

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS



CONSTRUCCIÓN DE UN MICROSCOPIO DE BARRIDO EN LA  
FRECUENCIA DE LAS MICROONDAS PARA ESTUDIOS DE CAMPO  
CERCANO

Tesis profesional que como requisito parcial para obtener el título de  
Físico

presenta:

Luis Antonio Ríos Osuna

Aprobado por:

Dr. Shu Wang Lin

PRESIDENTE DEL JURADO

M.C. Saul Alonso Zavala Ortiz

SECRETARIO

Fis. Leonel Gutierrez Albores

1<sup>ER</sup>. VOCAL

RESUMEN de la tesis de Luis Antonio Ríos Osuna presentada como requisito parcial para la obtención del grado de *FÍSICO*. Ensenada, Baja California, México.

Noviembre de 1999.

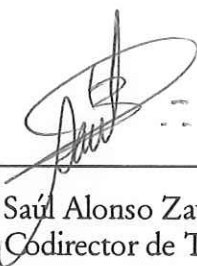
CONSTRUCCIÓN DE UN MICROSCOPIO DE BARRIDO EN LA FRECUENCIA DE LAS MICROONDAS PARA ESTUDIOS DE CAMPO CERCANO.

Resumen aprobado por:



---

Dr. Shu Wang Lin.  
Director de Tesis.



---

M.C. Saúl Alonso Zavala Ortiz.  
Códigoirector de Tesis.

Se presenta el diseño, la construcción y la calibración de un microscopio de barrido en la frecuencia de las microondas para estudios de la intensidad de campo cercano. Se describe el funcionamiento del puerto paralelo de una computadora personal y la manera es utilizado para hacer la interfaz con el instrumento a través de un programa de control que opera su barrido, así como la adquisición de los datos.

El aparato construido resulta de gran utilidad en el entendimiento de fenómenos asociados al campo cercano óptico, ya que los estudios en frecuencias temporales altas resultan ser más difíciles de llevar a cabo, principalmente en la detección de la señal óptica y en el diseño y manejo de los elementos y mecanismos requeridos .

Con este instrumento se puede realizar un análisis exploratorio de los fenómenos que se producen en las superficies de los materiales cuando son iluminados con ondas electromagnéticas. Sobre la superficie se generan ondas evanescentes que son de especial interés porque portan información de las altas frecuencias espaciales del

objeto cuyos periodos se encuentran por debajo de la longitud de onda con que se ilumina.

Se describe el circuito controlador del microscopio y las componentes electrónicas que se usaron para llevar a cabo este proyecto. Se presentan resultados experimentales de un arreglo sencillo de una rejilla, como validación de la eficacia del microscopio.

## AGRADECIMIENTOS

De manera muy especial  
al *M.C. Saúl Zavala* y al *Dr. Shu Wang*,  
por su invaluable ayuda en la dirección de esta tesis.

A mi *Alma Mater*, la *Universidad Autónoma de Baja California*,  
por darme la oportunidad de realizarme como Físico.

Al Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, CICESE,  
y al Centro de Ciencias de la Materia Condensada, CCMC,

Al personal de taller de mecánica fina del CCMC,  
por su ayuda en la afinación del microscopio.

A *Fis. Leonel Gutiérrez Albores*, del Instituto de Astronomía de la UNAM  
por todo su apoyo moral y académico, así como por las  
aportaciones en el diseño de la tarjeta y del programa.

Y a todas las personas que de una u otra manera hicieron posible  
el éxito de este trabajo de tesis.

... Muchas Gracias

## DEDICATORIA

Con todo mi amor y respeto  
a mis padres *José Luis y Blanca Estela*,  
por apoyarme siempre y en todo momento, pero  
más por hacerme sentir el calor de su presencia a cada instante,  
y aún más, lejos de casa ...

A mis hermanos con cariño:

*Blanca Esthela*

*Idalia Lasem*

*Julio Cesar*

por cuidarme y quererme.

A mi muy amada *Claudia Betania*,  
por todo su amor, paciencia y apoyo;)

A mis abuelos, tíos y primos,  
por todo el cariño que me brindan.

A *Fernando "el Fer" Moreno*, por su ayuda durante  
mis practicas de laboratorio en la Facultad.

A *Graciela, Aubé, Tania, Hortensia y Manuel*,  
por acompañarme a lo largo de mi carrera.

GRACIAS. Los quiere Luis Antonio.

CONSTRUCCIÓN DE UN MICROSCOPIO DE BARRIDO EN LA  
FRECUENCIA DE LAS MICROONDAS PARA ESTUDIOS DE CAMPO  
CERCANO.

ÍNDICE.

I. INTRODUCCIÓN.

|                    |   |
|--------------------|---|
| I.1. Antecedentes. | 1 |
| I.2. Objetivos.    | 4 |

II. METODOLOGÍA.

|  |    |
|--|----|
| II.1. Uso de un equipo de microondas para generar ondas evanescentes<br>sobre una superficie.                      | 5  |
| II.2. Diseño y construcción de un sistema mecánico capaz de hacer<br>un barrido XY.                                | 7  |
| II.3. Diseño y construcción de un tarjeta electrónica para control del<br>Sistema mecánico y adquisición de datos. | 11 |
| II.3.1. Consideraciones electrónicas.  | 12 |
| II.3.2. Comunicación con la computadora.   | 13 |
| II.3.4. Control de los motores a pasos.  | 16 |
| II.3.5. Adquisición de datos.  | 23 |
| II.3.6. Construcción de la tarjeta electrónica.  | 26 |
| II.4. Desarrollo de un programa de control para la tarjeta.  | 28 |

### III. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS OBTENIDOS.

III.1. Caracterización del sistema de microondas. 40

III.2. Distribución de la intensidad esparcida por una rejilla metálica con  
frecuencia espacial menor a  $\lambda_0/2$ . 42

### VI. CONCLUSIONES.

Conclusiones sobre el trabajo de tesis. 49

### REFERENCIAS.

51

### GLOSARIO.

53

### APÉNDICE.

54

## LISTA DE FIGURAS.

| Figura   | Página |
|--|--------|
| 1. Equipo de microondas. En la parte izquierda está el emisor de microondas, en la parte central una rejilla y en la parte derecha el receptor.                              | 6      |
| 2. Esquema de la mesa de barrido XY.   | 7      |
| 3. Ilustración de la perforación excéntrica en la barra de bronce grafitado.   | 9      |
| 4. Base del microscopio. M1 y M2 son los motores a pasos.  | 9      |
| 5. Diagrama a bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos provenientes de la mesa posicionadora.   | 11     |
| 6. Conector DB-25F del puerto paralelo de una computadora personal.  | 14     |
| 7. El puerto paralelo original de la IBM tiene un total de 12 salidas digitales y 5 entradas digitales accedidas a través de 3 puertos consecutivos [DATA, STATUS, CONTROL]. | 15     |
| 8. Motor a pasos de los que se utilizaron en la construcción del microscopio.  | 17     |
| 9. Diagrama del circuito que maneja los motores a pasos.   | 22     |
| 10. Diagrama de bloques del funcionamiento del convertidor analógico digital ADC0809.  | 25     |
| 11. Tarjeta de adquisición de datos.   | 27     |
| 12. Circuito controlador armado visto desde arriba.  | 27     |
| 13. Computadora corriendo el programa de control, y en la parte superior derecha el controlador del microscopio.   | 29     |

|   |    |
|---|----|
| 14. Menú principal del programa de control.   | 30 |
| 15. Gráfica que se despliega cuando se inicia el barrido de la muestra.   | 31 |
| 16. Gráfica en toda la pantalla de los datos adquiridos.  | 32 |
| 17. Menú de configuración de parámetros de barrido.   | 33 |
| 18. Menú principal del programa de control en tonalidad de colores oscuros, esto para experimentos en que la intensidad de la luz afecte el proceso.                    | 35 |
| 19. Menú de ayuda del programa de control.  | 36 |
| 20. Menú de presentación.   | 37 |
| 21. Muestra la pantalla del programa antes de salir. La instrucción siguiente esta escrita en el renglón de status de la pantalla.                                      | 38 |
| 22. Contenido del archivo de los datos experimentales obtenidos. Al lado izquierdo de las columnas se presenta la posición y a la derecha la intensidad detectada.      | 39 |
| 23. Esquema del arreglo experimental para la caracterización del frente de onda.  | 40 |
| 24. La fuente radiante de microondas esta linealmente polarizada a lo largo del eje del diodo. Se muestra el frente de onda en polarización P.                          | 41 |
| 25. Con una rotacion de 180 grados se tiene polarización S. Se muestra el frente de onda obtenido para esta polarización.   | 41 |
| 26. Esquema para el barrido de la rendija y detección en el campo cercano a la superficie.  | 42 |
| 27. Configuración usada para la obtención de la distribución de intensidad en el campo cercano a la superficie por una rejilla. La manera de operar es por transmisión. | 43 |

28. Distribución de la intensidad de microondas radiada por una rejilla con frecuencia espacial de 6 mm, a una distancia h:1.5 cm. Ranura de detección 1 mm. 44
29. Distribución de la intensidad transmitida por una rejilla con 2 rendijas de 2 mm cada una. Conforme se acerca la rendija de detección a la superficie se comienzan a resolver los detalles finos de la superficie. h: 0.5 mm. 45
30. Distribución de la intensidad transmitida por una rejilla con 4 rendijas de 2 mm cada una. h: 0.5 mm. 45
31. Distribución de la intensidad transmitida por una rejilla con 2 rendijas de 6 mm. h: 1 mm. 46
32. Distribución de la intensidad transmitida por una rejilla con 4 rendijas de 6 cada una. h: 1 mm. 47

## LISTA DE TABLAS.

| Tablas   | Página |
|--|--------|
| I. Intervalos de trabajo aceptados para los circuitos TTL.   | 13     |
| II. Direcciones del puerto paralelo según su asignación en el BIOS, así como las direcciones correspondientes a cada subpuerto.                        | 16     |
| III. Sucesión de alimentación de corriente en las bobinas de un motor a pasos para obtener un giro en la dirección opuesta a las manecillas del reloj. | 18     |
| IV. Sucesión de alimentación de corriente en las bobinas de un motor a pasos para obtener un giro en la dirección de las manecillas del reloj.         | 18     |
| V. Tabla de verdad para la compuerta lógica 74LS08.  | 20     |
| VI. Tabla de verdad para la compuerta lógica 74LS32.   | 20     |
| VII. Tabla de verdad para la compuerta lógica 74LS86.  | 21     |
| VIII. Tabla de verdad el circuito integrado 74LS74.  | 21     |

## CAPITULO 1.

### INTRODUCCIÓN.

#### Antecedentes.

En los últimos quince años la microscopía óptica ha sufrido transformaciones fundamentales, tanto conceptuales como tecnológicas. En un microscopio óptico convencional la resolución está limitada por difracción. Este límite de resolución óptica es conocido como *la barrera de Abbe* [1], o bien como *el Límite de Difracción de la luz*. De acuerdo a la teoría escalar de difracción, la más alta resolución que podemos esperar de un microscopio óptico convencional es del orden de la longitud de onda ( $\lambda$ ) de la fuente luminosa utilizada[2]. Este límite en la resolución impidió el acceso al estudio local de fenómenos de sub-longitud de onda.

La primera propuesta para una superresolución óptica llegó con Synge en 1928 [3], aunque no realizable con la tecnología de ese tiempo. Sus sugerencias formaron una base para la creación de un dispositivo capaz de obtener resoluciones mayores al límite de difracción de Rayleigh. El principio operacional sugerido involucra la iluminación de una muestra a través de una abertura de dimensiones de sub-longitud de onda, la cual es mantenida a una distancia de la muestra menor a la mitad de la longitud de onda utilizada. Así, la luz no tiene la oportunidad de difractarse antes de

que interactue con la muestra, y la resolución no depende de la longitud de onda, sino del diámetro de la abertura. La imagen es obtenida haciendo un barrido de la abertura a lo largo de la muestra y simultáneamente grabando la respuesta óptica con la ayuda de técnicas de detección convencionales.

En 1972 Ash y Nichols [4], en un experimento con microondas lograron resoluciones muy superiores ( $\lambda_0/60$ ) a las del límite clásico con una técnica de este tipo. El instrumento que ellos diseñaron constaba de un arreglo mecánico con dos grados de libertad. El arreglo se hacía oscilar a una frecuencia deseada logrando con esto que la señal entrara en resonancia provocando su aumento en amplitud. En 1984 Pohl et al [5], trajeron este experimento al rango óptico surgiendo con esto la llamada *microscopía óptica de barrido de campo cercano*.

Con el surgimiento de la microscopía óptica de barrido en el campo cercano, se ha puesto considerable atención al papel que juegan las ondas evanescentes [6-15] en los sistemas de formación de imágenes. Dichas ondas portan información acerca de los detalles de la superficie a examinar con dimensiones por debajo de  $\lambda/2$ . La detección indirecta de dichas ondas ofrece la posibilidad de adquirir resoluciones más allá del límite tradicional por difracción.

En esta tesis se estudia la imagen del campo cercano utilizando una fuente radiante en el rango de la banda X de las microondas. El escalar el problema al tamaño adecuado para trabajar, a una frecuencia de 10.5 GHz ( $\lambda=2.8\text{cm}$ ) en las ondas electromagnéticas usadas, correspondientes a la banda X de las microondas, hace posible entender más la física involucrada en este fenómeno, por lo fácil de manejar y controlar los parámetros experimentales: las dimensiones de las superficies a caracterizar, los dispositivos de detección utilizados, etc.; como la longitud de onda no es tan reducida, la fase no varía tan rápidamente con la distancia y, por consiguiente, las técnicas de análisis y diseño del circuito de mediciones, así como la amplificación de la señal detectada resultan más sencillas que las correspondientes en frecuencias más altas. Los resultados obtenidos a partir de la construcción de este microscopio servirán de base para entender el comportamiento de un Microscopio Óptico de Campo Cercano que opere en las frecuencias visibles del espectro.

Los objetivos de la tesis son los siguientes:

- a) Diseñar y construir un sistema mecánico capaz de hacer barridos bidimensionales.
- b) Diseñar y construir una tarjeta electrónica para el control y adquisición de datos.

- c) Estudiar los parámetros que afectan a la intensidad del campo cercano:  
oscilaciones inducidas, estados de polarización, modulación de señal óptica,  
etc.
- d) Obtener resultados experimentales, a fin de sintetizar los aspectos técnicos  
importantes a considerar en la construcción de un dispositivo de esta  
naturaleza.

## CAPITULO 2.

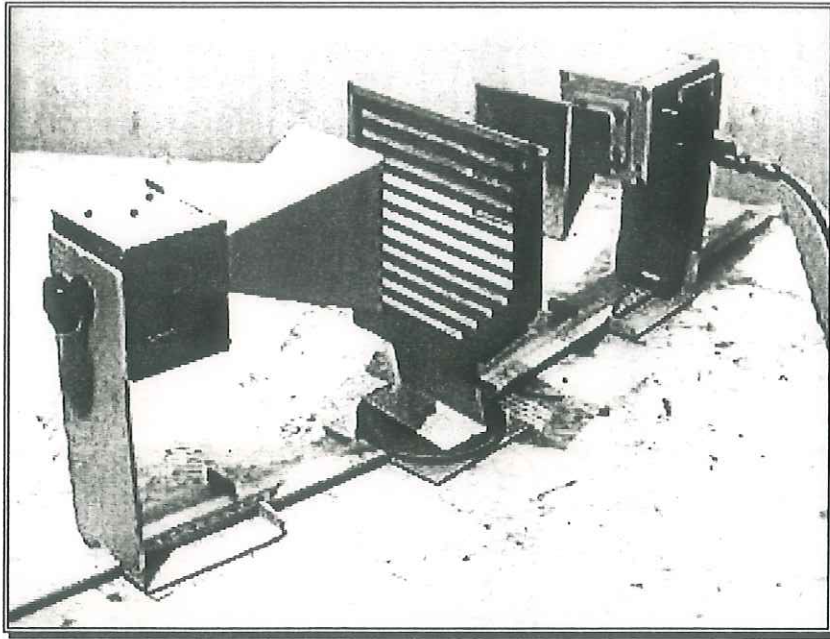
### METODOLOGÍA.

- **Uso de un equipo de microondas para generar ondas evanescentes sobre una superficie.**

Para la detección de la intensidad de campo cercano de un material es necesario generar una interacción del material con una onda electromagnética. Para este propósito se utilizó el sistema básico de microondas marca PASCO modelo WA-9314B. En las siguientes líneas se describe el equipo usado en este trabajo.

La fuente radiante consta de un diodo transmisor *Gunn* de microondas que tiene una salida nominal del 15 mW de potencia. El haz de salida es coherente, linealmente polarizado a lo largo del eje del diodo y centrado a lo largo del eje de la corneta, con una longitud de onda  $\lambda$  de 2.85 cm.

El diodo Gunn (emisor de las microondas) consiste de una cavidad resonante a 10.525 GHz, alimentado por un voltaje externo de 9 Volts. Las cornetas, emisora y receptora, del equipo de microondas se muestra en la figura 1.



**Figura 1 .** Equipo de microondas. En la parte izquierda está el emisor de microondas, en la parte central una rejilla y en la parte derecha el receptor.

El receptor consta de una cavidad resonante a la frecuencia de transmisión, tiene un amplificador con ganancia variable de 1X a 30X. En la parte delantera cuenta con una salida analógica a través de un conector tipo "banana".

La caracterización del diodo detector se hizo tomando diferentes valores de potencia de microondas radiada, registrada por el detector, y ajustándole posteriormente una función a los valores de voltaje leídos con un multímetro. Es necesario que todo el equipo esté conectado a tierra física, para evitar que se metan señales no deseadas en las mediciones.

- **Diseño y construcción de un sistema mecánico capaz de hacer un barrido XY.**

El microscopio posee 2 grados de libertad (XY); es capaz de hacer un barrido de 34 cm ( $\sim 10\lambda$ ) x 34 cm ( $\sim 10\lambda$ ), con una resolución máxima de  $\sim 0.01$  mm ( $\sim \lambda/3000$ ). Las microondas usadas tienen una longitud de onda de 2.8 cm y para lograr la detección del campo de ondas evanescentes, es necesario hacer barridos en una escala mucho menor a  $\lambda/2$  (menor a 1.5 cm). La resolución a la que tenemos acceso con esta herramienta es mucho mayor que la resolución mínima requerida, haciendo de la mesa un dispositivo atractivo para estudiar este fenómeno con las condiciones de iluminación y detección antes propuestos. El diagrama esquemático del microscopio se puede ver en la figura 2.

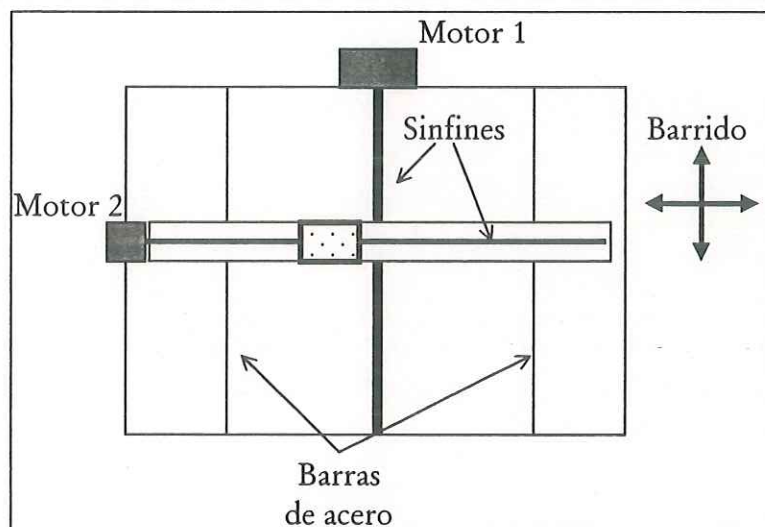


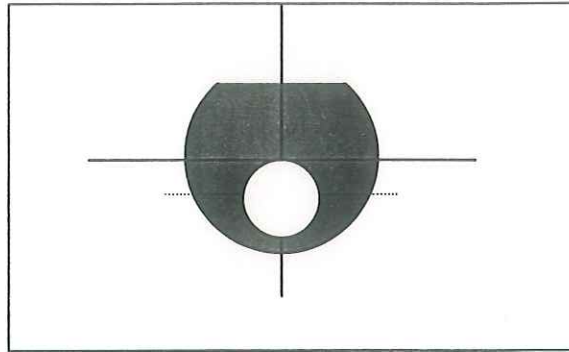
Figura 2. Esquema de la mesa de barrido XY.

La estructura mecánica está hecha de fierro comercial, armada con ángulo de 1½ pulgada, calibre 12, cortado a las medidas mencionadas, unidas con soldadura de arco a una corriente de arco de 120 A, para tener una soldadura profunda del metal y garantizar así su firmeza.

El movimiento en un eje es efectuado por un tornillo sinfín de ½ pulgada de diámetro y de 20 hilos por pulgada (coloquialmente se le conoce como sinfín ½ 20), el otro eje es operado por otro tornillo sinfín de ¼20.

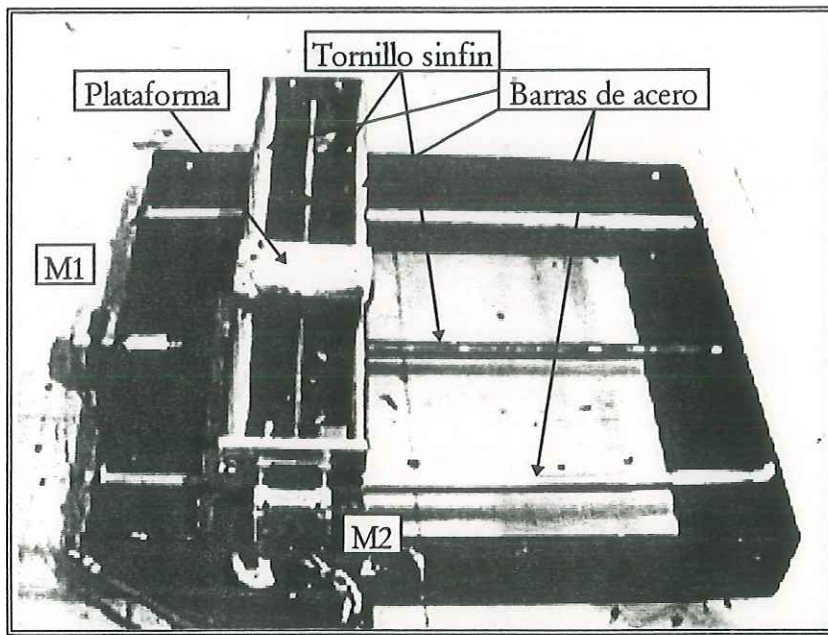
Los desplazamientos a lo largo de los dos ejes están dados por el deslizamiento de barras de acero inoxidable sobre guías de bronce grafitado SAE-660. La finalidad del bronce grafitado (bronce con incrustaciones de grafito) es disminuir la fricción entre las barras y la guía al efectuar un movimiento. Las barras de acero están sujetas al armazón de hierro por unos tornillos de ¼ pulgada de diámetro, 20 hilos por pulgada y de una longitud de ½ pulgada, sostenidos por ranuras del tipo "ojo de buey", que permite ajustar las barras hasta ponerlas paralelas una con respecto a la otra.

Cabe mencionar que las barras de bronce grafitado tienen las perforaciones de manera excéntrica, para permitir una mejor sujeción de la base. La perforación excéntrica del bronce se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Ilustración de la perforación excéntrica en la barra de bronce grafitado.

Los motores a pasos fueron colocados en uno de los extremos de cada tornillo sinfín, con la finalidad de proporcionar el giro necesario para colocar la plataforma en la posición deseada. En la figura 4 se presenta la base del sistema XY.



**Figura 4 .** Base del microscopio. M1 y M2 son los motores a pasos.

A continuación se explica la manera de calibrar el arreglo mecánico del microscopio.

Con las características de los tornillos sinfín se puede determinar la resolución máxima del microscopio. Dado que los tornillos sinfín son 20 hilos por pulgada, se requiere que giren 20 vueltas para moverse una pulgada (2.54 cm). En la práctica el microscopio presenta cierto "juego" en su movimiento ( $\sim 0.03\text{mm}$ ), el cual hace que los movimientos que se *deben* efectuar con el tornillo sinfín no corresponden a los hechos mecánicamente.

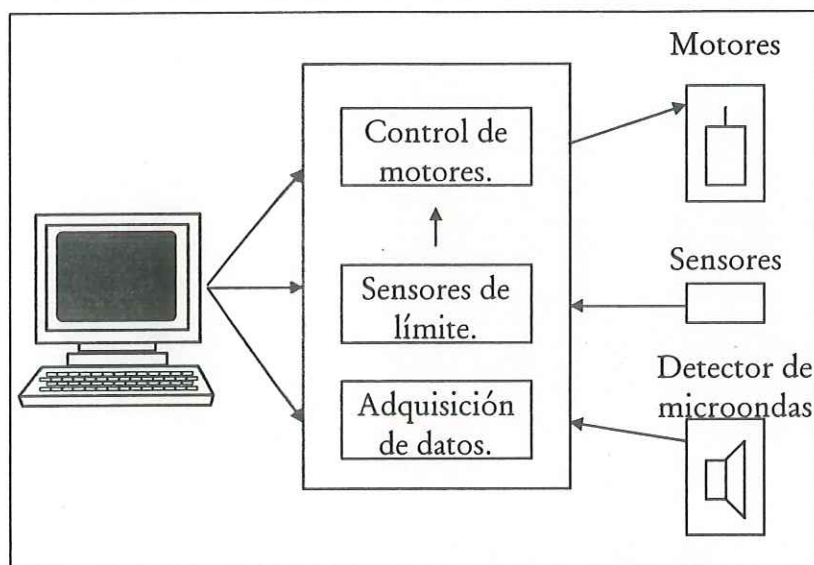
Los motores a pasos utilizados requieren de 200 pasos para hacer un giro completo, así que con las características de los tornillos sinfín se calcula el número de pasos totales para hacer un barrido en un eje (desplazándose  $0.00063\text{mm}$  por paso). Con estos datos se hace una regla de correspondencia entre la distancia de barrido y el número de pasos requeridos para efectuar el movimiento.

Para aumentar la confiabilidad de los datos se le hicieron varias pruebas a la base de barrido. Las principales pruebas fueron de repetibilidad en el posicionamiento; para esto se eligieron coordenadas arbitrarias, se pasó de la primera posición a la segunda y se invirtió el proceso regresando al primera posición a partir de la segunda.

Los resultados a las pruebas hechas fueron satisfactorios, pues el error medido es de 0.028mm

- **Diseño y construcción de una tarjeta electrónica para el control del sistema mecánico y de adquisición de datos.**

El microscopio ocupa una tarjeta de control para los movimientos y para el procesamiento de la señal. Esta tarjeta de control está dividida en tres bloques: el primer bloque se encarga del control de los motores a pasos, el segundo limita el área de barrido y el tercero se encarga de la adquisición de la señal proveniente del detector de microondas. El diagrama a bloques se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Diagrama a bloques de la tarjeta de control y adquisición de datos provenientes de la mesa posicionadora.

Antes de comenzar con la descripción de los bloques que componen el microscopio es necesario mencionar las consideraciones electrónicas hechas para la construcción de la tarjeta interfaz, tales como el tipo de circuitos electrónicos utilizados y la manera de hacer la comunicación entre la tarjeta y la computadora.

### **Consideraciones electrónicas.**

Los circuitos TTL desde su introducción, han sido una familia de componentes digitales muy populares, por ser fáciles de usar, bajo costo, mediana a alta velocidad de operación y corriente de salida suficiente para manejar otros dispositivos. Actualmente existen varios tipos de encapsulados TTL: los S, H, LS, ALS, FAST™, etc. Todas son compatibles funcionalmente y pueden ser fácilmente combinados en un diseño para maximizar la eficiencia. La más famosa es la LS, debido a su bajo costo y su velocidad de operación.

La familia TTL LS combina reducción de potencia y corriente hasta un factor de cinco comparada con los TTL normales. Las características de operación típicas para los circuitos en cuestión se presentan en la tabla I.

Tabla I. Rangos de trabajo típicos para los circuitos TTL LS.

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

Una vez estudiado el trabajo a realizar por el microscopio, se decidió utilizar componentes TTL LS, por las características mencionadas.

### Comunicación con la computadora.

La comunicación entre la computadora y la mesa de barrido se implementó a través del puerto paralelo, operando en configuración bidireccional, para permitir la entrada y salida de datos en paquetes de 8 bits. Mediante una tarjeta interfaz es posible adquirir las lecturas provenientes del sistema de detección del microscopio, convertir la señal analógica (en este caso un voltaje) a una señal digital y entregarla a la

computadora, a través del puerto paralelo para una interpretación posterior. De igual manera, con esta tarjeta, la computadora realiza el control de movimientos del microscopio.

El puerto paralelo es un medio comúnmente utilizado para hacer interfaces de experimentos en los cuales no se requieran accesos muy rápidos. El puerto paralelo cuenta con un conector hembra de 25 pines, situado en el reverso de la computadora (véase figura 6); también existe otro conector de 25 pines macho, que corresponde al puerto serie RS-232, el cual es totalmente incompatible con el puerto paralelo.

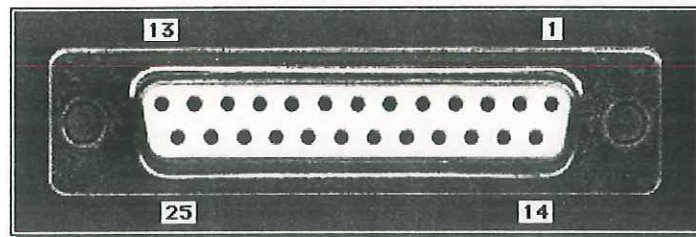


Figura 6. Conector DB-25F del puerto paralelo de una computadora personal.

IBM definió tres direcciones base del puerto paralelo [en el 80x86, en el espacio de asignación de direcciones de entrada/salida (I/O)]. Las direcciones típicas para el puerto paralelo son 0x0378 (hexadecimal) para el LPT1 y 0x0278h para el puerto LPT2. Algunos sistemas viejos usaban la dirección 0x03BCh que generalmente ahora se asigna al LPT3.

El BIOS de IBM o compatible reserva espacio en RAM para guardar las direcciones de 4 puertos paralelos, las cuales se guardan en 4 paquetes de 16 bits en las direcciones 0x408, 0x40A, 0x40C, 0x40E de la memoria principal. Durante el arranque de la computadora, el BIOS revisa los puertos paralelos presentes, asignándole las direcciones 0x378, 0x278 y 0x3BC, respectivamente [algunos programas ignoran la tabla de direcciones]. En la figura 7 se muestra la configuración del conector de un puerto paralelo.

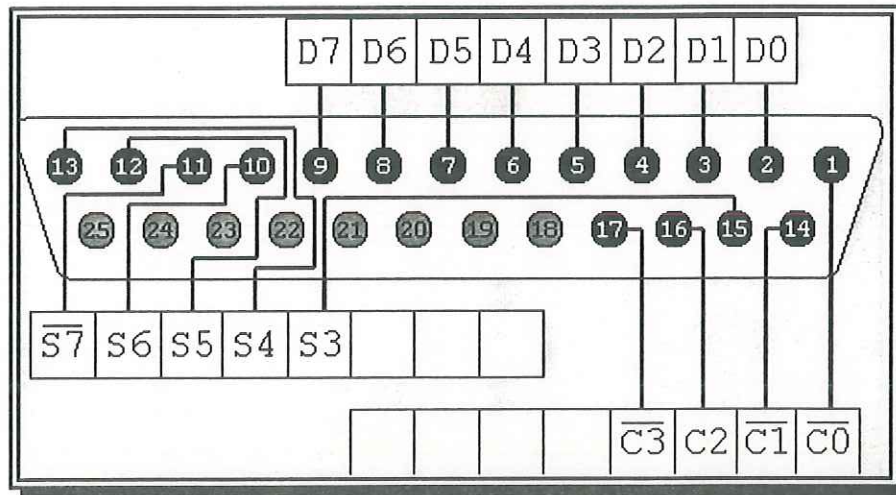


Figura 7. El puerto paralelo original de la IBM tiene un total de 12 salidas digitales y 5 entradas digitales accedadas a través de 3 puertos consecutivos [DATA, STATUS, CONTROL]. 8 pines de salida son accedadas por el puerto DATA, 5 entradas por el puerto de STATUS (una negada) y 4 salidas por el puerto de CONTROL (tres de ellas negadas). Los 8 pines restantes están conectados a tierra.

Dada la dirección asignada por el BIOS a los puertos paralelos encontrados, las direcciones quedan determinadas según se indica en la tabla II.

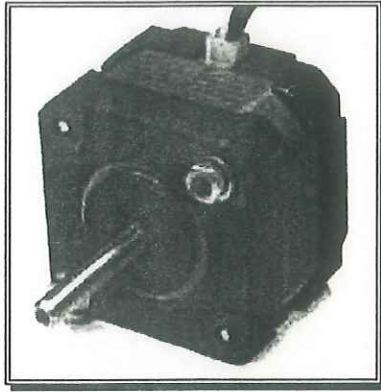
*Tabla II. Direcciones del puerto paralelo según su asignación en el BIOS, así como las direcciones correspondientes a cada "subpuerto".*

| Dirección del puerto | DATA          | STATUS         | CONTROL          |
|----------------------|---------------|----------------|------------------|
|                      | Pines 2-9     | Pines 10-13,15 | Pines 1,14,16,17 |
| 378                  | 378 + 0 = 378 | 378 + 1 = 379  | 378 + 2 = 37A    |
| 278                  | 278 + 0 = 278 | 278 + 1 = 279  | 278 + 2 = 27A    |
| 3BC                  | 3BC + 0 = 3BC | 3BC + 1 = 3BD  | 3BC + 2 = 3BE    |

Inicialmente, el puerto paralelo, sólo permitía la salida de datos por el puerto de DATA. Posteriormente se modificó su estructura, permitiendo la entrada y la salida de datos por este puerto, únicamente activando el bit 5 de su puerto de control.

#### **Control de los motores a pasos.**

Para aplicaciones de instrumentación es necesario hacer una elección entre servomotores y motores a pasos. Ambos tipos de motores poseen características similares para un posicionamiento preciso, pero difieren en varias maneras. Los servomotores requieren de un sistema electrónico que genere una señal analógica y requiere del uso de un codificador que proporcione la retroalimentación referente a la posición del motor. Los motores a pasos, como el mostrado en la figura 8, requieren la generación de un tren de pulsos que energice un embobinado y produzca el movimiento.



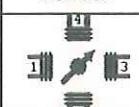
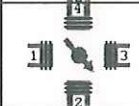


**Figura 8.** Motor a pasos de los que se utilizaron en la construcción del microscopio.

El principio de operación de los motores a pasos se basa en la alimentación secuencial de corriente por una serie de bobinas colocadas alrededor de un rotor con imán permanente. De acuerdo con el cambio de la corriente en cada bobina, y de su secuencia, se producirá el giro del motor en una u otra dirección. Para motores a pasos no muy finos, dígame los contenidos en los lectores de discos de una PC, la rotación es de  $1.8^\circ$  grados de arco por paso. Es decir, si se desea que el motor gire una revolución, es necesario cambiar las fases en las corrientes inducidas 200 veces (200 pasos). Una de las limitantes en la velocidad angular de estos motores es la rapidez con la que cambia la alimentación de corriente en las bobinas, que depende de la velocidad de los transistores encargados de suplir la corriente.

Este tipo de motor tiene cuatro bobinas que, cuando se alimentan en la sucesión correcta, causa la orientación de un imán permanente con dichas bobinas, provocando un giro del rotor. Después del cuarto paso, se repite la sucesión de nuevo,


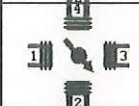


comenzando con el primer paso. La secuencia a la que obedece un motor a pasos con las características descritas se muestra en la tabla III.

*Tabla III. Sucesión de alimentación de corriente en las bobinas de un motor a pasos para obtener un giro en la dirección opuesta a las manecillas del reloj.*

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

Invertir el orden de los pasos en la sucesión, invertirá la dirección de rotación, como lo muestra la tabla IV.

*Tabla IV. Sucesión de alimentación de corriente en las bobinas de un motor a pasos para obtener un giro en la dirección de las manecillas del reloj.*

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

El movimiento de los motores no es continuo y utiliza mucha potencia, pero produce grandes torcas. La excitación de la bobina 4 es siempre inversa a la excitación de la bobina 2, y lo mismo entre las bobinas 1 y 3.

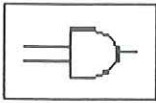
Tomando en cuenta como debe ser la sucesión de corriente en las bobinas de los motores a pasos, se procedió al diseño de un circuito electrónico que se encargue de esta tarea. Así mismo, es prudente instalar sensores de límite a los desplazamientos, tales que se puedan interrumpir estos cuando el sistema ha llegado al fin de su recorrido.

El circuito que desarrolla la tarea de control de los motores a pasos está conformado por compuertas lógicas, flip-flops, diodos y transistores de potencia (Darlington). A continuación se presenta la tabla de verdad para los circuitos mencionados:

Compuerta AND [74LS08]:

Esta compuerta tiene dos variables de entrada. Cuando una de éstas es cero, la salida es cero. Cuando las dos entradas sean uno, la salida será uno. Podemos apreciar los resultados lógicos que resultan de operar bajo esta función en la tabla V.

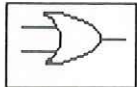
*Tabla V. Tabla de verdad para la compuerta lógica 74LS08.*

| Entrada 1 | Entrada 2 | Salida | Símbolo   |
|-----------|-----------|--------|---|
| 0         | 0         | 0      |  |
| 0         | 1         | 0      |   |
| 1         | 0         | 0      |   |
| 1         | 1         | 1      |   |

Compuerta OR [74LS32]:

Esta compuerta tiene, igual que la anterior, dos variables de entrada. Cuando una de estas es uno, la salida es uno, y solamente cuando las dos entradas son cero, la salida es cero. Los resultados obtenidos en este tipo de compuerta se muestran en la tabla VI.


*Tabla VI. Tabla de verdad para la compuerta lógica 74LS32.*

| Entrada 1 | Entrada 2 | Salida | Símbolo   |
|-----------|-----------|--------|---|
| 0         | 0         | 0      |  |
| 0         | 1         | 1      |   |
| 1         | 0         | 1      |   |
| 1         | 1         | 1      |   |

Compuerta OR EXCLUSIVA [74LS86]:

Esta compuerta también tiene dos variables de entrada y su tabla de verdad se muestra en la tabla VII.

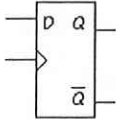
Tabla VII. Tabla de verdad para la compuerta lógica 74LS86.

| Entrada 1 | Entrada 2 | Salida | Símbolo   |
|-----------|-----------|--------|---|
| 0         | 0         | 0      |  |
| 0         | 1         | 1      |   |
| 1         | 0         | 1      |   |
| 1         | 1         | 0      |   |

### Flip-Flop Tipo D [74ls74]:

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

Tabla VIII. Tabla de valores para el circuito integrado 74LS74.

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

### Transistor Darlington [Tip120 ó D1196]

Este dispositivo se usa para controlar las bobinas de los motores, ya que la corriente que se necesita para activarla es del orden de algunos cientos de mA. Los

circuitos integrados TTL solamente proporcionan una corriente máxima de 25 mA, así que si se desea manejar un motor es necesario amplificar la corriente.

Dados estos antecedentes, mostramos el arreglo que produce la secuencia necesaria para el movimiento de los motores a pasos. El circuito desarrollado se muestra en la figura 9. A este circuito sólo hay que enviarle una señal que indique el sentido de giro y una secuencia de pulsos (uno por paso del motor).

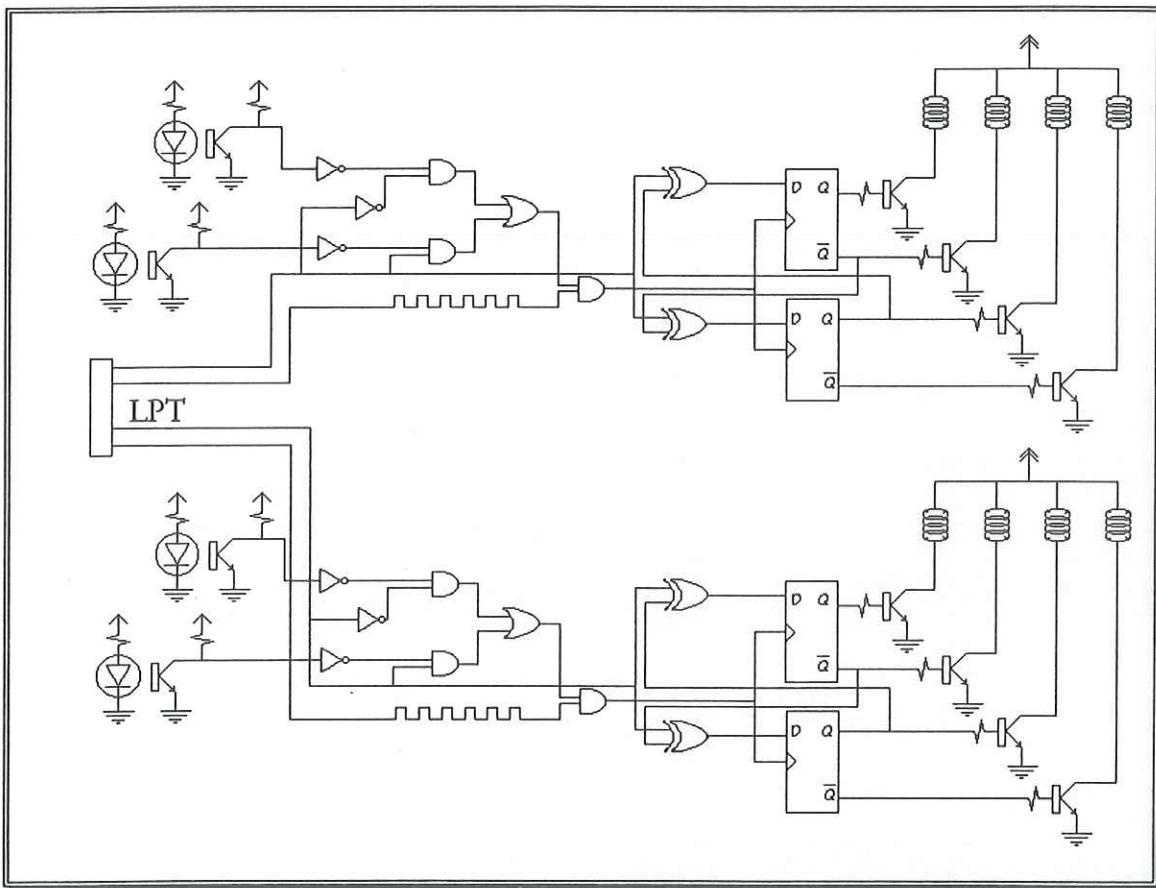


Figura 9. Diagrama del circuito que maneja los motores a pasos.

Las resistencias mostradas en el diagrama de figura 9 tienen un valor de 680 ohm. En la ilustración, las bobinas de la derecha representan las bobinas de los motores a pasos, 4 por motor. En la parte izquierda se muestran los fotodetectores que detectan el límite del desplazamiento; con ellos nos auxiliamos para limitar el área de barrido.

El circuito implementado para el control del microscopio está descrito en el apéndice. Aquí se pueden apreciar las interconexiones de las componentes electrónicas utilizadas.

#### **Adquisición de los datos.**

El tercer bloque de la tarjeta interfaz se encarga del procesamiento de la señal analógica para obtener un valor digital y ponerlo a disposición de la computadora para que pueda ser leído a través del puerto paralelo. La parte fundamental de este bloque es el convertidor analógico-digital ADC0809, cuya resolución es de 8 bits, del cual algunos aspectos importantes se analizan a continuación.

Un convertidor analógico digital es un dispositivo electrónico que toma un voltaje y produce un dato digital cuyo valor es proporcional al voltaje.

El convertidor analógico-digital utilizado es el circuito *ADC0809*, que consta de un convertidor A/D, un multiplexor de 8 canales y un microprocesador de control lógico. El convertidor A/D de 8 bits utiliza aproximaciones sucesivas como técnica de conversión, donde el voltaje analógico desconocido se compara con el voltaje en los puntos de unión de un conjunto de resistencias utilizando conmutadores analógicos. Cuando el voltaje generado en el punto de unión coincide con el voltaje desconocido, la conversión de ha completado. Las salidas digitales contienen una palabra binaria de 8 bits que corresponde al voltaje de entrada. El convertidor contiene un comparador, un divisor de voltaje con un interruptor analógico y un registro de aproximaciones sucesivas. El multiplexor de 8 canales puede acceder directamente cualquiera de las 8 señales de entrada. El tiempo mínimo que emplea por cada conversión es de 100  $\mu$ s.

El corazón de este circuito es su convertidor A/D de 8 bits, el cual puede dar una conversión rápida, precisa y repetitiva sobre un amplio rango de temperatura. El convertidor está dividido en tres grandes secciones: el divisor de voltaje de escalera del tipo 256R red, el registro de aproximaciones sucesivas y el comparador. El diagrama a bloques se ilustra en la figura 10.

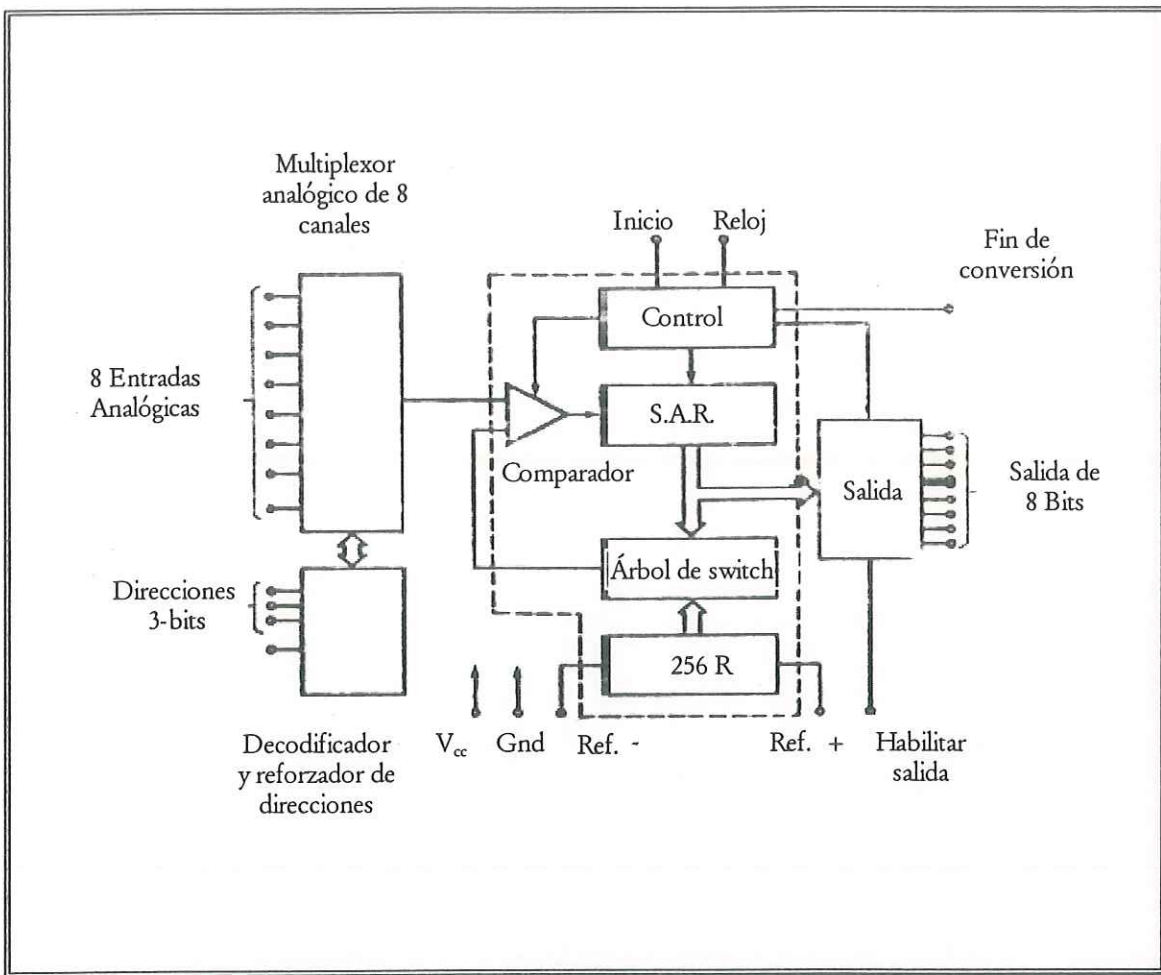


Figura 10. Diagrama de bloques del funcionamiento del convertidor analógico digital ADC0809

El registro de aproximaciones sucesivas (SAR) realiza 8 iteraciones para aproximar el voltaje de entrada.

Una parte importante del convertidor A/D es el comparador. Este dispositivo es el responsable de la precisión de todo el convertidor.

## Construcción de la tarjeta electrónica.

Con el diseño hecho se procedió a la construcción de la tarjeta, buscándose una forma fácil y económica de implementarlo, tratando que las interconexiones entre circuitos fueran confiables.

El método más conocido de hacer interconexiones entre circuitos integrados para armar prototipos electrónicos es el método del *alambre enrollado (wirewrap)*. Las conexiones se realizan utilizando una combinación especial de herramientas, bases para circuitos y tarjetas perforadas que permiten hacer interconexiones rápidas y confiables entre circuitos. La base de enrollamiento tiene una parte superior que permite la inserción de un circuito integrado, mientras que por la parte inferior cuenta con terminales de sección cuadrada alrededor de las cuales se enrolla el alambre. La herramienta está diseñada para realizar, en forma precisa, enbobinados compactos alrededor de las terminales. Los alambres son llevados de terminal en terminal para hacer las interconexiones con los demás circuitos. Los circuitos así alambrados tienen varias ventajas: las conexiones son seguras, los circuitos son fáciles de cambiar y las tarjetas resultan económicas cuando se trata de pequeños volúmenes de producción. Entre las desventajas están la susceptibilidad al ruido producido por otros circuitos (crosstalk). En las figuras 11 y 12 podemos ver el circuito armado por este método.

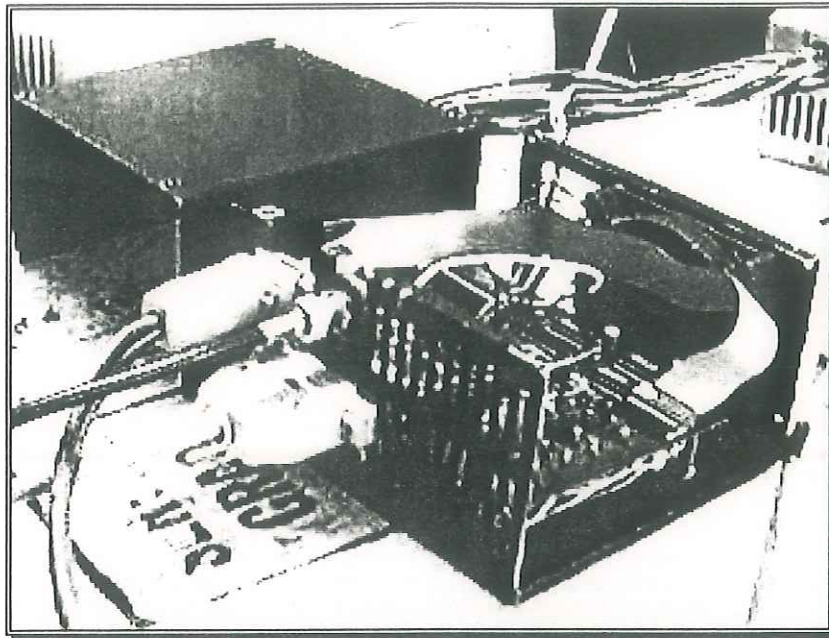


Figura 11. Tarjeta de adquisición de datos.

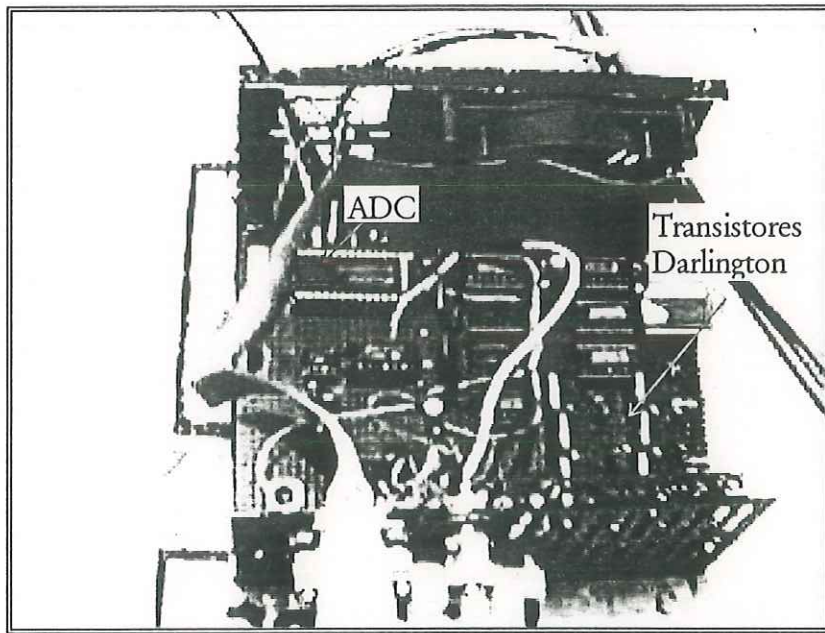


Figura 12. Circuito controlador armado visto desde arriba.

- **Desarrollo de un programa de control para la tarjeta.**

El programa está escrito en lenguaje C++. El código fuente se presenta en el apéndice 1. Las rutinas principales están contenidas en el archivo "CONTROL.CPP" y se encargan del control de los motores a pasos y de la adquisición de los datos digitales provenientes del convertidor.

Para el movimiento de los motores a pasos es necesario proporcionar a la tarjeta interfaz una secuencia de pulsos digitales, cuya frecuencia determinará la velocidad angular de los motores.

El compilador tiene integrada una función que genera retardos temporales, siendo el retardo múltiplo de un milisegundo. Esto ocasiona restricciones en la frecuencia del barrido del microscopio. Para superar esto se desarrolló una función para dar continuidad a la frecuencia en un intervalo de interés dado (de 4.5 a 10.0 milisegundos). Esta función es "void Delay(int)" y se presenta en el apéndice. Tiene como parámetro de entrada un número mayor que cero que determina el retardo entre pulsos. En la figura 13 se muestra la computadora ejecutando el programa de control.

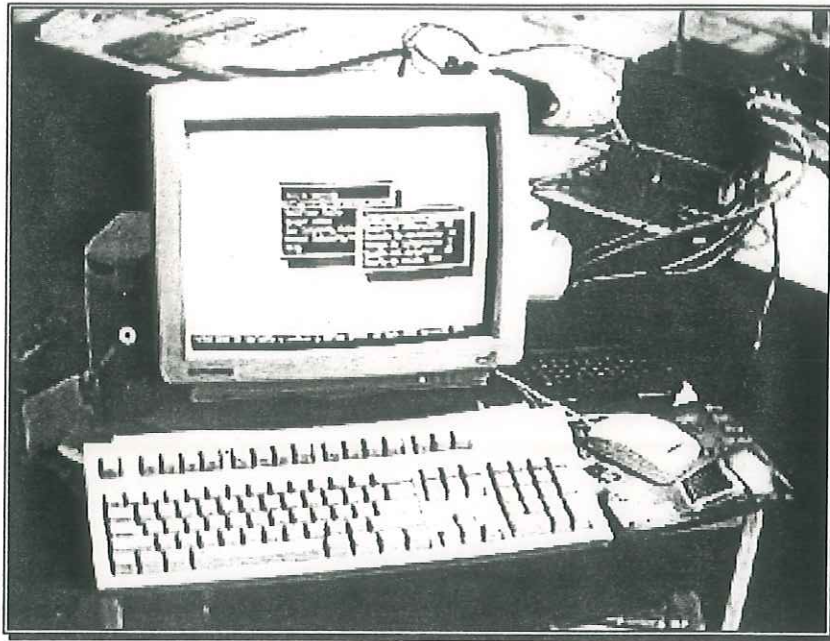


Figura 13 . Computadora corriendo el programa de control, y en la parte superior derecha el controlador del microscopio.

La información detectada por la corneta receptora se recibe a través de la tarjeta interfaz conectada al puerto paralelo. Es necesario calibrar antes el instrumento para conocer el valor digital correspondiente a cada valor analógico y ajustar una función polinomial de segundo orden a estos datos. Así al hacer una lectura se pueda asociar a esta por medio de la función el valor correspondiente para luego guardarlo en un archivo con sus correspondientes coordenadas.

Las funciones para la salida y la entrada de datos a través del puerto paralelo están incluidas en la biblioteca estándar del compilador usado. Estas funciones actúan directamente en el puerto correspondiente de la computadora y son "unsigned char inportb(int)" y "void outportb(int,int).

A continuación se explica el programa que se encarga del control del microscopio. Se describen los menús que contiene y los principales aspectos que deben tomarse en cuenta para un óptimo funcionamiento del aparato en cuestión.

Para iniciar la sesión en el microscopio basta con ejecutar el programa de control del microscopio, MICROS~1.EXE. Al ejecutarse, aparece un menú donde se despliega el nombre del autor, institución que representa y nombre del proyecto, a manera de bienvenida, con una duración de 1 segundo. Posteriormente, pasa a un menú principal que proporciona las diferentes opciones a configurar en el microscopio. La página principal aparece en la figura 14.

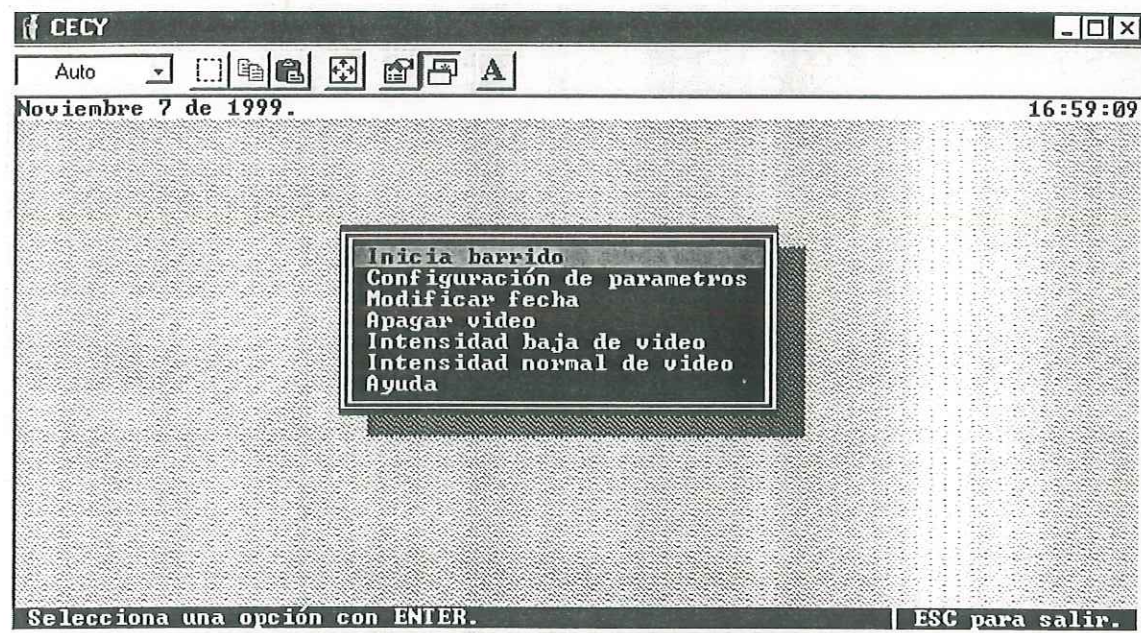


Figura 14. Menú principal del programa de control.

La primera opción permite iniciar el barrido de la muestra. Al seleccionar esta opción con las flechas del teclado y presionar "Enter" comenzara el barrido. Esta opción comienza cargando el modo gráfico, aparece una demostración de puntos de diferentes colores (aleatorios), indicando que el modo gráfico está inicializado y después aparece la pantalla donde se grafican los datos detectados por el microscopio. (Véase figura 15.)

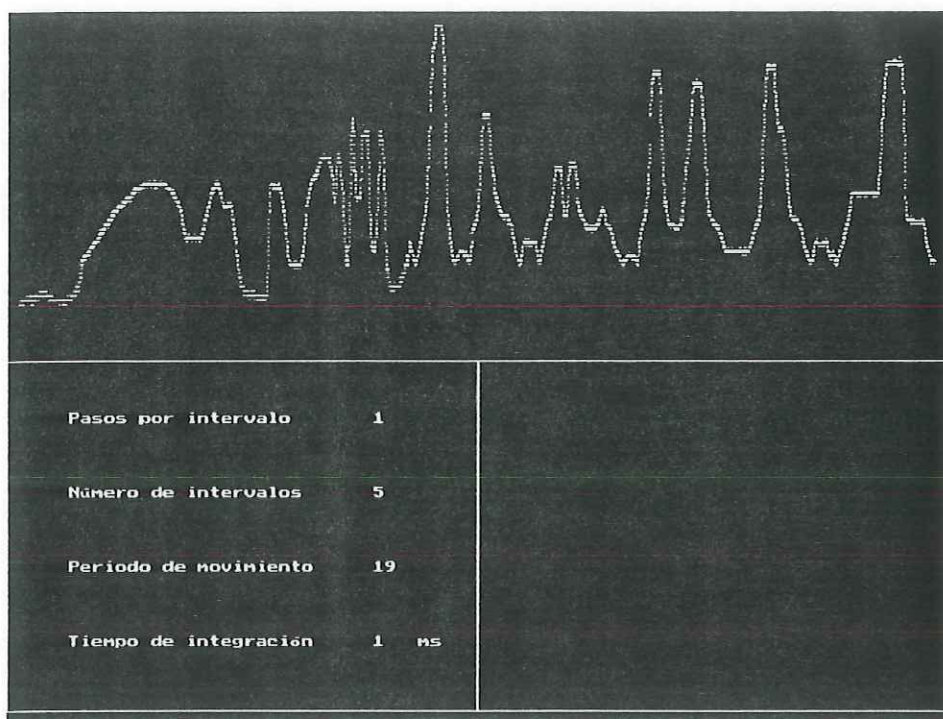


Figura 15. Gráfica que se despliega cuando se inicia el barrido de la muestra.

La pantalla aparece dividida en tres partes. En la primera de ellas, la parte superior, se lleva a cabo el despliegue visual de los datos que se detectan; los puntos que ahí aparecen son de color blanco. En la segunda parte de la pantalla, la parte

inferior izquierda, se muestran los principales parámetros de barrido y, la tercera parte de la pantalla, la parte inferior derecha, no está en uso.

Conforme se realiza el barrido, los datos son guardados en un archivo de nombre "curvas~1.dat"; de ahí se pueden graficar en el paquete adecuado (por ejemplo, el Origin41).

Al terminar el barrido, el programa se espera a que se presione cualquier tecla para hacer una gráfica de los resultados detectados, pero en esta ocasión la gráfica es desplegada en todo el monitor (full-screen), la gráfica que aparece es como la mostrada en la figura 16.

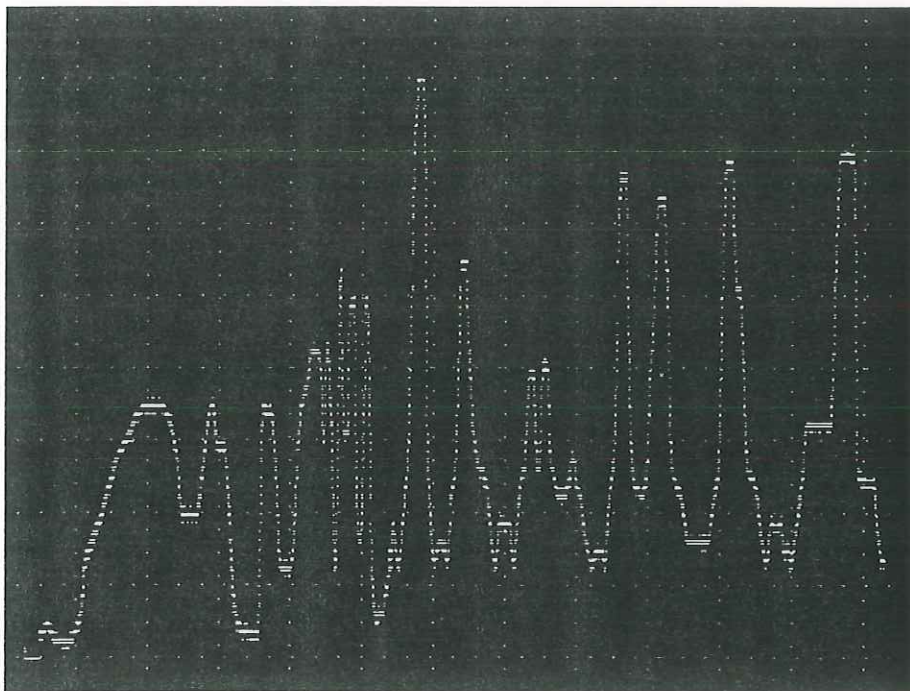


Figura 16. Gráfica en toda la pantalla de los datos adquiridos.

Posteriormente, espera a que de nuevo se presione una tecla para volver al menú principal.

Con la segunda opción se introducen los parámetros de barrido. Al seleccionar esta opción aparece un menú, el cual da los parámetros de barrido existentes en ese momento y aparece como lo indica la figura 17. Con las flechas del teclado se selecciona el parámetro a modificar, se presiona Enter y se cambia el valor existente por el valor deseado.



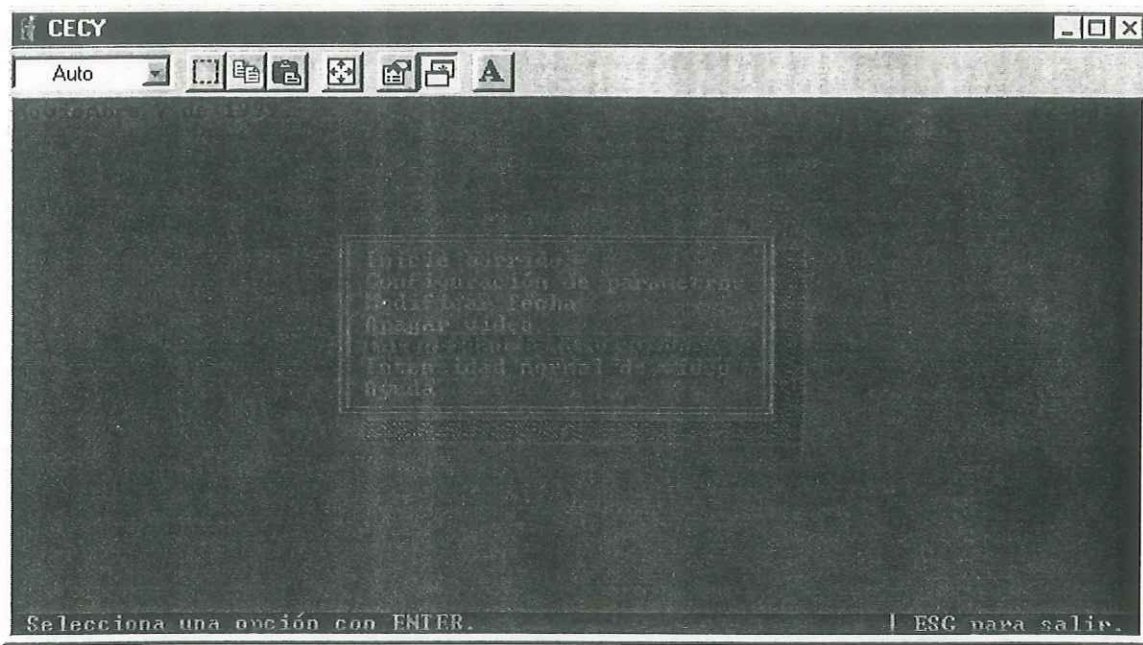
Figura 17. Menú de configuración de parámetros de barrido.

Una vez que se modifican los parámetros se presiona Enter y después Esc. Puede ahora seleccionarse la opción "Inicia barrido" si se desea comenzar el barrido de la muestra con los parámetros especificados.

Como tercera opción se da la posibilidad de modificar la fecha, de igual manera se selecciona, se presiona Enter y se edita la fecha actual.

La cuarta opción es seleccionada de manera análoga a las anteriores, apagando el vídeo.

La quinta opción es utilizada en los barridos para los cuales una gran cantidad de luz emanada del monitor afecta las mediciones. Esta opción modifica la tabla de colores presentes al ejecutarse el programa, poniendo colores más tenues; la pantalla luce como la mostrada en la figura 18. Es recomendable colocar el monitor lejos de los dispositivos de medición.



**Figura 18.** Menú principal del programa de control en tonalidad de colores oscuros, para experimentos en que la intensidad de luz afecte el proceso.

La sexta opción se encarga de regresar los valores de los colores del vídeo a los valores de intensidad normal.

La séptima y ultima opción está encargada de proporcionar ayuda acerca de la manera de conexión del voltaje de la tarjeta, de las conexiones de ésta con la computadora y una referencia acerca del programa (figura 19).



Figura 19. Menú de ayuda del programa de control.

La opción de "Referencias" da las referencias del autor, la institución y la fecha en que se elaboró el programa (véase la figura 20). Cabe aclarar que esta portada es diferente a la portada de presentación.

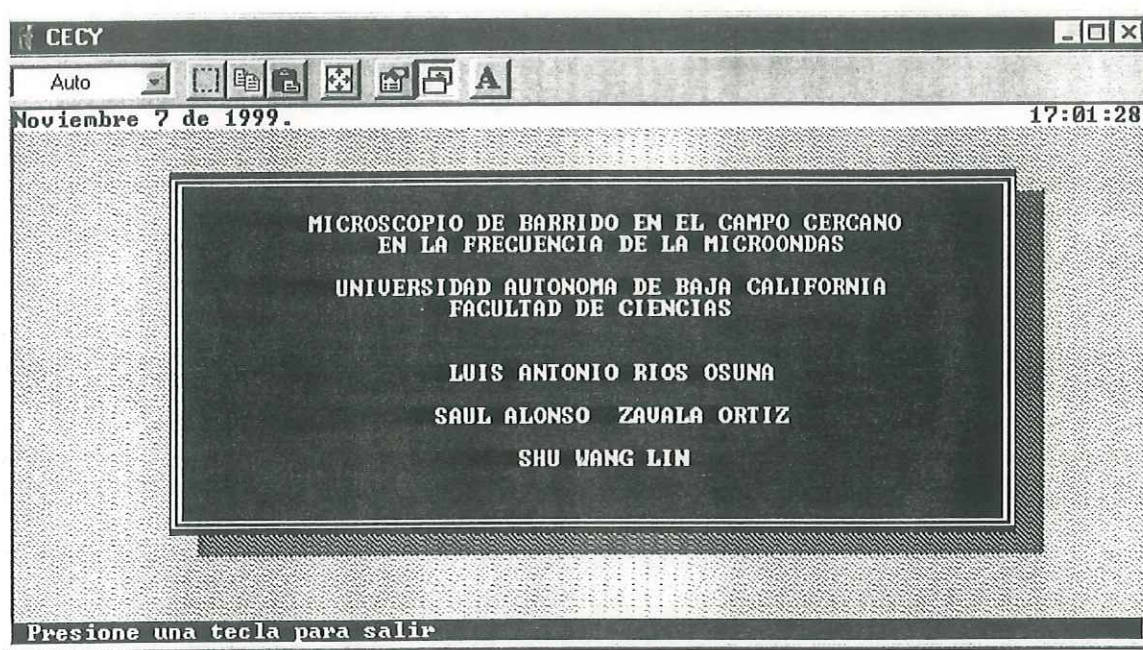


Figura 20. Menú de presentación.

Para salir del programa se presiona la tecla Esc, hasta que la pantalla quede solamente con el fondo (ver figura 21); entonces se presionan juntas las teclas Alt-F10.

Durante la ejecución del programa, en la parte inferior de la pantalla, aparece un renglón de mensajes, donde se dan indicaciones adicionales.

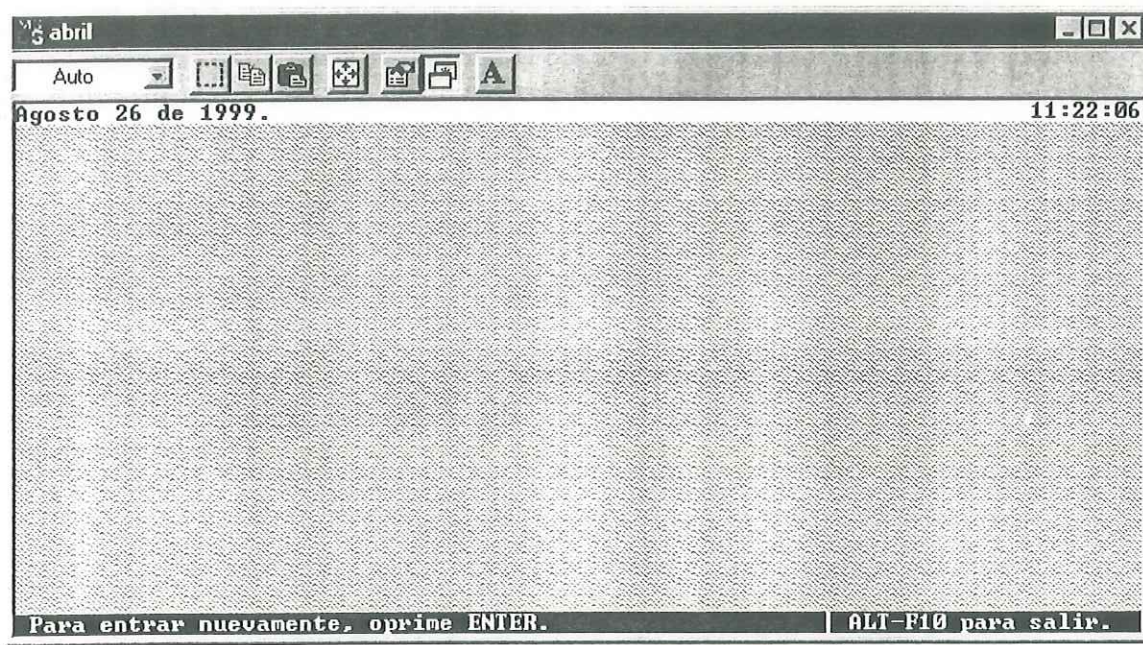


Figura 21. Muestra la pantalla del programa antes de salir. La instrucción siguiente esta escrita en el renglón de mensaje de la pantalla.

Una vez que se sale del programa, se cierra la ventana de "Windows" o, en su caso, regresa el control al procesador para modo DOS.

Los datos adquiridos durante el barrido son guardados en el archivo antes mencionado (curvas ~1.dat), localizado en el directorio raíz. El archivo de salida tiene la siguiente información mostrada en la figura 22 (sólo se presenta una parte).

```
MS-DOS Prompt - EDIT
6 x 8
File Edit Search View Options Help
C:\CURVAS 1.DAT
Intervalo: 0.21
No. Intervalos: 5
Periodo por pasos del Motor: 19
Tiempo de integracion del Sensor: 1
Puerto usado: 378
Fecha Actual: Thu Aug 26 10:45:56 1999
0.211500      0.084210
0.423000      0.084210
0.634500      0.084210
0.846000      0.126315
1.057500      0.084210
1.269000      0.126315
1.480500      0.126315
1.692000      0.126315
1.903500      0.126315
2.115000      0.126315
2.326500      0.126315
2.538000      0.126315
2.749500      0.126315
2.961000      0.126315
3.172500      0.126315
F1=Help | Line:4 Col:36
```

Figura 22. Contenido del archivo de los datos experimentales obtenidos.

En el encabezado del archivo de salida aparecen los parámetros de barrido. Posteriormente dos columnas: la primera de ellas, la de la izquierda, contiene el valor de la posición del detector; la columna restante tiene el valor de la intensidad del campo cercano registrado. Este ejemplo es para un barrido en una dimensión.

Este programa está hecho para operar en modo DOS, en plataforma de 16 bits. El programa por sí solo se dirige al puerto para inicializar la bidireccionalidad de éste.

Hasta aquí tenemos un dispositivo capaz de hacer un barrido XY, controlado por la computadora y capaz de registrar la intensidad en miliamperes de las microondas que se recibe por un detector. Estas componentes juntas se definen como el microscopio de barrido en la frecuencias de las microondas.

### CAPITULO 3.

#### DESARROLLO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS OBTENIDOS.

- **Caracterización del sistema de microondas.**

La caracterización del haz incidente sobre la muestra es crucial, ya que dependiendo de sus características podemos explicar los resultados experimentales. Para conocer los frentes de onda de la fuente radiante en sus dos polarizaciones, se colocaron las cornetas a una distancia de separación fija ( $h$ ) de 30 cm, como se muestra en la figura 23.

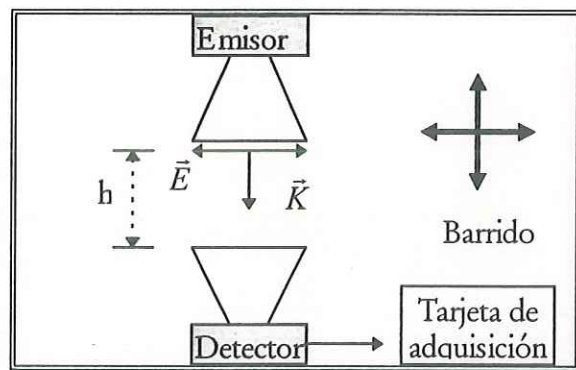


Figura 23. Esquema del arreglo experimental para la caracterización del frente de onda.

Posteriormente, se comenzó el barrido del detector sobre la señal de la fuente radiante de microondas, perpendicularmente al vector de propagación. Hecho esto, se obtuvo la gráfica de distribución de intensidad de las microondas radiadas por la

fente en sus dos polarizaciones. La figura 24 muestra distribución de intensidad en polarización P, y en la figura 25 se muestra en polarización S.

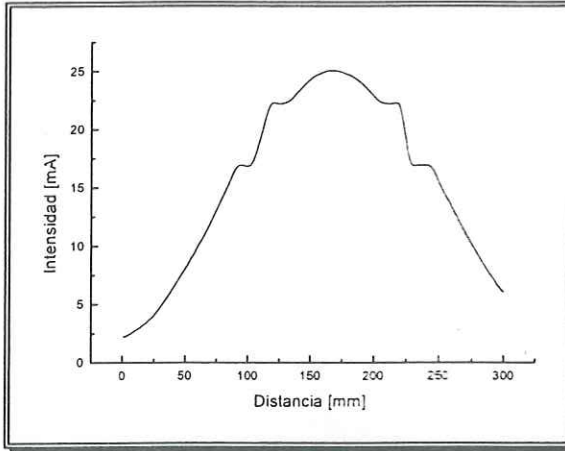


Figura 24. La fuente radiante de microondas esta linealmente polarizada a lo largo del eje del diodo. Se muestra el frente de onda en polarización P.

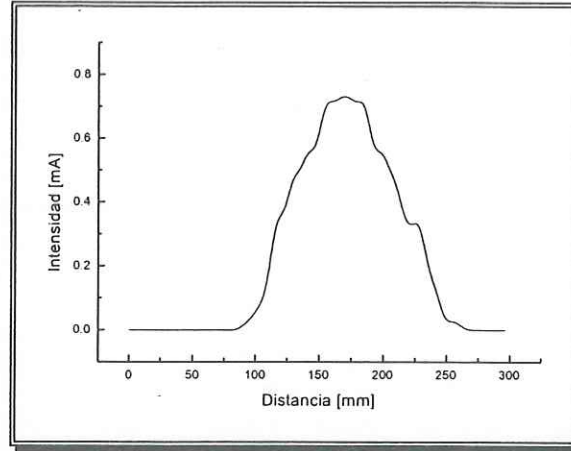


Figura 25. Con una rotación de las cornetas de  $180^\circ$  se tiene la polarización S. Se muestra el frente de onda obtenido para esta polarización.

El frente de onda asociado a cada polarización es gaussiano. En la figura 24 se aprecia un corte en la suavidad de la intensidad de la fuente radiante en la polarización P. Esta falta de suavidad en el frente de onda se asocia al efecto de los bordes de las cornetas. Durante el proceso de medición se observó que cuando el detector coincidía con uno de los bordes de la fuente radiante, aparecía esta alteración en el haz.

En la figura 25, distribución de intensidad radiada en polarización S, también se obtiene un efecto ocasionado por los bordes de las cornetas similar al ocurrido en polarización P.

A pesar que la fuente radiante de microondas presenta estas peculiaridades asociadas a sus bordes, no alteran este trabajo, debido a que la zona mejor comportada del haz [ $\sim 5\lambda \times \sim 5\lambda$ ] es más grande que las superficies a examinar [ $2\lambda \times 2\lambda$ ], solamente se debe tener cuidado de localizar esta región (al centro de las cornetas) y asegurarse que la muestra está inmersa en ella.

- Distribución de la intensidad esparcida por una rejilla metálica con frecuencia espacial menor a  $\lambda_0/2$ .

Se realizaron barridos sobre muestras con alto contraste dieléctrico (metal-aire). El arreglo experimental para interactuar con la intensidad del campo cercano y obtener resultados experimentales que comprueben la eficacia y confiabilidad del dispositivo, se muestra en el diagrama esquemático de la figura 26.

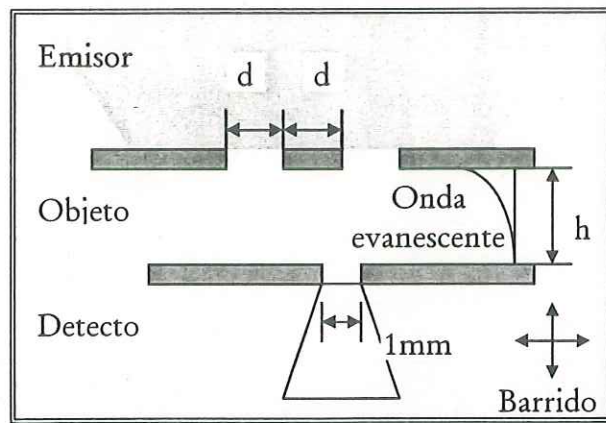


Figura 26. Esquema para el barrido de la rendija y detección en el campo cercano ( $h < \lambda/2$ ) a la superficie.

En la presente prueba se utiliza el microscopio de barrido en modo de transmisión, es decir, la muestra es iluminada por su parte posterior y se detecta la señal transmitida por la parte frontal, figura 26 y 27.

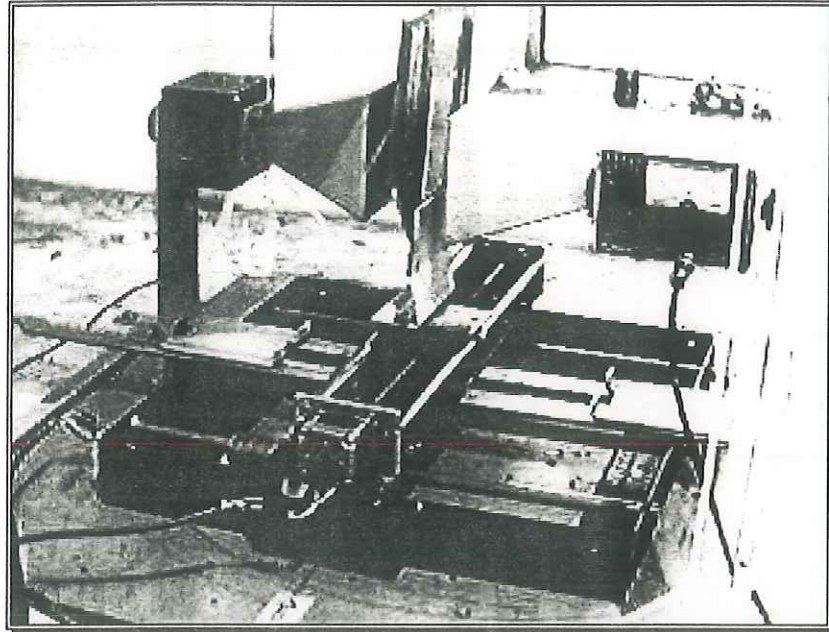


Figura 27. Configuración usada para la obtención de la distribución de intensidad en el campo cercano a la superficie de una rejilla. La manera de operar es por transmisión.

A continuación se muestran las curvas de la distribución de intensidad radiada por un objeto con 2 y 4 rendijas respectivamente, con período espacial de 2 milímetros, un espesor de la muestra de 1 milímetro y con una ranura de detección de 1 milímetro.

En la figura 28 se muestra la distribución de la intensidad de microondas radiada por una muestra de 2 milímetros de período espacial. En esta gráfica se observa que a una distancia mayor a  $\lambda/2$  (1.5 cm), la distribución es gaussiana, sin resolverse los detalles por debajo de la longitud de onda usada.

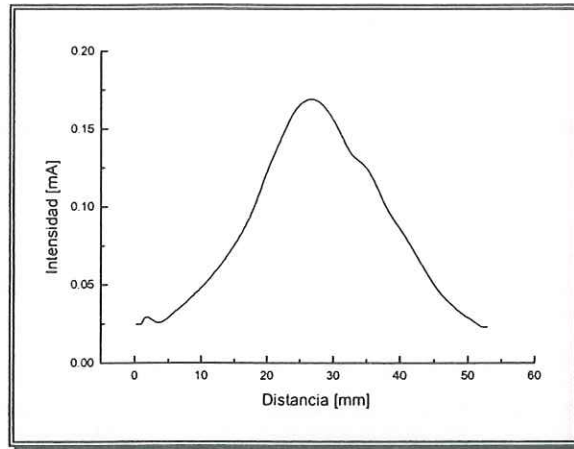


Figura 28. Distribución de la intensidad de microondas radiadas por una rejilla con frecuencia espacial de 6mm, a una distancia  $h$ : 1.5cm. Ranura de detección: 1 mm

Disminuyendo la distancia que separa a la muestra del detector, comienzan a resolverse detalles no observables en el campo lejano (distancia de observación mayor a  $\lambda/2$ ). La distribución de intensidad para una rejilla de 2 milímetros de separación espacial se muestra en la figura 29.

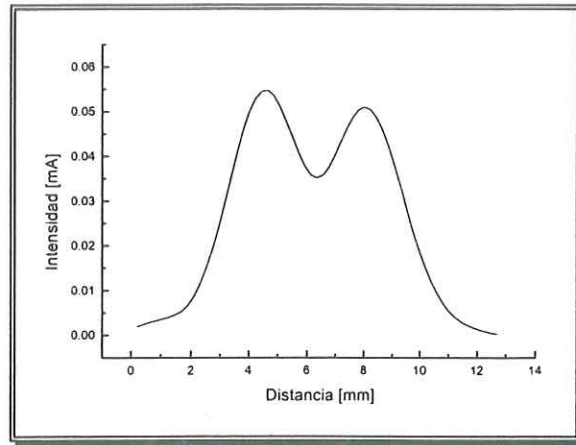


Figura 29. Distribución de intensidad transmitida por una rejilla con 2 rendijas de 2mm cada una. Conforme se acerca la rendija de detección a la superficie se comienza a resolver los detalles finos de la superficie.  $h: 0.5 \text{ mm}$ .

Análisis similares sobre una rejilla con 4 rendijas de 2 milímetros de separación espacial, demuestra que la gráfica fuera del campo cercano es una gaussiana, como en el caso anterior, sin embargo al acercar la abertura de detección en el campo cercano de la superficie observamos cambios en la señal detectada, como lo muestra la figura 30.

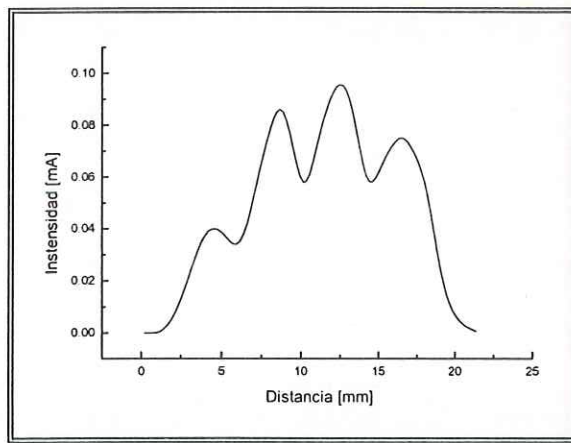


Figura 30. Distribución de intensidad transmitida por una rejilla con 4 rendijas de 2mm cada una.  $h:0.5\text{mm}$ .

Se hizo un análisis similar al presentado en las 3 curvas anteriores usando, en esta ocasión, una rejilla más grande, de 6 milímetros de separación espacial. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

La figura 31 muestra la distribución de intensidad transmitida por una rejilla de 6 milímetros de separación espacial. Similar a las gráficas de distribución anteriores, la señal detectada comienza cambiar al acercar el detector a la muestra.

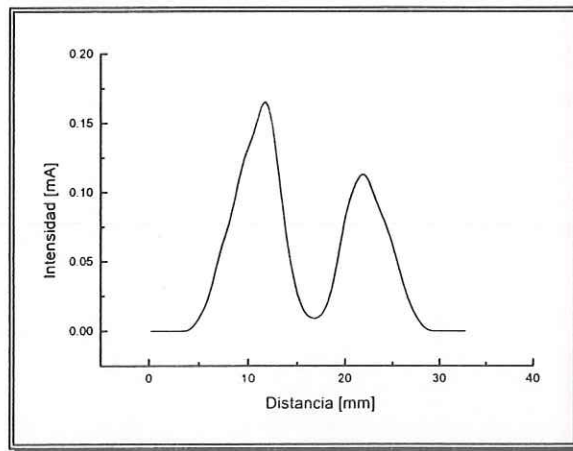


Figura 31. Distribución de intensidad transmitida por una rejilla con 2 rendijas de 6mm cada. h:1 mm.

Realizando ahora un barrido sobre una rejilla con cuatro rendijas y con la misma separación espacial que la anterior, la distribución de la intensidad de microondas radiada por este objeto es similar a la correspondiente en la rejilla pasada, en la figura 32 se muestra la distribución detectada para este objeto.

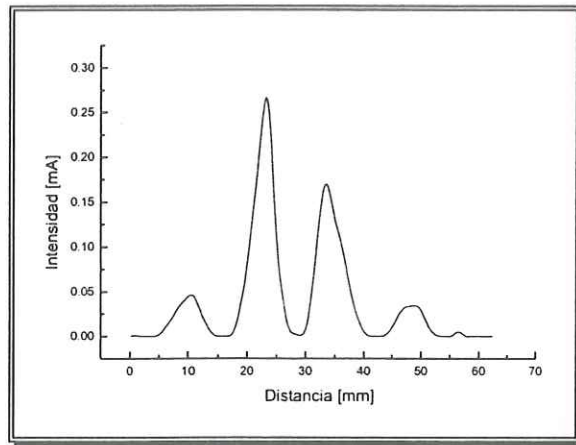


Figura 32. Distribución de intensidad transmitida por una rejilla con 4 rendijas de 6mm cada una.  $h : 1\text{mm}$ .

Las distribuciones de la intensidad transmitida por diferentes objetos, detectada a una distancia mayor a  $\lambda/2$  de la longitud de onda de la fuente radiante usada, resultan ser parecidas en todos los casos, sin notar cambios en el tipo de distribución de la intensidad detectada. Sin embargo, al hacer barridos del detector dentro del campo cercano a la superficie con una ranura en el detector mucho menor a la longitud de onda (en este caso  $\lambda/30$ ) comienzan a apreciarse cambios en la señal detectada (ver figuras 29, 30, 31 y 32).

Los barridos hechos por el detector sobre los objetos analizados, a diferentes distancias de separación a la muestra, comprueban que sobre la superficie del objeto existe un campo de ondas no radiante (a una distancia menor que  $\lambda/2$ ) que porta información de la muestra, por debajo de la longitud de onda de iluminación. Al

perturbar este campo de ondas no radiante con la ranura de detección inmersa en él, se logró que éste radiara, permitiendo así su detección indirecta.

Para los arreglos experimentales presentados se tuvieron los siguientes resultados: aparente resolución de las rejillas de separación espacial de 2 milímetros (con 2 y 4 rendijas), que pudieran corresponder a imágenes con frecuencia espacial de  $\lambda/14$ , de igual manera se logró la aparente resolución de la rejilla de 6mm de separación espacial (con 2 y 4 rendijas), correspondientes imágenes con frecuencia espacial de  $\lambda/7$ . Para tener una mayor certeza en los resultados obtenidos, es necesario hacer un análisis de la señal a ruido del campo electromagnético que se genera sobre la muestra y es detectado.

## CAPITULO 4.

### CONCLUSIONES.

Se presenta la construcción de un microscopio de barrido en el campo cercano para la frecuencia de las microondas. Se realizó físicamente la construcción de cada parte del microscopio: el arreglo mecánico, la tarjeta de control del instrumento, adquisición y procesado de la señal detectada, y desarrollo del programa de control.

El armazón del instrumento está hecha de fierro comercial. Los desplazamientos se hacen sobre barras de acero inoxidable usando guías de bronce con incrustaciones de grafito, para disminuir la fricción al momento de realizarse algún desplazamiento.

El equipo de microondas utilizado tiene una fuente radiante a una frecuencia de 10.5 GHz, con una salida de potencia nominal de 15 mW. El detector de microondas posee una salida analógica (el valor es proporcional a la intensidad de microondas detectada), el cual se utilizó para digitalizar la intensidad recibida y leerlo con la computadora.

Se describe el puerto paralelo y la manera en que controla el instrumento. Se presentan las direcciones asignadas a este dispositivo de interfaz. El sistema permite modificar fácilmente la manera de controlar el instrumento, y de hacer la interfaz a la computadora, así como aumentar la resolución de la señal detectada.

La tarjeta de control del microscopio está hecha de circuitos TTL, encargados de la lógica de control para mover los motores a pasos y de un convertidor analógico-digital, que es el encargado de hacer la conversión de la señal del detector de microondas a una palabra digital que pueda ser leída por la computadora a través del puerto paralelo.

Se presentan barridos sobre rejillas con periodo espacial por debajo de la longitud de onda. En estos resultados (figuras 29, 30, 31 y 32) existen ciertas correspondencias de la frecuencia de los valores máximos de la intensidad detectada y la frecuencia espacial de los objetos, sin embargo, aún no se puede asegurar que sean debidos, en su totalidad, a efectos de interacción con el campo cercano.

La versatilidad que presenta este aparato le permite ajustarse a diferentes experimentos de laboratorio de óptica, únicamente haciendo modificaciones mínimas al circuito, y en especial, a la manera de conectar el detector.

## REFERENCIAS.

- [1]E. Abbe, *Archiv F. Mikroskop.* 9, 413 (1873).
- [2]Nieto-Vesperinas, "Scattering and Diffraction in Physical Optics", J. Wiley, N.Y, (1992).
- [3]E. H. Synge, "A suggested method for extending microscopic resolution in to the ultramicroscopic regime", *Philos. Mag.*, 6, 356 (1928).
- [4]E. A. Ash y G. Nichols, "Super-resolution aperture scanning microscope", *Nature*, 237-510 (1972).
- [5]D.W. Pohl, W. Denk and M. Lanz, *Appl. Phys. Lett.* 44,651 (1984).
- [6]Óptica. Hecht - Zajac. Addison - Wesley Iberoamericana. 89 (1986).
- [7]T. Pagnot y C. Pieval, "Fabrication of multimode fiber tapers with a high reproducibility of the subwavelength extremity size: application to scanning near-field optical microscope probes", *Optics Communications* 132, 161-169 (1996).
- [8]F. Zenhausern, M. P. O'Boyle y H. K. Wickramasinghe, *App. Phys. Lett.* 65 1623-1625 (1994).
- [9]J. D. Pedarnig, M. Specht, W. M. Heckle y T. W. Hänsch, in *Near Field Optics*, D. W. Pohl and D. Courjon, eds., Kluwer Academic Publishers. 273-280, (1993).
- [10]Y. Inouye y S. Kawata, *Opt. Lett.* 19, 159-161 (1994).
- [11]R. Bachelot, P. Gleyzes y A. C. Boccara, *Opt. Lett.* 20, 1924-1926 (1995).

- [12]A. Lahrech, R. Bachelot, P. Gleyzes y A. C. Boccara, "Infrared-resolution-mode near field microscopy using an aperturless probe with a resolution of  $1/600$ .", Optics Letter, Vol. 21, 1315-1317 (1996).
- [13]S. Wang. Near - field optical image of a homogeneous dielectric surface structure: A passive probe model. Optic communications 143, 179-184 (1997).
- [14]S. Wang & E.R. Méndez. polarization properties of the near-field intensity reflected by metallic and dielectric one-dimensional structures. Journal of Microscopy 194, 271-280 (1999).
- [15]S. Wang Analysis at probe-sample interaction in near-field optical image of dielectric structure, Microsc. Microanal. 5, 290-295 (1999).

## GLOSARIO.

### CMOS. (Complementary Metal Oxide Semiconductor)

Semiconductor Complementario de Oxido Metálico. Un tipo de circuito integrado ampliamente empleado para procesadores y memorias. El CMOS utiliza transistores PMOS y NMOS en forma complementaria, de modo tal que necesitan menos energía para su funcionamiento.

### TTL (Transistor Transistor Logic)

Lógica transistor-transistor. Circuito digital en el que la salida se obtiene a partir de dos transistores. Aunque la tecnología TTL constituye un método específico de diseño, el término suele aplicarse en forma genérica a las conexiones digitales, en contraste con las analógicas. Por ejemplo, una entrada TTL de un monitor requiere salida digital desde el panel de presentación, no analógica.

### BIOS. (Basic Input Output System).

Sistema básico de entrada y salida. Conjunto de rutinas de software que contienen las instrucciones detalladas para activar los periféricos conectados a la computadora. En las computadoras personales IBM, el BIOS reside en el chip de memoria de sólo

lectura (ROM) y acepta requerimientos de entrada y salida desde el sistema operativo y desde los programas de aplicación. La rutina de "autoarranque", del BIOS es responsable de probar la memoria en el arranque, y de la preparación de la computadora para operar. Busca los componentes del BIOS alojados en las tarjetas insertadas, e inicializa los punteros (vectores de interrupción) en la memoria principal para acceder a ellos. El BIOS en una máquina compatible debe inicializar la computadora exactamente de la misma manera que en una IBM PC.

AFM. (Atomic Force Microscope).

Microscopio de fuerza atómica.

NFM. (Near Fiel Microscope).

Microscopio de Campo Cercano.

## APENDICE 1.

### LISTADOS DE PROGRAMAS FUENTE.

#### Programa control.cpp

```
//control.cpp

#include <stdio.h>
#include <dos.h>
#include <math.h>
#include <time.h>
#include <stdlib.h>
#include <graphics.h>
#include <conio.h>

#include "2.h"
#include "util.h"
#include "micros~1.h"
#include "point.h"

char bgipath[]="c:\\progra~1\\tc\\bgi";

struct PTS {
    int x, y;
};

//#include "point.h"
//#include <graphics.h>

Location::Location(int InitX, int InitY) {
    X = InitX;
    Y = InitY;
};

int Location::GetX(void) {
    return X;
};

int Location::GetY(void) {
    return Y;
};

Point::Point(int InitX, int InitY) : Location(InitX,InitY) {
    Visible = false;          // make invisible by default
};

void Point::Show(void) {
```

```

    Visible = true;
    putpixel(X, Y, getcolor());    // uses default color
};

void Point::Hide(void) {
    Visible = false;
    putpixel(X, Y, getbkcolor()); // uses background color to erase
};

Boolean Point::IsVisible(void) {
    return Visible;
};

void Point::MoveTo(int NewX, int NewY) {
    Hide();    // make current point invisible
    X = NewX;    // change X and Y coordinates to new location
    Y = NewY;
    Show();    // show point at new location
};

char guf[] = "";
char add[] = " ";
char dd[] = "";

float Funcion(int result)
{
    return result*.0042105;
} // Linealizacion de datos.

void Delay(int periodo_movimiento)
{
    for( e=1; e<periodo_movimiento+1 ; e++)
        for( f=1 ; f<14000 ; f++);
} // utilizo el reloj de la maquina.

void Mover(int Puerto, int Cual,int Dir,int Quien,int periodo_movimiento)
{
    (Dir)? ( data_ctrl = data_ctrl & (~Cual)) : (data_ctrl = data_ctrl | Cual);
    data_ctrl = data_ctrl | Quien;
    outportb(Puerto, data_ctrl);
    Delay(periodo_movimiento);
    data_ctrl = data_ctrl & (~Quien);
    outportb(Puerto, data_ctrl);
    Delay(periodo_movimiento);
} // Cual : Elijo motor; Dir : Direccion ; Quien : Direccion del Ck.

void barrido(int puerto, int paso_intervalo, int numero_intervalo,

```

```

int periodo_movimiento1,int tiempo_detector,int escala)
{
periodo_movimiento = periodo_movimiento1;

int graphdriver = DETECT, graphmode;
initgraph(&graphdriver, &graphmode,bgipath);
setcolor(10);

float *M = new float[numero_intervalo];
PutPixelDemo();
cleardevice();
menu();
FILE *stream;
setcolor(YELLOW);

itoa(paso_intervalo, guf, 10);
outtextxy(42, 270, "Pasos por intervalo");
outtextxy(250, 270, guf);

itoa(numero_intervalo, guf, 10);
outtextxy(42, 320, "Número de intervalos");
outtextxy(250, 320, guf);

itoa(periodo_movimiento,guf,10);
outtextxy(42, 370, "Periodo de movimiento");
outtextxy(250, 370, guf);

itoa(tiempo_detector, guf, 10);
outtextxy(42, 420, "Tiempo de integración");
outtextxy(280, 420, "ms");
outtextxy(250, 420, guf);

stream = fopen("\\CURVAS~1.DAT", "w+");
fprintf(stream, "\n%s\n", string1);
fprintf(stream, "%s\n", string2);
fprintf(stream, "Parametros de barrido\n");
fprintf(stream, "Milímetros/Intervalo: %.2f\n", paso_intervalo*0.2115);
fprintf(stream, "No. Intervalos: %d\n", numero_intervalo);
fprintf(stream, "Periodo por pasos del Motor: %d \n", periodo_movimiento);
fprintf(stream, "Tiempo de integración del Sensor: %d\n", tiempo_detector);
fprintf(stream, "Puerto usado: %X\n", puerto);
time_t t;
t = time(NULL);
fprintf(stream, "Fecha Actual: %s\n", ctime(&t));
int g=0;
x = 0.000 ;
float why = numero_intervalo; // * ojo, es necesario hacer este
// cambio de variable, ya que de lo contrario no corre el contador.
setcolor(WHITE);
for ( k=1 ; k<(numero_intervalo+1) ; ++k) // barrido en +y
{
    g += 1;
    for ( h=1 ; h<(paso_intervalo+1) ; ++h)

```

```

        Mover(Control_Port, 0x01, 0x1, 0x02, periodo_movimiento); // incremento
    delay(tiempo_detector);
    result = inportb(0x378);
    fprintf(stream, "%f \t %f\n", k*0.2115, escala*Funcion(result));
    M[g-1] = ~result;
    x += 620/why; // revise la nota anterior.
    Point APoint(7 + ceil(x), ~result*.74218 + 200);
    APoint.Show();
    if(kbhit() != NULL)
    {
        for (n=1 ; n < ((k*paso_intervalo) + 1) ; ++n)
            Mover(Control_Port, 0x01, 0x0, 0x02, periodo_movimiento); // regreso
        goto Salida;
    } // opcion de abortar
}
for (n=1 ; n < ((numero_intervalo*paso_intervalo) + 1) ; ++n)
    Mover(Control_Port, 0x01, 0x0, 0x02, periodo_movimiento); // regreso en -y
sound(3000);
delay(1000);
nosound();
Salida: // opcion de abortar
fclose(stream);
getch();
cleardevice();
x = 0;
Estilo();
setcolor(WHITE);
for(int a=0 ; a < g ; a++)
{
    x += 600/why ;
    Point BPoint(14 + ceil(x), M[a]*1.5625 + 451);
    BPoint.Show();
    delay(1);
}
getche();
cleardevice();
CircleDemo();
setcolor(10);
closegraph();
}

void menu()
{
    int x = 638, y = 470;
    rectangle(0, 0, x, y);
    line(x/2, y/2, x/2, y);
    line(0, y/2, x, y/2);
}

void Estilo()
{

```

```

setlinestyle(USERBIT_LINE, 1, 1);
setcolor(12);
for (int f=1 ; f < 10 ; f++) line(10 ,f*50, 628, f*50);
setcolor(13);
for (int k=0 ; k < 15 ; k++) line(k*50, 10, k*50, 470);
setcolor(10);
setlinestyle(SOLID_LINE, 1, 1);
rectangle(0, 0, getmaxx(), getmaxy());
}

```

```

void PutPixelDemo(void)
{
    int i, x, y, h, w, color, seed = 1979;
    struct viewporttype vp;
    getviewsettings( &vp );
    h = vp.bottom - vp.top;
    w = vp.right - vp.left;
    srand( seed );
    for(i=0 ; i < 14000 ; ++i)    // Número de píxeles a dibujar
    {
        x = 1 + random(w - 1);
        y = 1 + random(h - 1);
        color = random(MAXCOLORS);
        putpixel(x, y, color);
        for(int t=0 ; t < 4000 ; t++);
    }

    srand( seed );
    for(i=0 ; i < 14000 ; ++i)
    {
        x = 1 + random(w - 1);
        y = 1 + random(h - 1);
        color = getpixel(x, y);
        if(color == random(MAXCOLORS)) putpixel(x, y, 0);
    }
}

```

```

void CircleDemo(void)
{
    int mradius;
    mradius = getmaxy() / 10;
    for( int t=0 ; t < 1400 ; t++)
    {
        setcolor( random( MAXCOLORS - 1 ) + 1 );
        circle( random(getmaxx()), random(getmaxy()), random(mradius) );
    }
}

```

