

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

14  
2ej.

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS  
PARA UN ESPECTROFOTOMETRO

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
F I S I C O  
PRESENTA

CERVANTES FRANCO ALEJANDRO

DIRECTOR DE TESIS  
FIS. ANGEL ARTURO NOGUEIRA JIMENEZ

CD. UNIVERSITARIA, MEXICO, D.F., AGOSTO DE 1993

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INDICE

Introducción . . . . .	1
Capítulo 1 La instrumentación espectrofotométrica. .	2
1.1. Antecedentes . . . . .	2
1.1.1. Revisión general . . . . .	3
1.2. El monocromador. . . . .	4
1.2.1. Las rejillas de difracción . . . . .	6
1.3. Los detectores . . . . .	12
1.3.1. El fotomultiplicador . . . . .	13
1.3.2. El OMA . . . . .	14
1.4. El fotómetro . . . . .	15
1.5. El motor de pasos. . . . .	15
1.5.1. Generalidades. . . . .	15
1.5.2. Los principios de operación. . . . .	17
1.5.3. Características básicas del motor de pasos	19
1.5.3.1. Características de velocidad y torca . .	19
1.5.3.2. Características de ángulo y torca. . . .	20
1.6. La adquisición de datos. . . . .	21
Capítulo 2 El diseño y construcción del	
Sistema Espectrofotométrico Automatizado . .	23
2.1. Las consideraciones de diseño. . . . .	23
2.2. Los acoplamientos mecánicos y el ensamblado.	24
2.2.1. Las partes mecánicas . . . . .	24
2.2.2. El ensamblado. . . . .	26
2.3. Programas para operación y	
tratamiento estadístico . . . . .	27
2.3.1. El excitador del motor . . . . .	27
2.3.2. El control del motor de pasos. . . . .	27
2.3.3. La detección de la intensidad luminosa . .	28
2.3.4. El procesamiento de datos. . . . .	28
2.3.5. La integración del sistema . . . . .	29

2.3.5. La integración del sistema . . . . .	29
2.3.5.1. La presentación. . . . .	29
2.3.5.2. El gráficado . . . . .	29
<b>Capítulo 3 Algunas aplicaciones y los resultados . .</b>	<b>31</b>
3.1. La irradiación de muestras de tejido humano.	31
3.2. La caracterización del vapores de metales. .	31
3.3. Resultados . . . . .	32
<b>Conclusiones . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>Apendices</b>	
A.- Especificaciones del motor de pasos . . . . .	38
B.- Especificaciones de la tarjeta de entrada y salida de datos con diagrama de bloques . . . . .	39
C.- Listados de programas . . . . .	41
<b>Gráficas . . . . .</b>	<b>50</b>
<b>Bibliografía . . . . .</b>	<b>52</b>

## INTRODUCCION

La espectroscopia es una técnica usada para caracterizar la radiación óptica de los materiales. Un instrumento básico y de gran utilidad para el desarrollo de esta técnica es el *monocromador*, por medio de este se pueden realizar análisis espectrales de las muestras. También es importante el tipo de los detectores con los cuales se realizan las mediciones de las muestras de interés, ya que de ello depende la confiabilidad de los resultados de éstas medidas. Un detector útil por sus características para espectroscopia es el *fotomultiplicador*, que es capaz de aumentar la señal de entrada por efectos de cascada de los electrones, lo cual es una ventaja cuando se trabaja con pocos fotones.

En este trabajo se integraron instrumentos utilizados comunmente en los laboratorios de óptica, tales como un monocromador, un fotomultiplicador, una computadora tipo PC, etc, con el fin de facilitar la operación, mediante un sistema automático con el cual se opera un monocromador, con que cuenta el laboratorio, el cual se usaba en forma manual, así mismo se automatizó la parte de la detección a la salida del fotomultiplicador y se realizaron pruebas de laboratorio bajo el actual sistema. Por medio de una tarjeta de adquisición de datos, que controla el movimiento de un motor de pasos y captura la señal de salida del detector, proporcional a la intensidad luminosa de entrada del sistema. Con lo anterior podemos obtener a través del procesamiento de datos las curvas de absorción, transmisión, fluorescencia, etc.

El texto se completa con una serie de Apéndices, Gráficas y Referencias.

## CAPITULO 1 INSTRUMENTACION

### 1.1.-LOS ANTECEDENTES

Un espectrofotómetro es un instrumento para medir la razón entre dos concentraciones espectrales de una cantidad radiométrica con la misma longitud de onda.

Cuando un material es irradiado por energía óptica radiante, una porción de la energía incidente es reflejada, otra es absorbida, y un tercera porción es transmitida. Esta acción puede ser descrita por varias propiedades del material (espectrales, fotométricas, estructurales, y ópticas). Las propiedades de materiales fluorescentes son generalmente descritas como las de los materiales no-fluorescentes, aún que los primeros se comportan como fuentes primarias para la porción de energía radiante que es generada por fluorescencia. Las propiedades fotométricas no son propiedades específicas propias de un material sino que dependen de otros parámetros tales como la presión o la temperatura.

En general las propiedades ópticas de los materiales dependen de los siguientes factores: la composición espectral de la energía radiante, el estado de polarización (la energía reflejada o transmitida es usualmente polarizada parcialmente si la energía incidente es no-polarizada), el ángulo de incidencia y el ángulo de observación, el grosor de la muestra, la temperatura, el estado de la superficie, etc.

La espectroscopía es el término comunmente usado para referir a la mezcla de técnicas para la medición generalizada de espectros electromagnéticos por medio de las interacción de una fuente de irradiancia y una muestra de material bajo condiciones de

laboratorio. Para simplificar algunas veces se usa el termino "luz" en lugar de energía radiante electromagnética. La luz es energía radiante evaluada de acuerdo a su capacidad de producir una sensación visual en el hombre, en estos términos es comúnmente usada en fotometría.

Un análisis espectrofotométrico siempre relaciona la medida de la amplitud (intensidad) y la medida de la energía (frecuencia).

La interacción de la luz con la materia produce dos tipos de espectros en el rango espectral electromagnético: espectros de emisión y espectros de absorción.

### 1.1.1.-Revisión general

Los análisis espectrofotométricos tiene dos metas distintas:

(1) determinar la cantidad de energía radiante electromagnética absorbida por la muestra;

(2) determinar la modificación impuesta por la muestra en un flujo de energía radiante dado.

En aplicaciones prácticas, analíticas, fotoquímicas, y fotofísicas, la determinación de la absorción es normalmente importante. Y cuando el interes esta en selectividad espectral, atenuación y evaluación del color, y apariencia de materiales la segunda meta adquiere importancia.

Convencionalmente la espectrofotometría no mide la absorción directamente, ésta debe ser determinada de cantidades que son experimentalmente observables.

La técnica más reciente, basada en los efectos calorimétricos de la absorción, ofrece una medida directa de la energía radiante absorbida por una muestra. Estas nuevas técnicas son opto-acústicas y termo-ópticas que estan surgiendo como nuevas técnicas espectrofotométricas. Estas técnicas validas en principio, no han sido suficientemente desarrolladas y no son en el presente de uso práctico en espectrofotometría.

## 1.2.-EL MONOCROMADOR

Un monocromador es un instrumento utilizado en óptica para análisis espectral de muestras con el principio de la descomposición de la luz incidente en sus distintas longitudes de onda por medio de una rejilla de difracción, usando un sistema óptico de enfoque y un mecanismo que asocia un ángulo de incidencia de la luz en la rejilla con la longitud de onda de salida.

El principio de funcionamiento de un monocromador es el siguiente, Ver Fig. 1.1.

La luz que incide en la rendija de entrada  $S_1$  se dirige hacia el primer espejo parabólico  $M_1$  posicionado en la superficie de un parabola de revolución con una distancia focal igual a su distancia a la rendija. La luz es dirigida hacia el foco de la parabola donde se encuentra la rejilla de difracción  $D$ , y al reflejarse separa la luz en sus distintos ordenes, de tal forma que uno de estos ordenes incide sobre el segundo espejo parabólico  $M_2$  que refleja y enfoca la luz en la rendija de salida  $S_2$  colocada a la distancia focal del espejo  $M_2$  que es igual a la de  $M_1$ .

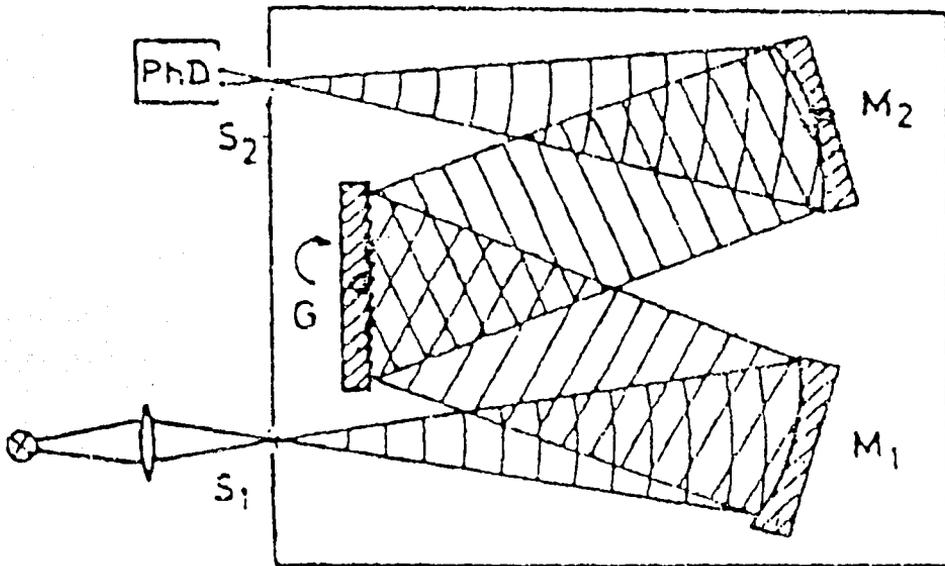


Fig. 1.1.- Espectrómetro de rejilla

El poder de resolución de un monocromador depende tanto de la rejilla de difracción como de la distancia focal de los espejos. Una rejilla con mayor número de canales por milímetro da más dispersión angular y mientras los espejos tengan más distancia focal tenemos más dispersión lineal.

El monocromador utilizado para el desarrollo del espectrofotómetro fue un monocromador con arreglo Ebert-Fastie marca Acton, modelo AM-505 que tiene una distancia focal de los espejos de 50 cm, y que además cuenta con una rejilla de difracción de 1200 líneas/mm que puede ser intercambiada por algunas otras, en particular una de 150 líneas/mm, con la que se cuenta en el laboratorio.

### 1.2.1.-Las rejillas de difracción

Una rejilla de difracción es un dispositivo óptico con la característica de descomponer espectralmente la luz que incide en ella. Es una superficie plana con un grabado de canales paralelos los cuales son realizados en un sustrato de vidrio ópticamente plano o producidos por técnicas holográficas. Toda la superficie de la rejilla es revestida con una capa altamente reflejante (película metálica o dieléctrica).

Si los canales de la rejilla, son iluminados coherentemente, puede ser considerados como pequeñas fuentes luminosas, cada una de las cuales difracta la luz incidente en el pequeño canal con un ancho aproximado de la longitud de onda  $\lambda$ , dentro del rango de ángulos  $\beta$  alrededor de la dirección de difracción geométrica. El total de la luz reflejada consiste en una superposición de todas las contribuciones parciales. Solamente en aquellas direcciones donde todas las ondas parciales, emitidas de los diferentes canales, esten en fase provocarán interferencia constructiva en la intensidad total, mientras en todas las otras direcciones las diferentes contribuciones son canceladas por interferencia destructiva.

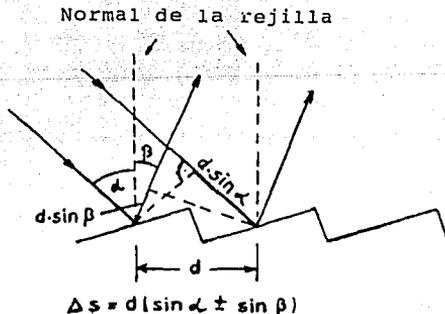


Fig. 1.2.-Ilustración de la Ec. de la rejilla

La Figura 1.2 muestra un rayo de luz paralela incidiendo dentro de dos canales adyacentes. A un ángulo de incidencia  $\alpha$  a la normal de la sierra ( el cual es normal a la superficie plana posterior del sustrato, pero no necesariamente a los canales ), se obtiene interferencia constructiva para esas direcciones  $\beta$  de la luz reflejada para las cuales

$$d ( \operatorname{sen}\alpha \pm \operatorname{sen}\beta ) = m\lambda \quad (1)$$

el signo positivo se toma si  $\beta$  y  $\alpha$  estan en el mismo lado de la normal, en otro caso se usa el signo menos, tal es el caso que se muestra en la Figura 1.2.

Examinaremos ahora la distribución  $I(\beta)$  de la luz reflejada, cuando una onda de luz monocromatica incide dentro del rejilla. Para incidencia normal de la onda plana (  $\alpha = 0$  )

$$E = A e^{i(\omega t - kz)} \quad (2)$$

la diferencia de trayectoria entre la onda parcial reflejada por los canales adyacentes es  $\Delta S = d \operatorname{sen}\beta$ , la diferencia de fase correspondiente es

$$\delta = ( 2\pi d \operatorname{sen}\beta ) / \lambda \quad (3)$$

La superposición de las amplitudes reflectadas para los N canales en la dirección  $\beta$  da el total de la amplitud reflectada

$$A_R = \sqrt{R} \sum_{m=0}^N A_g e^{-im\delta} = \sqrt{R} A_g \frac{1 - e^{-iN\delta}}{1 - e^{-i\delta}} \quad (4)$$

donde  $R(\beta)$  es la reflectividad de la rejilla, la cual depende del ángulo de reflexión  $\beta$ , y  $A_g$  es la amplitud de la onda parcial incidente dentro de cada canal, porque la intensidad de la onda reflejada es relacionada con su amplitud por  $I_R = \epsilon_0 c A_R A_R^*$ , encontramos de la Ec. ( 4 )

$$I_R = r I_0 \frac{\text{sen}^2(N\delta/2)}{\text{sen}^2(\delta/2)} \quad \text{con} \quad I_0 = c \epsilon_0 A_g A_g^* \quad (5)$$

La distribución de intensidades se muestra en la Figura 1.3 para dos distintos valores del número total de canales  $N$ . El máximo principal ocurre para  $\delta = 2m\pi$  y sustituyendo en ( 1 ) obtenemos:

$$d \text{sen}\beta = m\lambda \quad (6)$$

Esta es la ecuación de la rejilla ( 1 ) para el caso especial  $\alpha = 0$  y significa que la diferencia de trayectoria entre el rayo parcial de canales adyacentes es un múltiplo entero de la longitud de onda. El entero  $m$  es llamado el orden de interferencia. La función ( 5 ) tiene  $(N-1)$  mínimos con  $I_R = 0$  entre dos máximos principales sucesivos. Estos ocurren para valores de  $\delta$  para los cuales  $N\delta/2 = L\pi$ ,  $L = 1, 2 \dots N-1$ , y significa que para cada canal de la rejilla otro puede ser encontrado, que emite luz hacia la dirección  $\beta$  con un cambio de fase  $\pi$ , tal que todas las parejas de ondas parciales se cancelan.

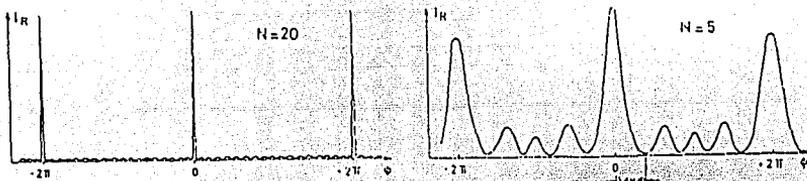


Fig. 1.3.-Distribución de intensidades  $I(\beta)$  para dos números de canales

La intensidad de los  $N-2$  pequeños máximos, que son causados por la interferencia destructiva incompleta, decrece proporcionalmente a  $1/N$  con el incremento del número de canales  $N$ . La Fig. 1.3 muestra que para la rejilla usada en espectroscopia, la intensidad reflejada  $I_R(\lambda)$  para una longitud de onda dada, tiene un máximo bien definido constante en toda la area de la rejilla.

La reflectividad  $R(\beta, \theta)$  de una rejilla reglada depende de la pendiente  $\theta$  de los canales. Si el ángulo de difracción  $\beta$  coincide con el ángulo  $r$  de reflexión especular de la superficie de los canales (ver Figura 4),  $R(\beta, \theta)$  alcanza su valor óptimo, que depende de la reflectividad del recubrimiento de los canales. De la Fig. 4 se infiere que en el caso de reflexión especular,  $i = r$ , con  $i = \alpha - \theta$  y  $r = \theta + \beta$ , la condición para el ángulo  $\theta$ ,

$$\theta = (\alpha - \beta) / 2 \quad (7)$$

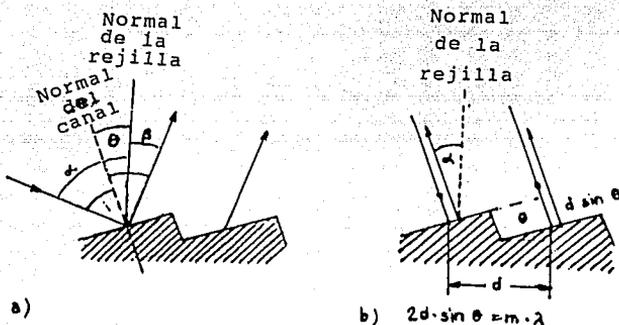


Fig. 1.4.- Ilustración del ángulo blaze

Porque en la difracción de cada onda parcial en un rango angular grande la reflexión  $R(\beta)$  no tendrá un máximo pronunciado a  $\beta = \alpha - 2\theta$ , pero mostrará una distribución ancha alrededor de este ángulo óptimo. El ángulo de incidencia  $\alpha$  es determinado por la construcción particular del monocromador y el ángulo  $\beta$  para el cual ocurre la interferencia constructiva depende de la longitud de onda  $\lambda$ . Por lo tanto el ángulo  $\theta$  será especificado por el rango espectral y el tipo de monocromador.

Comunmente es una ventaja usar el monocromador en el segundo orden ( $m = 2$ ), que incrementa la resolución espectral en un factor 2 sin disminuir mucho la intensidad, si el ángulo  $\theta$  es elegido correctamente para satisfacer las Ecs. (1) y (7) con  $m = 2$ .

El perfil  $I(\beta)$  del máximo principal de orden  $m$  puede ser derivado de la Ec. 5 con la sustitución de  $\beta = \beta_0 + \epsilon$ . Porque para un  $N$  grande  $I(\beta)$  es agudamente centrado alrededor de  $\beta_0$ , podemos asumir que  $\epsilon \ll \beta_0$ . Con la relación

$$\text{sen}(\beta_0 + \epsilon) = \text{sen}\beta_0 \cos\epsilon + \cos\beta_0 \text{sen}\epsilon \approx \text{sen}\beta_0 + \epsilon \cos\beta_0,$$

obtenemos de (3) con  $(2\lambda d/\lambda) \text{sen}\beta_0 = 2m\pi$

$$\delta = 2m\pi + 2\pi(d/\lambda)\epsilon \cos\beta_0,$$

y de (5) obtenemos, para  $\epsilon \ll 1$ ,

$$I_R = RI_0 N^2 \frac{\text{sen}^2(N\delta/2)}{(N\delta/2)^2} \quad (8)$$

con  $N \delta/2 = \pi N(d/\lambda)\epsilon \cos\beta_0$ . Los primeros dos máximos de ambos lados del máximo central a  $\beta_0$  son para  $N\delta = \pm 2\pi \Rightarrow \epsilon_{1,2} = \pm \lambda/(Nd \cos\beta_0)$ . El máximo central de  $m$ -ésimo orden tiene, por lo consiguiente, un perfil como la Ec. 8 con una base de anchura media  $\Delta\beta = \lambda/(Nd \cos\beta_0)$ . Este corresponde a un patrón de difracción producido por un apertura con anchura  $b = Nd \cos\beta_0$ , que es precisamente el tamaño de toda la rejilla proyectada en una dirección normal a  $\beta_0$ .

Diferenciando la Ec. (1) respecto a  $\lambda$  obtenemos, para un ángulo dado  $\alpha$ , la dispersión angular

$$d\beta/d\lambda = m/(d \cos\beta) \quad (9)$$

Sustituyendo de (1)  $(m/d) = (\text{sen}\alpha \pm \text{sen}\beta)/\lambda$ , encontramos

$$d\beta/d\lambda = \frac{\text{sen}\alpha \pm \text{sen}\beta}{\lambda \cos\beta} \quad (10)$$

El poder de resolución puede ser derivado inmediatamente de la Ec. 10 y el ancho base  $\Delta\beta = \lambda/(Nd \cos\beta)$  del máximo de difracción principal de la Ec. 8. Si aplicamos el criterio de Rayleigh que dos líneas  $\lambda$  y  $\lambda + \Delta\lambda$  son resueltas cuando el máximo  $I(\lambda)$  cae dentro del mínimo adyacente por  $I(\lambda + \Delta\lambda)$ . Uno obtiene para la condición  $(d\beta/d\lambda) = \lambda/(Nd \cos\beta)$ ,

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{Nd(\sin\alpha \pm \sin\beta)}{\lambda} \quad (11)$$

el cual se reduce con ( 1 ) a

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN \quad (12)$$

El poder de resolución teórico es el producto del orden de difracción  $m$  con el número total de canales  $N$ .

Un diseño espectral es el comunmente llamado rejilla "echelle", la cual tiene unos canales anchos formando peldaños con ángulos pequeños (ver Figura 5). La luz incide normalmente al lado pequeño de los canales.

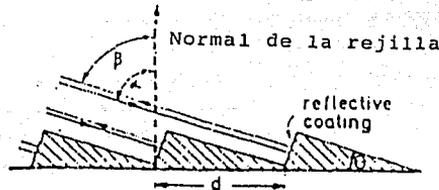


Fig. 1.5.-Rejilla "echelle"

La diferencia de trayectorias entre dos rayos parciales reflectados, incidentes en dos canales adyacentes con un ángulo de incidencia  $\alpha = 90^\circ - \theta$  es  $\Delta S = 2d \cos\theta$  y de la ecuación de la rejilla ( 1 ) se obtiene para el ángulo  $\beta$  del  $m$ -ésimo orden de difracción

$$d(\cos\theta + \sin\beta) = m\lambda, \quad (13)$$

donde  $\beta$  esta limitado a  $\alpha = 90^\circ - \theta$ .

Con  $d \gg \lambda$  la rejilla es usada en un orden grande (  $10 < m < 100$  ) y el poder de resolución de acuerdo a la Ec. 12 es alto. Por la distancia  $d$  entre los canales, la precisión relativa del reglado es más alta y rejillas largas ( arriba de 30cm ) pueden ser regladas. Una desventaja del arreglo "echelle" es el pequeño rango espectral  $\delta\lambda = \lambda/m$  entre ordenes de difracción sucesivos.

Desviaciones diminutas de la distancia  $d$  entre canales adyacentes, causadas por inexactitudes durante el proceso de reglado, pueden resultar en interferencia constructiva de parte de la rejilla para longitudes de onda "erroneas". Tal máximo no-deseado, que ocurre para un ángulo de incidencia dado en direcciones "erroneas"  $\beta$ , son llamados *fantasmas de rejilla*. Aunque la intensidad de estos fantasmas es generalmente muy pequeña, si la radiación incidente intensa a una longitud de onda  $\lambda_i$  puede causar fantasmas con intensidades comparables a estas de otras líneas débiles en el espectro. Este problema es particularmente serio en espectroscopia láser donde la luz intensa, en la longitud de onda del láser, que es dispersada por las paredes de celdas o ventanas, alcanza la rendija de entrada del monocromador.

Resumiendo, encontramos que la rejilla actúa como un espejo selector de longitudes de onda, reflejando la luz de una longitud de onda dada solamente en una dirección definida  $\beta_m$ , llamada el  $m$ -ésimo orden de difracción, que está definido por la Ec. 8. El perfil de intensidades de un orden de difracción corresponde al perfil de difracción de una línea con anchura  $b = Nd \cos \beta_m$  representando el tamaño de la proyección de toda la rejilla como vista en la dirección  $\beta_m$ . La resolución espectral está, por lo tanto, limitada por el tamaño efectivo de la rejilla medida en unidades de la longitud de onda. [W. Demtröder, 1982].

### 1.3.-LOS DETECTORES

En el campo de la detección de señales de bajo nivel se han alcanzado grandes progresos en especial con los nuevos fotomultiplicadores que tienen un intervalo de sensibilidad espectral y una eficiencia cuántica (>20%), nuevos instrumentos de detección han sido desarrollados tales como los amplificadores de imagen, los detectores de luz infrarroja o los analizadores multicanal ópticos. Para muchas aplicaciones espectroscópicas estos detectores han sido extremadamente útiles. [Wolfgang Demtröder, 1982].

Los detectores ópticos producen una señal electrónica (corriente o voltaje) en respuesta a la energía radiante.

### 1.3.1.-El fotomultiplicador

Los fotomultiplicadores son detectores que tienen: un cátodo fotoemisor, un sistema de dinodos para la amplificación de la corriente del cátodo y un ánodo que colecta los electrones a la salida del sistema de dinodos, produciendo una salida en forma de corriente del ánodo. La característica más importante del fotomultiplicador es el sistema de dinodos, que consiste de electrodos cubiertos con material especial que proporcionan una emisión secundaria. La emisión secundaria se refiere al hecho de que los electrodos emiten varios electrones "secundarios" después del impacto de un electrón "primario". El número de electrones secundarios emitidos por cada electrón primario incidente depende de la energía cinética de éste electrón primario (voltaje de polarización).

Los fotomultiplicadores son los detectores más sensibles, por ahora, con una área sensible grande y pueden ser usados para contar fotones a razón de 100 fotones por segundo [F. Grum, 1979].

La respuesta espectral del fotocátodo S4 del fotomultiplicador 1P21 utilizado, con una ganancia típica de aproximadamente  $3 \times 10^6$  a  $22^\circ\text{C}$  se muestra en la Gráfica 1.1, donde se puede apreciar que cubre todo el espectro visible y parte del ultravioleta (300-630nm).

El fotomultiplicador produce una salida de corriente proporcional a la intensidad de la luz, la cual es enviada a un fotómetro (Recording Photometer). La lectura de la señal es proporcional al flujo de luz incidente, la señal es desplegada en forma analógica. El fotómetro acepta señales de corriente del fotomultiplicador y muestra la amplitud de la señal en el medidor.

La respuesta del fotomultiplicador depende del voltaje de polarización eléctrica y de la ganancia de operación [Garcés et al, 1992]. La no linealidad a ésta respuesta puede deberse principalmente a:

1. El uso de bajos voltajes de operación y altas corrientes en el ánodo.

2. Si no se irradia toda el área del cátodo, la parte no irradiada actuá como una serie de resistencias, las cuales causan una caída de voltaje. Así que en este caso, la no linealidad es una función del tamaño y la posición del área irradiada.

### 1.3.2.-El OMA

El Analizador Multicanal Optico, "Optical Multichannel Analyzer" (OMA) con que cuenta el LOA es un arreglo de 1024 fotodiodos colocados paralelamente uno respecto al otro y tiene una ventana activa de 2.54 cm. (1"). Las ventajas de estos detectores son su capacidad de monitorear y adquirir simultáneamente en forma digital el espectro de entrada.

El arreglo de fotodiodos lineales de detectores de auto-barrido, "self-scanned photodetector", SPD, ha sido específicamente diseñado con un detector espectrofotométrico paralelo. Un SPD de arreglo lineal de fotodiodos es un circuito integrado de gran escala fabricado sobre un cristal de silicio monolítico simple. Este contiene una fila de fotodiodos de  $25\mu\text{m}$  junto con un circuito de barrido para tener una señal secuencial de salida. Los diodos son restablecidos completamente en tiempos menores a  $1\mu\text{s}$ .

Un espectrómetro multicanal colecta simultáneamente la energía dispersada en un número de canales (diodos) con cierta longitud de onda. La energía de cada canal podrá ser colectada por un elemento detector discreto de un arreglo de detectores.

El detector del sistema OMA (IRY-700s con 700 canales activos) con el que cuenta el Laboratorio de Optica Aplicada (LOA) del Centro de Instrumentos de la UNAM puede operar con radiación continua o pulsada. Tiene un tiempo de entrada ("GATE TIME") mínimo de 50-120 ns. El intervalo dinámico del detector es 16384:1 (14 bits). [OSMA Manual].

#### 1.4.- EL FOTOMETRO

El fotomultiplicador produce una salida de corriente proporcional a la intensidad de la luz incidente. La lectura de la señal de la luz es en forma analógica. EL fotómetro acepta señales de corriente del fotomultiplicador y muestra la amplitud de la señal en el medidor. El medidor tiene tres escalas; las dos primeras son lineales (0-30 y de 0-100). Estas escalas son usadas en transmitancia, fotometría de bajo nivel, medidas de fluorescencia, luminiscencia, etc., la tercera escala es el logaritmo del recíproco de la escala de 0-100 y por lo tanto es una escala de densidad óptica. La sensibilidad del instrumento es tal que cubre 6 intervalos de intensidad en rangos de escala completa. La precisión de las medidas es en las escalas de 100, 30 y 10  $\mu\text{A}$  un error máximo de 0.2% y para 300pA y 100pA el máximo error es de 1.1%. El ruido en las medidas es de aproximadamente 2 pW.

#### 1.5.-MOTOR DE PASOS

##### 1.5.1.-Generalidades

Un motor de pasos es un motor rotatorio con desplazamientos discretos, cuyo avance o retroceso esta caracterizado por un ángulo.

El rotor y estator de un motor de pasos son multidentados donde el rotor esta magnetizado axialmente alrededor de su eje con dos capas de hierro, una en cada orilla del imán. El dentado del estator de hierro esta desplazado medio diente del dentado del rotor. La Fig.1.6 muestra la estructura del rotor y estator del motor de pasos.

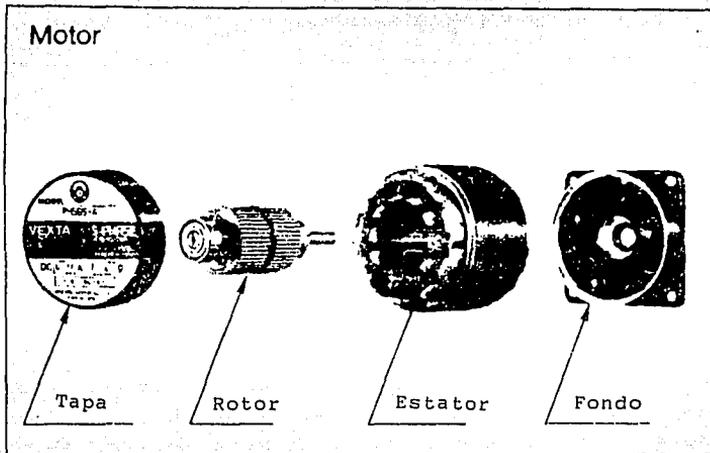


Fig. 1.6.-Estructura del rotor y estator del motor de pasos

El embobinado esta realizado en una configuración de cuadripolo como lo muestra la Fig. 1.7.

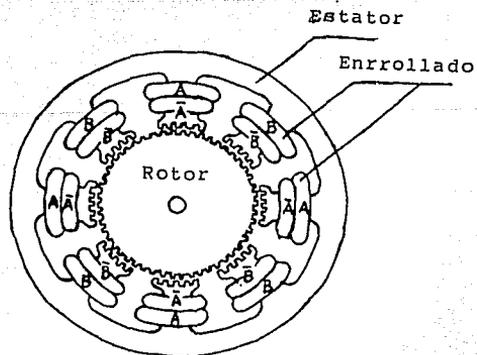
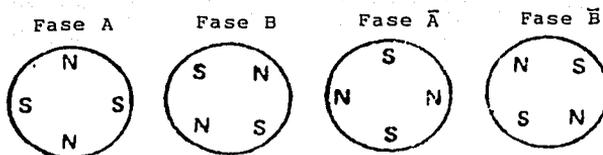


Fig. 1.7.-Apariencia del enrollado y conexiones internas del motor de pasos

La Fig. 1.8 muestra la polaridad del estator cuando cada fase es energizada.



cada fase es energizada.

### 1.5.2.-Principios de operación

La operación del motor de pasos puede ser explicada brevemente en terminos de las fuerzas de atracción y repulsión del iman como lo muestra en un modelo simple la Fig. 1.9.

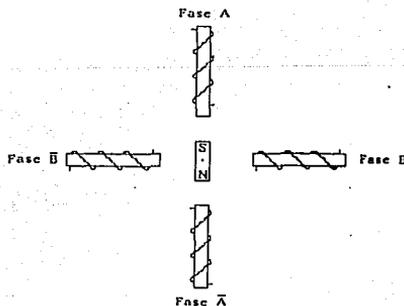


Fig. 1.9. Modelo básico

En la Fig. 1.9, la fase A del estator es magnétizada como el polo Norte y el polo Sur del rotor es tirado alrededor de la fase A, para la fase B es entonces magnétizada como el polo Norte, y cuando el magnétismo de la fase A es negado, el rotor es tirado alrededor  $90^\circ$  en el sentido de las manecillas del reloj atrayendo a la fase B. La fases son de este modo sucesivamente mangnétizadas en el orden A, B,  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ , permitiendole al motor arrancar y parar repetidamente.

Para decrementar el ángulo del paso básico del motor, o lo que es lo mismo, incrementar el número de pasos por rotación, cuatro polos más son sumados, para obtener un motor de pasos de doble fase con una estructura mostrada en la Fig. 1.7.

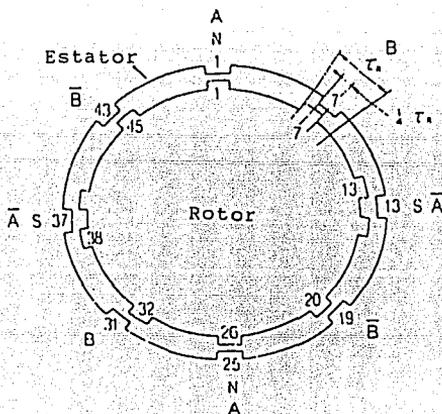


Fig. 1.10.-Relación entre Rotor y Estator

Si el lanzamiento del diente del rotor es  $Tr$ , habra lugares donde el diente del rotor y del estator estan precisamente alineados, lugares donde ellos estaran en localizaciones enteramente diferentes, y donde sus posiciones estaran desviadas por  $1/4 Tr$ . Si la corriente es entonces aplicada a la fase B, las fuerzas de atracción y repulsión entre el polo magnético del embobinado y el polo magnético del imán permanente traera al diente del estator 31 y al diente del rotor 32 con un alineamiento tal que el rotor se mueve en el sentido de las manecillas del reloj una distancia igual

a  $1/4 T_r$  ( $1.8^\circ$ ) y para cuando la corriente enciende sucesivamente entre las fases en secuencia A, B,  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$  y A, el rotor rota en el sentido de las manecillas de reloj; cuando la corriente enciende sucesivamente entre las fases A,  $\bar{B}$ ,  $\bar{A}$ , B, y A, el rotor rota en el sentido apuesto a las manecillas del reloj.

### 1.5.3.-Características básicas del motor de pasos

#### 1.5.3.1.-Características de velocidad y torca

La torca máxima en el eje del motor esta dada por  $T_H$ . Esta torca como siempre, existe solamente cuando el motor esta parado. La torca cuando el motor esta operando es como lo muestra la curva de la Fig. 1.11.

La corriente suministrada al embobinado del motor decrece con los incrementos de la velocidad de los pulsos, tal que la torca del motor también decrece. En la figura se muestra la curva de torca máxima; cuando la torca requerida para una frecuencia dada sobrepasa el valor de la torca máxima correspondiente, el motor pierde sincronia y se detiene.

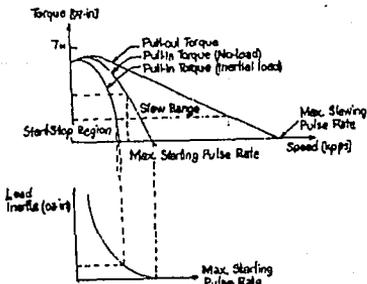


Fig. 1.11.-Características de torca-velocidad

### 1.5.3.2.-Características de velocidad y torca

La característica de torca-ángulo es la relación entre el desplazamiento angular del rotor y la torca aplicada al eje del motor para este desplazamiento angular, cuando el motor es energizado. La curva para estas características es mostrada en la Fig. 1.12.

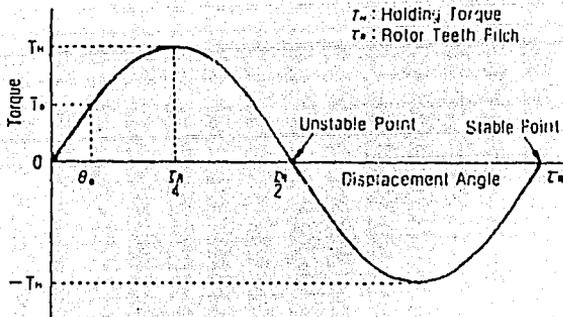


Fig. 1.12.-Características de torca-ángulo

Cuando una fuerza externa produce un desplazamiento angular  $\theta_s$  el motor es balanceado produciendo una torca  $T_a$  en oposición a esta fuerza externa, y si esta fuerza es aplicada gradualmente al punto estable, la torca externa excede la torca máxima  $T_H$ , provocando que el rotor salte sobre el punto inestable al siguiente punto estable.

La curva de características de la torca estática para un motor rotando en pasos de ángulos de  $\theta_s$  es una torca rizada como lo muestra la Fig. 1.13. Los valores en el rizo de la torca son la región de estabilidad máxima. [Oriental Motor General Catalog '92].

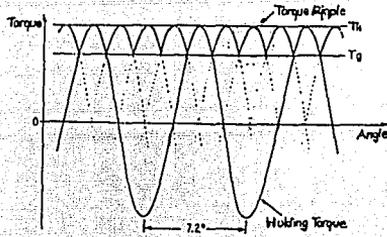


Fig. 1.13.-Rizado de la torca

#### 1.6.-LA ADQUISICION DE DATOS

La tarjeta de adquisición de datos es un circuito compatible con computadoras IBM PC/XT/AT y que se conecta internamente a ésta a través de un puerto en serie y es una LabCard modelo PCL-812PG y la hace ideal para muchas aplicaciones en ambientes industriales y de laboratorio, tales como adquisición de datos, procesos de control, pruebas y fabricación automática. Esta tarjeta tiene las siguientes características:

Tiene 5 conectores, a saber:

- 1ro. 10 convertidores A/D.
- 2do. 6 " A/D, 2 D/A y 2 voltajes de referencia.
- 3ro. 16 salidas digitales, dos tierras y una salida de (+5V +/- 0.05 )V y otra de (+12 +/- 0.10 )V.
- 4to. 16 entradas digitales, dos tierras y una salida de (+5 +/- 0.05 )V y otra de (+12 +/- 0.10 )V.
- 5to. 2 contadores con sus tierras digitales respectivas y una salida de +5V.

[PC-LabCard Used's Manual].

De estos conectores sólo se usaron dos: El número 2 y el 3, del primero se tomo una de los convertidores analógicos-digitales para la adquisición del voltaje analógico de la salida del fotómetro; del segundo tomamos dos bits de la salida digital, uno para controlar la dirección del motor y otro para controlar el número de pasos. Las características generales se pueden ver en el Apéndice B.

La siguiente figura muestra el Angulo de rotación del motor ( $^{\circ}$ ) vs el Cambio en longitud de onda (nm), donde se puede ver que se trata de rectas porque son cambios de 0.02 nm por paso, o partes proporcionales de ese cambio de la longitud de onda.

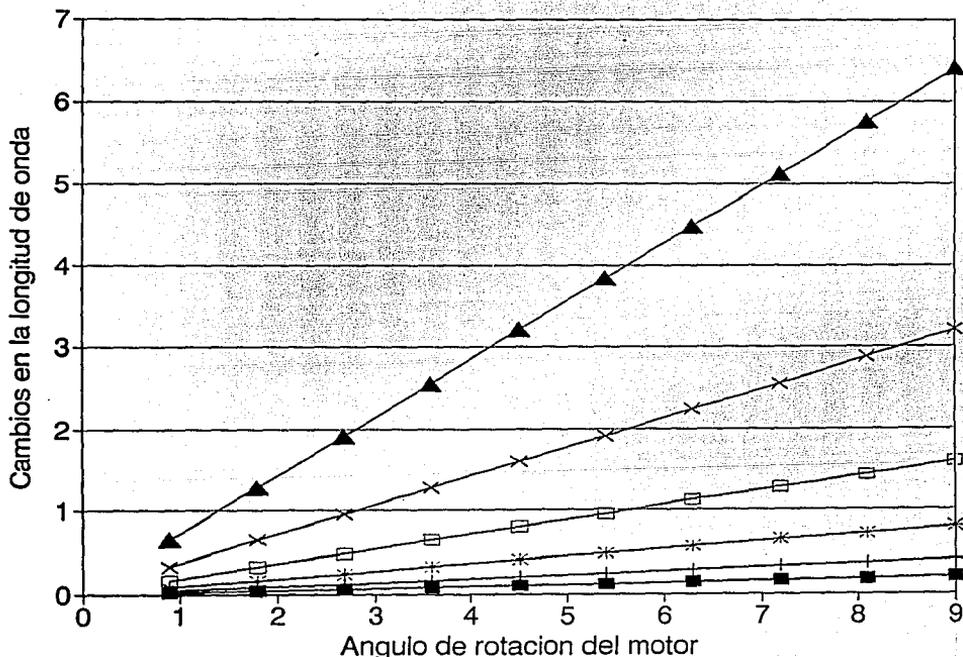


FIGURA QUE REPRESENTA LA LINEALIDAD ENTRE EL ÁNGULO DEL MOTOR Y LOS CAMBIOS EN LA LONGITUD DE ONDA.

## CAPITULO 2 DISEÑO Y CONSTRUCCION

### 2.1.-CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Usualmente, un motor de pasos es un dispositivo para el movimiento de un eje en instrumentos con incrementos, direcciones y velocidades precisas. El conjunto controlador-motor de pasos adecuado para el accionamiento fué el SUPER VEXTA'S UMD de Oriental Motor modelo UMD266-01B, que cumple con las especificaciones requeridas para nuestras necesidades de manejo, basadas en las características mecánicas del monocromador, donde la carga inercial es pequeña ya que se limita al lento deslizamiento angular de la rejilla.

El motor de pasos seleccionado tiene dos opciones de operación, una que es de 1.8 grados y otra de .9 grados por paso, con lo cuál obtenemos 200 y 400 pasos por vuelta respectivamente. El monocromador tiene una resolución máxima de .03 nm para una rejilla de 1200 líneas/mm según características del fabricante, y su perilla de posicionamiento da 2 nm por vuelta, el monocromador tiene un eje de accionamiento para motor con reducción 4:1 lo que resulta 8 nm por vuelta, con lo cual se obtiene una resolución de 0.04 nm para el modo de 200 pasos y .02 para el de 400 pasos con lo que se garantiza el manejo del monocromador en su máxima resolución para la segunda opción del motor que es la utilizada.

## 2.2.-LOS ACOPLAMIENTOS MECANICOS Y EL ENSAMBLADO

Los acoplamiento mecánicos del sistema fueron diseñados bajo consideraciones de un ensamblado sin modificar o perforar el monocromador, para conservar en lo posible sus características de operación. Estos acoplamiento fueron manufacturados por el personal del Taller Mecánico del Centro de Instrumentos.

### 2.2.1.-LAS PARTES MECANICAS

La Figura 2.1 muestra el tornillo sin fin del monocromador

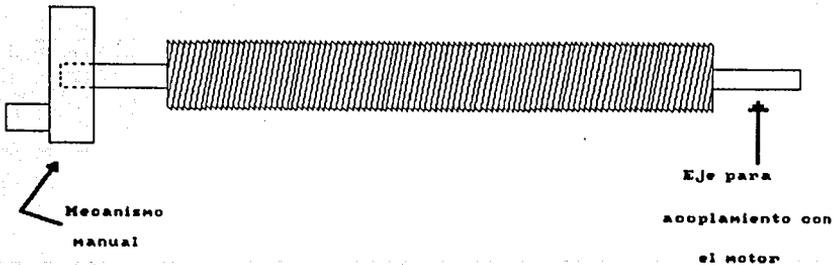


Fig. 2.1.-Tornillo sin fin

en esta figura se observan los extremos del tornillo sin fin, en el izquierdo se ve el acoplamiento que tiene éste con el sistema manual; en el otro extremo se hizo el acoplamiento al motor.

Se diseñó un cople entre el eje del motor y el tornillo sin fin, como se muestra en la Fig. 2.2.

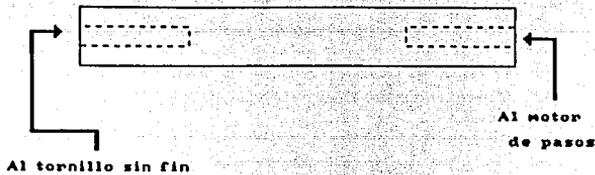


Fig. 2.2.-Cople

Se procuro un diseño eficiente, pero que no degradara la calidad del monocromador en cuanto a sus partes originales, por lo tanto se desarrollo el acoplamiento de la Fig. 2.4.

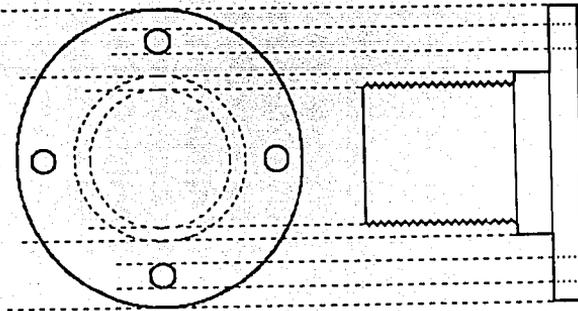


Fig. 2.4.-Acoplamiento para el motor

esta parte mecánica soluciono el problema del acoplamiento sin perforar el monocromador, pues como se ve, su parte plana y tuerca presionan la pared del monocromador, y por otro lado la misma parte plana sirve como soporte al motor por medio de sus perforaciones para tornillos. Una rondana y una tuerca comerciales concluyen el acoplador como se ve en la Figura 2.5.

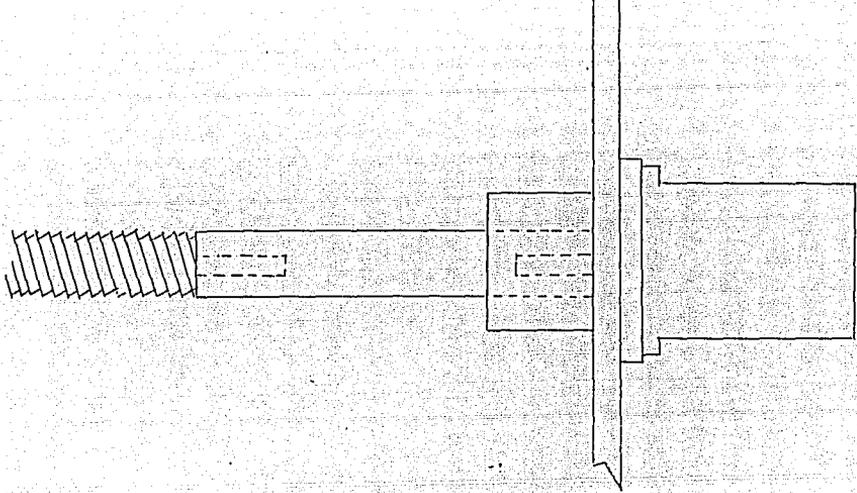


Fig. 2.5.-Acoplamiento final

### 2.2.2.-EL ENSAMBLADO

Teniendo ya los acoplamientos mecánicos, el ensamblado fué sólo cuestión de ajustar los prisioneros del cople del eje, posicionar el acoplamiento para la pared del monocromador con su rondana y su tuerca, y presionar los tornillos que sostienen al motor sobre el acoplador.

En este diagrama se observa la luz incidente interactuando con la muestra y despues la luz reflejada o transmitida es llevada a través de un sistema fibras ópticas a la rendija de entrada del monocromador, ya posicionado por el motor de pasos que es manejado por la PC a través de su controlador. Por otro lado, la luz de salida en el monocromador es amplificada por el fotomultiplicador y esta señal entra al convertidor analógico-digital de la tarjeta de control y por último se maneja la información con programación para obtener gráficas de longitud de onda contra intensidad tanto en tiempo real como posterior trabajo en la computadora.

### 2.3.-LOS PROGRAMAS PARA OPERACION Y DE TRATAMIENTO ESTADISTICO

Cuando se define el diseño para automatizar el monocromador se selecciona también una forma de programar, en especial el lenguaje de programación a utilizar. Por ser el Turbo Pascal un lenguaje estructurado y de uso generalizado la programación se llevo a cabo en éste, aunque la conversión a otros lenguajes no es complicada.

#### 2.3.1.-El excitador del motor de pasos

El excitador del motor de pasos es un dispositivo electrónico que alimenta las 4 fases del motor, para producir un paso de avance o retroceso. El procedimiento de operación consiste en una entrada digital que controla el paso por medio de la transición de caída del pulso donde la dirección la caracteriza el estado de la otra entrada (0 en dirección de las manecillas del reloj, 1 la en dirección contraria). De esta forma podemos posicionar el motor en cualquier punto que sea multiplo del paso.

#### 2.3.2.-El control del motor de pasos

Para el control del motor de pasos lo importante es la forma en la que se escribe en la salida digital (O/D) de la tarjeta de adquisición de datos, que en nuestro caso es de 16 bits. Utilizando para este fin unicamente dos de 16, el primero para el paso y segundo para la dirección. La salida digital de la tarjeta controladora es del tipo TTL y puede excitar directamente al controlador.

Los números que lee y escribe la tarjeta son de 16 bits divididos en su parte alta y su parte baja cada una de 8 bits, por lo que se requieren dos instrucciones de programa para cada paso, escribiendo primero en la parte alta y despues la parte baja de la palabra.

### 2.3.3.-La detección de la intensidad luminosa

Para que la computadora obtenga el valor de la intensidad luminosa que el amplificador del detector (ver sección 1.4) suministra como un voltaje proporcional (máximo  $\pm 12V$ ) se utiliza un convertidor analógico-digital CAD de 12 bits que tiene un intervalo dinámico de 4096:1, con tiempos de conversión de  $30\mu s$  y con intervalos de conversión de 1, 2, 5 y 10 volts para los 12 bits.

La forma en la que lee la computadora el valor del voltaje es leyendo los 16 bits en el puerto en dos partes de 8 bits cada una, la parte alta de la palabra y la parte baja. (ver Apéndice B). Como el convertidor sólo tiene 12 bits sobran cuatro, uno de los cuales sirve para informar cuando se está listo para hacer la lectura (dato listo) y los otros tres no se utilizan.

### 2.3.4.-El procesamiento de datos

Cada espectro es una corrida de 512 muestras, cada una de las cuales genera una pareja de datos, la longitud de onda y su intensidad luminosa.

Se seleccionaron intervalos de trabajo de 10.24, 20.48, 40.96, 81.92, 163.84 y 327.68 nm, y son determinados por el paso mínimo del motor (0.02 nm) y el número de pixeles en la pantalla del monitor CGA de la PC (614). Dentro del programa estos intervalos se pueden elegir por menú.

Al empezar se pregunta al usuario la posición del monocromador, la longitud de onda donde se va a iniciar el barrido del espectro  $\lambda_0$  en nm, y el intervalo de operación. Se obtiene la diferencia entre la posición del monocromador y  $\lambda_0$ , lo cual define el número de pasos del motor a avanzar o retroceder, según sea el caso, para comenzar el muestreo. Entonces se hace una lectura; se avanza 0.02 nm, para

el caso del intervalo de 10.24, ó múltiplos de 0.02 nm para los distintos intervalos, se hace otra lectura, se avanza otro paso o múltiplo, se hace una nueva lectura y así sucesivamente hasta completar las 512 muestras.

Con los datos anteriores se llena la matriz de 2 X 512 que asigna a cada renglón una pareja de datos, la longitud de onda y el voltaje proporcional a la intensidad, que se almacena en memoria, para su procesamiento posterior. Simultáneamente con la matriz se genera una gráfica en tiempo real.

### 2.3.5.-La integración del Sistema

#### 2.3.5.1.-La presentación

Se desarrollo un formato de presentación a través de diferentes menus por pantallas que facilitan el manejo para el usuario.

Para el procesamiento de datos se organizó la lógica matricial para hacer las operaciones aritméticas de suma, resta, multiplicación y división entre matrices.

#### 2.3.5.2.-El gráficoado

Las gráficas que despliega el sistema son de dos tipos:

- a) En tiempo real, para el caso de la graficación durante el muestreo.
- b) Posteriores, para el caso del procesado de datos, ya sea directamente la matriz obtenida de un experimento o la de operaciones entre matrices como es el caso.

Las matrices que se obtienen son exportables para su tratamiento en otros paquetes de graficado. Se cuenta en el Laboratorio de Optica Aplicada (LOA) con el Easy Plot (marca

registrada) que es al cual llevamos nuestras matrices, y desde aquí se pueden observar las partes de una gráfica o alizamientos de la misma, que son dos factores de interés en nuestros experimentos en el laboratorio.

### CAPITULO 3

#### ALGUNAS APLICACIONES Y LOS RESULTADOS

##### 3.1.-La irradiación de muestras de tejido humano

Diferentes aplicaciones se hicieron aprovechando la realización de varios proyectos que se llevaron a cabo en el LOA como: la medición de las densidades ópticas de las muestras de tejido humano y soluciones de sangre. El sistema espectrofotométrico de alta resolución desarrollado en éste trabajo, Fig 3.1, y que consta de varias fuentes de radiación como son los láseres de argón y de colorante, una lámpara de halógeno-tungsteno; un sistema de introducción y recolección por medio de fibras ópticas de cuarzo y vidrio, (400 y 600  $\mu\text{m}$  de diámetro). El método de análisis es directo ya que únicamente es necesario introducir la muestra de referencia y la solución de interés en el instrumento. Los resultados obtenidos con el espectrofotómetro se muestran en las Gráficas 3.1 y 3.2 [Garcés, V., 1993].

##### 3.2.-La caracterización del vapor de metales

Por otro lado, también se utiliza este sistema para la caracterización de una mezcla de vapores de metales, Hg-InI, como investigación básica con el objetivo de la construcción de láseres de estas mezclas. El arreglo experimental es esencialmente el mismo sólo se sustituye la fuente de radiación a la entrada del espectrofotómetro por una bujía con las mezclas a caracterizar. Las Gráficas 3.3 y 3.4 muestran las respuestas obtenidas de la caracterización de la mezcla. [González, A., 1993].

### 3.3.-Resultados

Las características generales del espectrofotómetro se presentan a continuación:

## ESPECIFICACIONES

### ESPECTROFOTOMETRO CIUNAM

VER. 1.0

#### MONOCROMADOR ACTON AM-505

Distancia focal	50 cm
Rejilla de difracción	1200 l/mm
Dipersión lineal	1.67 nm/mm
Longitud de onda de máxima luminosidad	500 nm
Precisión en la longitud de onda	±0.1 nm
Reproducibilidad	±0.005 nm

#### TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS Lab-Card 812PGL

##### Entradas analógicas

Resolución	12 bits
Tiempo de conversión	25 $\mu$ s (máx. 30KHz)
Precisión	0.015% de lectura ±1 bit
Rechazo a modo común	60 dB típico
Impedancia de entrada	> 10 M $\Omega$
Sobrevoltaje	±30VDC máx.

## MOTOR DE PASOS ORIENTAL MOTOR UMD266-01B

Angulo por paso	1.8 ó 0.9 grados
Torca de amarre	83.3 onzas-pulgada
Inercia del rotor	0.74 onzas-pulgada <sup>2</sup>
Tipo del excitador	Monopolar
Precisión en el ángulo por paso	±5 minutos

## FOTOMULTIPLICADOR RCA-1P21

Respuesta espectral	102 (S4)
No. de etapas de dinodos y estructura	9, circular
Ganancia	$2 \times 10^6$ Aprox.
Corriente de entrada	1 pA a 100 $\mu$ A

## ESPECTROFOTOMETRO CIUNAM Ver. 1.0

Resolución máxima	0.02 nm
Reproducibilidad	0.02 nm
Intervalo de operación	185 - 12000 nm
Tiempo por muestra	2 minutos aprox.
Funciones para procesamiento matricial	+, -, *, /, log.

Son estas en si el resultado del trabajo de desarrollo del espectrofotómetro.

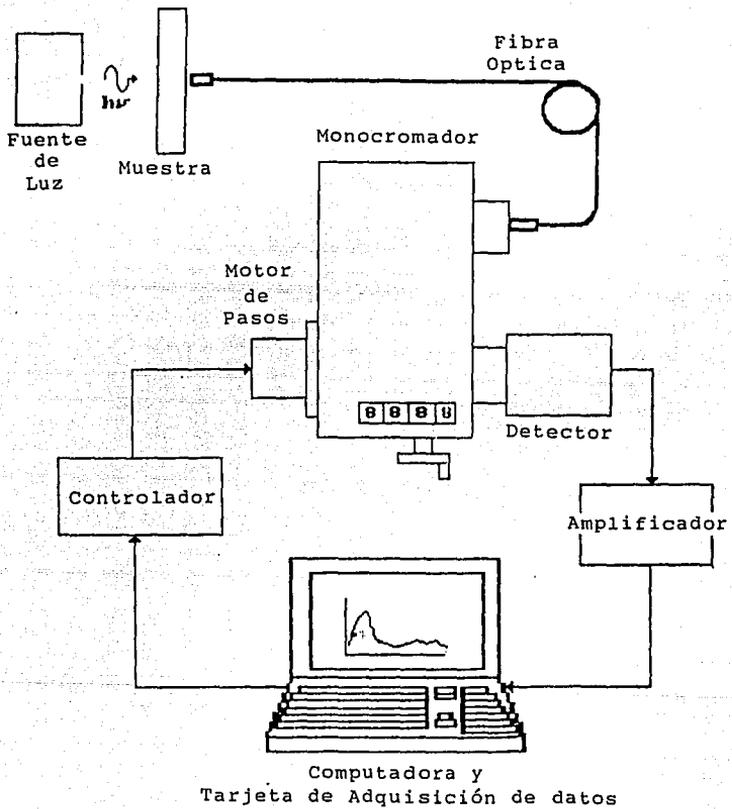


Fig. 3.1

## CONCLUSIONES

El espectrofotómetro forma parte de la infraestructura del Laboratorio de Óptica Aplicada del Centro de Instrumentos y servirá para continuar con las investigaciones citadas en esta tesis como aplicaciones o en otras cualesquiera, pues la comodidad que ofrece en el manejo de datos y la facilidad en obtener y desplegar los resultados lo hacen un aparato de gran utilidad, ya que cumple con las especificaciones generales de otros equipos equivalentes.

Con respecto a el OMA, el sistema espectrofotométrico tiene la desventaja de no desplegar simultáneamente la respuesta del espectro completo que cae en su ventana activa (1"), pero a la vez se tiene la ventaja con respecto a éste de no tener ventana activa fija, esto es la capacidad de barrer, con los intervalos, todo el espectro o sólo segmentos de él. Para el procesamiento de datos, el software del espectrofotómetro, que hemos llamado Espectrofotómetro CIUNAM, Ver. 1.0, cubre y supera las funciones del OMA ya que éste no proporciona los programas fuente y el espectrofotómetro si los tiene disponibles para futuras mejoras en las aplicaciones. Otra ventaja de este equipo es la de poder intercambiar el detector y con esto cambiar el rango de respuesta espectral.

Cabe mencionar que el costo de la construcción del espectrofotómetro fué de aproximadamente 1000 USD y que un sistema comercial cuesta por lo menos 5 veces esto, independientemente de la experiencia en la rama de óptica, instrumentación y control que se requieren, dejando abierto el camino para nuevos desarrollos, lo cual hace evidente la ventaja que obtuvo el Laboratorio con el desarrollo de éste instrumento. Por otro lado, la función fundamental del trabajo consistió en cubrir de alguna forma la necesidad de adquisición y procesamiento de datos.

Respecto al control por computadora, podemos decir que con las nuevas tecnologías en tarjetas de control y en motores de pasos la automatización de equipos de todo tipo es cada vez más común, y esto no excluye a los espectrofotómetros, por lo tanto muchos de estos aparatos podrían en principio ser controlados desde una PC.

También diremos que la construcción de las partes mecánicas, obviamente diferentes para cada aparato, fueron en nuestro caso de relativa sencillez, ya que el monocromador tiene contemplado en sus diseños mecánicos la opción de automatización.

Para finalizar dire que la contribución real del trabajo es la manufactura de un sistema espectrofotométrico, aprovechando el equipo óptico ya existente, por lo tanto el desarrollo consiste básicamente en el diseño de los acoplamientos mecánicos, la elección de los sistemas electrónicos, el desarrollo de un programa de control acorde con los mecanismos y la integración de estos en un aparato versátil, confiable y de fácil operación.

## APENDICE A. -ESPECIFICACIONES DEL MOTOR DE PASOS

Lanzamiento del diente del rotor:  $T_R$

$$T_R = \frac{360^\circ}{\text{Número de dientes del rotor}} = \frac{360^\circ}{50} = 7.2^\circ$$

Por lo tanto el ángulo por paso  $\theta_s$  es,

$$\theta_s = \frac{T_R}{4} = \frac{7.2^\circ}{4} = 1.8^\circ$$

El ángulo básico por paso del motor de pasos esta entonces determinado por el número de fases del estator y el número de dientes del rotor.

No. de fases	No. de dientes del rotor	Angulo por paso
2	50	1.8
	100	0.9

**APENDICE B.- ESPECIFICACIONES DE LA TARJETA DE  
ENTRADA Y SALIDA DE DATOS.**

**Entradas analógicas (Convertidor A/D)**

Canales : 16 terminados.  
Resolución : 12 bits.  
Intervalo de entrada : Bipolar :  $\pm 10V$ ,  $\pm 5V$ ,  $\pm 2V$ ,  $\pm 1V$ .  
Sobrevoltaje : Continuo  $\pm 30V$  Máx.  
Tipo de conversión : Aproximaciones sucesivas.  
Convertidor : HADC574Z.  
Velocidad de conversión : 30 KHz Máx.  
Presición : 0.015 % de la lectura  $\pm 1$  bit.  
Linealidad : 1 bit.  
Disparo : Disparo por programa, por tiempo  
programable o disparo externo.  
Transferencia de datos : Por programa de control,  
interrupciones o DMA.  
Disparo externo : (Compatible con TTLs,  
carga 0.4mA máx. a 0.5V (baja)  
o 0.05mA máx. a 2.7V (alta).

**Entradas digitales**

Canal : 16 bits.  
Nivel : Compatible con TTLs.  
Voltaje de entrada : Bajo - 0.8V máx. Alto - 2.0V min.

### Salidas analógicas (Convertidor D/A)

Canales : 2 canales.  
Resolución : 12 Bits.  
Intervalo de salida : 0 a +5V con una referencia de -5V.  
±10V con una referencia extena.  
Voltaje de referencia : Interno : -5V (±0.05V).  
Externo : ±10V máx. de DC o AC.  
Tipo de conversión : 12 bits.  
Dispositivos analógicos : AD7541AKN o equivalente.  
Linealidad : ±1/2 bit.  
Excitador de salida : ±5mA máx.  
Tiempo de conversión : 30 microsegundos.

### Salidas digitales

Canal : 16 bits.  
Nivel : Compatible con TTLs.

### Contador y tiempo programable

Dispositivo : INTEL 8253-5.  
Contadores : 3 canales, 16 bits.  
Entrada : Compatible con TTLs/DTLs/CMOSS.  
Base de tiempo : 30 minutos/pulso a 0.5 MHz.

### Canal de Acceso Directo a Memoria (DMA)

Nivel : 1 ó 3,  
con un saltador seleccionable.  
Activación : Via S0, S1 y S2  
de registro de CONTROL.

APENDICE C.-LISTADOS DE PROGRAMAS

PROGRAM 812PG20;

SES Crt, Graph;

CONST base = \$220;

( Direccion base, H220 )

TYPE mediciones = 1..1000;

```

VAR x,s,q,numm,letra,i,intgraf,
    entero,let,
    XX,YY,Mx,My,longinis,test      : Integer;
    m, n, y                          : Char;
    voltaje,w,incremento,pasos,
    longini,landacero,diferencia,
    landaceros,mat,intervalo
    cuentas                          : Real;
    matriz                            : Word;
    nombre,aux,auxx                  : ARRAY[Mediciones] OF real;
    archivo                           : String;
    titulo1,titulo2                  : Text;
    titulo1,titulo2                  : String[30];

```

```

FUNCTION Num (X,Y:Integer) : Real;
{ En modo grafico no existe una funcion de lectura (como readln) por eso }
{ construimos una acontinuacion }

```

```

VAR N : Real;
    Err: Integer;
    ChNum: Char;
    NumCad :String;
    Xa : integer;

```

BEGIN

Setfillstyle (1,0);

Repeat

NumCad := '';

Xa := x;

Repeat

ChNum := ReadKey;

If (ChNum<>#13) and (ChNum <> #8) Then

Begin

SetColor (White);

OutTextxy(Xa,Y,ChNum);

NumCad := Concat (NumCad,ChNum);

Inc (Xa,10);

End;

If (Chnum = #8) Then

Begin

SetColor (Black);

Dec (Xa,10);

OutTextXY (xa,y,numcad[length(numcad)]);

Delete (numcad,length(numcad),1);

End;

Until (chnum = #13) ;

Val (NumCad,N,Err);

If Err <> 0 Then

Bar (X,Y,X+100,Y+10);

Until (Err = 0);

Num := N;

END;(Num)

```

PROCEDURE Titulos;
{ Este procedimiento da los parametros de la pantalla de salida. }
[ (nombres y cotas) ]

```

```

V R  Let,letra   : Real;
      i, SS      : Integer;
      Valmax,landaceros : Real;
      x,y        : Word;
      r, s       : Char;
      longitudud_de_onda, aux : String[30];

```

```

B GIN
landaceros:=landacero;
ClearDevice;
Rectangle(0,0,Mx,My);
Rectangle(0,0,Mx,40);
Rectangle(50,40,Mx,My-50);
OutTextXY( Mx-150,My-10, 'Longitud de onda');
SetTextStyle( DefaultFont, VertDir, 0 );
OutTextXY( 15, My-157, 'Voltaje');

SS:=trunc(landacero);

SetTextStyle( DefaultFont, HorizDir, 0 );
STR(longini,aux);
STR(SS,aux);

SetTextStyle( DefaultFont, HorizDir, 2 );
OutTextXY( 360, 5, titulo1 );

SetTextStyle( DefaultFont, HorizDir, 1 );
OutTextXY( 360, 32, titulo2 );

SetTextStyle( DefaultFont, VertDir, 0 );
OutTextXY(50,My-45,aux);
For i := 0 TO 10 DO
  Begin
    landaceros:= landaceros + ( intgraf );
    SS:= Trunc(landaceros);
    STR(SS,aux);
    SetTextStyle( DefaultFont, VertDir, 0 );
    OutTextXY( (105+(50*i)), My-45, aux);
  End;

For i := 0 TO 10 DO
  Begin
    STR( i , aux );
    SetTextStyle( DefaultFont, HorizDir, 0 );
    OutTextXY( 30, My-(50+(i*10)), aux );
  End;
END;{Titulos}

```

```
PROCEDURE Grafica(u : Integer);
  Este procedimiento toma el valor de la "i" )
  y hace una curva de los valores de la matriz hasta ese valor. )
```

```
VAR i : integer;

BEGIN
  MoveTo(50, GetMaxy-50);
  For i := 1 To u DO
    Begin
      XX:= 50+i;
      YY:=TRUNC(My-(50+(matriz[i]*10)));
      LineTo( XX , YY );
    End;
  END;
```

```
PROCEDURE avanzar(var pasos: Real);
  Este procedimiento avanza el motor de hacia adelante con la caída de 1 a 0 )
  del segundo bit de la tarjeta de control (de 3 a 2), )
  pero se requieren dos instrucciones porque se tiene que escribir )
  una palabra de 16 bits partida en dos partes de 8 cada una, )
  Port[base + 13] es para la parte baja y Port[base + 14] para la alta. )
```

```
VAR j,k : Integer;
    i : Real;

BEGIN
  Port[base + 10]:= 10;
  i:= 1.0;
  REPEAT
    BEGIN
      Port[base + 13]:= 3;
      Port[base + 14]:= 0;
      FOR k:=1 TO 50 DO
        FOR j:=1 TO 4 DO j:=j+1;
          Port[base + 13]:= 2;
          Port[base + 14]:= 0;
          FOR k:=1 TO 50 DO
            FOR j:=1 TO 4 DO j:=j+1;
          END;
        i:= i + 1.0;
      UNTIL pasos <= i;
    END;
  ( Procedure avanzar )
```

```

PROCEDURE retroceder(var diferencia : Real);
{ Este procedimiento hace retroceder el motor el numero de "pasos" }
{ cambiando el 1 del primer bit de la tarjeta de control por 0. }
{ Tambien se requieren dos instrucciones para escribir la palabra, }
{ Port[base + 13] para la parte baja y Port[base + 14] para la parte alta. }

```

```

VAR j,k      : Integer;
    i        : Real;

```

```

BEGIN
Port[base + 10]:= 10;
i:= 1.0;
REPEAT
BEGIN
Port[base + 13]:= 1;
Port[base + 14]:= 0;
FOR k:=1 TO 50 DO
FOR j:=1 TO 4 DO j:=j+1;
Port[base + 13]:= 0;
Port[base + 14]:= 0;
FOR k:=1 TO 50 DO
FOR j:=1 TO 4 DO j:=j+1;
END;
i:= i + 1.0;
UNTIL diferencia <= i;
END;{ Procedure retroceder }

```

```

PROCEDURE lectura(var cuentas: Word);
{ Este procedimiento efectua la laectura del voltaje proporcional de entrada }
{ por medio de la lectura de los 16 bits tomando su parte alta Port[base + 5] }
{ y su parte base Port[base + 4]. }
VAR a,b      : Byte;

```

```

LABEL jump;

```

```

BEGIN
Port[base + 11]:= 1;
Port[base + 10]:= 10;
Delay(1);
Port[base + 9]:= 0;
Port[base + 12]:= 0;

IF test = 1 THEN GoTo jump;
REPEAT UNTIL (Port[base + 5] AND 16) = 0;
jump : write('');

a:= Port[base + 5] AND 15;
b:= Port[base + 4];

cuentas:= 256 * a + b;
END;{ Procedure lee }

```

```

PROCEDURE Captura;
( Captura es el procedimiento que realiza toda la integracion. )
( : FOR va generando la grafica con estos valores. )

```

```

BEGIN

```

```

    landacero := landacero - ( 550 * incremento );
    For x:=1 TO 501 DO
    Begin
        w:= 0;
        For s := 1 To 10 DO
        Begin
            lectura(cuentas);
            voltaje:= 2.44140625e-3 * cuentas - 5.0;
            w:= w + voltaje;
        End;
        voltaje:= w / 10;
        STR(landacero:4:1,aux);
        STR(Voltaje:1:3,auxx);
        OutTextXY(10,20,'voltaje (');
        SetViewPort(95,20,300,35,clipOn);
        ClearViewPort;
        OutTextXY(0,0,aux+' ') = '+auxx';
        matriz[x]:= voltaje;
        avanzar(pasos);
        SetViewPort(0,0,GetMaxX,GetMaxY,ClipOn);
        Grafica(x);(,intgraf, landaceros);
        landacero := landacero + incremento;
    End;

```

```

    End;
EN; (Captura)

```

```

PROCEDURE Salva_datos;
( Este procedimiento sirve para guardar en un archivo la matriz de salida. )

```

```

BEGIN

```

```

    q:= q + 1;
    STR(q,aux);
    nombre:= 'mat' + aux + '.dat';
    Assign(archivo,nombre);
    Rewrite(archivo);
    landaceros:= landacero;
    landacero:= landacero - incremento;
    FOR entero:= 1 TO 501 DO
    BEGIN
        OutTextXY(250,5,'Salvando datos en Archivo en disco');
        mat:= matriz[entero];
        landacero:= landacero + incremento;
        WriteLn(archivo,landacero:4:1,' ',mat:1:3);
    END;

```

```

    Close(archivo);
EN; (Salva_datos)

```

```
PROCEDURE InitGraf;  
  "Con este procedimiento unicamente se inicializa el modo grafico. )
```

```
VAR GraphDriver, GraphMode : Integer;
```

```
BEGIN  
  GraphDriver := Detect;  
  InitGraph( GraphDriver, GraphMode, ' ' );  
  ClearDevice;  
  Mx := GetMaxX;  
  My := GetMaxY;  
END; (InitGraf)
```

```
PROCEDURE Datos Entrada;
```

```
  "En este procedimiento se solicitan los datos de entrada )  
  y se dan algunos parametros propios del programa que se encuentran )  
  { relacionados con el avance del motor (1 paso: 0.2 de incremento = )  
  { incremento en nanometros del monocromador o multiples de estos), )  
  y con las características de la pantalla (en cualquier escala de )  
  intensidad NO podemos excedernos de esta). Ademas, posiciona el motor )  
  { para iniciar el muestreo y llama al procedimiento "captura" )  
  { para realizar todas las mediciones. )
```

```
VAR i : Word;
```

```
BEGIN  
  FillChar( titulo1 , SizeOf(titulo1) , ' ');  
  FillChar( titulo2 , SizeOf(titulo2) , ' ');  
  Rectangle(0,0,GetMaxX,GetMaxY);  
  Rectangle(5,5,GetMaxX-5,GetMaxY-5);  
  OutTextXY(10,10,'Cual es la longitud de onda en la que te encuentras?');  
  OutTextXY(10,20,' Longitud de onda = ');  
  longini := Num(350,20);  
  OutTextXY(10,40,'En que longitud de onda deseas que empiece ha hacer el m');  
  OutTextXY(10,50,' Longitud de onda inicial = ');  
  landacero := Num(350,50);  
  OutTextXY(10,70,'Cual es el intervalo que deseas manejar?');  
  OutTextXY(10,80,' Para un intervalo de: 100 Angstroms .....  
  OutTextXY(10,90,' 200 // .....  
  OutTextXY(10,100,' 400 // .....  
  OutTextXY(10,110,' 800 // .....  
  OutTextXY(10,120,' 1600 // .....  
  OutTextXY(10,130,' 3200 // .....  
  OutTextXY(10,140,' 6400 // .....  
  OutTextXY(10,150,' Opcion # ');  
  intervalo := Num(200,150);  
  OutTextXY(10,168,'Que quiere escribir como titulo de tu grafica?');  
  GotoXY(55,22);  
  ReadLn(titulo1);  
  titulo1[0] := #30;  
  OutTextXY(10,176,' que quieres escribir como subtitulo de la grafica?');  
  GotoXY(55,23);  
  ReadLn(titulo2);  
  titulo2[0] := #30;  
CASE Round(intervalo) OF  
  1 : Begin  
    pasos:= 1;
```

```

incremento:= 0.2;
intgraf:= 10;
End;
2 : Begin
pasos:= 2;
incremento:= 0.4;
intgraf:= 20;
End;
3 : Begin
pasos:= 4;
incremento:= 0.8;
intgraf:= 40;
End;
4 : Begin
pasos:= 8;
incremento:= 1.6;
intgraf:= 80;
End;
5 : Begin
pasos:=16;
incremento:= 3.2;
intgraf:= 160;
End;
6 : Begin
pasos:=32;
incremento:= 6.4;
intgraf:= 320;
End;
7 : Begin
pasos:=64;
incremento:= 12.8;
intgraf:= 640;
End;
End;

```

```

Port[base + 11]:= 1;           { Habilitacion de disparo por programa }
Port[base + 9 ]:= 0;
Port[base + 12]:= 0;

```

```

Titulos;
readln;
If longini = landacero Then   Captura;
If longini < landacero Then
Begin
diferencia := landacero - longini;
avanzar(diferencia);
Captura;
End;
If longini > landacero Then
Begin
diferencia:= longini - landacero;
retroceder(diferencia);
Captura;
End;
END;(Datos_de_Entrada)

```

( PROGRAMA PRINCIPAL )

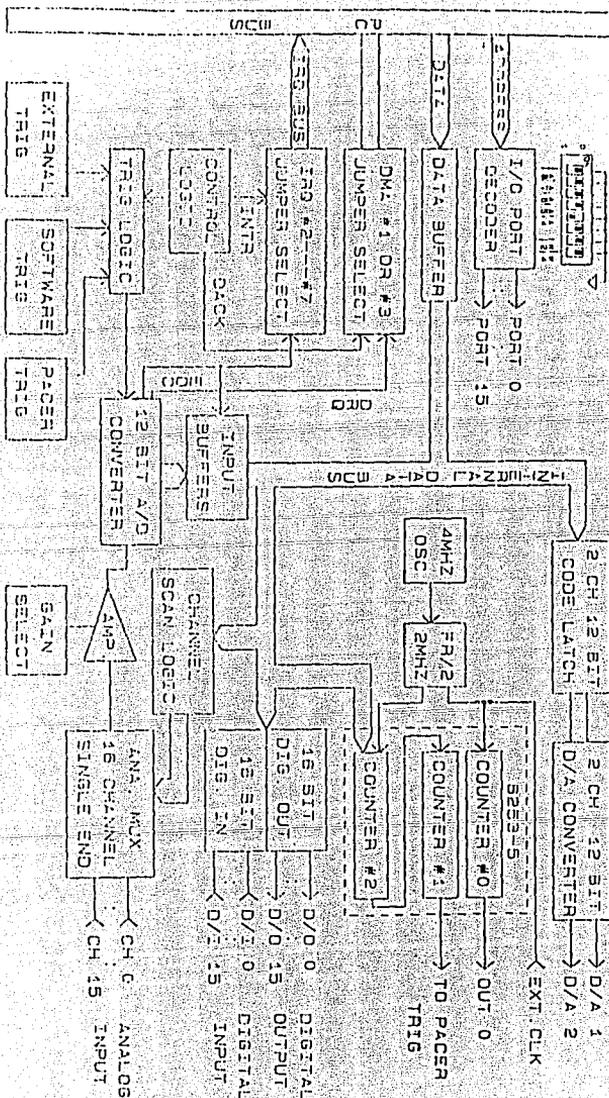
BEGIN

```
Write('Prueba ( 1 ) : ');  
ReadLn(test);  
q:=6;  
InitGraf;  
Datos_Entrada;  
Salva_datos;  
CloseGraph;
```

END.

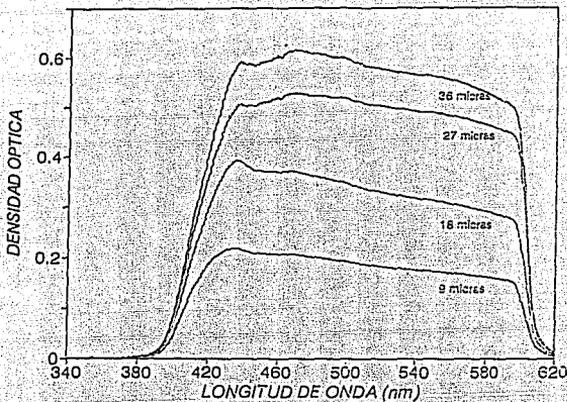
DIAGRAMA DE BLOQUES

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA



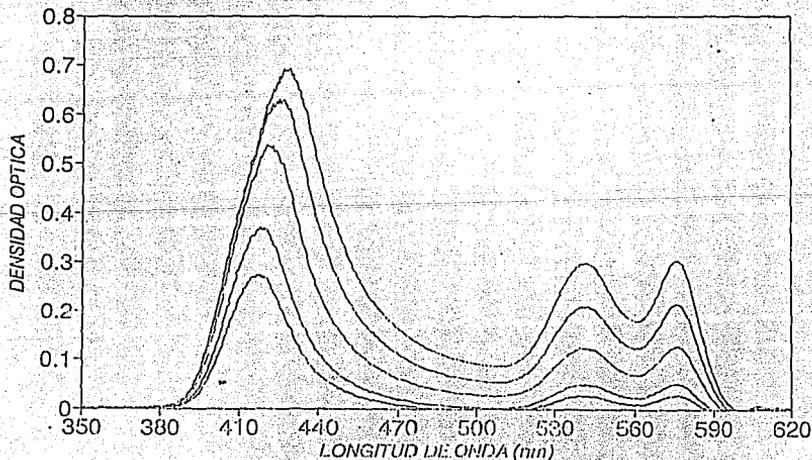
PCI-812 BLOCK DIAGRAM

ABSORBANCIA  
HIGADO



GRAFICA 3.1.- DENSIDAD OPTICA EN FUNCION DEL ESPESOR DEL TEJIDO DE HIGADO IRRADIADAS CON LAMPARA DE HALOGENO-TUNGSTENO.

ABSORBANCIA  
SANGRE HUMANA



GRAFICA 3.2.- VARIACION DE LA DENSIDAD OPTICA DE LA SOLUCION DE LA SANGRE RESPECTO A LA LONGITUD DE ONDA.

EMISSION SPECTRA: Hg-InI

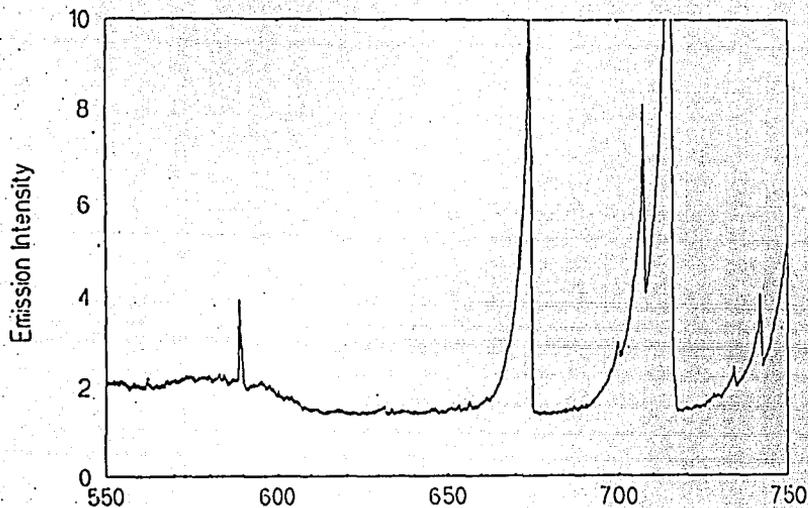


Fig. 3.3.-

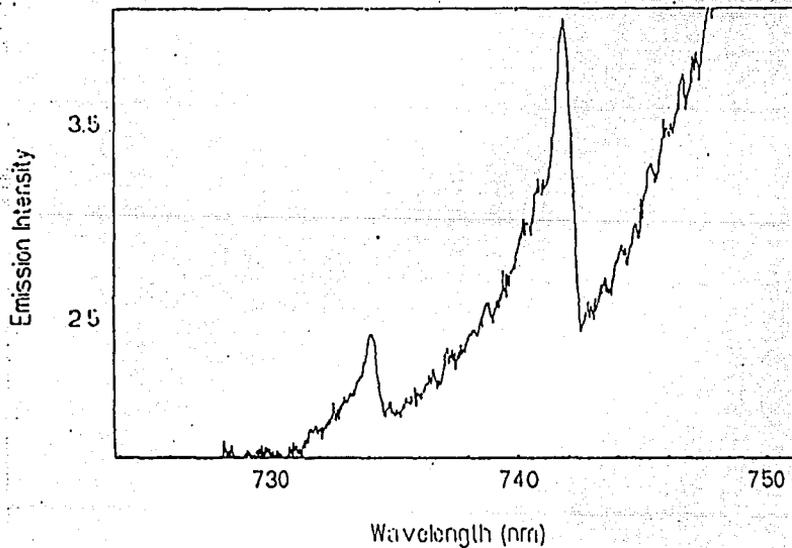


Fig. 3.4.-

## BIBLIOGRAFIA

- 1 y 2. W. Demtröder, *Laser Spectroscopy*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1982.
3. Franc Grum, *Optical Radiation Measurements*, Academic Press, New York, 1979.
4. Harrison, N.J., *Manual del Fotomultiplicador RCA*, RCA Corporation.
5. Garcés, V., Ortega, R. y Nogueira, A., "Calibración de un Sistema Fotométrico para Medir las Densidades Ópticas", XXXV Congreso Nacional de Física, Puebla, Puebla, 26-30 de Octubre de 1992.
6. OSMA MANUAL, *Operating and Service Manual for Models ST-100, ST-110, and ST-120*, Princeton Instruments, Inc.
7. ORIENTAL MOTOR GENERAL CATALOG '92", Texonics, Inc.
8. USER'S MANUAL OF PC-LABCARD, *User's Manual of PC-LabCard for Models PCL-812 AND PCL-812PG*, PC Labs, Inc.
9. Garcés, V., "Medición de la Densidad Óptica de Tejidos Humanos por Medio de Técnicas Espectrofotométricas", Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM, 1993.
10. González, A., "Caracterización de Vapores de Metales por Métodos Espectrofotométricos", Laboratorio de Óptica Aplicada del Centro de Instrumentos, UNAM, Tesis Profesional en proceso, 1993.