

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TARJETA CONTROLADORA
PARA UNA PLATINA ROTACIONAL.**

TESIS

Que para cubrir los requisitos necesarios para obtener el grado de Ingeniero
en Electrónica presenta:

MARTÍN/GÓMEZ FUENTES

Ensenada Baja California, México. Septiembre del 2001.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TARJETA CONTROLADORA
PARA UNA PLATINA ROTACIONAL.**

**TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA.**

**PRESENTA:
MARTÍN GÓMEZ FUENTES.**

APROBADA POR:

Dr. RAÚL RANGEL ROJO.
Director de Tesis

M.C. HUMBERTO CERVANTES DE A.
Sinodal Propietario

Dr. HORACIO MARTINEZ R.
Sinodal Propietario

M.C. JUAN DE DIOS SANCHEZ L.
Sinodal Propietario

Dr. RICARDO CHAVEZ PEREZ.
Sinodal Propietario

Ensenada B.C., Septiembre del 2001.

DEDICATORIA

Con todo cariño y respeto
A mis padres José Guadalupe y María Guadalupe
por la seguridad de contar con ellos siempre y en todo momento.

A mis hermanos con todo mi agradecimiento:

Rosa María

Consuelo

Rubén

Rubí

Alejandrina

Juan

Adán

Por siempre apoyarme.

A todos mis familiares, por todo el cariño y la confianza
que me han brindado.

A todas esas personas en particular, que me motivaron
a concluir la realización de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

De manera especial
al Dr. Raúl Rangel Rojo
por su valiosa ayuda en la dirección
de este trabajo de tesis.

A la Universidad Autónoma de Baja California
por abrirme las puertas para realizarme como profesionista.

Al Centro de Investigación Científica y Educación
Superior de Ensenada CICESE, por todo el apoyo brindado; especialmente a:
Luis Ríos y Fabián Alonso del laboratorio de óptica estadística.

Con cariño a todas las secretarias de óptica estadística
Por nunca negarme su ayuda.

A todos los compañeros de trabajo
por su apoyo, ayuda y comprensión en todo momento.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TARJETA CONTROLADORA PARA UNA PLATINA ROTACIONAL

ÍNDICE

	PÁGINA
I INTRODUCCIÓN.	1
II DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.	6
II.1 Introducción	6
II.2 Tipos de platinas	6
II.3 Platina rotacional	7
II.3.1 Motor de pasos	9
II.3.2 Control del motor de pasos	17
II.3.3 Compuertas lógicas	20
II.3.4 Codificador	21
II.3.5 Interruptores de limite	22
II.3.6 Conector DB2 hembra de 25 terminales	22
II.4 Descripción general de la platina rotacional	23
II.4.1 Subsistema rotacional	25
II.4.2 Subsistema de control	26
II.4.2.1 Tarjeta de control	27
III DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL	30
III.1 Introducción	30
III.2 Bloques básicos de la tarjeta de control	31
III.2.1 Control por computadora	31
III.2.2 Control manual	33
III.2.3 Acoplador de control	35

III.2.4 Circuito direccionador de pulsos	38
III.2.5 Reforzador de direcciones / datos	39
III.2.6 Circuito manejador del motor de pasos	40
III.2.7 Conector JP2 de la platina	42
 IV CONSTRUCCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL	 43
IV.1 Introducción	43
IV.2 Diseño de la tarjeta de control por computadora	43
IV.2.1 Programa de diseño protel	44
IV.2.2 Programa de diseño PCB	46
IV.2.3 Proceso de elaboración física de la tarjeta	51
IV.2.4 Ensamble de la tarjeta de control	54
 V CARACTERIZACIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL.	 59
V.1 Introducción	59
V.2 Instalación del sistema y pruebas de la tarjeta	59
V.2.1 Funcionamiento y aplicación del programa de prueba	60
 VI CONCLUSIONES	 63
REFERENCIAS	64
APÉNDICE 1	65
- Lista de componentes.	
APÉNDICE 2	67
- Hojas de datos de los componentes utilizados.	

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
1 Diagrama de los dispositivos periféricos de la platina rotacional.	3
2 Fotografía de una platina rotacional.	8
3 Fotografía de un motor de pasos de magneto permanente.	10
4 Fotografía de un codificador rotatorio.	22
5 Diagrama de operación de la platina rotacional.	24
6 Diagrama a bloques de la platina.	24
7 Fotografía del subsistema rotacional.	26
8 Diagrama a bloques del subsistema de control.	27
9 Diagrama a bloques de la tarjeta de control.	28
10 Diagrama del regulador de voltaje.	29
11 Diagrama de los siete bloques de la tarjeta de control.	30
12 a Diagrama a bloques del control por PC.	32
12 b Diagrama de la función de las terminales del conector del puerto paralelo.	32
13 Diagrama a bloques del control manual.	35
14 Diagrama del acoplador de control.	37
15 Diagrama del circuito direccionador.	38
16 Diagrama a bloques del circuito reforzador.	40
17 Diagrama del circuito manejador del motor de pasos.	41
18 Fotografía del conector para la platina.	42
19 Diagrama general de la tarjeta de control.	45
20 Distribución de circuito integrados y componentes de la tarjeta.	47
21 a Mascarilla del circuito impreso por el lado de los componentes.	48
21 b Mascarilla del circuito impreso por el lado de la soldadura.	49
22 Diagrama de la mascarilla de soldar de la tarjeta.	50
23 Diagrama de flujo del proceso de elaboración física de la tarjeta.	52
24 Fotografía de la tarjeta por el lado de la componentes.	56
25 Fotografía de la tarjeta por el lado de la soldadura.	57
26 Fotografía del acabado final de la tarjeta de control.	58

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>	<u>PÁGINA</u>
I Secuencia de la corriente de alimentación en las bobinas cuando el motor gira a la derecha.	10
II Secuencia de la corriente de alimentación en las bobinas cuando el motor gira a la izquierda.	11
III Parámetros importantes de los motores de pasos.	14
IV Modo de operación de onda.	15
V Modo de operación de paso completo.	16
VI Valores de verdad para la compuerta lógica AND.	18
VII Valores de verdad para la compuerta lógica OR.	18
VIII Valores de verdad para la compuerta lógica OR exclusiva.	19
IX Funcionamiento del circuito integrado Flip-Flop.	19
X Rango de trabajo para la familia de circuitos TTL LS.	21
XI Lógica binaria de los circuitos lógicos EX-OR.	36
XII Estado lógico de las compuertas cuando la platina gira a la derecha.	37
XIV Estado lógico de las compuertas cuando la platina gira a la izquierda.	37
XIV Estado de cada interruptor.	41

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Existen muchas aplicaciones, tanto científicas como tecnológicas que requieren un posicionamiento preciso de un objeto (lente, muestra, etc.), así como de la traslación precisa de una posición a otra. El control del movimiento que se requiere para mover un objeto con gran precisión se puede lograr mediante platinas, ya sean mecánicas o electromecánicas, con las cuales es posible la automatización de un proceso. Entre muchas de las aplicaciones tecnológicas que tienen estas platinas se pueden mencionar la manipulación de obleas de silicio, usadas para la fabricación de circuitos integrados, los sistemas de inspección de video automatizado y en procesos de control de calidad en general. Además en el ámbito científico existe un sin fin de aplicaciones que requieren un control extremadamente preciso de la posición de diferentes componentes y equipos. Por ejemplo, en el campo de la óptica de pulsos ultracortos (pulsos con duración menor a 1 picosegundo), se utilizan platinas de traslación para controlar el tiempo de arribo de dichos pulsos a una muestra de una manera extremadamente fina. Por dar un ejemplo, un desplazamiento de 1 micra en la posición de un espejo, permite retrasar un pulso por un tiempo de solo 3 femtosegundos (fs). Aparatos tales como autocorreladores ópticos emplean este tipo de mecanismos para medir la duración de pulsos de luz tan cortos como 10 fs.

Otras áreas de aplicación para sistemas de microposicionamiento son en el área de fibras ópticas, donde se requiere alinear la punta de una fibra con una tolerancia menor a 1 micra, y en el campo de la microscopia de barrido, donde se tiene precisión de hasta 1 nm

en algunos casos. En el departamento de óptica del CICESE se utilizan platinas de precisión en diferentes áreas de investigación. En particular, se utilizan platinas de rotación para estudiar el esparcimiento de luz por superficies rugosas. La idea en este proyecto consiste en medir la intensidad de la luz esparcida por una superficie a estudiar, como función del ángulo de esparcimiento. Este estudio permite inferir en las características de la superficie rugosa (propiedades estadísticas del perfil de la superficie), así como el estudio de los procesos fundamentales responsables del esparcimiento.

De acuerdo al tipo de movimiento que realizan las platinas, se pueden clasificar como de traslación lineal y rotacional, en las primeras el desplazamiento del movimiento es en línea recta, y en las segundas el movimiento es angular, para más información ver referencia [1]. Ambos tipos están constituidos por una plataforma de montaje, un motor DC o motor de pasos, un codificador de posición, una flecha de transmisión, sensores magnéticos y ópticos, etc.

A continuación se da una breve descripción de las partes que constituyen a las platinas:

a).- Plataforma de montaje, esta es una base que sirve para montar los dispositivos que se desea mover tales como un diodo láser, una muestra, una cámara CCD, etc.

b).- Motor, la función del motor es convertir energía eléctrica en energía mecánica de rotación y generar movimiento. Puede ser un motor de pasos o un motor DC.

c).- Codificador, es un dispositivo electromecánico o electro-óptico que traduce la información relativa del movimiento en señales codificadas para conocer la posición en la cual se encuentra la base de la platina.

d).- La flecha del motor es un tornillo sin fin que transmite el movimiento a la base de la platina.

e).- Interruptores de limite de posición, estos sirven para delimitar el desplazamiento o posición de trabajo de la base de la platina.

f).- Conector hembra DB25 de 25 terminales, es utilizado para mandar pulsos digitales al motor de la platina.

El movimiento de la platina es controlado por un circuito electrónico, el cual puede ser manejado en forma manual o por computadora, tal como se muestra en la figura 1. Este circuito electrónico tiene la función de enviar pulsos digitales a las bobinas del motor.

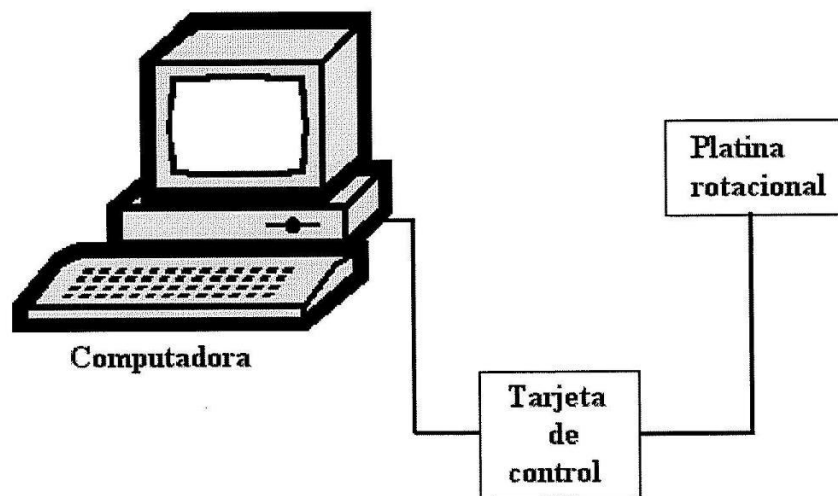


Fig. 1.- Diagrama de los dispositivos periféricos de la platina rotacional.

El control manual se realizará por medio de dos interruptores los cuales controlan el sentido de movimiento de la platina. El control por computadora es realizado mediante un programa escrito en lenguaje C, el cual envía pulsos digitales por medio del puerto paralelo al motor de pasos, para transmitir el movimiento de giro a la base de la platina. En sistemas que cuentan con un mecanismo de retroalimentación, el controlador procesa las señales provenientes del codificador, las cuales se emplean para ajustar el movimiento de dicha platina. En general, los fabricantes de platinas de precisión producen también dispositivos controladores para ellas, pero su costo es demasiado alto. Por lo tanto, la elaboración de la

tarjeta controladora, permite reducir considerablemente el costo del controlador para la platina. La tarjeta controladora es manejada por medio de una computadora, ya sea por el puerto serie, paralelo o mediante una tarjeta de interfase GPIB. En este caso se utilizó el puerto paralelo por ser una forma rápida de enviar la información al controlador y porque no requiere equipo adicional tal como una tarjeta GPIB. El propósito de esta tesis es el diseño y construcción de una tarjeta controladora para el control de una platina rotacional, la cual será manejada por computadora a través del puerto paralelo. El programa de control esta hecho en lenguaje C.

Los objetivos principales de esta tesis son:

- a) Diseñar una tarjeta electrónica para el control del motor de pasos de la platina rotacional.
- b) Construcción de la tarjeta controladora para la platina rotacional.
- c) Elaborar un programa de control por computadora para la platina rotacional.
- d) Utilizar la tarjeta de control en experimentos.

La tesis esta organizada de la siguiente manera: en el **capítulo II** se mencionan los diferentes tipos de platinas, y se describe detalladamente la platina rotacional que utilizaremos, así como su funcionamiento, y los diagramas del circuito de control. En el **capítulo III** se menciona el diseño de la tarjeta controladora, en el cual se explica la manera en que cada uno de los bloques fue diseñado, indicando los componentes seleccionados para llevar a cabo su función. El proceso de construcción de la tarjeta, el diagrama general eléctrico, la tarjeta de circuito impreso, los programas de diseño que se utilizaron para la topología de los componentes y el ensamble de los mismos se explica en el **capítulo IV**. En el **capítulo V** se describen las pruebas realizadas a la tarjeta de control por medio de una computadora personal. Se comprueba el funcionamiento de la platina

mediante un programa escrito en lenguaje C. Además se presentan los resultados de la caracterización de la platina con la tarjeta de control en el laboratorio.

Por último en el **capítulo VI** se presentan las conclusiones de la construcción de la tarjeta, el desarrollo del programa y la puesta a punto de la tarjeta con el programa.

Finalmente se incluye la literatura citada y los siguientes apéndices:

Apéndice 1.- Se presenta la lista de los componentes que forman la tarjeta de control.

Apéndice 2.- Se incluyen las hojas de datos de los circuitos integrados utilizados para el diseño.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

II.1 INTRODUCCIÓN:

En este capítulo, se describe la platina rotacional en forma general, haciendo mayor énfasis en la tarjeta controladora. En la sección II.2 se describe la platina rotacional, partes que la componen y su principio de operación. Una descripción general de la platina de este trabajo de tesis se presenta en la sección II.3. Esta platina puede trabajar en un espacio angular de 360°, alcanzando velocidades máximas de hasta 20°/seg. La platina esta formada por dos subsistemas, los cuales se mencionan a continuación:

- 1.- Subsistema rotacional
- 2.- Subsistema de control

El subsistema rotacional se describe en la subsección II.3.1 y la subsección II.3.2 describe el subsistema de control, que es el objetivo principal de este trabajo de tesis.

II.2 Tipos de platinas:

Las platinas no tienen una sola aplicación en particular, ya que cada una tiene un enfoque específico, por ejemplo podemos mencionar las platinas con aplicación en microscopía de campo cercano, las cuales requieren una exactitud de posicionamiento excepcional, y muy buena confiabilidad. Además para este tipo de aplicaciones se necesita que la muestra con la que se esté trabajando cuente con una adecuada iluminación por la parte posterior, por lo

que este tipo de platinas incluyen un adaptador para conectarse a una fuente de iluminación de fibra óptica.

Por otro lado, otras aplicaciones, especialmente en procesos de fabricación como barrido de posición, acoplamiento de diodos láser a fibras ópticas, y exposición óptica controlada, exigen mayor exactitud de movimiento y velocidad variable.

Debido a lo anterior, no es posible diseñar una platina única, sino que, cada tipo de platina tiene que ser diseñada para cumplir con ciertas características específicas. En lo que resta de esta sección se describe detalladamente la platina rotacional, partes que la integran, así como su principio de operación.

II.3 Platina rotacional:

Como se mencionó al inicio del presente capítulo, cada platina tiene una aplicación en particular en base a sus características de desempeño. La platina rotacional de este trabajo de tesis esta diseñada para trabajar en un espacio angular de 360° . Esta platina tendrá una aplicación en el área de óptica estadística, para el estudio del esparcimiento de luz por superficies rugosas. A continuación se describe el funcionamiento de la platina rotacional, dando mayor importancia a las características de sus partes principales.

La platina rotacional es ideal para aquellas aplicaciones donde se requiere alta precisión de posicionamiento. Esta formada por una base giratoria con alta capacidad de soporte de carga, utilizada para posicionar cualquier tipo de muestra. En ella se encuentran colocados dos interruptores mecánicos de posición, cuya función es delimitar una área específica de trabajo donde estará girando la muestra. La posición de la base puede ser dada por el codificador rotatorio, el cual esta conectado a la flecha del motor. El movimiento de

la base es transmitido por medio de un motor de pasos, que gira 1.8° por paso, alcanzando 200 pasos para girar una revolución o una vuelta completa. Este es controlado por una tarjeta de control para trabajar en forma manual o por computadora.

Existen dos maneras para adquirir un controlador para el manejo de la platina. La primera es diseñarlo y construirlo en un laboratorio y la segunda comprarlo directamente con la compañía que fabrica este tipo de platinas. En el presente trabajo de tesis, se pretende reemplazar el uso del controlador comercial por una tarjeta de control desarrollada en el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), en el departamento de Física Aplicada en el Área de Óptica Estadística. La figura 2 muestra la fotografía de una platina rotacional.

A continuación se hace mención de las partes que forman a la platina rotacional, así como las características de las mismas.

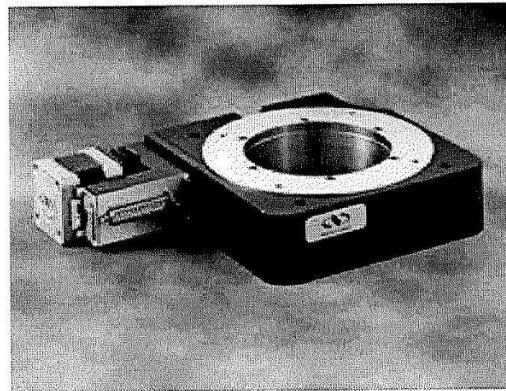


Fig. 2.- Fotografía de una platina rotacional.

II.3.1 Motor de pasos:

El motor de pasos de la platina rotacional, se puede considerar como una parte fundamental de esta, ya que es el encargado de transmitir movimiento a la base giratoria de la platina. Los tres tipos principales de motores de pasos son de magneto permanente, de reluctancia variable e híbrido, para mayor información ver la referencia[2]. La platina rotacional que se utilizó para el desarrollo de este trabajo de tesis, cuenta para su movimiento con un motor de pasos de magneto permanente, el cual se describe a continuación.

Motor de pasos de magneto permanente:

El motor de pasos de magneto permanente consta de cuatro bobinas que, cuando se alimentan en una sucesión adecuada, causa la orientación de un imán permanente, provocando un giro del rotor. Después de que es energizada la cuarta bobina, se repite la sucesión de nuevo, comenzando con la primer bobina. El motor de pasos de magneto permanente esta constituido por un rotor dentado, donde cada diente es un polo del motor, el giro del rotor se realizará en el centro de un estator, el cual esta formado por una serie de bobinas, también conocidas como fases del motor. El mecanismo de control del motor se logra mediante una corriente eléctrica secuencial a través de cada una de las bobinas, y un campo magnético, que dependiendo de su polaridad, atrae o repele los polos del rotor, provocando así el giro del rotor. La figura 3 muestra un motor de pasos de magneto permanente. Los ángulos de paso típicos para estos motores son de 45° y 90° . Estos motores desarrollan alto torque y excelentes características de amortiguamiento.

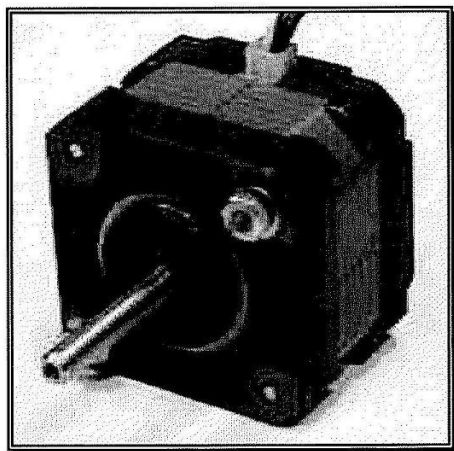


Fig. 3.- Fotografía de un motor de pasos
de magneto permanente.

La tabla I y II, muestran la sucesión de alimentación de corriente en las bobinas cuando el motor gira hacia la derecha o izquierda.

Paso	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4	Rotor
1	Apagada	Apagada	Encendida	Encendida	
2	Apagada	Encendida	Encendida	Apagada	
3	Encendida	Encendida	Apagada	Apagada	
4	Encendida	Apagada	Apagada	Encendida	

Tabla I.- Secuencia de la corriente de alimentación en las bobinas del motor
cuando gira a la derecha.

Paso	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4	Rotor
1	Encendida	Encendida	Apagada	Apagada	
2	Apagada	Encendida	Encendida	Apagada	
3	Apagada	Apagada	Encendida	Encendida	
4	Encendida	Apagada	Apagada	Encendida	

Tabla II.- Secuencia de la corriente de alimentación en las bobinas del motor cuando gira a la izquierda.

Los motores pueden ser usados en muchas aplicaciones donde se necesite controlar el ángulo de rotación, la velocidad, la posición y la sincronización. Algunas de estas incluyen mesas de movimiento X-Y, máquinas herramienta, controles de proceso y robots de función dedicada, tales como máquinas de inserción que toman y colocan el componente, computadoras, impresoras para imágenes de dimensiones grandes, controladores de disco duro, máquinas de fax y muchas más. A continuación se mencionan algunas de las ventajas y desventajas de los motores de pasos incluyendo algunos parámetros importantes.

Ventajas:

- a).- El ángulo de paso es proporcional al pulso de entrada, esto quiere decir que si el tiempo de duración del pulso es grande, el ángulo de paso será mayor.
- b).- Tienen posicionamiento preciso y repetibilidad de movimiento.
- c).- Excelente respuesta al encendido, apagado y reversa.
- d).- Pueden alcanzar velocidades muy bajas de sincronización de rotación con una carga acoplada directamente a la flecha.

Desventajas:

- a).- Las resonancias (vibraciones a determinadas frecuencias) de movimiento pueden ocurrir constantemente si no es controlado correctamente.
- b).- No es fácil de operar a velocidades extremadamente altas.

Operación de lazo abierto:

Una de las mayores ventajas que tienen los motores de pasos es su facilidad para ser controlados exactamente en un sistema de lazo abierto. El control de lazo abierto significa que la información de retroalimentación (señal que regresa desde un proceso controlado para indicar su respuesta a la señal de mando) acerca de la posición no es necesaria. Este tipo de control elimina la necesidad de sensores y dispositivos de retroalimentación tales como codificadores ópticos. Su posición es conocida simplemente tomando los pulsos de paso que son aplicados a la entrada.

Torque:

El torque en un motor de pasos indica la capacidad de fuerza que tiene un motor para mover una carga dada. Este depende de varios factores como son: la razón de paso (pasos que realiza el motor por segundo), la corriente de manejo en las bobinas y el diseño del controlador.

Exactitud del ángulo de paso:

La exactitud del ángulo de paso indica la precisión de movimiento que tiene un motor al girar un paso, típicamente varia de 3% - 5% de un paso. Por mencionar un ejemplo, si el ángulo de paso de un motor es 1.8° , la exactitud del ángulo de paso debería ser, a 4%, alrededor de 0.07° . La exactitud de un motor de pasos depende principalmente de la precisión mecánica de sus partes y ensamble.

Ángulo de paso:

El ángulo de paso en un motor indica el desplazamiento que realizó la flecha a cierto ángulo dado. La relación para conocer el ángulo de paso de un motor esta dada por la siguiente formula:

$$\text{Angulo de paso} = \frac{360^\circ}{\text{Número de pasos por revolución}} \quad (1)$$

Por ejemplo si tenemos un motor que se mueve a 400 pasos por revolución, aplicando la formula (1), se tiene que el ángulo de paso es 0.9° , para más información sobre las características de los motores de pasos ver referencia [3]. La tabla III muestra un estándar

típico de la variedad de ángulos de paso disponibles, razón de paso máxima y número de pasos por revolución.

Pasos por revolución	Ángulo de paso	Razón de paso máximo
400	0.9	1000 pasos por segundo
200	1.8	2000
96	3.75	1000
48	7.5	1000
24	15	600
20	18	500

Tabla III.- Parámetros importantes de los motores de pasos.

Otra de las ventajas que tienen los motores de pasos es de que pueden ser controlados por diferentes modos de operación, los modos más comunes son:

Manejo de paso de onda (1 fase encendida)

Manejo de paso completo (2 fases encendidas)

Manejo de $\frac{1}{2}$ paso (1 y 2 fases encendidas alternadas)

Manejo de micro paso (variando continuamente la corriente en las bobinas del motor).

Para explicar lo anterior nos apoyaremos en las tablas IV y V, utilizando un motor de pasos de magneto permanente de cuatro fases.

Paso	Bobina 4	Bobina 3	Bobina 2	Bobina 1	
1ro	Encendida	Apagada	Apagada	Apagada	
2do	Apagada	Encendida	Apagada	Apagada	
3ro	Apagada	Apagada	Encendida	Apagada	
4to	Apagada	Apagada	Apagada	Encendida	

Tabla IV.- Modo de operación de onda.

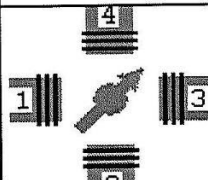
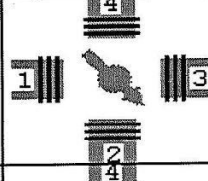
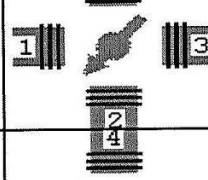
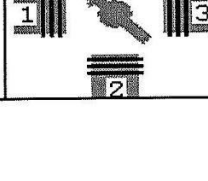
Paso	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4	Rotor
1	Apagada	Apagada	Encendida	Encendida	
2	Apagada	Encendida	Encendida	Apagada	
3	Encendida	Encendida	Apagada	Apagada	
4	Encendida	Apagada	Apagada	Encendida	

Tabla V.- Modo de operación de paso completo.

En el modo de manejo sencillo o de onda solo una bobina es energizada en un tiempo dado. Esta secuencia de excitación produce movimientos finos y exige menor consumo de potencia. Por el contrario en el modo de paso completo se puede observar en la tabla V que cada par sucesivo de bobinas son energizadas al mismo tiempo. En esta secuencia los movimientos no son tan suaves como en el modo de paso sencillo, pero hay mayor consumo de potencia y mayor torque.

Como observación se puede ver en la tabla IV de que la excitación de la bobina 4 es siempre inversa a la excitación de la bobina 2, y la excitación de la bobina 1 es también siempre inversa a la excitación de la bobina 3. El modo de manejo de medio paso combina ambos modos de manejo, el de onda y paso completo. En este modo la secuencia de excitación en las bobinas es 1 y 2 encendidas, es decir, en un paso se energiza una y en el siguiente paso las dos siguientes.

En el modo de manejo de micro paso las corrientes en las bobinas están variando continuamente para poder dividir un paso completo en muchos pasos discretos más pequeños. En general, el diseño del motor de pasos contempla movimiento horario y antihorario, y esto lo determina la secuencia de alimentación de las corrientes en las bobinas. El modo de operación que ejerce el motor de pasos de la platina rotacional es el de paso completo.

II.3.2 Control del motor de pasos:

El principio de operación del motor de pasos se basa en la alimentación secuencial de corriente por una serie de bobinas colocadas alrededor de un rotor con imán permanente. De acuerdo con el cambio de la corriente en cada bobina, y de la secuencia de esta, se producirá el giro del motor en una u otra dirección. Una de las limitantes en la velocidad angular de los motores de pasos es la rapidez con la que cambia la alimentación de corriente en las bobinas, que depende de la velocidad de los transistores encargados de suplir corriente. Tomando en cuenta como debe ser la sucesión de corriente en las bobinas del motor de pasos se procede al diseño de un circuito electrónico que se encargue de esta tarea.

El circuito que desarrolla el control del motor de pasos de la platina giratoria está formado por compuertas lógicas de tipo AND, OR Y *OR EXCLUSIVA*, Flip-Flops, diodos y transistores de potencia (Darlington). A continuación se menciona la lógica de funcionamiento y la tabla de verdad para cada uno de los circuitos mencionados:

Compuerta AND:

Esta compuerta tiene dos variables de entrada y una de salida. Cuando una de las variables de entrada es cero, por lógica la salida es cero. Pero cuando las dos entradas son iguales a uno la salida será uno. En la tabla VI se pueden apreciar los resultados lógicos para ambas combinaciones de entrada.

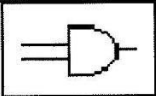
Entrada 1	Entrada 2	Salida	Símbolo
0	0	0	
0	1	0	
1	0	0	
1	1	1	

Tabla VI.- Valores de verdad para la compuerta lógica AND.

Compuerta OR:

Esta compuerta al igual que la anterior, tiene dos variables de entrada y una salida, pero su función lógica es diferente. Cuando una de sus entradas es uno, la salida es uno también y solamente cuando las dos entradas son ceros la salida es cero. La tabla VII muestra la función lógica para esta compuerta.

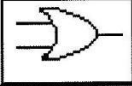
Entrada 1	Entrada 2	Salida	Símbolo
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	1	

Tabla VII.- Valores de verdad para la compuerta lógica OR.

Compuerta OR Exclusiva:

Esta compuerta también tiene dos variables de entrada y una salida. Tendrá una salida igual a uno, únicamente cuando sus dos variables de entradas sean diferentes. Su función lógica se muestra en la tabla VIII.

Entrada 1	Entrada 2	Salida	Símbolo
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	0	

Tabla VIII.- Valores de verdad para la compuerta lógica OR EXCLUSIVA.

Flip-Flop Tipo D:

Este circuito lógico tiene la peculiaridad de guardar un estado específico cuando ocurre una transición de reloj, se puede pensar en él como una memoria. Este tipo de circuito no realiza operación alguna sobre las variables de entrada, pero su salida depende del estado de la entrada como se muestra en tabla IX.

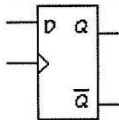
Entrada al tiempo n [t_n]	Salida al tiempo $n + 1$ [t_{n+1}]	Símbolo
D	Q	
0	0	
1	1	

Tabla IX.- Funcionamiento del circuito integrado Flip-Flop.

Transistor de potencia (Darlington):

Este dispositivo se usa para controlar la corriente de alimentación en las bobinas del motor de pasos, ya que la corriente que se necesita para activarlas debe de ser del orden de cientos de mA. Como los circuitos integrados TTL solamente proporcionan una corriente máxima de 25 mA, es necesario la amplificación de ésta mediante el transistor.

II.3.3 Compuertas lógicas:

Desde su introducción los circuitos TTL han sido una familia de componentes digitales muy populares, por su bajo costo, su facilidad para ser usados, por su diversidad de velocidad de operación y por su corriente de salida suficiente para manejar dispositivos.

Actualmente existen varios tipos de familias TTL: los S, H, LS, ALS, FASTTM, etc. Todos son compatibles funcionalmente y pueden ser combinados en un diseño para maximizar la eficiencia. La más famosa es la LS, debido a su bajo costo y su velocidad de operación.

La familia TTL LS combina reducción de potencia y corriente hasta un factor de cinco comparada con los TTL normales, para información consultar referencia [4].

Las características de operación típicas para los circuitos digitales utilizados para este trabajo se presentan en la tabla X.

Características	LS		Unidades
	Símbolo	74LSxxx	
Rango de voltaje de operación	V_{cc}	$5 \pm 5\%$	V_{dc}
Rango de temperatura de operación	T_A	0 a 70	$^{\circ}C$
Corriente de entrada	I_{IH}	20	μA
	I_{IL}	-400	mA
Corriente de salida	I_{OH}	-0.4	mA
	I_{OL}	8.0	mA
	I_{SC}	-20 a -100	mA
Salida reforzada	I_{OH}	-15	mA
	I_{OL}	24	mA
	I_{SC}	-40 a -225	mA
Tiempo de propagación	t_p	9.0	ns
Frecuencia de reloj	f_{max}	40	MHz
Potencia	P_G	2.0	mW

Tabla X.- Rango de trabajo para la familia de circuitos TTL LS.

II.3.4 Codificador:

El codificador es un dispositivo electromecánico que puede ser conectado a la flecha del motor para producir una serie de pulsos digitales que indiquen la posición de esta. Está constituido por un disco con un patrón impreso; conforme el disco gira, cierra y abre un circuito. Mientras más ciclos de cierre y apertura haga por revolución, mejor es la resolución. Las señales de salida del codificador pueden usarse para impulsar un indicador de velocidad o de posición, etc. Una ilustración de un codificador se muestra en la figura 4.

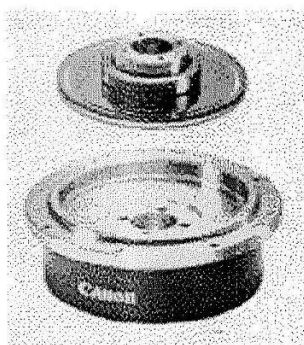


Fig. 4.- Fotografía de un codificador rotatorio.

II.3.5 Interruptores de límite:

Un interruptor de límite es un dispositivo electromecánico que abre o cierra un circuito cuando un parámetro, como la corriente, la potencia, el voltaje o la iluminación, alcanzan un valor predeterminado, ya sea que lo alcance al ir por abajo o al ir por arriba. Por ejemplo un interruptor de máxima de circuito (fusible) es una forma de interruptor de límite que se activa por exceso de corriente en un circuito.

La platina rotacional cuenta con dos interruptores de limite para seleccionar el espacio angular de trabajo para la muestra.

II.3.6 Conector DB2 hembra de 25 terminales:

La función del conector DB2 de la platina rotacional, es lograr la comunicación de control de la tarjeta sobre el motor de pasos, a través de las terminales 1 (fase 1), 3 (fase 2), 5 (fase 3), y 7 (fase 4), además de las terminals 9 y 11 para energizar el motor de pasos de la platina.

II.4 Descripción general de la platina rotacional:

Como se mencionó en la sección II.2 del presente capítulo, cada platina tiene una aplicación en particular basándose en sus características de desarrollo. La platina de este trabajo de tesis, es una variación de las platinas lineales únicamente por el tipo de movimiento que realizá. Esta diseñada para trabajar en un espacio angular de 360° y su principal aplicación será en óptica estadística para el estudio de la luz esparcida por superficies rugosas. En la figura 5 se muestra el diagrama de operación de la platina rotacional. Los dispositivos periféricos con los que trabaja son: una computadora personal 486 DX, utilizada para el control por computadora y una tarjeta electrónica que es la encargada de manipular la platina en forma manual o por computadora, y además de suministrar los voltajes para el motor de pasos de la platina, y para la misma tarjeta mediante de un regulador de voltaje. La platina esta dividida en dos subsistemas, los cuales son los siguientes:

- 1.- Subsistema rotacional
- 2.- Subsistema de control

Los dos subsistemas se muestran en el diagrama a bloques de la figura 6.

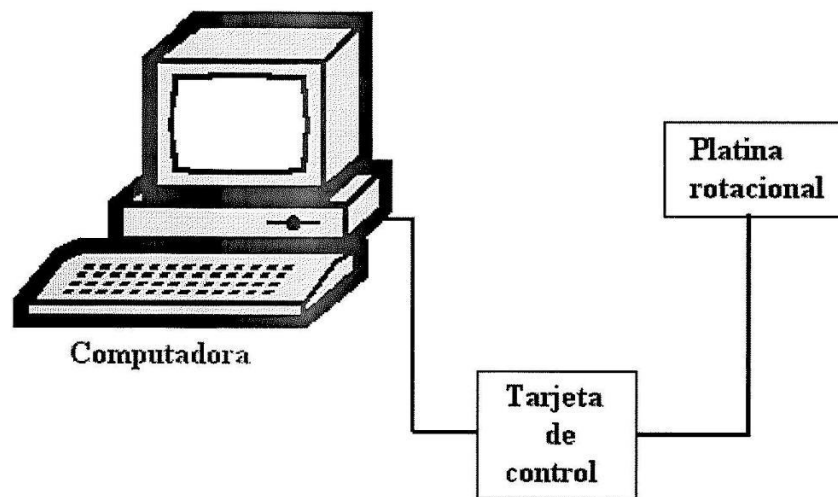


Fig. 5.- Diagrama de operación de la platina rotacional.

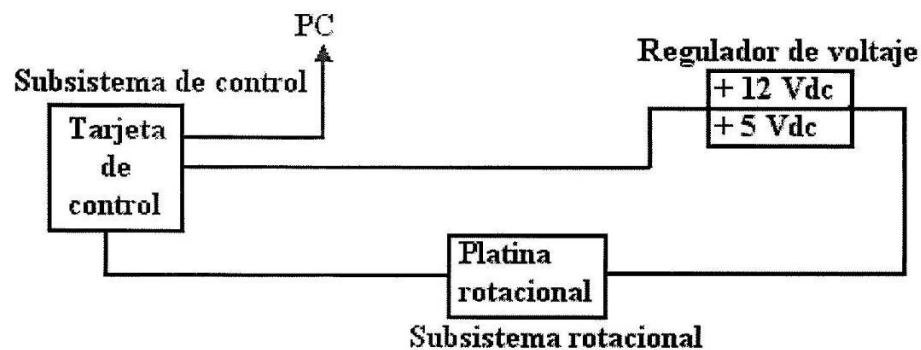


Fig. 6.- Diagrama a bloques de la platina.

El funcionamiento de cada uno de los subsistemas es el siguiente:

1).- El subsistema rotacional, tiene la función de hacer girar la base de la platina en ambos sentidos, la cual se utilizará para colocar una muestra u objeto. El movimiento de giro es transmitido por un motor de pasos, el cual está integrado en el mismo subsistema. Este subsistema se describe de manera detallada en la subsección II.4.1.

2).- El subsistema de control, es el encargado de controlar el sentido de giro de la base de la platina en forma manual o por computadora y además de proveer el voltaje de

alimentación del motor de la platina y la circuitería de la tarjeta. Este subsistema se describe detalladamente en la subsección II.4.2.

La forma en que reciben y entregan las señales cada uno de los subsistemas, se explica con mas detalle en las siguientes subsecciones.

II.4.1 Subsistema rotacional:

El subsistema rotacional, está constituido por componentes y dispositivos electromecánicos, que permiten el movimiento de giro de la base y el control preciso de movimiento de esta misma. En particular, este subsistema se muestra en la figura 7, y está compuesto por una base giratoria, un motor de pasos, un codificador rotatorio, dos interruptores de limite mecánico y un conector DB2 hembra de 25 terminales. A continuación se describe la forma como trabajan todos estos elementos en conjunto.

La base giratoria es usada para colocar la muestra, de la cual se pretende conocer sus características y propiedades físicas para darle alguna aplicación. El espacio angular de trabajo para la muestra se selecciona mediante los dos interruptores de límite desde un rango 0° a 360° . El movimiento giratorio de la base es transmitido por el motor de pasos, el cual se encarga de convertir los pulsos digitales en movimiento mecánico de rotación. La posición angular de este movimiento puede ser indicado por el codificador a través del puerto paralelo. El sentido de giro de la platina depende de la secuencia de pulsos que llegan a las bobinas del motor, transmitidos por el conector DB2.

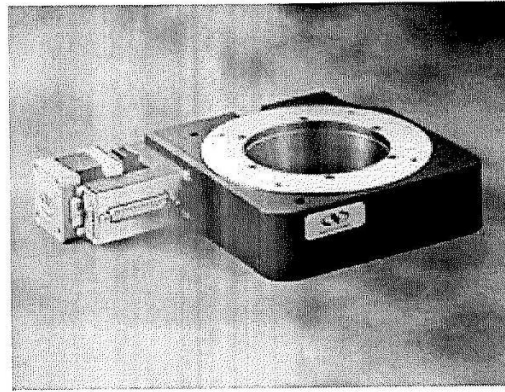


Fig. 7.- Fotografía del subsistema rotacional.

II.4.2 Subsistema de control:

En esta sección, se describe el subsistema de control, que representa la parte digital de la platina. Esta parte se encarga de controlar el movimiento de giro en ambos sentidos de la platina, ya sea en forma manual o por computadora. Este subsistema esta integrado por:

- 1.- Tarjeta de control.
- 2.- Interfaz vía puerto paralelo DB1.
- 3.- Interfaz vía platina rotacional DB2.
- 4.- Regulador de voltaje.

El diagrama a bloques del subsistema de control se ilustra en la figura 8. En la siguiente subsección se describe la tarjeta de control, que es la parte esencial de este trabajo de tesis.

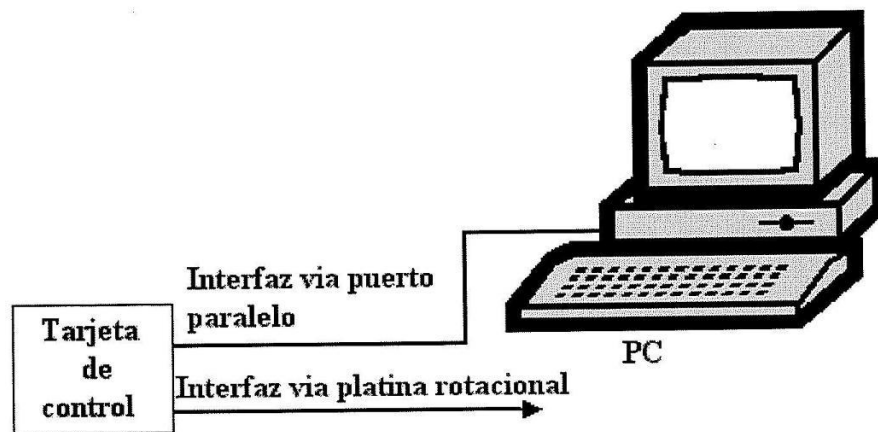


Fig. 8.- Diagrama a bloques del subsistema de control.

II.4.2.1 Tarjeta de control:

El desarrollo de la tarjeta de control es el propósito de este trabajo de tesis. Mediante esta tarjeta es posible controlar el movimiento de la platina en forma manual o por computadora. La tarjeta de control esta formada por 7 circuitos integrados, 11 resistencias, 9 capacitores, 2 interruptores, un conector DB3 hembra de 25 terminales para el puerto paralelo, y otro conector DB4 para la platina rotacional, y un regulador de voltaje. Todos estos elementos están comprendidos dentro de una área de (13) cms. de largo por (10) cms. de ancho. En la figura 9 se muestra el diagrama a bloques de la tarjeta de control y el sentido de transmisión de cada señal. A partir de esta figura, se describe el funcionamiento de la tarjeta de control.

Como se mencionó anteriormente, mediante la tarjeta se tienen dos formas de control sobre la platina rotacional, manual o por computadora. El control manual se realizará por medio de dos interruptores, uno para que la platina gire a la derecha y el otro para que gire a la izquierda. Al oprimir cualquiera de los dos interruptores, son generadas tres señales, las cuales son la siguientes: una señal de dirección para controlar el sentido de rotación de la

base de la platina, una señal de reloj para generar pulsos digitales y una señal de habilitación para acoplar el control de la platina en forma manual o por computadora. Estas tres señales viajan hasta un acoplador, el cual es el encargado de realizar el cambio de control de manual por computadora o viceversa. Luego las señales de dirección y de reloj, pasan a una etapa de circuitería lógica o lo que es el circuito direccionador de pulsos, para direccionar los pulsos digitales hasta la etapa de amplificación. La función de la etapa de amplificación es compensar o reforzar las señales que llegan débiles. Después de que las señales son reforzadas viajan hacia el circuito manejador del motor de pasos para enviar los pulsos digitales a las bobinas del motor.

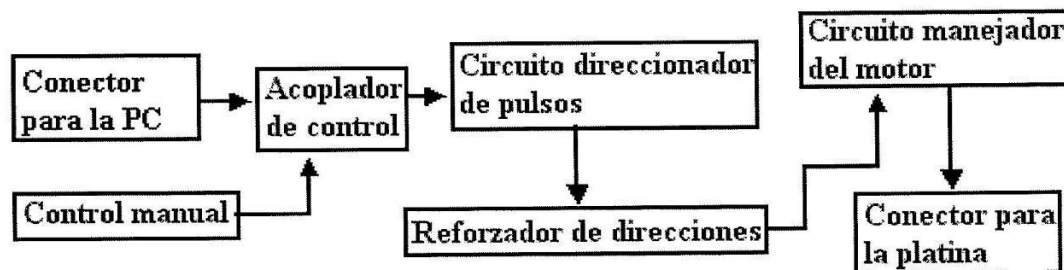


Fig. 9.- Diagrama a bloques de la tarjeta de control.

La función de las dos interfaces o conectores integrados en la tarjeta es la siguiente: el conector DB3 hembra de 25 terminales se usa para enviar las tres señales de control por computadora y el conector DB4 para transmitir los pulsos digitales al motor de pasos. La función del regulador de voltaje es proporcionar el suministro de energía para activar la tarjeta de control y la platina rotacional. Los voltajes proporcionados por el regulador son:

- a) + 5 V para el subsistema de control
- b) + 12 V para el motor de la platina.

En la figura 10, se muestra el diagrama del regulador de voltaje.

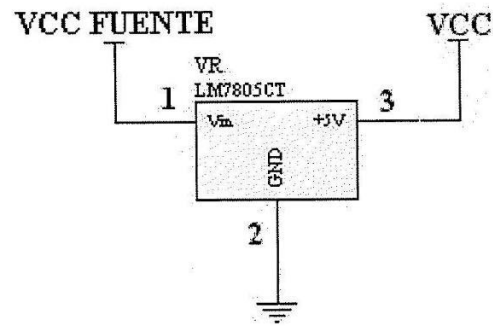


Fig. 10.- Diagrama del regulador de voltaje.

En este capítulo se ha hecho una descripción general de las partes que integran a la platina rotacional, así como la función en particular que realizará cada bloque que forma el diagrama de la tarjeta de control. El siguiente capítulo trata específicamente del diseño de la tarjeta de control como objetivo principal de este trabajo de tesis.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL

III.1 INTRODUCCIÓN:

En el capítulo anterior se mencionó el funcionamiento de la tarjeta de control, en el presente capítulo se describe el diseño de la tarjeta dividida en 7 bloques, como lo muestra la figura 11.

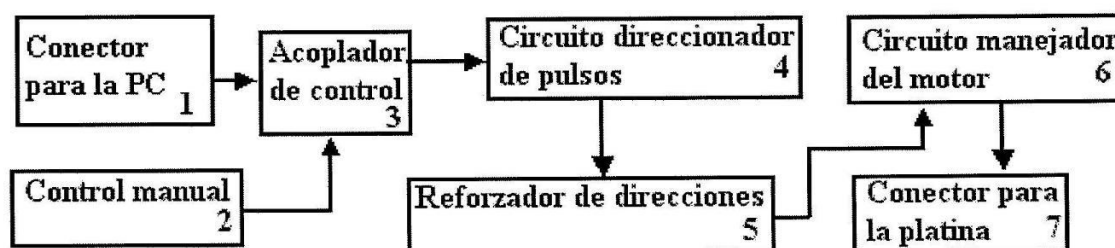


Fig. 11.- Diagrama de los siete bloques de la tarjeta de control.

En la sección III.2 se da una breve descripción de los bloques de la tarjeta de control. La subsección III.2.1 presenta las características del conector DB3 para la PC; utilizado para la comunicación entre la computadora y la tarjeta de control. En la subsección III.2.2 se mencionan los componentes que forman el control manual, y la forma como se realizó la conmutación entre el control manual y la computadora en la subsección III.2.3. La subsección III.2.4 explica la forma como se direccionan los pulsos digitales, a través del circuito direccionador de pulsos. La función del circuito amplificador de corriente o reforzador, se explica en la subsección III.2.5, el circuito manejador para el motor de pasos se explica en la subsección III.2.6, y por último en la subsección III.2.7 se presenta el

conector DB4 para la comunicación entre la tarjeta y la platina, por el cual se transmiten los pulsos a cada bobina del motor.

III.2 Bloques básicos de la tarjeta de control:

El diseño de la tarjeta de control se divide en siete bloques, para entender mejor el funcionamiento de la misma. La mayoría de los componentes y circuitos integrados que la forman son muy usados y fáciles de adquirir. Los siete bloques que forman el circuito general de la tarjeta de control son:

- 1).- Conector para la PC.
- 2).- Control manual.
- 3).- Acoplador de control.
- 4).- Circuito direccionador de pulsos digitales.
- 5).- Reforzador de direcciones / datos.
- 6).- Circuito manejador del motor de pasos.
- 7).- Conector para la platina.

A continuación se explica de manera detallada, como se diseño cada bloque y la interconexión entre componentes y circuitos integrados.

III.2.1 Conector para la PC:

La comunicación entre la computadora y la platina rotacional se realizará a través del puerto paralelo, operando en configuración bidireccional, para permitir la entrada y salida de datos. El puerto paralelo es un medio comúnmente utilizado para hacer interfaces de experimentos en los cuales no se requieran accesos muy rápidos. El puerto paralelo cuenta con un conector DB1 hembra de 25 terminales, situado en el reverso de la computadora. La

figura 12 a, muestra el diagrama a bloques del control por computadora y la fotografía 12 b muestra las terminales que forman el conector para el puerto paralelo, así como la función de cada terminal.

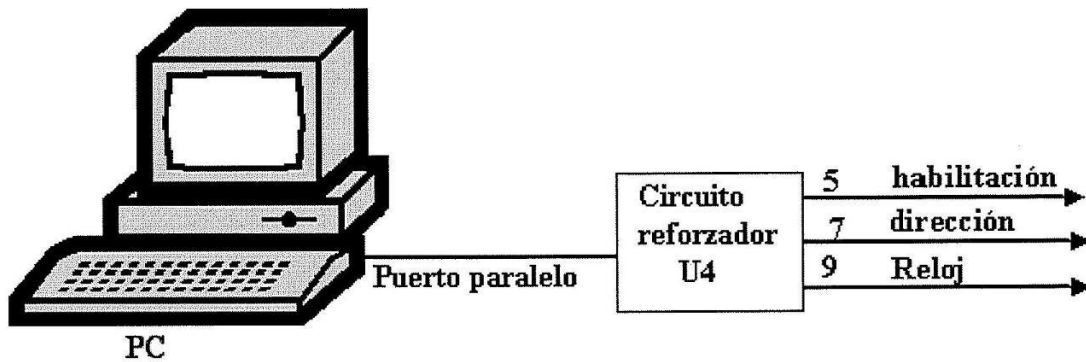


Fig. 12 a.- Diagrama a bloque del control por PC.

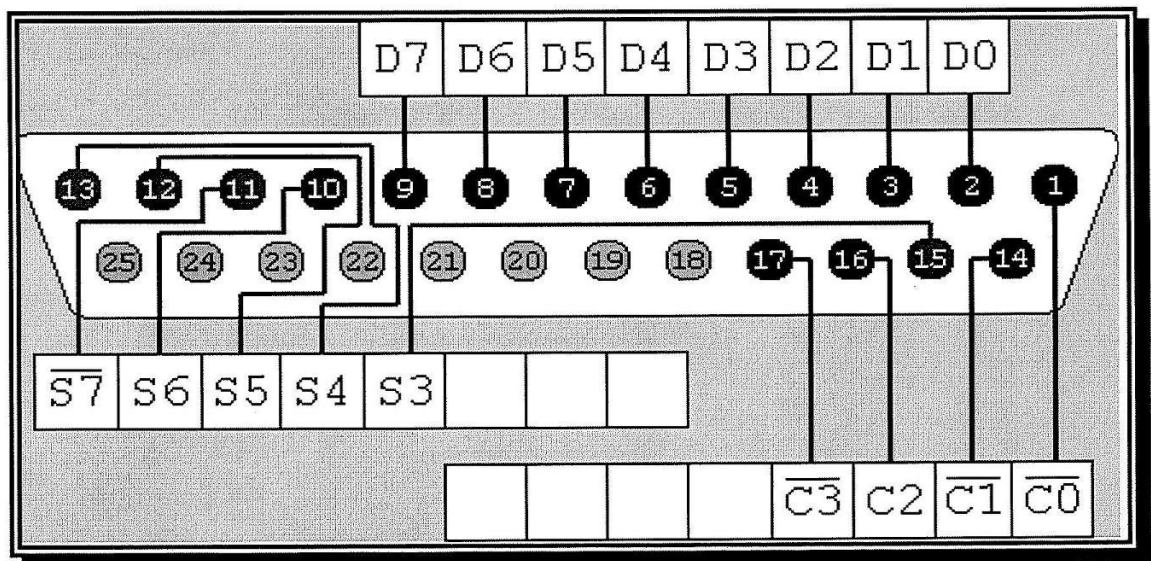


Fig. 12 b.- Diagrama de la función de las terminales del conector del puerto paralelo.

El propósito del control de la tarjeta por computadora, es que mediante un lenguaje de programación, se puede manejar la platina a través de “software”, lo cual permite tener una variedad de velocidades de giro. Para este trabajo de tesis se utilizó un programa de “software” escrito en lenguaje C para controlar el movimiento de rotación de la platina a través del puerto paralelo. Para el control de la platina se utilizan las terminales 2, 3 y 4 del

puerto paralelo, conectadas al circuito reforzador U4, cuya función de cada terminal es la siguiente: la terminal 2 esta conectada a la terminal 11 de entrada del circuito U4 para los pulsos digitales, la terminal 3 del puerto paralelo se conecta a la terminal 13 de entrada para la dirección de giro de la platina y la terminal 4 del puerto paralelo se conecta a la terminal 15 del circuito U4 para habilitar el control por computadora. Por lo tanto las terminales 9, 7 y 5 de salida del circuito U4 son utilizadas para enviar las tres señales del control por computadora.

III.2.2 Control manual:

La función de este circuito, es controlar el movimiento de giro de la platina manualmente, generando las mismas señales de control que se generan cuando se tiene el control por computadora. Para ello se utilizan las compuertas lógicas U7A, U7B, U5A, U6A, U7C y el circuito generador de pulsos U1. Además, dos interruptores (SW1 y SW2), dos diodos emisores de luz (DE4 y DE5), dos resistencias de $330\ \Omega$ (R10 y R11) y dos de $2200\ \Omega$ (R12 y R13), un diodo rectificador (DR5) y un capacitor (C9). El circuito integrado U1 es un generador de pulsos digitales, los cuales se envían por la terminal 3 de salida a la terminal 2 de entrada de la compuerta U6A. La función de las compuertas U7A y U7B, es invertir los datos de entrada, es decir, si a la entrada de cualquier compuerta hay un cero, a la salida habrá uno y viceversa. La U5A es una compuerta lógica *EX-OR* de dos entradas y una salida, y la U6A es una compuerta *AND* de dos entradas y una salida. La función de los interruptores SW1 y SW2 es girar la base de la platina en ambas direcciones, el interruptor SW1 esta conectado a un arreglo de un diodo emisor de luz (DE4) con una resistencia de $330\ \Omega$ (R10), y el SW2 al diodo emisor de luz (DE5) con la resistencia de $330\ \Omega$ (R10),

con la finalidad de indicar cual de ellos esta activado. La función de las resistencias R12 y R13 es proteger la circuiteria de algún exceso de corriente. Y la función del diodo rectificador (DR5) es evitar corrientes parásitas de regreso hacia el control manual. Por último el capacitor C9 se usa como un circuito integrador, para que siempre mantenga un estado bajo o cero, mientras que la tarjeta trabaje en forma de control manual.

La manera como funcionan todas las compuertas en conjunto con los componentes es la siguiente: al oprimir el interruptor SW1, se genera una señal de dirección con un estado activo bajo, con la cual la platina realiza un movimiento de giro a la derecha. Esta misma señal viaja hasta la terminal 5 de entrada de la compuerta U5B y a la terminal 1 de entrada de la compuerta U7A. Mientras que el interruptor SW1 mantiene un estado bajo, el interruptor SW2 conserva un estado alto, por no estar habilitado. Como el interruptor SW1 esta activado, en la terminal 2 de salida de la compuerta U7A hay un uno, y en la salida de la terminal 4 de la compuerta U7B un cero. La salida de estas compuertas viajan a las terminales 1 y 2 de la compuerta U5A, generando una salida igual a uno. Después esta señal viaja hasta la terminal 1 de entrada de la compuerta U6A junto con la señal de reloj del generador de pulsos a la terminal 2 de entrada de esta misma compuerta. Como resultado, la combinación de estas dos señales, generan la señal de reloj, la cual se transmite a la terminal 10 de la compuerta U5C y a la terminal 5 de la compuerta inversora U7C, con la finalidad de generar la señal de habilitación con un estado bajo. La función del diodo DR5, es evitar corrientes parásitas de regreso a la circuiteria, y la del capacitor mantener siempre un cero en la terminal 13 de entrada de la compuerta U5D, mientras la tarjeta se encuentre en forma manual.

Ahora si se oprime el interruptor SW2, sucederá la misma lógica explicada anteriormente, pero el único cambio que habrá será en el sentido de giro de la platina.

La función de los diodos emisores de luz DE4 y DE5, es encender al momento de que se oprima cualquiera de los dos, para indicar cual de ellos esta activado. La figura 13 muestra la circuiteria que forman al bloque del control manual.

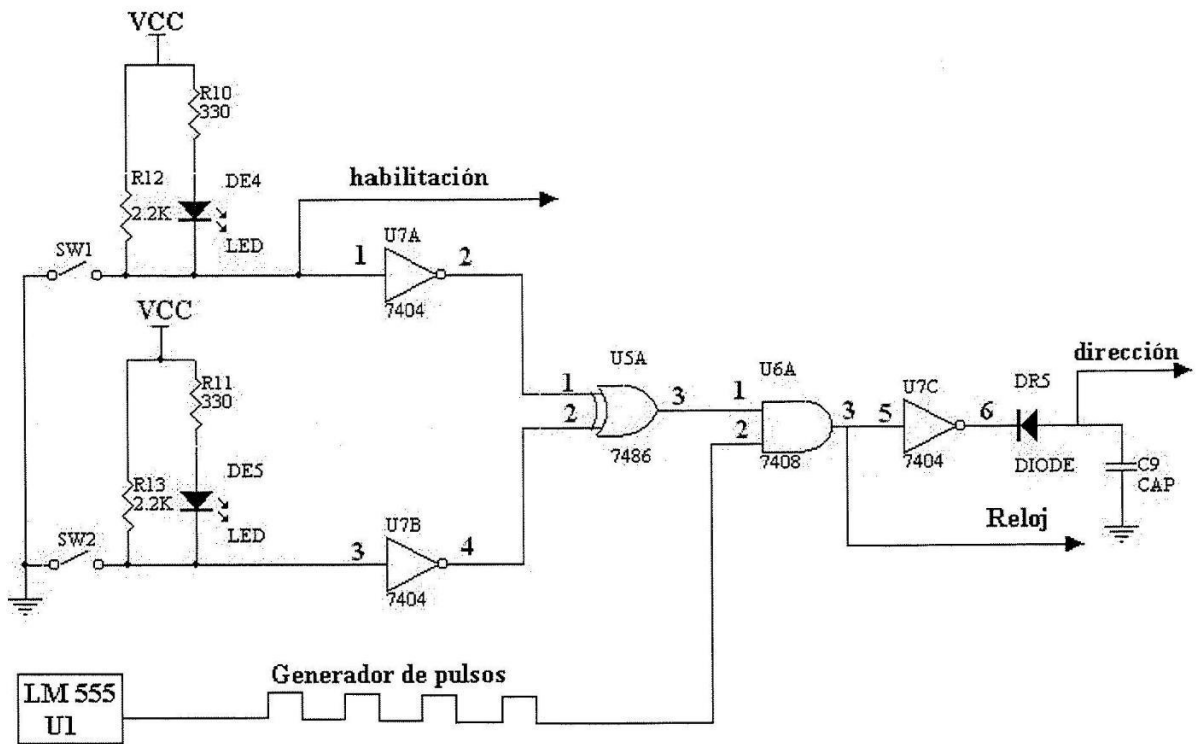


Fig. 13.- Diagrama a bloques del control manual.

III.2.3 Acoplador de control:

El acoplador de control esta formado por las compuertas lógicas *EX-OR* U5B, U5C y U5D, cuya función es acoplar las tres señales requeridas para que la platina funcione en forma manual o por computadora. Para ello se conecta la terminal 7 de salida del U4 a la terminal 4 de entrada de la compuerta U5B y la terminal 1 de la U7A a la terminal 5 de esta misma compuerta, que corresponden a las señales de dirección de ambos controles. Después se conecta la terminal 3 de salida de la compuerta U6A a la terminal 10 de la compuerta U5C

y la terminal 9 del U4 a la terminal 9 de esta compuerta. Estas terminales corresponden a las señales de reloj. Por último la terminal positiva del diodo DR5 se conecta a la terminal 13 de la U5D, y la terminal 5 del U4 a la terminal 12 de esta misma compuerta, para generar la señal de habilitación. Cabe mencionar que cuando la platina es controlada por cualquiera de las dos formas de control, solamente una de ellas esta activada. Para mencionar un ejemplo práctico del funcionamiento de este bloque, nos auxiliaremos en la tabla XI, que es la lógica de control de las compuertas *EX-OR*.

Entrada 1	Entrada 2	Salida
A	B	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Tabla XI.- Lógica binaria de los circuitos lógicos *EX-OR*.

Considerando que el control de la platina está en forma manual, al oprimirse el interruptor SW1, se generan tres señales de control, las cuales viajan hasta las entradas 5, 10 y 13 de las compuertas U5B, U5C y U5D. La señal de dirección se transmite a la entrada 5 de la compuerta U5B con un estado activo bajo (cero), la señal de reloj a la entrada 10 de la compuerta U5C con un estado activo alto (uno) también y la señal de habilitación a la terminal 13 de entrada de la compuerta U5D con un estado igual a cero. Como el control por computadora esta deshabilitado, las otras entradas de estas compuertas reciben un

estado igual a cero. Por lo tanto la combinación de los estados lógicos de estas compuertas, producen un movimiento de giro a la derecha, como se observa en la tabla XII.

Ahora si se oprime el interruptor SW2, la única señal que cambia es la de dirección, tomando un estado igual a cero, haciendo que la platina gire a la izquierda como se muestra en la tabla XIII.

Entrada	Entrada	Salida	Entrada	Entrada	Salida	Entrada	Entrada	Salida
4	5	U5B	9	10	U5C	12	13	U5D
0	0	1	0	1	1	0	0	0

Tabla XII.- Estado lógico de las compuertas cuando la platina gira a la derecha.

Entrada	Entrada	Salida	Entrada	Entrada	Salida	Entrada	Entrada	Salida
4	5	U5B	9	10	U5C	12	13	U5D
0	1	1	0	1	1	0	0	0

Tabla XIII.- Estado lógico de las compuertas cuando la platina gira a la izquierda.

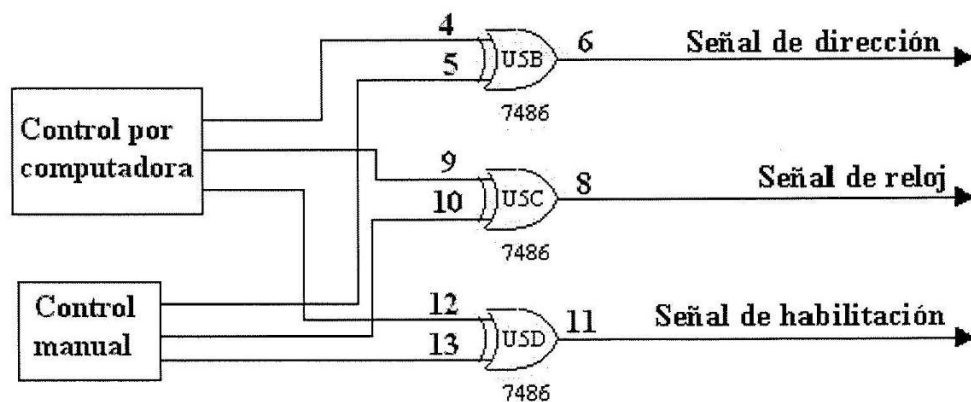


Fig.14.- Diagrama del acoplador de control.

III.2.4 Circuito direccionador de pulsos:

El circuito direccionador esta formado por las compuertas lógicas *EX-OR* U2A y U2B y los circuitos integrados Flip-Flop U3A y U3B como lo muestra la figura 15. Su función es direccionar los pulsos a las bobinas del motor de pasos de la platina de acuerdo a una secuencia de giro. La conexión entre estos componentes es la siguiente, la terminal 6 de salida (señal de dirección) de la compuerta U5B se conecta a la terminal 1 de entrada de la U2A y a la terminal 4 de entrada de la compuerta U2B y la terminal 8 de salida (señal de pulsos digitales) de la compuerta U5C a las terminales de entrada 3 y 11 de los circuitos U3A y U3B. Después la terminal 2 de entrada de la compuerta U2A se conecta a la terminal 9 de salida del U3B y la terminal 5 de entrada de la compuerta U2B a la terminal 6 de salida del circuito integrado U3A. Por lo tanto las terminales 5, 6, 9 y 8 de los circuitos U3A y U3B, son utilizadas para direccionar los pulsos a las bobinas del motor, a través de las terminales de salida 18, 16, 14 y 12 del circuito U4.

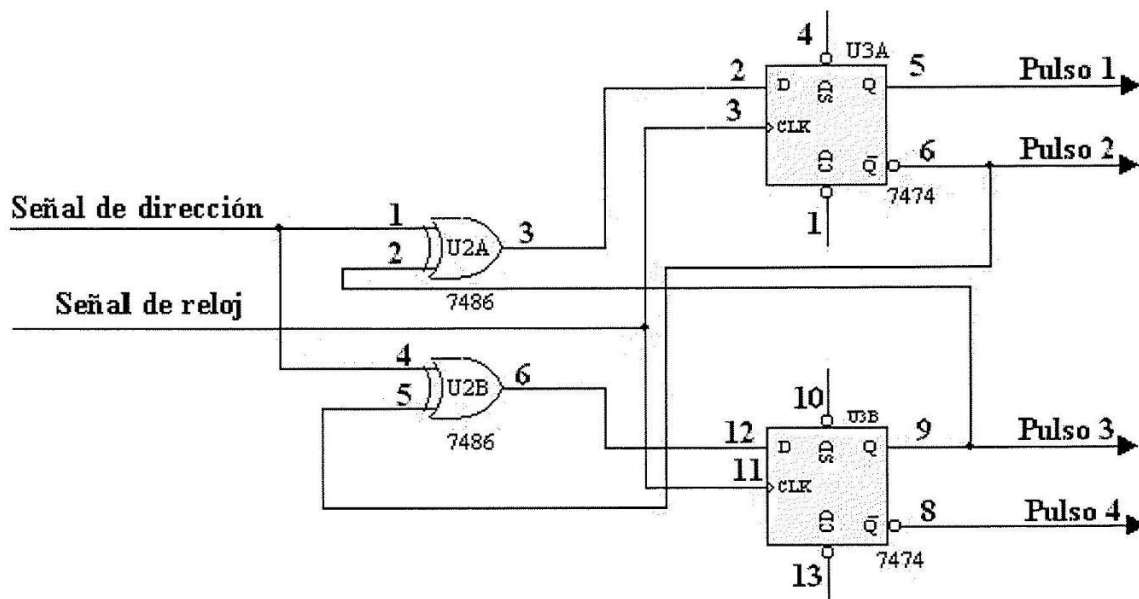


Fig.15.- Diagrama del circuito direccionador.

III.2.5 Reforzador de direcciones / datos:

Como se mencionó anteriormente, la función del circuito reforzador o amplificador de corriente, es reforzar las señales de direcciones / datos (terminales multicanalizadas 1A1-1A4, y 2A1-2A4), para permitir la transmisión y recepción de datos (terminales multicanalizadas 1Y1-1Y4, y 2Y2-2Y4) ya sea, cuando la platina este en forma manual o por computadora. La dirección del flujo de información se establece a través de las terminales 1 y 19 con un estado activo bajo.

Por mencionar un ejemplo, si se quiere controlar la platina en forma manual, se necesita que la dirección de la información fluya de izquierda a derecha, esto se logra poniendo a cero la terminal 1 de habilitación del circuito U4. En este caso la información (pulsos digitales) viajará por las terminales de entrada (1A1-1A4) hacia las terminales de salida (1Y1-1Y4), las cuales están conectadas a la misma circuiteria lógica requerida para que los pulsos digitales lleguen hasta el motor de la platina. Cabe aclarar que cuando el control de la platina es por computadora se utilizan las terminales de entrada 11, 13 y 15 únicamente, para mandar las tres señales de control por computadora y la terminal 19 para habilitar la dirección del flujo de información. Pero los pulsos viajan por la misma dirección mencionada anteriormente. La figura 16 muestra el diagrama del circuito reforzador de direcciones / datos.

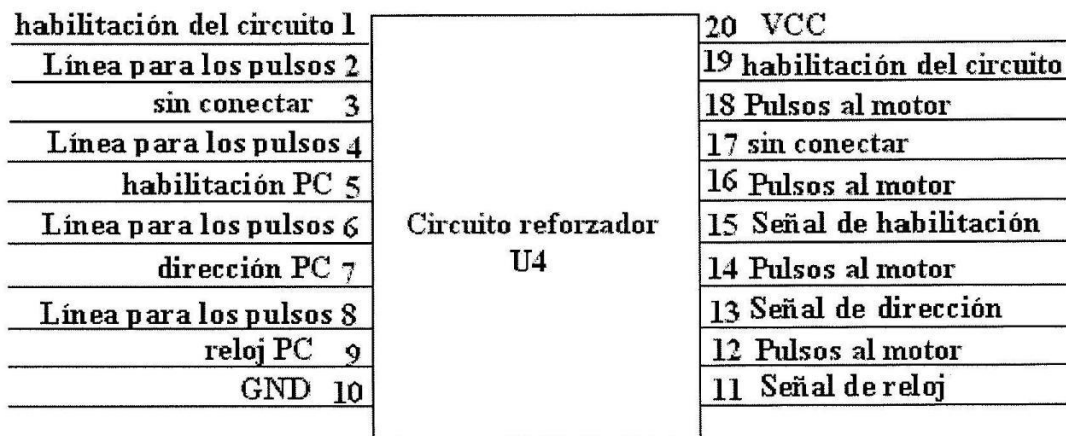


Fig. 16.- Diagrama a bloques del circuito reforzador.

III.2.6 Circuito manejador del motor de pasos:

Su función es controlar el movimiento de giro de la platina, a través del motor de pasos, dependiendo del sentido de giro que le transmita el circuito direccionador. Este circuito está formado por cuatro transistores de potencia (T1, T2, T3 y T4), cuatro diodos rectificadores (DR1, DR2, DR3 y DR4) y cuatro resistencias (R3, R4, R5 y R6). El motor de pasos utilizado es el UE62PP con seis terminales de salida. El motor avanza 200 pasos por revolución (1.8 grados por paso) cuando se utilizó una secuencia de cuatro-pasos.

Los transistores de potencia se conectan a las cuatro líneas que corresponden a las bobinas del motor como se muestra en la figura 17. Estos funcionan como interruptores para direccionar la secuencia de pulsos que llegan a las bobinas. El estado de cada interruptor se muestra en la tabla XIV.

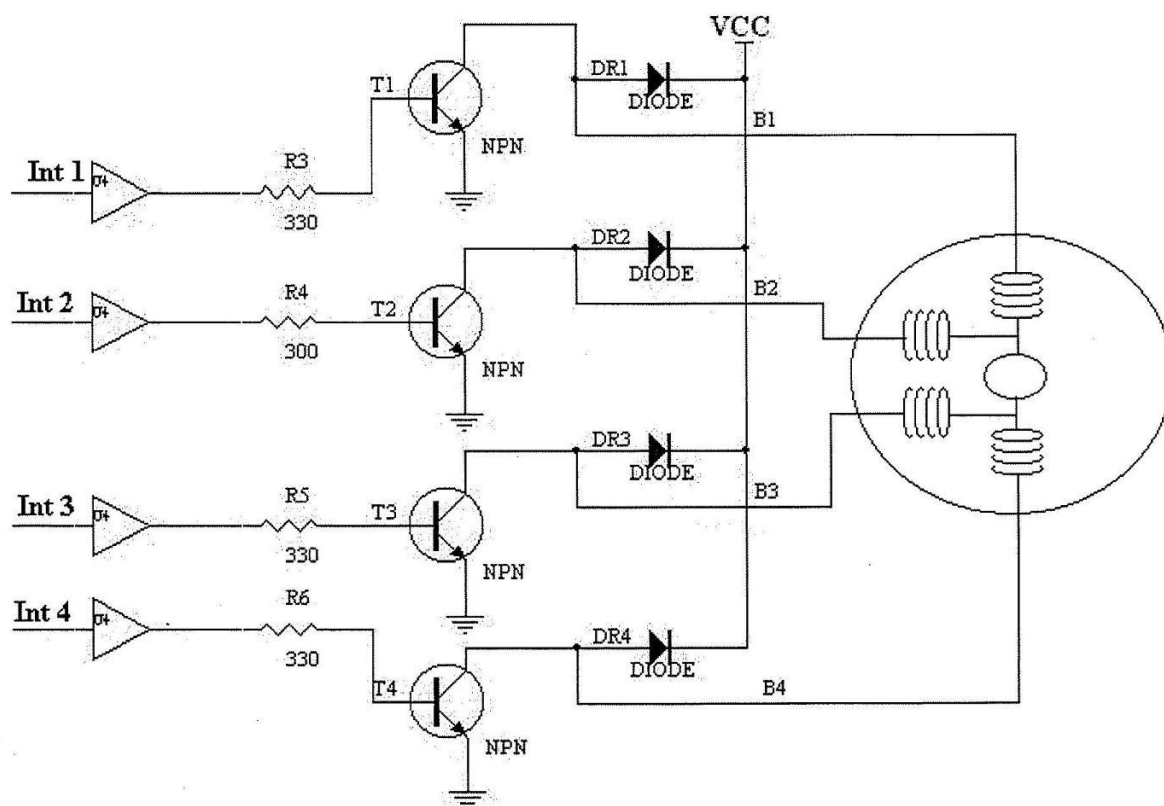


Fig.17.- Diagrama del circuito manejador del motor de pasos.

Paso	Interruptor 1	Interruptor 2	Interruptor 3	Interruptor 4
1 ^{ro}	Encendido	Encendido	Apagado	Apagado
2 ^{do}	Apagado	Encendido	Encendido	Apagado
3 ^{ro}	Apagado	Apagado	Encendido	Encendido
4 ^{to}	Encendido	Apagado	Apagado	Encendido

Tabla XIV.-Estado de cada interruptor.

Los voltajes transitorios son niveles de voltaje no deseados que se generan en el momento en que la corriente circula a través de las bobinas cuando el motor se encuentra en movimiento. Estos voltajes pueden causar fallas de operación y daños en el motor o componentes del circuito manejador del motor.

Para reducir estos voltajes de transición a un nivel deseado, se utilizaron resistencias de 300Ω $\frac{1}{2}$ Watt, y diodos de protección en cada una de las terminales de los colectores de cada transistor.

III.2.7 Conector para la platina:

La función del conector DB4, es permitir la transmisión de los pulsos digitales que viajan del circuito manejador al motor de la platina. Las terminales utilizadas para el direccionamiento de los pulsos son: terminal 1 (fase 1), terminal 3 (fase 2), terminal 5 (fase 3), terminal 7 (fase 4) y las terminales 9 y 11, utilizadas para energizar el motor de la platina. La figura 18 muestra la fotografía del conector DB4.

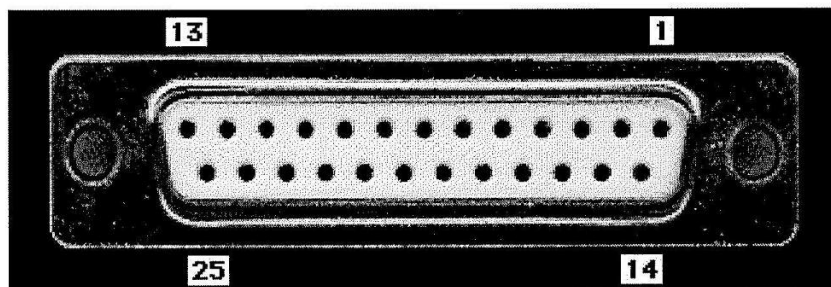


Fig. 18.- Fotografía del conector para la platina.

El análisis del diseño de la tarjeta de control es una parte importante, ya que de este depende todo el proceso para realizar la construcción de la tarjeta de una manera satisfactoria, además de poder corregir cualquier error en el momento del diseño.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL

IV.1 INTRODUCCIÓN:

Una herramienta indispensable para el diseño de circuitos electrónicos y construcción de circuitos impresos es la computadora. El diseño del diagrama general y la construcción del circuito impreso de la tarjeta de control se realizó mediante una computadora personal 486 DX. En este capítulo se presenta la utilización de programas de diseño para la topología de circuitos integrados y componentes de la tarjeta. Además se incluye el programa de diseño **Protel Electronic Design** para el circuito esquemático de la tarjeta de control, diagrama general eléctrico, así como la distribución de los componentes. Este capítulo también abarca el programa de diseño para el circuito impreso PCB, para hacer los dos lados de la tarjeta (lado de componentes y soldadura). Así como la elaboración física de la tarjeta de circuito impreso y el ensamble de los circuitos integrados y componentes de la misma.

IV.2 Diseño de la tarjeta de control por computadora:

La utilización de programas por computadora es una herramienta muy útil y confiable para el diseño de circuitos electrónicos, para diferentes tamaños y pistas en ambos lados. Actualmente, existen en el mercado una gran variedad de paquetes de diseño de circuitos, desde un fácil manejo, hasta programas mas sofisticados, tales como PS Spice, Workbench, OrCAD/PCB, entre otros. La tarjeta de este trabajo de tesis, fue desarrollada de manera sencilla con el paquete de diseño de circuitos Protel Electronic Design.

Las siguientes subsecciones, describen las características de los programas de diseño, así como los pasos realizados para el desarrollo de la tarjeta de control.

IV.2.1 Programa de diseño Protel:

El diagrama general de la tarjeta de control, se desarrolló con el programa mencionado anteriormente. Es un paquete muy sencillo de manejar, pero muy completo y flexible para realizar circuitos esquemáticos, ver referencia[5]. Un menú completo de instrucciones, facilita su uso para crear, editar, almacenar e imprimir circuitos electrónicos esquemáticos. Dicho programa esta desarrollado para funcionar en computadoras personales IBM y sistemas compatibles, y cuenta con la capacidad para trabajar con impresoras.

Este paquete cuenta con mas de 75 bibliotecas de los dispositivos utilizados más comúnmente en la industria. Estas bibliotecas incluyen circuitos integrados TTL, CMOS, micropocesadores, memorias y dispositivos periféricos, entre otros.

El diagrama general de la tarjeta de control se muestra en la figura 19. A partir de este diagrama, se generó el archivo MARTÍN, el cual cuenta con toda la información de las interconexiones entre circuitos integrados y componentes de la tarjeta.

IV.2.2 Programa de diseño PCB:

El diseño del circuito impreso se realizó mediante el programa de diseño de circuitos impresos Protel Electronic Design. Su facilidad de uso, permite realizar circuitos impresos sencillos y con configuraciones electrónicas complejas. Mediante el archivo TESIS DE MARTÍN, se concluyó el circuito impreso de los dos lados de la tarjeta de control (lado de componentes y lado de soldadura). La distribución de los circuitos integrados y componentes se muestran en la figura 20.

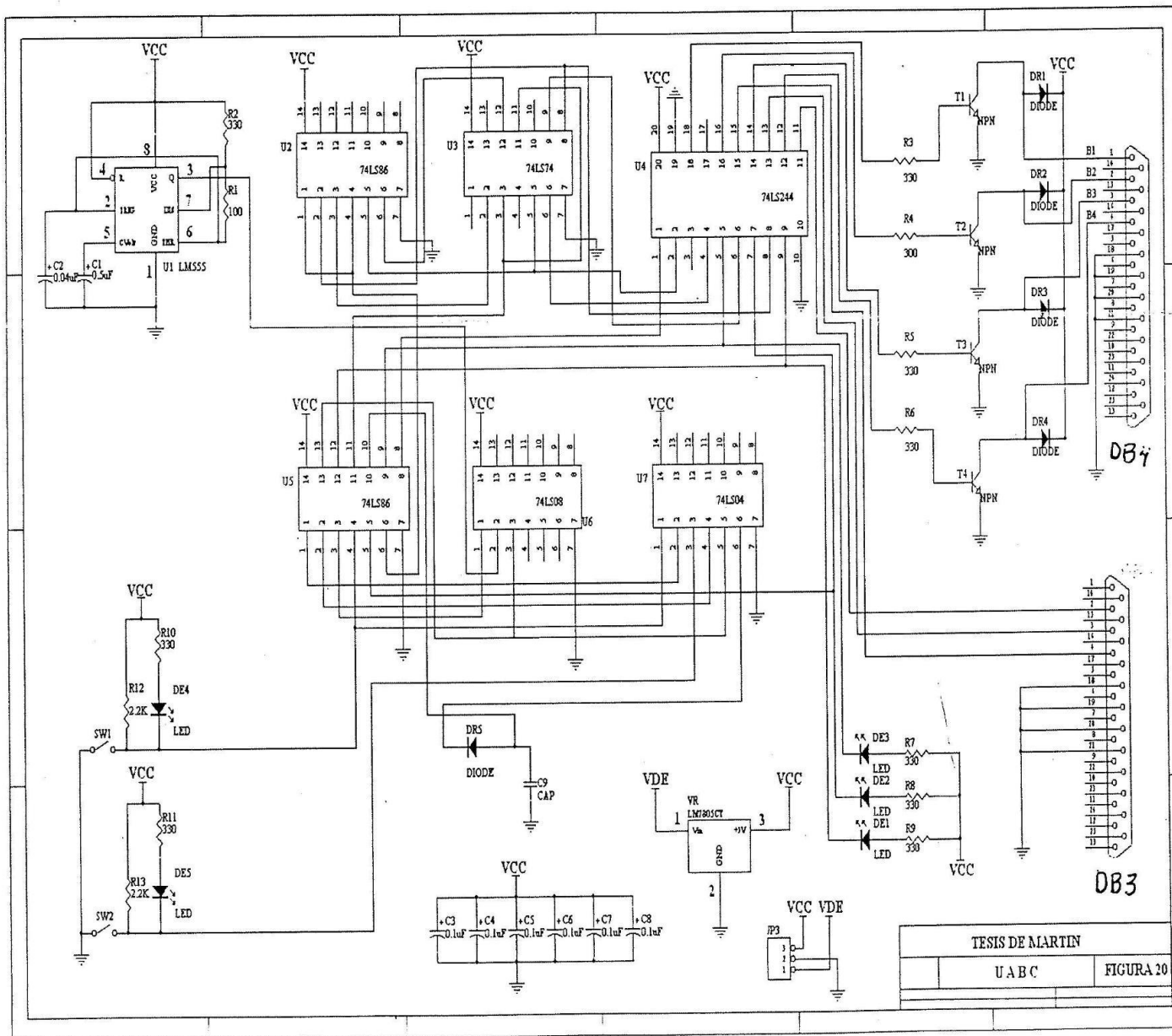


Fig. 20.- Distribución de circuitos integrados y componentes de la tarjeta.

Mediante el circuito esquemático y una vez distribuidos los componentes y enrutada la tarjeta, se obtuvieron las mascarillas del circuito impreso. En la figura 21 a y 21 b, se presenta la mascarilla del circuito impreso por el lado de los componentes (lado superior) y la figura 21 b muestra la mascarilla del circuito impreso por el lado de la soldadura (lado inferior).

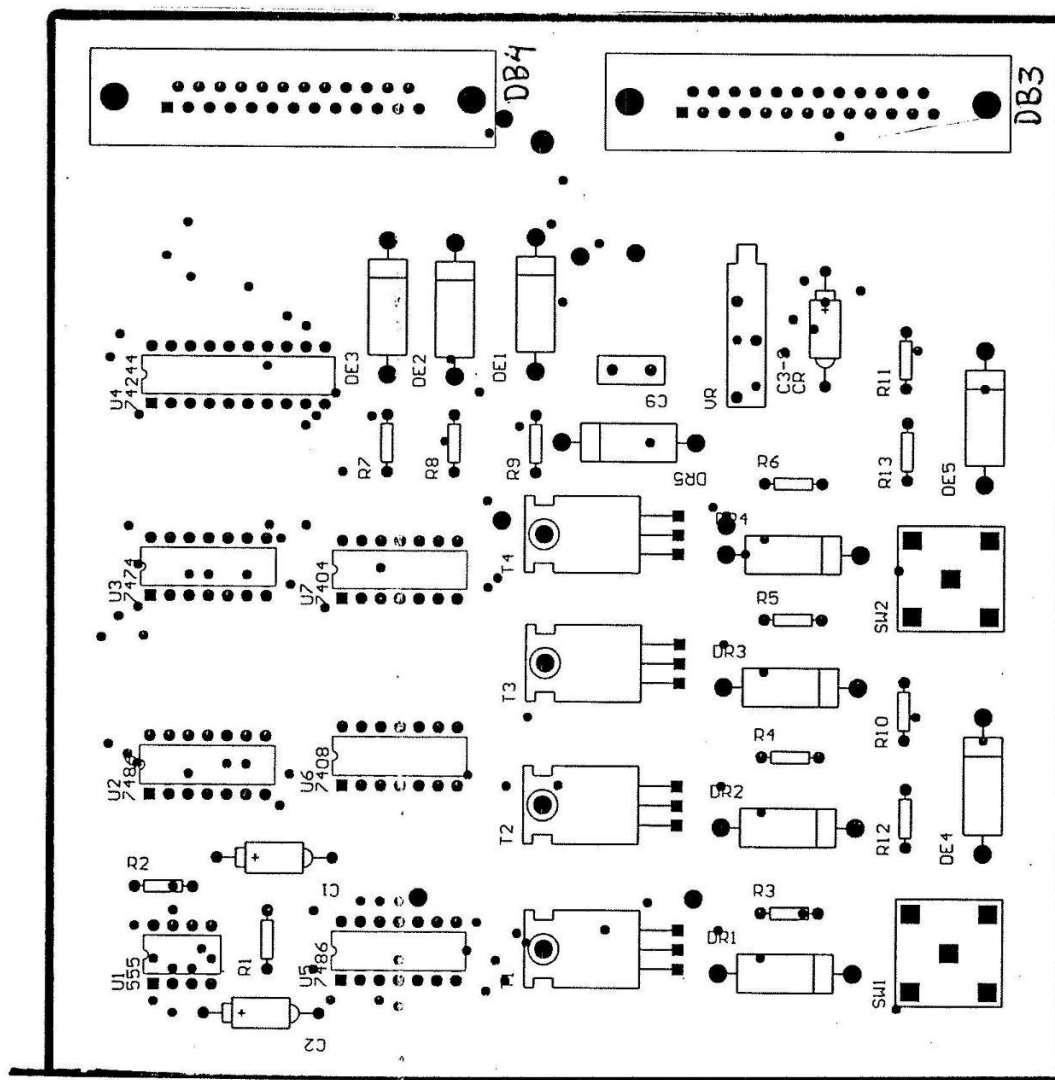


Fig. 21 a.- Mascarilla del circuito impreso por el lado de los componentes.

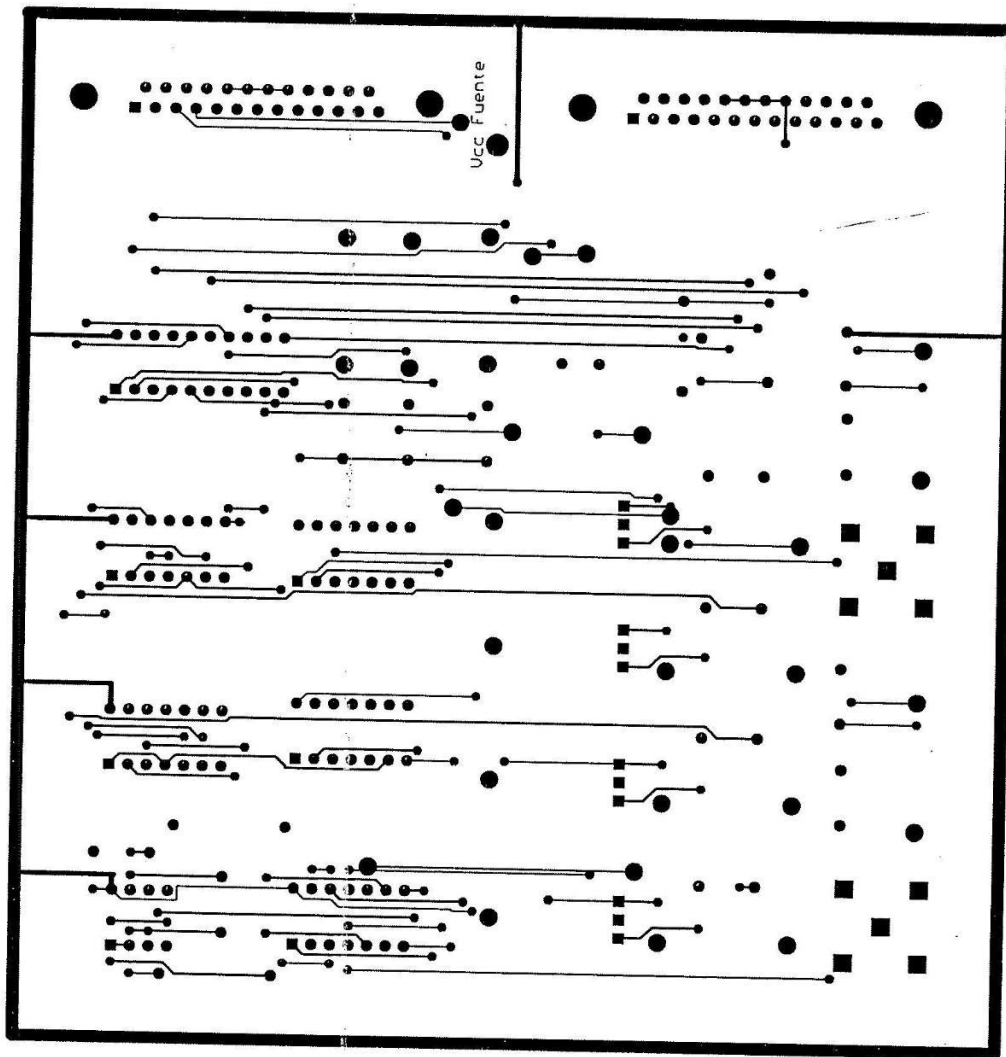


Fig. 21 b.- Mascarilla del circuito impreso por el lado de la soldadura.

Para la realización física del circuito, se utilizó una tercera mascarilla conocida como mascarilla de soldar de la tarjeta, la cual se generó con el PCB y se muestra en la figura 22. En la siguiente sección, se describe el proceso para realizar físicamente el circuito impreso, así como también la utilización de la tercera mascarilla.

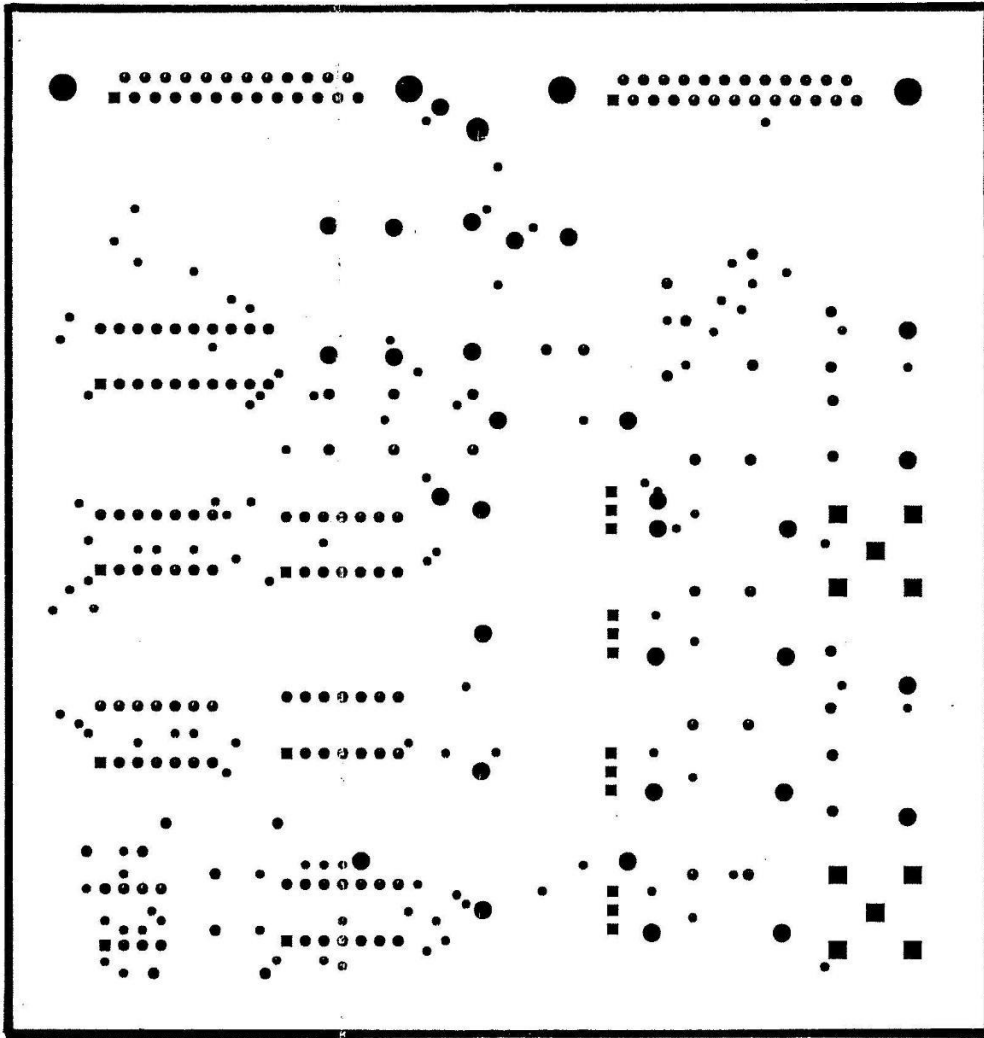


Fig. 22.- Diagrama de la mascarilla de soldar de la tarjeta.

IV.2.3 Proceso de elaboración física de la tarjeta:

En la sección anterior se obtuvo el diseño de la tarjeta de control por medio del programa Protel Electronic Design. Utilizando las mascarillas mostradas en las figuras 21 y 22, se procede a efectuar el proceso de elaboración de circuito impreso utilizando la técnica “hoyo metalizado”, cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 23.

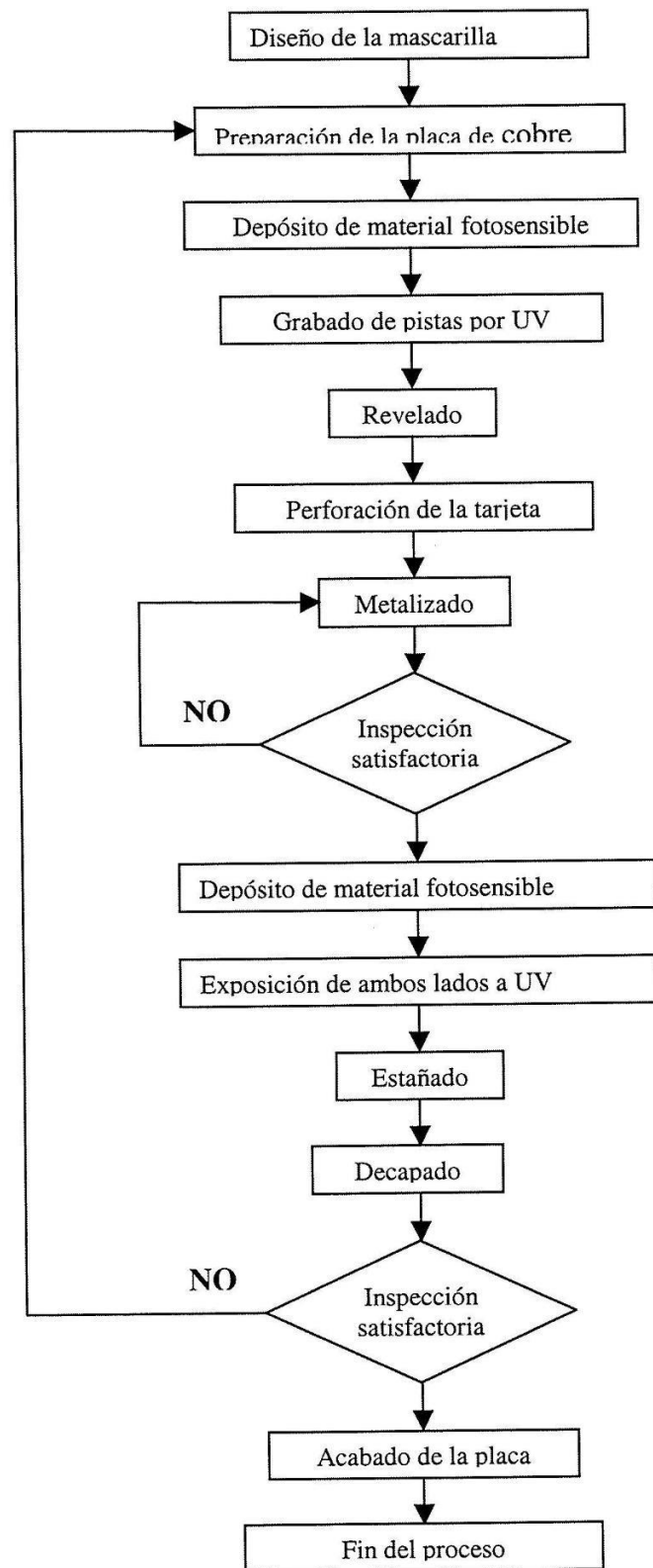


Fig. 23.- Diagrama de flujo del proceso de elaboración física de la tarjeta.

De acuerdo al diagrama de la figura 23, los pasos para la elaboración física del circuito impreso de la tarjeta de control son los siguientes:

- 1.- Como primer paso, se obtienen las mascarillas tomando fotografías a los lados superior e inferior y a la mascarilla de soldar.
- 2.- Se limpia muy bien la placa de cobre por ambos lados con una lija fina, con la finalidad de eliminar las ralladuras y mantenerla libre de grasa.
- 3.- Se deposita la resina fotosensible sobre la placa de cobre.
- 4.- Después de que es cubierta la placa con filmina, se expone la mascarilla de soldadura a la luz ultravioleta para posicionar los lugares de las perforaciones.
- 5.- Una vez concluido el tiempo de exposición de la mascarilla a la luz ultravioleta, se procede al revelado utilizando un revelador de filmina y posteriormente se seca la placa.
- 6.- A continuación se perfora la placa en forma manual, seleccionando el diámetro de las brocas de acuerdo al tamaño de las terminales de los circuitos integrados y componentes.
- 7.- Se somete la placa al metalizado, el cual consiste en depositar cobre químico y electrolítico en las paredes de las perforaciones durante 40 minutos. Ya realizado el metalizado, se verifica de manera cuidadosa si la metalización fue adecuada, si no, se introduce la placa una vez más al recipiente del depósito electrolítico.
- 8.- Realizada la metalización, se deposita nuevamente filmina sobre la placa de cobre, con la finalidad de que queden bien grabadas las pistas de las mascarillas superior e inferior.
- 9.- De nuevo se exponen las mascarillas superior e inferior a la luz ultravioleta, de manera individual, protegiendo el lado contrario. Una vez expuestas ambas mascarillas, se revela la filmina y se deja secar la tarjeta por 1 hora.

10.- El siguiente paso es el estañado de la tarjeta. Este proceso consiste en someter la tarjeta a un depósito electrolítico de estaño-plomo por un tiempo de 8 minutos. Antes de decapar las áreas no deseadas, se debe remover la filmina introduciendo la tarjeta al removedor de filmina.

11.- Para decapar la tarjeta de circuito impreso (ambos lados a la vez), se introduce al persulfato de sodio. Se debe inspeccionar si el decapado se realizó en forma satisfactoria, si no, debe iniciarse nuevamente la preparación de la placa de cobre.

12.- Ya que la tarjeta es decapada correctamente, se realizan los acabados en ella. Primero se abrillanta la tarjeta de circuito impreso, sumergiéndola en un ácido fundente y después en un aceite especial para fundir soldadura a una temperatura de 200° C. Como segundo paso se corta la placa a las dimensiones deseadas y después se pule para darle un buen acabado. Finalmente se cubren ambos lados con un esmalte, para proteger las pistas de la tarjeta.

El éxito del proceso de elaboración de la tarjeta de circuito impreso depende de un buen contraste, una buena definición y coincidencia en las perforaciones en ambos lados que la forman. A continuación se procede al ensamble de los circuitos integrados, conectores y componentes de la tarjeta.

IV.2.4 Ensamble de la tarjeta de control:

La etapa final de la construcción de la tarjeta es el ensamble de los circuitos integrados, conectores y componentes. La secuencia del ensamble es la siguiente:

1.- La figura 20 anterior, muestra la forma como estarán distribuidos los circuitos integrados, conectores, diodos, resistencias, y capacitores al momento de ser soldados sobre la tarjeta.

2.- Al soldar los circuitos integrados y componentes que tengan polarización, se debe tener cuidado al colocarlos en su posición correcta, ya que de lo contrario podrían causar algún daño a la circuitería de la tarjeta.

3.- Primeramente se soldó el circuito generador de pulsos digitales U1 en conjunto con sus componentes de diseño que son: Un capacitor electrolítico de $0.5\ \mu\text{f}$ (C1) y otro de $0.04\ \mu\text{f}$ (C2), una resistencia de $100\ \Omega$ (R1) y otra de $330\ \Omega$ (R2). Después se soldaron los circuitos integrados U2, U3, U4, U5, U6 Y U7, verificando que ninguna terminal hiciera contacto con otra y que todas tuvieran buen contacto en la placa.

4.- Una vez soldados todos los circuitos integrados, se procede a soldar los 4 transistores (T1, T2, T3 Y T4), las 4 resistencias de $330\ \Omega$ a $\frac{1}{2}$ Watt (R3, R4, R5 Y R6) y los 4 diodos rectificadores (DR1, DR2, DR3 Y DR4), que en conjunto con los transistores y resistencias forman el circuito manejador del motor de pasos. Enseguida se soldaron los conectores DB3 y DB4, el regulador de voltaje (RV), el diodo rectificador (DR5) y el capacitor de $47\ \mu\text{f}$ (C9), los 6 capacitores electrolíticos de $0.1\ \mu\text{f}$ (C3, C4, C5, C6, C7 y C8), los 2 diodos emisores de luz (DE4 y DE5) con su respectiva resistencia de $330\ \Omega$ a $\frac{1}{2}$ Watt (R10 y R11), 2 resistencias de $2.2\ \text{k}\Omega$ (R12 y R13) y por último los 2 interruptores (SW1 y SW2). El conector DB3 de 25 terminales, es usado para transmitir las tres señales (señal de habilitación, de dirección y de reloj), cuando se tiene el control por computadora. Y el conector DB4 de 25 terminales para enviar los pulsos digitales al motor de pasos.

5.- Una vez de que se han soldado todos los componentes que forman a la tarjeta de control, se procede a verificar la posición correcta de todos los componentes, así como la continuidad en todas las líneas. La manera en que se soldaron los circuitos integrados,

conectores, resistencias, diodos y capacitores en la tarjeta de control, se muestra en la fotografía 24, y el lado de soldadura en la fotografía 25.

6.- Se conecta el cable del conector DB1 que viene desde la computadora al conector DB3 y el cable del conector DB4 al conector DB2 de la platina rotacional.

7.- Finalmente, en la fotografía 26, se muestra el terminado final de la tarjeta de control.

En el siguiente capítulo se describen las pruebas realizadas al subsistema de control, mediante la conexión del cable de comunicación paralela a una computadora personal, y la conexión del cable DB3 a la platina rotacional.

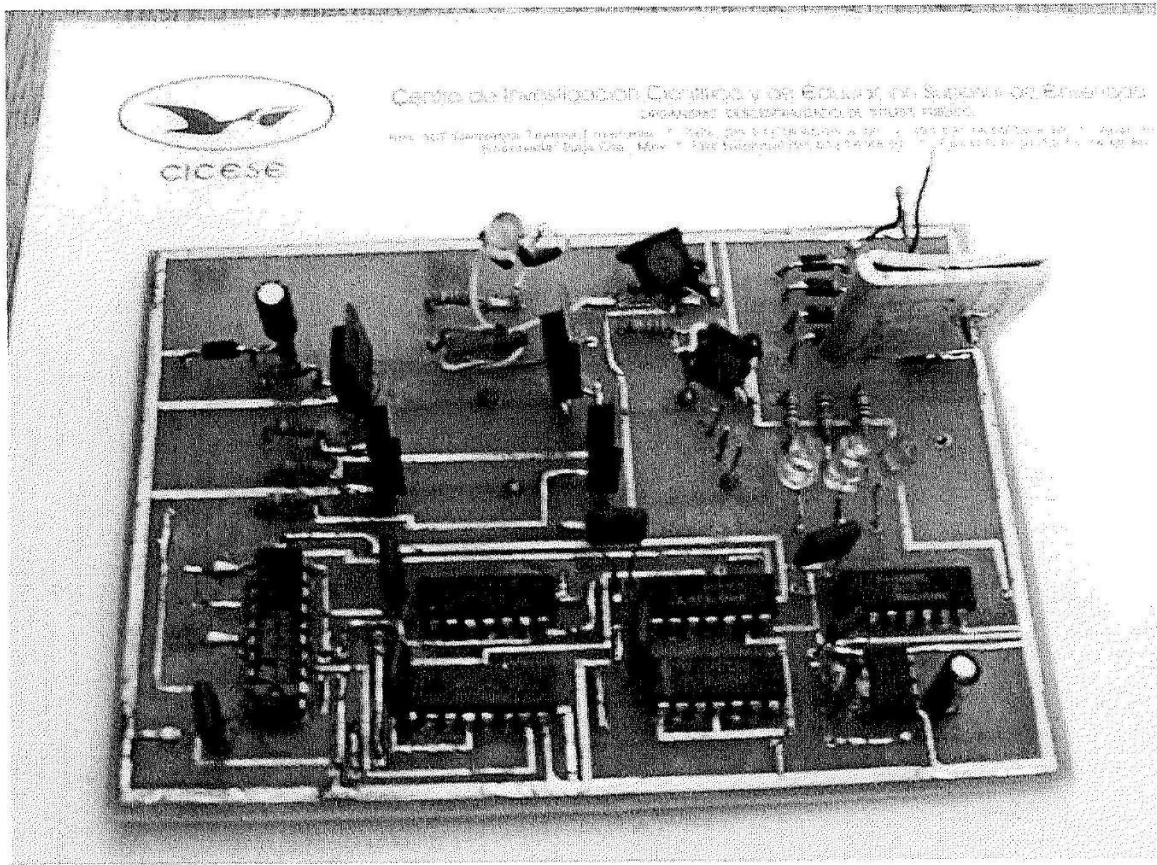


Fig. 24.- Fotografía de la tarjeta por el lado de los componentes.

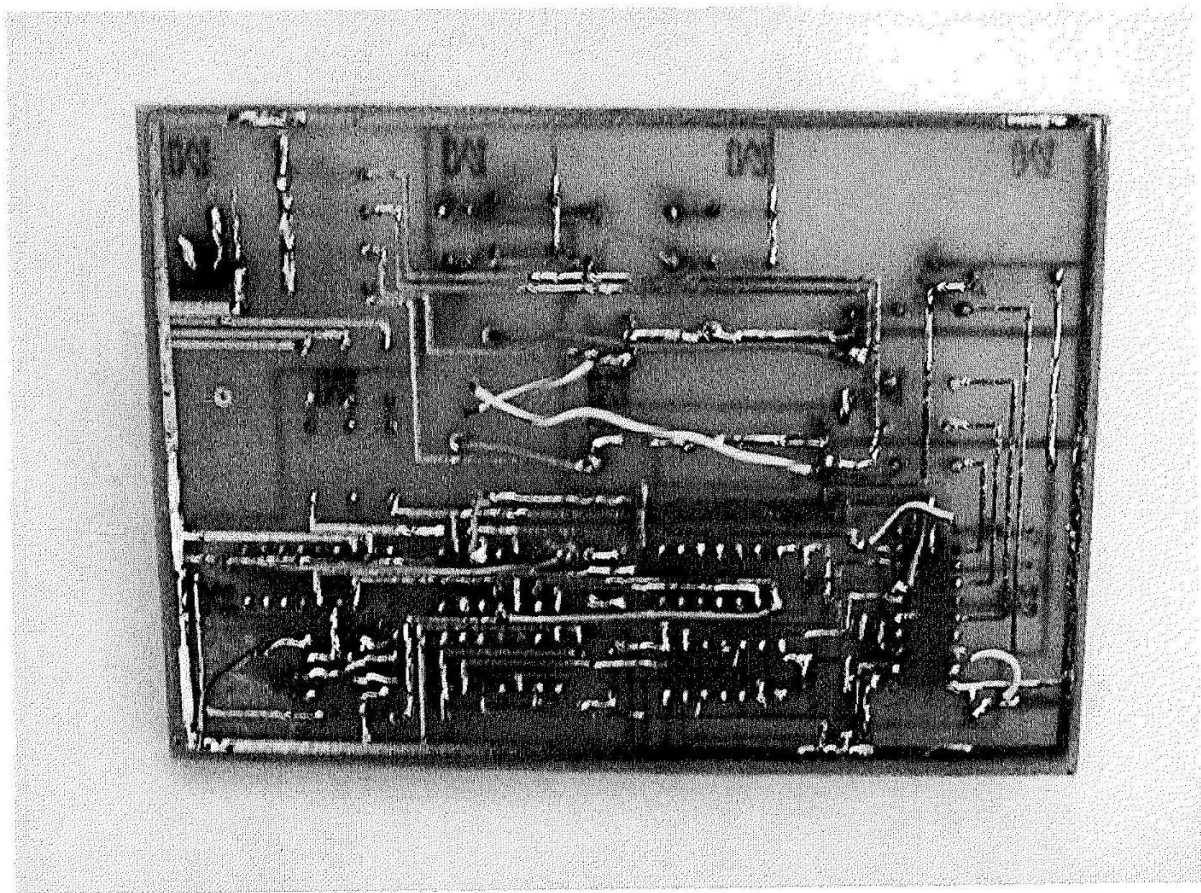


Fig. 25.- Fotografía de la tarjeta por el lado de la soldadura.

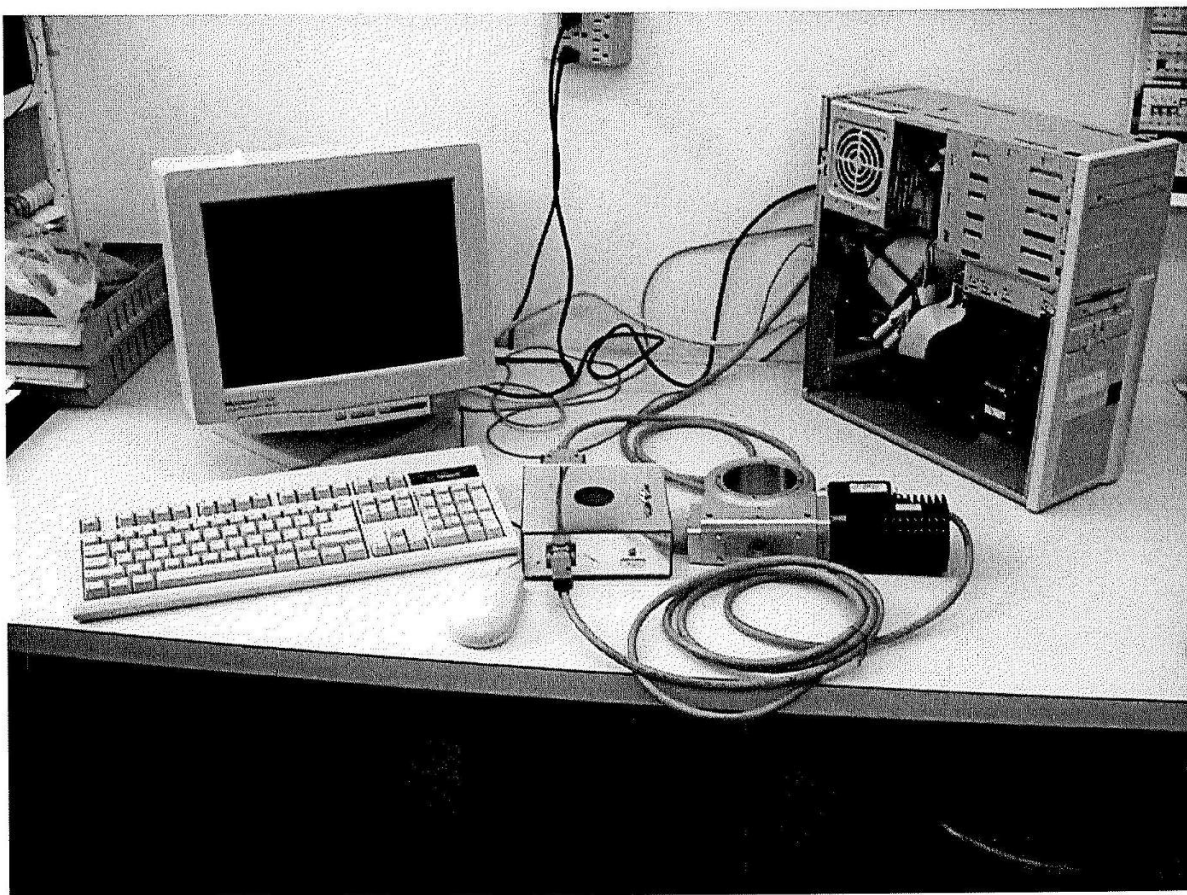


Fig. 26.- Fotografía del acabado final de la tarjeta de control.

CAPÍTULO V

CARACTERIZACIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL

V.1 INTRODUCCIÓN:

En este capítulo se presentan las pruebas realizadas a la tarjeta de control en sus dos formas de trabajo (manual y por computadora). Para la prueba se utilizó un programa escrito en lenguaje C para comprobar el funcionamiento de control de la tarjeta por computadora. Para tal prueba se utilizó una fuente de voltaje (con salida de 12 Vdc), la platina rotacional, la interfaz vía puerto paralelo (DB1 a DB3), la interfaz vía platina rotacional (DB2 a DB4), la computadora personal, y el programa para computadora PRUEBA.

En la sección V.2 se presenta la instalación del sistema y pruebas de la tarjeta de control. El funcionamiento, aplicación del programa de prueba por computadora y las pruebas generales de la tarjeta en la subsección V.2.1.

V.2 Instalación del sistema y pruebas de la tarjeta:

La secuencia de instalación y pruebas de la tarjeta consiste en lo siguiente: primeramente se conectan el cable del conector DB1 de la computadora personal al conector DB3 y el cable del conector DB4 al conector DB2 de la platina rotacional, luego se conecta la salida de 12 Vdc de la fuente de alimentación a la tarjeta de control para energizarla. Una vez realizados los pasos anteriores se activa la computadora para abrir el programa PRUEBA.cpp para comprobar el funcionamiento de control de la tarjeta por computadora.

El programa utilizado para el control de la platina por computadora, permite girar la base en ambos sentidos de giro, y además de verificar si esta realmente gira los grados por revolución especificados por el fabricante.

V.2.1 Funcionamiento y aplicación del programa de prueba:

Una vez conectados la tarjeta de control con la platina rotacional y la computadora, se alinea la base giratoria a su punto de referencia (0°), mediante el control manual para verificar los grados que gira la base de la platina para completar una revolución o vuelta completa. El programa que realizó la función anterior es el siguiente:

```
# include <dos.h>

# include <conio.h>

# include <stdio.h>

# define PORT 0*0378

# define DATA PORT

# define STATUS (PORT +1)

# define CONTROL (PORT +2)

# define SENSOR 0*040

# define Pasos 360

# define DELAY 8

void mover derecha ( );

void mover izquierda ( );

unsigned int numeropasos = 0;
```



```

void main (void);

{

outport b (DATA, 0*04)

do {

for (int t=0; t< pasos; t ++) mover derecha ( );

for (t=0; t< pasos; t ++) mover izquierda ( );

} while (! kbhit ( ));

outport b (DATA, 0*00);

Clrscr ( );

Printf ("numero de paso es %u", numeropasos);

}

void moverderecha ( )

{

outport b (DATA, 0*06);

delay (DELAY);

outport b (DATA, 0*04);

delay (DELAY);

}

numeropasos ++;

}

void moverizquierda ( )

{

outportb (DATA, 0*07);

```

```
delay (DELAY);  
outportb (DATA, 0*05);  
delay (DELAY);  
}
```

Después de correr el programa, como resultado nos muestra los pasos que realizó el motor en una revolución. En este caso los pasos que dio el motor para que la base realizará una vuelta completa fueron 36000 pasos. Mediante una regla de 3, tenemos que

360° ____ 36000 pasos

1° ____ x, despejando x, tenemos $x = 0.01^\circ$.

Ahora si multiplicamos esta cantidad (0.01°) por el número de pasos que da el motor en una vuelta (36000 pasos), tenemos lo siguiente:

$$(0.01^\circ)(36000) = 360^\circ.$$

Los 360° son los grados que le toma a la platina para que la base giratoria complete una revolución.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se desarrolló una tarjeta electrónica para controlar el movimiento de giro de la platina rotacional. Todo lo anterior con el fin de poder contar con dos formas de control sobre la platina (manual y por computadora), para utilizarla en el estudio del esparcimiento de luz por superficies rugosas en el laboratorio de óptica estadística del (CICESE).

En general, en este trabajo se compararon los dos tipos de platinas existentes por diferentes aplicaciones, aclarando que únicamente varían por el tipo de movimiento que realizan. Una vez definida la platina rotacional, se describió como está constituida, y su funcionamiento; explicando cada uno de los dos subsistemas que la forman: el subsistema rotacional y el subsistema de control. Se describió la metodología empleada para el desarrollo de la tarjeta de control, se diseñó el circuito esquemático, y realizó la tarjeta de circuito impreso mediante el programa protel electronic design respectivamente. Se concluyó físicamente mediante la técnica de elaboración de circuito impreso llamada “hoyo metalizado”; y se construyó considerando aspectos críticos del proceso de construcción y ensamble. Se caracterizó mediante el programa “PRUEBA” por computadora escrito en lenguaje C, a nivel laboratorio; comprobando el funcionamiento satisfactorio de la tarjeta.

Como resultado de la caracterización de la tarjeta de control, se estará empleando para estudios del esparcimiento de la luz por superficies rugosas en el laboratorio de óptica estadística del CICESE.

REFERENCIAS

[1] "MOTION CONTROL MANUAL". Newport,
pp. 3-6, 3-7, 3-8, 3-9. 1997

[2] [http://WWW.CS uiwa.edu/~jones/step/](http://WWW.CS.uiwa.edu/~jones/step/)

"ELECTRONICA DICCIONARIO ENCICLOPEDICO". Stan Gibilisco Tomo II.
pp. 678, 679 1994

[3] [http://WWW.CS uiwa.edu/~jones/step/](http://WWW.CS.uiwa.edu/~jones/step/)

[4] "FAST AND LS TTL DATA". Motorola Inc.
Rev. 3, 1986

[5] [http://WWW.Protel .com](http://WWW.Protel.com)

APÉNDICE 1

LISTA DE LOS COMPONENTES DE LA TARJETA DE CONTROL

LISTA DE COMPONENTES

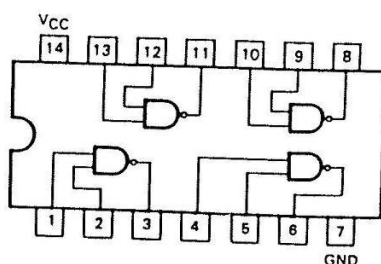
VALOR	ASIGNACIÓN	MÓDULO	
555	U1	8 DIP 300	CI GENERADOR DE PULSOS
74LS 86	U2	14 DIP 300	CI COMPUERTA <i>EX - OR</i>
74LS74	U3	14 DIP 300	CI CIRCUITO INTEGRADO
FLI FLOPP			
74LS244	U4	20 DIP 300	CI REFORZADOR DE DIRECCIONES / DATOS
74LS86	U5	14 DIP 300	CI COMPUERTA <i>EX - OR</i>
74LS08	U6	14 DIP 300	CI COMPUERTA AND
74LS04	U7	14 DIP 300	CI COMPUERTA VERSORA
REG.	VR	LM7805 CI	REGULADOR DE VOLTAJE
0.5 μ F	C1	C1	CAPACITOR
0.04 μ F	C2	C2	CAPACITOR
0.1 μ F	C3	C3	CAPACITOR
0.1 μ F	C4	C4	CAPACITOR
0.1 μ F	C5	C5	CAPACITOR
0.1 μ F	C6	C6	CAPACITOR
0.1 μ F	C7	C7	CAPACITOR
0.1 μ F	C8	C8	CAPACITOR
0.04 μ F	C9	C9	CAPACITOR
100 Ω	R1	R1	RESISTENCIA
330 Ω	R2	R2	RESISTENCIA
330 Ω	R3	R3	RESISTENCIA
330 Ω	R4	R4	RESISTENCIA
330 Ω	R5	R5	RESISTENCIA
330 Ω	R6	R6	RESISTENCIA
330 Ω	R7	R7	RESISTENCIA
330 Ω	R8	R8	RESISTENCIA
330 Ω	R9	R9	RESISTENCIA
330 Ω	R10	R10	RESISTENCIA
330 Ω	R11	R11	RESISTENCIA
330 Ω	R12	R12	RESISTENCIA
2.2 K Ω	R12	R12	RESISTENCIA
2.2 Ω	R13	R13	RESISTENCIA
4 DIODOS RECTIFICADIRES (DR1, DR2, DR3, DR4)			
5 DIODOS EMISORES DE LUZ (DE1, DE2, DE3, DE4, DE5)			
2 CONECTORES (DB3 y DB4)			

APÉNDICE 2

HOJAS DE DATOS DE LOS COMPONENTES DE LA TARJETA



QUAD 2-INPUT NAND GATE



J Suffix — Case 632-07 (Ceramic)
N Suffix — Case 648-05 (Plastic)

MC54F00
MC74F00

QUAD 2-INPUT NAND GATE
FAST™ SCHOTTKY TTL

GUARANTEED OPERATING RANGES

SYMBOL	PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply Voltage	54, 74	4.5	5.0	5.5	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54, 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-1.0	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54, 74			20	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER		LIMITS			UNITS	TEST CONDITIONS
			MIN	TYP	MAX		
V _{IH}	Input HIGH Voltage		2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage
V _{IL}	Input LOW Voltage				0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage				-1.2	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54, 74	2.5			V	I _{OH} = -1.0 mA, V _{CC} = 4.50 V
		74	2.7			V	I _{OH} = -1.0 mA, V _{CC} = 4.75 V
V _{OL}	Output LOW Voltage				0.5	V	I _{OL} = 20 mA, V _{CC} = MIN
I _{IH}	Input HIGH Current				20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
I _{IL}	Input LOW Current				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{OS}	Output Short Circuit Current (Note 2)		-60		-150	mA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 0 V
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH				2.8	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = GND
	Total, Output LOW				10.2	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = Open

NOTES:

- For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
- Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

MC54F00/74F00

AC CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	54/74F $T_A = +25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = +5.0\text{ V}$ $C_L = 50\text{ pF}$		54F $T_A = -55^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 10\%$ $C_L = 50\text{ pF}$		74F $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 10\%$ $C_L = 50\text{ pF}$		UNITS
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t_{PLH}	Propagation Delay	2.4	5.0	2.0	7.0	2.4	6.0	ns
t_{PHL}	Propagation Delay	1.5	4.3	1.5	6.5	1.5	5.3	ns

AC TEST CIRCUIT

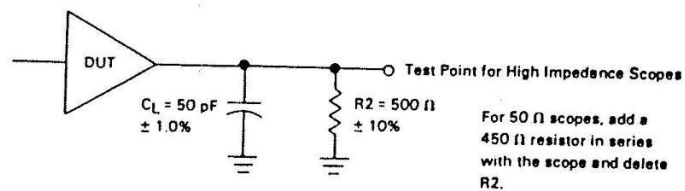
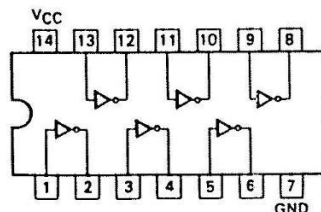


Fig. 1



MC54F04
MC74F04

HEX INVERTER



J Suffix — Case 632-07 (Ceramic)
N Suffix — Case 646-05 (Plastic)

HEX INVERTER
FAST™ SCHOTTKY TTL

GUARANTEED OPERATING RANGES

SYMBOL	PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply Voltage	54, 74	4.5	5.0	5.5	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-1.0	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54, 74			20	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS			UNITS	TEST CONDITIONS
		MIN	TYP	MAX		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage
V _{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage			-1.2	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54, 74	2.5		V	I _{OH} = -1.0 mA, V _{CC} = 4.50 V
		74	2.7		V	I _{OH} = -1.0 mA, V _{CC} = 4.75 V
V _{OL}	Output LOW Voltage			0.5	V	I _{OL} = 20 mA, V _{CC} = MIN
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
I _{IL}	Input LOW Current			0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.6	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.5 V
I _{OS}	Output Short Circuit Current (Note 2)	-60		-150	mA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 0 V
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			4.2	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = GND
	Power Supply Current Total, Output LOW			15.3	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = Open

NOTES:

- For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
- Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

MC54F04/74F04

AC CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	54/74F $T_A = +25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = +5.0\text{ V}$ $C_L = 50\text{ pF}$		54F $T_A = -55^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 10\%$ $C_L = 50\text{ pF}$		74F $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 10\%$ $C_L = 50\text{ pF}$		UNITS
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t_{PLH}	Propagation Delay	2.4	5.0	2.0	7.0	2.4	6.0	ns
t_{PHL}	Propagation Delay	1.5	4.3	1.5	6.5	1.5	5.3	ns

AC TEST CIRCUIT

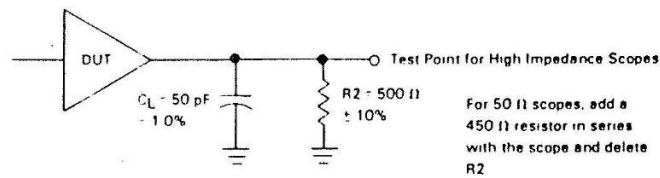
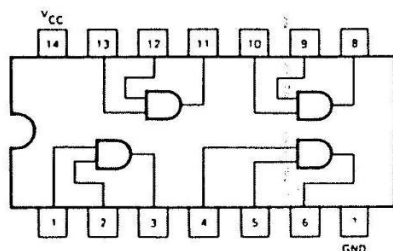


Fig. 1



MC54F08 **MC74F08**

QUAD 2-INPUT AND GATE



J Suffix — Case 632-07 (Ceramic)
N Suffix — Case 646-05 (Plastic)

QUAD 2-INPUT AND GATE **FAST™ SCHOTTKY TTL**

GUARANTEED OPERATING RANGES

SYMBOL	PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply Voltage	54, 74	4.5	5.0	5.5	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-1.0	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54, 74			20	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS			UNITS	TEST CONDITIONS
		MIN	TYP	MAX		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage
V _{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage			-1.2	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54, 74	2.5		V	I _{OH} = -1.0 mA, V _{CC} = 4.50 V
		74	2.7		V	I _{OH} = -1.0 mA, V _{CC} = 4.75 V
V _{OL}	Output LOW Voltage			0.5	V	I _{OL} = 20 mA, V _{CC} = MIN
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.6	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.5 V
I _{OS}	Output Short Circuit Current (Note 2)	-60		-150	mA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 0 V
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			8.3	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = Open
	Total, Output LOW			12.9	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = GND

NOTES:

- For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
- Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

MC54F08/74F08

AC CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	54/74F $T_A = +25^\circ\text{C}$ $V_{CC} = +5.0\text{ V}$ $C_L = 50\text{ pF}$		54F $T_A = -55^\circ\text{C to } +125^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 10\%$ $C_L = 50\text{ pF}$		74F $T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$ $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 10\%$ $C_L = 50\text{ pF}$		UNITS
		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t_{PLH}	Propagation Delay	3.0	5.6	2.5	7.5	3.0	6.6	ns
t_{PHL}	Propagation Delay	2.5	5.3	2.0	7.5	2.5	6.3	ns

AC TEST CIRCUIT

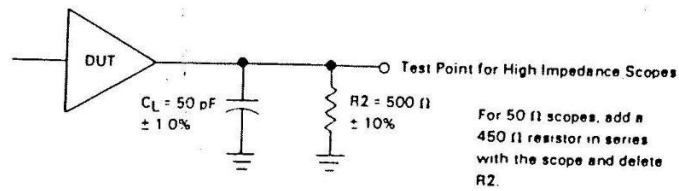


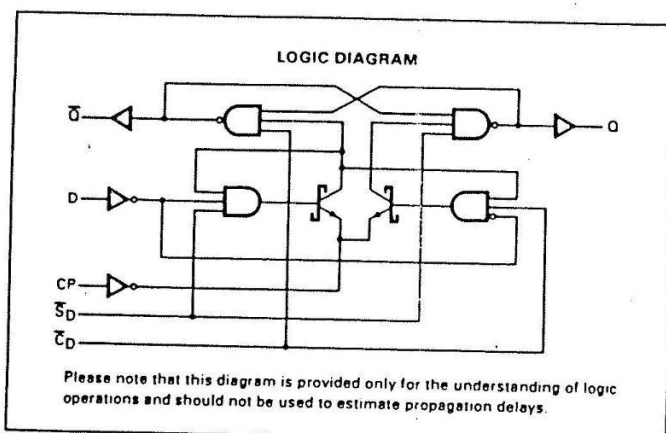
Fig. 1



MOTOROLA

DUAL D-TYPE POSITIVE EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOP

DESCRIPTION — The MC54F/74F74 is a dual D-type flip-flop with Direct Clear and Set inputs and complementary (Q , $\bar{Q}$) outputs. Information at the input is transferred to the outputs on the positive edge of the clock pulse. Clock triggering occurs at a voltage level of the clock pulse and is not directly related to the transition time of the positive-going pulse. After the Clock Pulse input threshold voltage has been passed, the Data input is locked out and information present will not be transferred to the outputs until the next rising edge of the Clock Pulse input.



TRUTH TABLE
(Each Half)

INPUT	OUTPUTS
@ t_n	@ $t_n + 1$
D	Q $\bar{Q}$
L	L H
H	H L

Asynchronous Inputs:
 LOW Input to $\bar{S}_D$ sets Q to HIGH level
 LOW Input to $\bar{C}_D$ sets Q to LOW level
 Clear and Set are independent of clock
 Simultaneous LOW on $\bar{C}_D$ and $\bar{S}_D$
 makes both Q and $\bar{Q}$ HIGH

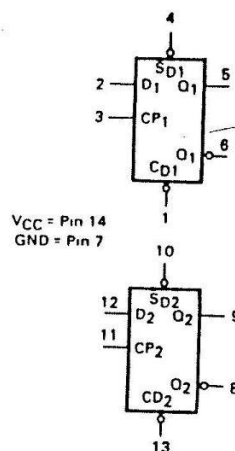
H = HIGH Voltage Level
 L = LOW Voltage Level
 t_n = Bit time before clock pulse
 $t_n + 1$ = Bit time after clock pulse

MC54F74
MC74F74

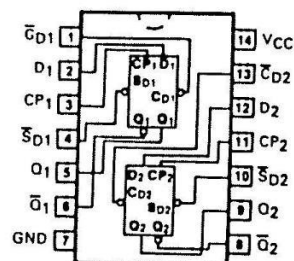
DUAL D-TYPE POSITIVE EDGE-TRIGGERED FLIP-FLOP

FAST™ SCHOTTKY TTL

LOGIC SYMBOL



CONNECTION DIAGRAM



J Suffix — Case 632-07
 (Ceramic)
 N Suffix — Case 646-05
 (Plastic)

MC54F/74F74

GUARANTEED OPERATING RANGES

SYMBOL	PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply Voltage	54, 74	4.50	5.0	5.50	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-1.0	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54, 74			20	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS			UNITS	TEST CONDITIONS	
		MIN	TYP	MAX			
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage	
V _{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage	
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage			-1.2	V	I _{IN} = -18 mA	V _{CC} = MIN
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54, 74	2.5	3.4	V	I _{OH} = -1.0 mA	V _{CC} = 4.50 V
		74	2.7	3.4	V	I _{OH} = -1.0 mA	V _{CC} = 4.75 V
V _{OL}	Output LOW Voltage		0.35	0.5	V	I _{OL} = 20 mA	V _{CC} = MIN
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{IN} = 2.7 V	V _{CC} = MAX
				100	μA	V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current (CP and D Inputs) ($\bar{C}_D$ and $\bar{S}_D$ Inputs)			-0.6	mA	V _{IN} = 0.5 V	V _{CC} = MAX
				-1.8	mA		
I _{OS}	Output Short Circuit Current (Note 2)	-60		-150	mA	V _{OUT} = 0 V	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current		10.5	16	mA	V _{CP} = 0 V	V _{CC} = MAX

NOTES

- For conditions such as MIN or MAX, use the appropriate value specified under guaranteed operating ranges.
- Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS

AC CHARACTERISTICS									
SYMBOL	PARAMETER	54/74F			**54F		74F		UNITS
		T _A = +25°C V _{CC} = +5.0 V C _L = 50 pF			T _A = -55 to +125°C V _{CC} = 5.0 V ±10% C _L = 50 pF		T _A = 0 to +70°C V _{CC} = 5.0 V ±10% C _L = 50 pF		
		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t _{max}	Maximum Clock Frequency	100	125		100		100		MHz
t _{PLH}	Propagation Delay	3.8	5.3	6.8	3.8	8.5	3.8	7.8	ns
t _{PHL}	C _{Pn} to Q _n or Q̄ _n	4.4	6.2	8.0	4.4	10.5	4.4	9.2	
t _{PLH}	Propagation Delay	2.5	4.6	6.1	3.2	8.0	2.5	7.1	ns
t _{PHL}	C̄ _{On} or S̄ _{On} to Q _n or Q̄ _n	3.5	7.0	9.0	3.5	11.5	3.5	10.5	

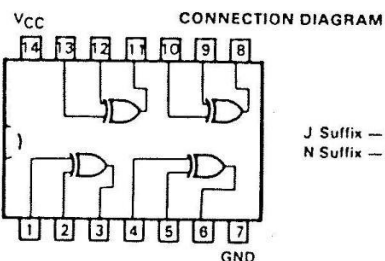
AC OPERATING REQUIREMENTS

SYMBOL	PARAMETER	54/74F			54F		74F		UNITS
		T _A = +25°C V _{CC} = +5.0 V			T _A = -55 to +125°C V _{CC} = 5.0 V ±10%		T _A = 0 to +70°C V _{CC} = 5.0 V ±10%		
		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t _s (H) t _s (L)	Set up Time, HIGH or LOW D _n to CP _n	2.0 3.0			3.0 4.0		2.0 3.0		ns
t _h (H) t _h (L)	Hold Time, HIGH or LOW D _n to CP _n	1.0 1.0			2.0 2.0		1.0 1.0		
t _w (H) t _w (L)	CP _n Pulse Width, HIGH or LOW	4.0 5.0			4.0 6.0		4.0 5.0		ns
t _w (L)	$\overline{C}_{Dn}$ or $\overline{S}_{Dn}$ Pulse Width LOW	4.0			4.0		4.0		ns
t _{rec}	Recovery Time $\overline{C}_{Dn}$ or $\overline{S}_{Dn}$ to CP	2.0			3.0		2.0		ns



MC54F86
MC74F86

QUAD 2-INPUT EXCLUSIVE-OR GATE



J Suffix — Case 632-07 (Ceramic)
N Suffix — Case 646-05 (Plastic)

**QUAD 2-INPUT
EXCLUSIVE-OR GATE**
FAST™ SCHOTTKY TTL

GUARANTEED OPERATING RANGES

SYMBOL	PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply Voltage	54, 74	4.50	5.0	5.50	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-1.0	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54, 74			20	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS			UNITS	TEST CONDITIONS	
		MIN	TYP	MAX			
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage	
V _{IL}	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage	
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage			-1.2	V	I _{IN} = -18 mA	V _{CC} = MIN.
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54, 74	2.5	3.4	V	I _{OH} = -1.0 mA	V _{CC} = 4.50 V
		74	2.7	3.4	V	I _{OH} = -1.0 mA	V _{CC} = 4.75 V
V _{OL}	Output LOW Voltage		0.35	0.5	V	I _{OL} = 20 mA	V _{CC} = MIN
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{IN} = 2.7 V	V _{CC} = MAX
				100	μA	V _{IN} = 7.0 V	
I _{IL}	Input LOW Current			-0.6	mA	V _{IN} = 0.5 V	V _{CC} = MAX
I _{OS}	Output Short Circuit Current (Note 2)	-60		-150	mA	V _{OUT} = 0 V	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current		15	23	mA	Inputs LOW	V _{CC} = MAX
			18	28		Inputs HIGH	

NOTES

- For conditions such as MIN or MAX, use the appropriate value specified under guaranteed operating ranges
- Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second

MC54F/74F86

AC CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	54/74F			54F		74F		UNITS
		T _A = +25°C V _{CC} = +5.0 V C _L = 50 pF			T _A = -55 to +125°C V _{CC} = 5.0 V ±10% C _L = 50 pF		T _A = 0 to +70°C V _{CC} = 5.0 V ±10% C _L = 50 pF		
		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
t _{PLH}	Propagation Delay	3.0	4.0	5.5	2.5	7.0	3.0	6.5	ns
t _{PHL}	(Other Input LOW)	3.0	4.2	5.5	3.0	7.0	3.0	6.5	
t _{PLH}	Propagation Delay	3.5	5.3	7.0	3.5	8.5	3.5	8.0	ns
t _{PHL}	(Other Input HIGH)	3.0	4.7	6.5	3.0	8.0	3.0	7.5	



MOTOROLA

DESCRIPTION — The SN54LS/74LS240, 241 and 244 are Octal Buffers and Line Drivers designed to be employed as memory address drivers, clock drivers and bus-oriented transmitters/receivers which provide improved PC board density.

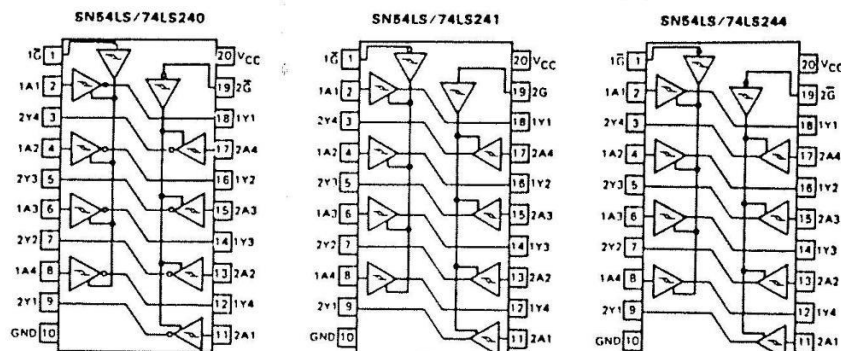
- HYSTERESIS AT INPUTS TO IMPROVE NOISE MARGINS
- 3-STATE OUTPUTS DRIVE BUS LINES OR BUFFER MEMORY ADDRESS REGISTERS
- INPUT CLAMP DIODES LIMIT HIGH-SPEED TERMINATION EFFECTS

SN54LS/74LS240
SN54LS/74LS241
SN54LS/74LS244

OCTAL BUFFER/LINE DRIVER
WITH 3-STATE OUTPUTS

LOW POWER SCHOTTKY

LOGIC AND CONNECTION DIAGRAMS DIP (TOP VIEW)



TRUTH TABLES

SN54LS/74LS240

INPUTS		OUTPUT
1G, 2G	D	
L	L	H
L	H	L
H	X	(Z)

SN54LS/74LS244

INPUTS		OUTPUT
1G, 2G	D	
L	L	L
L	H	H
H	X	(Z)

SN54LS/74LS241

INPUTS		OUTPUT	INPUTS		OUTPUT
1G	D		2G	D	
L	L	L	H	L	L
L	H	H	H	H	H
H	X	(Z)	L	X	(Z)

H = HIGH Voltage Level
L = LOW Voltage Level
X = Immaterial
Z = HIGH Impedance

J Suffix — Case 732-03 (Ceramic)
N Suffix — Case 738-01 (Plastic)

54LS/74LS240 • SN54LS/74LS241 • SN54LS/74LS244

GUARANTEED OPERATING RANGES

SYMBOL	PARAMETER		MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply Voltage	54 74	4.5 4.75	5.0 5.0	5.5 5.25	V
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54 74	-55 0	25 25	125 70	°C
I _{OH}	Output Current — High	54,74			-3.0	mA
		54 74			-12 -15	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54 74			12 24	mA

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS			UNITS	TEST CONDITIONS
		MIN	TYP	MAX		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V _{T+} — V _{T-}	Hysteresis	0.2	0.4		V	V _{CC} = MIN
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54,74	2.4	3.4	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = -3.0 mA
		54,74	2.0		V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX
V _{OL}	Output LOW Voltage	54,74		0.25	0.4	I _{OL} = 12 mA, V _{CC} = V _{CC} MIN, V _{IN} = V _{IL} or V _{IH} per Truth Table
		74		0.35	0.5	I _{OL} = 24 mA
I _{OZH}	Output Off Current HIGH			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 2.4 V
I _{OZL}	Output Off Current LOW			-20	μA	V _{CC} = MAX, V _{OUT} = 0.4 V
I _{IH}	Input HIGH Current			0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.2	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Output Short Circuit Current	-40		-225	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH			27	mA	V _{CC} = MAX
	Total, Output LOW	LS240		44		
		LS241/244		46		
	Total at HIGH Z	LS240		50		
		LS241/244		54		

SN54LS/74LS240 • SN54LS/74LS241 • SN54LS/74LS244

AC CHARACTERISTICS: $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$

SYMBOL	PARAMETER	LIMITS			UNITS	TEST CONDITIONS
		MIN	TYP	MAX		
t_{PLH}	Propagation Delay, Data to Output		9.0	14	ns	$C_L = 45\text{ pF}$ $R_L = 667\ \Omega$
t_{PHL}	Propagation Delay, Data to Output		12	18		
t_{PLH}	Propagation Delay, Data to Output		12	18		
t_{PHL}	Propagation Delay, Data to Output		12	18		
t_{PZH}	Output Enable Time to HIGH Level		15	23	ns	$C_L = 5.0\text{ pF}$ $R_L = 667\ \Omega$
t_{PZL}	Output Enable Time to LOW Level		20	30	ns	
t_{PLZ}	Output Disable Time from LOW Level		15	25	ns	
t_{PHZ}	Output Disable Time from HIGH Level		10	18	ns	

AC WAVEFORMS

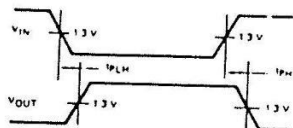


Fig. 1

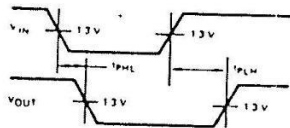


Fig. 2

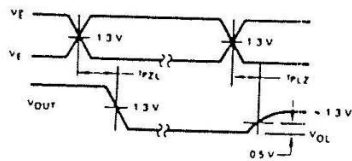


Fig. 3

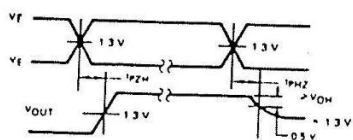
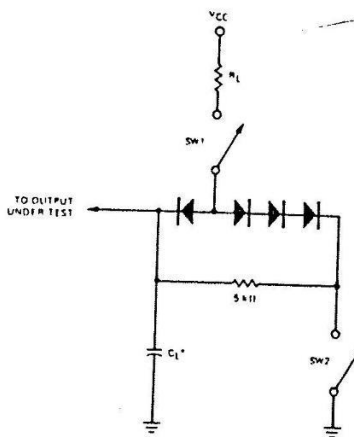


Fig. 4



SWITCH POSITIONS

SYMBOL	SW1	SW2
t_{PZH}	Open	Closed
t_{PZL}	Closed	Open
t_{PLZ}	Closed	Closed
t_{PHZ}	Closed	Closed

Fig. 5