

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA DE INGENIERÍA



"Desarrollo de una Tarjeta de Control y Adquisición de Datos de  
un Radiómetro en Ondas Milimétricas"

*TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:*

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

*PRESENTA:*

MARÍA DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL

Enero de 1995

Universidad Autónoma de Baja California

Escuela de Ingeniería

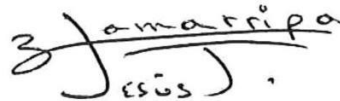
Aprobado por:



M.C. Benjamín Ramírez Durán



Dr. José Luis Medina Monroy



M.C. José de Jesús Zamarripa T.



M.C. Manuel Corona



Ing. José Antonio Michel

## AGRADECIMIENTOS

*De manera muy especial  
al Dr. JOSÉ LUIS MEDINA MONROY  
por su invaluable ayuda en la Dirección de  
este trabajo de Tesis.*

*A la Universidad Autónoma de Baja California  
por darme la oportunidad de realizarme como profesionista.*

*Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior  
de Ensenada CICESE, por todo el apoyo brindado; especialmente a:  
Raúl Moreno, Isaac Fimbres y René Torres del taller de Física Aplicada.*

*Al personal del Grupo de altas frecuencias.*

*Al personal del taller de Mecánica Fina, por la realización de los  
recintos metálicos del radiómetro.*

*Y con cariño a todas las Secretarías de Electrónica y Telecomunicaciones:  
Mari, Ceci, Evita, Esther y Miriam.*

*A David Hiriart del FCRAO de la Universidad de Massachusetts  
por sus aportaciones en la programación y diseño de la tarjeta.*

## **DEDICATORIA**

*Con todo mi amor y respeto  
A mis padres José Augusto y Esperanza  
por apoyarme siempre y en todo momento.*

*A mis hermanos con cariño:  
José Luis  
Miguel Angel  
Victor Manuel  
y Jorge Alberto  
por cuidarme y quererme.*

*A mi novio Ramiro, por todo su amor y apoyo.*

*A mis abuelitos, tíos y primos, por todo el cariño y la  
confianza que me brindan.*

*A los traviesos:  
July Ann, Victor Alan, Luis Angel, Gaby, Atziri y Ernie,  
por ser la alegría de mi vida.*

*Al Club de Mujeres Profesionistas y de Negocios de Ensenada  
Al Grupo Mujer Joven de Carrera  
A mi madrina Conchita Mendoza*

# DESARROLLO DE UNA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE UN RADIÓMETRO EN ONDAS MILIMÉTRICAS

## ÍNDICE

	PÁGINA
<b>I INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
<b>II DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.</b>	
II.1 Introducción	7
II.2 Tipos de radiómetros	8
II.2.1 Radiómetro de Potencia Total TPR	10
II.2.2 Radiómetro Dicke DR	11
II.2.3 Radiómetro de Inyección de Ruido NIR	13
II.3 Radiómetro de ondas milimétricas y microondas	15
II.3.1 Subsistema de ondas milimétricas y microondas	18
II.3.2 Subsistema de control y adquisición de datos	19
II.3.2.1 Microcomputadora/controlador BCC52	21
II.3.2.2 Tarjeta de control y adquisición de datos	24
II.3.3 Subsistema alimentador de energía	26
<b>III DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.</b>	
III.1 Introducción	29
III.2 Bloques básicos de la tarjeta de control y adquisición de datos	30
III.2.1 Ducto BCC de entrada/salida	31
III.2.2 Reforzador de direcciones bajas y datos	35
III.2.3 Reforzador de direcciones altas y decodificador de direcciones	37

III.2.4	Circuito de los sensores de temperatura	40
III.2.5	Circuito del multicanalizador analógico	42
III.2.6	Circuito del convertidor analógico/digital	45
III.2.7	Puertos de entrada/salida	49
III.2.8	Circuito manejador del motor de pasos	51

#### **IV CONSTRUCCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.**

IV.1	Introducción	54
IV.2	Diseño de la tarjeta por computadora	54
IV.2.1	Programa de diseño OrCAD	55
IV.2.2	Programa de diseño PCB	59
IV.3	Técnica de elaboración del circuito impreso	62
IV.4	Ensamble de la tarjeta de control y adquisición de datos	66

#### **V CARACTERIZACIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS.**

V.1	Introducción	73
V.2	Instalación del sistema y pruebas de la tarjeta	74
V.2.1	Configuración del radiómetro	74
V.2.2	Instalación del programa emulador de terminal y programas de prueba	75
V.2.3	Verificación de la posición del espejo reflector	76
V.2.4	Posición del radiómetro	76
V.2.5	Funcionamiento y aplicación de los programas de prueba	77
V.2.6	Pruebas generales	81

<b>VI CONCLUSIONES</b>	<b>83</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>85</b>
<b>APÉNDICE 1</b>	
- Lista de componentes.	<b>88</b>
<b>APÉNDICE 2</b>	
- Hojas de datos de los componentes menos comunes.	<b>91</b>
- Características del lenguaje BASIC52.	<b>97</b>
<b>APÉNDICE 3</b>	
- Contenido del archivo netlist TESIS.NET.	<b>99</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>104</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b><u>FIGURA</u></b>		<b><u>PÁGINA</u></b>
1	(a) Absorción en función de la elevación sobre el nivel del mar.	3
1	(b) Atenuación atmosférica en función de la frecuencia.	3
2	Diagrama a bloques de un radiómetro ideal.	9
3	Diagrama a bloques de un radiómetro real.	9
4	Diagrama a bloques del Radiómetro de Potencia Total.	11
5	Diagrama a bloques del Radiómetro Dicke.	12
6	Diagrama a bloques del Radiómetro de Inyección de Ruido.	14
7	Esquema de operación del Radiómetro.	16
8	Diagrama a bloques del Radiómetro.	16
9	Diagrama a bloques del subsistema de ondas milimétricas y microondas.	18
10	Diagrama a bloques del subsistema de control y adquisición de datos.	20
11	Diagrama a bloques de la tarjeta BCC52 de Micromint.	22
12	Diagrama a bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos.	25
13	Diagrama a bloques del subsistema alimentador de energía.	27
14	Diagrama de los 8 bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos.	29
15	Vista inferior del borde del Ducto BCC.	32
16	Ducto BCC de entrada/salida.	34
17	Reforzador de direcciones/datos.	36
18	Direcciones altas y decodificador de direcciones.	39
19	Circuito de los sensores de temperatura.	41
20	Circuito del multicanalizador analógico.	44
21	Convertidor analógico/digital.	48
22	Puertos de entrada/salida.	50
23	Circuito del motor de pasos de corriente directa.	51

<u>FIGURA</u>		<u>PÁGINA</u>
24	Circuito del motor de pasos.	53
25	Tarjeta de control y adquisición de datos.	57
26	Bases con componentes de la tarjeta.	58
27	Distribución de circuitos integrados y componentes de la tarjeta	59
28	(a) Mascarilla de circuito impreso por el lado de componentes.	60
28	(b) Mascarilla de circuito impreso por el lado de soldadura.	61
29	Mascarilla de soldadura de la tarjeta de control y adquisición de datos.	62
30	Diagrama de flujo de la técnica de elaboración del circuito impreso.	63
31	Conector JP1 y conector JP2.	68
32	Fotografía de la tarjeta por el lado de componentes.	69
33	Fotografía de la tarjeta por el lado de soldadura.	69
34	Fotografía del Ducto BCC.	70
35	Fotografía del motor de pasos y la tarjeta insertada en el Ducto BCC.	70
36	Fotografía de la tarjeta BCC52 por el lado de componentes.	71
37	Fotografía del subsistema de control y adquisición de datos.	72
38	Fotografía de la conexión e instalación del radiómetro.	75
39	Posición del radiómetro con respecto a la horizontal.	77
40	Datos desplegados en la computadora por el radiómetro.	82

## LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
I	Conexiones de voltaje posibles, para el multicanalizador MC14051B.	42
II	Tabla de verdad del multicanalizador MC14051B.	43
III	Secuencia de entrada del motor de pasos.	52
IV	Características del lenguaje BASIC52.	Apéndice 2

# DESARROLLO DE UNA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE UN RADIÓMETRO EN ONDAS MILIMÉTRICAS

## CAPÍTULO I

### I INTRODUCCIÓN:

En este trabajo de tesis se describe el desarrollo de una tarjeta de control y adquisición de datos, que forma la parte digital de un radiómetro que opera a frecuencias con longitudes de ondas milimétricas. Este radiómetro, con aplicación en radioastronomía, sirve para medir la intensidad de radiaciones generadas por la materia en el espacio, y a su vez, para determinar la densidad de la columna de vapor de agua a altitudes no mayores de 20 kms.

A longitudes de ondas milimétricas y submilimétricas del espectro electromagnético (menores a las ondas de radio y mayores a las correspondientes a la región infrarroja), ocurre una absorción de señales provenientes del espacio, debidas al vapor de agua y dióxido de carbono que se encuentran concentrados en la atmósfera a altitudes inferiores a los 20 Kms. En la radioastronomía, se emplean radiotelescopios para efectuar observaciones astronómicas, basados en la recepción y estudio de las ondas radioeléctricas de origen cósmico. Estos radiotelescopios constituidos por una antena de gran apertura y receptores muy sensitivos de bajo ruido, que operan a frecuencias de microondas y ondas milimétricas, deberán estar localizados en regiones elevadas y con baja concentración de vapor de agua, con el fin de minimizar el efecto de absorción en la atmósfera.

A continuación se describe cómo se generan las pérdidas atmosféricas. La Tierra esta rodeada por una colección de gases, átomos y gotas de agua, capturadas por el campo gravitacional de la Tierra y extendidas a varios kilómetros de altitud. Esto

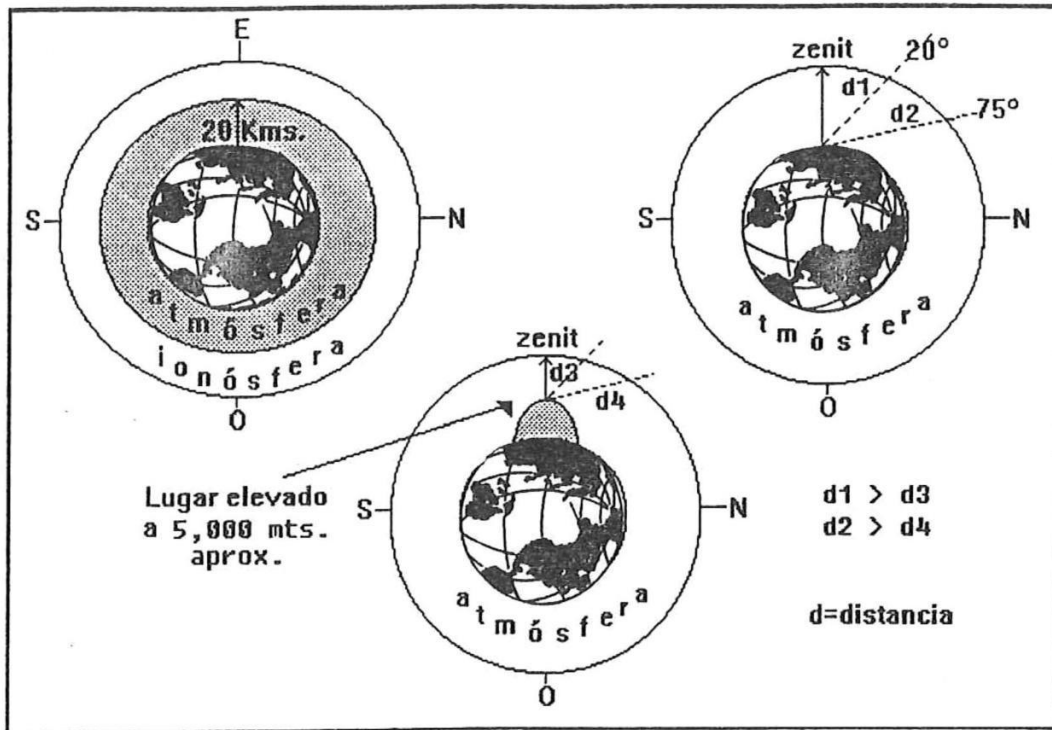
constituye la atmósfera terrestre. La mayor concentración de estas partículas es cerca de la Tierra, disminuyendo la densidad de la partícula con la altitud. Las partículas en la parte alta de la atmósfera (ionósfera) absorben y reflejan grandes cantidades de energía. La energía absorbida ioniza los átomos atmosféricos, produciendo bandas de electrones libres en la parte alta de la atmósfera que rodea a la Tierra. Estos electrones interactúan directamente con cualquier campo electromagnético pasando a través de ellos. Cuando una onda electromagnética incidente pasa sobre un objeto que tiene diferentes propiedades dieléctricas al medio que lo rodea, parte de la energía se absorbe y parte se dispersa. La energía que se absorbe calienta el material absorbente; la energía que se dispersa tiene casi las mismas propiedades (cuasi-isotrópica) en todas direcciones y está relacionada con la longitud de onda de la onda incidente. Mientras más pequeño es el objeto dispersor, la energía dispersada se reduce.

La razón por la cual el vapor de agua causa absorción es que una onda de radio a la frecuencia de 22 GHz excita la molécula de agua ( $H_2O$ ) y la hace entrar en resonancia, y al interactuar la onda incidente con la molécula resonante se crea un momento eléctrico en ésta, causando absorción en la energía de la onda.

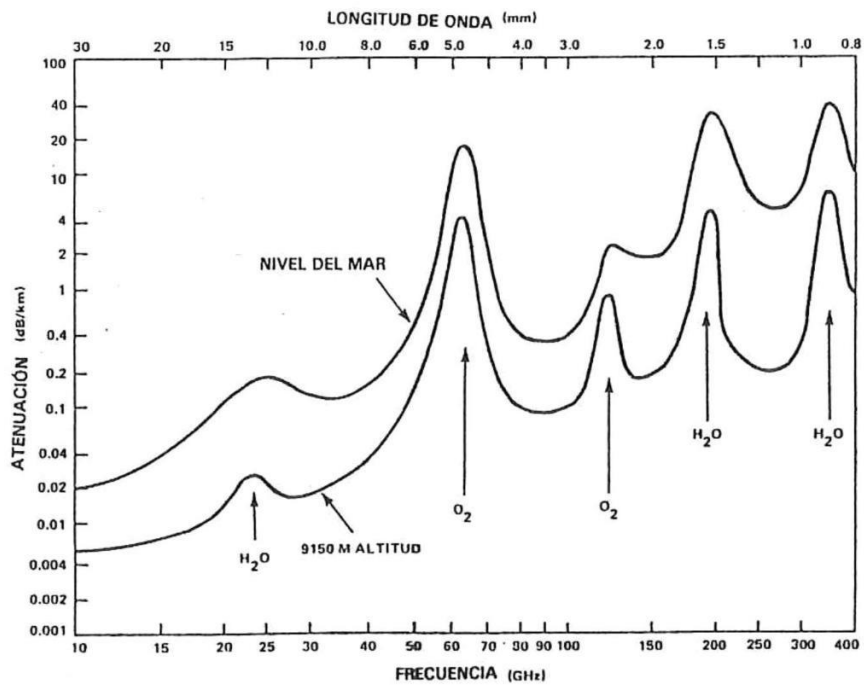
Esta absorción está en función de la temperatura, presión, elevación sobre el nivel del mar, y concentración de vapor de agua en el ambiente. La figura 1) muestra que a altitudes sobre el nivel del mar expresadas en miles de metros, se reduce de manera considerable la atenuación de las señales provenientes del espacio, ya que la distancia entre la cumbre de esta elevación y la parte alta de la atmósfera es menor.

A la frecuencia de 183 GHz se tienen efectos aún mayores de absorción (hasta 35 dB/km al nivel del mar) debido a la tercera resonancia de la molécula de agua [1].

Estas frecuencias en las que la atenuación es tan pronunciada (22 y 183 GHz por vapor de agua, 60 y 120 GHz por moléculas de oxígeno) las hace obsoletas para ciertas aplicaciones. La atenuación en dB/km con respecto a la frecuencia se puede observar en la figura 1(b),[2].



(a)



(b)

Fig 1).-Absorción en función de la elevación sobre el nivel del mar (a), y atenuación atmosférica en función de la frecuencia (b).

Existen dos tipos de radiómetros: Los equipos utilizados para la detección remota de la superficie de la Tierra, que operan con temperaturas altas entre 100 y 300 grados Kelvin, anchos de banda relativos grandes y tiempos de integración cortos [3], mientras que los empleados en radioastronomía para medir la densidad de la columna de vapor de agua en la atmósfera operan con bajas temperaturas, son de banda angosta pero están compensados con tiempos de integración grandes [4]. Los radiómetros con aplicación en radioastronomía operan en diferentes bandas de frecuencia con longitudes de onda del orden de centímetros y aún de milímetros. Este trabajo está directamente relacionado con este tipo de radiómetros, específicamente aquellos que operan en la banda de frecuencias de 210 a 212 GHz.

Como antecedentes se pueden mencionar los trabajos de Karl Jansky y Grote Reber. El primer sistema para detectar ondas de radio existentes en el espacio a 20.7 MHz fue desarrollado en 1932 en los laboratorios Bell por Karl Jansky al cual se le reconoce como el fundador de la radioastronomía [5]. Posteriormente en 1938 Grote Reber, dedujo que la radiación extraterrestre es más fácil de detectar si se trabaja a mayores frecuencias y con antenas del tipo de reflector parabólico. Reber construyó diversos receptores a frecuencias de 3 GHz y 909 MHz, sin embargo no logró detectar ninguna señal. Más tarde, en 1940 [6], disminuyó la frecuencia aún más (162 MHz), siendo la frecuencia más elevada a la cual se podía construir un amplificador, de donde obtuvo resultados de las mediciones del plano galáctico. Reber continuó sus investigaciones [7] a frecuencias de 480 MHz mejorando la sensibilidad de los receptores, obteniendo resultados de los primeros mapas del cielo obtenidos por radioastronomía.

Después del trabajo de los pioneros de la radioastronomía mencionados anteriormente, han surgido diversos desarrollos en diferentes bandas de frecuencia, gracias al avance de la tecnología de dispositivos y componentes de estado sólido en

altas frecuencias. Entre los diversos sistemas desarrollados se encuentran:

- Un radiómetro a 8 GHz con una antena de 8.5 metros utilizando TWT (Tubo de onda viajera) [8], mediante el cual es posible medir temperaturas de los planetas, la posición de fuentes que emiten ondas de radio brillantes, así como la estructura galáctica.

Se ha desarrollado en el Five College Radio Astronomy Observatory (FCRAO) de la Universidad de Massachusetts un radiómetro a 215 GHz [4] similar al que se pretende desarrollar en este trabajo de tesis, sin embargo, se requieren de cuatro radiómetros más para medir la densidad de vapor de agua en sitios localizados dentro de México y poder seleccionar el sitio más adecuado para instalar el Gran Telescopio Milimétrico (GTM) con una antena de 50 metros de diámetro. Esta actividad será realizada con la participación de las instituciones mexicanas UNAM, INAOE, CICESE y en colaboración con el FCRAO de la UMass, de Estados Unidos.

Este trabajo de tesis, consiste en el diseño y construcción de una tarjeta capaz de adquirir y procesar datos tales como temperatura del medio ambiente, temperatura del radiómetro, temperatura de la misma tarjeta de adquisición y el voltaje equivalente a las lecturas del Radiómetro; con el fin de almacenar los datos para después poder ser interpretados por astrónomos especialistas y así poder determinar regiones con mayor concentración de vapor de agua.

La presente Tesis está organizada de la siguiente manera:

En el **capítulo II** se mencionan los diferentes tipos de radiómetros y se describe de manera detallada el sistema, así como el funcionamiento del radiómetro de ondas

milimétricas, incluyendo diagramas a bloques y las funciones de cada uno de sus componentes. Sin embargo una recopilación de trabajos relacionados con la instrumentación para radioastronomía se encuentra en la referencia [9].

El **capítulo III** se basa en el diseño de la tarjeta de adquisición de datos, 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 explican en el **capítulo IV**.

En el **capítulo V** se describen las pruebas realizadas a la tarjeta de control y adquisición de datos por medio de una computadora personal. Se comprueba el funcionamiento del motor de pasos, los puertos de entrada/salida y el convertidor analógico/digital por medio de programas escritos en lenguaje BASIC52. Además, se presentan resultados de la caracterización en el laboratorio. Las conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros se presentan en el **capítulo VI**

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 y adquisición de datos del radiómetro.

**Apéndice 2.-** Se incluyen las hojas de datos de los componentes menos comunes, y, la tabla con las características del lenguaje BASIC52.

**Apéndice 3.-** Se muestra el contenido del archivo netlist TESIS.NET, el cual se utiliza para generar el diseño del circuito impreso.

## CAPÍTULO II

### II DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

#### II.1 INTRODUCCIÓN:

En este capítulo, se describe el radiómetro en forma general, dando énfasis al subsistema de control y adquisición de datos. En la sección II.2 se explican los tipos de radiómetros existentes, partes que lo componen y principio de operación, para tener una idea general sobre el funcionamiento, ventajas y aplicación de dichos instrumentos.

Una descripción general del radiómetro en que se basa este trabajo de tesis se presenta en la sección II.3. Este radiómetro opera a una frecuencia del orden de 210 a 212 GHz y está formado por los tres subsistemas que se mencionan a continuación:

- 1.-Subsistema de ondas milimétricas y microondas.
- 2.-Subsistema de control y adquisición de datos.
- 3.-Subsistema alimentador de energía.

El subsistema de ondas milimétricas y microondas se describe de manera detallada en la subsección II.3.1; la subsección II.3.2 describe el subsistema de control y adquisición de datos, haciendo énfasis en la tarjeta de control y adquisición de datos, que es el objetivo principal de este trabajo de tesis. Y por último, en la sección II.3.3 se presenta el subsistema alimentador de energía.

## II.2 TIPOS DE RADIÓMETROS:

Los sistemas radiométricos no tienen una sola aplicación en particular, ya que, cada uno requiere un enfoque específico, como ejemplos se pueden citar a los radiómetros con aplicación en radioastronomía, los cuales exigen una estabilidad extrema de largo plazo, una excelente resolución (milikelvins) y una calibración absoluta. Mientras que los radiómetros con aplicación en teledetección ó percepción remota requieren de una respuesta rápida y peso mínimo para ubicarse en aviones o en satélites.

Debido a esto, no es posible diseñar un radiómetro universal, sino que, cada tipo de radiómetro tiene que diseñarse de una manera apropiada para cumplir ciertos parámetros específicos.

En lo que resta de esta sección se describe cómo es un radiómetro ideal y uno real y como funcionan los diversos tipos existentes.

Un radiómetro ideal se muestra en la figura 2) Este radiómetro selecciona una porción determinada de la potencia de salida disponible desde la antena, esto es, un determinado ancho de banda (B) alrededor de una frecuencia central dada, esta potencia es amplificada por un factor de G veces y se presenta en una forma adecuada a algún medio de salida, ilustrado en este caso, por un simple medidor de potencia [3]. La potencia detectada por el medidor será dada por:

$$P = k * B * G * T_a \text{ (Watts)} \quad (1)$$

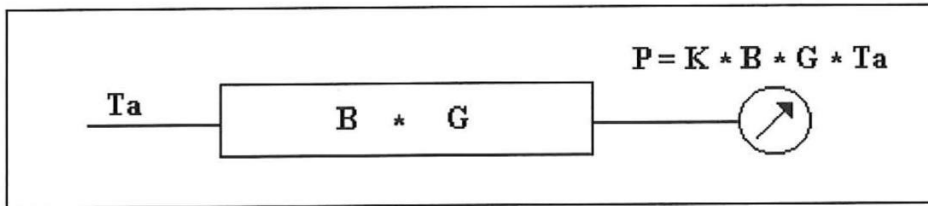
donde (k) es la constante de Boltzman, (B) el ancho de banda, (G) es la ganancia del amplificador y (T<sub>a</sub>) es la temperatura a ser medida. En la realidad, el radiómetro genera ruido, y este ruido se suma a la señal de entrada, tal como se muestra en la

figura 3).

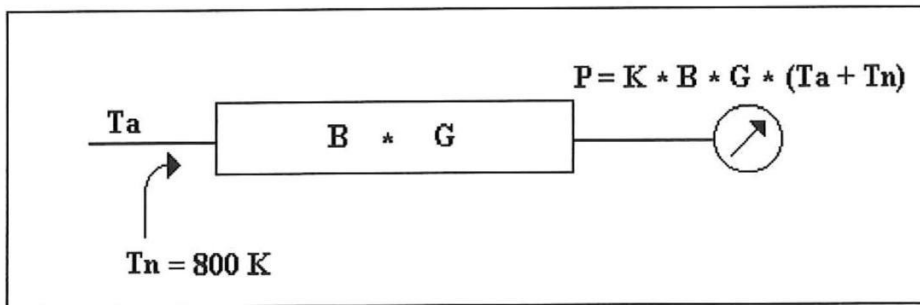
Debido a que la señal de la antena es también una señal de ruido, y las dos señales son independientes, estas se suman y no pueden separarse después. Ahora la potencia (P) detectada por el medidor de potencia está dada por:

$$P = K * B * G * (T_a + T_n) \text{ (Watts)} \quad (2)$$

donde  $T_a$  es la temperatura de entrada al radiómetro, y  $T_n$  es la temperatura de ruido del radiómetro.



**Fig. 2).- Diagrama a bloques de un Radiómetro ideal.**



**Fig. 3)-Diagrama a bloques de un Radiómetro real.**

La sensibilidad de un radiómetro (intervalo de temperatura mínima detectable) real [3] es un parámetro importante y se obtiene por la siguiente expresión:

$$\Delta T = \frac{T_a + T_n}{\sqrt{B\tau}} \quad (3)$$

donde B es el ancho de banda, y  $\tau$  el tiempo de integración. De la ecuación 3) se puede observar que la sensibilidad mejora ( $\Delta T$  disminuye) si se aumentan los valores de  $\tau$  ó B.

Como se mencionó anteriormente, se conocen diferentes tipos de radiómetros. En las siguientes subsecciones se describen los más relevantes como son: el radiómetro de Potencia Total (TPR), el de Dicke (DR) y el de Inyección de Ruido (NIR).

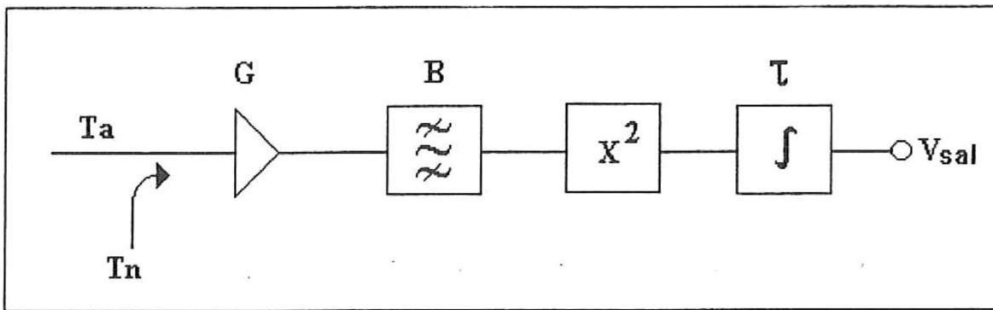
### II.2.1 El Radiómetro de Potencia Total (TPR):

El Radiómetro de Potencia Total se ilustra en la figura 4) [3]. En primer lugar se tiene un amplificador que tiene una ganancia (G), éste es seguido por un filtro pasabanda con un ancho de banda (B) (centrado alrededor de una frecuencia dada). Para poder obtener alguna medición, es necesario que la potencia de microondas a detectar, se encuentre en este intervalo. La forma de detectar esta potencia, es utilizando uno de los diodos semiconductores de microondas: *el detector lineal* y *el detector de Ley-cuadrada*, los cuales convierten la energía de radiofrecuencia a voltaje. En este caso, para el Radiómetro de Potencia Total, es muy útil utilizar el detector de Ley-cuadrada, ya que el voltaje de salida del detector es proporcional a la potencia de entrada y a la temperatura de entrada. El integrador es el último bloque de la figura 4), su función es recibir la señal de salida proveniente del detector de Ley-cuadrada y reducir las fluctuaciones de voltaje de dicha señal, cuando el tiempo de integración  $\tau$  se aumenta. Al hacer esto, la sensibilidad del radiómetro se mejora substancialmente.

Finalmente, la salida del Radiómetro de Potencia Total se expresa como:

$$V_{sal} = C * (T_a + T_n) * G \quad (4)$$

donde C es una constante y  $V_{sal}$  es totalmente dependiente de  $T_n$  y G.



**Fig. 4).- Diagrama a bloques del Radiómetro de Potencia Total.**

### II.2.2 El Radiómetro Dicke (DR):

En el año de 1946 R. H. Dicke [16] encontró una manera de resolver en gran parte los problemas de estabilidad en radiómetros. Utilizando el radiómetro no para medir directamente la temperatura de la antena, si no, para medir la diferencia entre ésta temperatura y otra temperatura de referencia. La sensibilidad de la medición para la ganancia e inestabilidades en la temperatura de ruido se reduce considerablemente.

Este tipo de radiómetro se muestra en la figura 5). En esta figura, la entrada del radiómetro conmuta rápidamente entre la temperatura de la antena y una temperatura de referencia, a una frecuencia aproximada de 1000 Hz. La señal se amplifica por un amplificador de ganancia G y se filtra con un ancho de banda B. Posteriormente la señal se introduce a un detector de ley cuadrada, en donde su salida se multiplica por +1 ó -1, dependiendo de la posición del interruptor Dicke, antes de la integración. La entrada para el integrador en la primera mitad del período de  $F_s$  es:

$$V_1 = C * (T_a + T_n) * G \quad (5)$$

y en la segunda mitad del período es:

$$V_2 = -C * (T_r + T_n) * G \quad (6)$$

Los valores de  $T_a$ ,  $T_n$  y  $G$  se pueden considerar constantes en el período, debido a que la frecuencia del interruptor  $F_s$  es demasiado elevada, siendo el período menor que el tiempo de integración. La salida de voltaje del Radiómetro Dicke queda determinada por:

$$V_{sal} = V_1 + V_2 \quad (7)$$

sustituyendo las ecuaciones (5) y (6) en (7) se tiene que:

$$V_{sal} = C * (T_a - T_r) * G \quad (8)$$

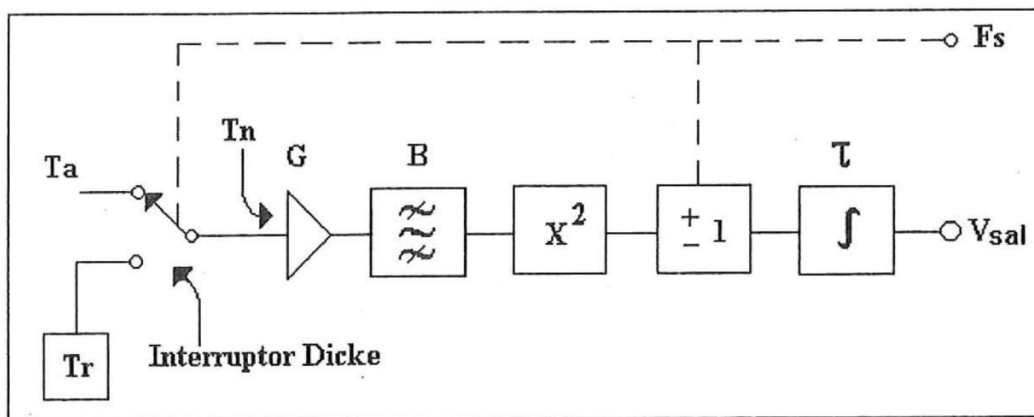


Fig. 5).- Diagrama a bloques del Radiómetro Dicke.

Se puede observar de la ecuación (8) que  $T_n$  ha sido eliminada, mientras que  $G$  sigue presente con una influencia menor. Ahora  $G$  se multiplica por la diferencia entre  $T_a$  y

Tr, donde el valor de Tr se elige razonablemente para estar en el mismo intervalo de Ta.

Por todo lo anteriormente expuesto, el Radiómetro Dicke ha sido un instrumento de mucha utilidad.

### II.2.3 El Radiómetro de Inyección de Ruido (NIR):

Este radiómetro representa el avance hacia la exactitud; esto es, la salida es independiente de la ganancia y de las fluctuaciones de la temperatura de ruido [17].

De la ecuación (8), se observa que la salida del Radiómetro Dicke es cero (independiente de G y Tn), si la temperatura de referencia Tr y la temperatura de la antena Ta son iguales. El Radiómetro de Inyección de Ruido es una especialización del Radiómetro Dicke, en la cual esta condición se lleva a cabo continuamente por un lazo de compensación.

En la figura 6) se muestra cómo la salida Ti de un generador de ruido variable se suma a la señal de la antena Ta, teniendo como resultado una entrada Ta'. Para el Radiómetro Dicke, Ti es igual a la temperatura de referencia Tr y al ser Ta' = Tr resulta una salida igual a cero. Un lazo de compensación ajusta Ti para mantener la condición de salida igual a cero u otra condición de salida cerca de cero: el lazo de compensación puede ser grande, pero no infinito.

De la ecuación (8) se tiene:

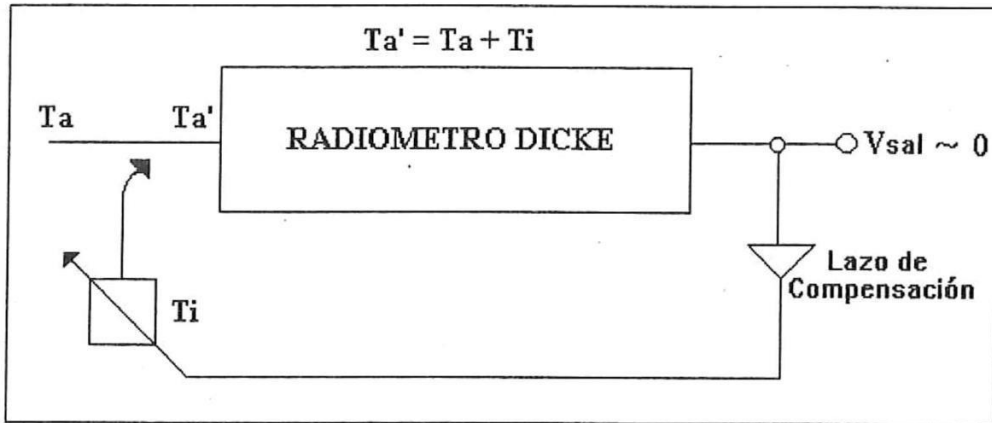
$$V_{sal} = C * (Ta' - Tr) * G = 0 \quad (9)$$

donde

$$Ta' = Ta + Ti \quad (10)$$

sustituyendo (10) en (9) y despejando  $T_a$ , resulta:

$$T_a = T_r - T_i \quad (11)$$



**Fig. 6).**- Diagrama a bloques del Radiómetro de Inyección de Ruido.

El valor de  $T_r$  es una constante conocida, y se requiere conocer el valor de  $T_i$  para encontrar la temperatura de la antena  $T_a$ . Las exactitudes de la parte del Radiómetro Dicke, la parte del NIR y del lazo de ganancia, son completamente insignificantes para la exactitud con la cuál se determina  $T_a$ ; ya que ésta es dependiente solamente de la exactitud de  $T_i$ . Así, el "inyectar" una señal de ruido a la entrada de un Radiómetro Dicke, genera la mejor opción para la exactitud en las mediciones. Una descripción más detallada de los radiómetros antes mencionados, se encuentra en la referencia [3].

### **II.3 RADIÓMETRO DE ONDAS MILIMÉTRICAS Y MICROONDAS:**

Como se menciona en la sección II.2 del presente capítulo, cada radiómetro tiene una aplicación en particular en base a sus características. El radiómetro de este trabajo de tesis, es una variación de los radiómetros de Potencia Total y el Radiómetro Dicke, diseñado especialmente para trabajar en la banda de frecuencias de 210 a 212 GHz y su principal aplicación es en radioastronomía, utilizado para medir la densidad de la columna de vapor de agua en la atmósfera. Conociendo las regiones con mayor concentración de vapor de agua se podrá determinar que regiones elevadas en México son las más óptimas para colocar el Gran Telescopio Milimétrico, el cuál será resultado de un ambicioso proyecto entre los países de México y Estados Unidos.

En la figura 7), se muestra el esquema de operación del radiómetro. Los dispositivos periféricos con los que trabaja el radiómetro son: una computadora personal, para inicialización del sistema ó para monitoreo de pruebas; y, un banco de baterías, panel solar ó corriente alterna (110 V) como energía de activación.

El radiómetro está dividido en tres subsistemas, y en ellos se combina la electrónica de alta frecuencia, la electrónica digital y la electrónica analógica. Los subsistemas que forman el radiómetro son los siguientes:

- 1.- Subsistema de ondas milimétricas y microondas.
- 2.- Subsistema de adquisición, control y procesamiento.
- 3.- Subsistema alimentador de energía.

Los tres subsistemas se muestran en el diagrama a bloques en la figura 8), siendo el orden de los bloques, la forma de ensamblarlos en el recinto metálico.

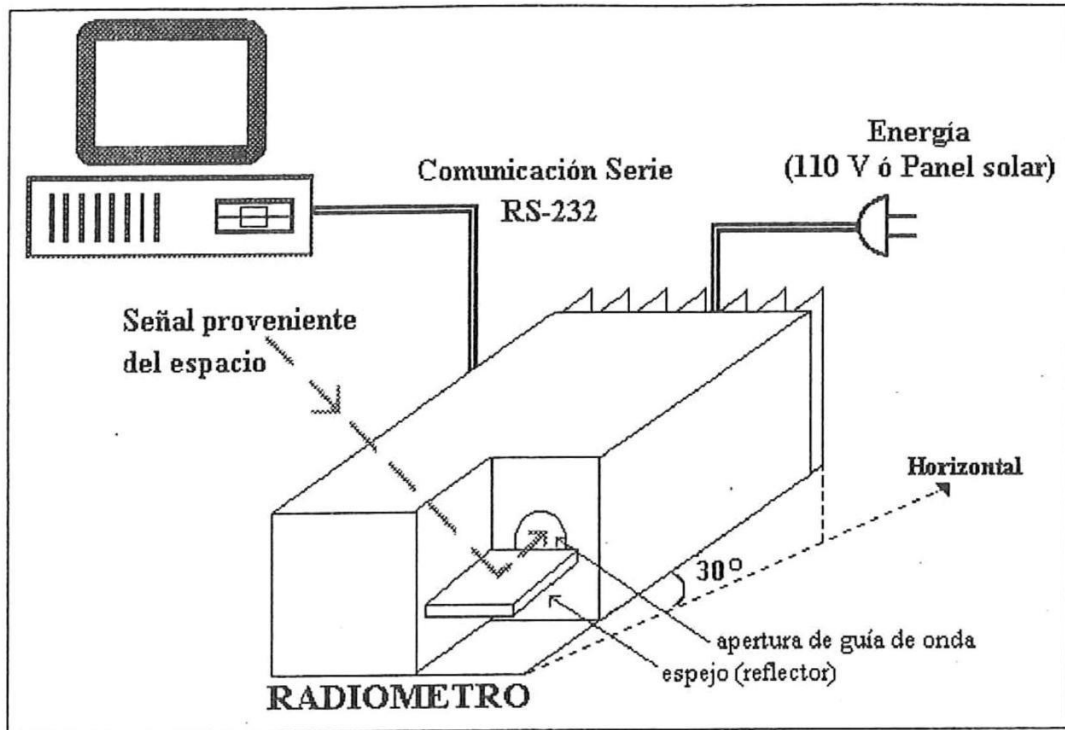


Fig. 7).-Esquema de operación del Radiómetro

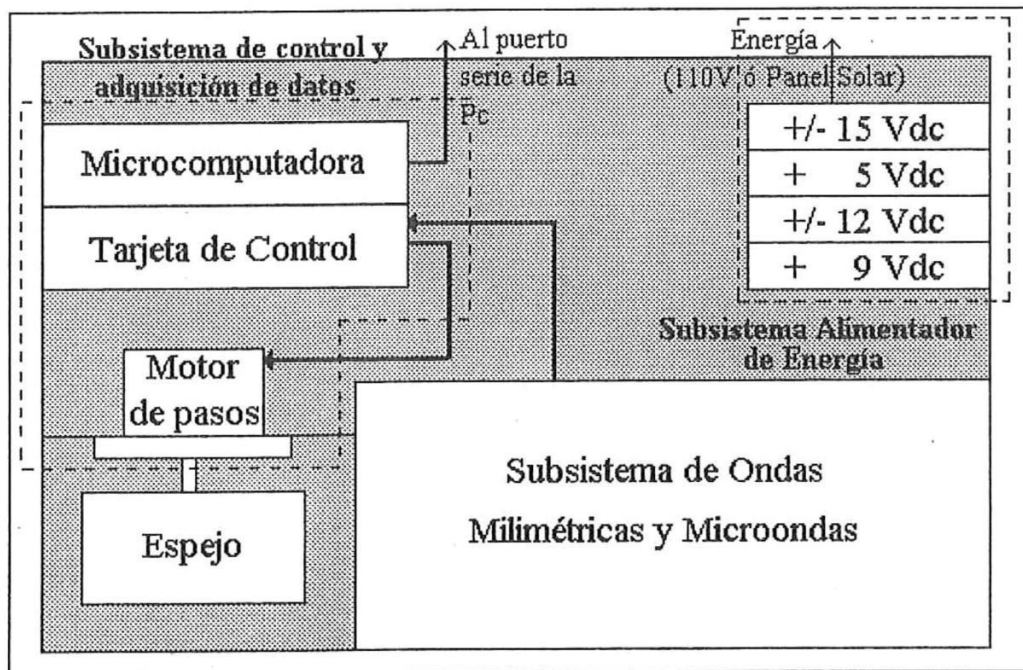


Fig.8).- Diagrama a bloques del Radiómetro.

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

1).- El subsistema de ondas milimétricas y microondas, tiene la función de recibir las señales de longitudes de onda milimétrica provenientes del espacio, convertirlas a frecuencias de microondas y después convertirlas a corriente directa (DC) para entregarlas al subsistema de control y adquisición de datos. Este subsistema se describe de manera detallada en la subsección II.3.1.

2).- El subsistema de adquisición, control y procesamiento de datos, tiene la función de recibir la señal entregada por el subsistema de ondas milimétricas y microondas, obtener las lecturas de diversos sensores de temperatura y controlar la posición del espejo reflector para mediciones del espacio en diferentes ángulos, para tener un campo de observación de 55 grados. La información antes mencionada se procesa en la microcomputadora/controlador BCC52 y se envía a una computadora personal a través del puerto serie para visualizar los resultados. El objetivo de este trabajo de tesis es precisamente el desarrollo de la tarjeta de control y adquisición de datos. Este subsistema se describe en la subsección II.3.2.

3).- El subsistema alimentador de energía lo forman tres fuentes de voltaje regulables, que proporcionan voltajes a los diferentes componentes y subsistemas del radiómetro. Este subsistema se describe en la subsección II.3.3.

La forma en que están constituidos, y cada una de las señales que reciben, procesan y entregan dichos subsistemas, se explica con detalle en las siguientes subsecciones.

### II.3.1 Subsistema de ondas milimétricas y microondas:

El subsistema de ondas milimétricas y microondas está constituido por componentes y dispositivos electrónicos de alta frecuencia, que permiten la detección y conversión de señales de muy alta frecuencia (210 - 212 GHz). En particular, este subsistema se muestra en la figura 9), y está compuesto por un alimentador de guía de onda (antena), el cual se encarga de recibir las señales provenientes del espacio a frecuencias de 210 a 212 GHz. Esta señal se introduce a un mezclador de diodo Schottky sintonizado a la segunda armónica, que tiene la función de convertir las frecuencias de 210-212 GHz (basado en el principio de un receptor superheterodino) llamadas de radio frecuencia (RF), a una frecuencia intermedia (FI) entre 1 y 2 GHz. Esta conversión se lleva a cabo mediante un oscilador de diodo Gunn, cuya frecuencia fundamental ( $f_1$ ) es 105 GHz, y su segunda armónica ( $f_2$ ) es 210 GHz.

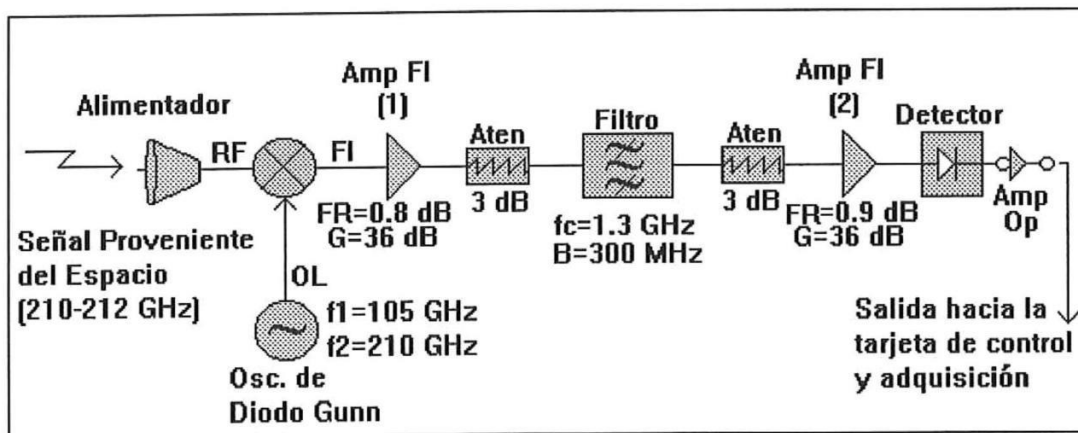


Fig. 9).- Diagrama a bloques del subsistema de ondas milimétricas y microondas.

En el puerto de FI del mezclador se tiene la señal convertida (1-2 GHz), que se introduce en un amplificador de FI con una ganancia  $G = 36$  dB y un factor de ruido  $FR = 0.8$  dB; con el propósito de elevar el nivel de la señal en la banda de 1 a 2 GHz.

Posteriormente se tiene un filtro de FI con una frecuencia central ( $f_c$ ) de 1.3 GHz y un ancho de banda (B) igual a 300 MHz.

Para mejorar la relación de Onda Estacionaria (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR) entre el amplificador y el filtro, se utilizan atenuadores de 3 decibeles en los puertos de entrada y salida del filtro. Después del segundo atenuador, la señal de microondas vuelve a ser amplificada por un segundo amplificador de FI, con una  $G=36$  dB y un  $FR=0.9$  dB.

Ya elevado el nivel de la señal, ésta se entrega a un detector de Ley cuadrada, siendo la función del detector el generar una señal de DC, proporcional a la suma de la señal recibida del espacio y la temperatura de ruido del sistema

Dado que la señal entregada por el detector es de nivel bajo (mV), se envía a un amplificador de DC, con una ganancia  $G=1000$ ; así, la señal ya amplificada se introduce a la tarjeta de control y adquisición de datos para ser procesada.

### **II.3.2 Subsistema de control y adquisición de datos:**

En esta sección, se describe el subsistema de control y adquisición de datos, que representa la electrónica digital del radiómetro. Esta parte del radiómetro se encarga de la adquisición y procesamiento de la señal proveniente del subsistema de ondas milimétricas y microondas, es decir, la que entrega el detector de Ley-cuadrada en DC y es amplificada 1000 veces. Para tomar las lecturas que provienen del subsistema de ondas milimétricas y microondas y otras señales importantes como son la temperatura del medio ambiente, la temperatura de componentes, y voltajes precisos encargados de activar dispositivos del radiómetro; es necesario contar con un subsistema capaz de realizar en forma autónoma y eficaz, la adquisición, control y procesamiento de dichas señales.

Este subsistema está constituido por:

- 1.- Una computadora personal
- 2.- Interfaz vía puerto serie
- 3.- Microcomputadora/controlador BCC52 de la compañía Micromint
- 4.- Tarjeta de control y adquisición de datos  
(objetivo de este trabajo de tesis)
- 5.- Ducto de datos, direcciones y señales de control, llamado Ducto BCC.

El diagrama a bloques del subsistema de control y adquisición de datos, y las señales que se manejan en esta parte del subsistema se muestran en la figura 9).

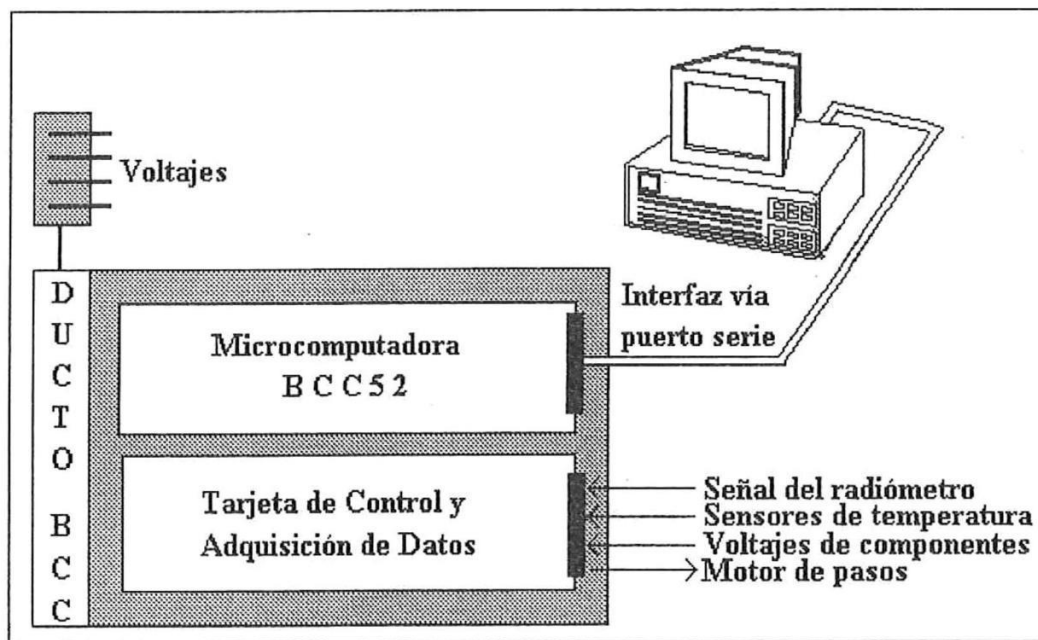


Fig. 9).- Diagrama a bloques del subsistema de control y adquisición de datos.

En las siguientes subsecciones se describen las dos partes esenciales de este subsistema, la microcomputadora/controlador BCC52 y la tarjeta de control y adquisición de datos.

### **II.3.2.1.- Microcomputadora/Controlador BCC52:**

La microcomputadora/controlador BCC52 es una herramienta de procesamiento y control muy eficiente y de fácil manejo [10]. La forma de programar esta tarjeta, la convierte en una microcomputadora muy accesible, ya que trabaja en lenguaje de programación BASIC.

La tarjeta BCC52 usa el microprocesador CMOS 80C52-basic, el cual contiene una memoria ROM residente de 8 kbytes que opera con el lenguaje de programación BASIC-52.

En la Tabla IV), del apéndice 2, se enlistan los mandos, instrucciones y operaciones del lenguaje BASIC-52.

Contiene además, un espacio para 48 kbytes de memoria de acceso aleatorio (RAM), una EPROM programable 2764/128, tres puertos paralelos, una terminal de puerto serie con selección de velocidad de transmisión de datos, y un ducto compatible con todas las tarjetas de expansión de la serie BCC (ducto BCC).

Las dimensiones físicas de la tarjeta son: 16.5 cms. de largo por 11.5 cms. de ancho, y son las dimensiones estándar para la mayoría de las tarjetas de la serie BCC.

La estructura a bloques de la tarjeta BCC52, se muestra en la figura 11). Como se observa en esta figura, la microcomputadora/controlador, está formada por cinco bloques principales que son:

- 1).- El microprocesador.
- 2).- La decodificación de direcciones y memoria.
- 3).- Los puertos paralelos de entrada y salida.
- 4).- Los puertos serie de entrada y salida.
- 5).- La EPROM programable.

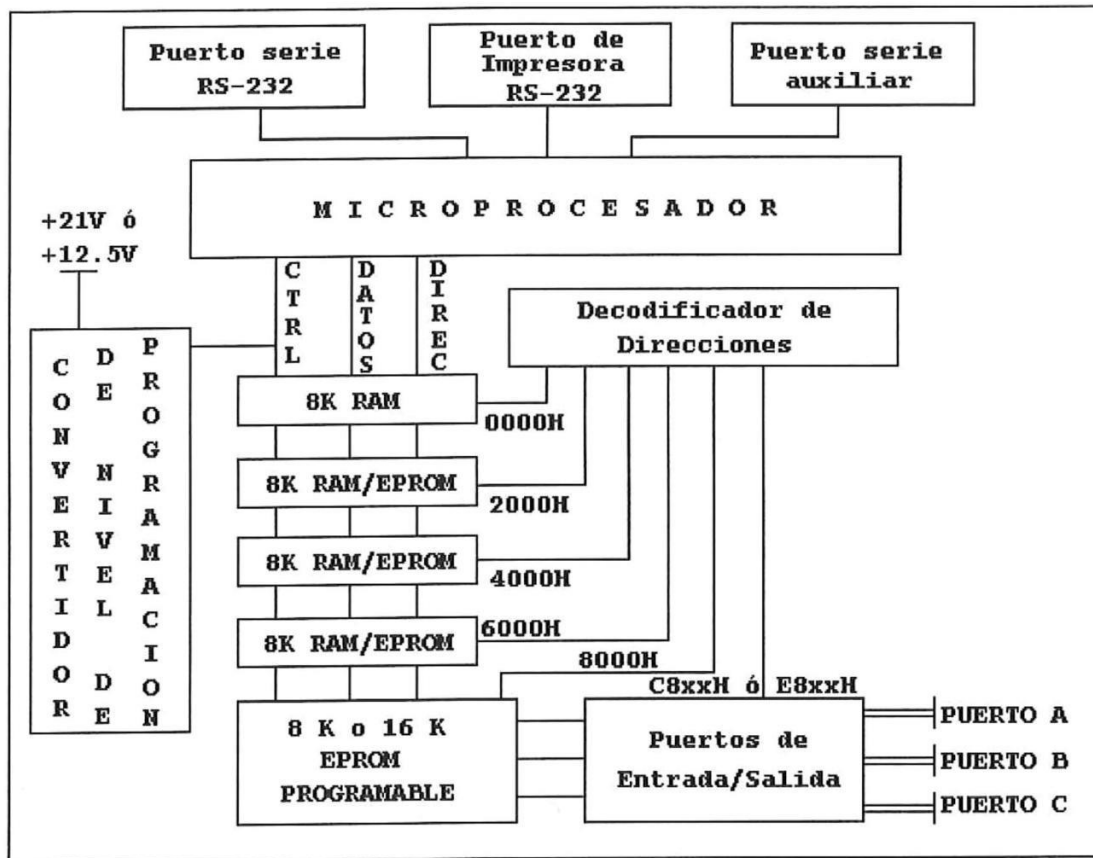


Fig. 11).- Diagrama a bloques de la tarjeta BCC52.

La parte fundamental de la microcomputadora/controlador es el microprocesador, el cual es un circuito integrado 80C52-BASIC de la compañía INTEL. Por medio del microprocesador se lleva a cabo el procesamiento de las señales adquiridas por la tarjeta de control y adquisición de datos. El microprocesador contiene 8 kbytes de memoria ROM, 256 bytes de memoria RAM, tres contadores/temporizadores de 16 bits, 6 interrupciones y 32 líneas de entrada/salida (4 puertos de 8 bits).

La memoria de lectura exclusiva (ROM) es una memoria intérprete del lenguaje BASIC-52, mostrado en la Tabla 1 del apéndice 2. Las líneas de entrada/salida se asignan a direcciones, datos y líneas de control, tal como se muestra en la figura 11). El microprocesador tiene un ducto de direcciones de 16 bits y un ducto de datos de 8

bits. Los ocho bits menos significativos (LSB) del ducto de direcciones (A0-A7) y el ducto de datos (D0-D7) están multicanalizados (AD0-AD7).

Tres líneas de control, RD, WR y PSEN; dividen el espacio de dirección en 64 kbytes cada uno. Finalmente, la lógica de direccionamiento es como sigue:

I).- Las líneas RD y WR del microprocesador habilitan la memoria RAM desde 0000H hasta 7FFFH.

II).- La línea PSEN es usada para habilitar la memoria EPROM desde 2000H hasta 7FFFH.

III).- Entre las direcciones 8000H y FFFFH, ambas líneas RD y PSEN son usadas para habilitar, ya sea, memoria EPROM o memoria RAM. La línea WR se utiliza para escribir en memoria RAM en este mismo espacio de direccionamiento.

La tarjeta BCC52, cuenta además con un ducto de datos, direcciones y líneas de control. Este ducto permite interactuar a la tarjeta BCC52 con otras tarjetas de propósito general.

El ducto, llamado Ducto BCC (Basic Computer Controller), es el ducto estándar para todas las tarjetas BCC. Este ducto está formado por 44 terminales (22 de cada lado), se etiquetan de la letra "A" a la "Z" por el lado de los componentes, y del número "1" al "22" por el lado de la soldadura. En este ducto se encuentran disponibles señales de control, señales de direcciones, señales de datos y voltajes de alimentación. De las señales del ducto, sólo se utilizaron las de direcciones y datos (AD0-AD7), las direcciones altas (A8-A15), voltajes (+12, -12, +5 y GND) y 4 señales de control (RESET, RD/\*WR, \*AS, y \*DS). Mediante ellas la tarjeta BCC52 intercambiará información con la tarjeta de control y adquisición de datos, a través del ducto BCC.

En el siguiente subcapítulo se describe la segunda parte esencial del subsistema que es la propia tarjeta de control y adquisición de datos.

### II.3.2.2 Tarjeta de control y adquisición de datos:

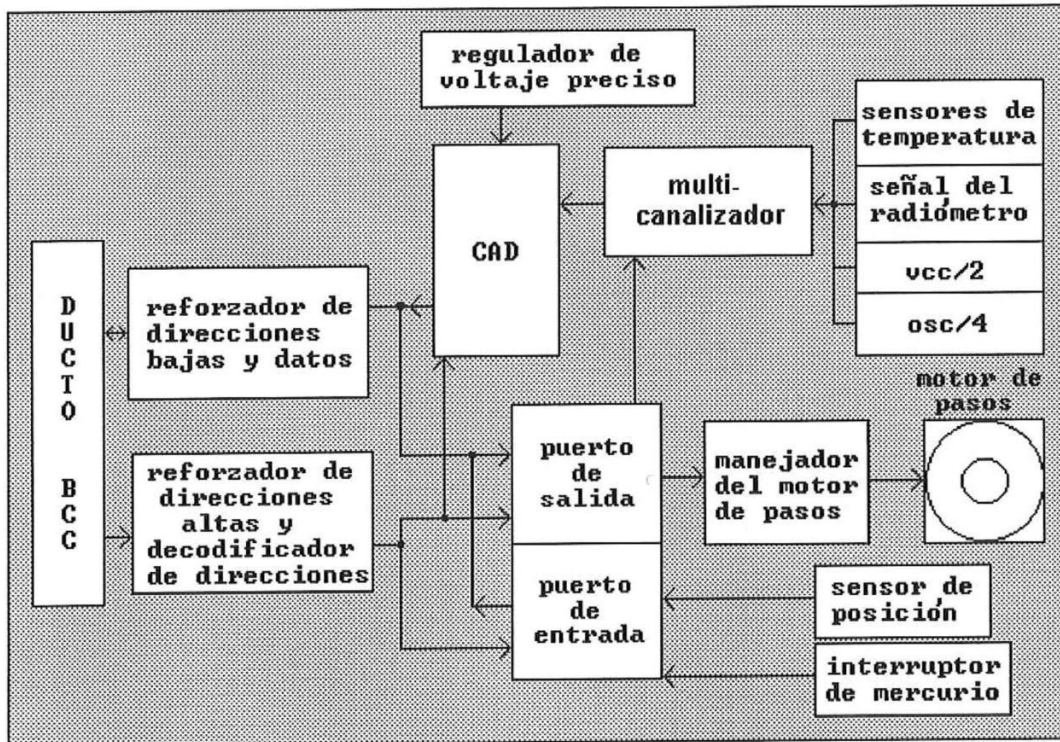
El desarrollo de la tarjeta de control y adquisición de datos es el propósito de este trabajo de tesis. Mediante esta tarjeta es posible tomar las lecturas provenientes del subsistema de ondas milimétricas y microondas, convertir esta señal analógica en una señal digital, y procesarla para una interpretación posterior. Además, se obtienen lecturas de diversos sensores de temperatura que indican la temperatura ambiente a la que trabaja el radiómetro, la temperatura de la tarjeta de control y adquisición de datos, la temperatura del primer amplificador de FI y la temperatura del oscilador de diodo Gunn. Todas estas lecturas son indispensables, ya que, algunas de las operaciones del radiómetro dependen de la temperatura, y conociendo este parámetro es posible determinar cuando el radiómetro funciona de manera correcta ó incorrecta.

La tarjeta de control y adquisición de datos está formada por 15 circuitos integrados, 6 bases con componentes, el ducto BCC, un conector de 20 terminales y un conector de 4 terminales. Todos estos elementos de la tarjeta están comprendidos dentro de un área de 16.5 cms. de largo por 11.5 cms. de ancho de tal manera que sea compatible con el ducto BCC y la microcomputadora BCC52.

En la figura 12) se muestra el diagrama a bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos y el sentido de transmisión de cada señal. A partir de esta figura, se describe el funcionamiento de la tarjeta de control y adquisición de datos.

La tarjeta de control y adquisición de datos toma la lectura de la señal proveniente del subsistema de ondas milimétricas y microondas (transformada a voltaje por el detector y amplificada 1000 veces), los voltajes de los sensores de temperatura, el voltaje del sistema ( $V_{cc}/2$ ) y el voltaje del oscilador de diodo Gunn ( $V_{osc}/4$ ), por medio de un multicanalizador de ocho canales. La señal a leer se selecciona por una combinación lógica presente en el puerto de salida. La información adquirida se envía al convertidor analógico/digital (CAD), el cuál realiza conversiones en el intervalo de 0

a 4.5 Volts. El intervalo de voltaje se establece por medio del regulador de voltaje preciso. Este regulador permite una precisión y confiabilidad elevadas en las conversiones de salida del CAD.



**Fig. 12).- Diagrama a bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos.**

Los canales utilizados del multicanalizador son los siguientes:

- \* Canal 0 = Señal del subsistema de ondas milimétricas y microondas \* 1000
- \* Canal 1 = Temperatura de la tarjeta de control
- \* Canal 2 = Temperatura del medio ambiente
- \* Canal 3 = Temperatura del Oscilador Gunn
- \* Canal 4 = Temperatura del amplificador número 1
- \* Canal 5 = Voltaje de alimentación 5 Volts / 2
- \* Canal 6 = Voltaje de entrada del oscilador Gunn / 4

\* Canal 7 = Canal disponible

Una vez convertida la señal analógica en señal digital, se envía hacia la tarjeta BCC52 por medio del ducto BCC.

La secuencia del motor de pasos consiste en, un "barrido" de ocho lecturas de señales provenientes del espacio. Esta secuencia es controlada por la tarjeta BCC52, la cual envía información de la posición del espejo a través del ducto BCC, en forma de una combinación lógica en el puerto de salida y al circuito manejador del motor de pasos.

El puerto de entrada recibe información del sensor de posición y del interruptor de mercurio. El sensor detecta la posición del espejo y permite determinar el inicio de la secuencia de lecturas. El interruptor de mercurio determina el ángulo de inclinación del radiómetro ( $30^{\circ}$  con respecto a la superficie), con el fin de que las lecturas del radiómetro, se tomen en el sitio apropiado (del zenit hacia el horizonte) en ángulos determinados por el microprocesador de la tarjeta BCC52. La información del puerto de entrada se envía a través del ducto BCC hacia la tarjeta BCC52.

### **II.3.3 Subsistema alimentador de energía:**

Este subsistema representa la parte analógica de potencia del radiómetro. El subsistema alimentador de energía constituido por circuitos convertidores DC-DC y reguladores de voltaje, es el que se encarga de proveer y regular los diferentes voltajes necesarios para poner en operación a los circuitos integrados y componentes que constituyen el radiómetro, como son: el oscilador de diodo Gunn, el mezclador activo, los amplificadores de microondas, el amplificador de DC, la computadora interna, el motor de pasos y los diversos componentes que constituyen la tarjeta de control y adquisición de datos.

Los voltajes proporcionados por este subsistema son:

- \* -15 V para el mezclador
- \* +15 V para los dos amplificadores de FI
- \* + 9 V para el oscilador de diodo Gunn
- \* +/- 12 V y + 5 V para el subsistema de control y adquisición

En la figura 13) se muestra el diagrama a bloques del subsistema alimentador de energía del radiómetro.

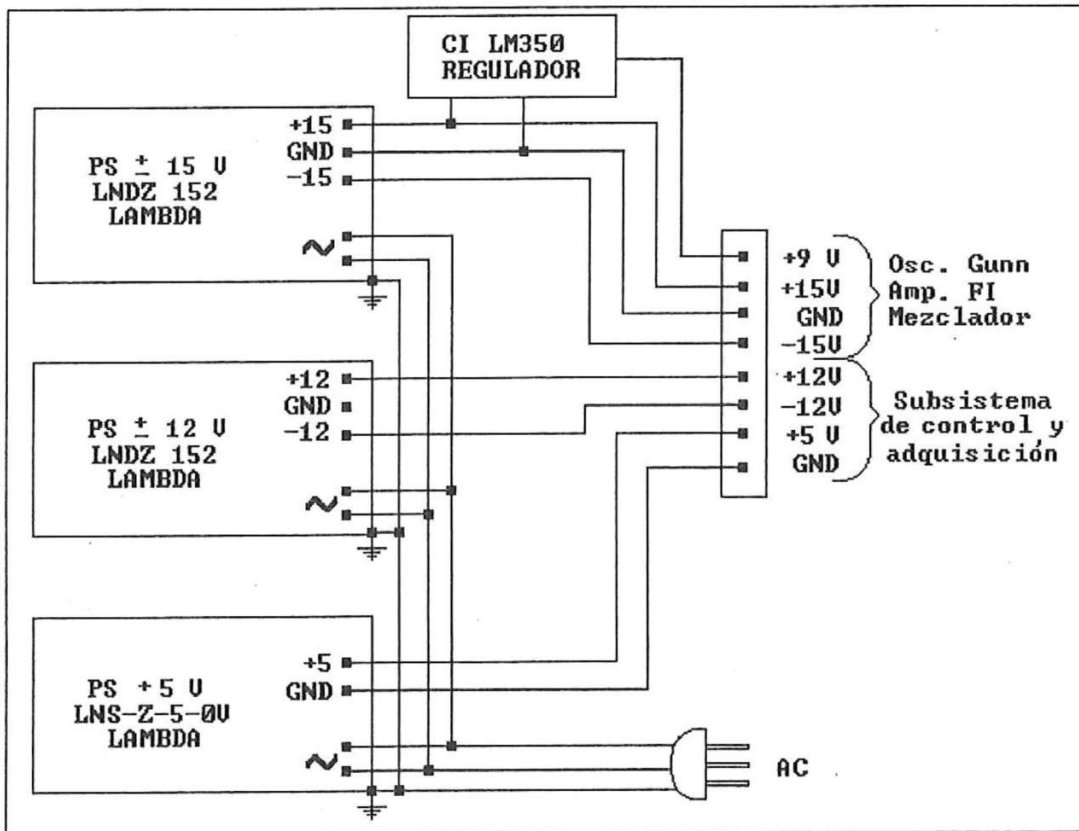


Fig 13).- Diagrama a bloques del subsistema alimentador de energía.

Los voltajes suministrados por el subsistema alimentador de energía, provienen de las fuentes comerciales LND-Z y LNS-Z de la compañía LAMBDA ELECTRONICS.

Una característica importante de las fuentes de voltaje LAMBDA ELECTRONICS es que, el voltaje de salida permanece constante cuando se usa como carga a los componentes de alta frecuencia.

Una información más detallada sobre el funcionamiento, modos básicos de operación, conexiones y mantenimiento de las fuentes de voltaje de las series LND-Z y LNS-Z, se encuentra en las referencias [12] y [13].

En este capítulo se han descrito los tres subsistemas que forman al radiómetro y su funcionamiento respectivo. En el siguiente capítulo se trata específicamente el diseño de la tarjeta de control y adquisición de datos como objetivo principal de este trabajo de tesis.

### CAPÍTULO III

## III DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

### III.1 INTRODUCCIÓN:

En el capítulo anterior se mencionó el funcionamiento de la tarjeta de control y adquisición de datos (sección II.3.2.2), en el presente capítulo se describe el diseño de la tarjeta dividida en ocho bloques, tal como se muestra en la figura 14).

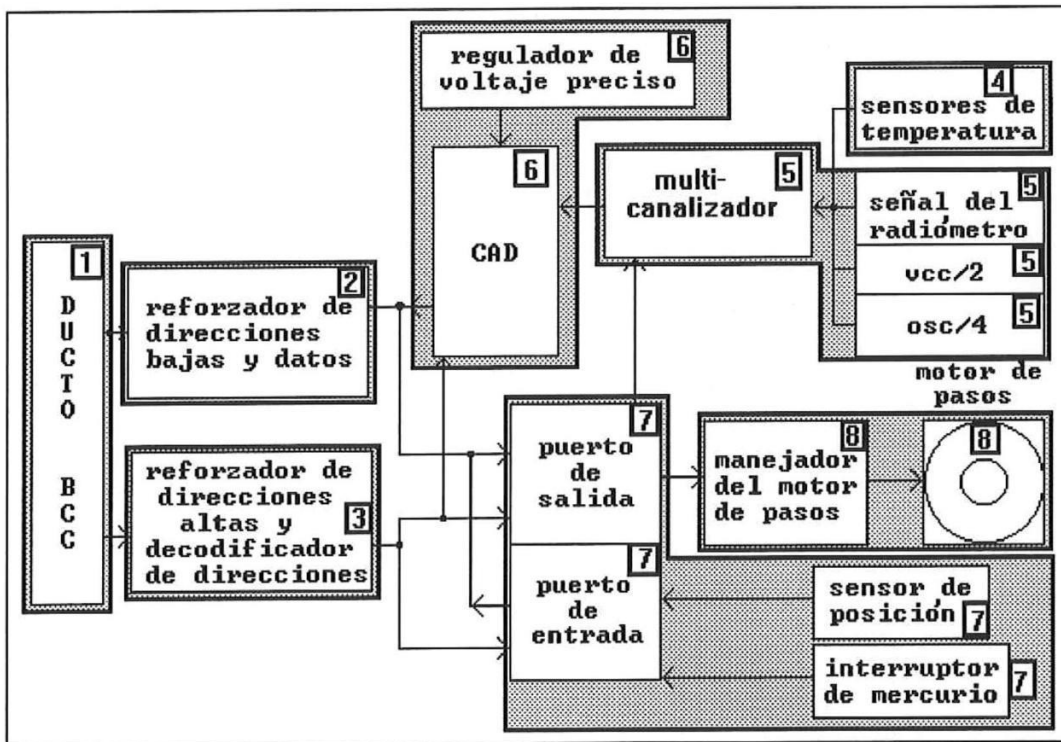


Fig. 14).- Diagrama de los 8 bloques de la tarjeta de control y adquisición.

En la sección III.2 se proporciona una breve descripción de los bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos. La subsección III.2.1 presenta las características del ducto BCC; utilizado para comunicar a la tarjeta BCC52 con la tarjeta de control y adquisición de datos. En la subsección III.2.2 se muestran los reforzadores de direcciones bajas y datos (AD0-AD7), los reforzadores de direcciones altas y decodificador de direcciones en la subsección III.2.3.

Una parte importante es el circuito de los sensores de temperatura que se presenta en la subsección III.2.4, ya que mediante estos sensores se conocen las condiciones bajo las cuales opera el radiómetro. La subsección III.2.5 explica la forma en que los datos son adquiridos por la tarjeta de control y adquisición de datos a través del multicanalizador analógico. A la salida del multicanalizador analógico se tiene la señal seleccionada por la programación y se introduce al circuito CAD. Para tener una conversión correcta en un intervalo de voltaje establecido, éste deberá ser preciso, para ello se requiere un circuito adicional que garantice un voltaje de referencia constante; la configuración del circuito CAD y el circuito del voltaje de referencia se muestra en la subsección III.2.6. Los puertos de entrada y salida se presentan en la subsección III.2.7 permitiendo obtener la información del sensor de posición, del interruptor de mercurio y controlar el movimiento del motor de pasos. El último bloque es el circuito del motor de pasos que se presenta en la subsección III.2.8.

## **III.2 BLOQUES BÁSICOS DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS:**

El diseño de la tarjeta de control y adquisición de datos se divide en ocho bloques, para un mejor entendimiento del circuito general. La mayoría de los componentes y circuitos integrados que forman la tarjeta son comunes y fáciles de

adquirir.

El diseño del ducto BCC, los reforzadores de direcciones y datos y el decodificador de direcciones, se basa en la tarjeta de prueba BCC55R, la cual provee toda la memoria intermedia y decodificación de direcciones necesaria para una interfaz al ducto BCC. Una mayor información sobre la tarjeta de prueba BCC55R se obtiene en la referencia [11].

Los ocho bloques que forman el circuito general de la tarjeta de control y adquisición de datos son:

- 1).-Ducto BCC
- 2).-Reforzador de direcciones bajas y datos
- 3).-Reforzador de direcciones altas y decodificador de direcciones
- 4).-Circuito de los sensores de temperatura
- 5).-Multicanalizador analógico
- 6).-Circuito del convertidor analógico/digital
- 7).-Puertos de entrada/salida
- 8).-Manejador del motor de pasos

A continuación se explica de manera detallada, como se diseñó cada bloque y la interconexión entre componentes y circuitos integrados, iniciando las descripciones con el ducto BCC.

### **III.2.1- Ducto BCC de entrada/salida :**

La comunicación entre la microcomputadora/controlador y la tarjeta de control y adquisición de datos, se lleva a cabo a través del ducto BCC. Mediante este ducto se manejan datos, direcciones, señales de control y voltajes. El ducto BCC de

entrada/salida es el ducto estándar para todas las tarjetas de la serie BCC (Basic Computer Controller). Cuenta con 44 terminales, 22 de cada lado y están etiquetadas de izquierda a derecha con letras de la "A" a la "Z" (por el lado de componentes de la tarjeta); mientras que por el lado de soldadura están numeradas del "1" al "22" (el número "1" está en el lugar opuesto a "A").

En la figura 15) se muestra la vista inferior del borde del ducto BCC. En el ducto BCC, las terminales con las cuales se comunican la tarjeta BCC52 y la tarjeta de control y adquisición de datos se encuentran remarcadas y subrayadas.

El circuito del ducto BCC y las terminales útiles a las dos tarjetas del subsistema de control y adquisición de datos se observan en la figura 16).

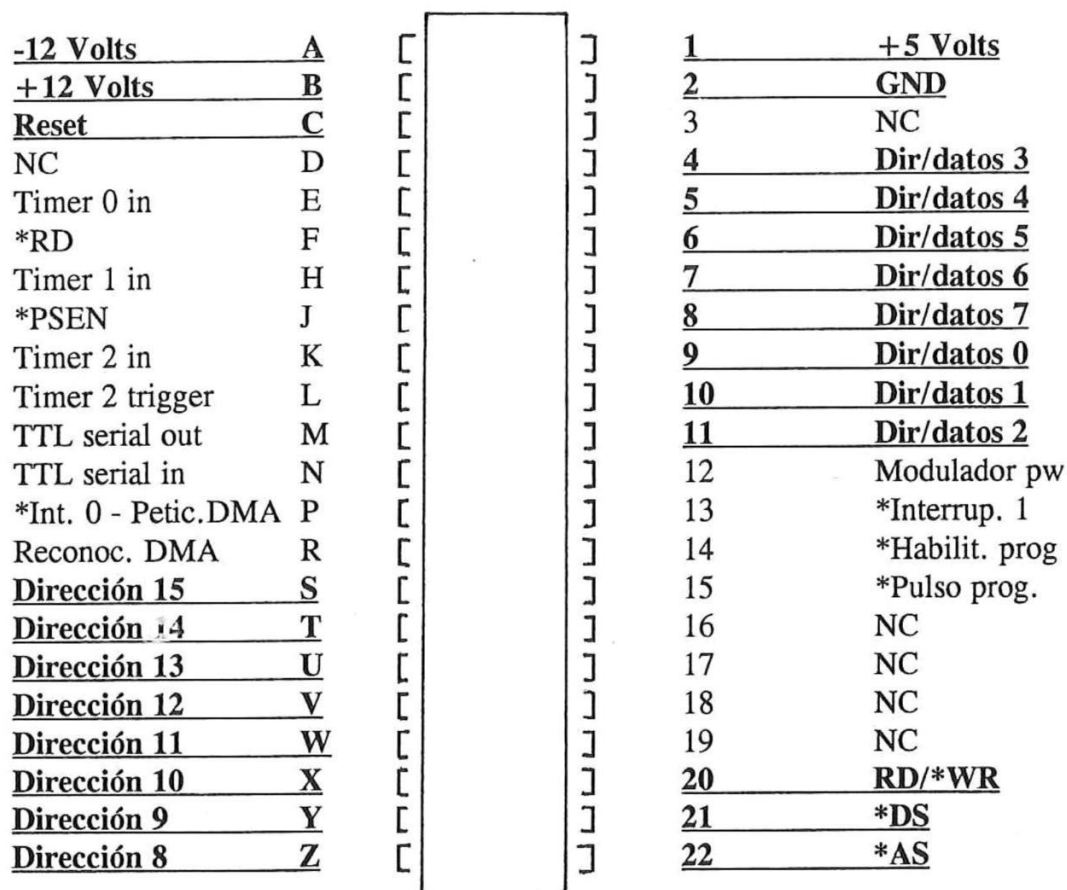
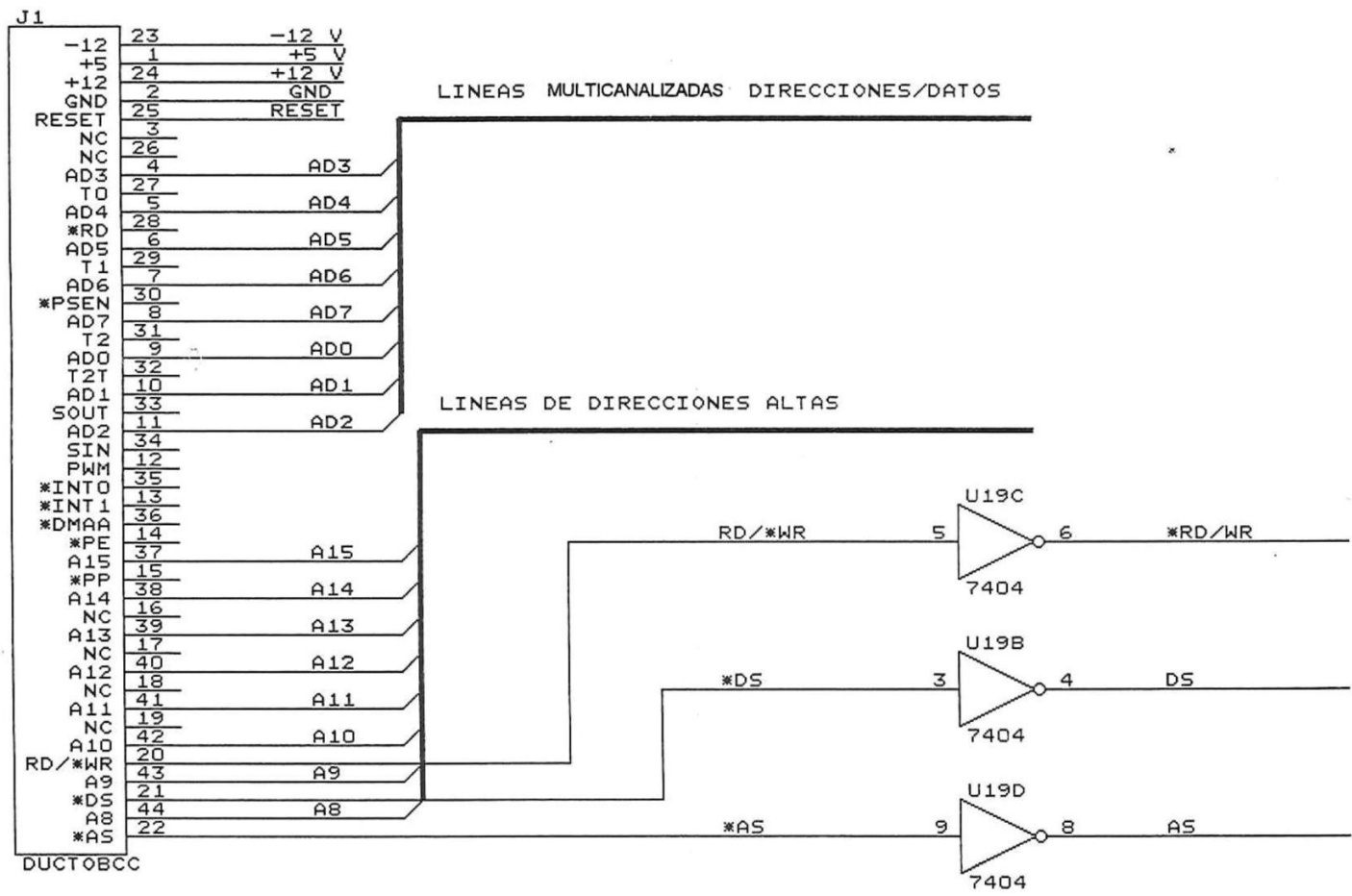


Fig. 15).- Vista inferior del borde del Ducto BCC.

Del ducto BCC se utilizaron 24 terminales, de las cuales 4 son voltajes (+12 V, -12 V, +5 V y GND), 4 son señales de control (RESET, RD/\*WR, \*DS y \*AS), 8 son líneas multicanalizadas de direcciones/datos (AD0-AD7) y 8 son líneas de direcciones altas (A8-A15). Estas señales son las mismas que se utilizan en la tarjeta de prueba BCC55R y son suficientes para una interfaz correcta con la tarjeta microcomputadora/controlador.

De las señales de control, 3 de ellas (RD/\*WR, \*DS Y \*AS) invierten su estado mediante un circuito inversor (U19), con el fin de activar con "estados activos altos" otros circuitos integrados. La señal de RESET se conecta directamente del ducto BCC al convertidor analógico/digital. El circuito integrado U19, es el circuito inversor más común, y además es muy económico y fácil de usar.



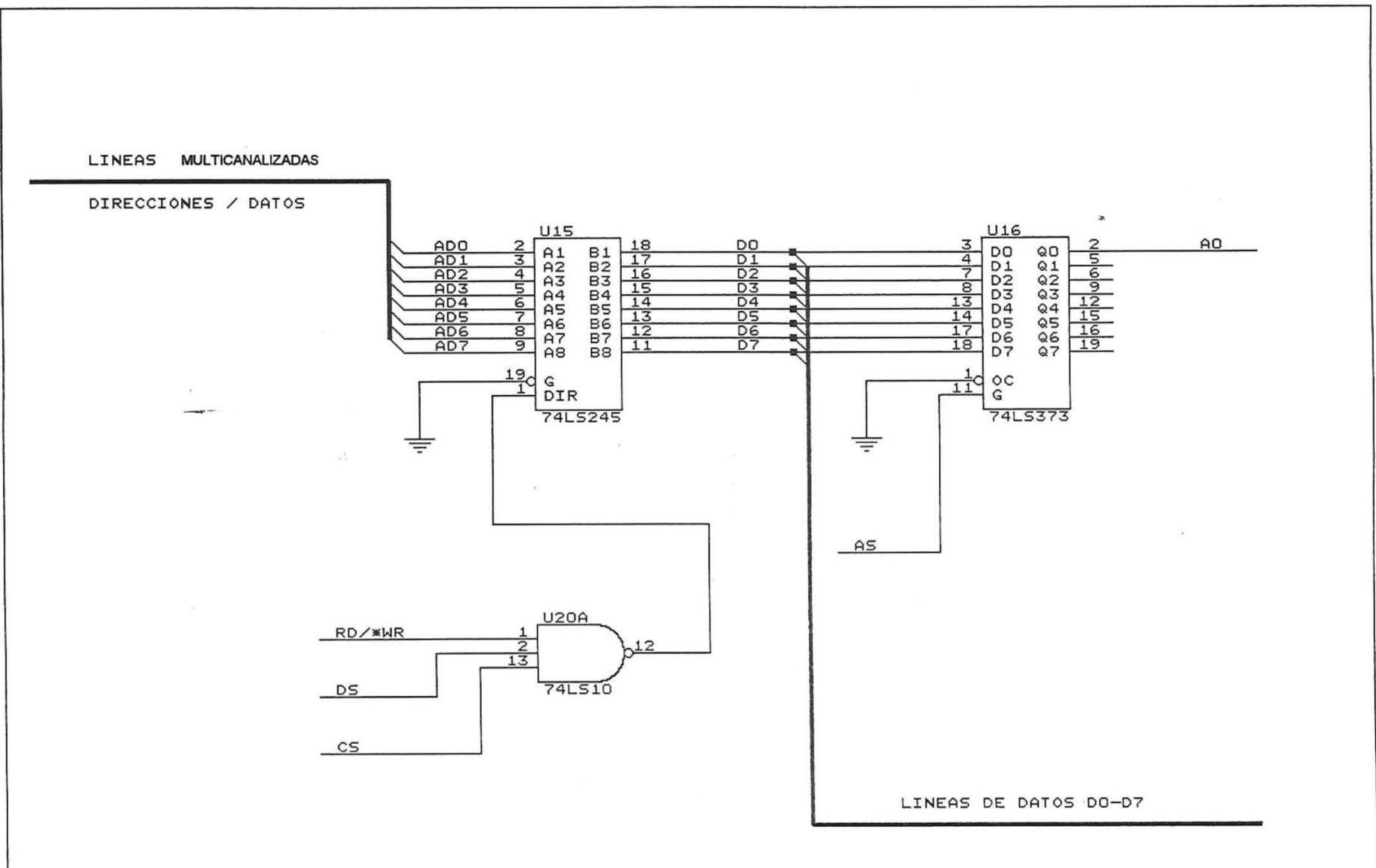
P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL		
Title		
DUCTO BCC DE ENTRADA/SALIDA		
Size	Document Number	REV
A	FIGURA 16)	1
Date:	September 28, 1994	Sheet 1 of 9

## **.2.2 Reforzador de direcciones bajas y datos:**

función del bloque mostrado en la figura 17), es reforzar el ducto de direcciones/datos (líneas multicanalizadas AD0-AD7) y permitir la transmisión y recepción de datos (D0-D7) a través del ducto BCC. Para ello, se utilizan los circuitos integrados U15, U16 y U20. El circuito integrado U15 es una memoria intermedia (buffer) transmisor/receptor de ocho bits con salida no invertida. El U16 es un cerrojo de ocho bits del cual se obtienen a la salida las direcciones A0-A7; y por último U20, compuesto internamente por tres compuertas NAND de tres entradas cada una. Los tres integrados son muy comunes, fáciles de usar y económicos.

La forma en que funcionan los tres circuitos integrados en conjunto es la siguiente: por medio de la terminal número 1 del U15, se puede indicar la dirección del flujo de información en base al estado activo en que se encuentre. El estado activo "alto" hace que el flujo de información viaje de "A" a "B"; el estado activo "bajo" hace que el flujo de información viaje de "B" a "A"; esto es controlado por medio de la salida de una compuerta NAND cuyas entradas son RD/\*WR, DS y CS, esta última es la salida de otra compuerta igual. La terminal 19 es una entrada activa "baja" que habilita la transmisión y recepción del flujo de información.

La terminal número 11 del U16 es la que habilita el paso de información de "D" a "A"; esta es una entrada activa "alta" conectada a la señal inversa de \*AS (Address Strobe). La información de direcciones bajas A0-A7 es "amarrada" y válida de un AS al siguiente. La terminal número 1 del U20 es una entrada activa "baja" que habilita directamente al convertidor analógico/digital. La terminal número 1 es una entrada activa "baja" y es el control de las salidas del integrado. Al conectar esta terminal a "bajo" se habilitan todas y cada una de las salidas en forma permanente.



P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL		
Title		
REFORZADOR DE DIRECCIONES/DATOS		
Size	Document Number	REV
A	FIGURA 17)	1
Date:	September 28, 1994	Sheet 2 of 9

### III.2.3 Reforzador de direcciones altas y decodificador de direcciones:

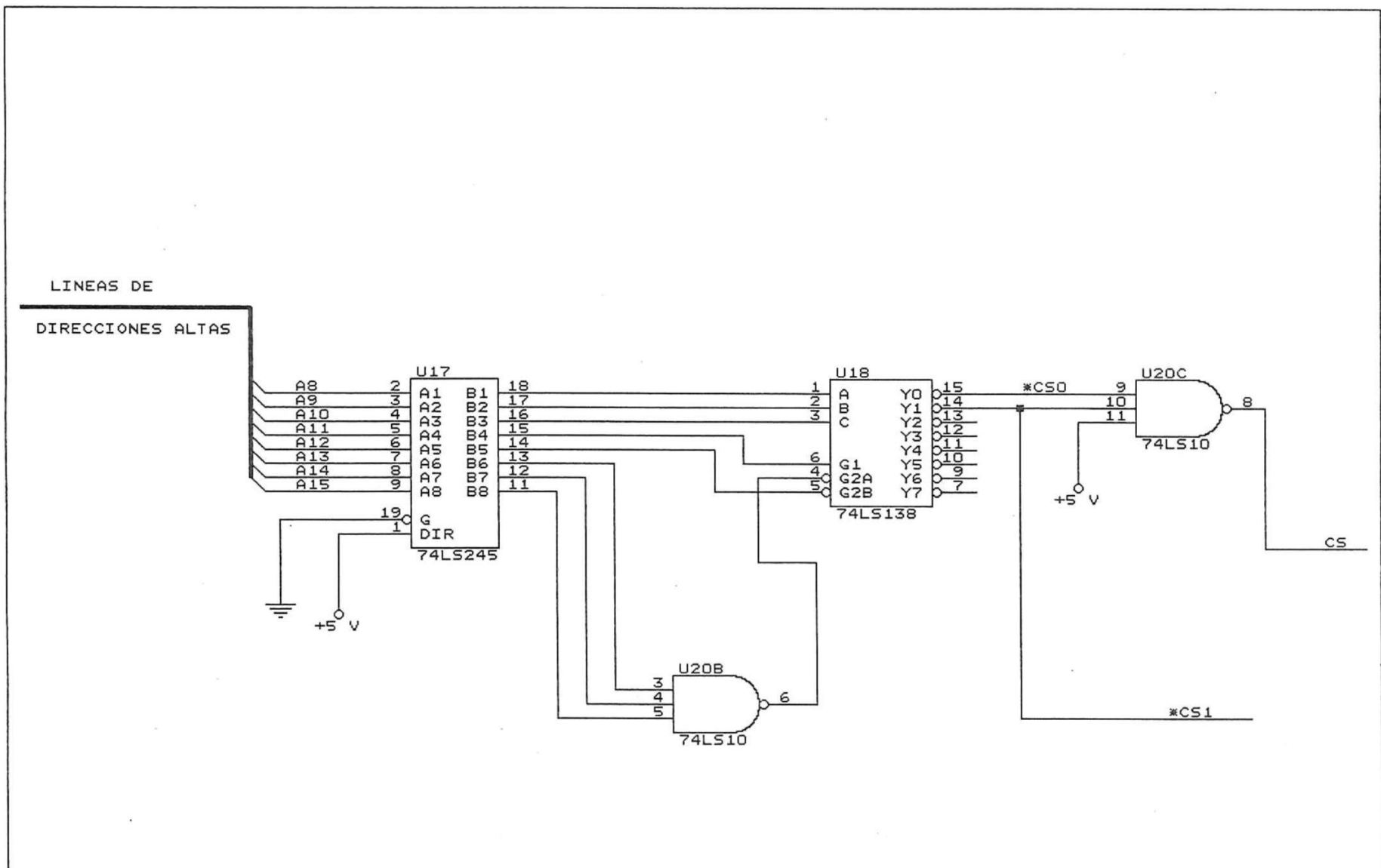
Para reforzar las direcciones altas A8-A15 y decodificarlas con el propósito de activar los puertos de entrada/salida y el circuito CAD, se utilizó el circuito integrado U17, la compuerta U20 y el decodificador U18, tal como se muestra en la figura 18). La forma en que se conectan y trabajan estos integrados es la siguiente.

Las líneas de direcciones altas provenientes del ducto BCC, se reforan con el integrado U17. La terminal número 1 de dicho integrado indica la dirección del flujo de información en base al estado activo en que se encuentre, como se mencionó en la sección III.2.2; en este caso, el flujo de información sólo lleva una dirección, de "A" a "B".

Para la decodificación de direcciones tomando en cuenta el diagrama de la tarjeta de prueba BCC55R, se cambió el integrado U6, (ver referencia [11]), por una compuerta NAND de 3 entradas, ya que sólo se utiliza la dirección E000H (salida Y7 del integrado) y ésta salida se activa por la combinación A=1, B=1 y C=1 (líneas A13, A14 y A15 del ducto de direcciones en estado activo "alto"). La salida de esta compuerta se envió al circuito integrado U18, este integrado es un decodificador de 3 a 8 líneas (3 entradas binarias y salida decimal de 0 a 7). A las entradas A, B y C del U18, entran las direcciones A8, A9 y A10 respectivamente (provenientes del integrado U17 antes mencionado), las direcciones restantes (A11, A12 y la salida de la compuerta) sirven para activar el decodificador.

De las salidas del U18 sólo se utilizaron la Y0 (terminal 15) y la Y1 (terminal 14), así que se cambió la compuerta U7 del diagrama de la tarjeta de prueba BCC55R por la compuerta NAND restante del integrado U20, conectando en las entradas Y0, Y1, y +5 V; la salida de esta compuerta se conectó a la entrada de otra compuerta

igual (CS, de la figura 17) y que sirve de control para la dirección del flujo de información de AD0-AD7. Además las dos salidas del U18, Y0 y Y1 se conectan al convertidor y los puertos de entrada/salida respectivamente, haciendo con esto que la dirección del CAD sea E800H y la dirección de los puertos E900H.



P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL		
Title		
DIRECCIONES ALTAS Y DECODIFICADOR DE DIR.		
Size	Document Number	REV
A	FIGURA 18)	1
Date: September 28, 1994	Sheet	3 of 9

### III.2.4 Circuito de los sensores de temperatura:

Para medir las diferentes temperaturas del sistema, como son, la temperatura de la tarjeta de control y adquisición de datos, la del medio ambiente, la del oscilador de diodo Gunn, y, la del primer amplificador de FI; se utilizó el circuito integrado LM335. Este circuito es un sensor de temperatura de precisión de muy bajo costo y tamaño pequeño. Dicho integrado opera con un diodo zener de dos terminales, el cual tiene un voltaje de ruptura directamente proporcional a la temperatura absoluta en  $+10\text{mV}/^\circ\text{K}$ . El intervalo de temperatura en el que opera este integrado es de  $-40^\circ\text{C}$  a  $+100^\circ\text{C}$ , y, el intervalo de corriente es de  $400\ \mu\text{A}$  a  $5\ \text{mA}$ .

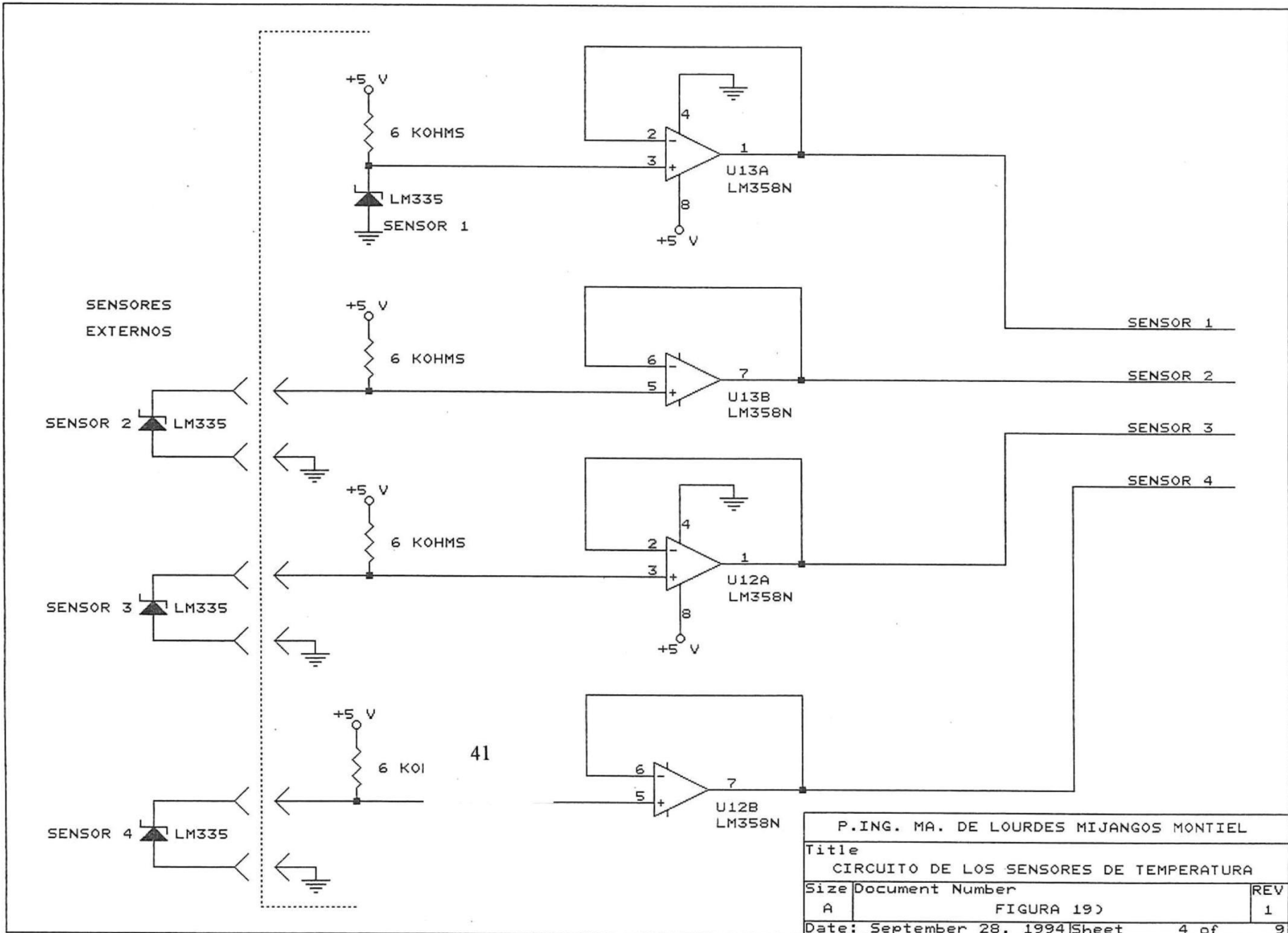
El voltaje a la salida del dispositivo (calibrado ó sin calibrar) puede ser expresado como:

$$V_{\text{sal}_T} = V_{\text{sal}_{T_0}} \times \frac{T}{T_0} \quad (12)$$

donde  $T =$  temperatura desconocida  
 $T_0 =$  temperatura de referencia

Ambas temperaturas expresadas en grados Kelvin. En el circuito de los sensores de temperatura presentado en la figura 19), se utilizó la aplicación sugerida en las hojas de datos del circuito integrado, para un sensor de temperatura básico.

El voltaje de salida del sensor, se reforzó con el circuito integrado U12, en su configuración de seguidor de voltaje (donde el voltaje de entrada es igual al voltaje de salida  $V_{\text{sal}} = V_{\text{ent}}$ ). El U12 es un amplificador operacional de baja potencia, y que funciona con  $+5\ \text{V}$  de alimentación, característica básica para poder ser utilizado en sistemas digitales. Finalmente, las salidas del seguidor de voltaje se envían al multiplexor.



41

P.ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL		
Title		
CIRCUITO DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA		
Size	Document Number	REV
A	FIGURA 19)	1
Date: September 28, 1994	Sheet	4 of 9

### III.2.5 Circuito del multicanalizador analógico:

Para llevar a cabo la función de selección y multicanalización de señales tales como: la señal proveniente del subsistema de ondas milimétricas y microondas, temperaturas de componentes, y voltajes de operación básicos en el radiómetro, se utilizó el circuito que se muestra en la figura 20), basado en el circuito integrado U8. Este integrado permite, por medio de una combinación lógica, adquirir señales analógicas (una a la vez) y presentarlas multicanalizadas en el canal de salida. Las características más importantes y la forma en que se conecta el circuito integrado se mencionan a continuación. Este integrado funciona como un interruptor analógico controlado digitalmente. Cuenta con 8 canales de entrada, de los cuales se utilizaron 7 (mencionados anteriormente en la sección II.3.2.2); el canal disponible puede ser utilizado para cualquier medición y sólo basta activarlo por medio de la programación de la microcomputadora/controlador BCC52.

El intervalo de voltaje analógico de entrada que puede tener una señal de entrada en el multiplexor, depende de los voltajes en VDD, VSS, VEE, tal como se muestra en la tabla I.

**TABLA I).- Conexiones de voltaje posibles, para el multicanalizador MC14051B**

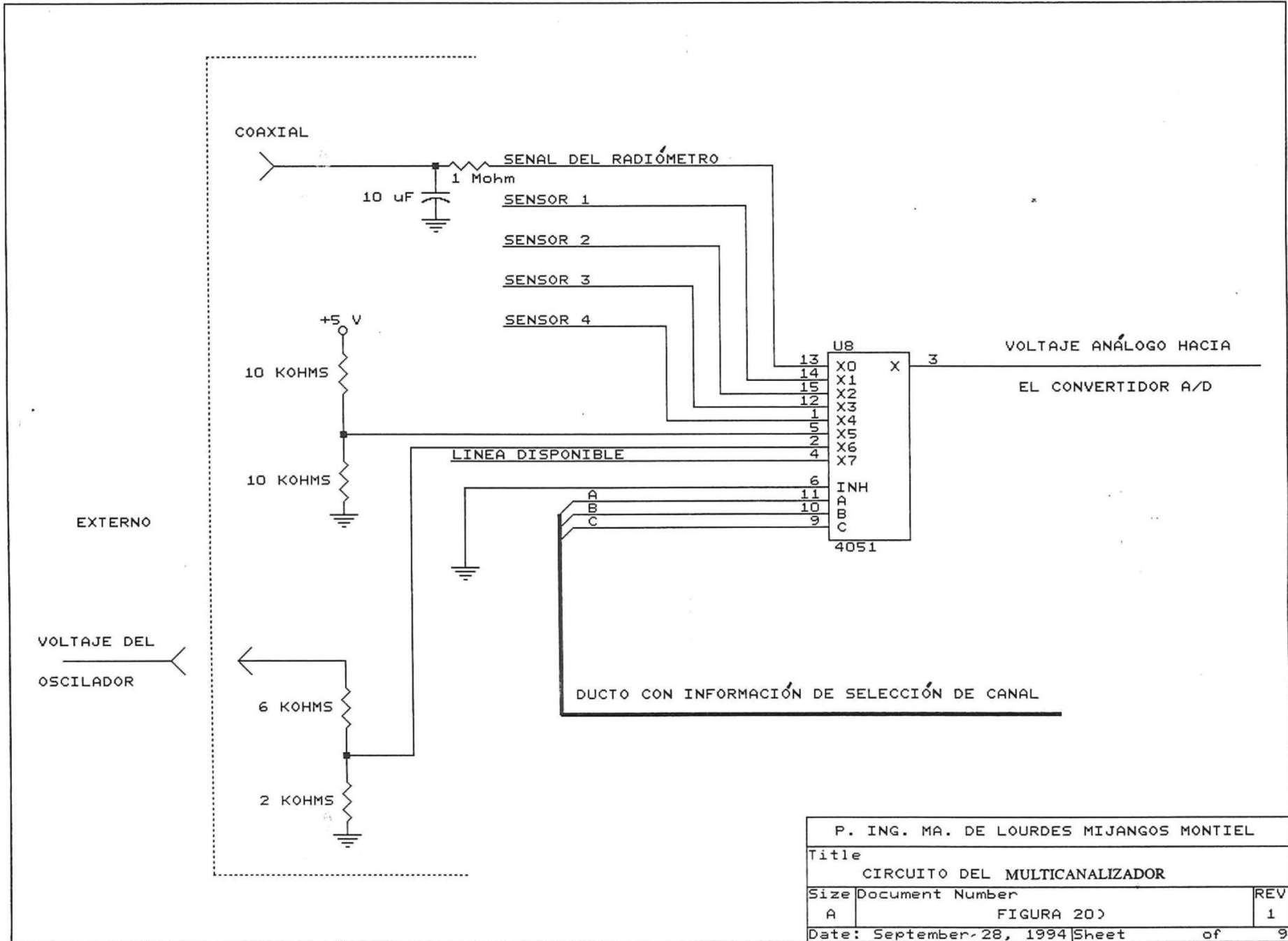
V <sub>DD</sub> (en volts)	V <sub>SS</sub> (en volts)	V <sub>EE</sub> (en volts)	Entradas de control "1" lógico/"0" lógico (en volts)	Intervalo de la señal analógica (en volts)
+ 8	0	- 8	+ 8/0	+8 a -8=16Vpp
+ 5	0	- 12	+ 5/0	+5 a -12=17Vpp
+ 5	0	0	+ 5/0	+5 a 0=5Vpp
+ 5	0	- 5	+ 5/0	+5 a -5=10Vpp
+ 10	+ 5	- 5	+ 10/ + 5	+10 a -5=15Vpp

Para que el multicanalizador sea capaz de seleccionar uno de los canales de entrada, el inhibidor (terminal 6), debe estar en estado activo "bajo". El número de canal, se determina por la combinación lógica en los seleccionadores A, B, y C, como se muestra en la tabla de verdad del multicanalizador.

**TABLA II).- Tabla de verdad del multicanalizador.**

Entradas de control			Interruptores que se activan	
Inhibidor	Seleccionador			
	C	B		A
0	0	0	0	X0
0	0	0	1	X1
0	0	1	0	X2
0	0	1	1	X3
0	1	0	0	X4
0	1	0	1	X5
0	1	1	0	X6
0	1	1	1	X7
1	X	X	X	Ninguno

A través de los canales 6 y 7 (terminales 5 y 2 respectivamente) del multicanalizador, se adquieren los voltajes del sistema ( $V_{CC}/2$ ) y del oscilador de diodo Gunn ( $V_{OSC}/4$ ). El voltaje del sistema (+5 V) se divide entre dos antes de la lectura, por medio de un divisor de voltaje. Mientras que el voltaje del oscilador de diodo Gunn (+9 V), se divide entre cuatro, por medio de un segundo divisor de voltaje correspondiente a esa proporción. El circuito integrador (formado por una resistencia y un capacitor) antes del canal 1 (lectura de la señal de salida del subsistema de ondas milimétricas y microondas), se utiliza para reducir las fluctuaciones de voltaje que provienen del detector de ley cuadrada. Las señales multicanalizadas se envían a la entrada del circuito CAD.



P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL		
Title		
CIRCUITO DEL MULTICANALIZADOR		
Size	Document Number	REV
A	FIGURA 20)	1
Date:	September-28, 1994	Sheet of 9

### III.2.6 Circuito del convertidor Analógico/Digital:

Con el propósito de convertir los datos analógicos provenientes del multicanalizador (señal del subsistema de ondas milimétricas y microondas, temperaturas y voltajes), en datos digitales, se utiliza un convertidor analógico/digital. El circuito CAD a utilizar en esta tarjeta, es el circuito integrado U4.

Este convertidor fue seleccionado en base a sus características, las cuales se mencionan a continuación. El circuito integrado U4, es un convertidor monolítico analógico/digital de 12 bits, con un tiempo de conversión de 7.2  $\mu$ seg. Cuenta con autocalibración; ventaja que permite mantener la precisión sobre tiempo y temperatura; además tiene disipación de baja potencia (120 mW).

Internamente, el convertidor está formado por un convertidor interno CAD<sub>i</sub>, un microcontrolador de conversión y calibración, un oscilador, un comparador y circuitería de calibración.

El CAD<sub>i</sub> utiliza una técnica de conversión de aproximaciones sucesivas, la cual compara sucesivamente el valor de la señal analógica de entrada con la salida del convertidor. La aproximación sucesiva inicia comparando la entrada analógica con la salida del CAD<sub>i</sub>, el cuál se coloca a media escala (el bit más significativo (MSB) en estado activo "alto", los bits restantes en estado activo "bajo"). Si la señal de entrada es un valor menor que la media-escala, el MSB se pone en estado activo "bajo" y, la entrada nuevamente se compara con un cuarto de la escala (el siguiente bit MSB en estado activo "alto" y los restantes en estado activo "bajo"). Si la entrada fuese un valor por encima de la media-escala, el MSB permanece en estado activo "alto", y la siguiente comparación se hace con tres-cuartos de la escala completa.

Este procedimiento continúa, hasta que todos los bits han sido comparados y los valores de la entrada y la salida se igualen.

Después de describir la forma en que el CAD, realiza las conversiones de una señal analógica a una señal digital, se explica la configuración del integrado y la forma de interconexión mostrada en la figura 21).

Por medio de programación, es posible configurar la lógica de control en el convertidor y las funciones de autocalibración, debido a su compatibilidad de interfaz con el microprocesador. Además, esto permite que los datos de salida estén disponibles en formatos de 8 y 16 bits.

La circuitería adicional al integrado U4, es muy similar a la sugerida en las hojas de especificaciones del convertidor. Todas las conversiones y calibraciones se temporizan internamente por medio de la terminal CLKIN conectada a tierra (GND). El integrado se configuró para una función de transferencia unipolar (desde GND a Vref) conectando BP/\*UP a GND. Para que todas las conversiones realizadas, se puedan manejar sobre el ducto de datos, se requiere un formato de 8 bits. Como el circuito CAD es de 12 bits, éstos se envían de la siguiente manera: en la primera lectura siguiente a la conversión, los 8 MSB's se envían por el ducto de datos, un segundo ciclo de lectura coloca los 4 bits menos significativos (LSB's) y 4 "ceros" adicionales sobre el ducto de datos. Esto se lleva acabo conectando la terminal BW a GND.

Para que se realice una conversión, se requiere una transición de caída en la terminal \*HOLD, que pone al CAD en estado de retención e inicia la conversión. Esta entrada debe permanecer en estado activo "bajo" por lo menos un ciclo de reloj, más un tiempo adicional de 50 nseg.

Las terminales de control \*CS, \*RD y A0, permiten el manejo de datos sobre el ducto D0-D7. Cuando las dos primeras están en estado activo "bajo", los datos se manejan sobre el ducto; pero, si una de ellas se encuentra en estado activo "alto", las salidas del ducto de datos se mantienen en estado de "alta impedancia". Cuando la terminal A0 está en estado activo "alto", los datos ya convertidos se colocan en el

ducto, mientras que cuando está en estado activo "bajo", el registro de estados se coloca en el ducto.

La terminal VREF es la entrada del voltaje de referencia. El voltaje de referencia es el valor máximo de voltaje para las conversiones analógico/digitales, proviene del circuito integrado U5, el cual es un regulador de voltaje preciso mostrado también en la figura 21).

Para su funcionamiento, el CAD requiere de +5 V, -5 V y un voltaje de referencia de 4.5 V. Así, como se mencionó anteriormente, el circuito CAD configurado para una función de transferencia unipolar, realiza conversiones en el intervalo de 0 a 4.5 V. El voltaje de referencia preciso permite una conversión confiable dentro del intervalo de voltaje establecido.

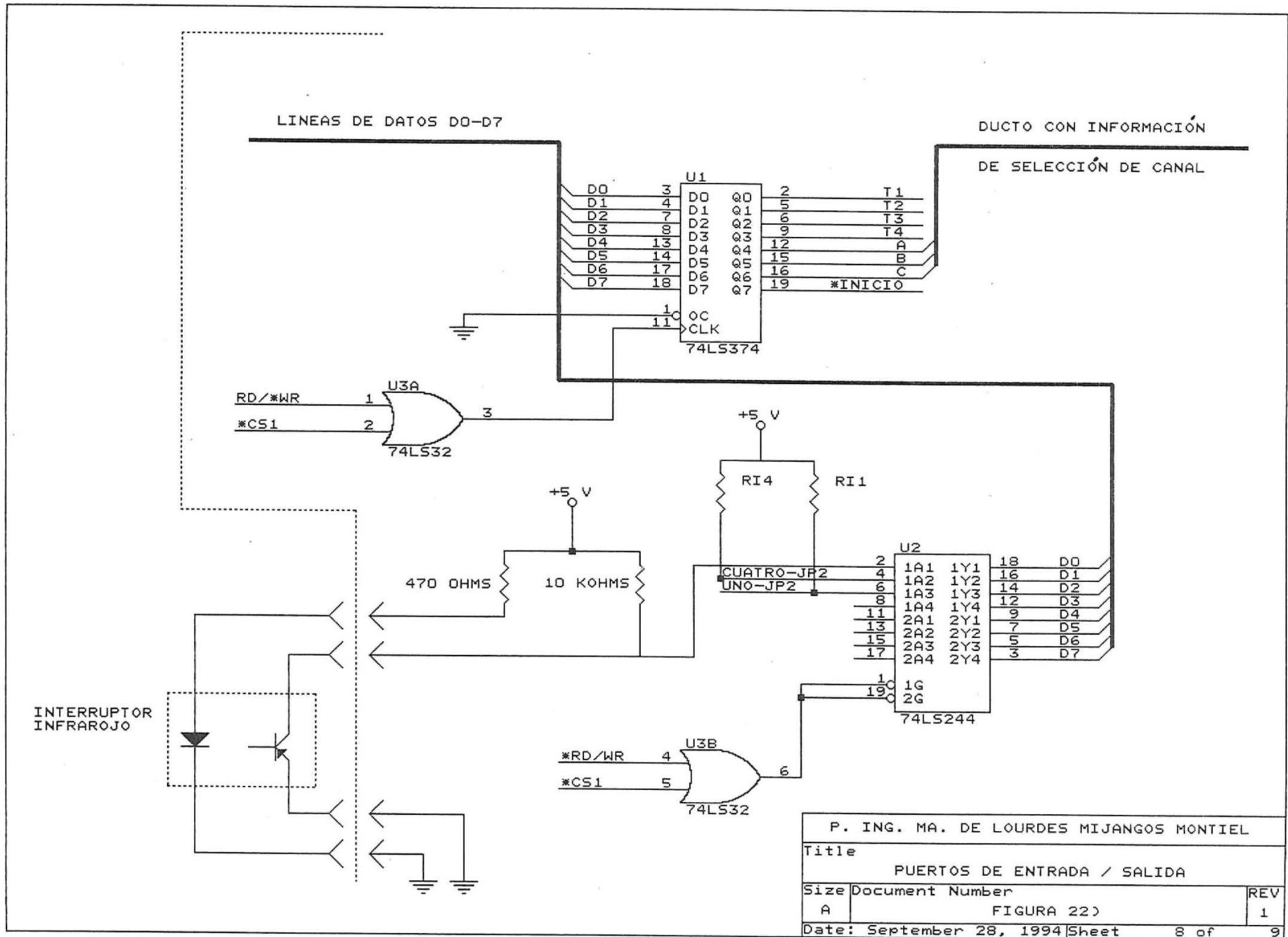


### III.2.7 Puertos de entrada/salida:

Los puertos de entrada/salida de la tarjeta de control y adquisición de datos tienen la función de una memoria intermedia ó memoria temporal, que permite manejar y retener la información del ducto de datos D0-D7. Esta función se realiza por medio de los circuitos integrados U1 y U2 tal como se muestra en la figura 22). El integrado U1 es un Flip-Flop tipo D, controlado por una transición de 0 a +5V en una secuencia de reloj. Como puerto de entrada, se utilizó el circuito integrado U2, el cual es una memoria intermedia de 8 bits y manejador de líneas.

A través del circuito integrado U1 se envía y mantiene la información proveniente del ducto de datos D0-D7, la cual lleva consigo la selección de canal al multiplexor por medio de las terminales Q4, Q5 y Q6 (A, B, y C respectivamente). Otra terminal, la Q7, envía la señal de inicio de conversión, a la terminal 1(HOLD) del circuito CAD. Las cuatro terminales restantes llevan información de control para los movimientos del motor de pasos. El control del integrado se lleva acabo por medio de la terminal 11 (CLK). La señal en esta terminal, es el resultado de la suma lógica de una compuerta OR cuyas entradas son RD/\*WR y \*CS1.

Con respecto al puerto de entrada, a través del circuito integrado U2 se recibe y mantiene la información proveniente del sensor de posición HOA1404-002, el cual es un interruptor infrarrojo externo a la tarjeta. Este sensor permanece en estado activo "alto" hasta que el fototransistor interno recibe la señal del LED emisor. Por medio de estos estados activos se puede determinar la posición ó nivel de referencia del espejo reflector. Además de la información del sensor, el U2 recibe la información de un interruptor de mercurio también externo a la tarjeta, para detectar el ángulo de elevación del radiómetro; lo cual se explicará con más detalle en el capítulo V. Este integrado se controla por la salida de una compuerta OR de dos entradas (\*RD/WR y \*CS1) como se observa en la figura 22).



### III.2.8 Circuito manejador del motor de pasos:

Con el fin de controlar el movimiento del espejo reflector que cambia el ángulo de observación en las lecturas de las señales del espacio, se utiliza un motor de pasos, el cual es controlado por un circuito formado por transistores de potencia, diodos y resistencias. El motor de pasos utilizado es el MO61-FD02 con seis terminales de salida mostradas en la figura 23). Este motor opera en potencia DC de cambio de fase. El motor avanza 200 pasos por revolución (1.8 grados por paso) cuando se utiliza una secuencia de entrada de cuatro-pasos.

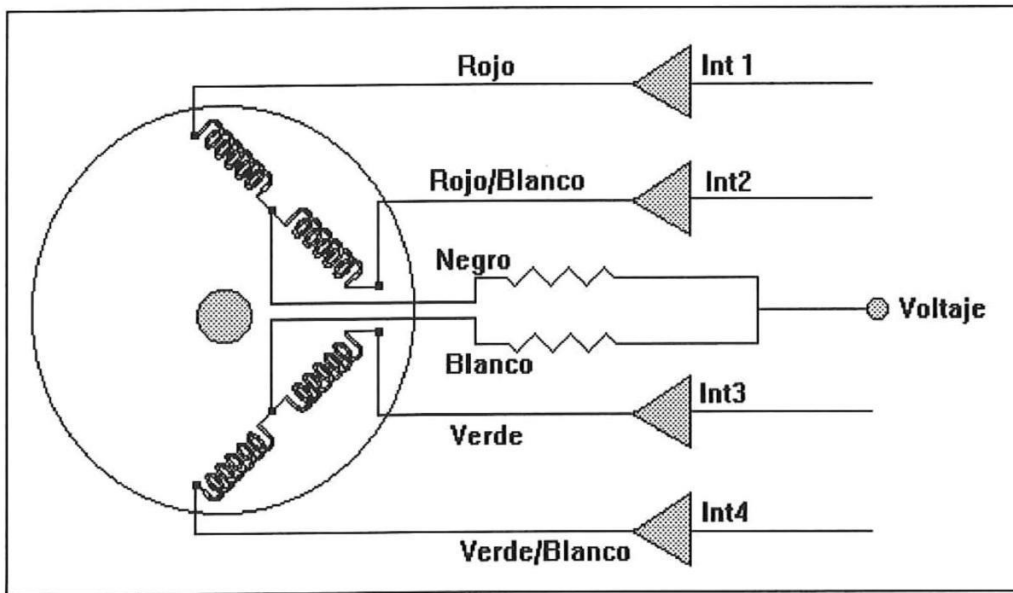


Fig 23).- Circuito del motor de pasos de corriente directa.

Los transistores de potencia se conectan a cuatro líneas del motor de pasos (cables rojo, rojo/blanco, verde y verde/blanco) de la forma presentada en la figura 23), y funcionan como un interruptor (INT); el estado de cada uno de los interruptores se muestra en la tabla III).

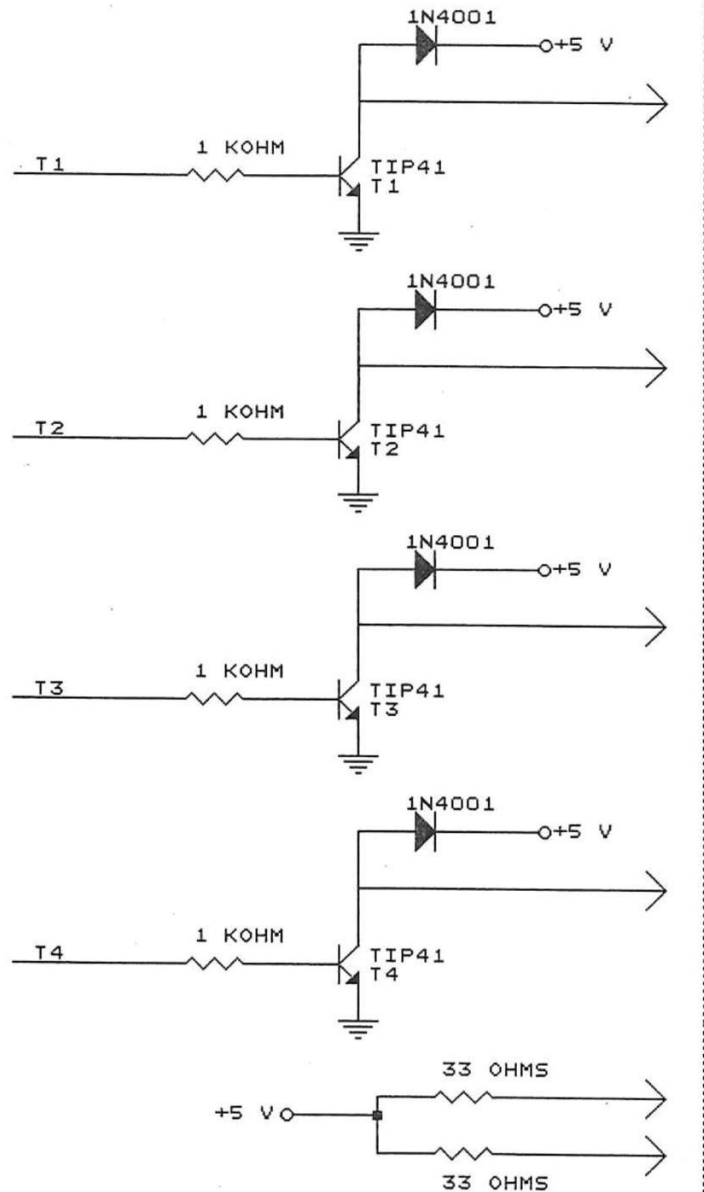
**Tabla III).- Secuencia de entrada del motor de pasos.**

PASO	INT1	INT2	INT3	INT4
1	Encendido	Apagado	Encendido	Apagado
2	Encendido	Apagado	Apagado	Encendido
3	Apagado	Encendido	Apagado	Encendido
4	Apagado	Encendido	Encendido	Apagado

Los voltajes transitorios son niveles de voltaje no deseados que se generan en el momento en que la corriente circula a través del motor durante el movimiento en pasos. Estos voltajes pueden causar fallas de operación y daños en el motor o componentes del manejador de pasos, a menos que se coloque un limitador o removedor de ese voltaje.

Para reducir los voltajes de transición al nivel deseado en los cables negro y blanco, se utilizaron resistencias de  $33\Omega/ 2$  watts, y diodos de protección en cada una de las terminales de colector de cada transistor, como se muestra en la figura 24).

En este capítulo se analizaron de manera separada los ocho bloques en que se dividió la tarjeta de control y adquisición de datos para su diseño. El circuito general se presenta en el capítulo IV, así como la distribución de componentes, el diseño de la tarjeta en circuito impreso por computadora y la realización física del circuito final.



ALAMBRE ROJO  
(MOTOR DE PASOS)

ALAMBRE ROJO/BLANCO  
(MOTOR DE PASOS)

ALAMBRE VERDE  
(MOTOR DE PASOS)

ALAMBRE VERDE/BLANCO  
(MOTOR DE PASOS)

NEGRO (MOTOR DE PASOS)

BLANCO (MOTOR DE PASOS)

P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL		
Title		
CIRCUITO DEL MOTOR DE PASOS		
Size	Document Number	REV
A	FIGURA 24)	1
Date: September 28, 1994 Sheet 1 of 1		

## **CAPÍTULO IV**

### **IV CONSTRUCCIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS**

#### **IV.1 INTRODUCCIÓN:**

Una excelente herramienta 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 y adquisición de datos se realizó mediante una computadora personal 486DX. En este capítulo se presenta en la sección IV.2 la utilización de programas de diseño para la topología de los circuitos integrados y componentes de la tarjeta. La subsección IV.2.1 comprende el programa de diseño OrCAD para el circuito esquemático de la tarjeta, y presenta el diagrama general eléctrico, así como la distribución de los componentes. La subsección IV.2.2 presenta el programa de diseño para el circuito impreso PCB, y la realización de los dos lados de la tarjeta (lado de componentes y lado de soldadura). La técnica para elaborar físicamente la tarjeta de circuito impreso se describe en la sección IV.3 y por último el ensamble de los circuitos integrados y los componentes de la tarjeta, se trata en la sección IV.4.

#### **IV.2 DISEÑO DE LA TARJETA POR COMPUTADORA:**

La utilización de programas de computadora es una herramienta muy eficaz y confiable para el diseño de numerosos circuitos electrónicos, con diversidad en tamaño y pistas en ambos lados.

Hoy en día, existen en el mercado una gran diversidad de paquetes de diseño de circuitos, desde un fácil manejo, hasta programas sofisticados, tales como: Tango Pro, Vpak y CirCAD entre otros. La tarjeta de este trabajo de tesis, se desarrolló de manera sencilla con uno de los paquetes más utilizados, que es el OrCAD/PCB.

En las siguientes subsecciones, se describen las características de los programas de diseño, y los pasos llevados a cabo con estos programas, para realizar el circuito de la tarjeta de control y adquisición de datos.

#### **IV.2.1 Programa de diseño OrCAD:**

Los ocho diagramas básicos mostrados en el capítulo anterior y el diagrama general de la tarjeta de control y adquisición de datos, se realizaron con el programa mencionado anteriormente. Es un paquete muy completo y flexible para realizar circuitos esquemáticos [14]. Facilita su uso, un menú de instrucciones completo que ayudan a crear, editar, almacenar, imprimir y graficar circuitos electrónicos esquemáticos.

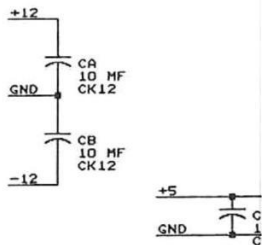
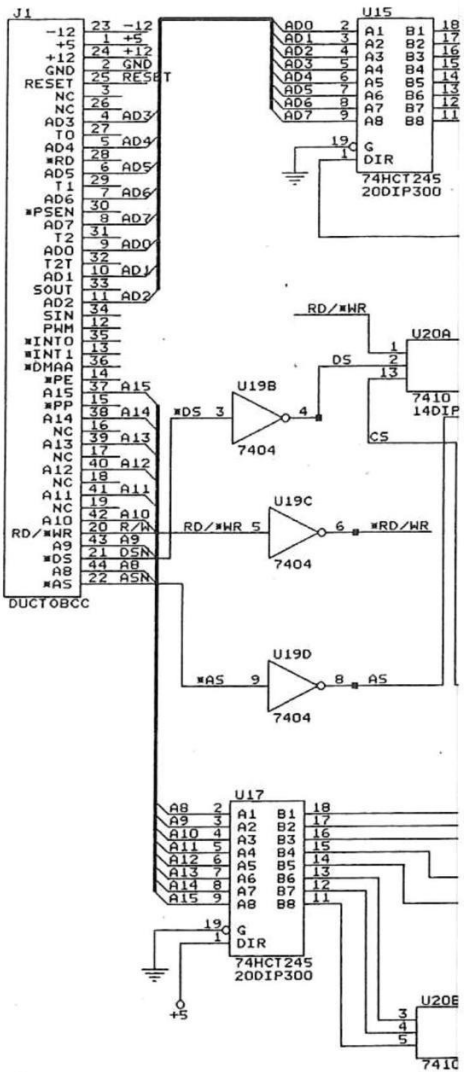
Dicho programa está desarrollado específicamente para funcionar en computadoras personales IBM y sistemas compatibles, y cuenta con la capacidad de trabajar con las impresoras y graficadoras más populares.

Además, consiste de un programa que dibuja circuitos esquemáticos DRAFT, una biblioteca decompiladora llamada DECOMP, una biblioteca compiladora llamada COMPOSER, un archivo para crear la lista de las conexiones realizadas en el esquemático, llamado NETLIST, y otros programas de utilidad.

El programa DRAFT cuenta con más de 3000 bibliotecas de los dispositivos utilizados más comúnmente en la industria. Estas bibliotecas incluyen circuitos integrados TTL, CMOS, memorias, microprocesadores y dispositivos periféricos, entre otros.

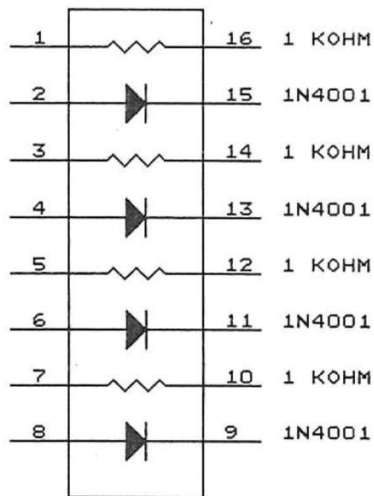
El diagrama general que incluye los ocho bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos se muestra en la figura 25). A partir de este diagrama, se generó mediante el programa NETLIST, el archivo TESIS.NET, el cual cuenta con toda la información de las interconexiones entre circuitos integrados y bases de la tarjeta. El contenido del archivo TESIS.NET se presenta en el apéndice 3.

El diagrama de las bases con componentes se observa en la figura 26). En él se muestran las conexiones de los circuitos integrados en bases de 16 y 14 terminales, las cuales contienen componentes de los circuitos del manejador del motor de pasos (U6), del convertidor analógico/digital (U9), del voltaje de referencia (U10), de los sensores de temperatura y posición (U11), los divisores de voltaje  $V_{cc}/2$  y  $Osc/4$  (U14) y, los cuatro transistores de potencia del circuito manejador del motor de pasos (U7). La configuración de componentes montados en bases, se debe a la falta de espacio disponible en la tarjeta, para enrutar las pistas en el diseño del circuito impreso; la tarjeta se encuentra limitada por las dimensiones físicas de 16.5 centímetros de largo por 11.5 centímetros de ancho. Estas medidas, son las dimensiones estándar de las tarjetas de expansión de la serie BCC, que contienen el Ducto BCC. Además, el colocar los componentes en bases tiene la ventaja de un mantenimiento más sencillo y rápido, ya que, al dañarse alguno de ellos, sólo es necesario desoldarlo de la base, evitando el contacto directo del caudín de soldar con las pistas de la tarjeta, las cuales pueden desprenderse o bien quedar en cortocircuito.



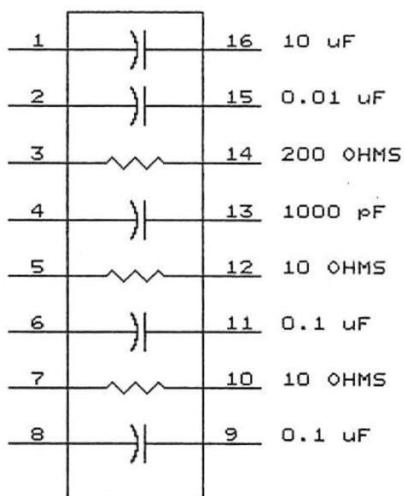
U6

MOTOR DE PASOS



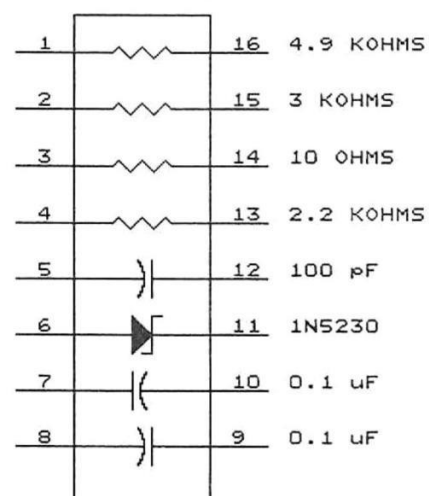
U9

CONVERTIDOR A/D



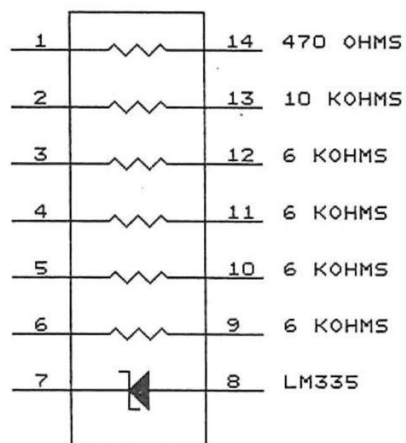
U10

VOLTAJE DE REFERENCIA



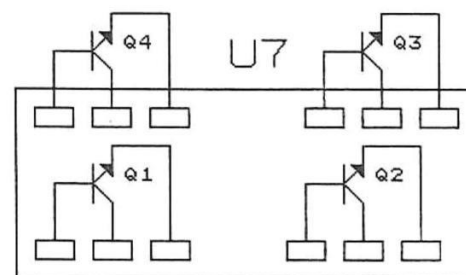
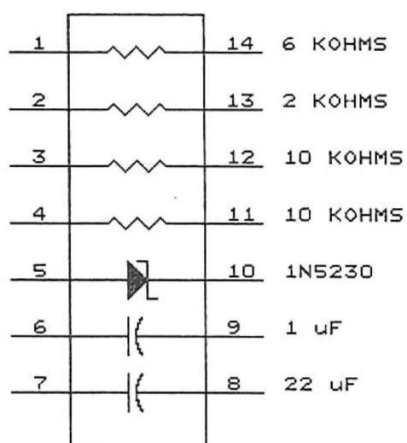
U11

SENSORES DE TEMPERATURA / POSICION



U14

DIVISORES DE VOLTAJE



TRANSISTORES MOTOR DE PASOS

P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL

Title  
BASES CON COMPONENTES DE LA TARJETASize Document Number  
A FIGURA 26> REV  
1

Date: October 3, 1994 Sheet 1 of 1

#### IV.2.2 Programa de diseño PCB:

El diseño del circuito impreso se realizó mediante el programa OrCAD/PCB II. Este programa es totalmente compatible con el programa de diseño mencionado en la sección anterior, el cual realiza circuitos impresos sencillos y con configuraciones electrónicas complejas. Cuenta con seis estrategias de enrutado de pistas y optimización de las mismas [15]. Mediante el archivo TESIS.NET, se construyó el circuito impreso de dos lados de la tarjeta de control y adquisición de datos (lado de componentes y lado de soldadura) debido a la gran cantidad de componentes. La distribución de los circuitos integrados y de las bases se muestra en la figura 27).

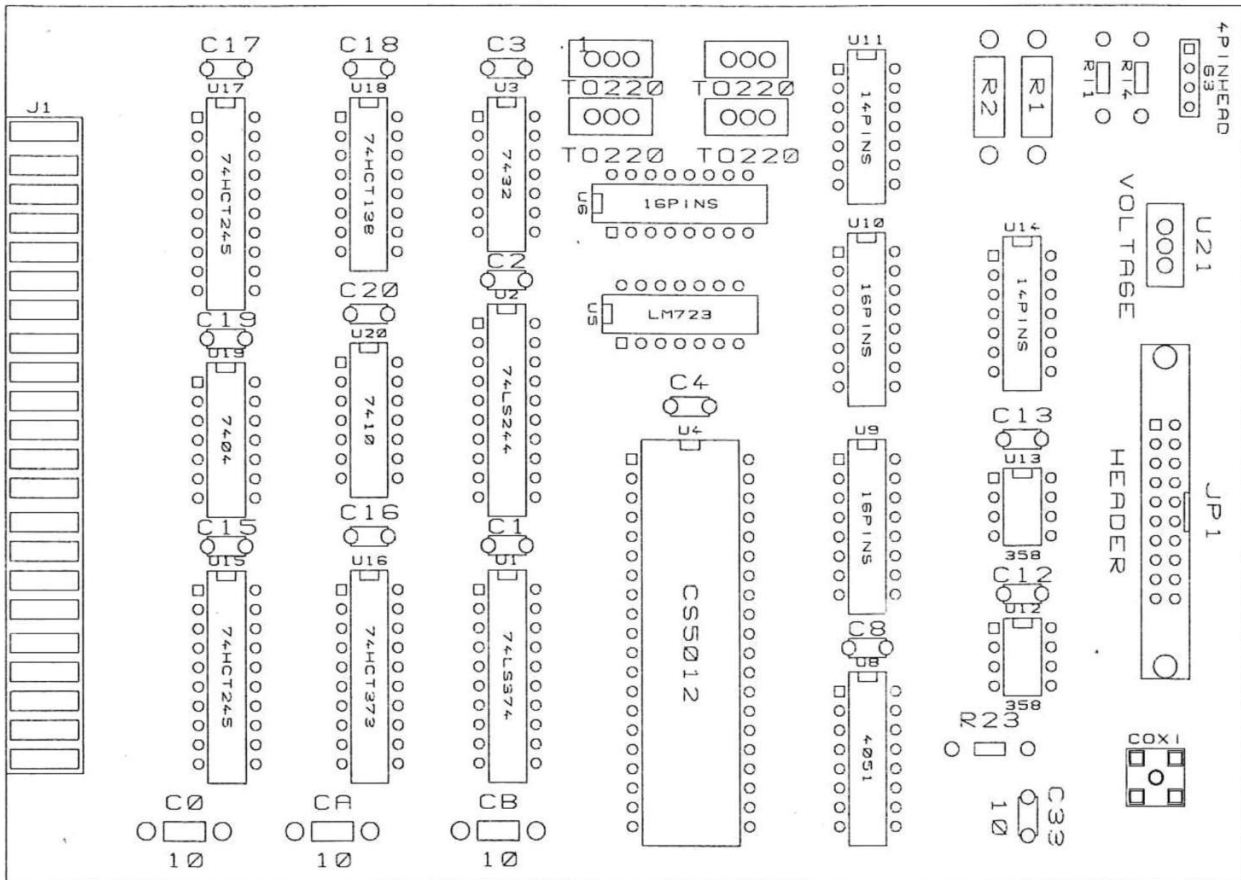
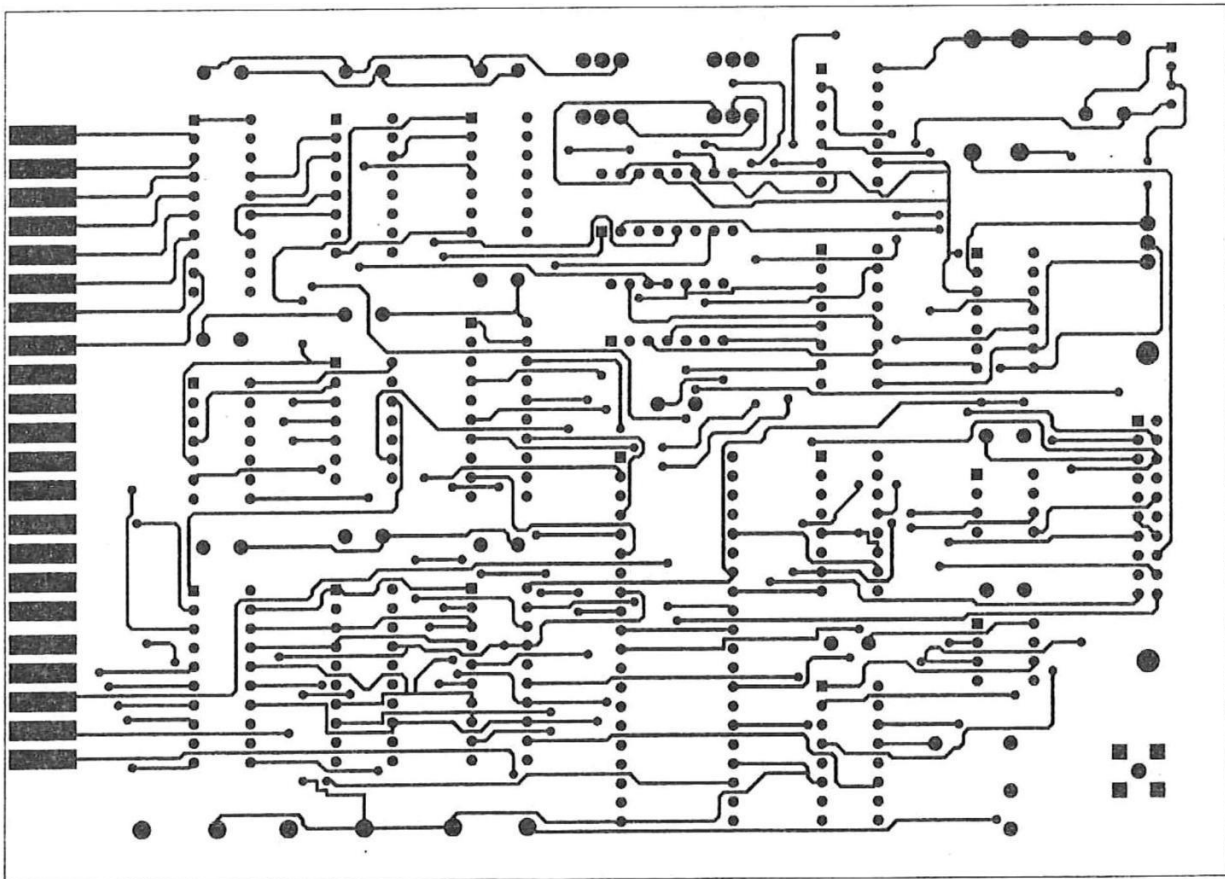


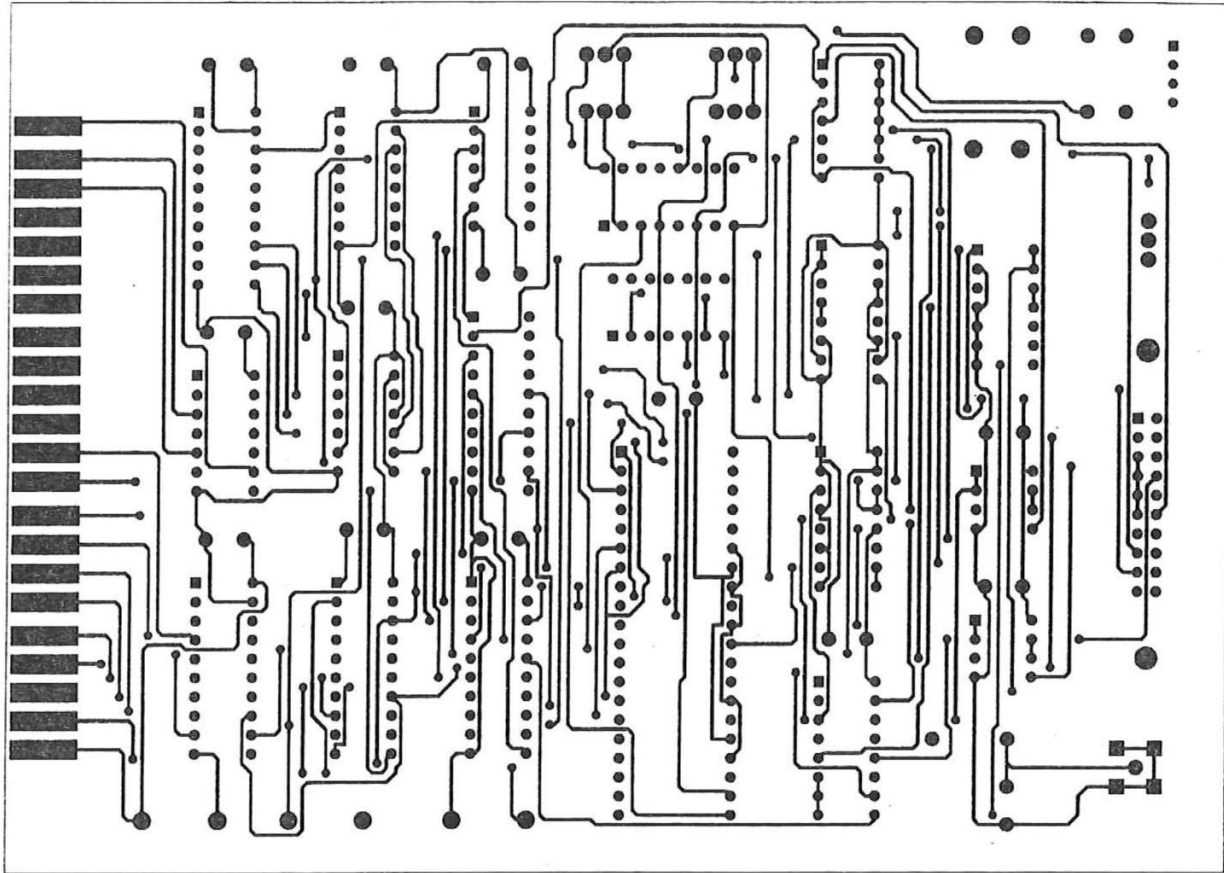
Fig. 27).- Distribución de circuitos integrados y componentes de la tarjeta.

En el diseño se utilizó la estrategia de "90 grados" para enrutar la tarjeta de control y adquisición de datos. Esta estrategia permite hacer conexiones de 90 grados solamente entre pistas de ambos lados, es decir, sólo coloca pistas verticales en lados pares y pistas horizontales en lados impares. Esto reduce el número de pistas que pudieran interferir con cualquier otra.

Mediante el diseño del circuito esquemático y una vez distribuidos los componentes y enrutada la tarjeta, se obtuvieron las mascarillas de circuito impreso. En la figura 28 a) se presenta la mascarilla del circuito impreso por el lado de los componentes (lado superior) y, la figura 28 b) muestra la mascarilla del circuito impreso por el lado de soldadura (lado inferior).



(a)



(b)

**Fig 28).- Mascarilla del circuito impreso (a) lado de componentes, (b) lado de soldadura.**

Para la realización física del circuito, se utilizó una tercera mascarilla conocida como: mascarilla de soldadura (solder mask) de la tarjeta, la cual se generó con el PCB y se muestra en la figura 29). En la siguiente sección, se describe de manera breve el proceso para realizar físicamente el circuito impreso, así como también la utilización de la tercera mascarilla.

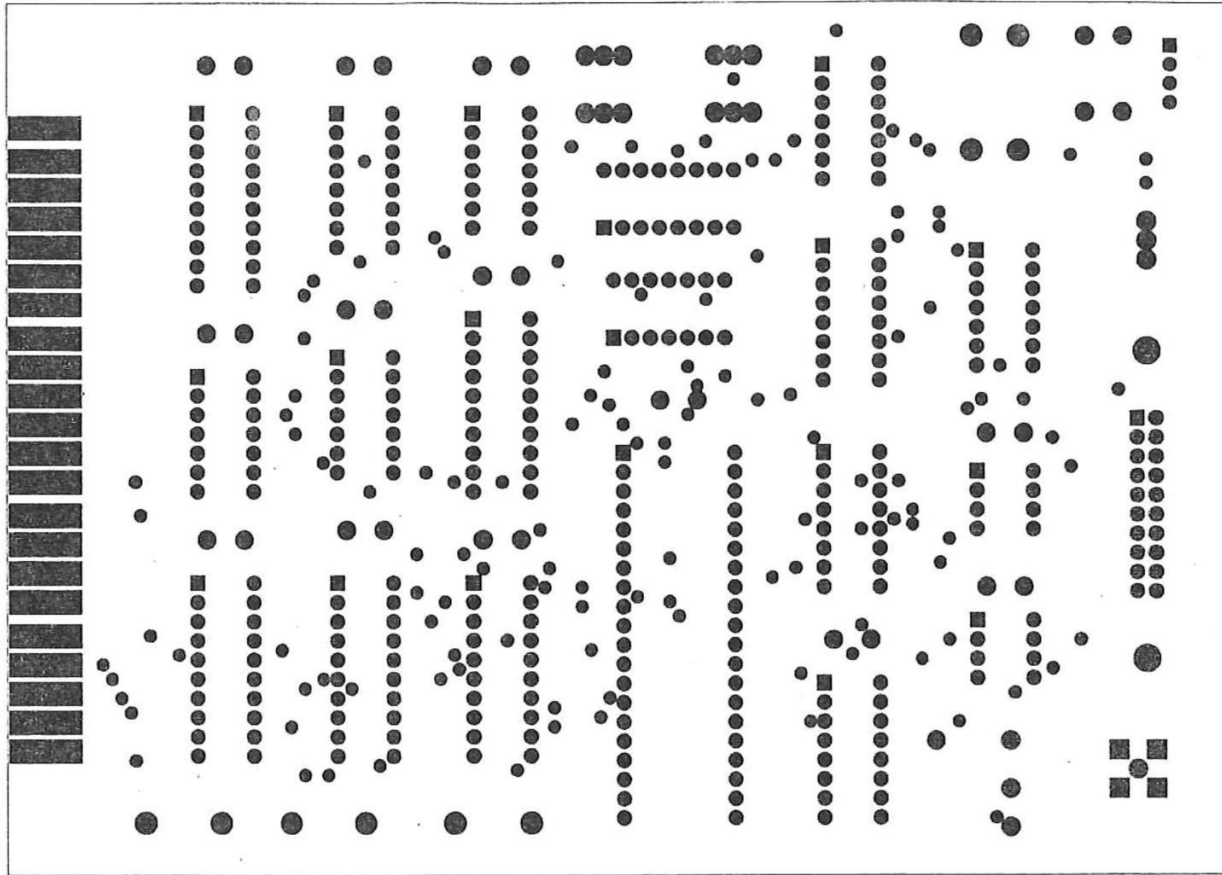


Fig. 29).- Mascarilla de soldadura de la tarjeta de control y adquisición de datos.

### IV.3 TÉCNICA DE ELABORACIÓN DEL CIRCUITO IMPRESO:

En la sección IV.2 se obtuvo el diseño de la tarjeta de control y adquisición de datos por medio de programas de computadora. Utilizando las mascarillas que se generaron en el diseño, mostradas en las figuras 28) y 29), se procede a efectuar el proceso de elaboración de circuito impreso utilizando la técnica llamada "Hoyo metalizado", cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 30).

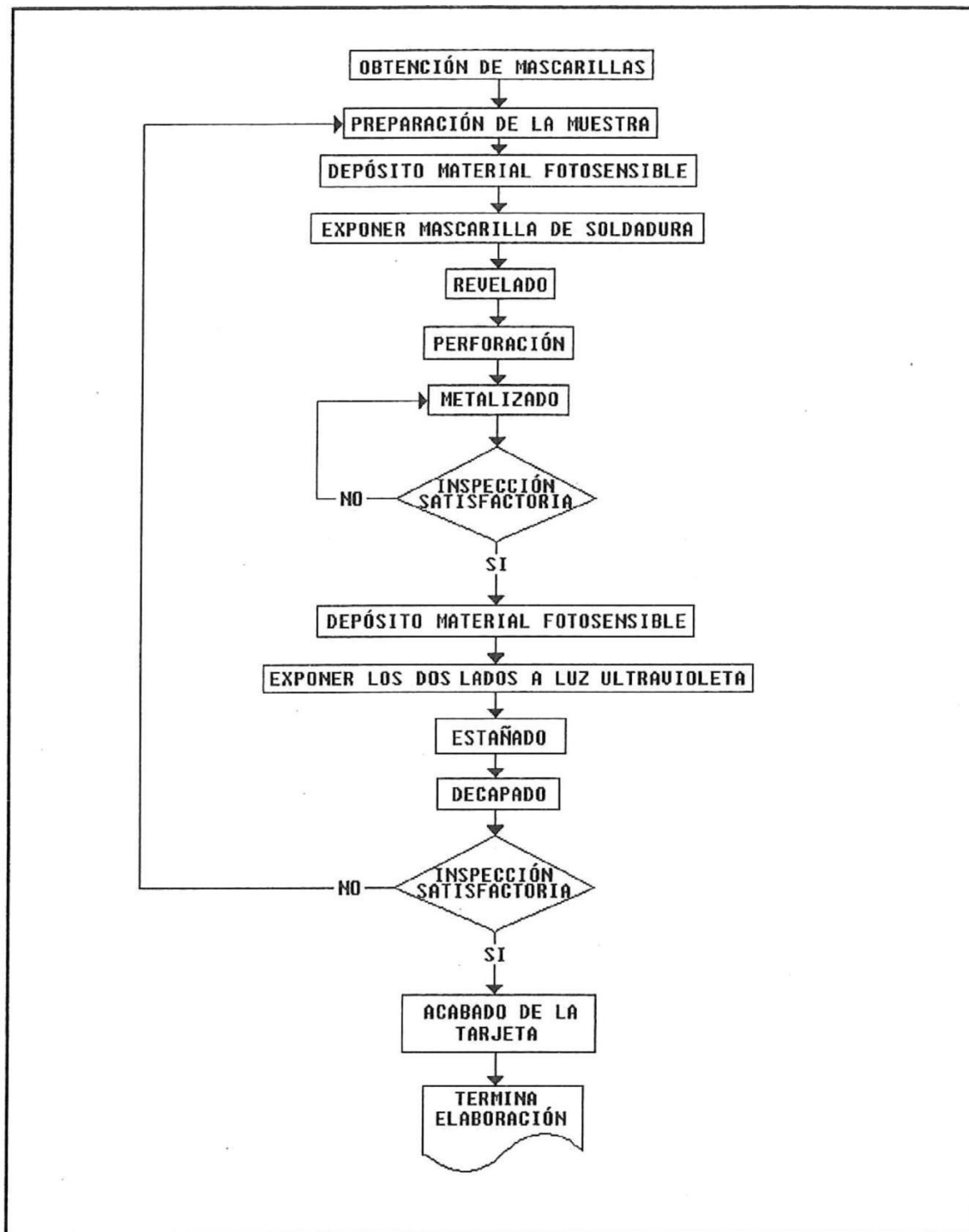


Fig. 30).- Diagrama de flujo de la técnica de elaboración del circuito impreso.

De acuerdo al diagrama mostrado en la figura 30), los pasos que constituyen la técnica de elaboración del circuito impreso de la tarjeta de control y adquisición de datos 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 prepara la placa de cobre para el circuito impreso. La preparación consiste en limpiar muy bien ambos lados de la placa con una lija fina, para eliminar las rayaduras pequeñas, y mantenerla libre de grasa lavándola con detergente.

3.- Después de preparar la placa, se deposita la resina fotosensible (filmina) sobre la placa de cobre a través de una laminadora con rodillos.

4.- Una vez cubierta la placa de filmina, se expone la mascarilla de soldadura a la luz ultravioleta para posicionar los lugares de las perforaciones.

5.- Terminado el tiempo de exposición de la mascarilla a la luz ultravioleta, se procede al revelado utilizando un revelador de filmina y posteriormente a secar la placa.

6.- Ya marcados los lugares de las perforaciones sobre la placa, se realiza la perforación de la misma en forma manual, seleccionando el diámetro de las brocas de acuerdo al tamaño de las terminales de los componentes y bases.

7.- Antes de metalizar se requiere remover la película de filmina con un alkali fuerte llamado Alka Strip 99A de hidróxido de sodio, lijar y limpiar muy bien la placa.

8.- El metalizado de la tarjeta consiste en el depósito de cobre químico y electrolítico en las paredes de las perforaciones. El tiempo estimado para el depósito electrolítico es de 36 minutos, y el proceso completo tiene un tiempo aproximado de 1 hora con 16 minutos. Hecho esto, se debe verificar de manera cuidadosa si la metalización fue adecuada, si no, se debe introducir una vez más al recipiente de depósito electrolítico.

9.- Realizada la metalización, se deposita nuevamente filmina sobre la placa de cobre, con el propósito de grabar las pistas de las mascarillas superior e inferior mostradas anteriormente en la figura 28 a) y b) respectivamente.

10.- Se procede a exponer las mascarillas superior e inferior a la luz ultravioleta, de manera individual y cuidando de proteger el lado contrario. Una vez expuestas ambas mascarillas, se revela la filmina y se deja secar la tarjeta por un periodo de 1 hora aproximadamente.

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

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

15.- Decapada la tarjeta en forma correcta, se realizan los acabados en ella. Primero se abrillanta la tarjeta (el abrillantado es la fusión del estaño-plomo con el cobre) de circuito impreso, sumergiéndola en un fundente ácido y después en un aceite especial para fundir soldadura a una temperatura de 200°C, la cual es el punto de fusión del estaño-plomo, aproximadamente. Como segundo paso se corta la placa a las dimensiones deseadas y después se lija ó pule para darle un buen acabado. Finalmente se cubren ambos lados con un esmalte verde, para proteger las pistas de la tarjeta.

El éxito de la técnica de elaboración de la tarjeta de circuito impreso depende de un buen contraste, una buena definición y coincidencia en las perforaciones de ambos lados (superior e inferior) que la forman. Una vez terminado el proceso de elaboración, se procede al ensamble de los circuitos integrados y bases de la tarjeta, el cual se presenta en la siguiente sección.

#### **IV.4 ENSAMBLE DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS:**

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

1.- En referencia a la figura 26) que muestra la manera en que los componentes se deben montar sobre las bases, se soldan todas las resistencias, diodos y capacitores a sus respectivas bases, tomando en cuenta la polaridad en la colocación de los capacitores y diodos.

2.- Todas las bases se soldan a la tarjeta, tal como se muestra en la figura 27), respetando la marca de la base, que indica la terminal número uno del circuito integrado. Es importante verificar que ninguna terminal haga corto circuito con otra, y además que haga un buen contacto.

3.- Se soldan directamente a la tarjeta los siguientes componentes: los 4 transistores, 2 resistencias de  $33\Omega$  a 2 watts, 2 resistencias de  $1K\Omega$ , el conector JP1 (de 20 terminales), el conector JP2 (de 4 terminales), el regulador de voltaje, la resistencia de  $1 M\Omega$  y el capacitor de  $10 \mu F$  que forman el circuito integrador, los 13 capacitores de  $0.1 \mu F$ , 3 capacitores electrolíticos de  $10 \mu F$  y el conector JP3 (conector coaxial). Los conectores JP1, JP2 y JP3 son los que reciben y envían las señales a procesar en el subsistema. El JP1 es un conector de 2X10 (20 terminales) que recibe el voltaje del oscilador de diodo Gunn, los voltajes de los sensores de temperatura y la información del sensor de posición, y además que envía información al motor de pasos. El JP2 es un conector de 1X4 (4 terminales) mediante el cual se recibe la información del interruptor de mercurio. El JP3 es un conector de ángulo recto SMA hembra, de la compañía Omni Spectra; por medio de este conector se recibe la señal en DC proveniente del subsistema de ondas milimétricas y microondas.

se recibe la señal en DC proveniente del subsistema de ondas milimétricas y microondas.

4.- A las 20 líneas del cable con conector hembra que va directo al conector JP1, se soldaron los sensores de temperatura, el sensor de posición y el motor de pasos, como se muestra en la configuración de la figura 31).

5.- Enseguida se ensamblan todos los circuitos integrados a sus respectivas bases, verificando la orientación del circuito con respecto al diagrama general, y evitando que alguna terminal se dañe. La manera en que se ensamblan los componentes (lado superior) se ilustra en la figura 32), y el lado de soldaduras (lado inferior) se muestra en la figura 33).

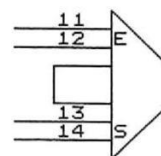
6.- Se conecta el cable de 20 líneas al conector macho JP1 y la tarjeta se introduce en el ducto BCC (el cual se muestra en la figura 34). La manera de ensamblar la tarjeta en el ducto se ilustra en la figura 35).

7.- Finalmente, la tarjeta BCC52 (la cual se muestra en la figura 36) con el cable de la interfaz vía puerto serie hacia la computadora, se introduce en el ducto BCC y ambas tarjetas ya en el ducto se protegen con una caja metálica, formando con esto el subsistema de control y adquisición de datos; tal como se muestra en la figura 37).

En el siguiente capítulo se describen las pruebas realizadas al subsistema de control y adquisición de datos, mediante la conexión del cable de comunicación serie a una computadora personal, y el subsistema alimentador de energía a las tarjetas antes mencionadas.

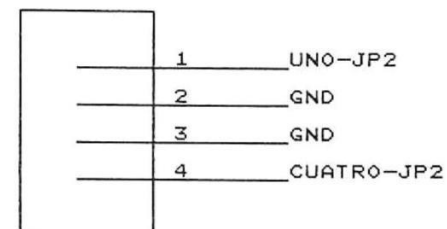
## CONECTOR JP1

1 - CAFE	SIN CONECTAR	
2 - ROJO	SIN CONECTAR	
3 - NARANJA	CANAL LIBRE DEL MULTIPLEXOR (SPARE)	
4 - AMARILLO	VOLTAJE DEL OSCILADOR GUNN	
5 - VERDE	TIERRA	
6 - AZUL	SENSOR DE TEMPERATURA	OSCILADOR
7 - VIOLETA	TIERRA	
8 - GRIS	SENSOR DE TEMPERATURA	AMPLIFICADOR
9 - BLANCO	TIERRA	
10 - NEGRO	SENSOR DE TEMPERATURA	EXTERIOR
11 - CAFE	TIERRA	
12 - ROJO	A "E"	SENSOR DE POSICION
13 - NARANJA	A "S"	
14 - AMARILLO	TIERRA	
15 - VERDE	NEGRO	
16 - AZUL	BLANCO	
17 - VIOLETA	VERDE	
18 - GRIS	ROJO	
19 - BLANCO	BLANCO / VERDE	
20 - NEGRO	BLANCO / ROJO	MOTOR DE PASOS



## CONECTOR JP2

INTERRUPTOR DE MERCURIO



P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL			
Title			
CONECTOR JP1 Y CONECTOR JP2			
Size	Document Number	REV	
A	FIGURA 31)	1	
Date:	October 17, 1994	Sheet	1 of 1

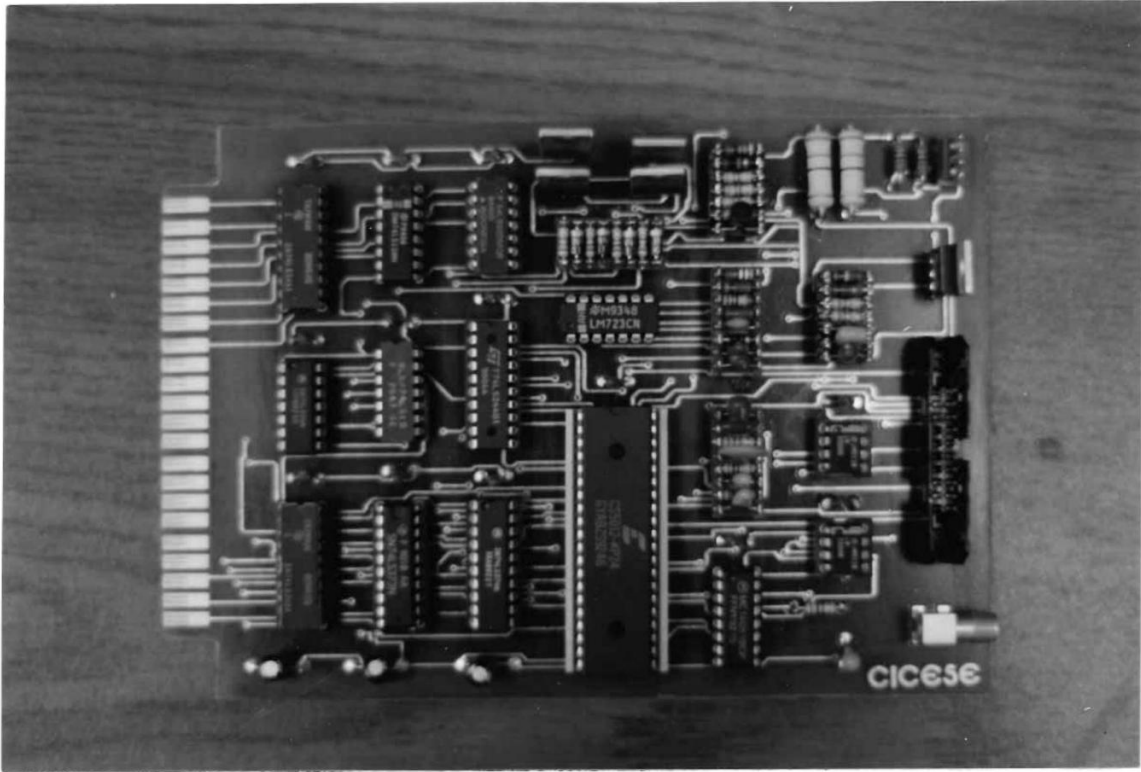


Fig.32).- Fotografía de la tarjeta por el lado de componentes.

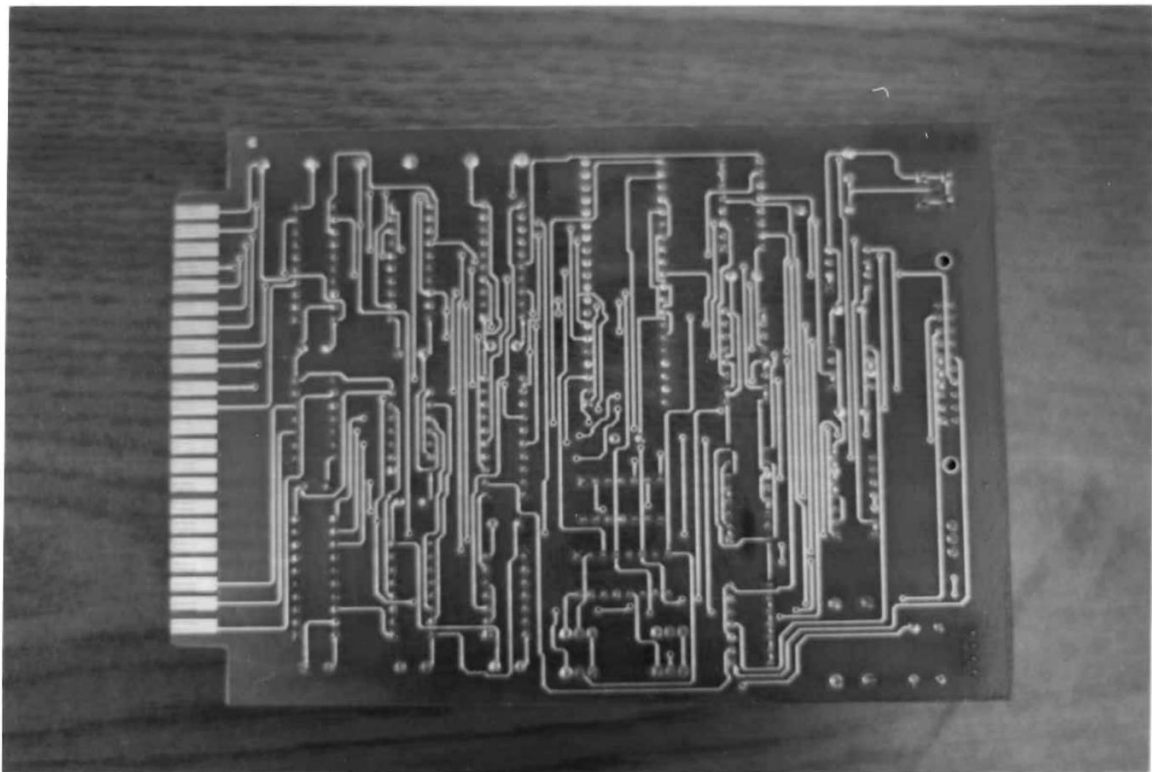


Fig. 33).- Fotografía de la tarjeta por el lado de soldadura.

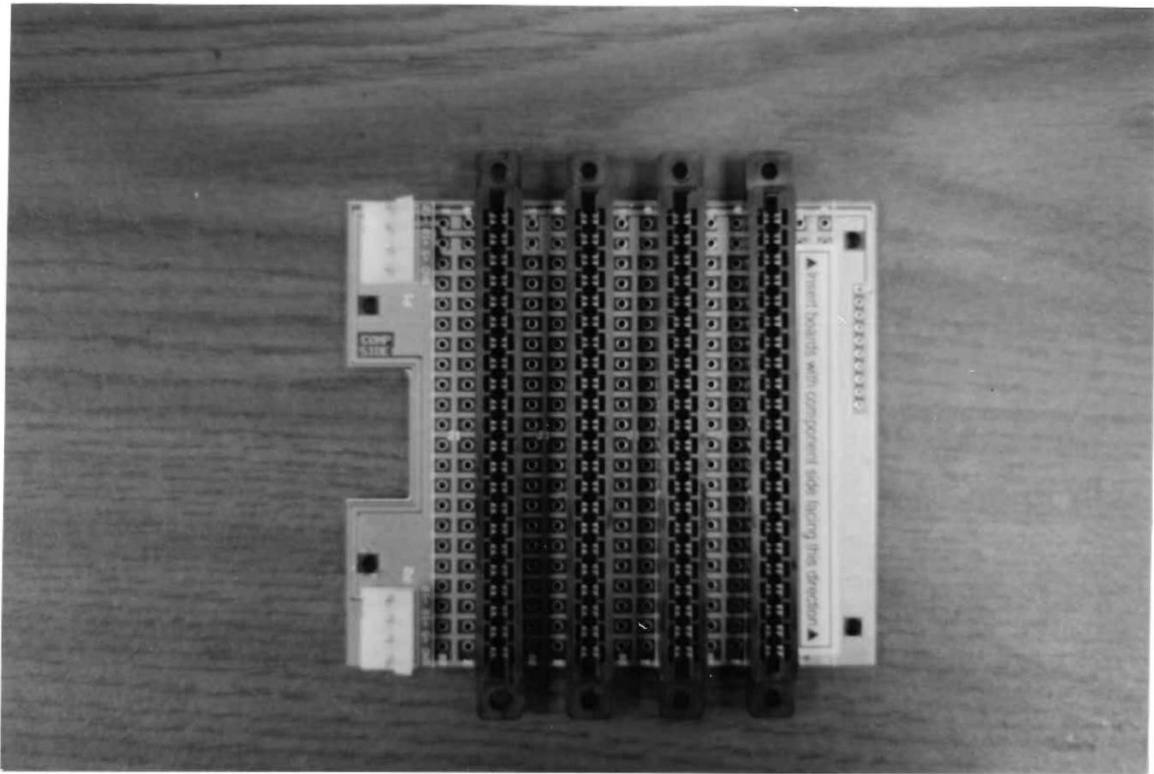


Fig. 34).- Fotografía del ducto BCC.

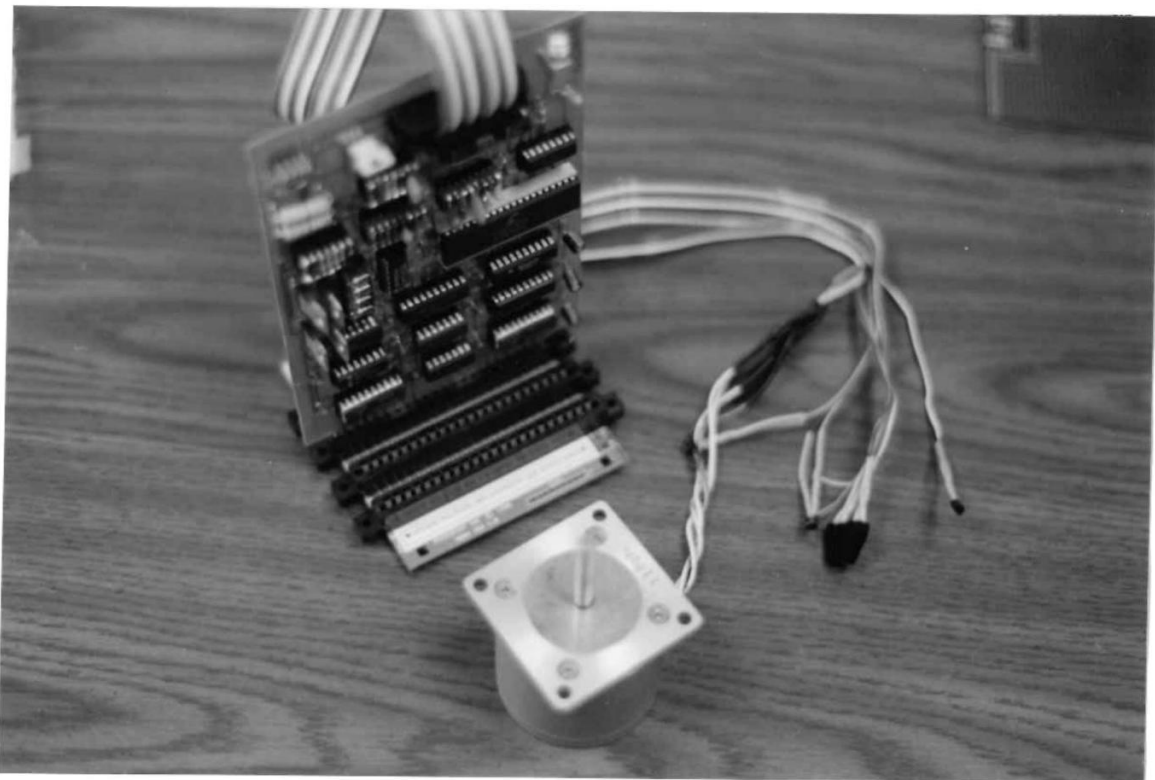


Fig. 35).- Fotografía del motor de pasos, y la tarjeta insertada en el ducto BCC.

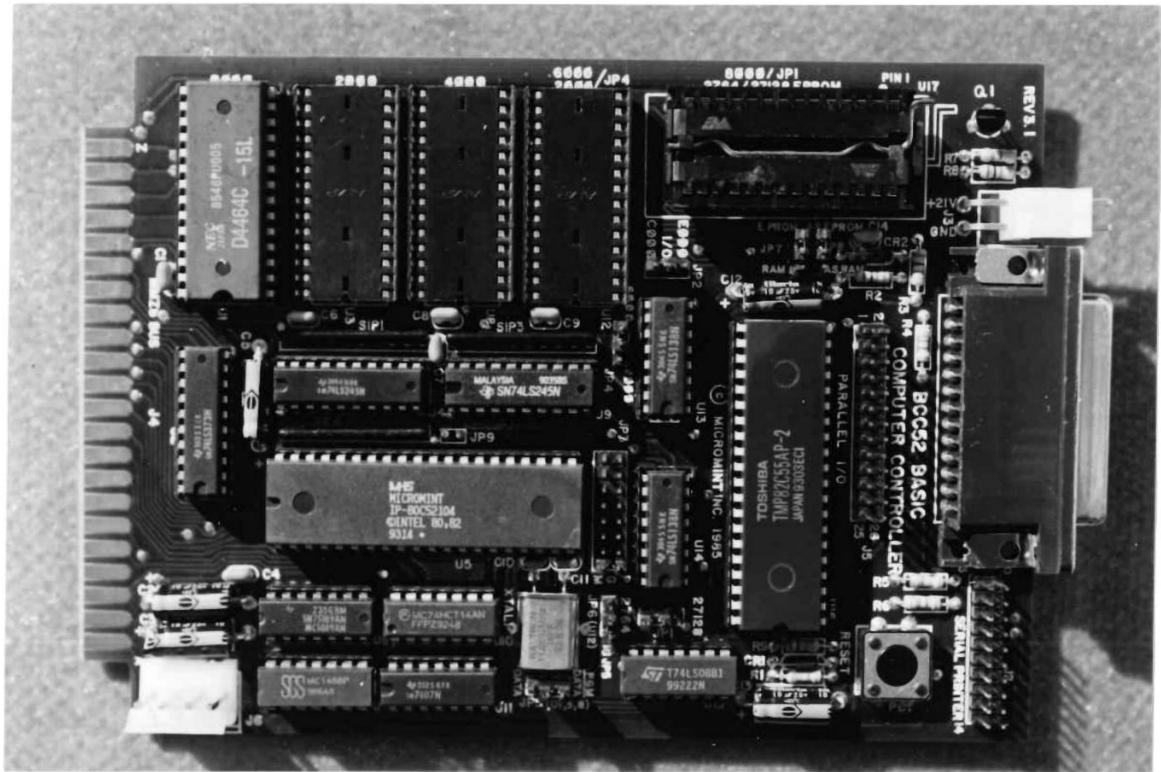


Fig. 36).- Fotografía de la tarjeta BCC52 por el lado de componentes.

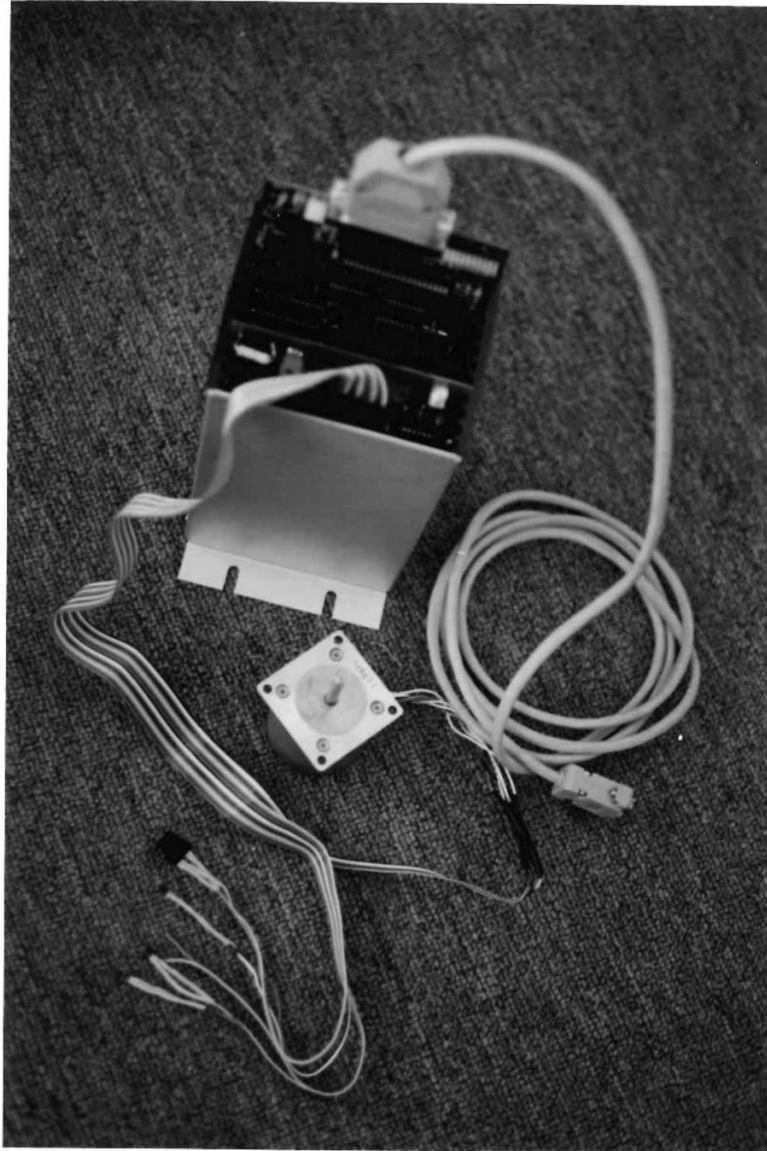


Fig. 37).- Fotografía del subsistema de control y adquisición de datos.

## CAPÍTULO V

### V CARACTERIZACIÓN DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

#### V.1 INTRODUCCIÓN:

En el presente capítulo se presentan las pruebas realizadas (a nivel laboratorio) al subsistema de control y adquisición de datos por medio de una computadora personal. Se utilizaron programas en lenguaje BASIC-52 para comprobar el funcionamiento correcto de bloques tales como: los puertos de entrada/salida, el motor de pasos y el convertidor analógico/digital. Para tales pruebas se utilizó el subsistema alimentador de energía (que requiere 110 V AC), el recinto metálico del radiómetro, la interfaz vía puerto serie entre el subsistema de control y adquisición de datos y la computadora personal, y el programa de computadora PCPLOT.

En la sección V.2 se presenta la instalación del sistema y pruebas de la tarjeta de control y adquisición de datos. La subsección V.2.1 muestra la configuración del radiómetro. La instalación del programa emulador de la computadora se presenta en la subsección V.2.2. La subsección V.2.3 indica las consideraciones de verificación y/o alineación de la posición del espejo con respecto a la referencia óptica. La posición del radiómetro se indica en la subsección V.2.4. El funcionamiento y aplicación de los programas de prueba en la computadora personal se muestra en la subsección V.2.5. Y finalmente, en la sección V.2.6 se presentan las pruebas generales a la tarjeta.

## **V.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS DE LA TARJETA:**

La secuencia de instalación y pruebas de la tarjeta consiste de 6 pasos, que determinan la configuración entre las partes a conectar y una correcta instalación de la programación necesaria para las pruebas del subsistema. Los pasos son los siguientes:

- 1.- Configuración del radiómetro.
- 2.- Instalación del programa emulador de terminal y programas de prueba.
- 3.- Verificación de la posición del espejo reflector.
- 4.- Posición del radiómetro.
- 5.- Funcionamiento y aplicación de los programas de prueba.
- 6.- Pruebas generales.

En las siguientes subsecciones se explican los pasos antes mencionados.

### **V.2.1 Configuración del radiómetro:**

Ya ensamblado el subsistema de control y adquisición de datos mostrado anteriormente en la figura 37), se conecta con el subsistema alimentador de energía y se instala en el recinto metálico del radiómetro. El cable de la comunicación serie entre el subsistema de control y adquisición de datos y la computadora se conecta al puerto COM1 de la computadora personal. Es conveniente mencionar que en esta instalación no se presenta el subsistema de ondas milimétricas y microondas debido a que éste se ensamblará en el FCRAO de la Universidad de Massachusetts. El esquema final de la conexión e instalación del radiómetro se presenta en la figura 38).



Fig. 38).- Fotografía de la conexión e instalación del radiómetro.

### V.2.2 Instalación del programa emulador de terminal y programas de prueba:

Usando el mando MKDIR del sistema operativo MSDOS, se crea un directorio llamado RADIO en el disco C y se instalan los siguientes programas:

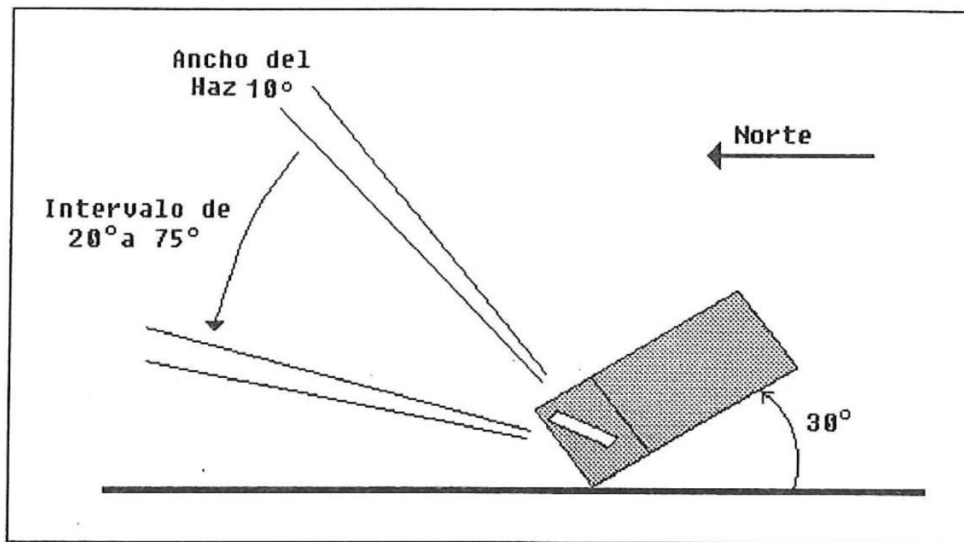
- PCPLOT.EXE programa emulador de terminal.
- PCPLOT.SET archivo con las características de la terminal por omisión.
- CONVERT.BAS programa de prueba para el convertidor analógico/digital.
- PTOEN.BAS programa de prueba para el puerto de entrada.
- PTOSAL.BAS programa de prueba para el puerto de salida.
- MOTOR.BAS programa de prueba para el motor de pasos.
- SURVEY.BAS programa de prueba del radiómetro.

### **V.2.3 Verificación de la posición del espejo reflector:**

El espejo debe alinearse con la base circular que sirve de referencia óptica al sensor de posición, y ambos se colocan en el eje del motor de pasos. La base cuenta con un hundimiento circular en la parte posterior, el resto de la superficie se pinta de color negro. Se debe tener cuidado al instalar el sensor de posición, ya que la distancia a la que se coloca con respecto a la base del espejo es determinante para que la señal del diodo emisor de luz (LED) se pueda reflejar. Cuando el espejo está en la posición de referencia óptica, la programación define éste ángulo como el ángulo de referencia "cero".

### **V.2.4 Posición del radiómetro:**

Para el funcionamiento del radiómetro, la posición juega un papel determinante en cuanto a la confiabilidad de los resultados. El radiómetro debe tener un ángulo de elevación de  $30^\circ$  con respecto a la horizontal, tal como se ilustra en la figura 39). Esta alineación es muy importante y debe ser verificada con cuidado. Para asegurarse de la inclinación se utiliza un interruptor de mercurio para establecer el ángulo correcto de la posición del radiómetro. Dado que la ganancia del sistema depende de la temperatura ambiente, el recinto se coloca en dirección al norte y cercano a una construcción que le proteja de los rayos solares. Se debe tener cuidado en que el radiómetro tenga una vista sin obstrucciones de  $20^\circ$  a  $75^\circ$  desde el zenit. Se realizó en el laboratorio la prueba de la posición del radiómetro, verificando la continuidad en las terminales del interruptor de mercurio.



**Fig. 39).- Posición del radiómetro con respecto a la horizontal.**

### **V.2.5 Funcionamiento y aplicación de los programas de prueba:**

Mediante el programa PCPLOT utilizado para simular una terminal en la computadora personal, se ponen en funcionamiento los programas de prueba de la tarjeta de control y adquisición de datos. La BCC52 autoconfigura el puerto serie con una velocidad de transmisión de 9600 bits por segundo, 8 bits de datos, sin bit de paridad, y un bit de paro. El procedimiento para correr los programas de prueba es el siguiente:

- 1.- Conectar la BCC52 y la computadora personal a través del puerto serie. (Cerciorarse de la configuración correcta del cable Tx con Rx).
- 2.- Ejecutar el programa PCPLOT y conectar el subsistema de alimentación al voltaje de línea 110 V AC (encender la BCC52).

3.- Presionar la barra de espacio en el teclado de la computadora personal. Esto hace que la BCC52 configure su puerto serie en base a este caracter. Si se presiona otra tecla se producirá error en la configuración del puerto serie.

4.- Después de esto la BCC52 responderá con el símbolo ">".

5.- Dar el mando NEW para limpiar la memoria RAM.

6.- Cargar a memoria el programa deseado utilizando ALT-U, y escribiendo el nombre del programa.

7.- Aplicar el comando RUN.

Con el fin de verificar la operación de la tarjeta, se utilizaron los siguientes programas de prueba:

**a).- Programa PTOSAL.BAS**

Este programa se utiliza para verificar el puerto de salida. Se introduce un valor, si el puerto funciona correctamente, el programa pregunta el siguiente dato de salida; si no, debe verificarse la circuitería correspondiente al bloque de los puertos.

```
10 REM Programa de Prueba PUERTO DE SALIDA
20 PRINT "Dato de Salida?.."
30 INPUT CO
40 XBY(0E900H) = CO
50 GOTO 20
60 END
```

**b).- Programa PTOENT.BAS**

Este programa despliega en una manera continua el estado del puerto de entrada. El cual indica que: si ningún bit de entrada está a tierra, el dato desplegado será 255. Mientras que cuando el bit de más baja prioridad está a tierra, el dato desplegado será

254 y el siguiente bit desplegará 253, y así sucesivamente. Así, al ejecutar el programa, y al no tener ningún dato en el puerto, se despliega el valor de 255. Se pueden verificar cada una de las líneas del puerto, conectando intencionalmente por medio de un alambre cualquiera de las terminales a GND, y comprobar los datos antes mencionados. En caso de no visualizar ningún dato de la secuencia antes mencionada, se debe verificar la circuitería correspondiente al puerto de entrada.

```
10 REM Programa de Prueba PUERTO DE ENTRADA
20 CO = XBY(0E900H)
30 PRINT CO
40 GOTO 20
50 END
```

### **Programa MOTOR.BAS**

Este programa verifica el bloque del manejador del motor de pasos y mueve el motor de pasos en una sola dirección. No es necesario ningún dato de entrada: sólo se necesita almacenar el programa en la memoria de la BCC52 y ponerlo a funcionar. Si el motor de pasos no se mueve, debe verificarse cada una de las conexiones de los componentes del bloque a sus bases, o cerciorarse de la configuración correcta de las terminales del motor de pasos al conector JP1 en la tarjeta.

```
10 REM Programa de Prueba MOTOR DE PASOS
20 DATA 5,1,9,8,10,2,6,4
30 FOR I=1 TO 8: READ PS(I): NEXT I
40 UP=1
50 UP = UP+1
60 IF UP=9 THEN UP=1
70 PT = PT.AND.0F0H
80 PT = PT.OR.PS(UP)
```

```
90 XBY(0E900H)=PT
100 GOTO 50
110 END
```

### **Programa CONVAD.BAS**

Programa de prueba del convertidor analógico/digital de una señal que pasa a través del multicanalizador analógico. Una vez que el programa es ejecutado en la BCC52, el programa pregunta por el canal del multicanalizador a ser medido. Debe aplicarse un voltaje menor a 4.5 V al canal del multicanalizador donde se desea medir. Esto se puede realizar mediante un divisor de voltaje hecho con una resistencia y un potenciómetro, o bien, con una fuente de voltaje variable.

```
10 REM Programa de Prueba CONVERTIDOR A/D
20 XBY(0E900H) = 080H
30 PRINT " Canal del Multiplexor (0-7)....?"
40 INPUT CO
50 IF CO<0.OR.CO>7 GOTO 30
60 PT = PT.AND.08FH
70 PT = PT.OR.(CO*16): XBY(0E900H) = PT
80 SUM = 0
90 FOR IQ = 1 TO 10
100 PT = PT.AND.07FH: XBY(0E900H)=PT
110 PT=PT.OR.080H: XBY(0E900H)=PT
120 FOR KK=1 TO 10: NEXT KK
130 A = XBY(0E801H)*16
140 B = XBY(0E801H)/16
150 SUM = SUM+A+B
160 NEXT IQ
```

```
170 PRINT "CANAL ",CO,"ENTRADA ",SUM/10.0
```

```
180 GOTO 30
```

```
190 END
```

### **V.2.6 Pruebas generales:**

El resultado de las pruebas realizadas en el laboratorio a los bloques de puertos de entrada/salida, al motor de pasos y al convertidor analógico/digital fue satisfactorio. En estas pruebas, dada la carencia del subsistema de ondas milimétricas y microondas, se emuló la señal entregada por dicho subsistema ya amplificada por un amplificador de ganancia  $G=1000$ . Para emular la señal, se introdujo a través del conector de ángulo JP3 (tipo SMA) un voltaje de 0.4 a 1.2 V por medio de una fuente de voltaje variable. El consumo de potencia total de la tarjeta y la microcomputadora medido, resultó de 2.16 watts cuando el motor de pasos no está en operación. Cuando entra en funcionamiento dicho motor, el consumo se incrementa a 3.55 watts.

Para probar el sistema completo se utilizó un programa realizado en el FCRAO de la Universidad de Masachussets, llamado SURVEY.BAS el cual controla el movimiento del motor, para autocalibración y posicionamiento en ángulos de medición establecidos del espejo. Además, entrega los datos de las temperaturas y voltajes de los componentes mas sensibles en la forma mostrada en la figura 40) que presenta un ejemplo de los datos desplegados por el radiómetro. Emulando la señal y utilizando el programa SURVEY.BAS se observó que la operación del subsistema es correcta y confiable.

	hrs.	min.	seg.	día	tiempo almacenado		
$T_{rad}$	21	30	59	282	303	$T_{amb}$	$T_{amp1}$
**	310.58		257.64		305.27	307.05	$T_{osc}$
	48	1.116		2102.12	2098.66		$V_{cc}/2$
	58	1.399		2107.50	2097.94		$V_{osc}/4$
	63	1.677		2103.66	2098.88		
	66	1.930		2104.15	2099.70		
	69	2.298		2103.05	2099.32		
	70	2.459		2101.79	2099.48		
	72	2.869		2104.76	2099.32		
	73	3.136		2106.40	2101.24		
posición		masa de aire sec ( $\theta$ )		$V_{det}$ (espacio)	$V_{det}$ (carga)		

**Fig. 40).- Datos desplegados en la computadora por el radiómetro.**

Donde  $\theta$  es el ángulo con respecto al zenit (en grados) y está dado por la siguiente expresión:

$$\theta = 2 (\text{posición} * 0.9 - 45.0^\circ) + 30.0^\circ$$

Para cada posición, la computadora despliega el número de paso del motor, la masa de aire, el voltaje correspondiente a la señal del espacio y el voltaje detectado en el material absorbente a temperatura ambiente. El número desplegado en la pantalla se encuentra amplificado por un factor de  $G=1000$ ; dicho número está en unidades de milivolts a la entrada del convertidor analógico/digital, y en microvolts a la salida del detector de Ley-cuadrada en el subsistema de ondas milimétricas y microondas.

A partir de la funcionalidad del sistema, se realizaron 3 tarjetas más para instalarlas posteriormente en los cuatro radiómetro a utilizar para el proyecto del Gran Telescopio Milimétrico.

## CAPÍTULO VI

### VI CONCLUSIONES

En este trabajo de tesis se desarrolló una tarjeta de control y adquisición de datos, que forma la parte digital de un radiómetro que recibe señales a frecuencias del orden de 210 a 212 GHz. Todo lo anterior con el fin de conocer la densidad de la columna de vapor de agua en la atmósfera a una altitud no mayor de 20 Kms; y determinar la atenuación a esas frecuencias en los lugares donde se pretende instalar un radiotelescopio, enmarcado dentro del proyecto del Gran Telescopio Milimétrico (GMT).

En general, en el presente trabajo se mencionaron los diferentes tipos de radiómetros con aplicación en radioastronomía, estableciendo que el radiómetro de 210 a 212 GHz es una variación de los Radiómetros de Potencia Total y Dicke. Una vez definido el tipo de radiómetro, se describió cómo está constituido, y su funcionamiento; explicando cada uno de los tres subsistemas que lo forman: el subsistema de ondas milimétricas y microondas, el subsistema de control y adquisición de datos (objetivo de este trabajo de tesis), y, el subsistema alimentador de energía. Se describió la metodología empleada para el diseño del subsistema de control y adquisición de datos, en base a un radiómetro similar que opera en la frecuencia de 215 GHz. Se diseñó el circuito esquemático, y realizó la tarjeta de circuito impreso mediante los programas de computadora OrCAD/SDT y OrCAD/PCB respectivamente. Se realizó físicamente mediante la técnica de elaboración de circuito impreso llamada "Hoyo metalizado"; y se construyó haciendo énfasis en los aspectos críticos del proceso de construcción y ensamble. Se caracterizó mediante la utilización de programas de computadora en lenguaje BASIC52, a nivel laboratorio; comprobándose satisfactoriamente el funcionamiento correcto de la tarjeta.

Como resultado de la caracterización en el laboratorio de la tarjeta de control y adquisición de datos, el diseño de la misma se establece como una tarjeta estándar para futuros sistemas radiométricos. Debido al buen funcionamiento del subsistema, se realizaron tres tarjetas más, para colocarlas en los radiómetros a utilizar en el proyecto del GTM. La ubicación de los radiómetros será en las regiones más elevadas de México, para determinar el lugar idóneo en que se establecerá uno de los telescopios más grandes del mundo, que opera en ondas milimétricas.

Con el propósito de mejorar el costo, el consumo de energía y de integrar en una sola tarjeta el subsistema de control y adquisición de datos, se recomienda reemplazar la tarjeta de la BCC52, por un sistema mínimo con el mismo procesador, el 8052AH-BASIC; así, al integrar dos tarjetas en una, se reduce el número de componentes y circuitos integrados. Además se recomienda reemplazar el convertidor analógico/digital, por otro de menor tamaño y costo.

## REFERENCIAS

- [1] "Millimeter wave engineering and applications". Barthia P., Bahl I. J. 1984.  
John Wiley and Sons, pp. 153-180.
- [2] "The microwave system designer's handbook", cuarta edición.  
MSN microwave system news. Julio 1986, Vol. 16. No. 7
- [3] "Microwave Radiometer Systems: design and analysis". Skou N.  
Artech House, pp. 8, 9, 13, 162. 1989
- [4] "215 GHz Site Survey Radiometer Owner's Manual", Hiriart D., Skrutskie M.,  
Goldsmith P., FCRAO UMass, pp. 12, Enero 1992.
- [5] "Directional studies of atmosferics at high frequencies". Jansky K. G.  
Proc. IRE, Vol. 20, pp. 1920, 1932.
- [6] "Cosmic Static". Reber G. Proc. IRE, Vol. 28, pp. 68, 1940
- [7] "Cosmic Static". Reber G. Proc. IRE, Vol. 36, pp.1215, 1948
- [8] "A broad -band microwave source comparison radiometer for advanced research  
in Radio Astronomy". Drake, Ewen H. I., Proc. IRE, Vol. 46, pp. 53-60
- [9] "Instrumentation and Techniques for Radio Astronomy". Goldsmith P. F.  
IEEE Press, pp. 565 1988
- [10] "BCC52 BASIC Computer/Controller, user's manual". Micromint Inc.  
Rev. 1.0, 1988
- [11] "BCC55R Proto Board, user's manual". Micromint Inc. Rev. 1.0, 1988
- [12] "Instruction Manual for LNS-Z Power Supply Series".  
LAMBDA Electronics Inc. Rev. B, IM-LNS-Z
- [13] "Instruction Manual for LND-Z Power Supply Series".  
LAMBDA Electronics Inc. Rev. B, IM-LND-Z
- [14] "Introduction to OrCAD/SDT". OrCAD System Corporation, Ver. I, 1987
- [15] "OrCAD/PCB II User's Guide". OrCAD System Corporation, Ver. II, 1989

- [16] "Measurements of Thermal Radiation at Microwave Frequencies".  
Dicke R.H. (1946). Rev. Sci. Instr. Vol. 17, Julio
- [17] "An S-Band Radiometer Design with High Absolute Precision"  
Hardy W. N., Gray K. W., Love A. W. (1974). IEEE-MTT, Vol. 22

## APÉNDICE 1

### LISTA DE COMPONENTES DE LA TARJETA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

P. ING. MA. DE LOURDES MIJANGOS MONTIEL

< < < Component List > > >

VALOR	ASIGNACIÓN	MÓDULO	
358	U12	8DIP300	CI AMP. OP.
358	U13	8DIP300	CI AMP. OP.
MC4051	U8	16DIP300	CI MULTIPLEXOR
74LS04	U19	7404	CI INVERSOR
74LS10	U20	14DIP300	CI COMPUERTA NAND
74LS32	U3	14DIP300	CI COMPUERTA OR
74HCT138	U18	16DIP300	CI DECODIFICADOR
74HCT245	U15	20DIP300	CI TRANS/RECEP.
74HCT245	U17	20DIP300	CI TRANS/RECEP.
74HCT373	U16	20DIP300	CI LATCH
74LS244	U2	20DIP300	CI BUFFER/LINE DRIVER
74LS374	U1	20DIP300	CI FLIP-FLOP D
CS5012 A/D	U4	40DIP600	CI CONVERTIDOR A/D
LM723	U5	14DIP300	CI REG. DE VOLTAJE PRECISO
REG.	U21	LM7905	CI REGULADOR DE VOLTAJE
14PINS	U11	14DIP300	BASE
14PINS	U14	14DIP300	BASE
16PINS	U6	16DIP300	BASE
16PINS	U9	16DIP300	BASE
16PINS	U10	16DIP300	BASE
20PINS	U7	20DIP300	BASE
.1 MF	C1	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C2	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C3	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C4	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C8	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C12	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C13	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C15	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C16	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C17	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C18	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C19	CK05	CAPACITOR
.1 MF	C20	CK05	CAPACITOR
10 MF	CA	CK12	CAPACITOR
10 MF	CB	CK12	CAPACITOR

10 MF	C0	CK12	CAPACITOR
10 MF	C33	CK05	CAPACITOR
1 K	RI1	RC20	RESISTENCIA
1 K	RI4	RC20	RESISTENCIA
1 M	R23	RC05	RESISTENCIA
33 OHMS	R1	RC20	RESISTENCIA
33 OHMS	R2	RC20	RESISTENCIA
H. 10X2	JP1	20HH100	CONECTOR
4 HEADER	JP2	4PINHEAD	CONECTOR
BNC	JP3	COXI	CONECTOR
DUCTOBCC	J1	DUCTOBCC	CONECTOR

COMPONENTES EN BASES:

CANTIDAD	COMPONENTE	VALOR
4	RESISTENCIAS	1 K $\Omega$
4	DIODOS	1N4001
1	CAPACITOR	10 $\mu$ F
1	CAPACITOR	0.01 $\mu$ F
1	RESISTENCIA	200 $\Omega$
1	CAPACITOR	1000 pF
3	RESISTENCIAS	10 $\Omega$
4	CAPACITORES	0.1 $\mu$ F
1	RESISTENCIA	4.9 K $\Omega$
1	RESISTENCIA	3 K $\Omega$
1	RESISTENCIA	2.2 K $\Omega$
1	CAPACITOR	100 pF
2	DIODO ZENER	1N5230
1	RESISTENCIA	470 $\Omega$
3	RESISTENCIAS	10 K $\Omega$
5	RESISTENCIAS	6 K $\Omega$
4	SENSORES TEM.	LM335
1	RESISTENCIA	2 K $\Omega$
1	CAPACITOR	1 $\mu$ F
1	CAPACITOR	22 $\mu$ F
4	TRANSISTORES	TIP41C

COMPONENTES EXTERNOS:

MOTOR DE PASOS	MO61-FD02
SENSOR DE POSICIÓN	HOA1404-002
SENSORES DE TEMPERATURA	LM335

## APÉNDICE 2

1).- HOJAS DE DATOS DE LOS COMPONENTES MENOS COMUNES

2).- CARACTERÍSTICAS DEL LENGUAJE BASIC52

**12-Bit, 7  $\mu$ s Self-Calibrating A/D Converter**

**Features**

- Monolithic CMOS A/D converter  
Microprocessor Compatible  
Parallel and Serial Output  
Inherent Track/Hold Input
- True 12-Bit Precision  
Linearity Error:  $\pm 1/4$  LSB  
Total Adjusted Error:  $\pm 1/4$  LSB  
No Missing Codes
- Low Distortion  
Total Harmonic Distortion: 0.008%  
Peak Harmonic or Noise: -87 dB
- 7.2 Microsecond Conversion Time  
Throughput Rates up to 100 kHz
- Self Calibration Maintains Accuracy  
Over Time and Temperature
- Low Power Dissipation: 120 mW
- Pin Compatible with CS5014/CS5016

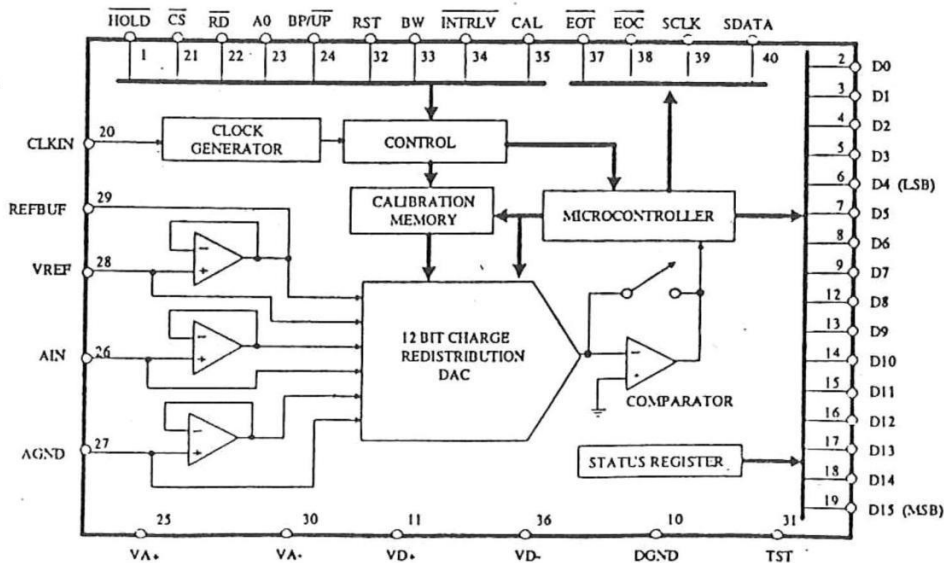
**General Description**

The CS5012 is a 12-bit monolithic analog to digital converter with a 7.2  $\mu$ s conversion time. Unique self-calibration circuitry insures maximum nonlinearity of 1/2 LSB and no missing codes. Offset and full scale errors are kept within 1/2 LSB, eliminating the need for manual calibration of any kind. Unipolar and bipolar input ranges are digitally selectable.

The CS5012 consists of a DAC, conversion and calibration microcontroller, oscillator, comparator, microprocessor compatible 3-state I/O, and calibration circuitry. The input track-and-hold, inherent to the device's sampling architecture, acquires the analog input signal after each conversion within 2.8  $\mu$ s to 0.01%, allowing throughput rates up to 100 kHz.

An evaluation board (CDB5012) is available for the CS5012 which can be easily configured to simulate any combination of operating conditions to greatly simplify system design and testing. The CS5012 is pin compatible with the CS5014 and CS5016 A/D converters allowing system upgrading and downgrading without hardware alterations.

ORDERING INFORMATION: Page 8-33





**ANALOG CHARACTERISTICS** ( $T_A = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $V_{A+}, V_{D+} = 5\text{V}$ ;  $V_{A-}, V_{D-} = -5\text{V}$ ;  
 $V_{REF} = 2.5\text{V}$  to  $4.5\text{V}$ ;  $f_{clk} = 6.8\text{ MHz}$  for  $-7$ ,  $4\text{ MHz}$  for  $-12$ ,  $2\text{ MHz}$  for  $-24$ ; Analog Source Impedance =  $200\ \Omega$ )

Parameter *	CS5012-K			CS5012-B			CS5012-T			Units	
	min	typ	max	min	typ	max	min	typ	max		
Specified Temperature Range	0 to +70			-40 to +85			-55 to +125			$^\circ\text{C}$	
<b>Accuracy</b>											
Linearity Error	(Note 1)	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	LSB	
Drift	(Note 2)	$\pm 1/8$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\Delta\text{LSB}$	
Differential Linearity	(Note 1)	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	LSB	
Drift	(Note 2)	$\pm 1/32$		$\pm 1/32$		$\pm 1/32$		$\pm 1/32$		$\Delta\text{LSB}$	
Full Scale Error	(Note 1)	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	LSB	
Drift	(Note 2)	$\pm 1/16$		$\pm 1/16$		$\pm 1/8$		$\pm 1/8$		$\Delta\text{LSB}$	
Unipolar Offset	(Note 1)	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	LSB	
Drift	(Note 2)	$\pm 1/16$		$\pm 1/16$		$\pm 1/8$		$\pm 1/8$		$\Delta\text{LSB}$	
Bipolar Offset	(Note 1)	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	LSB	
Drift	(Note 2)	$\pm 1/16$		$\pm 1/8$		$\pm 1/8$		$\pm 1/8$		$\Delta\text{LSB}$	
Bipolar Negative Full-Scale Error	(Note 1)	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	$\pm 1/4$	$\pm 1/2$	LSB	
Drift	(Note 2)	$\pm 1/16$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\Delta\text{LSB}$	
Total Unadjusted Error	(Note 1)	$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		LSB	
Drift	(Note 2)	$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\pm 1/4$		$\Delta\text{LSB}$	
<b>Dynamic Performance (Bipolar Mode)</b>											
Peak Harmonic or Spurious Noise											
Full-Scale, 1 kHz Input	(Note 1)	84	87	84	87	84	87	84	87	dB	
Full-Scale, 12 kHz Input	(Note 1)	80	83	80	83	80	83	80	83	dB	
Total Harmonic Distortion		0.008			0.008			0.008			%
Signal-to-Noise Ratio											
1 kHz, 0 dB Input	(Note 1)	72	73	72	73	72	73	72	73	dB	
1 kHz, -60 dB Input	(Note 1)		13		13		13		13	dB	
Noise	Unipolar Mode	(Note 3)			45			45			$\mu\text{V}_{\text{rms}}$
	Bipolar Mode	(Note 3)			90			90			$\mu\text{V}_{\text{rms}}$

- Notes: 1. Applies after calibration at any temperature within the specified temperature range.  
 2. Total drift over specified temperature range since calibration at power-up at  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .  
 3. Wideband noise aliased into the baseband. Referred to the input.

\* Refer to *Parameter Definitions* (immediately following the pin descriptions at the end of this data sheet).

Specifications are subject to change without notice.

HOLD	CS	CAL	INTRLV	RD	A0	RST	Function
•	X	X	X	X	*	0	Hold and Start Convert
X	0	1	X	X	*	0	Initiate Burst Calibration
!	0	0	X	X	*	0	Stop Burst Cal and Begin Track
X	0	X	0	X	*	0	Initiate Interleave Calibration
X	0	X	1	X	*	0	Terminate Interleave Cal
X	0	X	X	0	1	0	Read Output Data
i	0	X	X	0	0	0	Read Status Register
X	1	X	X	X	*	X	High Impedance Data Bus
X	X	X	X	1	*	X	High Impedance Data Bus
X	X	X	X	X	X	1	Reset
0	0	X	X	X	0	X	Reset

\* The status of A0 is not critical to the operation specified. However, A0 should not be low with CS and HOLD low, or a software reset will result.

Table 3. CS5012 Truth Table

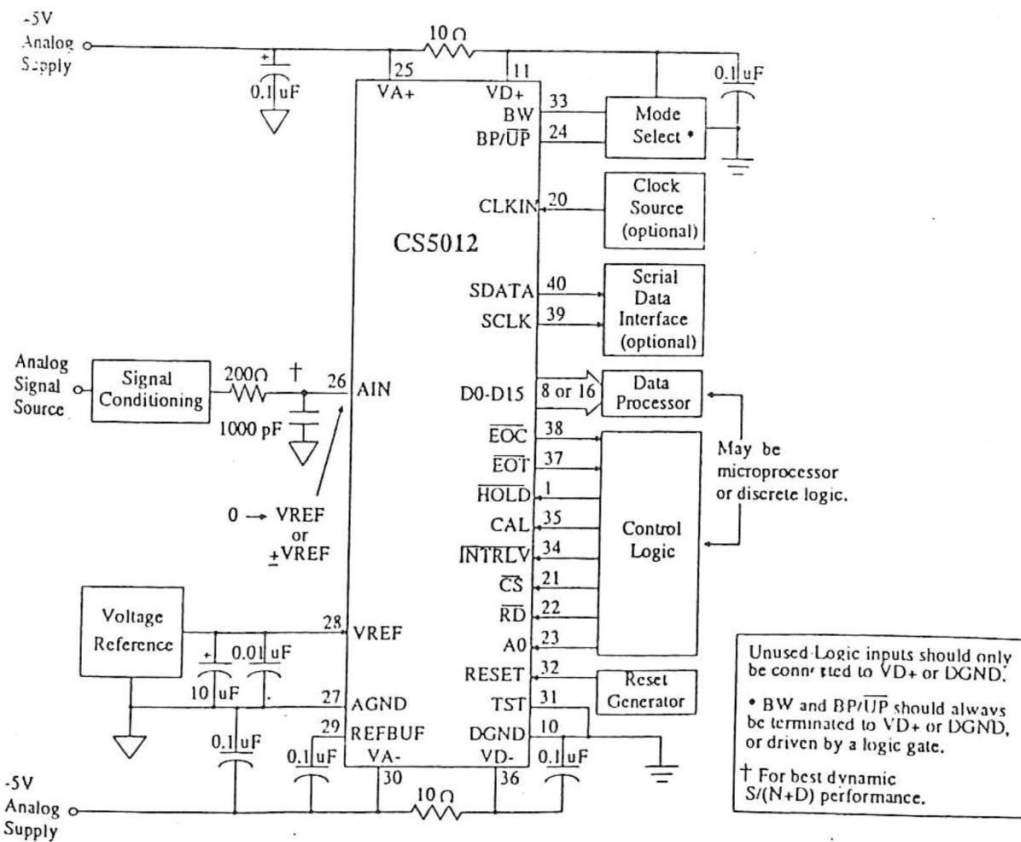
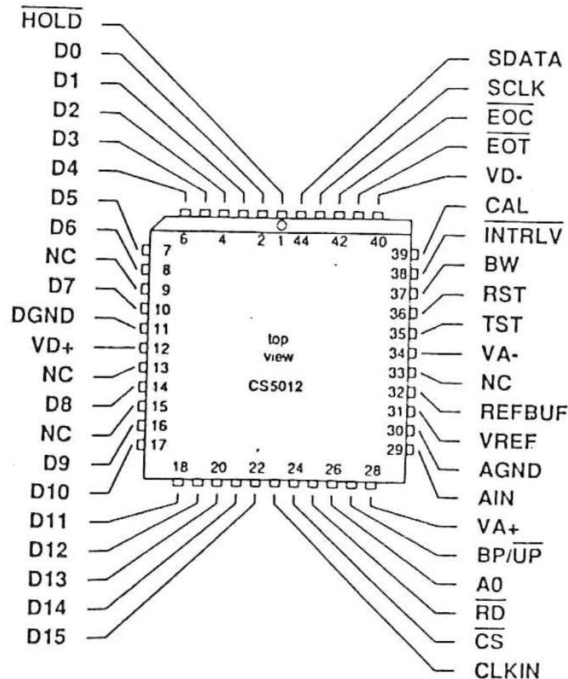


Figure 19. CS5012 System Connection Diagram

HOLD	HOLD	1	40	SDATA	SERIAL OUTPUT
DATA BUS BIT 0	D0	2	39	SCLK	SERIAL CLOCK
DATA BUS BIT 1	D1	3	38	EOC	END OF CONVERSION
DATA BUS BIT 2	D2	4	37	EOT	END OF TRACK
DATA BUS BIT 3	D3	5	36	VD-	NEGATIVE DIGITAL POWER
(LSB) DATA BUS BIT 4	D4	6	35	CAL	CALIBRATE
DATA BUS BIT 5	D5	7	34	INTRLV	INTERLEAVE
DATA BUS BIT 6	D6	8	33	BW	BUS WIDTH SELECT
DATA BUS BIT 7	D7	9	32	RST	RESET
DIGITAL GROUND	DGND	10	31	TST	TEST
POSITIVE DIGITAL POWER	VD+	11	30	VA-	NEGATIVE DIGITAL POWER
DATA BUS BIT 8	D8	12	29	REFBUF	REFERENCE BUFFER OUTPUT
DATA BUS BIT 9	D9	13	28	VREF	VOLTAGE REFERENCE
DATA BUS BIT 10	D10	14	27	AGND	ANALOG GROUND
DATA BUS BIT 11	D11	15	26	AIN	ANALOG INPUT
DATA BUS BIT 12	D12	16	25	VA+	POSITIVE ANALOG POWER
DATA BUS BIT 13	D13	17	24	BP/UP	BIPOLAR/UNIPOLAR SELECT
DATA BUS BIT 14	D14	18	23	A0	READ ADDRESS
(MSB) DATA BUS BIT 15	D15	19	22	RD	READ
CLOCK INPUT	CLKIN	20	21	CS	CHIP SELECT



NOTE: All pin references in this data sheet refer to the 40-pin DIP package numbering. Use this figure to determine pin numbers for 44-pin package.



# slo-syn<sup>®</sup>

## SS and HS SERIES REPLACEMENTS

The M Series motor line includes stepping motors which are exact mechanical and electrical replacements for earlier SS and HS Series motors. The cross reference list shows these M Series Motors and indicates the specific motors which they replace.

## OPERATION

SLO-SYN Stepping Motors operate on phase-switched d-c power. The motor shaft advances 200 steps per revolution (1.8° per step) when a four-step input sequence (full-step mode) is used and 400 steps per revolution (0.9° per step) when an eight-step input sequence (half-step mode) is used. Power transistors connected to flip-flops or other logic devices are normally used for switching as shown in the wiring

diagram. The four-step and eight-step input sequences are also given in the charts. Since current is maintained on the motor windings when the motor is not being stepped, a high holding torque results. Six-lead motors can be used as five-lead motors by connecting the black and white motor leads together. Use a dropping resistor that is one-half the resistance and twice the wattage of that required for six-lead connection.

## STATIC LOAD

When a load torque is applied to the rotor shaft, the shaft will move from the no-load position. The curve shows shaft deflection vs. percent of rated holding torque for all 1.8° SLO-SYN motors.

### FOUR-STEP INPUT SEQUENCE† (FULL-STEP MODE)

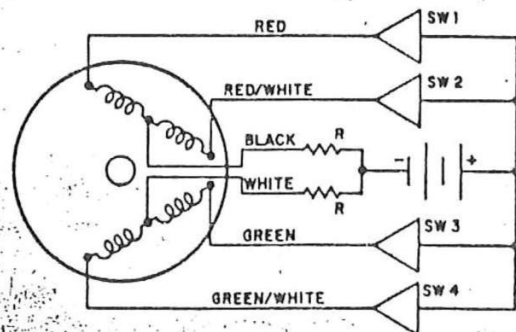
STEP	SW1	SW2	SW3	SW4
1	ON	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	OFF	ON
3	OFF	ON	OFF	ON
4	OFF	ON	ON	OFF
1	ON	OFF	ON	OFF

†Provides CW rotation as viewed from nameplate end of motor. To reverse direction of motor rotation perform switching steps in the following order: 1, 4, 3, 2, 1.

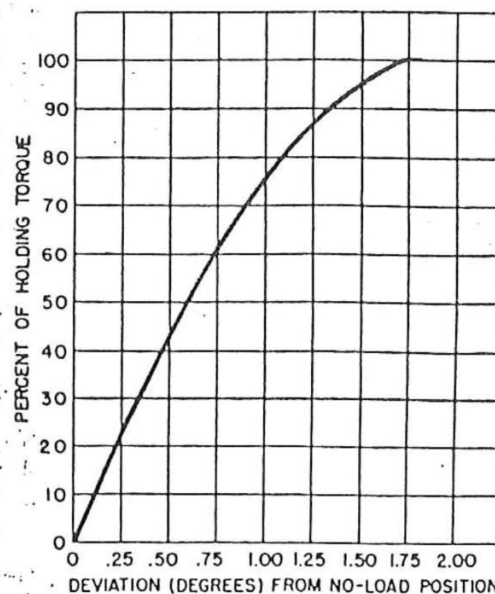
### EIGHT-STEP INPUT SEQUENCE† (HALF-STEP MODE)

STEP	SW1	SW2	SW3	SW4
1	ON	OFF	ON	OFF
2	ON	OFF	OFF	OFF
3	ON	OFF	OFF	ON
4	OFF	OFF	OFF	ON
5	OFF	ON	OFF	ON
6	OFF	ON	OFF	OFF
7	OFF	ON	ON	OFF
8	OFF	OFF	ON	OFF
1	ON	OFF	ON	OFF

†Provides CW rotation as viewed from nameplate end of motor. To reverse direction of motor rotation perform switching steps in the following order: 1, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1.



DC STEPPING CIRCUIT



SHAFT DEFLECTION

# STEPPING MOTORS



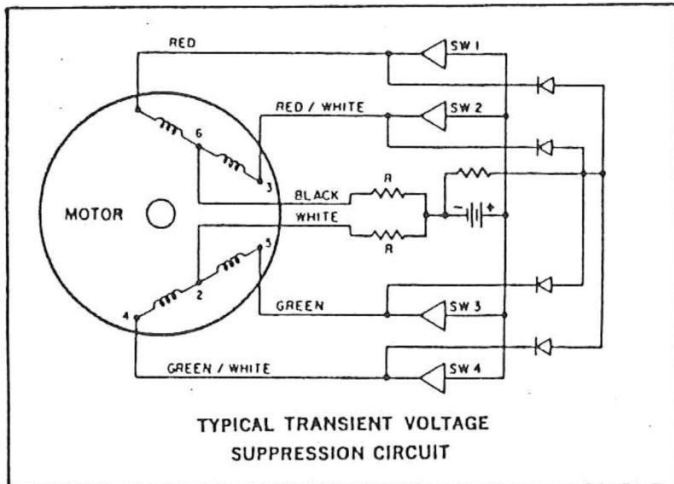
## RATINGS AND SPECIFICATIONS

### ELECTRICAL RATINGS, 1.8° SLO-SYN™ STEPPING MOTORS

### 1.8° STEP ANGLE DC STEPPING MOTORS (Cont'd.)

#### TRANSIENT VOLTAGE SUPPRESSION

Transient voltages are generated as current is switched through the windings during stepping. These voltages can cause faulty operation and damage to the motor or drive components unless a means of limiting or removing them is provided. The most common method for suppressing transient voltages uses shunting diodes as shown in the wiring diagram.



Typical diodes for this purpose are 1N4002, 1N4003 and similar types. Resistance may be varied between 0 and 50 ohms, as needed, to reduce transient voltages to the desired level. Capacitors can also be used in place of the diodes. Capacitor values can be varied between 0.1 and 1.0 mfd. to suit the characteristics of the switches used.

#### HOLDING AND RESIDUAL TORQUE

Because of the permanent magnet design, a SLO-SYN stepping motor has a small residual torque which holds the motor shaft in position when the motor is not energized. Much greater holding torque can be obtained by keeping one or both motor windings energized with d-c voltage when the motor is not stepping. The Ratings and Specifications charts (pages 5, 6, 7) list values for each motor for residual torque and for holding torque with both windings energized at rated voltage and current. Holding torque with only one winding energized will be within 60% to 75% of the rating given for both windings energized.

#### OTHER STEP ANGLES

Bifilar-wound versions of the TS and LS series of motors are available as standard to provide a greater choice of step angles. The TS series motors provide step angles of 5° in the full-step mode and 2.5° in the half-step mode. Step angles with LS series motors are 0.72° in the full-step mode and

MOTOR TYPE		TYPICAL TIME FOR SINGLE STEP (ms) <sup>(1)</sup>	NOMINAL DC VOLTS <sup>(4)</sup>	RATED AMPERES PER WINDING	NOMINAL RESISTANCE PER WINDINGS (25°C) OHMS <sup>(3)(7)</sup>	NOMINAL INDUCTANCE PER PHASE (MILLIHENRIES) <sup>(3)(8)</sup>	
3% ACCURACY	5% ACCURACY						
*	M061-FC02	M061-FD02	2.5	5.0	1.0	5.0	9.57
*	M061-FC08	M061-FD08	2.0	1.25	3.8	0.33	635
*	—	M061-FD-301 <sup>(5)</sup>	7.5	11	0.44	25	38.4
*	—	M061-FD-302 <sup>(5)</sup>	4.2	5.5	0.88	6.2	9.57
*	—	M061-FD-311 <sup>(5)</sup>	12	20	0.22	91	126
*	M062-FC03	M062-FD03	3.5	5.3	1.6	3.3	8.28
*	M062-FC04	M062-FD04	2.8	4.2	1.9	2.2	5.89
*	M062-FC09	M062-FD09	2.2	1.65	4.7	0.35	8
*	M063-FC06	M063-FD06	2.6	3.36	2.9	1.16	2.85
*	M063-FC09	M063-FD09	2.4	2.25	4.6	0.49	1.15
*	M091-FC03	M091-FD03	8.5	5.3	1.6	3.3	16.5
*	M091-FC06	M091-FD06	3.9	2.6	3.1	0.85	4.12
*	M091-FC09	M091-FD09	3.1	1.7	4.7	0.36	1.5
*	—	M091-FD-308 <sup>(5)</sup>	11	5.8	0.85	6.8	28.5
*	M092-FC08	M092-FD08	4.0	3.0	4.0	0.75	3.56
*	M092-FC09	M092-FD09	3.9	2.5	4.6	0.55	2.76
*	—	M092-FD310 <sup>(2)</sup>	3.9	1.56	6.8	0.23	1.28
*	M093-FC07	M093-FD07	6.3	4.3	3.5	1.22	7.87
*	M093-FC11	M093-FD11	4.1	2.64	5.5	0.48	3.19
*	M093-FC14	M093-FD14	3.4	2.27	7.0	3.24	2.0
*	—	M093-FD-301 <sup>(2)</sup>	3.4	1.54	11.0	0.14	0.85
*	—	M111-FD12	4.4	2.26	6.1	0.37	2.3
*	—	M111-FD16 <sup>(5)</sup>	4.4	1.7	8.0	0.21	1.10
*	—	M111-FD-302 <sup>(5)</sup>	7.0	6.93	1.55	4.47	26.2
*	—	M111-FD-310 <sup>(5)</sup>	15	8.75	1.25	7.0	39
*	—	M111-FD-327	7	4.1	3.5	1.17	7.2
*	—	M112-FD06	7.5	7.44	3.1	2.4	22.4
*	—	M112-FD08	7	5.8	3.8	1.53	14.0
*	—	M112-FD09	8.5	4.6	4.7	0.97	8.25
*	—	M112-FD12	5.5	3.66	6.1	0.60	5.3
*	—	M112-FD25	6	1.75	12.7	0.137	1.0
*	—	M112-FJ-326	6	1.52	15.2	0.100	0.88
*	—	M112-FJ-327	6	2.26	9.2	0.246	2.2
*	—	M113-FJ40	6.5	1.24	20	0.062	0.66
*	—	M172-FD-301	24	0.8	20	0.040	0.50
*	—	M172-FD-306	24	2.25	15	0.15	1.98
*	—	M172-FD-308	24	1.50	20	0.075	1.06
*	—	X1000-1002	33	10.4	3.6	2.9	45
*	—	X1500-1001	35	12.2	3.8	2.54	40
*	—	X1500-1002	35	8.0	5.3	1.5	13
*	—	SS1800-1002	70	12.4	3.1	4.0	68
*	—	SS1800-1007	50	10.1	3.9	2.6	50

<sup>(1)</sup> With 24 volt d-c drive. See step function curve, page 7.

<sup>(2)</sup> Supplied with a cast terminal box. Consult factory for dimensions.

<sup>(3)</sup> Values shown are for reference information and are correct to the best of our knowledge at time of publication, but are subject to change without notice. Parameters to be used as part of a specification should be verified with the factory.

<sup>(4)</sup> Voltage shown is per phase at rated current at zero steps per second, with winding at 25°C. Resistance tolerance and winding temperature will influence voltage.

<sup>(5)</sup> "Minimum Holding Torque" ratings shown on page 6 do not apply to these motors. Consult the factory for ratings. Step accuracy is ±6%.

<sup>(6)</sup> Tolerance is ±20%. Measured at 1 kHz with a General Radio #1650B impedance bridge having a 1 volt rms open circuit sinusoidal signal. Rotor position preconditioned by energizing same phase, then deenergizing same phase during measurement without changing rotor's position.

<sup>(7)</sup> Tolerance is ±10% measured at 25°C winding temperature.

TABLA IV.- Características del lenguaje BASIC52.

<u>MANDOS</u>	<u>INSTRUCCIONES</u>	<u>OPERACIONES</u>
RUN	BAUD	ADD (+)
CONT	CALL	DIVIDE (/)
LIST	CLEAR	EXPONENTIATION (**)
LIST#	CLEAR (S&I)	MULTIPLY (*)
LIST@	CLOCK(1&0)	SUBTRACT (-)
NEW	DATA	LOGICAL AND (.AND.)
NULL	READ	LOGICAL OR (.OR.)
RAM	RESTORE	LOGICAL X-OR (.XOR.)
ROM	DIM	NOT ( )
XFER	DO-WHILE	ABS( )
PROG	DO-UNTIL	INT ( )
PROG1	END	SGN ( )
PROG2	FOR-TO-STEP	SQR ( )
PROG3	NEXT	RND ( )
PROG4	GOSUB	LOG ( )
PROG5	RETURN	EXP ( )
PROG6	GOTO	SIN ( )
FPROG	ON-GOTO	COS ( )
FPROG1	ON-GOSUB	TAN ( )
FPROG2	IF-THEN-ELSE	ATN ( )
FPROG3	INPUT	=, >, > =, <, < =, < >
FPROG4	LET	ASC ( )
FPROG5	ONERR	CHR ( )
FPROG6	ONEXI	CBY ( )
	ONTIME	DBY ( )
	PRINT	XBY ( )
	PRINT#	GET
	PRINT@	IE
	PHO.	IP
	PHO.@	PORT1
	PH1	PCON
	PH1.#	RCAP2
	PH1.@	T2CON
	PGM	TCON
	PUSH	TMOD
	POP	TIME
	PWM	TIMER0
	REM	TIMER1
	RETI	TIMER2
	STOP	XTAL
	STRING	MTOP
	U1 (11&0)	LEN
	U0 (1&0)	FREE
	LD@	PI
	ST@	
	IDLE	
	RROM	

## APÉNDICE 3

CONTENIDO DEL ARCHIVO NETLIST TESIS.NET

( { OrCAD PCB NetList Format  
Tarjeta de Control y Adquisicion de Datos  
Revised: April 22, 1994  
Revision: 1

P. Ing. Ma. de Lourdes Mijangos M.  
UNIVERSIDAD AUTONOMA  
DE BAJA CALIFORNIA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Time Stamp - 22-APR-1994 12:27:47 }

( F0F7D88C CK05 C1 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D88D CK05 C2 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D88E CK05 C3 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D88F CK05 C4 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D891 CK05 C8 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D892 CK05 C12 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D893 CK05 C13 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D894 CK05 C15 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D895 CK05 C16 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D896 CK05 C17 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D897 CK05 C18 .1 MF  
( 1 +5\_0 )

( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D898 CK05 C19 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D899 CK05 C20 .1 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F160FE22 RC05 R23 1 M  
( 1 N00001 )  
( 2 N00002 )  
)  
( F0F7D889 CK12 CA 10 MF  
( 1 +12\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F0F7D88A CK12 CB 10 MF  
( 1 GND\_0 )  
( 2 -12\_0 )  
)  
( F0F7D88B CK12 C0 10 MF  
( 1 +5\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F160FE23 CK05 C33 10 MF  
( 1 N00002 )  
( 2 GND\_0 )  
)  
( F1AFE387 14DIP300 U11 14PINS  
( 1 DOCE\_0 )  
( 2 TRECE\_0 )  
( 3 LA3\_0 )  
( 4 LA4\_0 )  
( 5 LA5\_0 )  
( 6 LA6\_0 )  
( 7 LA3\_0 )  
( 8 GND\_0 )  
( 9 +5\_0 )  
( 10 +5\_0 )  
( 11 +5\_0 )  
( 12 +5\_0 )  
( 13 +5\_0 )  
( 14 +5\_0 )  
)  
( F1AFE389 14DIP300 U14 14PINS  
( 1 VO\_0 )  
( 2 GND\_0 )  
( 3 +5\_0 )  
( 4 GND\_0 )  
( 5 GND\_0 )  
( 6 GND\_0 )  
( 7 GND\_0 )

```

( 8 -12_0 )
( 9 N00029 )
( 10 AIN_0 )
( 11 VC2_0 )
( 12 VC2_0 )
( 13 GUN_0 )
( 14 GUN_0 )
)
(F1AFE37E 16DIP300 U6 16PINS
( 1 N00038 )
( 2 C1_0 )
( 3 N00039 )
( 4 C2_0 )
( 5 N00040 )
( 6 N00019 )
( 7 N00041 )
( 8 N00020 )
( 9 +5_0 )
( 10 B4_0 )
( 11 +5_0 )
( 12 B3_0 )
( 13 +5_0 )
( 14 B2_0 )
( 15 +5_0 )
( 16 N00050 )
)
(F1AFE380 16DIP300 U9 16PINS
( 1 GND_0 )
( 2 GND_0 )
( 3 N00009 )
( 4 GND_0 )
( 5 L5_0 )
( 6 GND_0 )
( 7 N00029 )
( 8 GND_0 )
( 9 L10_0 )
( 10 L10_0 )
( 11 L5_0 )
( 12 +5_0 )
( 13 AIN_0 )
( 14 AIN_0 )
( 15 N00026 )
( 16 N00026 )
)
(F1AFE382 16DIP300 U10 16PINS
( 1 N00023 )
( 2 N00023 )
( 3 N00033 )
( 4 N00025 )
( 5 N00025 )
( 6 GND_0 )
( 7 N00023 )
( 8 GND_0 )
( 9 N00029 )

( 10 GND_0 )
( 11 N00026 )
( 12 N00028 )
( 13 N00026 )
( 14 N00026 )
( 15 N00024 )
( 16 GND_0 )
)
(F1AFE37F 20DIP300 U7 20PINS
( 1 N00050 )
( 2 C1_0 )
( 3 GND_0 )
( 8 B2_0 )
( 9 C2_0 )
( 10 GND_0 )
( 11 GND_0 )
( 12 N00019 )
( 13 B3_0 )
( 18 GND_0 )
( 19 N00020 )
( 20 B4_0 )
)
(EF40AEDC RC20 R1 33 OHMS
( 1 +5_0 )
( 2 NEGRO_0 )
)
(EF40AEDD RC20 R2 33 OHMS
( 1 +5_0 )
( 2 BLANCO_0 )
)
(EF1C9DBB 8DIP300 U12 358
( 1 N00005 )
( 2 N00005 )
( 3 LA5_0 )
( 4 GND_0 )
( 5 LA6_0 )
( 6 N00006 )
( 7 N00006 )
( 8 +5_0 )
)
(EF1C9DB9 8DIP300 U13 358
( 1 N00003 )
( 2 N00003 )
( 3 LA3_0 )
( 4 GND_0 )
( 5 LA4_0 )
( 6 N00004 )
( 7 N00004 )
( 8 +5_0 )
)
(EF1C9DB7 16DIP300 U8 4051
( 1 N00006 )
( 2 GUN_0 )
( 3 N00009 )

```

```

( 4 SPARE_0 )
( 5 VC2_0 )
( 6 GND_0 )
( 7 GND_0 )
( 8 GND_0 )
( 9 C_0 )
( 10 B_0 )
( 11 A_0 )
( 12 N00005 )
( 13 N00001 )
( 14 N00003 )
( 15 N00004 )
( 16 +5_0 )
)
( EEBE8944 14DIP300 U19 7404
( 3 DSN_0 )
( 4 DS_0 )
( 5 R/W_0 )
( 6 WR_0 )
( 7 GND_0 )
( 8 AS_0 )
( 9 ASN_0 )
( 14 +5_0 )
)
( EEBE8945 14DIP300 U20 7410
( 1 R/W_0 )
( 2 DS_0 )
( 3 N00074 )
( 4 N00077 )
( 5 N00081 )
( 6 N00078 )
( 7 GND_0 )
( 8 CS_0 )
( 9 *CS0_0 )
( 10 N00087 )
( 11 +5_0 )
( 12 N00010 )
( 13 CS_0 )
( 14 +5_0 )
)
( EF3568F5 14DIP300 U3 7432
( 1 R/W_0 )
( 2 N00087 )
( 3 N00071 )
( 4 WR_0 )
( 5 N00087 )
( 6 N00086 )
( 7 GND_0 )
( 14 +5_0 )
)
( EECA6AD7 16DIP300 U18 74HCT138
( 1 N00053 )
( 2 N00056 )
( 3 N00059 )

```

```

( 4 N00078 )
( 5 N00070 )
( 6 N00065 )
( 8 GND_0 )
( 14 N00087 )
( 15 *CS0_0 )
( 16 +5_0 )
)
( EEBA0CE3 20DIP300 U15 74HCT245
( 1 N00010 )
( 2 AD0_0 )
( 3 AD1_0 )
( 4 AD2_0 )
( 5 AD3_0 )
( 6 AD4_0 )
( 7 AD5_0 )
( 8 AD6_0 )
( 9 AD7_0 )
( 10 GND_0 )
( 11 D7_0 )
( 12 D6_0 )
( 13 D5_0 )
( 14 D4_0 )
( 15 D3_0 )
( 16 D2_0 )
( 17 D1_0 )
( 18 D0_0 )
( 19 GND_0 )
( 20 +5_0 )
)
( EEBE8948 20DIP300 U17 74HCT245
( 1 +5_0 )
( 2 A8_0 )
( 3 A9_0 )
( 4 A10_0 )
( 5 A11_0 )
( 6 A12_0 )
( 7 A13_0 )
( 8 A14_0 )
( 9 A15_0 )
( 10 GND_0 )
( 11 N00081 )
( 12 N00077 )
( 13 N00074 )
( 14 N00070 )
( 15 N00065 )
( 16 N00059 )
( 17 N00056 )
( 18 N00053 )
( 19 GND_0 )
( 20 +5_0 )
)
( EEBA0CE5 20DIP300 U16 74HCT373
( 1 GND_0 )

```

```

( 2 A0_0 )
( 3 D0_0 )
( 4 D1_0 )
( 7 D2_0 )
( 8 D3_0 )
( 11 AS_0 )
( 13 D4_0 )
( 14 D5_0 )
( 17 D6_0 )
( 18 D7_0 )
)
(EF1C9DCC 20DIP300 U2 74LS244
( 1 N00086 )
( 2 TRECE_0 )
( 3 D7_0 )
( 5 D6_0 )
( 7 D5_0 )
( 9 D4_0 )
( 12 D3_0 )
( 14 D2_0 )
( 16 D1_0 )
( 18 D0_0 )
( 19 N00086 )
)
(EF1C9DCB 20DIP300 U1 74LS374
( 1 GND_0 )
( 2 N00038 )
( 3 D0_0 )
( 4 D1_0 )
( 5 N00039 )
( 6 N00040 )
( 7 D2_0 )
( 8 D3_0 )
( 9 N00041 )
( 10 GND_0 )
( 11 N00071 )
( 12 A_0 )
( 13 D4_0 )
( 14 D5_0 )
( 15 B_0 )
( 16 C_0 )
( 17 D6_0 )
( 18 D7_0 )
( 19 N00027 )
( 20 +5_0 )
)
(EF1B5099 40DIP600 U4 CS5012
( 1 N00027 )
( 2 D0_0 )
( 3 D1_0 )
( 4 D2_0 )
( 5 D3_0 )
( 6 D4_0 )
( 7 D5_0 )

( 8 D6_0 )
( 9 D7_0 )
( 10 GND_0 )
( 11 L5_0 )
( 20 GND_0 )
( 21 *CS0_0 )
( 22 R/W_0 )
( 23 A0_0 )
( 24 GND_0 )
( 25 +5_0 )
( 26 AIN_0 )
( 27 GND_0 )
( 28 N00026 )
( 30 N00029 )
( 31 GND_0 )
( 32 RESET_0 )
( 33 GND_0 )
( 34 +5_0 )
( 35 GND_0 )
( 36 L10_0 )
)
(EEBA0CE1 DUCTOBCC J1 DUCTOBCC
( 1 +5_0 )
( 2 GND_0 )
( 4 AD3_0 )
( 5 AD4_0 )
( 6 AD5_0 )
( 7 AD6_0 )
( 8 AD7_0 )
( 9 AD0_0 )
( 10 AD1_0 )
( 11 AD2_0 )
( 20 R/W_0 )
( 21 DSN_0 )
( 22 ASN_0 )
( 23 -12_0 )
( 24 +12_0 )
( 25 RESET_0 )
( 37 A15_0 )
( 38 A14_0 )
( 39 A13_0 )
( 40 A12_0 )
( 41 A11_0 )
( 42 A10_0 )
( 43 A9_0 )
( 44 A8_0 )
)
(EF40AED9 20HH100 JP1 HEADER 10X2
( 3 SPARE_0 )
( 4 VO_0 )
( 5 GND_0 )
( 6 LA6_0 )
( 7 GND_0 )
( 8 LA5_0 )

```

```
( 9 GND_0 )
( 10 LA4_0 )
( 11 GND_0 )
( 12 DOCE_0 )
( 13 TRECE_0 )
( 14 GND_0 )
( 15 NEGRO_0 )
( 16 BLANCO_0 )
( 17 N00019 )
( 18 C1_0 )
( 19 N00020 )
( 20 C2_0 )
)
( EF1B508D 14DIP300 U5 LM723
( 2 N00033 )
( 3 N00026 )
( 4 N00025 )
( 5 N00023 )
( 6 N00024 )
( 7 GND_0 )
( 10 N00033 )
( 11 +12_0 )
( 12 +12_0 )
( 13 N00028 )
)
( F1B6BCAE TO220 U21 VOLTAGE
( 1 GND_0 )
( 2 -12_0 )
( 3 N00029 )
)
)
```

## GLOSARIO

<b>TPR</b>	Radiómetro de Potencia Total
<b>DR</b>	Radiómetro Dicke
<b>NIR</b>	Radiómetro de Inyección de Ruido
<b>BCC</b>	Basic Computer Controller
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board
<b>TWT</b>	Tubo de Onda Viajera
<b>FCRAO</b>	Five College Radio Astronomy Observatory
<b>GTM</b>	Gran Telescopio Milimétrico
<b>UMass</b>	Universidad de Massachusetts
<b>RF</b>	Radio Frecuencia
<b>FI</b>	Frecuencia Intermedia
<b>FR</b>	Factor de Ruido
<b>VSWR</b>	Voltage Standing Wave Ratio
<b>ROM</b>	Read Only Memory
<b>RAM</b>	Random Access Memory
<b>EPROM</b>	Erase Programable Read Only Memory
<b>LSB</b>	Least Significant Bit
<b>MSB</b>	Most Significant Bit
<b>CAD</b>	Convertidor Analógico/Digital
<b>CAD<sub>i</sub></b>	Convertidor interno
<b>INT</b>	Interruptor