
4015 IF VEL%(PR)<50 GOTO 4098
4020 RPM=VEL%(PR)/10
4050 VR=RPM*11.4341
4052 IF DR(PR)=2 THEN YY=INT(FND(VR)+0.5):GOTO 4055
4053 YY=INT(FNI(VR)+.05)
4055 R=1/(YY*2E-6)
4060 R1=INT(R/256):R2=INT(R-R1*256)
4080 POKE 56591,2
4085 POKE 56582,R2
4090 POKE 56583,R1

```

```

4095 POKE 56591,3
4096 POKE 56577,16*DR%(PR)
4098 IF VEL%(PR)<50-THEN POKE 56577,0
4100 GOSUB 5000
4110 GOSUB 5200
4120 NEXT PR
4130 POKE 56577,0
4135 GOSUB 565
4140 GOTO 2000
5000 GOSUB 600
5010 PRINT"###TOTAL DE PASOS (<";PR;">"
5020 PRINT"###PASO ACTUAL (<";PR;">"
5030 PRINT"###VELOCIDAD PROGRAMADA = ";VEL%(PR)
5040 IF DR%(PR)=2 THEN DI$="DERECHA":GOTO 5060
5050 DI$="IZQUIERDA"
5060 PRINT"###DIRECCION ";DI$
5070 IF AN%(PR)=1 THEN TH$="AM":GOTO 5090
5080 TH$="PM"
5090 PRINT"###HORA DE PARO: ";HR%(PR);":";MIN%(PR);":";SEG%(PR);" ";TH$
5095 PRINT"######RETURNO P/ABORTAR"
5100 RETURN
5200 MI=(PEEK(1097)-48)
5210 IF MI<0 GOTO 5200
5220 POKE 56580,255:POKE 56581,255
5230 POKE 56590,16:POKE 56590,49
5240 MI=(PEEK(1097)-48)
5250 IF MI >=9 GOTO 5330
5255 SEC=(PEEK(1096)-48)*10+(PEEK(1097)-48)
5260 MT=(PEEK(1093)-48)*10+(PEEK(1094)-48)
5264 HH=(PEEK(1090)-48)
5265 IF HH=1 THEN HT=HH*10+(PEEK(1091)-48):GOTO 5280
5270 HT=(PEEK(1091)-48)
5280 ANK=PEEK(1101)
5285 GET EM$:IF EM$=CHR$(13)THEN PR=PA:GOTO 5320
5290 IF ANK<>ANK(PR) GOTO 5240
5291 IF HT<>HT(PR) GOTO 5240
5300 IF MT<>MT(PR) GOTO 5240
5310 IF SEC<>SEC(PR) GOTO 5240
5320 RETURN
5330 NI=(PEEK(1097)-48)
5340 IF NI<9 GOTO 5390
5340 XR=PEEK(56590):YR=PEEK(56581)
5365 XR=255-XR:YR=(255-YR)*256
5370 XT=INT((XR+YR)/1.23)
5381 POKE211,28:POKE 214,3:SYS58732:PRINT XT," "
5390 GOTO 5200
6000 IF PA>8 THEN GOTO 6007
6002 GOSUB 600:PRINT"######NO EXISTE ARCHIVO EN MEMORIA###":GOSUB 900
6005 GOTO 2000
6007 N=13
6010 GOSUB 630
6015 FOR PR=1 TO PA
6020 IF DR%(PR)=2 THEN DI$="DERECHA":GOTO 6070
6050 DI$="IZQUIERDA"

```

```

6070 IF AM<PR>=1 THEN TM1="FM" GOTO 6090
6080 TM1="FM"
6090 PRINTPR;TAB(6);VEL<PR>TAB(13);D1;TAB(23);HR<PR>;
6091 PRINTTAB(27);" "TAB(29);MIN<PR>TAB(32);" ";
6092 PRINTTAB(33);SEC<PR>TAB(37);TM1
6094 IF PR>=H THEN H=H*2 GOTO 6096
6095 GOTO 6100
6096 PRINT"###RETURN P/CONTINUAR)"
6097 GET SS1
6098 IF SS1<>CHR$(13) THEN GOTO 6097
6099 GOSUB 630
6100 NEXT PR
6101 PRINT"###RETURN P/CONTINUAR)"
6102 GET SS1
6103 IF SS1<>CHR$(13) GOTO 6102
6104 GOSUB665 GOTO 2000

```

READY.

BREVE DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA.

Línea 1-12: Asigna un espacio en memoria para las variables del sistema, así como el color de pantalla y letras.

Línea 28-480: Este es un subprograma escrito en lenguaje máquina. La función de esta rutina es poner a tiempo y desplegar el contenido del reloj real del microcomputador.

Línea 520-576: Esta rutina ejecuta mediante el sintetizador interno del microcomputador, dos sonidos de diferente duración.

Línea 600-930: Esta rutina es la encargada del formato general de pantalla.

Línea 1000-1400: Esta rutina se selecciona al oprimir F6 en el menú principal, y es la subrutina "ayuda al usuario", que permite guiar al usuario con algunas recomendaciones para el uso del programa.

Línea 1500-1700: Esta rutina se selecciona al oprimir F2. La función de esta rutina es sacar un listado en impresora del archivo que se encuentre existente en memoria en ese momento.

Línea 1800-1890: Esta rutina se selecciona al oprimir F5. La función de esta rutina es el poder hacer cambios paso por paso del archivo existente en memoria.

Línea 2000-2058: Esta rutina, es la encargada de mostrar el menú principal en pantalla, así como el salto a las diferentes rutinas al oprimir la tecla correspondiente.

Línea 2060-2210: Esta rutina se selecciona al oprimir F3. La

función de esta rutina es el Poder crear un archivo nuevo Paso Por Paso.

Línea 2250-2340: Esta rutina se selecciona al oprimir F8. La función de esta rutina es el Guardar en disco el archivo existente en memoria.

Línea 3005-3070: Esta rutina se selecciona al oprimir F1. La función de esta rutina es el Poder cargar un archivo existente en disco. Cuando esta opción es seleccionada se recomienda guardar el archivo que se tenga en memoria, ya que de lo contrario se perderá totalmente.

Línea 4000-6005: Esta rutina es la más importante del programa y se selecciona al oprimir F4 en el menú Principal. La función de esta rutina es Poner en marcha al controlador. En primer lugar verifica que exista un archivo en memoria, después verifica que la velocidad deseada no sea menor que 50. Esto es debido a la limitación existente en el rango inferior de frecuencia para la generación del tren de pulsos en la salida PB6. A continuación el valor de velocidad requerido es cambiado y separado en dos bytes, esto con el fin de poder programar el contador. Después de programar el contador se pone en estado lógico "1" el bit que corresponda a la dirección requerida. Si se desea una rotación a la derecha (sentido de las manecillas del reloj), será necesario poner la salida PB4 en estado lógico "1" con un 16 decimal en el registro de control B (CPB). Por el contrario si se desea una rotación en sentido contrario de las manecillas del reloj, será

necesario poner la salida PB5 del puerto de usuario, en estado lógico "1", poniendo un 32 decimal en el registro de control B.

La siguiente función de esta rutina es la de visualizar en la pantalla los parámetros del paso que se está ejecutando. En seguida es comparada la hora de paro en ese paso del archivo, si ésta es igual el programa salta para ejecutar el siguiente paso, pero si es el último, el programa salta al menú principal. Mientras que es comparada la hora de paro, la velocidad es mostrada en la esquina superior derecha de la pantalla, teniendo una lectura cada 9 seg.

Línea 6007-6104: Esta rutina se selecciona oprimiendo F7 en el menú principal. La función de esta rutina es desplegar un listado del archivo existente en memoria, con un formato similar al listado que se obtiene en impresora.

CAPÍTULO VI. Pruebas y aplicaciones.

6.1 Pruebas

6.2 Arranque y Par en los motores de C.D.

6.3 Adaptación a otro microcomputador

6.4 Aplicación dentro de la industria

6.5 Conclusiones

6.1 PRUEBAS

Una vez armado el sistema propuesto y antes de ponerlo en operación, se procedió a realizar algunas pruebas sobre el mismo. Dichas pruebas tuvieron como objetivo el garantizar que si en algún momento dado el sistema no opera correctamente debido alguna falla, éste no fuera resultado de alguna mala conexión o algún falso contacto en cierto sector del sistema.

Lo primero que se comprobó fue el funcionamiento de la tarjeta interfaz. La comprobación del buen funcionamiento se hizo de forma manual con la ayuda de los diodos emisores de luz y un programa que simula la operación del control a menor velocidad haciendo las conexiones que van de la tarjeta principal al microcomputador de forma manual.

Una vez probado el funcionamiento de la tarjeta interfaz se procedió a probar la tarjeta de control. Para evitar dañar los componentes por posibles falsos contactos, o cortocircuitos se hizo la prueba por segmentos dentro de la misma tarjeta.

La primera sección a probar fue la correspondiente a los convertidores de frecuencia a tensión. Con la ayuda de un frecuencímetro, y haciendo las conexiones de forma manual, se registraron los valores obtenidos para cada convertidor, esto con el fin de asegurar que trabajen dentro del rango establecido.

Primer convertidor: C5=1000Pf, C6=.47uf, R8=100Kohm, R7=10Kohm, Vcc=12V, R1=10Kohm, R9=1Kohm.

Para el segundo convertidor: $C4=0.01\mu f$, $C3=0.47\mu f$, $R2=10Kohm$,
 $R6=1Kohm$, $R5=100Kohm$.

FRECUENCIA	TENSION OBTENIDA	TENSION IDEAL	%DESVIACION
16	0.14	0.2278	67.00
10	0.20	0.2546	2.07
40	0.55	0.5500	0.00
49	0.67	0.6708	0.11
137	1.85	1.8521	0.11
228	3.08	3.0700	0.32
332	4.47	4.4700	0.00
381	5.14	5.1278	0.23
478	6.43	6.4300	0.00
533	8.49	8.5100	-0.23
670	8.97	9.0078	-0.41
742	9.93	9.9740	-0.40
772	10.22	10.3700	-0.13
805	10.60	10.8100	-1.98

La desviación en linealidad al hacer esta Prueba fue menor al 1%. En el caso del segundo convertidor, el porcentaje de desviación en linealidad es mayor comparado con el primero, esto es debido a que el segundo opera a frecuencias más bajas.

Con esta desviación sabemos de antemano que el valor de velocidad real tendrá una pequeña diferencia con respecto al valor programado.

Después de comprobar el funcionamiento de los convertidores se procedió a comprobar el del circuito tipo Puente, que nos sirve para cambiar el sentido de rotación del motor. La prueba se realizó en forma manual, cambiando el estado lógico a la entrada de la tarjeta principal, provocando el cambio entre el estado de corte y saturación, asimismo se comprobó el circuito de protección, que corta el paso de corriente cuando todos los transistores se encuentran en estado de saturación.

Una vez que se comprobó el funcionamiento de la tarjeta interfaz y la tarjeta de control, y antes de interconectarlas junto con el microcomputador, se procedió a verificar el buen funcionamiento del programa. Como ya se mencionó anteriormente el programa está dividido en subrutinas que pueden ser seleccionadas a partir del menú principal. Estas fueron probadas por separado. A excepción de una subrutina, todas se refieren al manejo del archivo realizando funciones tales como: sacar listado en pantalla, listado en impresora, crear un archivo, guardarlo en disco, etc. La subrutina que enlaza a la microcomputadora con la tarjeta interfaz se selecciona al oprimir la tecla de función "F4", esta rutina se encarga de cambiar los datos existentes en el archivo a un código que puedan interpretar los controladores programables y la tarjeta de control. Dentro de esta subrutina se hace un ajuste por medio de interpolación, para corregir la diferencia existente entre los dos convertidores de frecuencia a tensión, vista anteriormente.

En el apéndice C se muestran en orden secuencial los desplegados que aparecen al ejecutar el programa de demostración del controlador.

Después de asegurarnos que el funcionamiento del conjunto era adecuado, se procedió a la interconexión de ambas tarjetas con el microcomputador. Para verificar el funcionamiento en conjunto se generó un archivo, que abarca desde el rango inferior hasta uno superior, con la finalidad de detectar el rango en el cual nuestro controlador puede operar. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

VELOCIDAD PROGRAMADA	(DERECHA) VELOCIDAD (COMPUTADORA)	VELOCIDAD REAL (TACOMETRO)
500	503	510
1000	1005	1020
1500	1502	1520
2000	2004	2020
3000	2995	3020

	(IZQUIERDA)	
VELOCIDAD	VELOCIDAD	VELOCIDAD REAL
PROGRAMADA	(COMPUTADORA)	(TACOMETRO)
500	509	510
1000	1006	1020
1500	1505	1530
2000	1990	2020
3000	2990	3010

6.2 ARRANQUE Y PAR EN LOS MOTORES DE C.D.

Al instante de arrancar un motor de corriente directa la fuerza contra-electromotriz (Ec) es cero, esto es debido a que al no estar girando el motor no genera ningún voltaje. Cuando la armadura alcanza la velocidad máxima, el valor de Ec aumenta a un valor causando el flujo de corriente para el manejo de la carga.

Cuando el motor tiene una velocidad diferente de cero la Ec es diferente de cero, limitando el paso de corriente en la armadura que tiene una resistencia muy baja en su devanado. Cuando Ec es cero el paso de corriente por la armadura es muy elevado, siendo necesario incluir una resistencia en serie durante el arranque y eliminarla cuando la armadura alcance una velocidad diferente de cero.

$$I_a = (V_a - E_c) / R_a$$

Ec= Fuerza contra-electromotriz

Va= Voltaje en la armadura

Ia= Corriente en la armadura

Ra= Resistencia en la armadura

La velocidad a la cual un motor opera cuando está manejando su carga nominal es llamada velocidad nominal.

Si a un motor Paralelo de C.D. se le quita la carga sólo tendría como oposición la fricción en las escobillas y baleros,

por lo tanto su velocidad se incrementaría solo un poco de la nominal, este incremento suele ser de un 2% a un 8%.

Un motor compuesto incrementa su velocidad de un 10% a 25%. El motor serie incrementa muy poco su velocidad cuando opera sin carga, pero se corre el riesgo de "desbocarlo".

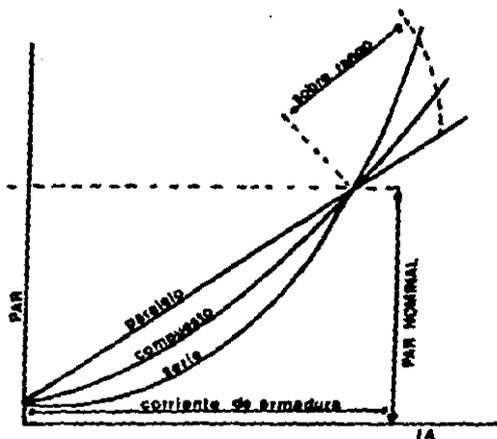


figura 6.1.1. Grafica del PAR contra Ia.

6.1.1 PAR

El PAR está definido como la tendencia de un motor a producir rotación. El PAR depende de dos factores: (1) El flujo creado por los polos Principales, (2) La corriente que fluye en la armadura. El PAR es independiente de la velocidad de rotación. La relación que nos sirve para encontrar el PAR es la siguiente:

$$T = K \Phi I_a \quad (\text{libras-Pie})$$

T : PAR (libras-Pie)

Φ : flujo por polo (maxwells)

I_a : corriente total

K : constante de Proporcionalidad

$$K = \left(\frac{60 \cdot 1173}{2 \cdot 10^8} \right) \left(\frac{P}{Z} \right) a$$

Z : número total de conductores en la armadura

P : número de polos

a : ranuras en el devanado de la armadura

$$HP = \left(\frac{2\pi T \text{ RPM}}{33000} \right)$$

$$1HP = 746W$$

$$Pd = \left(\frac{60 P \text{ RPM}}{a \cdot 60 \cdot 10^8} \right) I_a$$

Pd : potencia desarrollada

El PAR de un motor Paralelo de C.D. depende sólo de la corriente de armadura, en el diagrama anterior se muestra el PAR graficado contra la carga en los tres diferentes motores de corriente directa. En el caso del motor Paralelo se asume que se limita la corriente en el campo Paralelo, de esta forma el PAR es

lineal $T \propto I_a$.

El PAR desarrollado por un motor serie depende de la corriente de armadura y del flujo que se produce al pasar la corriente a través del campo serie. Con cargas ligeras, cuando el núcleo del circuito magnético no está saturado, el flujo del campo es directamente proporcional a la corriente producida por la carga. Bajo esta condición $T \propto (K_2 I_a) I_a = K_3 I_a^2$, ecuación de una parábola.

El PAR en un motor compuesto combina las características de un motor paralelo y un motor serie. A medida que aumenta la carga en el motor el flujo producido por la corriente que pasa a través del campo serie se suma con el flujo constante del campo en paralelo.

Como la velocidad de un motor de corriente directa está dada por: $S = V_a - I_a R_s / K \Phi$ en (RPM), cuando la corriente aumenta al aumentar la carga el producto $R_s I_a$ aumenta disminuyendo la velocidad, esto es en el caso de que el voltaje aplicado se mantenga constante. Con un sistema retroalimentado es posible aumentar el voltaje aplicado tratando de mantener la velocidad constante. Como conclusión podemos decir que los motores serie son utilizados en las aplicaciones que requieren un PAR de arranque considerable y un rango de variación de velocidad grande.

La relación de velocidad y la potencia a desarrollar en los diferentes motores de corriente directa es mostrada en la gráfi-

ca siguiente:

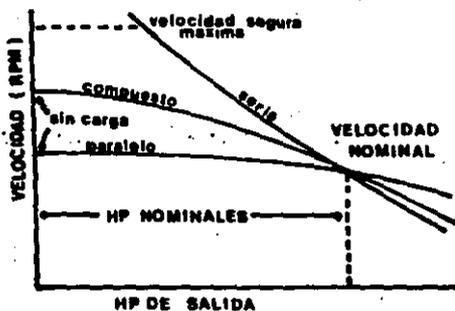


Figura 6.1.2.

6.3 ADAPTACION A OTRO MICROCOMPUTADOR.

La razón de utilizar el microcomputador Commodore 64 es por la facilidad de adquisición en el mercado, así como su bajo costo.

El controlador puede ser conectado a cualquier microcomputador utilizando la interfaz y el programa adecuado. La interfaz es necesaria para separar las fuentes de alimentación y adecuar las señales provenientes del microcomputador.

En el caso de que se quiera conectar la tarjeta controladora a otro tipo de microcomputador es necesario analizar la estructura interna de la misma para así diseñar una interfaz que adecúe las señales. En el caso de que los contadores programables no estén contenidos en dicho microcomputador, es necesario sustituirlos ya sea físicamente o bien sustituirlos por medio del programa.

a) Para reemplazar físicamente las funciones que realizan los dos contadores programables es necesario incluirlos en la tarjeta interfaz aumentando el número de interconexiones entre ésta y el microcomputador. Esta tarjeta interfaz puede conectarse al puerto de "usuario", como en nuestro caso, o bien puede conectarse directamente al "BUS" de direcciones.

Para activar los contadores programables es necesario incluir un circuito "llave" que nos permita direccionarlos y activarlos como si fueran simples direcciones de memoria. Se debe utilizar una dirección que se encuentre disponible al usuario, en caso

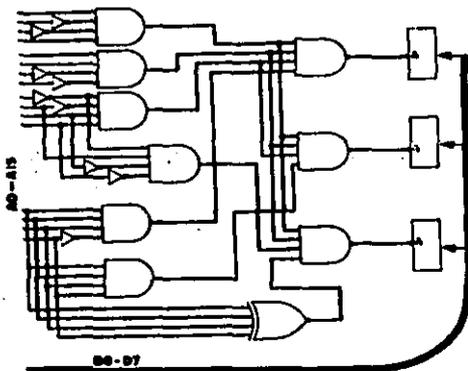
contrario es necesario verificar el rango que el microcomputador está utilizando para el Basic. Cada modelo utiliza una distribución diferente de memoria; por tal motivo, antes de seleccionar una dirección se debe cambiar el rango superior o inferior del traductor para no interferir con el funcionamiento del Programa.

Supongamos que el traductor Basic tiene como límite superior la dirección 40000, debemos recorrer el indicador de la posición alta de memoria en un número igual al número de direcciones libres que se requieran. Por ejemplo, si son tres el número de direcciones requeridas, debemos mover el puntero a la dirección 39997, de esta forma, las direcciones en forma binaria que se deben utilizar para el circuito "llave" en el decodificador son:

1001 1100 0011 1110 = 9C3E

1001 1100 0011 1111 = 9C3F

1001 1100 0100 0000 = 9C40



De esta forma cada vez que se acceda a esta dirección sabremos que estamos accediendo a los contadores Programables. Por lo anterior es necesario modificar el Programa de Prueba Ya existente.

b) Reemplazo Por medio de Programa.

Para sustituir los dos contadores Programables es necesario que el Programa haga las funciones de los mismos, siendo necesario aumentar la velocidad de ejecución del Programa. Tomando en cuenta esta velocidad y con la ayuda de las interrupciones Programables es factible lograr un tren de Pulsos.

La frecuencia se puede variar variando el tiempo de interrupción. En este caso sería muy difícil lograr el control utilizando el traductor Basic, ya que éste, cada vez que ejecuta una línea, tiene que recorrer todo el listado de instrucciones antes de ejecutarla.

6.4 APLICACION DENTRO DE LA INDUSTRIA

La aplicación en la cual se pensó para el desarrollo de este controlador es el taladro.

El desarrollo del controlador Propuesto en los capítulos anteriores no forma por completo con la aplicación de que hablamos y continuación. Pero si forma una parte importante dentro del taladro utilizado para la fabricación de tarjetas de circuito impreso.

En la actualidad el uso del taladro es muy variado, considerando el avance existente en la industria electrónica es necesario aumentar la Producción de tarjetas de circuito impreso para satisfacer las necesidades del mercado.

Existen varios métodos para la fabricación de estas tarjetas de circuito impreso, que van desde los totalmente manuales a los semi-automáticos. Se dice que un proceso es semi-automático, ya que en la etapa de registro de perforaciones es hecha manualmente por el operario. Una de las formas en la cual se registra la posición de las perforaciones es la siguiente:

- Se coloca el positivo que contiene las rutas (ART-ROEK) sobre una placa de material translucido.
- Se le hace pasar luz por debajo de esta placa.
- El operario por medio de un lente de aumento, que amplifica "n" veces el tamaño original del positivo, posiciona el positivo exactamente por debajo de la marca existente en el

lente de aumento.

-El desplazamiento efectuado por la placa translúcida es desplegado tanto para los movimientos verticales como horizontales.

-El operador alimenta la memoria del taladro automático con estos valores indicando el diámetro de dicha perforación.

Una vez teniendo todos los puntos y tamaños de brocas necesarios, se pone en marcha el taladro automático tomando la broca necesaria, acelerando hasta llegar a la velocidad de corte requerida para después efectuar las perforaciones.

VELOCIDAD DE PERFORACION

Los factores importantes que se deben tener en cuenta al seleccionar la velocidad de perforación son:

-Material de la herramienta de corte.

-Material de la pieza de trabajo.

Otros factores que deben de considerarse, aunque son de menor importancia son:

-Tiempo en el cual se realiza la perforación.

-Profundidad de la perforación.

Cuando se selecciona la velocidad de perforación es necesario tener en cuenta el tiempo de vida útil de la herramienta de corte que se desee. Si se hace la perforación a una velocidad mayor que la requerida se acorta el tiempo de vida útil de la herramienta de corte. Por el contrario, si se opera por debajo de la velocidad requerida, se alarga la vida útil de la herramienta.

de corte.

La desventaja que se tiene al hacer las Perforaciones a una velocidad por debajo de la requerida es la baja en la Producción, elevando el costo de la misma.

La desventaja que se tiene al hacerlas por encima de la velocidad requerida es la de estar cambiando continuamente de brocas, deteniendo la Producción por largos Períodos de tiempo.

SELECCION DEL MATERIAL DE CORTE.

Una reducción en el costo de la maquinaria y un incremento en la Producción se puede lograr al seleccionar un material adecuado para la herramienta de corte.

Al operar un taladro, el costo de la herramienta de corte por pieza de producción debe ser determinado cuando se utilizan herramientas de corte para alta velocidad y se disminuye en lo mayor posible el tiempo de perforación. De esta forma se aumenta la producción, disminuyendo el costo de la herramienta por pieza producida, aunque el costo de esta herramienta sea mayor.

La vida útil de la herramienta de corte es influenciada primero por la velocidad de corte, después por el tiempo en el que se realiza la perforación y por último, la profundidad de la perforación. Para darnos una idea, influye diez veces más el tiempo en el cual se realiza la perforación que la profundidad del material a cortar (Perforar).

El primer paso al escoger las condiciones de la Perforación, es seleccionar la profundidad del corte. En el caso de la

fabricación de tarjetas de circuito impreso se colocan varias tarjetas en el taladro para ser perforadas al mismo tiempo. La Profundidad de Perforación está limitada por la cantidad de metal contenida en nuestra Pieza de trabajo y el material que se utiliza en la herramienta de corte. Como la Profundidad de la Perforación tiene menores efectos en la vida útil de la broca, se recomienda Perforar el mayor número de tarjetas de circuito impreso posible.

El segundo Paso es seleccionar el tiempo de Perforación, estando limitado este por la Potencia disponible en el taladro, la rigidez de la Pieza de trabajo, la herramienta de corte y la del acabado de la superficie que se requiera. Para evitar hacer daños sobre la superficie de la tarjeta de circuito impreso, al disminuir el tiempo de Perforación, se coloca una Pieza de metal sobre la Primera tarjeta.

El tercer Paso es el seleccionar la velocidad de perforación. Existen tablas que la recomiendan para los diferentes diámetros y materiales. Al seleccionar la velocidad de Perforación se debe tener en cuenta la extracción del material. La siguiente relación es ocupada para seleccionar esta velocidad:

$$H = 12V / D$$

en donde:

H=Velocidad de Perforación en revoluciones Por minuto

(RPM), V=Velocidad de corte en Pies Por minuto Para Cada material (este dato se obtiene de tablas).

D=Diametro en Pulgadas de la broca.

En el apéndice A se muestra un ejemplo de las tablas existentes para la selección de corte, en los diferentes materiales, tanto en la herramienta de corte como en la pieza de trabajo.

POTENCIA.

Es necesario conocer la potencia requerida para poder adquirir la maquinaria correcta. La selección de potencia para el taladro es la requerida para hacer las diferentes perforaciones más la que se pierde por la eficiencia de las máquinas. Es recomendable utilizar el doble de la potencia requerida. La relación que sirve para determinar la potencia requerida es la siguiente:

$$B=BcF1F2$$

$$hpc=hpc F(N/100)$$

en donde:

B=Perforación confiable (libras, tabla 1 apéndice A).

Bc=Perforación estandar (libras, AISI 1112 steel).

F1=Factor de conversión del material (tabla 2 apéndice A).

F2=Factor de conversión (tabla 2 apéndice A).

hpc=Potencia en la Perforación.

hpc=Potencia estandar (AISI 1112 STEEL, tabla 3 apéndice B).

F=Factor de conversión Para la potencia (tabla 4 apéndice B).

N=Velocidad del taladro en RPM.

5.6 CONCLUSIONES

Analizando todo lo que hasta ahora se hizo para desarrollar este proyecto de tesis y comparándolo con los objetivos que inicialmente se habían propuesto, se puede afirmar que se cumplieron estos en su mayor parte.

Al principio se pensaba en diseñar el sistema basado en la utilización de un control por medio de FLL, probando este circuito sin obtener buenos resultados. Después se probaron otros circuitos basados en principios diferentes sin tener mejores resultados, hasta que se armó y probó el circuito descrito en el capítulo 4. Uno de los principales motivos por los cuales se tomó la decisión de utilizar este circuito, fue la de utilizar el menor número de componentes exteriores al microcomputador.

Al principio de la elaboración de este circuito se pensaba que no iba a presentar ningún problema de estabilidad ni linealidad, y aun utilizando circuitos con comportamiento lineal, nos pudimos percatar que existía una pequeña discrepancia entre los valores de velocidad programados y los valores reales obtenidos.

Para corregir esta pequeña discrepancia sin aumentar el número de componentes exteriores al microcomputador, se optó por corregirlo mediante programación, haciendo una interpolación entre el valor programado y el obtenido al utilizar un instrumento de medición externo. Después de realizar estos ajustes se corrieron varios programas de prueba para evaluar el circuito.

realizando mediciones de velocidad en ambos sentidos de rotación. Con esto llegamos a la conclusión de que el circuito controlador no era del todo estable, sino que oscilaba dentro del rango Programado llegando a tener una variación de un 1 a 3 % de la velocidad Programada. Se puede decir que este controlador puede ser utilizado en usos que no requieran gran variación en la velocidad, como es el caso de la aplicación vista anteriormente.

Hablando ahora de los Problemas que se tuvieron en la implantación y puesta en operación del sistema podemos decir que no fueron muchos, siendo los que se presentaron debido a la variación de ciertos componentes por su tolerancia, como es el caso de los capacitores y resistencias utilizados en la conversión de frecuencia a tensión.

Al momento de revisar todas y cada una de las secciones tratadas en el presente estudio se pretende apreciar una diversidad de temas que fueron tratados con la finalidad de poder realizar y ubicar el diseño de un controlador de motores de corriente directa y de cierta forma el de introducirnos en el área del diseño basado en un microcomputador, mediante un prototipo totalmente experimental.

A lo largo del desarrollo de nuestro proyecto este sufrió algunas modificaciones y adaptaciones de las ideas originales del diseño debido a la factibilidad de adquisición de componentes en el mercado.

Con respecto al tiempo que se llevó el realizar todo el

Proyecto, incluyendo este trabajo escrito, creemos que no fue de ninguna manera prolongado debido a que para llegar al circuito mostrado fue necesario hacer la prueba con otros circuitos.

Este diseño, como se dijo anteriormente, no es del todo óptimo, ya que presenta algunas fallas, pero puede ser mejorado haciendo cambios en el circuito sin por ello cambiar el principio de funcionamiento del mismo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Power Electronics
Solid state motor control
Richard A. Perman
PRENTICE-HALL COMPANY
- 2.- Thyristor DC Drives
Wiley Interscience
- 3.- Electrical Machines
Direct and Alternating Current
Charles S. Siskind
MCGRAW-HILL BOOK COMPANY 1964
Second Edition 07-265700-8
- 4.- Integrated electronics
Jacob Millman and Christos C. Halkias
MCGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY. Tokio Japan 1964
07-085493-9
- 5.- Commodore 64
Guia del Usuario
John Heilborn y Ran Talbott
OSBORNE MCGRAW HILL. Mexico 1985
968-451-760-2
- 6.- Como Programar su Commodore 64
F. Montiel
Tomo 1

Tercera Edicion

PARANINFO. España 1985 84-283-1343-1

7.- Como Programar su commodore 64

F. Montiel

Tomo 2

PARANINFO. España 1985 84-283-1350-4

8.- Lógica Digital y Diseño de Computadores

M.Morris Mano

PRENTICE HALL INTERNATIONAL 1979

0-13-539809-6

9.- Ingeniería de Control Moderna

Katsuhiko Ogata

PRENTICE HALL INTERNATIONAL.

968-888-018-X

10.-Machinery's Handbook

Erik Oberg, Franklin D. Jones and Holbrook L.

INDUSTRIAL PRESS INC. Twentieth edition 1979

0-8311-1107-0

11.-Printed Circuit Board.

Precision Artwork Generation and Manufacturing Methods

Preben Lund.

BISHOP GRAPHICS INC. California U.S.A. 1986

0-9601748-7-7

12.-Handbook of Precision Engineering

"Electrical Design Application"

R Davison

MCGRAW HILL BOOK COMPANY.

3a. Edición 1972

13.--"Instrumentation and Control Systems"

Cecil L. Smith

Ed. Chemical Engineering International News.

MCGRAW-HILL BOOK CO Junio 25 1984.

APPENDICE B

Table 2a. Horsepower Required for Drilling AISI 1020 Steel at 100 RPM

Drill Size, Inches	Feed per Revolution in Inches									
	.004	.005	.006	.007	.008	.009	.010	.012	.014	.016
	Horsepower									
1/8	.004	.005	.006	.007	.008	.009	.010	.012	.014	.016
1/4	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
3/8	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
1/2	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
5/8	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
3/4	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
7/8	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007
1	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007	.007

Source: Metal Cutting Tool Institute

Table 3

Material	Conversion Factor
AISI 1020	1.8
AISI 1025	1.3
AISI 1120	1.6
1045 C. Tool Steel	1.7
Mild Steel Iron	0.6
Gray Cast Iron	0.3
AISI 316 Free Machining Martensitic Stainless Steel	1.3
AISI 303 Free Machining Austenitic Stainless Steel	1.6
AISI 304 Austenitic Stainless Steel	1.8
17-7 Precipitation Hardened Austenitic Stainless Steel	2.0
AISI 4140 Steel Heat Treated to 29,000 to 35,000 psi	2.1

Source: Metal Cutting Tool Institute

Table 4

A P E N D I C E C

CONTROL DE VELOCIDAD

ESPERE UN MOMENTO....

ARCHIVO:

1:23:02.5 PM

VELOCIDAD REAL =

- CARGAR ARCHIVO DE DISCO
- CREAR UN ARCHIVO
- HACER CAMBIOS EN EL ARCHIVO
- SACAR LISTADO EN PANTALLA
- SACAR LISTADO EN IMPRESORA
- CORRER EL PROGRAMA
- AYUDA AL USUARIO
- GUARDAR ARCHIVO EN DISCO
- PONER A TIEMPO EL RELOJ

ARCHIVO: VEL1

1:24:21.4 PM

VELOCIDAD REAL =

HOMBRE DEL ARCHIVO
? PRUEBA

ARCHIVO: PRUEBA

1:24:34.8 PM

VELOCIDAD REAL =

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

ARCHIVO:

1:23:12.8 PM

VELOCIDAD REAL =

NOMBRE DEL ARCHIVO ? VEL1

ARCHIVO: VEL1

1:23:25.4 PM

VELOCIDAD REAL =

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

ARCHIVO: VEL1

1:00:05.4 AM

VELOCIDAD REAL =

TOTAL DE PASOS < 30 >

PASO ACTUAL < 1 >

VELOCIDAD PROGRAMADA = 100

DIRECCION: DERECHA

HORA DE PARO: 1 : 1 : 1 AM

<RETURNO> P/ABORTAR

ARCHIVO: VEL1

1:01:01.8 AM

VELOCIDAD REAL =

TOTAL DE PASOS < 30 >

PASO ACTUAL < 2 >

VELOCIDAD PROGRAMADA = 200

DIRECCION: DERECHA

HORA DE PARO: 1 : 2 : 1 AM

<RETURNO> P/ABORTAR

ARCHIVO:	1:23:13.5 PM
VELOCIDAD REAL =	
<ul style="list-style-type: none"> ■ CARGAR ARCHIVO DE DISCO ■ CREAR UN ARCHIVO ■ HACER CAMBIOS EN EL ARCHIVO ■ SACAR LISTADO EN PANTALLA ■ SACAR LISTADO EN IMPRESORA ■ CORRER EL PROGRAMA ■ AYUDA AL USUARIO ■ GUARDAR ARCHIVO EN DISCO ■ PONER A TIEMPO EL RELOJ 	

ARCHIVO:	1:03:15.8 AM
VELOCIDAD REAL =	
PASO < 1 >	
VELOCIDAD ? 2345	
A QUE HORA DEBE PARAR	
HORA 0-12? 3	
■ O ■	
MINUTOS 0-59 ? 23	
SEGUNDOS 0-59 ? 24	
■ IZQUIERDA O ■ DERECHA	

ARCHIVO: VEL1 1:23:46.5 PM
CONTROL DE VELOCIDAD
PASO VELOC. DIRECCION: TIEMPO DE PARO

1	100	DERECHA	1	1	1	AM
2	200	DERECHA	1	2	1	AM
3	300	DERECHA	1	3	1	AM
4	400	DERECHA	1	4	1	AM
5	500	DERECHA	1	5	1	AM
6	600	DERECHA	1	6	1	AM
7	700	DERECHA	1	7	1	AM
8	800	DERECHA	1	8	1	AM
9	900	DERECHA	1	9	1	AM
10	1000	DERECHA	1	10	1	AM
11	1100	DERECHA	1	11	1	AM
12	1200	DERECHA	1	12	1	AM
13	1300	DERECHA	1	13	1	AM

<RETURN P/>CONTINUAR>

ARCHIVO: VEL1 1:24:14.2 PM
CONTROL DE VELOCIDAD
PASO VELOC. DIRECCION: TIEMPO DE PARO

14	1400	DERECHA	1	14	1	AM
15	1500	DERECHA	1	15	1	AM
16	1700	DERECHA	1	16	1	AM
17	2000	DERECHA	1	17	1	AM
18	2200	DERECHA	1	18	1	AM
19	2400	DERECHA	1	19	1	AM
20	2600	DERECHA	1	20	1	AM
21	2800	DERECHA	1	21	1	AM
22	3000	DERECHA	1	22	1	AM
23	3200	DERECHA	1	23	1	AM
24	3400	DERECHA	1	24	1	AM
25	3600	DERECHA	1	25	1	AM
26	3800	DERECHA	1	26	1	AM

<RETURN P/>CONTINUAR>

ARCHIVO: VEL1 1:23:21.1 PM
CONTROL DE VELOCIDAD
PASO VELOC. DIRECCION: TIEMPO DE PARO

27	4000	DERECHA	1	:	26	:	1	AM
28	0	DERECHA	0	:	0	:	0	AM
29	0	DERECHA	0	:	0	:	0	AM
30	0	DERECHA	0	:	0	:	0	AM

<RETURN P/CONTINUAR>