



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

Facultad de Ciencias

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN FOTODENSITOMETRO
OPTICO ACOPLADO A UNA MICROCOMPUTADORA

T E S I S

Que para obtener el título de
FISICO

present a

ENRIQUE EDUARDO GUARNER LANS

México, D. F.

1988



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

INTRODUCCION

-El Motivo de este Trabajo.....	1.2
-Descripción del Contenido.....	1.3

CAPITULO 1: Aspectos Preliminares.

-Métodos de adquisición de información de una placa fotográfica.....	1.2
-Campos de aplicación de la densitometria.....	1.5
Difracción.....	1.5
Microscopia electrónica de transmisión.....	1.9
-Método fotográfico y densitometria.....	1.10
-Computadoras y convertidores.....	1.13
-Bibliografía.....	1.15

CAPITULO 2: Descripción del Aparato.

-Descripción funcional de este aparato.....	2.2
-El sistema mecánico.....	2.4
-El sistema optico.....	2.8
-La interfaz.....	2.12
-El decodificador.....	2.14
-Los convertidores digital analógico.....	2.16
-Los sumadores.....	2.17
-El sistema completo.....	2.18
-Bibliografía.....	2.19

CAPITULO 3: Evaluación del Aparato.

-Método de evaluación.....	3.2
-Sistema optico.....	3.3

Tamaño del punto.....	3.3
Sensibilidad a cambios de grises.....	3.4
Estabilidad del haz.....	3.7
-Sistema Electrónico.....	3.7
Salida para el barrido.....	3.7
Tiempo de barrido.....	3.8
Estabilidad.....	3.9
-Sistema mecánico.....	3.9
Posicionamiento.....	3.9
-Una Prueba.....	3.10
-Análisis de Resultados y Corrección de Fallas.....	3.14

CAPITULO 4: Manejo y Mejoras del Aparato.

-El Manejo.....	4.2
-Instrucciones Específicas.....	4.2
-Mejoras.....	4.4
-Bibliografía.....	4.5

CONCLUSIONES

.....	C.2
-------	-----

APENDICES

-Recomendaciones y Otras Aplicaciones.....	A.2
-Listado.....	A.3
-Especificaciones de componentes.....	A.5
-Negativos.....	A.6

INTRODUCCION

EL MOTIVO DE ESTE TRABAJO

Con frecuencia en el medio científico se presenta la necesidad de un equipo que apoye la labor de investigación, sin que su ausencia impida que esta se haga. Un laboratorio bien equipado cuenta con muchos de estos equipos de apoyo cuya presencia solo se nota cuando se usan, por el ahorro de tiempo y esfuerzo que representan para el investigador. Esta condición de equipos no indispensables hace que en países como el nuestro se destine a ellos un presupuesto muy bajo o nulo. El presente trabajo pretende aportar ideas que puedan ser útiles en muchos laboratorios y que surgieron durante la construcción de un equipo de apoyo extremadamente económico. El aparato construido es un microfotodensitómetro acoplado a una microcomputadora. La base de la reducción del costo fue el utilizar aparatos ya existentes cuyo uso no estuviese subordinado a ningún experimento en particular. En realidad, gracias a esta fórmula, solo fué necesario construir una interfaz con componentes existentes en el laboratorio de electrónica y un sistema mecánico con materiales comunes en un taller mecánico.

La labor de apoyo, que motivó la construcción del equipo desarrollado, es la de ayudar en el análisis de negativos fotográficos de patrones de difracción, obtenidos en el microscopio electrónico de transmisión o cualquier otro tipo de negativo fotográfico. Las especificaciones que se necesitaban cumplir eran: lectura de la densidad óptica de puntos de 0.2 milímetros con al menos 10 tonos de gris y capacidad para promediar la densidad óptica de zonas completas.

Desde luego que conforme pasa el tiempo aparecen en el mercado substitutos de nuestro fotodensitómetro muy superiores tecnológicamente hablando y en cuanto a capacidades. Sin embargo una reproducción del aparato aquí descrito no requiere de grán

esfuerzo, ni de una inversión siquiera comparable con la del más barato de los equipos comerciales. Es un equipo muy versátil que puede y debe mejorarse mucho más para que pueda cumplir cabalmente su función, pero desgraciadamente esa labor quedó fuera del alcance de este trabajo.

DESCRIPCION DEL CONTENIDO

En el capítulo 1 se desarrollan someramente algunos temas que permiten comprender mejor el equipo, sus motivos y su evaluación. En el capítulo 2 se hace una reseña detallada de la construcción del fotodensitómetro, incluyendo algunos comentarios sobre mejoras e inconvenientes que se hicieron evidentes durante su desarrollo. En el capítulo 3 se muestran los análisis hechos al aparato, que en muchas ocasiones llevaron a la modificación del mismo y que permiten evaluar su funcionamiento para su mejor aplicación. En el capítulo 4 se describe la forma en que el aparato es controlado por la computadora y contiene en mi opinión el material más susceptible de ser mejorado por una persona con conocimientos de computación y tratamiento de imágenes. En seguida se dan las conclusiones de este trabajo. Por último los apéndices incluyen información específica necesaria para todo aquel que quiera reproducir el fotodensitómetro o alguna de sus partes.

CAPITULO I

ASPECTOS PRELIMINARES

MÉTODOS DE ADQUISICIÓN DE INFORMACIÓN DE UNA PLACA FOTOGRÁFICA

En la actualidad el procesamiento de imágenes por computadora es una herramienta esencial en el análisis de placas fotográficas. Por ello, realizar el control del sistema de extracción de la información por medio de una computadora digital ofrece muchas ventajas. Entre ellas el que se puede ir creando un archivo digital de la información al mismo tiempo que ésta se extrae. La obtención de la información de una placa fotográfica se puede realizar fundamentalmente de tres maneras distintas, éstas son⁽¹⁾:

La cámara de video.

El Dispositivo de Carga Acoplada (CCD).

El Fotodensitómetro.

La cámara de video.- En este dispositivo la imagen formada por un sistema de lentes se divide en un conjunto de líneas de barrido horizontales. Los cambios de brillantez a lo largo de cada línea son transmitidos como una señal eléctrica continua. Para su digitalización es necesario dividir esta señal continua en una sucesión de valores discretos llamados pixeles. De esta manera, el área completa de la imagen se representa por un arreglo de elementos. La brillantez de cada pixel es igual al promedio de brillantez del área correspondiente en la imagen original. Sin embargo los circuitos que digitalizan la señal de video resultan relativamente caros, sobre todo si se tiene que sumar el costo del resto del equipo de video. Estos sistemas requieren la lectura de una imagen completa aun cuando solo se quiera procesar, por ejemplo, la información de una sola línea. El equipo de cómputo mínimo necesario para procesar la información adquirida por este medio es del orden de una

computadora personal, con al menos 256 KBytes de memoria.

El CCD.- CCD es la abreviatura de Charge-Coupled-Device. Este es un dispositivo de estado sólido basado en tecnología optoelectrónica de semiconductores. La imagen es proyectada directamente sobre un arreglo rectangular, lineal o circular de sensores. Cada sensor capta una pequeña área de la imagen y transmite una señal directamente por una de sus salidas. Este dispositivo tiene otra ventaja aparte de la salida digital directa: Es posible hacer la respuesta de los sensores linealmente proporcional a la luz incidente. Al momento de ser iniciado este proyecto, el uso de estos dispositivos eran prácticamente nulo en nuestro país. En la actualidad (1987) ya se venden numerosos equipos de video, lectores ópticos de caracteres y otros que funcionan con este tipo de sensor del que existe gran variedad. Hasta el momento en que se realizó este trabajo, se fabricaban CCD's con hasta 44,504 elementos sensibles con una separación entre ellos de 40 micras que trabajan entre 400KHz y 10MHz. Esto proporciona ventajas como altas velocidades de lectura, equipos pequeños, bajo consumo de potencia y confiabilidad. Sin embargo la complejidad de los circuitos asociados a estos sensores, su alto costo y la poca disponibilidad de ellos en nuestro país justifica el desarrollo de equipos como el del presente trabajo.

El Fotodensitómetro.-En este aparato un pequeño haz de luz es proyectado sobre la fotografía (ó a través de ella si es una transparencia) y un sensor mide la cantidad de luz reflejada ó transmitida por la película (Figura 1). La cantidad de luz captada produce una señal que es comparada posteriormente con la señal obtenida en ausencia de película. Se asemeja a la cámara de

video en que se obtiene una señal analógica conforme se mueve el haz de luz a lo largo de la película. Sin embargo en este caso no se impone ninguna restricción sobre la velocidad de digitalización de la señal. Esta es una ventaja en cuanto al costo del equipo, puesto que se puede utilizar cualquier convertidor analógico digital e ir creando un archivo de la información capturada. Por la misma razón el equipo de cómputo mínimo necesario para procesar la señal es más pequeño que el necesario para una cámara de video. para el presente trabajo fué suficiente una computadora con solo 32 KBytes de memoria. En un fotodensitómetro el haz de luz puede seguir cualquier trayectoria sobre la fotografía, por caprichosa que esta sea, permitiendo así analizar solo una línea sin necesidad de digitalizar toda la imagen.

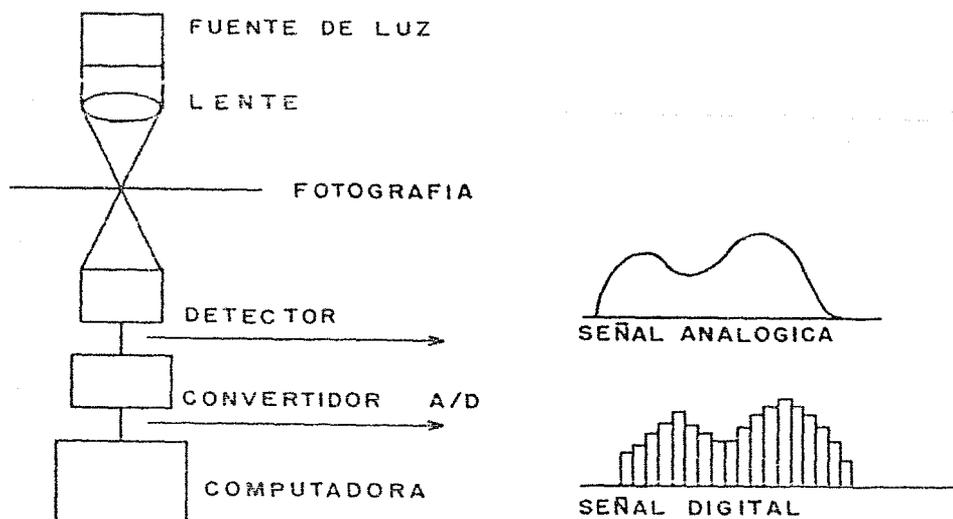


Figura 1.- Esquema de un fotodensitómetro.

Existen dos posibilidades para llevar a la práctica el mecanismo de desplazamiento de un fotodensitómetro. Se puede mover la placa fotográfica con una transmisión mecánica manteniendo fijo el haz. También se puede mover el haz manteniendo fija la fotografía. A esta última configuración se le conoce también como "barredor de punto volante" (flying-spot scanner). Usualmente en un escudriñador de punto volante se genera el punto de luz en la cara de un tubo de rayos catódicos y un sistema de lentes enfoca una imagen del punto en movimiento sobre la película, conforme el haz barre de un lado a otro dentro del tubo. Para el aparato descrito en el presente trabajo se usó la configuración que mantiene fija la película, sin embargo lo llamamos fotodensitómetro en vez de escudriñador de punto volante, porque es por medio de una transmisión mecánica que se mueve el haz de luz de un lado a otro.

CAMPOS DE APLICACION DE LA DENSITOMETRIA.

La densitometría de una placa fotográfica es un método cuya utilidad se hace evidente siempre que se quiera medir con precisión las características de un registro fotográfico. Se usa en infinidad de ciencias como la astronomía, la geología, la biología y muchas otras. En particular la aplicación que dió origen a este trabajo es la de analizar patrones de difracción obtenidos en el microscopio electrónico de transmisión.

Difracción.

Cuando una radiación electromagnética, ó aquella asociada con una partícula en movimiento, choca con una rejilla con espaciamientos de un tamaño similar al de su longitud de onda, se produce el fenómeno conocido como difracción. Este se puede

observar con cualquier longitud de onda si se tiene una rejilla de tamaño adecuado; luz blanca ($\lambda \sim 5 \times 10^3 \text{Å}$) rayos X ($\lambda \sim 1 \text{Å}$) o electrones ($\lambda \sim 0.03 \text{Å}$). En un material cristalino el arreglo regular de átomos forma planos que actúan ante la radiación como una rejilla de difracción, con espaciamientos del orden de Amstrongs. Esto hace que para longitudes de onda en el intervalo de radiaciones comúnmente usadas, en el estudio de materiales, se produzca la difracción.

Podemos estudiar entonces la estructura cristalina de la mayoría de los materiales por difracción de fotones, rayos X, neutrones, iones o electrones. El ángulo con que la onda es difractada por el cristal depende principalmente de la estructura cristalina y de la longitud de onda de la radiación. Para electrones tenemos una longitud de onda de de Broglie (λ) dada por $\lambda = h / (2mE_c)$ con m la masa del electrón, h la constante de Planck y E_c la energía cinética del electrón. (2)

Los electrones interactúan fuertemente con la materia y penetran en ella una distancia en general pequeña, que depende del tipo de átomos que formen el cristal. Los estudios estructurales hechos con electrones son importantes para superficies y películas delgadas.

Para dar una idea del tipo de información que se puede obtener con los patrones de difracción es conveniente explicar la ley de Bragg. Esta ley nos permite conocer la distancia entre los planos de un cristal con base en la longitud de la onda incidente y a los ángulos a los que esta se desvía. Supone que la reflexión de la onda en los planos del cristal es especular y que cada plano refleja solo una porción de la radiación como un espejo semitransparente. En la Figura 2 se observa un esquema de esta idea. (3)

La ley de Bragg dice:

$$2d \sin \theta = n\lambda$$

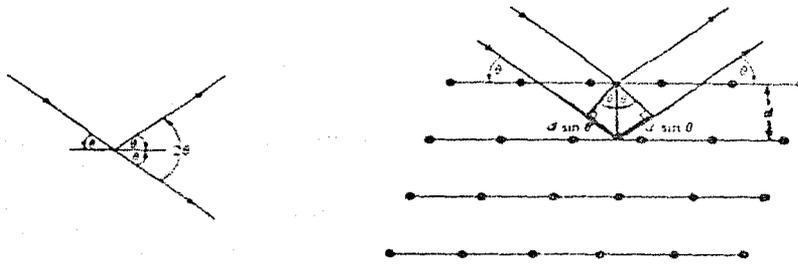


Figura 2.- Ley de Bragg.

De esta manera, analizando los patrones de difracción es posible obtener información, sobre la forma en que están colocados los átomos en una estructura.

Existen diversos métodos experimentales, además del microscopio electrónico, para registrar patrones de difracción, entre los que podemos citar: difracción de von Laue (Figura 4a), difracción de polvos (Figura 4b) y difracción de neutrones (Figura 4c).

Todos los métodos que se observan en la Figura 4 exceptuando el de difracción de neutrones permiten utilizar la fotografía como medio de registro de la información. En la Figura 3 observamos la fotografía de un patrón de difracción de polvos y el perfil de intensidades obtenido a partir de la fotografía.

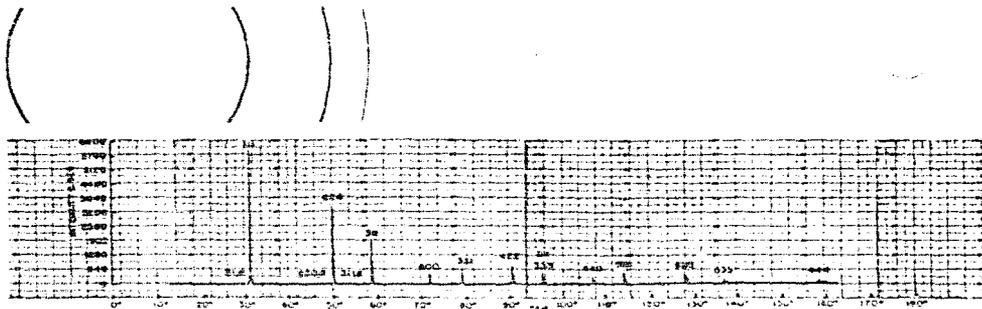
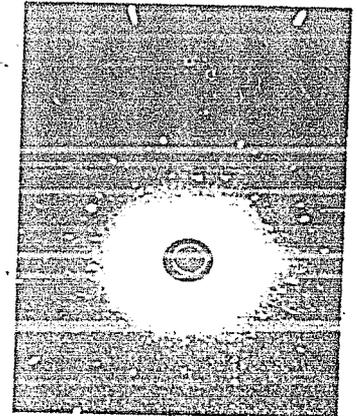
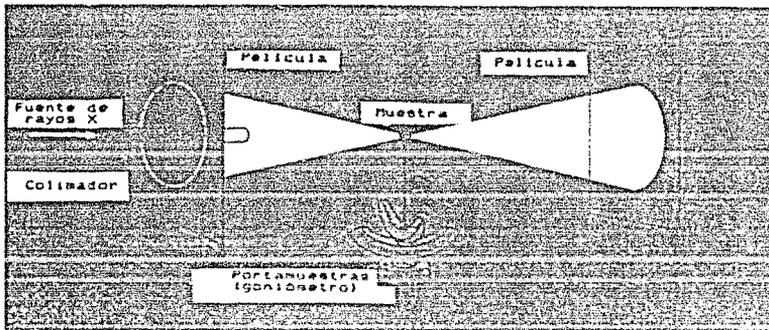
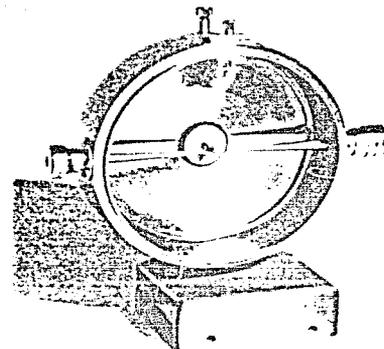
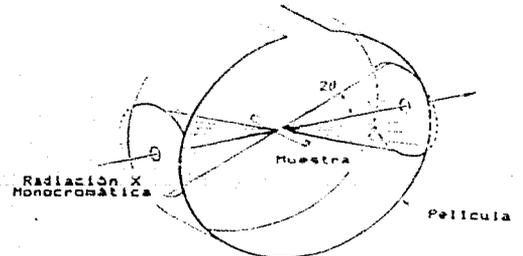
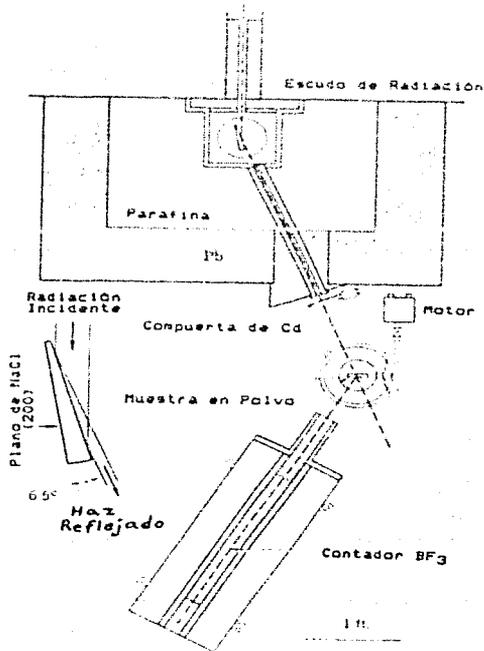


Figura 3.- Fotografía y perfil de intensidades de un patrón de difracción de polvos



a) Difracción de Laue y un patrón típico.



c) Difracción de Neutrones.

b) Difracción de polvos.

Figura 4.- Métodos para registrar patrones de difracción

Microscopia de transmisión.

Un microscopio es simplemente un aparato que permite ampliar el campo de acción de nuestros ojos, para poder ver objetos y detalles mas pequeños que los que permite el limite de resolución del ojo humano (aproximadamente 0.1mm). El principio de funcionamiento del microscopio óptico impone un limite de resolución teórico al aparato, que depende de la longitud de onda de la luz empleada. Alrededor del rango de frecuencias del espectro de luz visible la mayor amplificación se obtiene para la luz ultravioleta. Usando luz ultravioleta, se alcanzan amplificaciones de hasta 4000X. (4)

El grán aumento de resolución que poseen los microscopios electrónicos de transmisión, es posible gracias al descubrimiento hecho a principios este siglo, por Luis de Broglie, de poder asociar una longitud de onda a cualquier partícula en movimiento. En estos se usa un haz de partículas (electrones) en vez de luz; la longitud de onda de un electrón acelerado por un potencial de 100 KV es de $3.7 \times 10^{-2} \text{ \AA}$, mientras que la de la luz ultravioleta es de $4 \times 10^3 \text{ \AA}$. Este drástico aumento en el poder de amplificación y resolución del microscopio electrónico, respecto al microscopio óptico, hace que la comprensión e interpretación de las imágenes logradas en él sea a veces difícil. Es necesario explicar los fenómenos que ocurren cuando los electrones interactúan con la materia, puesto que la imagen lograda no puede ser comparada con nada observable a simple vista. La teoría de la difracción es una herramienta que nos permite hacer esta interpretación en forma precisa. La captación de los fenómenos que se presentan en un microscopio electrónico de transmisión puede hacerse por métodos fotográficos.

METODO FOTOGRAFICO Y DENSITOMETRIA

Para la captación y el análisis de fenómenos como la difracción en la actualidad es posible acoplar dispositivos electrónicos a la salida de casi cualquier aparato. Sin embargo, el uso de la fotografía sigue y seguirá siendo muy extenso debido entre otras razones a que:

- a) muchos equipos tienen ya montado todo lo necesario para el uso de película fotográfica.
- b) el uso de esta es mas barato que la modificación del aparato y en la mayoría de los casos, incluso desde nuevos, los instrumentos son mas baratos si usan película que si usaran otro método de registro.
- c) la película proporciona un registro casi permanente del experimento.
- d) la película es muy manejable.

La película fotográfica no es mas que una emulsión sensible a la luz, adherida a un sustrato en general flexible. Las substancias sensibles mas utilizadas han sido siempre los haluros de plata. Estos, al ser expuestos a la luz reaccionan desprendiendo plata metálica, y adquieren entonces un color negruzco proporcional a la cantidad de luz que incidió. Posteriormente, con un tratamiento químico adecuado, el efecto de ennegrecimiento es amplificado y toda la sustancia que no reaccionó es eliminada, quedando grabado un negativo de la imagen⁽⁵⁾. El tamaño de los granos de la suspensión fotosensible determina la sensibilidad de la película; una película con un tamaño de grano grande es muy sensible a la luz, pero la imagen lograda tiene menor definición que la de una película con tamaño de grano mas pequeño. La película de microscopia electrónica tiene un tamaño de grano de aproximadamente 4 micras y por lo tanto la nitidez de la imagen es alta⁽⁸⁾. Al analizar la imagen

de una película es necesario que el tamaño de grano sea suficientemente pequeño como para que no se confunda la fronteras entre granos con áreas claras u oscuras de la imagen impresa.

Existen límites al funcionamiento de la emulsión sensible. Un exceso de luz crea luces densas "quemadas", mientras que con una exposición insuficiente las sombras aparecen "degradadas". Para analizar este tipo de problemas se usa la densitometría. Con esta técnica se miden con precisión las tonalidades o ennegrecimientos resultantes.

Podemos definir la opacidad de un objeto como:

$$\text{Opacidad} = \frac{\text{Intensidad de luz incidente}}{\text{Intensidad de luz transmitida}} = \frac{1}{\text{transmitancia}} \quad \text{Ec. 1}$$

En una película la opacidad resultante es directamente proporcional a la intensidad de la luz incidente y al tiempo de exposición (en un intervalo amplio de intensidades).

Entonces definimos:

$$\text{Densidad óptica} = \text{Log}_{10} \text{ Opacidad} \quad \text{Ec. 2}$$

El primer intento exitoso de encontrar una relación entre la intensidad de la luz fotografiada y la densidad óptica resultante fué realizado por Hurter y Driffield a finales del siglo XIX. La Figura 4 muestra una gráfica típica de la respuesta característica para una película blanco y negro. A estas curvas se les conoce con el nombre de curvas HD (en honor a Hunter y Driffield)

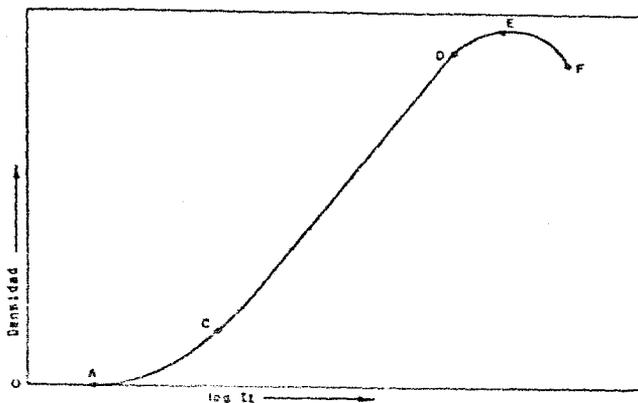


Figura 4.- Curva HD típica para una película blanco y negro, Densidad óptica vs. Intensidad incidente.

De la forma de la curva podemos decir que es necesaria una determinada intensidad incidente crítica antes de que la película comience a ennegrecerse. La exposición requerida para producir un ennegrecimiento perceptible se llama umbral de exposición (distancia OA en Figura 4). Generalmente se usan las películas en la región lineal (región CD). Notoso que si el negativo es expuesto en la parte EF de la curva se produce nuevamente un esclarecimiento de la emulsión. (6)

Un densitómetro mide directamente la densidad óptica en distintas regiones de la película. En nuestro caso el sensor del aparato mide la luz transmitida pero, al ser un equipo de cómputo el que analiza la datos, la respuesta puede ser fácilmente convertida a densidad óptica (o a transmitancia).

De las ecuaciones 1 y 2 podemos ver que la relación entre intensidad de luz transmitida (L_t) y densidad óptica (D) es:

$$\log (L_t) = M \cdot D + \log (L_i) \quad \text{Ec. 3}$$

Donde M es una constante que depende de la respuesta del aparato que mide la luz transmitida y L_i es la intensidad de luz incidente.

COMPUTADORAS Y CONVERTIDORES

Una computadora digital permite el manejo de gran cantidad de información en poco tiempo y la realización de tareas repetitivas o de control. Estos son precisamente los usos que se le dieron al equipo de cómputo empleado en este trabajo. El manejo de la información se lleva a cabo dentro del aparato en forma de números binarios. Esto obliga a la conversión de los números binarios en voltajes analógicos, cuando se quieren manejar procesos que varían en forma continua en el tiempo. En este caso la medición de intensidades de luz debe ser digitalizada, para poder ser manejada por la computadora. A su vez, el voltaje que mueve al sistema mecánico usado debe sufrir una conversión digital-analógica.

El convertidor digital-analógico más sencillo tiene la configuración mostrada en la Figura 6. (7)

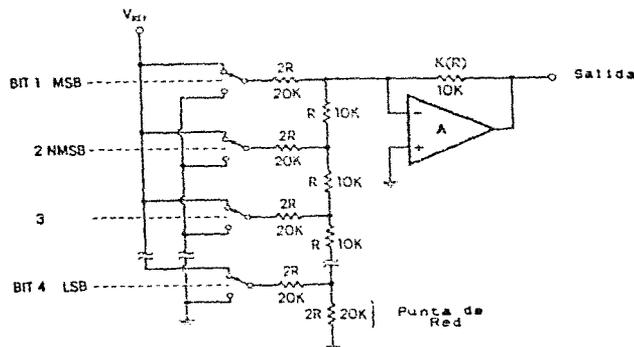
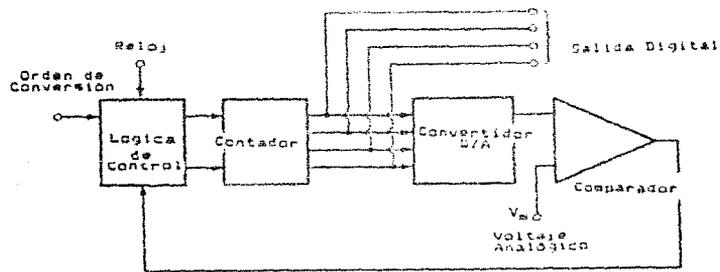


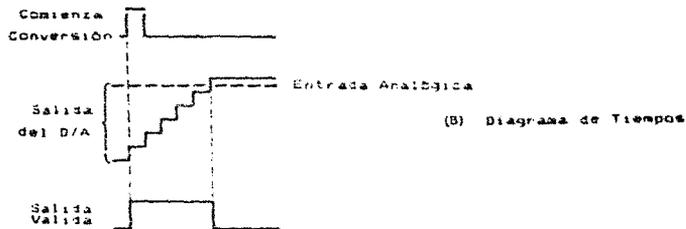
Figura 6.- Convertidor digital-analógico sencillo.

En la Figura 6 se puede observar que el voltaje de salida es proporcional al producto de V_{ref} y la fracción binaria que haya conectado las resistencias a tierra.

El convertidor analógico-digital es un poco más complejo. La Figura 7-a muestra un diseño a bloques sencillo.



(A) Diagrama a Bloques



(B) Diagrama de Tiempos

Figura 7.-Convertidor analógico-digital sencillo.

En la Figura 7 se observa como es necesario utilizar un convertidor digital-analógico para aproximar en varios pasos el voltaje que entra al comparador y lograr la salida digital deseada. Esto hace que haya un retraso entre el momento en que aparece el voltaje analógico y el momento en que la lectura digital es confiable. Existen métodos muy sofisticados de

aumentar la velocidad de conversión. El convertidor analógico-digital que usamos tiene un tiempo de muestreo de 2 a 30 muestras por segundo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Cannon T.M. and Hunt B.R., Image Processing by Computer, Scientific American, Vol.245 Num.4, 136, (1981).
- 2.-Kittel C., Introduction to Solid State Phisica, John Wiley & Sons, Inc.. New York. (1962).
- 3.-Ashcroft W. N., Mermin N. D., Solid State Physics, Holt-Sauders International Editions. U.S.A. (1976).
- 4.-Barrio Paredes Rafael A., Formación de Imágenes en el Microscopio Electrónico, Dirección General de Publicaciones UNAM, México. (1982).
- 5.-Langford H. J., Entografía Básica. Ediciones Omega S. A. Barcelona. (1978).
- 6.-Larmore Lewis, Introduction to Photographic Principles, Dover publications. New York. (1965).
- 7.-Jung Walter G. IC Converter Cookbook, Howard W. Sams and Co. Indiana, USA. (1978).
- 8.-Kodak Data Book. Electron Microscopy and Photography, Eastman Kodak Company, Kodak Publication No. 236. (1973).

CAPITULO 2

DESCRIPCION DEL APARATO CONSTRUIDO

DESCRIPCION FUNCIONAL DE ESTE APARATO

En la introducción de este trabajo se mencionó la necesidad de hacer el fotodensitómetro al menor costo posible. Para este propósito se utilizaron en su mayoría equipos de propósito múltiple, ya existentes en el laboratorio y cuyo uso no estuviese subordinado a ningún experimento en particular. También debo decir que el diseño se realizó en base a la única computadora disponible en el laboratorio en ese momento. El equipo ya existente usado fué:

- Computadora Hewlett-Packard 85 con impresora y graficador.
- Módulo de adquisición de datos y control Hewlett-Packard (3421A).
- Graficador X-Y Hewlett-Packard (7035B).

La idea es utilizar el movimiento del graficador X-Y para mover el haz de luz de un lado a otro sobre la fotografía. Para ello se construyó un sistema de transmisión de movimiento y de montura de la placa fotográfica que se analizará posteriormente. El graficador es movido por la computadora a través del módulo de adquisición de datos y control. Este módulo no cuenta con una salida analógica, por ello fué necesario construir una interfaz digital-analógica que permitiera mover en ambos sentidos la graficadora que teníamos a nuestra disposición. Entonces se construyeron:

- Un sistema mecánico de transmisión para el haz de luz y de montura para la fotografía.
- Una interfaz digital-analógica de dos canales con su respectiva fuente de poder.

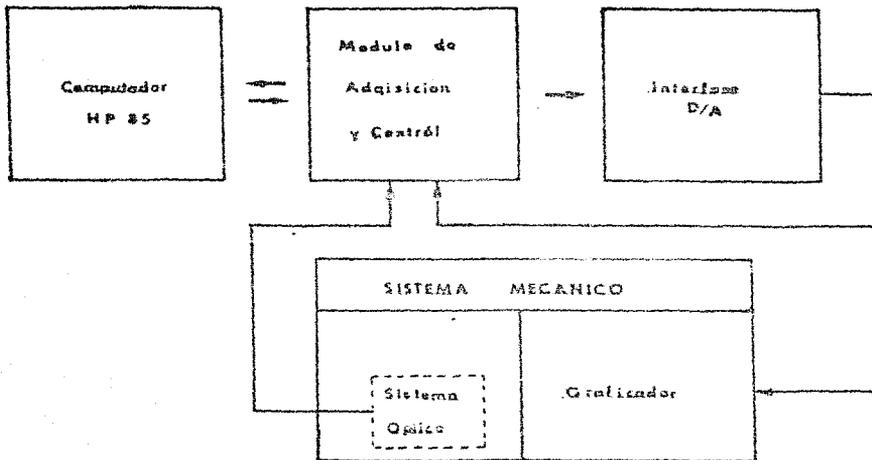


Figura 1.-Diagrama a bloques del aparato.

El sistema completo puede ser representado por el diagrama a bloques de la Figura 1. Los datos, una vez adquiridos, son almacenados y pueden procesarse en el momento que se desee con el programa que se crea conveniente. De hecho este trabajo solamente considera la adquisición y la graficación de los datos de una sola línea de barrido así como la formación de los archivos correspondientes. Queda como un problema abierto la programación de paquetes de procesamiento y adquisición más ambiciosos. El sistema se ha diseñado con un criterio de versatilidad que permita en determinado momento el procesar la información con una computadora de mayor tamaño. El único

inconveniente del sistema es su lentitud en la adquisición de un barrido que abarque un área grande. La posibilidad de hacerlo mas veloz se analizará posteriormente.

Para su análisis se ha dividido el aparato en tres partes:

-El sistema mecánico.

-El Sistema óptico.

┌ El decodificador.

-La Interfaz ┌ Los Convertidores Digital-Analógico.

└ Los Sumadores.

A continuación analizaré cada una de ellas.

EL SISTEMA MECANICO

El hecho de usar un graficador para mover al sistema óptico impone las restricciones de que éste debe ser muy ligero y de que el sistema de transmisión mecánica debe oponer poca resistencia al movimiento. Para ello se diseñó un pantógrafo con relación 2 a 1, que transmitiera el movimiento en ambos sentidos (X-Y) y que al mismo tiempo preservara la orientación de sistema óptico.

Si se desprecia la masa de las palancas y la fricción de las articulaciones, el pantógrafo puede considerarse como un sistema conservativo. Supongase que se mueve horizontalmente el pantógrafo una distancia (d), aplicando una fuerza (f) en el lado del graficador. Entonces se hace un trabajo:

$$W_{entrada} = f * d$$

El trabajo a la salida habrá sido:

$$W_{salida} = F * d / 2 \quad (\text{porque la escala del pantografo es } 1:2)$$

Como $W_{entrada} = W_{salida}$ por ser un sistema conservativo, se tiene:

$$f \cdot d = F \cdot d / 2 \quad \Rightarrow \quad F = 2f$$

Lo que quiere decir que como consecuencia de la reducción de escala, debida al sistema de palancas del pantógrafo, la fuerza a la salida del pantógrafo (F) es dos veces la fuerza aplicada (f). Así, el esfuerzo que debe hacer el graficador para mover al sistema de iluminación y al detector, si despreciamos la fricción y la masa del sistema de palancas, es la mitad del que tendría

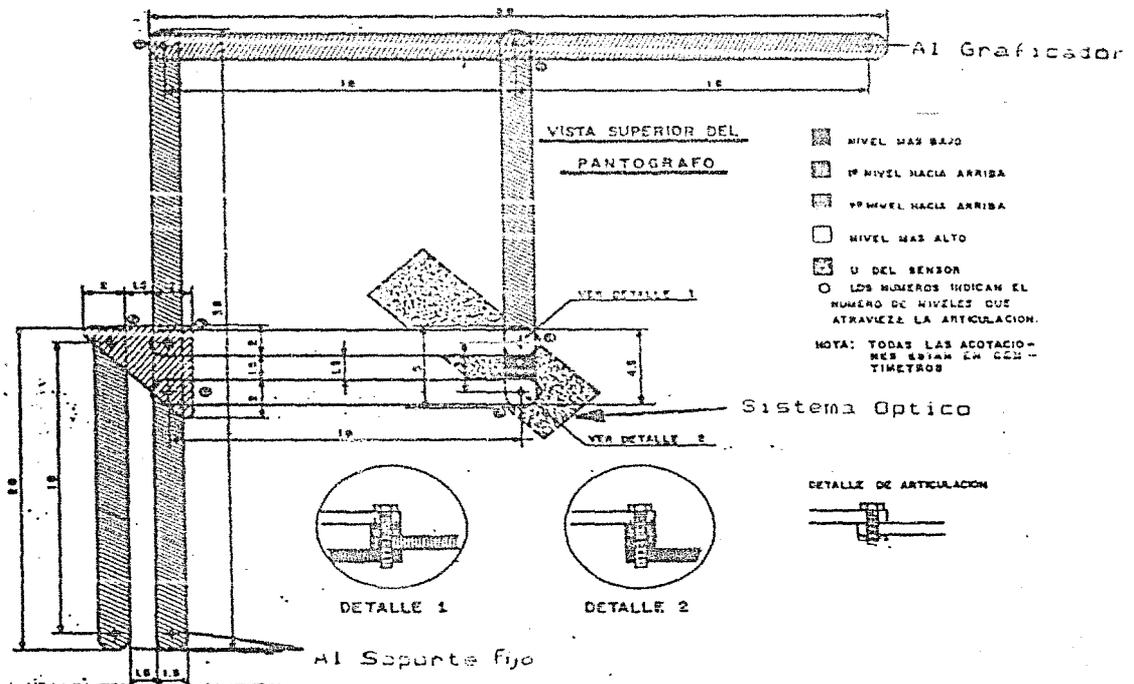


Figura 2.-El pantógrafo.

que hacer sin el pantógrafo . Se obtiene asimismo una garantía de dos en lo que respecta a la precisión mínima con que se mueve el graficador. La Figura 2 muestra un esquema del pantógrafo con sus dimensiones.

La construcción se realizó en acrílico de medio centímetro de espesor. Se trató de hacer las articulaciones de modo que no tuvieran juego, pero al mismo tiempo fueran fáciles de mover. Las barras paralelas sostienen a una articulación móvil triangular y al soporte en forma de "U" que sostiene al sistema óptico. Esto permite que este último preserve su orientación al mismo tiempo que se mueve de un lado a otro, como muestra el esquema parcial de la Figura 3. (1)

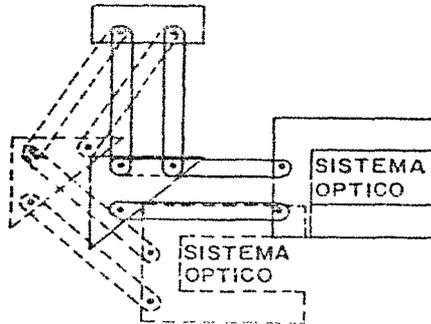


Figura 3.-Esquema de barras paralelas que permiten mantener la orientación del sistema óptico.

El pantógrafo como ya se dijo, sostiene a un soporte en forma de "U" en el que está montado el sistema óptico. Este soporte se desliza sobre una superficie plana mediante 4 balines, lo que permite mantener constante la distancia entre la placa fotográfica y la fuente de luz con un mínimo de fricción . La Figura 4 muestra el montaje de este sistema.

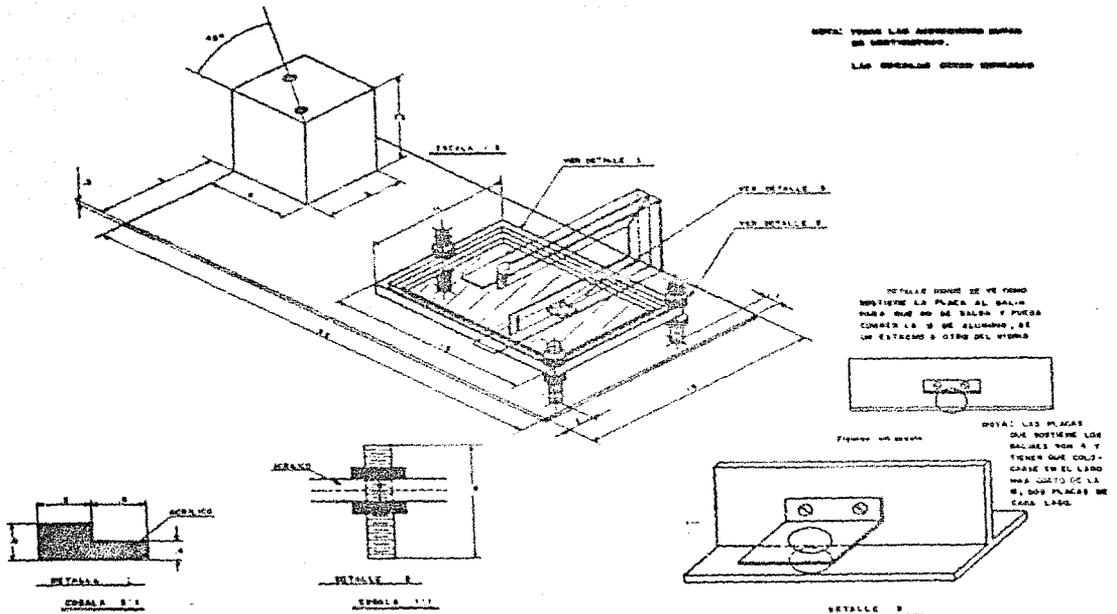


Figura 4.-Montura del sistema óptico y el pantógrafo.

El bloque del extremo izquierdo en la Figura 4 sirve de soporte para el pantógrafo. El marco que sostiene la placa fotográfica se fabricó también de acrílico y mantiene a ésta fija entre dos vidrios de tres milímetros de espesor. Tres tornillos de ajuste de altura permiten nivelar el soporte de la placa fotográfica, de manera que la distancia entre el haz de luz y la fotografía permanezca constante. Asimismo, la base de todo el sistema está montada sobre tres tornillos de ajuste que permiten nivelar y modificar su altura en caso de que se quisiera usar un graficador de dimensiones distintas. El soporte en forma de "U" se construyó en un perfil "T" de aluminio de una pulgada; en la Figura 5 se muestra en detalle la montura de los balines en la

cara inferior de este soporte. La Figura 5 muestra el sistema ya montado.

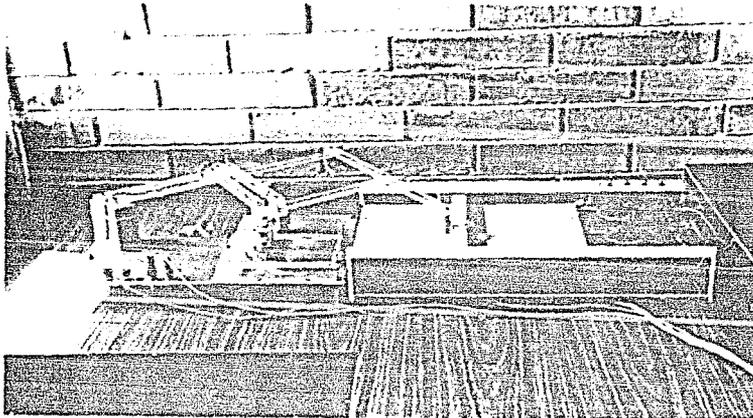


Figura 5.-Sistema mecánico ya montado.

El acoplamiento entre el graficador y el pantógrafo se realizó por medio de una plumilla gastada, la cual se recortó y se adaptó al pantógrafo en el extremo correspondiente por medio de una articulación.

La máxima resolución sobre la película que se logra con el graficador usado es de 62 micras. Esta resolución puede aumentar con otro graficador u otra escala en el pantógrafo.

EL SISTEMA OPTICO

El sistema óptico debe hacer convergir el haz de luz, como muestra la Figura 1 (Capítulo 1), para que el foco de la lente quede sobre la fotografía y sea un punto muy pequeño aquel del que se recibe la información. En realidad esto se puede lograr

con una sola lente convergente de dimensiones adecuadas. En nuestro caso, para garantizar la ligereza del sistema y dadas las dimensiones del soporte, era conveniente que la distancia focal fuera de alrededor de un centimetro. Las lentes de esas dimensiones son dificiles de adquirir en nuestro pais. Por ello se probaron distintos sistemas ópticos ya existentes con las características deseadas. Un conjunto de lentes que cumplió con las restricciones, y que se encontró a nuestra disposición, fué un ocular de telescopio cuya distancia focal es de 7 milímetros. Este se encuentra montado en la parte superior de la "U" (Figuras 5,6,7) mediante una pequeña abrazadera de aluminio. Las características de este sistema y la forma de mejorarlo se analizarán en el Capítulo 3 y en el Apéndice 1. La Figura 6 muestra un acercamiento del montaje.

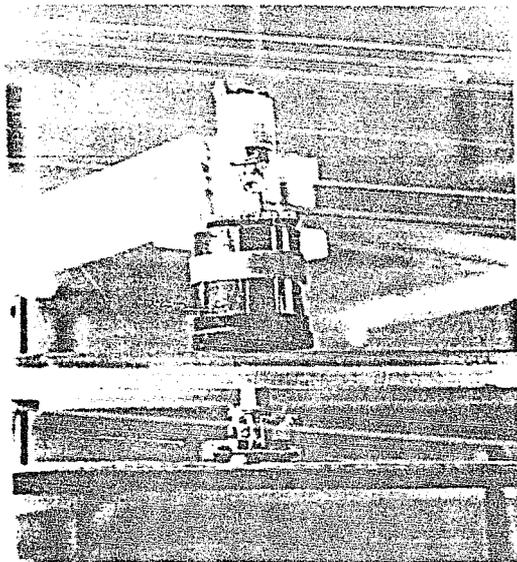


Figura 6.-Detalle de montura del sistema óptico.

El haz de luz se generó con un foco de lámpara de 2.5 Volts, (del tipo de las que tienen una lente en la punta); envolviendo este en un pequeño cilindro de papel aluminio a manera de pantalla se obtiene una luz direccional. Sin embargo, se observó que el punto de luz en el foco de la lente era mas pequeño si se colimaba el haz por medio de un pequeño orificio antes del ocular. Así que el foco se colocó en la parte superior del soporte en forma de "U" (Figura 6) y a este se le perforó un agujero de 1/16 de pulgada justo encima del ocular (Figura 7).

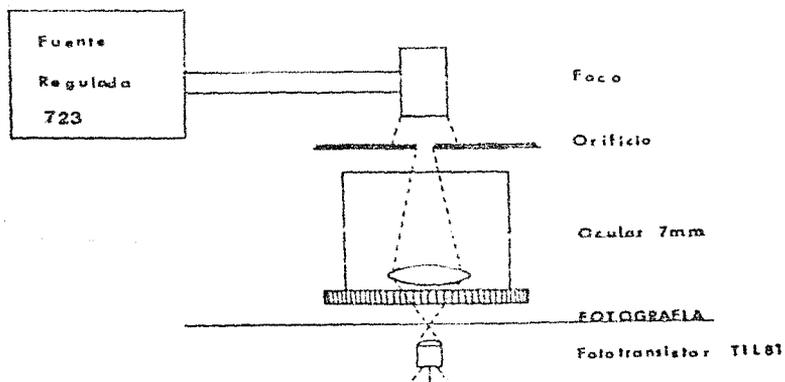


Figura 7.-Esquema del dispositivo de iluminación.

Originalmente se constuyó una fuente de alimentación regulada, con un regulador de voltaje integrado de tres terminales de la serie 78XX. Sin embargo, se observaron variaciones en la intensidad del haz apreciables a simple vista. Por ello se constuyó otra fuente regulada con un circuito integrado 723, cuya regulación de carga es 5 veces mayor (ver datos en el Apèndice 3); (2) las pruebas de estabilidad se

presentan en el Capítulo 3. La Figura 7 muestra un esquema del dispositivo de iluminación y la forma en que se colima el haz.

Para la fuente de voltaje del foco se usó la configuración que se muestra en el diagrama de la Figura 8. El foco consume 150 miliamperes, por lo que se utilizó un transistor TIP 32 que soporta una corriente de 3 Amperes.

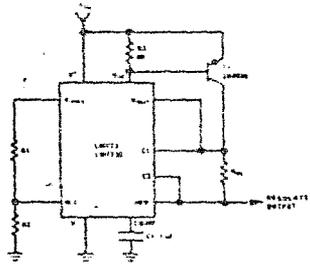


Figura 8.-Diagrama de la fuente de voltaje del foco.

Para escoger el detector que se usaría se analizó la existencia en el mercado y se decidió comprar un fototransistor TIL 01. En el proceso de estudiar su respuesta, y la mejor manera de conectarlo, se encontró que este generaba un voltaje de 0.5 Vots entre Base y Colector aún sin polarizarse; esto con iluminación directa del foco alimentado con 2 Volts y a una distancia de 1 centímetro. La medida se hizo con un voltímetro cuya impedancia de entrada es de 10 Megaohms. El voltaje del detector se medirá posteriormente en el aparato, por medio del módulo de adquisición de datos y control, cuya impedancia de entrada es mayor que 10^{10} ohms en el rango de 0.3 a 3 Volts y su sensibilidad de 1 microvolt en el mismo rango. Se verificó que el voltaje generado por el detector no variara durante varias horas a iluminación constante .

Por lo expuesto anteriormente y por la sencillez que esto implica, el voltaje en el sensor del fotodensitómetro se mide directamente de sus terminales Base y Colector sin polarización alguna. Solo se conectó a estas una resistencia de 100 Kiloohms para mantener una impedancia constante tomando en cuenta la muy alta sensibilidad de nuestro medidor.

LA INTERFAZ

La interfaz es en esencia un convertidor digital analógico. Su construcción fue necesaria debido a que se quería hacer un sistema versátil, en el sentido de que se pudiera utilizar un graficador del tipo más común en laboratorios de investigación (graficador analógico). El módulo de adquisición de datos y control, existente en el laboratorio, carece de una salida analógica, poniendo solamente a disposición del usuario las siguientes salidas:

- Ocho canales de medición de voltaje, corriente y frecuencia de los cuales dos pueden ser usados como interruptores.
- Un canal digital de entrada/salida de 8 bits.

Con estas restricciones se buscó una solución que nos permitiera tener dos salidas analógicas (una para cada eje del graficador), con la resolución más alta posible. El recurso que se eligió fue el de utilizar los dos canales de medición del módulo de adquisición de datos y control, que pueden ser usados como interruptores (canales 1 y 2) para conmutar la salida del canal digital de ocho bits, sobre cuatro convertidores digital-analógicos. Estos cuatro convertidores están conectados por pares a un circuito sumador escalado, de modo que dos de

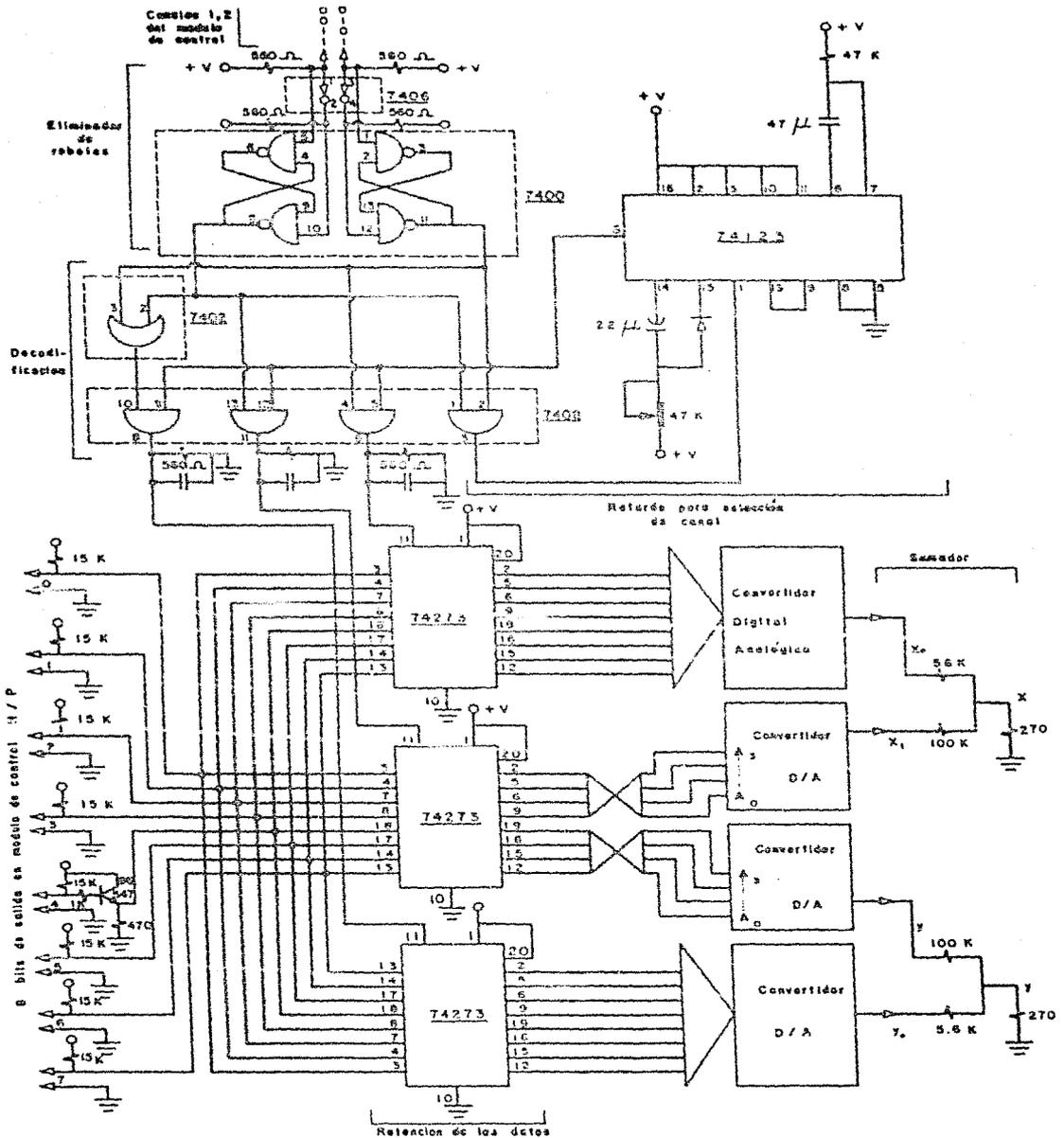


Figura 9.-Diagrama de la interfaz.

ellos dividen a cada eje del graficador en 256 intervalos y los otros dos dividen cada uno de estos intervalos en 16 más pequeños. Las combinaciones posibles de los estados de dos interruptores son cuatro; se usan tres para seleccionar a los diferentes convertidores, dividiendo el canal de la escala fina en dos canales de 4 bits cada uno (16 intervalos). La otra combinación se utiliza para activar un proceso que genera un pulso con un retardo temporal, que permite escoger el canal antes de mandar los datos y escribirlos en circuitos retenedores, que se encuentran a la entrada de los convertidores. Fue necesario agregar un circuito eliminador de rebotes entre los interruptores y la interfaz. La Figura 9 muestra el diagrama de este circuito. Una copia del diagrama de pistas se encuentra en los apéndice.

De esta manera se obtienen 4096 puntos en cada eje, que usando toda el área del marco de la fotografía, en el eje X representa pasos de 0.03 milímetros por intervalo y en el eje Y de 0.02 milímetros por intervalo. El número de intervalos logrado haciendo la suma analógica es el mismo que se lograría con un canal y convertidores de 12 bits ($2^{12}=4096$).

El Decodificador

La selección (decodificación) del canal del graficador que el usuario desee utilizar con la escala adecuada es llevada a cabo por compuertas AND y OR (Figura 9). La computadora se encarga de mandar el protocolo necesario para poder escribir los datos en el graficador, sin necesidad de un reloj sincronizado en la interfaz. El protocolo sigue la siguiente secuencia:

- a) Escribe el número que corresponde a alguna posición del graficador en el canal digital de salida.
- b) Coloca los interruptores en la combinación 1,1 activando el multivibrador monostable (74123).

- c) Pone la combinación de interruptores que corresponda al eje y a la precisión con que se quiera mover el graficador.
- d) Hace una espera que depende de cuantos interruptores hubo que mover para la combinación deseada en c).

El periodo de oscilación del multivibrador monoestable (ver Figura 9) se ajustó según el tiempo que tardan la computadora y el modulo de adquisición y control en realizar los pasos b) y c). De ese modo, aparece un pulso en la terminal de escritura del circuito retenedor correspondiente a la combinación de interruptores que se coloque en c). El paso d) obliga al computador a tardar lo mismo para poner cualquier combinación de interruptores, de modo que el pulso del oscilador monoestable (pata 5) siempre llegue después de escrita la combinación deseada.

Esta configuración permite ajustar la velocidad de escritura de la interfaz a la capacidad de conmutación del circuito de salida del computador y a la velocidad del programa. En particular nuestro módulo de adquisición de datos y control activa relevadores en los canales 1 y 2, lo cual hace muy lenta la escritura de los datos. Para una conmutación más rápida (electrónica) ó una computadora y un programa más veloces, solo hay que ajustar el potenciómetro que regula el tiempo de espera del oscilador monoestable.

La tabla de verdad de las combinaciones de los interruptores usada es:

Canal 1	Canal 2	Función
0	0	Selecciona escala burda en Y.
0	1	Selecciona escala burda en X.
1	0	Selecciona escala fina en Y y X.
1	1	Activa pulso con retardo temporal.

Los Convertidores Digital-Analógicos

Los convertidores digital-analógicos mantienen la salida que les sea indicada por los circuitos retenedores hasta que su valor cambie. La conversión tiene una salida cuya variación es en corriente, por lo tanto resulta necesario conectar un convertidor de corriente a voltaje en su salida. En esta etapa, cualquier variación de los componentes, ya sea térmica o de otro origen, produce un cambio en la posición del graficador.

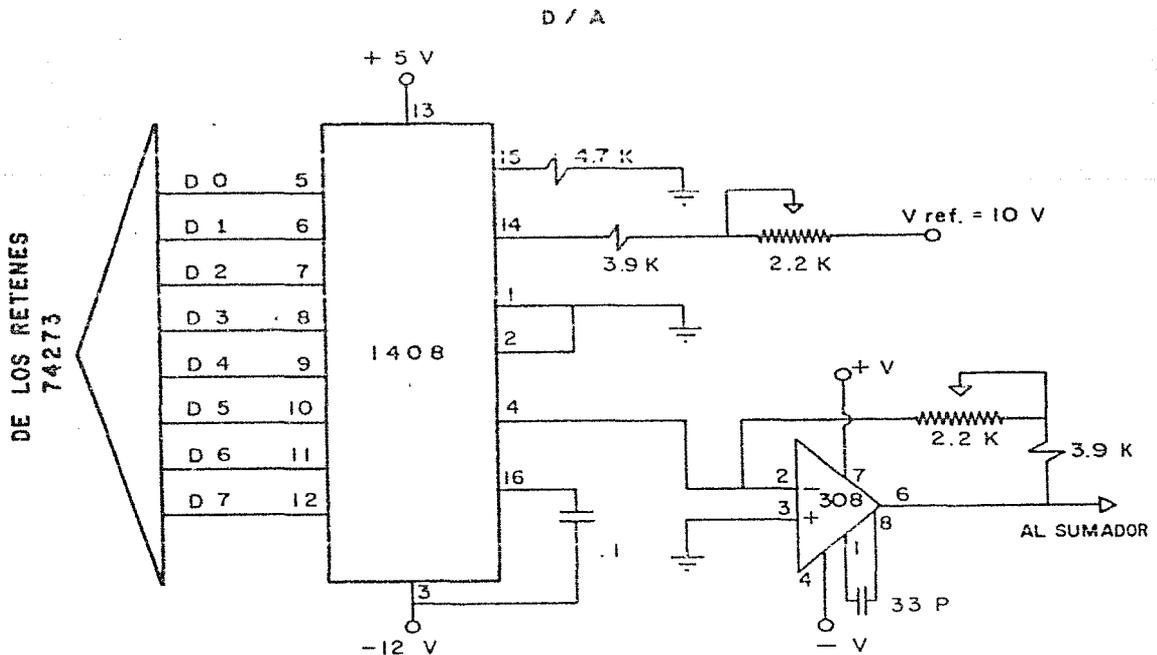


Figura 10.-Diagrama de los convertidores digital-analógicos. (5)

Por ello se escogió para la salida del convertidor un amplificador operacional que tuviera poco corrimiento térmico. El amplificador elegido fué el 308, cuyo corrimiento térmico típico es de solo 6 microvolts por grado centigrado. Este circuito tiene la ventaja adicional de no requerir de ajuste de corrimiento por deriva. La Figura 10 presenta un diagrama de nuestros convertidores.

Con los potenciómetros mostrados en la Figura 10, es posible ajustar los voltajes de referencia de cada tarjeta convertidora; lo cual, debido los resultados de la evaluación, se hizo siguiendo el criterio expuesto en el siguiente capítulo.

Los Sumadores

Como ya se dijo, la salida de los convertidores digital-analógicos se suma con un factor de escalamiento para lograr una escala gruesa y otra fina en cada eje. Debido a que la salida en voltaje de nuestros convertidores está en el rango de 0 a 5 Volts, a que los graficadores tienen una sensibilidad de 1 milivolt y a que en esta etapa las variaciones de nuestro circuito se traducen en variaciones de posición, se decidió usar un sumador pasivo de resistencias. Esto es, un circuito como el que indica la Figura 11 con $R_1, R_2 \gg R_3$.

Para un sumador de este tipo el voltaje a la salida es:

$$V_3 = R_3 (V_1/R_1 + V_2/R_2)$$

En nuestro caso, por el factor de escalamiento en la escritura sobre cada eje del graficador, hay una diferencia entre R_1 y R_2 . Los valores usados son: $R_1=5.6k$ ohms, $R_2=100k$ ohms, $R_3=279$ ohms (Figura 11).

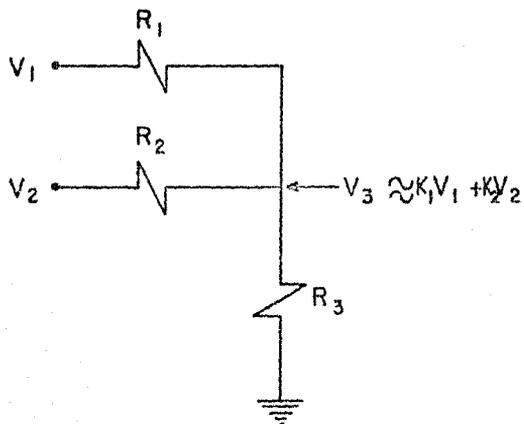


Figura 11.-Esquema del sumador pasivo.

EL SISTEMA COMPLETO

Como ya se dijo, el aparato aquí descrito es muy versátil en cuanto a que utiliza equipos que ya existían en un laboratorio. De hecho, la configuración descrita no es la única que permite su operación. La mayoría de las gráficas de pruebas que se presentan en el siguiente capítulo fueron obtenidas con el equipo incompleto haciendo un barrido con un generador de señales y muestreando la señal directamente con otro graficador analógico. Para hacer por ejemplo un barrido no paralelo a alguno de los ejes, sin utilizar la computadora, se puede usar la configuración que se muestra en la Figura 12.

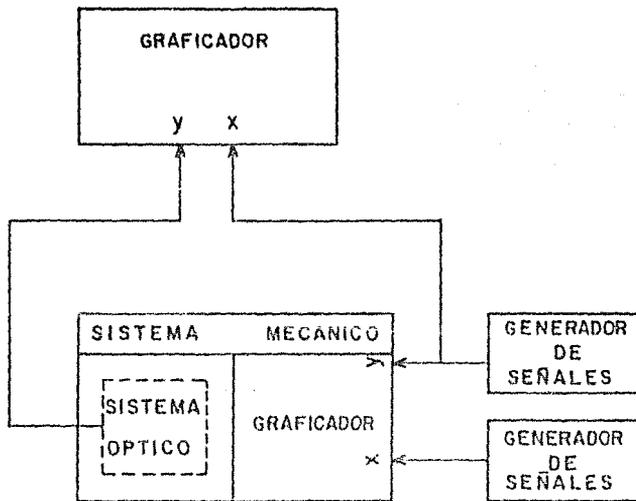


Figura 12.- Una configuración alternativa para obtener un barrido no paralelo a los ejes.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO 2

- 1.-Walton Harry, The How and Why of Mechanical Movements , Popular Science Publishing Company. E.P.Dutton & Co.,Inc. New York, (1968).
- 2.-National Semiconductor, Linear Databook. (1980).
- 3.-Texas Instruments, The Optoelectronics Databook for Engineers. (1976).
- 4.-Hewlett-Packard, Model 3421A Data Acquisition/Control Manual, Manual Part No. 03421-90010. (1984).
- 5.-Signetics, Analog Data and Applications Manual. (1980).

CAPITULO 3

EVALUACION DEL APARATO

METODO DE EVALUACION

Con el fin de establecer que tanto se ajusta el equipo descrito en este trabajo a las necesidades que lo motivaron, la evaluación global de su comportamiento se dividió en distintas partes y pruebas. Estas son:

┌ Tamaño de punto.

Sistema Optico -┘ Sensibilidad a cambios de grises.

└ Estabilidad del haz.

┌ Salida para el barrido.

Sistema Electrónico -┘ Tiempo de barrido.

└ Estabilidad.

Sistema Mecánico- Posicionamiento.

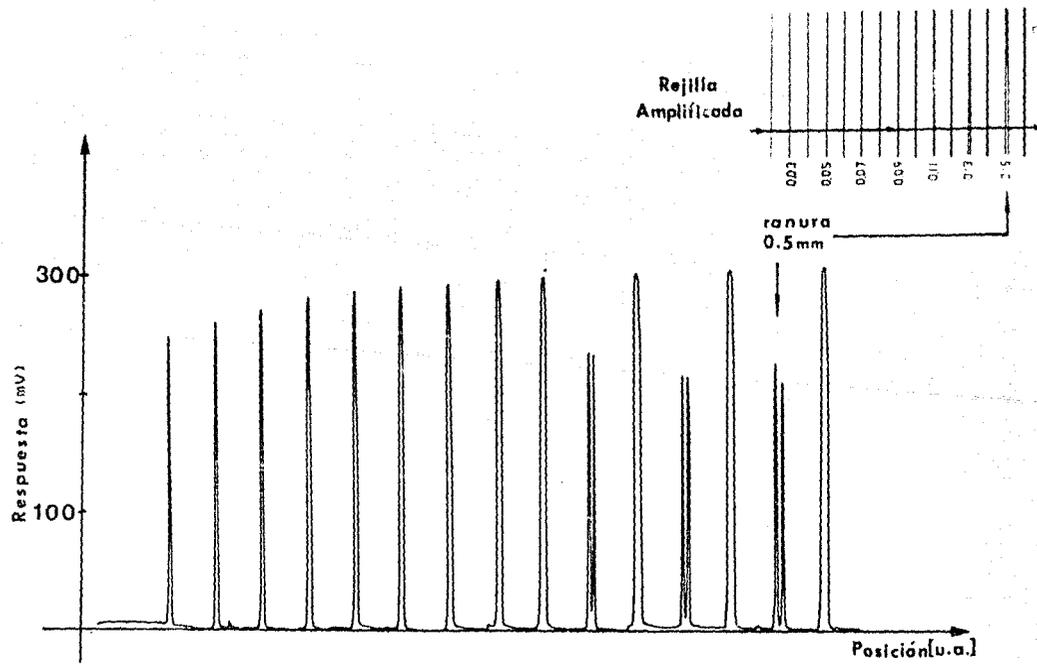
La información se obtuvo básicamente por medio de gráficas que describen el comportamiento del parámetro a evaluar en función del tiempo o de la variación de otro parámetro. Algunos de los resultados de estas gráficas obligaron a modificar partes del equipo durante su desarrollo.

SISTEMA OPTICO

TAMANO DEL PUNTO

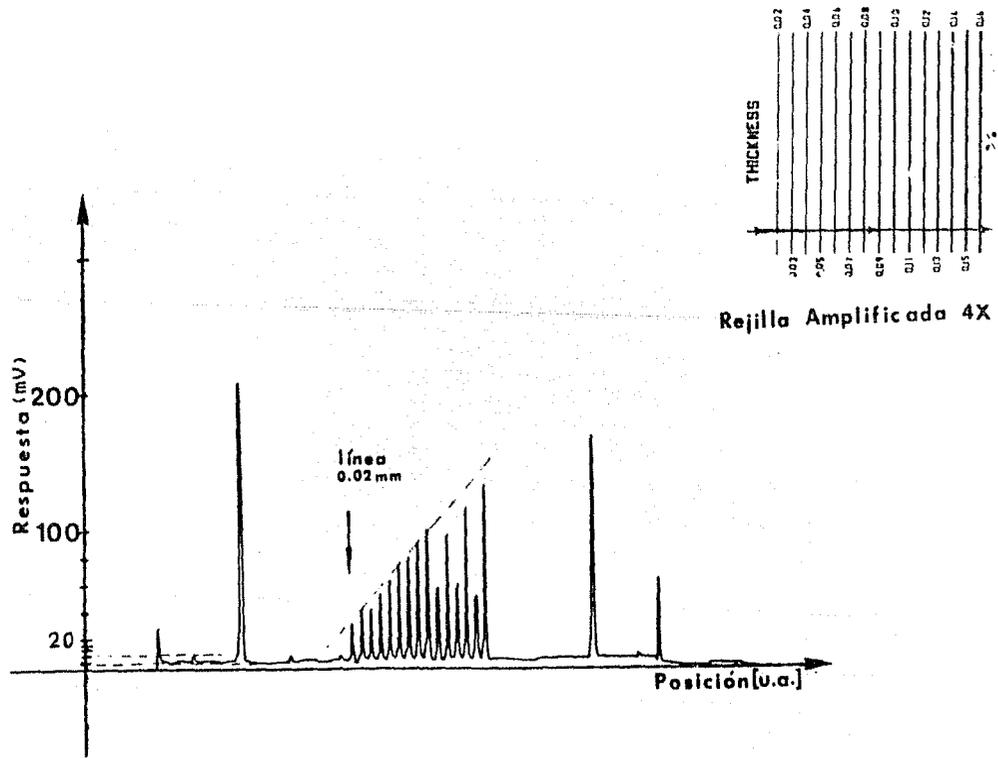
El tamaño del punto de luz que atravieza la película junto con la interfase digital-analógica determinan la resolución del aparato. Como se explicó, el haz de luz se hace convergir por medio de una lente. En teoría, el ancho de un haz de luz en el foco de una lente debería ser infinitamente pequeño. Esto en la realidad no es posible debido a defectos en el pulido y aberraciones ópticas en la lente. Con el propósito de evaluar el tamaño de nuestro punto de luz se hizo un barrido a lo largo de una placa fotográfica, con una serie de líneas de anchos y separaciones conocidos. Una ampliación fotográfica de esta placa se muestra en la esquina superior derecha de la Gráfica 1. Para saber el ancho entre las líneas del negativo se utilizó una lupa con una rejilla graduada.

La Gráfica 1 muestra el resultado del barrido a lo largo de la rejilla usada para determinar el tamaño del punto. En ella se puede apreciar que de la señal, de las tres ranuras en la rejilla, la de máxima intensidad (línea base en la gráfica) se logra cuando el haz atravieza la apertura de 500 micras. Ya que en este caso la señal prácticamente alcanza el valor para el fondo continuo (línea base), se puede afirmar que toda la luz enfocada por la lente se concentra en una zona de 500 micras de diámetro. Debido a efectos de difracción y aberraciones ópticas del sistema óptico, no se puede afirmar que nuestro punto sea homogéneo, en todo caso debe consistir de un punto con un pequeño halo. Sin embargo tomando en cuenta que esta pequeña "mancha" luminosa de 500 micras es la misma durante toda la lectura de una imagen y que su intensidad coincide con la del fondo continuo, podemos afirmar que nuestro punto ("pixel") de



GRAFICA

Tamaño del punto.



GRAFICA 2

Sensibilidad a líneas delgadas.

lectura tiene un diámetro de 500 micras,

Asimismo se puede apreciar la alta sensibilidad del aparato a líneas extremadamente delgadas por medio del barrido mostrado en la Gráfica 2. El aparato da una señal perfectamente detectable aún para líneas de 20 micras. Esto nos indica que el sensor detecta variaciones espaciales de intensidad más pequeñas que el punto de luz, debido a que el promedio de luz que atraviesa la película, disminuye al pasar por una línea como esa. Lo mismo debe de suceder para puntos muy pequeños. El límite de detección del aparato no pudo ser medido por no contar con una rejilla graduada con líneas más delgadas que 20 micras. Sin embargo, extrapolando de la Gráfica 2 podemos decir que, si los pequeños picos que se observan sobre la línea base fueran líneas negras, estas darían una señal de 4mV para un grosor aproximado de 4 micras.

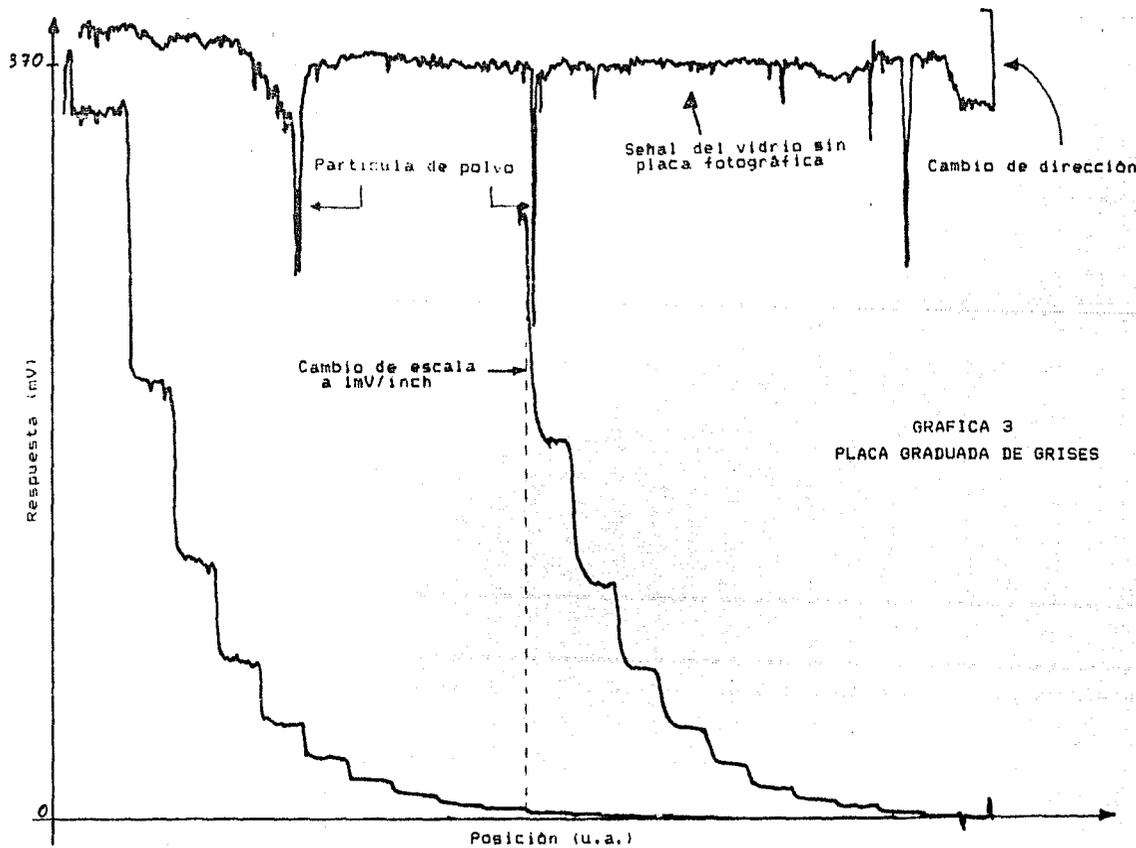
SENSIBILIDAD A CAMBIOS DE GRISES.

Dentro de los objetivos iniciales del equipo se requería una sensibilidad de al menos 10 tonos de gris. Se hicieron varios intentos para poder llevar a cabo la evaluación de la respuesta de nuestro sistema ante distintos tonos de gris.

La Gráfica 3 muestra la respuesta del fotodensitómetro a un barrido a través de una placa fotográfica calibrada con 22 tonos de grises, es decir, 22 grados distintos de densidad óptica aumentando en intervalos regulares.

En la Gráfica 4 se muestran los datos extraídos de la Gráfica 3, representados en papel semi-log.

En la Gráfica 4, se muestra la respuesta ante la misma placa de un fotómetro calibrado en mW/cm^2 . Desgraciadamente el sensor del fotómetro era demasiado grande para montarse en el sistema óptico del aparato. Esto obligó a usar otro sistema de



iluminación, provocando que la cantidad de luz que atravesaba la película en cada caso fuera distinta. Por ello, la medida en unidades absolutas de la respuesta de nuestro sensor no se pudo lograr por este medio. Sin embargo, la gráfica nos da una idea muy clara de que el logaritmo de la respuesta del sensor a distintos grados de densidad óptica es lineal. Ya que la gráfica en papel semi-log es una recta, podemos concluir que la medida de la densidad óptica por medio de nuestro fotodensitómetro es confiable.

Las rectas de la Gráfica 4, ajustadas por el método de mínimos cuadrados, son descritas por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Fotómetro: } \log L_t = .193 D + \log .145$$

con Coeficiente de Correlación = .9982

$$\text{Sensor (Til 01): } \log L_t = .211 D + \log .033$$

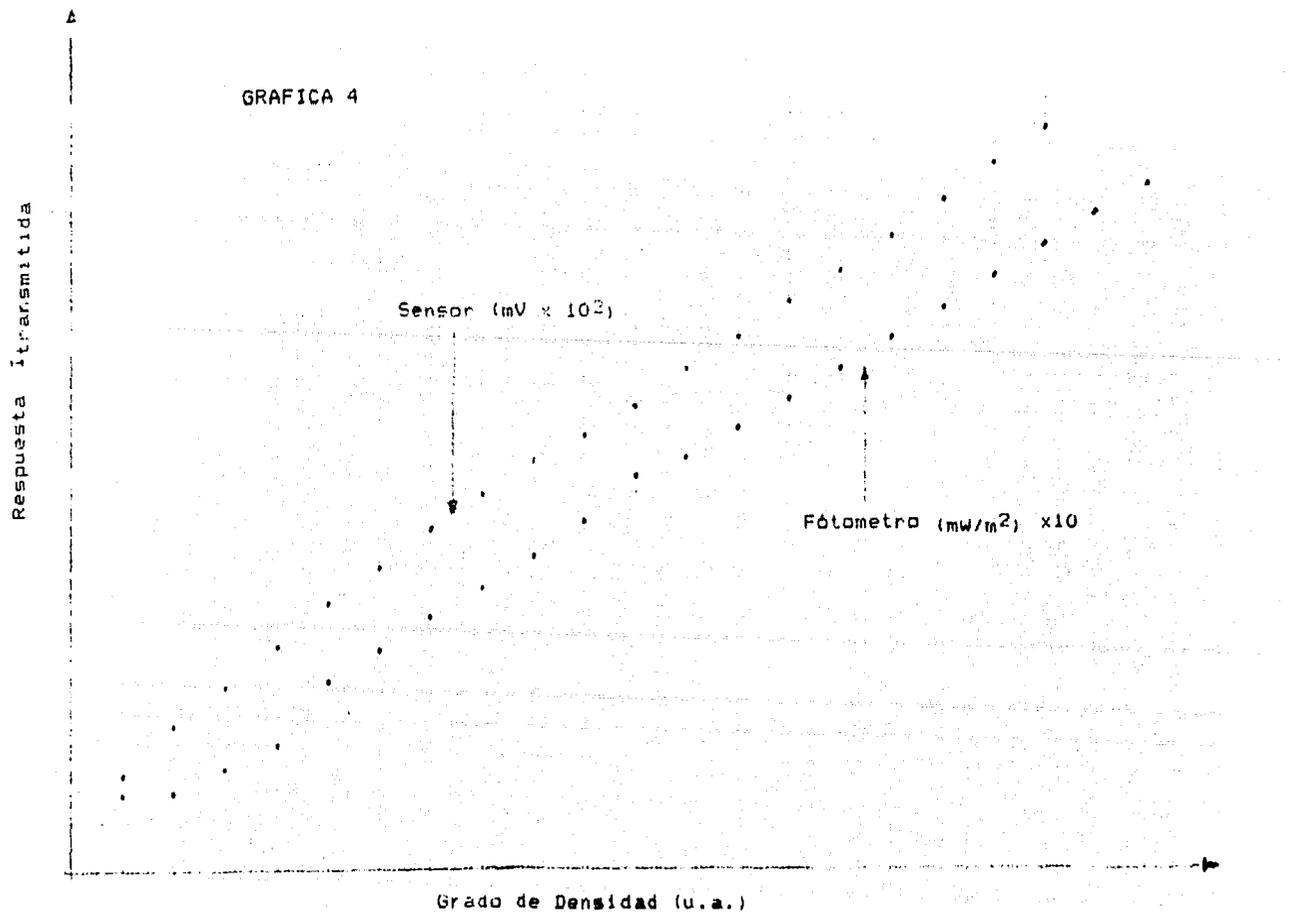
con Coeficiente de Correlación = .9978

Donde D es el grado de densidad de la película, y L_t es la medida de la luz transmitida.

Ambas funciones corroboran lo esperado respecto a la relación entre densidad óptica y la luz transmitida expresada en la ecuación 3 del Capítulo 1. El cambio en la ordenada al origen, se debe a la diferencia en el sistema de iluminación (intensidad de luz incidente) o a la diferencia en sensibilidades de los sensores a muy baja iluminación. De estas dos posibilidades la que seguramente tiene más influencia es la primera.

Las incertidumbres en ambas rectas de la Gráfica 4 fueron omitidas por ser de un orden despreciable. En un caso, las medidas se tomaron directamente de una lectura digital y en el otro, directamente de la Gráfica 3 sin haber posibilidad de error de paralaje. El valor de éstas es en todo caso de la mitad de la escala más fina. Las desviaciones observadas en el caso del

GRAFICA 4



sensor a la mitad de la recta y al principio de esta en el caso del fotómetro, pueden deberse a errores en la placa de calibración o a inestabilidades mecánicas que produjeran variaciones en la cantidad de luz incidente ó de luz captada. No se consideró necesario hacer un muestreo estadístico de estas medidas.

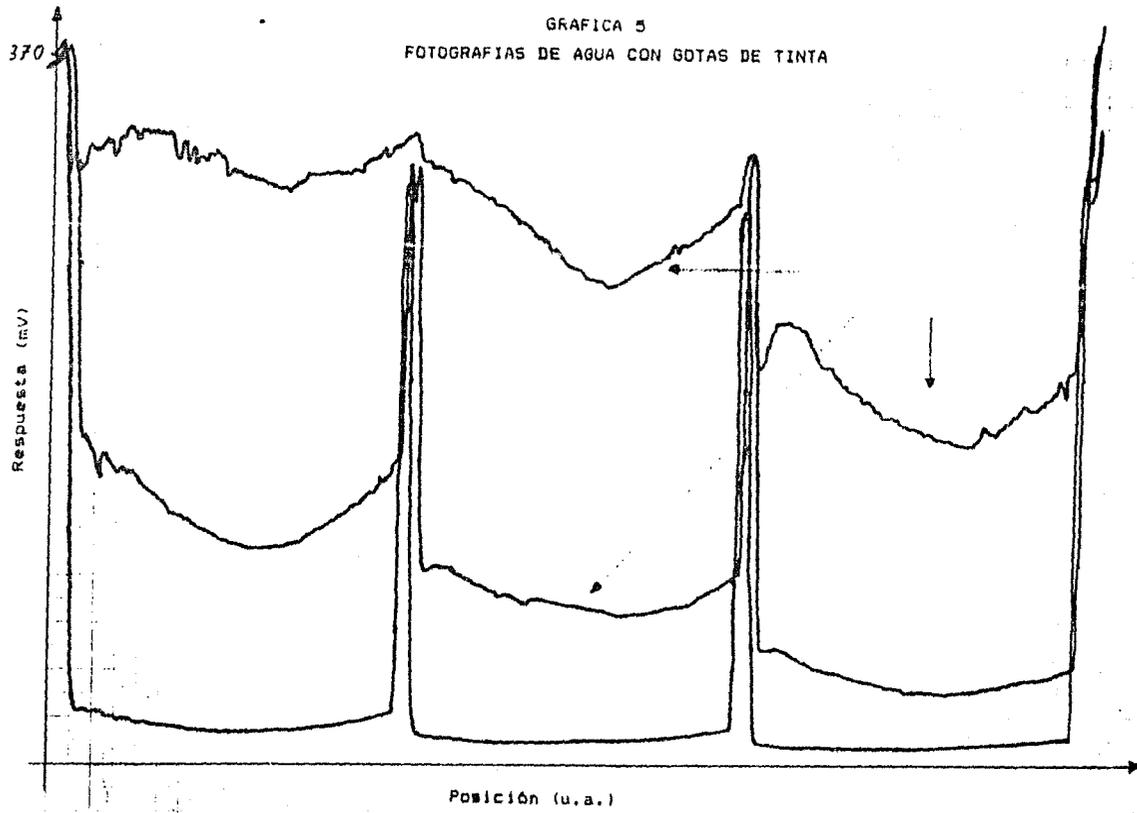
Tal vez convenga hacer notar la respuesta del aparato ante las pequeñas partículas depositadas en la superficie del vidrio donde se monta la película. Esta se puede ver claramente en la línea superior de la Gráfica 3; cada pico representa una partícula de polvo ó un pequeño rayón en la superficie del vidrio. Esto sugiere una modificación del sistema de la montura de la película que elimine el vidrio.

Uno de los intentos de medir la respuesta a distintos tonos de gris dió por resultado la Gráfica 5. Esta es la respuesta de un barrido a través de una serie de fotografías de un recipiente transparente, con un litro de agua al cual se fueron agregando gotas de tinta. La exposición de la película se hizo en tiempos iguales y con una iluminación constante. De la gráfica se puede comentar lo siguiente:

a) La sensibilidad al ruido provocado por las suciedades del vidrio es mucho mayor cuando nos encontramos en zonas claras.

b) Es notoria la curvatura en cada cuadro de exposición de la película, provocada por la inhomogeneidad en la iluminación del recipiente de agua. Al momento de tomarse las fotografías, el foco de neon que iluminaba el recipiente, se encontraba debajo de este en su parte central. El sensor nota la diferencia de intensidades entre los extremos y el centro de un foco neon, captada en una fotografía directa del recipiente con agua que se encontraba sobre él. Se hace notar que el recipiente tiene un fondo plano y que no hay posibilidad de que se tenga efecto de lente.

GRAFICA 5
FOTOGRAFIAS DE AGUA CON GOTAS DE TINTA



c) La respuesta no es completamente logarítmica, como en el caso de la placa calibrada con distintos grados de opacidad, debido a la respuesta no lineal de la película con que se fotografió el recipiente de agua (ver Figura 4 de la Introducción).

ESTABILIDAD DEL HAZ

En el Capítulo I se citan las especificaciones de la fuente de voltaje que se construyó para alimentar al foco. En este capítulo se ha visto que variaciones muy pequeñas de la cantidad de luz que llega al sensor son detectadas a la salida. Por lo tanto se hizo una evaluación de la variación con el tiempo de nuestra fuente de luz usando su respectiva fuente de voltaje. La Gráfica 6 nos muestra la salida del sensor sin movimiento durante un periodo de 1 hr. para saturación del sensor, y para dos tonos distintos de gris, iluminando con nuestra fuente de luz.

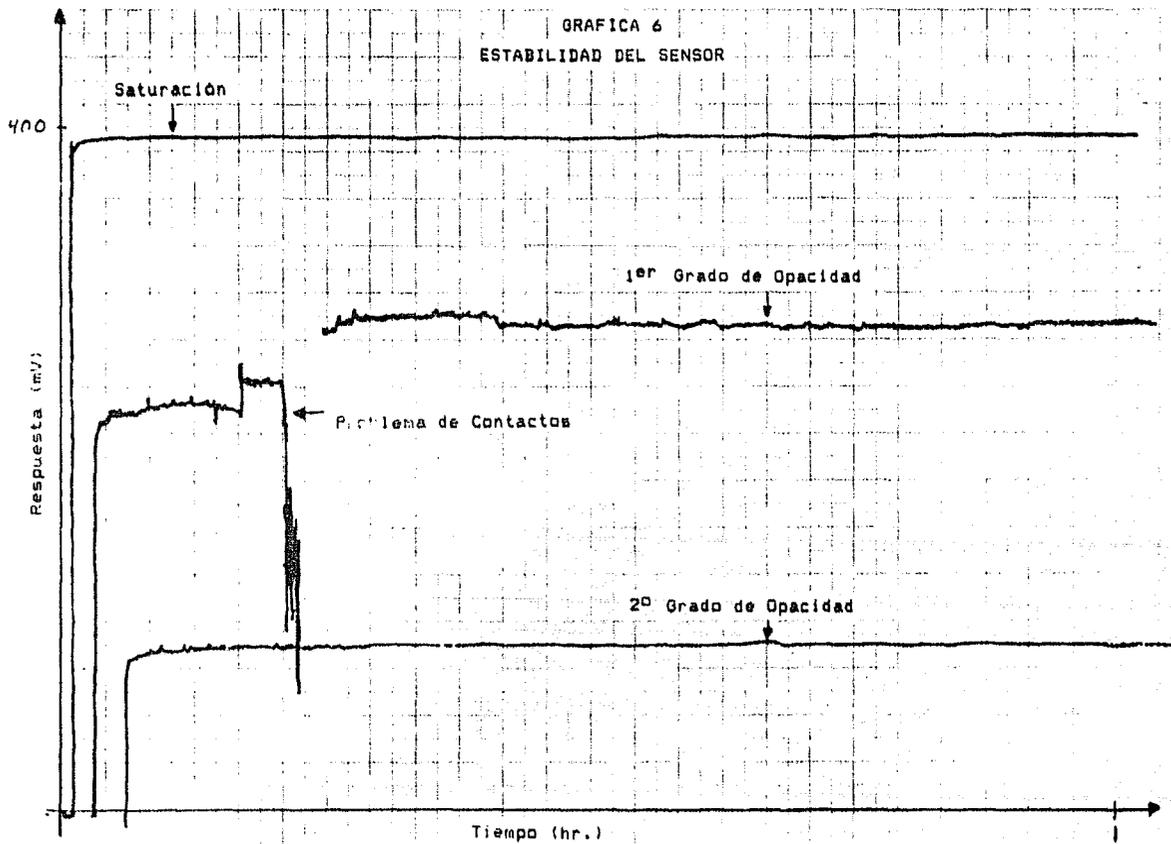
Como se puede observar, en todos los casos la variación de la fuente de luz es menor que el tamaño de los intervalos de gris para 22 opacidades distintas (Gráfica 3).

SISTEMA ELECTRONICO

SALIDA PARA EL BARRIDO

Como se explicó en el capítulo anterior, la salida de la interfase hacia el graficador analógico tiene cuatro convertidores digital-analógicos y dos sumadores pasivos. Con el fin de establecer la confiabilidad de ese circuito para posicionar el graficador, se programó una rampa de salida, de modo que enviara al canal X todos los valores que es capaz de generar, el sistema tanto en la escala gruesa, como en la fina.

GRAFICA 6
ESTABILIDAD DEL SENSOR



La Gráfica 7 muestra el resultado con una base de tiempo en el eje Y para poder distinguir los traslapes.

De esta gráfica se pueden concluir dos aspectos importantes:

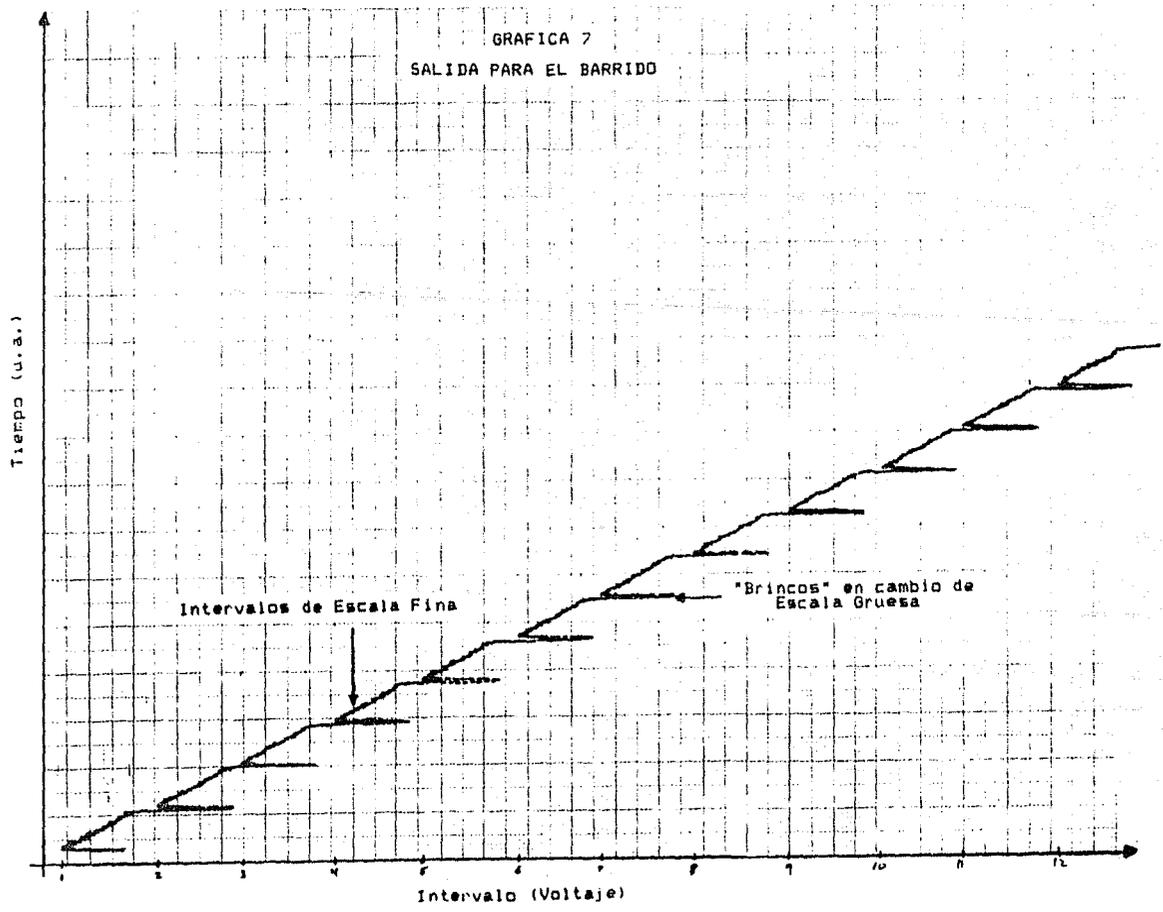
a) El circuito de interfase obliga al graficador a realizar recorridos inútiles, debido a que solo puede escribir un valor a la vez en cada una de las escalas. Esto es, para colocar el voltaje más bajo de un intervalo de la escala gruesa debe primero cambiar de intervalo y luego poner el voltaje más bajo de la escala fina. Si la escala fina se encontraba en su intervalo más alto, esto provoca un "brinco" del tamaño de un intervalo burdo.

b) Los intervalos del convertidor no son regulares lo que obliga a tener zonas donde no hay posibilidad de colocar al sensor, a menos que dos intervalos burdos se "traslapen" mediante la escala fina. Los potenciómetros en los voltajes de referencia de las tarjetas convertidoras permiten hacer un ajuste de modo que todos los intervalos burdos se "traslapen". Si se hace este ajuste, entonces se genera el problema inverso en el que dos direcciones distintas posicionen el mismo punto. Sin embargo, la solución para este último problema se pueda llevar a cabo por programa si se registran los voltajes de salida y solo se hace una lectura del voltaje del sensor, cuando este se encuentre en la posición deseada. Aunque esto implique una pérdida de resolución, de hasta un 50%, permite barrer toda la película. En el siguiente capítulo se analiza como hacer la modificación al programa. No obstante, sería conveniente estudiar la posibilidad de "invertir" el peso de la suma analógica de modo que se generaran 16 intervalos de 256 partes cada uno, en vez de 256 intervalos de 16 partes cada uno, para reducir el número de "brincos".

TIEMPO DE BARRIDO

El sistema de conmutación por medio de relevadores del módulo

GRAFICA 7
SALIDA PARA EL BARRIDO



de adquisición y control de datos, con la interfase construida requiere 6.25 segundos para hacer un recorrido linal de 16 puntos escribiendo en la escala fina. Lo que se traduce en 26 minutos para un renglón completo a máxima resolución.

ESTABILIDAD

Se hicieron medidas de los voltajes de salida de cada uno de los canales de la interfase durante una hora de operación y para el mismo valor digital no se apreció cambio mayor a 0.01 mV. Lo que implica una muy alta estabilidad.

SISTEMA MECANICO

POSICIONAMIENTO

La capacidad del sistema para colocarse en un punto determinado depende principalmente de la capacidad del graficador para hacerlo. Las únicas causas de una posible variación son: algún juego en las articulaciones ó flexibilidad en alguna parte del sistema mecánico. Si se construyen con cuidado las articulaciones la máxima incertidumbre que se tendrá, será de la mitad de la graduación mas pequeña del torno usado, multiplicada por tres. Esto se debe a que hay que transmitir el movimiento a través de tres articulaciones, en el más crítico de los casos que se presenta cuando el pantógrafo está completamente estirado. Si consideramos el movimiento en una sola dirección, entonces el error será menor debido a que una vez comenzado el movimiento cada articulación esta recargada, sobre la pared opuesta a la dirección de movimiento, hasta que se cambie de sentido.

En la extrema derecha de la línea de barrido sin película, de la Gráfica 3, se aprecia un aumento considerable en el voltaje de salida. Este se presentó en el momento en que el fotodensitómetro

comenzó su recorrido de regreso. Haciendo un examen del sistema se pudo apreciar una pequeña deformación en la monura "en U" del sistema óptico, al momento de cambiar de sentido en el recorrido. Esta deformación produce una desalineación del sensor respecto al haz provocando un aumento o una disminución en el voltaje de salida, dependiendo del sentido en que se esté moviendo el sistema. Asimismo se pudo apreciar una elevación de los balines frontales sobre los cuales desliza la montura "en U", al momento de hacer recorridos hacia atrás. Esto último provoca que el haz de luz no atraviese la película en el foco de la lente y por lo tanto un aumento en el tamaño del punto de lectura.

Las dos observaciones del párrafo anterior pueden ser corregidas por programa, si este solo toma datos durante los recorridos en una sola dirección, de preferencia los que van de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha en el graficador.

Si se quisiera solucionar este problema, sin recurrir a complicaciones en el programa, que acarreen problemas con el desempeño rápido de la lectura se recomendaría: la construcción de una nueva montura del sistema óptico en forma de "O", para que no haya posibilidad de desalineación del haz; y cambiar el punto de apoyo del pantógrafo, para que los balines siempre tengan presión hacia abajo.

Si se quiere usar el sistema con el traslape de intervalos, propuesto como ajuste en la sección anterior, se debe tomar en cuenta la deformación de la montura y sacrificar algunos puntos en el barrido en una sola dirección, de modo que la montura se "reajuste" despues de cada brinco.

UNA PRUEBA

La Grafica 8 muestra la respuesta de una serie de barridos realizados a través de una placa fotográfica del patrón de

difracción cuya impresión en papel se muestra en la Figura 1. Esta gráfica se llevó a cabo haciendo la conexión mostrada en la Figura 2. Los voltajes de la fuente de voltaje, que produjeron un posicionamiento inicial en el eje Y del sistema mecánico y en los ejes X, tanto en sistema mecánico, como en el de graficación, se variaron manualmente en intervalos regulares, cada vez que se terminó un barrido de izquierda a derecha. Esta variación en el inicio de cada barrido en el eje X del sistema de graficación es lo que produce el efecto de una imagen tri-dimensional. Se hicieron 41 barridos a 0.02 Hz lo que tomó aproximadamente una hora.

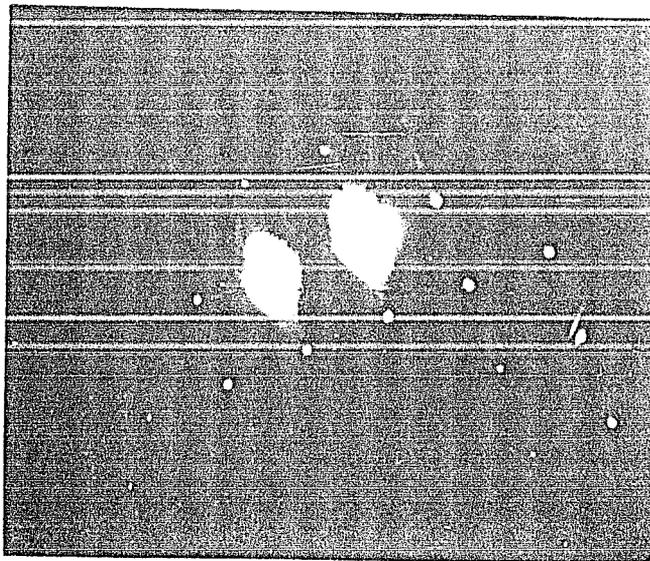
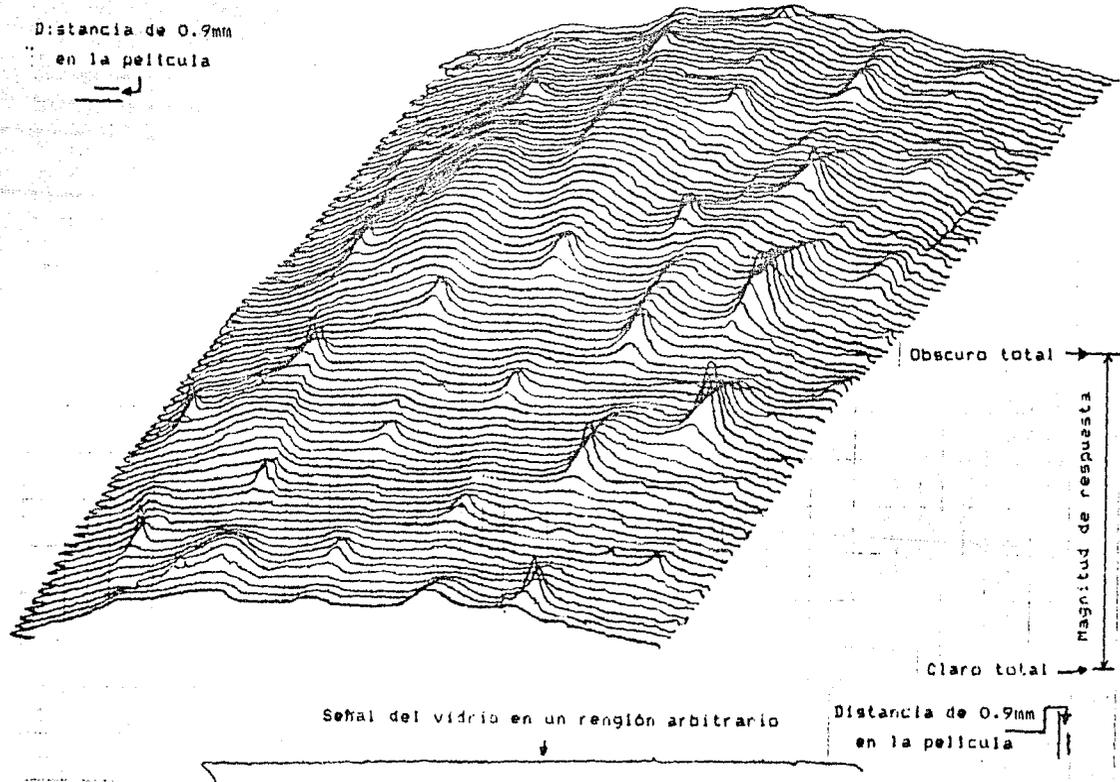


Figura 1.-Impresión en papel de patrón de difracción
(Grafica 8).

GRAFICA 8
SERIE DE BARRIDOS EN PATRON DE DIFRACCION



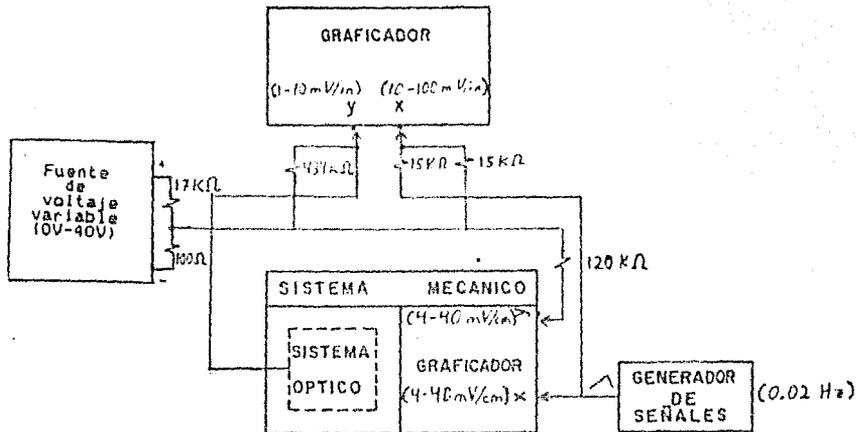


Figura 2.-configuración usada para obtener la Gráfica B.

La línea que se observa en la parte inferior de la gráfica es un barrido en una posición arbitraria sin la película.

Las sensibilidades de ambas graficadoras, así como sus calibradores de cero, fueron ajustados inicialmente de modo que los barridos tuvieran las dimensiones adecuadas para la película y para el papel de graficación en cada caso. Este ajuste, sumado a la dimensión arbitraria de los recorridos en el eje X del papel de graficación, produce un "alargamiento" de las "protuberancias" que en muchos casos debían verse "circulares". La diferencia entre las escalas de los recorridos en ambas graficadoras, altera visualmente la información pero, no impide que esta se pueda extraer de la gráfica, dado que se conoce el valor del recorrido de una graficadora respecto a la otra. Las marcas en las esquinas inferior-derecha y superior-izquierda representan un avance de 0.9mm en la película.

La marca de la derecha de la gráfica, representa la respuesta del sensor a obstrucción total de luz y a iluminación total. Los

divisores de voltaje en la entrada del graficador de registro, se conectaron de modo que la misma escala en el eje Y detectara la respuesta del sensor e hiciera recorridos del tamaño adecuado al cambiar de renglón. Una función análoga tiene el divisor de voltaje a la entrada del eje X.

Como se puede apreciar, con el sistema descrito y recorridos que abarquen toda la película, se puede extraer completamente la información sobre las intensidades transmitidas y su posición. Si se quisiera, por ejemplo, saber la posición relativa de dos picos a partir de la Gráfica B, habría que hacer los trazos mostrados en la Figura 3 y medir las distancia B transformandola a milímetros de película. Si llamamos n, al número de renglones entre un pico y otro, x a la distancia en milímetros de película que representa cada recorrido de un renglón en el eje X de la gráfica y y a la distancia en milímetros de película entre cada renglón de la gráfica, la distancia entre los dos picos será:

$$C = \sqrt{(B-nx)^2 + (ny)^2}$$

Es importante hacer notar que la magnitud de los picos que se ven en la Gráfica B, no es una medida de la densidad óptica sino de la luz transmitida.

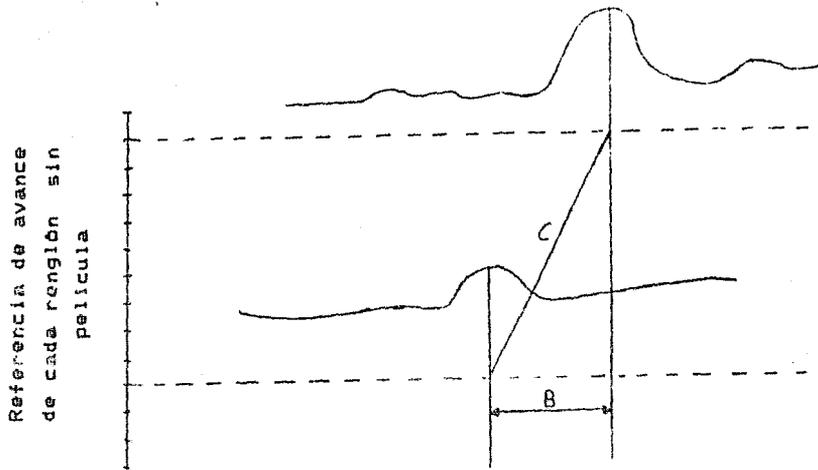


Figura 3.- Trazos para medir distancia entre dos picos en la Gráfica B.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CORRECCIÓN DE FALLAS

El equipo cumple con el requisito inicial de 10 tonos de gris, de hecho, se pudo comprobar sensibilidad para hasta 22 tonos de gris. El punto de lectura es 2.5 veces más grande de lo especificado en los requerimientos iniciales, sin embargo, se tiene una gran sensibilidad para puntos de hasta 20 micras. El mejoramiento del sistema óptico es factible, por ejemplo, cambiando la lente ó usando luz monocromática para lograr un punto mas pequeño al eliminar aberraciones cromáticas.

El sistema electrónico presenta dos defectos graves, que son: su lentitud y su incapacidad para escribir en ambas escalas a la vez. El primero, se debe a la conmutación mecánica del módulo de adquisición y control. Tal vez sea posible implementar una conmutación electrónica con un solo canal de 8 bits, sacrificando la de por si excesiva resolución de nuestra interfase de 256x16 intervalos. Respecto a la incapacidad para escribir en ambas

escalas a la vez, este problema requeriría de una modificación a la salida de la interfase y de otro bit para su control.

Las modificaciones al sistema mecánico ya han sido propuestas durante el análisis. El fotodensitómetro, aún sin la interfase y la computadora, es un sistema que permite la extracción de la información de la placa fotográfica, como lo demuestra la Gráfica 8. Aunque esta gráfica se realizó alterando manualmente los voltajes, que variaron la posición de los barridos, un circuito sencillo consistente de un contador digital y un convertidor digital analógico podría hacer automáticamente esta labor. Sin embargo, se puede inferir que, dadas las ventajas del procesamiento digital de la imagen lo más conveniente será usar una computadora para captar la información. En ese sentido, lo más sencillo es realizar todo el control del aparato por medio de la misma computadora que haga el muestreo de la imagen, aunque esto signifique el sacrificio de tiempo del procesador. Solo en el caso de que se quiera construir otro aparato similar; con las mejoras propuestas, se recomienda la construcción de un circuito que libere a la computadora de realizar el barrido. La interfase construida con todo y sus limitaciones es suficiente para que la labor de control sea ya solo un problema de programación, tomando en cuenta todas las restricciones que imponen tanto el sistema de convertidores, como la deformación del sistema óptico al cambiar de sentido en el barrido. Se considera que la modificación más sencilla que debe hacerse, para que el sistema sea absolutamente confiable, es aquella que elimine la flexibilidad de la montura del sistema óptico en los cambios de sentido.

CAPITULO 4

MANEJO Y MEJORAS DEL APARATO

EL MANEJO

El fotodensitómetro puede ser manejado y usado de muchas maneras sin necesidad de la interfaz y la computadora. Una de estas se especifica al final del Capítulo 2. Sin embargo la manera óptima de funcionamiento y adquisición de los datos se obtiene con una computadora. Este capítulo hace una revisión de las partes fundamentales del programa que se hizo para controlar el graficador del sistema mecánico y la adquisición de los datos.

El programa de control del fotodensitómetro, fue planeado de modo que guiara al usuario en la instalación del equipo antes de ponerlo a funcionar, una vez hecho esto, aparecen en la pantalla las opciones de operación del aparato, que se consideraron indispensables para una adquisición adecuada de la información de una película. Desgraciadamente, no fue posible programarlas en su totalidad, funcionan las opciones de lectura de puntos aislados en cuanto al posicionamiento y la primera parte de lectura y archivo de líneas. También es posible hacer un barrido horizontal o vertical corriendo las subrutinas del programa raíz que llevan por etiqueta "Rampa en X" o "Rampa en Y".

La mayoría de las instrucciones de manejo aparecen en la pantalla durante la operación de la parte terminada del programa y sería conveniente seguir esa misma filosofía en el resto de la programación.

INSTRUCCIONES ESPECIFICAS

El módulo de adquisición y control de datos, requiere de un cierto protocolo para poder activar los interruptores que controlan la interfaz digital analógica construida, y para escribir datos en la salida digital. Además, es necesario respetar la secuencia descrita en el Capítulo 1 para poder

EL MANEJO

El fotodensitómetro puede ser manejado y usado de muchas maneras sin necesidad de la interfaz y la computadora. Una de estas se especifica al final del Capítulo 2. Sin embargo la manera óptima de funcionamiento y adquisición de los datos se obtiene con una computadora. Este capítulo hace una revisión de las partes fundamentales del programa que se hizo para controlar el graficador del sistema mecánico y la adquisición de los datos.

El programa de control del fotodensitómetro, fue planeado de modo que guiara al usuario en la instalación del equipo antes de ponerlo a funcionar, una vez hecho esto, aparecen en la pantalla las opciones de operación del aparato, que se consideraron indispensables para una adquisición adecuada de la información de una película. Desgraciadamente, no fue posible programarlas en su totalidad. funcionan las opciones de lectura de puntos aislados en cuanto al posicionamiento y la primera parte de lectura y archivo de líneas. También es posible hacer un barrido horizontal o vertical corriendo las subrutinas del programa raíz que llevan por etiqueta "Rampa en X" o "Rampa en Y".

La mayoría de las instrucciones de manejo aparecen en la pantalla durante la operación de la parte terminada del programa y sería conveniente seguir esa misma filosofía en el resto de la programación.

INSTRUCCIONES ESPECIFICAS

El módulo de adquisición y control de datos, requiere de un cierto protocolo para poder activar los interruptores que controlan la interfaz digital analógica construida, y para escribir datos en la salida digital. Además, es necesario respetar la secuencia descrita en el Capítulo 1 para poder

escribir en cada una de las escalas y para producir movimientos finos o burdos en el graficador.

Las instrucciones que se usaron para activar distintas funciones del módulo de adquisición y control fueron:

"OPNX" - Para abrir el interruptor X (Open X).

"CLSX" - Para cerrar el interruptor X (Close X).

"DCI,15" - Para limpiar los cuatro bits menos significativos de la salida digital, antes de escribir en alguna de las escalas finas sin alterar los demás bits (Digital Clear 1).

"DCI,240" - Para limpiar los cuatro bits más significativos de la salida digital antes de escribir en la otra de las escalas finas sin alterar los demás bits (Digital Clear 1).

"DSI,X" - Para escribir el valor X en alguna de las escalas finas sin alterar los demás bits. Para una de las escalas el valor debe estar sumado a 240 (Digital Set).

"WRTI,X" - Para escribir un valor en la salida digital usando todos los bits (Write).

Todas estas instrucciones deben ir precedidas de la orden "Output 709;" para preparar la salida hacia el módulo de adquisición y control direccionado con el número 709. Es importante hacer notar que el valor X en todos los casos debe ser convertido en una variable secuencial mediante "Val*(X)" para que el módulo de adquisición y control identifique la instrucción.

Para evitar repeticiones, se programaron todas estas instrucciones en forma de subrutinas. De este modo, para escribir en el canal X, Y, X0 o Y0, solo es necesario asignar a la variable J el valor que se quiere en decimal y llamar las subrutinas etiquetadas como "Escritura en X, Y, X0, Y0"

respectivamente.

El resto del programa también se desarrolló en forma de subrutinas. Queda en manos de la persona que desee continuar con el programa, hacerlo tan elaborado como desee, pudiendo usar lo descrito como herramienta.

MEJORAS

El problema de el "traslape" de puntos, producido por la irregularidad de los intervalos de salida del convertidor digital-analógico, mostrado en la Gráfica 7 del Capítulo 2, se puede resolver con programación. Para hacer esto, se deben ajustar los potenciómetros de las tarjetas convertidoras A/D de modo que no haya "zonas" a las cuales no se pueda llegar con un valor de la escala fina. Una vez realizado esto, es suficiente con retroalimentar la salida de la interfaz y hacer una comparación entre el punto donde se encuentra el graficador y el punto al que se quiere llegar antes de efectuar la lectura de la intensidad de luz. Para hacer lecturas de voltaje en cualquier canal X con el módulo de adquisición y control, se utiliza la instrucción "Output 709;DCVX" (Direct Current Voltage) seguido de la instrucción "Enter 709; VX". Aunque esta modificación hace mas lento el programa, la retroalimentación ofrece otras ventajas como la de compensación de desajustes en la interfaz. La solución mas viable al problema de la lentitud del posicionamiento, no consiste en una modificación del programa, sino en una sustitución del sistema de interruptores por algun sistema mas rápido.

La conversión del voltaje de entrada del sensor, a una medida

absoluta de la densidad óptica de la película, también puede realizarse por programa.

El proceso de adquisición con una computadora más grande que la HP-85, sería muy ventajoso, incluso, puede pensarse en la utilización de programas profesionales comerciales para el tratamiento de las imágenes adquiridas por el fotodensitómetro.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO 4

- 1.- Hewlett-Packard. Model 3421A Data Acquisition/Control Unit, Manual Part No. 03421-90010. (1964)

CONCLUSIONES

El equipo descrito en este trabajo cumple satisfactoriamente con las necesidades para las que fué construido, como se puede ver en los análisis de las pruebas mostradas en el Capítulo 3. Se constuyó un dispositivo económico respecto a un equipo comercial de digitalización de video; versatil; facil de reproducir; y con un alto potencial de aplicación. Aunque el punto de lectura es 2.5 veces mayor al planeado, la sensibilidad a puntos tan pequeños como 20 micras es igual a la esperada. La sensibilidad a 22 tonos de gris es 2.2 veces mayor que la especificada en un inicio. La resolución en cuanto a la cantidad de puntos que se pueden posicionar es también más alta de la esperada. La respuesta del sensor es facilmente linealizable a una medida de la densidad óptica. La lentitud de la adquisición de los datos no es un problema grave, si se toma en cuenta que el proceso puede ser automatizado y que la solución modificando el circuito es facil de llevar a cabo. El acoplamiento directo a una computadora hace que se pueda procesar, digitalmente la información captada por el fotodensitómetro. Cada módulo del sistema es muy versatil y puede ser utilizado en forma rápida sin el sistema de cómputo, como lo demuestran todas las pruebas presentadas. A pesar de que la interfaz produce "brincos" al no poder posicionar en las dos escalas a la vez, este problema se puede solucionar con programación.

El conocimiento sobre el diseño y construcción de equipo, como toda creación tecnológica no secreta, es acumulativo. En ese sentido, quien tenga la necesidad de un equipo de apoyo como el aqui desarrollado, no perderá mucho tiempo en llegar hasta donde alcanzó este trabajo y podrá dedicar más tiempo a su perfeccionamiento. En el primer apéndice se hace un resumen de las mejoras que se consideran necesarias y una manera llevarlas a cabo.

Sinceramente espero que este trabajo, aunque insuficiente respecto a algunas de sus ambiciones originales, pueda ser utilizado y adaptado para apoyar la labor de investigación, que fué lo que lo motivó.

**ESTA TESTA NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

APENDICES

RECOMENDACIONES Y OTRAS APLICACIONES

Las recomendaciones que hacemos para mejorar el aparato en orden prioritario són:

a) Terminar el programa incluyendo retroalimentación de la salida y linealización de la respuesta del sensor a una medida de densidad óptica.

b) Construir un soporte del sistema óptico en forma de "O" para evitar desalineación del haz. Cambiar punto de apoyo del pantógrafo para que los balines siempre tengan contacto con la base.

c) Cambiar el sistema de soporte de la película de modo que el haz de luz no tenga que atravesar un vidrio. El mismo marco con pedazos de vidrio intercambiables de distintos tamaños y geometrías puede resolver el problema.

d) Probar otras lentes y fuentes de luz para reducir el tamaño del punto.

e) Implementar un sistema de conmutación electrónico para aumentar la velocidad. Probablemente sacrificando resolución y usando dos bits para este propósito.

f) Usar un bit más para modificar salida y poder escribir en ambas escalas a la vez.

g) Construir un sistema de barrido automático por renglones que libere a la computadora de esta tarea y permita extraer la información automáticamente por medio de gráficas.

Es común encontrarse en un laboratorio con problemas de instrumentación de dispositivos, cuya solución ya haya sido aplicada pero con otro propósito. En este sentido es evidente que hay partes aisladas del equipo aquí descrito que pueden servir para otros fines que el que se les dió aquí. Considero necesario recalcar que la idea de utilizar un graficador, como transductor

de voltaje a posición, es aplicable en muchos casos en los que el esfuerzo mecánico que se exija no force al graficador. Asimismo la interfaz construida, por su altísima resolución, puede utilizarse en cualquier aplicación que requiera de dos canales con 4096 intervalos cada uno, manejables con 10 bits.

El aparato se encuentra a disposición de quien quiera mayor información en el Departamento de Materiales Cerámicos y Metálicos del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

LISTADO

A continuación presento el listado del programa hasta donde se pudo desarrollar y una lista de las variables más importantes que se usan en él. La subrutina de lectura de líneas calcula adecuadamente la pendiente y la ordenada al origen de la línea que se quiere barrer, sin embargo la parte que controla la salida para realizar el barrido no funciona bien, se sugiere repetir esa parte de la programación.

Lista de variables:

- A-Contador de retardo en X_0, Y_0 .
- B-Selector del letrero K_1, K_3 .
- C-Selector de canal X_1, Y_1 .
- D-Contador de retardo por canal.
- G-X 1^{er} punto.
- H-Y 1^{er} punto.
- I-X 2^o punto.
- J-Valor de la salida.
- K-Y 2^o punto.

LIST "CORTRI"

```

20 M=0
30 J,S,T=255
40 ON KEY# 1 GOSUB 850
50 ON KEY# 2 GOSUB 950
60 CLEAR
70 DISP " ESTE PROGRAMA PERMITE USAR"
80 DISP "EL MICROFOTODENSITOMETRO POR ME-"
90 DISP "DIO DE UNA GRAFICADORA Y EL MO-"
100 DISP "DULO DE ADQUISICION DE DATOS."
110 DISP " FAVOR DE HACER LOS SIGUIEN-"
120 DISP "TES AJUSTES UNA VEZ CONECTADOS"
130 DISP "LOS APARATOS,PERO SIN ACOPLAR LA"
140 DISP "GRAFICADORA AL FOTODENSITOMETRO:"
150 DISP " PONGA AMBOS EJES DE LA GRA-"
160 DISP "FICADORA EN LA ESCALA ENTRE + Y "
170 DISP "40 MV/CM."
180 DISP " PRESIONE K1"
190 GOTO 190
200 CLEAR
210 DISP " AJUSTE LOS CEROS HASTA QUE"
220 DISP "LA PLUMILLA QUEDE EN EL PUNTO"
230 DISP "(0,0)"
240 DISP " PRESIONE K2"
250 GOTO 250
260 CLEAR
270 DISP " AJUSTE LOS VERNIERS HASTA "
280 DISP "QUE LA PLUMILLA QUEDE EN EL PUN-"
290 DISP "TO (21,16)"
300 DISP " ACOFLE Y ACOMODE EL FOTODEN-"
310 DISP "SITOMETRO PARA QUE EL RAZ"
320 DISP "DE LUZ QUEDE EN EL EXTREMO SUPE-"
330 DISP "RIOR DERECHO DEL MARCO,CUIDADO"
340 DISP "QUE EL SENSOR NO TOQUE CON ESTE"
350 DISP ""
360 DISP " PRESIONE CONT"
370 PAUSE
380 CLEAR
390 REM MENU PRINCIPAL
400 ON KEY# 3 GOTO 500
410 ON KEY# 1 GOTO 700
420 DISP " MENU PRICIPAL"
430 DISP "K1 LECTURA DE PUNTOS AISLADOS"
440 DISP "K2 LECTURA Y ARCHIVO DE ZONAS"
450 DISP "K3 LECTURA Y ARCHIVO DE LINEAS"
460 DISP "K4 GRAFICACION DE LINEAS"
470 DISP "K5 IMPRESION DE ZONAS"
480 DISP "K6 PROMEDIO DE ZONAS"
490 GOTO 490
500 REM RUTINA DE LINEA K3
510 ON KEY# 6,"1er PTO" GOSUB 540
520 B=0
530 GOTO 720
540 G=S @ H=T
550 ON KEY# 6,"2o PTO" GOSUB 500
560 B=1
570 GOTO 830
580 I=S @ K=T
590 ON KEY# 6,"L.MAX" GOSUB 630
600 ON KEY# 7,"L.MIN" GOSUB 670
610 B=2
620 GOTO 830
630 REM LEEZ VALOR

```

```

640 P=3
650 GOTO 630
660 GOTO 660
670 REM *LEER VALOR
680 GOTO 2290
690 END
700 REM RUTINA K1
710 B=5
720 CLEAR
730 S,T=255
740 M=1
750 GOTO 850
760 ON KEY# 1,"+YBURDO" GOSUB 1170
770 ON KEY# 2,"-YBURDO" GOSUB 1190
780 ON KEY# 3,"+XBURDO" GOSUB 1210
790 ON KEY# 4,"-XBURDO" GOSUB 1230
800 ON KEY# 5,"+YFINO" GOSUB 1130
810 ON KEY# 7,"+XFINO" GOSUB 1150
820 ON KEY# 8,"SALIR" GOTO 330
830 GOSUB 1670
840 GOTO 840
850 REM RUT DE COLOCACION EN (0,0)
860 J=255
870 GOSUB 890
880 IF M=1 THEN 760 ELSE 200
890 REM SUBRUT. COLOCACION EN TODOS
900 GOSUB 1910
910 GOSUB 1950
920 GOSUB 1990
930 GOSUB 2030
 40 RETURN
950 REM SUB COLOCACION EN SUP.DER.
960 J=0
970 GOSUB 890
980 GOTO 260
990 REM RAMPA EN X
1000 FOR D2=155 TO 0 STEP -1
1010 J=D2
 1020 GOSUB 1950
1030 FOR D1=15 TO 0 STEP -2
1040 J=D1
1050 GOSUB 2030
1060 GOSUB 3100
1070 NEXT D1
1080 NEXT D2
1090 FAUSE
1100 GOTO 990
1110 RETURN
1120 REM INTERVALOS DE RECORRIDO
1130 Q=1
1140 GOTO 1250
1150 Q=1
1160 GOTO 1530
1170 Q=10
1180 GOTO 1250
1190 Q=10
1200 GOTO 1450
1210 Q=10
1220 GOTO 1530
1230 Q=10
1240 GOTO 1600
1250 REM RECORRIDO EN Y+(S,Q)
1260 S=S-Q
1270 IF S<=-1 THEN 1420
1280 GOSUB 1680
1290 J=5

```

```

1300 GOSUB 1910
1310 GOTO 1310
1320 REM LIMITES DE MOVIMIENTO
1330 S=255
1340 DISP "MINIMO"
1350 GOTO 1310
1360 T=255
1370 DISP "MINIMO"
1380 GOTO 1310
1390 T=0
1400 DISP "MAXIMO"
1410 GOTO 1310
1420 S=0
1430 DISP "MAXIMO"
1440 GOTO 1310
1450 REM RECORRIDO EN Y-(S,0)
1460 S=S+Q
1470 IF S>=256 THEN 1330
1480 GOSUB 1680
1490 REM
1500 J=S
1510 GOSUB 1910
1520 GOTO 1520
1530 REM RECORRIDO EN X+(T,0)
1540 T=T+Q
1550 IF T<=-1 THEN 1390
1560 GOSUB 1680
1570 J=T
1580 GOSUB 1950
1590 GOTO 1590
1600 REM RECORRIDO EN X-(T,0)
1610 T=T-Q
1620 IF T>=256 THEN 1390
1630 GOSUB 1680
1640 J=T
1650 GOSUB 1950
1660 GOTO 1660
1670 REM REFRESCA PANTALLA K1,K3
1680 CLEAR
1690 DISP " X", " Y"
1700 DISP ABS(255-T), ABS(255-S)
1710 DISP ""
1720 DISP ""
1730 DISP "          INTENSIDAD"
1740 DISP ""
1750 DISP ""
1760 IF B=5 THEN GOTO 1890
1770 IF B=0 THEN GOTO 1810
1780 IF B=1 THEN GOTO 1830
1790 IF B=2 THEN GOTO 1850
1800 IF B=3 THEN GOTO 1870
1810 DISP "      COLOQUE EL SENSOR EN EL 1er PUNTO Y PRESIONE K6"
1820 IF B=0 THEN 1890
1830 DISP "      COLOQUE EL SENSOR EN EL 2o PUNTO Y PRESIONE K6"
1840 IF B=1 THEN 1890
1850 DISP "      COLOQUE EL SENSOR EN UN PUNTO DONDE NO HAYA OBSTRUCCIO
N DE LUZ, PRESIONE K6."
1860 IF B=2 THEN 1890
1870 DISP "      OBSTUYA LA LUZ DEL SENSOR   CON CUALQUIER OBJETO OPACO.
PLANO Y PRESIONE K7."
1880 IF B=3 THEN 860
1890 KEY LABEL
1900 RETURN
1910 REM ESCRIBIDA EN Y (Y)
1920 D4="1" @ E4="0" @ C=2 @ A=30
1930 GOSUB 2070

```

```

1940 RETURN
1950 REM ESCRITURA EN X (J)
1960 D1="0" @ E1="1" @ C=2 @ A=50
1970 GOSUB 2070
1980 RETURN
1990 REM ESCRITURA EN Y0 (J)
2000 A=1 @ C=3 @ E1="0" @ D1="1"
2010 GOSUB 2070
2020 RETURN
2030 REM ESCRITURA EN X0 (J)
2040 A=1 @ C=1 @ E1="0" @ D1="1"
2050 GOSUB 2070
2060 RETURN
2070 REM RUTINA DE SALIDA
2080 V1=VAL4(J)
2090 IF C=2 THEN GOSUB 2210
2100 IF C=1 THEN GOSUB 2230
2110 IF C=3 THEN GOSUB 2260
2120 C1="CLS"
2130 OUTPUT 709 ;C1;V1
2140 OUTPUT 709 ;"OPN0"
2150 OUTPUT 709 ;"OPN1"
2160 OUTPUT 709 ;C1;D1
2170 FOR D=1 TO A
2180 NEXT D
2190 OUTPUT 709 ;C1;E1
2200 RETURN
2210 O1="WRT1,"
2220 RETURN
2230 OUTPUT 709 ;"DC1,15"
2240 O1="DS1,"
2250 RETURN
2260 OUTPUT 709 ;"DC1,240"
2270 O1="DE1,"
2280 RETURN
2290 REM CALCULO DE LINEA
2300 CLEAR
2310 L=ABS(16*(G-I))
2320 D=ABS(16*(H-K))
2330 IF L>D THEN GOSUB 2410
2340 IF D>L THEN GOSUB 2440
2350 DISP "      HAY";L1;"INTERVALOS ENTRE"
2360 DISP "ESDS DOS PUNTOS PARA MAXIMA RE-"
2370 DISP "SOLUCION."
2380 DISP "      META EL VALOR DE H EL NUMERO DE VECES QUE DESEA DIVIDIR
ESTA RESOLUCION"
2390 INPUT H
2400 MO=1/H
2410 J=H
2420 GOSUB 1950
2430 J=G
2440 GOSUB 1910
2450 M1=(H-K)/(G-I)
2460 DISP "G,H,I,K,M1";G;H;I;K;M1
2470 B=H-M1*K
2480 DISP "B";B
2490 N1=1
2500 P=0
2510 L3=N1*MO/16
2520 DISP "N1,MO,L3";N1;MO;L3
2530 L4=INT(L3)
2540 IF L4=1 THEN GOTO 2570
2550 L5=L3 MOD 16
2560 DISP "L5";L5
2570 IF L5=0 THEN GOTO 2590
2580 IF P=1 THEN GOTO 2640

```

```
2590 N1=N1+1
2600 IF L2=1 THEN 2620
2610 L2=1
2620 L2=2
2630 GOTO 2500
2640 IF L2=1 THEN 2690
2650 L2=1
2660 X=(L3-B)/M1
2670 L3=X
2680 GOTO 2500
2690 L2=2
2700 Y=M1*L3+B
2710 L3=Y
2720 GOTO 2500
2730 IF L2=1 THEN 2790
2740 L7=H-L4
2750 IF L7=0 THEN 2960
2760 J=L7
2770 GOSUB 1910
2780 GOTO 2580
2790 L6=Q-L4
2800 IF L6=1 THEN 2960
2810 DISP L4
2820 J=L4
2830 GOSUB 1950
2840 GOTO 2580
2850 IF L2=1 THEN 2890
2860 J=L5
2870 GOSUB 1990
2880 GOTO 2580
2890 J=L5
2900 GOSUB 2030
2910 GOTO 2580
2920 L1=L @ L2=1
2930 RETURN
2940 L1=0 @ L2=2
2950 RETURN
2960 END
2970 J=200
2980 GOSUB 1950
2990 PAUSE
3000 J=15
3010 GOSUB 1990
3020 PAUSE
3030 J=100
3040 GOSUB 1950
3050 PAUSE
3060 J=0
3070 GOSUB 1990
3080 PAUSE
3090 GOTO 2970
3100 OUTPUT 709 ; "DCV3"
3110 ENTER 709 ; V3
3120 DISP V3
3130 RETURN
```

ESPECIFICACIONES DE LOS COMPONENTES

Anexo las especificaciones de los componentes que considero más importantes para el funcionamiento del equipo. Se omiten todos los componentes lógicos de la interfaz.

TYPE TIL61

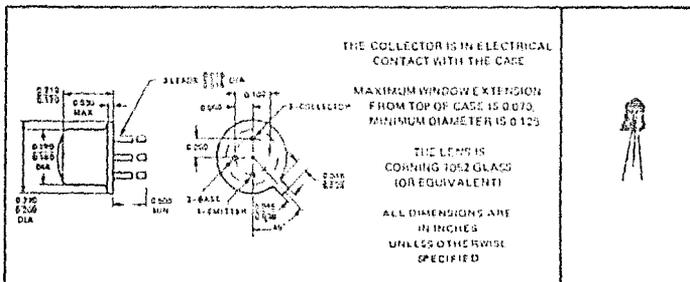
N-P-N PLANAR SILICON PHOTOTRANSISTOR

BULLETIN NO. DL 5 761160R, MARCH 1972—REVISED MARCH 1976

- Recommended for Application in Character Recognition, Tape and Card Readers, Velocity Indicators, and Encoders
- Spectrally and Mechanically Matched with TIL31 IR Emitter
- Glass-to-Metal-Seal Header
- Base Contact Externally Available
- Saturation Level Directly Compatible with Most TTL/DTL

mechanical data

The device is in a hermetically sealed package with glass window. The outline of the TIL61 is similar to TO-18 except for the window. All TO-18 registration notes also apply to this outline.



absolute maximum ratings at 25°C free air temperature (unless otherwise noted)

Collector-Base Voltage	60 V
Collector-Emitter Voltage	30 V
Emitter-Base Voltage	7 V
Emitter-Collector Voltage	7 V
Continuous Collector Current	50 mA
Continuous Device Dissipation at (or below) 25°C Free-Air Temperature (See Note 1)	250 mW
Operating Free-Air Temperature Range	-65°C to 125°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C
Lead Temperature 1/16 Inch from Case for 10 Seconds	240°C

NOTE 1: Derate linearly to 125°C free air temperature at the rate of 2.5 mW/°C.

TYPE T1L81 N-P-N PLANAR SILICON PHOTOTRANSISTOR

electrical characteristics at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)

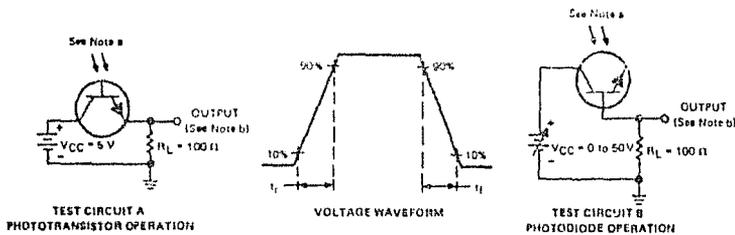
PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 100 \mu A, I_B = 0, E_B = 0$	10			V
$V_{(BR)CE}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 100 \mu A, I_B = 0, E_B = 0$	30			V
$V_{(BR)EB}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 100 \mu A, I_C = 0, E_B = 0$	7			V
$V_{(BR)EC}$	Emitter-Collector Breakdown Voltage	$I_E = 100 \mu A, I_C = 0, E_B = 0$	7			V
I_D	Dark Current	Phototransistor Operation	$V_{CE} = 10 V, I_B = 0, E_B = 0$		0.1	μA
		Photodiode Operation	$V_{CB} = 10 V, I_C = 0, E_B = 0$		0.01	μA
I_L	Light Current	Phototransistor Operation	$V_{CE} = 5 V, I_B = 0, E_B = 5 mW/cm^2$ See Note 2	5	22	mA
		Photodiode Operation	$V_{CB} = 0 \text{ to } 50 V, I_C = 0, E_B = 20 mW/cm^2$ See Note 2		170	μA
h_{FE}	Static Forward Current Transfer Ratio	$V_{CE} = 5 V, I_C = 1 mA, E_B = 0$		200		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 2 mA, I_B = 0, E_B = 20 mW/cm^2$ See Note 2		0.2		V

NOTE 2: Irradiance (I_L) is the radiant power per unit area incident upon a surface. For these measurements the source is an unfiltered tungsten linear filament lamp operating at a color temperature of 2970 K.

switching characteristics at 25°C free-air temperature

PARAMETER		TEST CONDITIONS	TYPICAL	UNIT
t_r	Rise Time	Phototransistor Operation $V_{CC} = 5 V, I_L = 500 \mu A, R_L = 100 \Omega$	B	μs
t_f	Fall Time	Phototransistor Operation See Test Circuit A of Figure 1	0	μs
t_r	Rise Time	Photodiode Operation $V_{CB} = 0 \text{ to } 50 V, I_C = 50 \mu A, R_L = 100 \Omega$	350	ns
t_f	Fall Time	Photodiode Operation See Test Circuit B of Figure 1	1000	ns

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES: a. Input irradiance is supplied by a pulsed gallium arsenide infrared emitter with rise and fall times less than 60 ns. Incident irradiance is adjusted for specified I_L .
b. Output waveform is monitored on an oscilloscope with the following characteristics: $t_r < 25 ns, R_{in} > 1 M\Omega, C_{in} < 20 pF$.

FIGURE 1

TYPE T1LBI N-P-N PLANAR SILICON PHOTOTRANSISTOR

TYPICAL CHARACTERISTICS

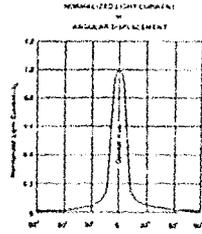


FIGURE 2

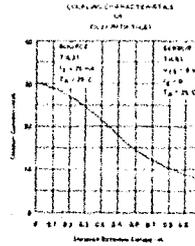


FIGURE 3

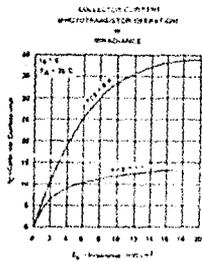


FIGURE 4

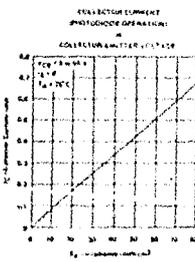


FIGURE 5

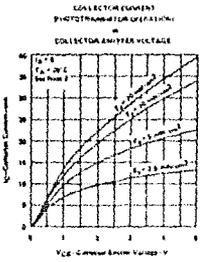


FIGURE 6

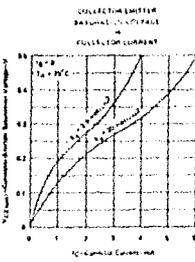


FIGURE 7

NOTE 2: Irradiance (E_e) is the radiant power per unit area incident upon a surface. For these measurements the source is an unfiltered tungsten filament lamp operating at a color temperature of 2870 K.

TYPE T1L81
N-P-N PLANAR SILICON PHOTOTRANSISTOR

TYPICAL CHARACTERISTICS

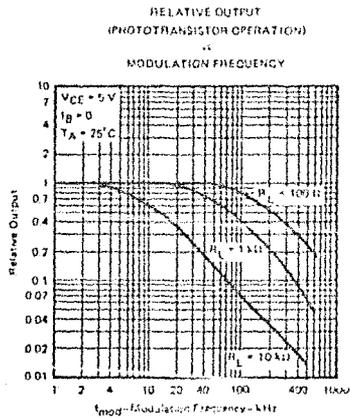


FIGURE 8

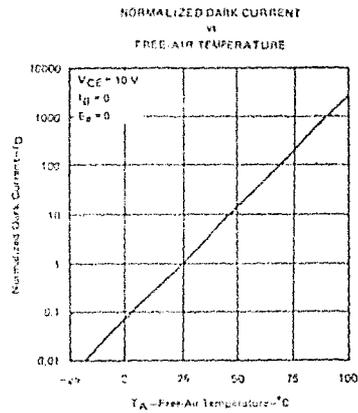


FIGURE 9

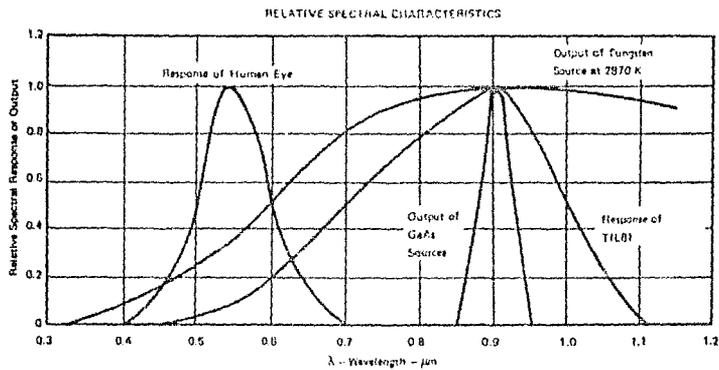
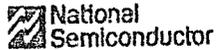


FIGURE 10



Voltage Regulators

LM723/LM723C Voltage Regulator

General Description

The LM723/LM723C is a voltage regulator circuit primarily for series regulator applications. By itself, it will supply output currents up to 150 mA, but external transistors can be added to provide any desired load current. The circuit features a standby low standby current drain, and provisions a pin for external loading of full-load current limiting impedance characteristics.

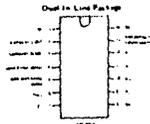
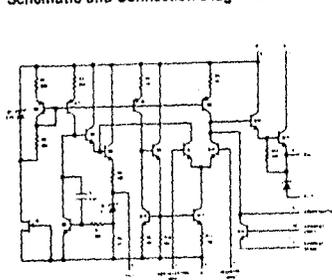
- 150 mA output current without external pass transistor
- Output currents in excess of 10A possible by adding external transistors

- Input voltage 40V max
- Output voltage adjustable from 2V to 33V
- Can be used as either a linear or a switching regulator

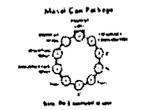
The LM723/LM723C is also useful in a wide range of other applications such as a current regulator, a current regulator of a temperature controller.

The LM723C is identical to the LM723 except that the LM723C has its performance guaranteed over a 0°C to 100°C temperature range instead of -55°C to +125°C.

Schematic and Connection Diagrams*

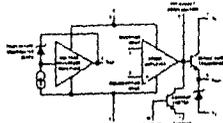


Order Number LM723C
See NS Package M16A
Order Number LM723/LM723C
See NS Package J16A



Order Number LM723H or LM723CH
See NS Package H10C

Equivalent Circuit*



*Pin numbers refer to metal can package

Absolute Maximum Ratings

Peak Voltage from V^- to V^+	30V
Continuous Voltage from V^- to V^+	30V
Input-Output Voltage Differential	30V
Maximum Output Current (Other Inputs)	150 mA
Maximum Average Input Voltage (Other Inputs)	5V
Current from V^+	25 mA
Current from V^-	15 mA
Power in Heat Dissipation Metal Can (Note 1)	800 mW
Power in Heat Dissipation Metal Can (Note 1)	800 mW
Operating Temperature Range LM723	-55°C to +125°C
Operating Temperature Range LM723C	0°C to +100°C
Storage Temperature Range Metal Can	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10 sec)	-55°C to +175°C
	300°C

Electrical Characteristics: Note 2

PARAMETER	CONDITIONS	LM723		LM723C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	MAX	
Line Regulation	$V_{in} = 12V$ to $V_{in} = 40V$ $-55^{\circ}C \leq T_a \leq +125^{\circ}C$ $0^{\circ}C \leq T_a \leq +125^{\circ}C$ $V_{out} = 12V$ to $V_{out} = 33V$	0.1	0.3	0.1	0.3	%/V
				0.1	0.3	%/V
Load Regulation	$I_L = 1 mA$ to $I_L = 150 mA$ $-55^{\circ}C \leq T_a \leq +125^{\circ}C$ $0^{\circ}C \leq T_a \leq +125^{\circ}C$	0.1	0.15	0.1	0.3	%/V
				0.1	0.3	%/V
Supply Rejection	$f = 50 Hz$ to $10 kHz$, $C_{in} = 0$ $f = 50 Hz$ to $10 kHz$, $C_{in} = 5 \mu F$	76	86	76	86	dB
						dB
Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$-55^{\circ}C \leq T_a \leq +125^{\circ}C$ $0^{\circ}C \leq T_a \leq +125^{\circ}C$	0.02	0.15	0.02	0.15	%/C
Short-Circuit Current Limit	$V_{in} = 12V$, $V_{out} = 0$	55	55	55	55	mA
Reference Voltage		0.95	1.15	1.00	1.15	V
Output Noise Voltage	$f = 100 Hz$ to $10 kHz$, $C_{in} = 0$ $f = 100 Hz$ to $10 kHz$, $C_{in} = 5 \mu F$	20	25	20	25	$\mu V/Hz$
						$\mu V/Hz$
Long-Term Stability	$I_L = 0$, $V_{in} = 30V$	0.1	0.3	0.1	0.3	%/1000 hrs
Standby Current Drain	$V_{in} = 0$, $V_{out} = 30V$	1.3	3.5	1.3	3.5	mA
Input Voltage Range		0.1	40	0.1	40	V
Output Voltage Range		2.0	33	2.0	33	V
Input-Output Voltage Differential		3.0	38	3.0	38	V

Note 1: See derating curves for maximum power rating above 25°C.

Note 2: Unless otherwise specified, $T_a = 25^{\circ}C$, $V_{in} = V^+ - V^- = 12V$, $V^- = 0$, $V_{OUT} = 5V$, $I_L = 1 mA$, $R_{CS} = 0 \Omega$, $C_{in} = 100 \mu F$, $C_{out} = 0$ and source impedance as seen by error amplifier $\leq 10 \Omega$ is connected as shown in Figure 1. Line and load regulation specifications are given for the condition of constant chip temperature. Temperature drift must be taken into account separately for high-precision conditions.

Note 3: I_L is 40 turns of No. 20 enameled copper wire wound on Ferrite core P36723-387 part core or equivalent with 0.008-in. air gap.

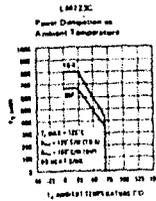
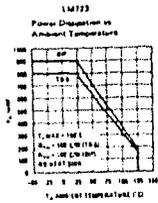
Note 4: Figures in parentheses may be used if R1/R2 divider is placed on opposite input of error amp.

Note 5: Replace R1/R2 in figures with diodes shown in Figure 13.

Note 6: V^+ must be connected to a 3V or greater supply.

Note 7: For metal can applications where V_L is required, an external 0.2 μF wet-gate diode should be connected in series with V_{OUT} .

Maximum Power Ratings



Typical Performance Characteristics

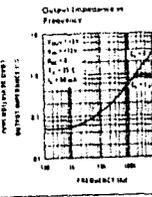
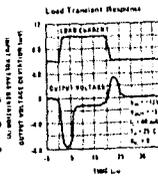
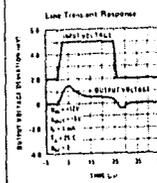
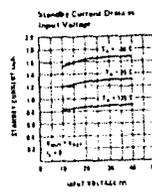
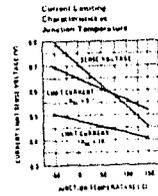
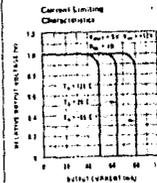
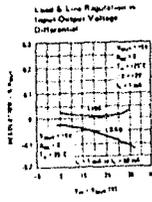
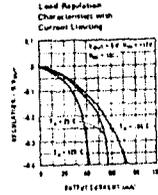
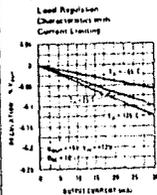


TABLE I. RESISTOR VALUES (Ω) FOR STANDARD OUTPUT VOLTAGE

POSITIVE OUTPUT VOLTAGE	APPLICABLE FIGURES	FIXED OUTPUT VOLTAGE			OUTPUT ADJUSTABLE (1% POTENTIAL)			NEGATIVE OUTPUT VOLTAGE	APPLICABLE FIGURES	FIXED OUTPUT VOLTAGE			OUTPUT ADJUSTABLE (1%)		
		0804(1)	01	02	01	01	02			01	02	01	01	02	
+1.0	1, 6, 8, 9, 12, 14	142	201	18	63	1.7		-1.00	1	347	240	2.2	10	01	
+1.0	1, 6, 8, 9, 12, 14	137	204	18	63	1.5		+2.00	1	337	206	2.2	10	040	
+1.0	1, 6, 8, 9, 12, 14	170	496	15	63	2.2	-4.000(6)		1, 10	337	243	2.2	10	040	
+0.0	1, 6, 8, 9, 12, 14	116	594	15	63	2.1	0		1, 10	346	336	2.2	10	040	
+0.0	1, 6, 8, 9, 12, 14	187	114	15	10	2.1	-1.0		1, 10	337	046	2.2	05	23	
+1.0	1, 6, 8, 9, 12, 14	287	114	20	14	2.0	-1.0		1, 10	205	110	2.2	03	63	
+1.5	1, 6, 8, 9, 12, 14	187	114	15	10	3.0	-1.0		1, 10	337	203	2.2	05	10	
+2.0	1, 6, 8, 9, 12, 14	310	114	10	10	3.0	-1.0		0	343	012	2.2	10	23	
+2.5	1, 6, 8, 9, 12, 14	347	114	10	10	3.0	-1.00		0	337	018	2.2	10	01	
+3.0	1	337	163	2.2	10	3.0	-1.00		0	337	146	2.2	12	210	

TABLE II. FORMULAS FOR INTERMEDIATE OUTPUT VOLTAGES

Output from +2 to +7 volts (Figure 1, 6, 8, 9, 12, 14)	Output from +8 to +200 volts (Figure 2)	Current Limiting $I_{L(max)} = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_{LIM}}$
Output from +2 to +7 volts (Figure 2 & 6, 8, 9, 12, 14)	Output from -8 to -200 volts (Figure 3 & 4)	Positive Current Limiting $I_{L(max)} = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_{LIM} + R_{D1}}$

Typical Applications

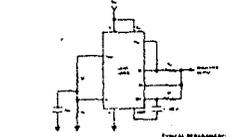


FIGURE 1. Base Low Voltage Regulator (V_{OUT} = 2 to 7 volts)

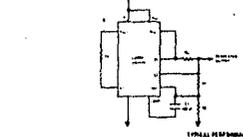


FIGURE 2. Base High Voltage Regulator (V_{OUT} = 8 to 20 volts)

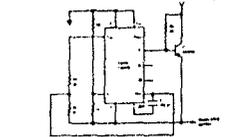


FIGURE 3. Negative Voltage Regulator

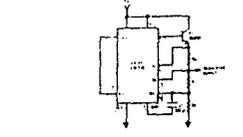
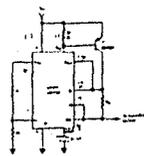


FIGURE 4. Positive Voltage Regulator (External NPN PNP Transistor)

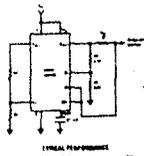
Typical Applications (Continued)



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: +5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005

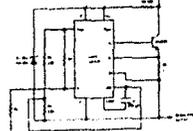
FIGURE 6. Positive Voltage Regulator (Internal PNP Feedback)



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: +5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005
 Max. Load Current: 500 mA

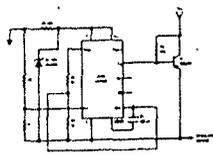
FIGURE 7. Full-Bridge Current Limiting



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: +5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005

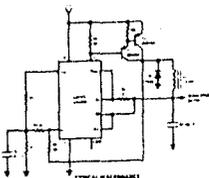
FIGURE 8. Positive Floating Regulator



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: -5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005

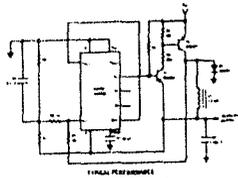
FIGURE 9. Negative Floating Regulator



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: +5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005

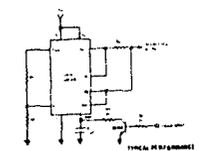
FIGURE 10. Positive Switching Regulator



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: -5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005

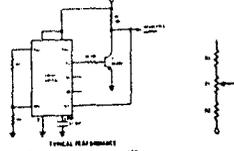
FIGURE 11. Negative Switching Regulator



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: +5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005
 Remote Shutdown Current: 1.0 mA

FIGURE 12. Remote Shutdown Regulator with Current Limiting



TYPICAL PERFORMANCE

Regulated Output Voltage: +5.0V
 Load Regulation (%): 0.25
 Load Regulation (mV): 0.005

FIGURE 13. Output Voltage Adjust (See Note 5)

1114



National
Semiconductor

LM1524/LM2524/LM3524 Regulating Pulse Width Modulator

General Description

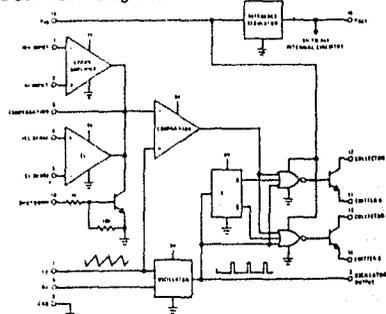
The LM1524 series of regulating pulse width modulators contains all of the control circuitry necessary to implement switching regulators of either polarity, transformer-coupled, DC to DC converters, transformerless polarity converters and voltage doublers, as well as other power control applications. This device includes a 5V voltage regulator capable of supplying up to 50 mA to external circuitry, a control amplifier, an oscillator, a pulse width modulator, a phase-locked loop (PLL), dual steering output switch transistors, and current limiting and shutdown circuitry. Both the regulator output transistor and each output switch are internally current limited and, to limit junction temperature, an internal thermal shutdown circuit is included. The LM1524 is rated for operation from -55°C to +125°C and is packaged in a hermetic 16-lead DIP (U). The LM2524 and LM3524 are rated for operation from 0°C to +10°C and are

packaged in either a hermetic 16-lead DIP (U) or a 16-lead molded DIP (N).

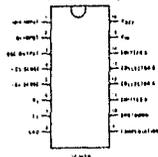
Features

- Complete PWM power control circuitry
- Frequency adjustable to greater than 100 kHz
- 2% frequency stability with temperature
- Total quiescent current less than 10 mA
- Dual alternating output switches for both push-pull or single-ended applications
- Current limit amplifier provides external component protection
- On-chip protection against excessive junction temperature and output current
- 5V, 50 mA linear regulator output available to user

Block and Connection Diagrams



Dual In-Line Package

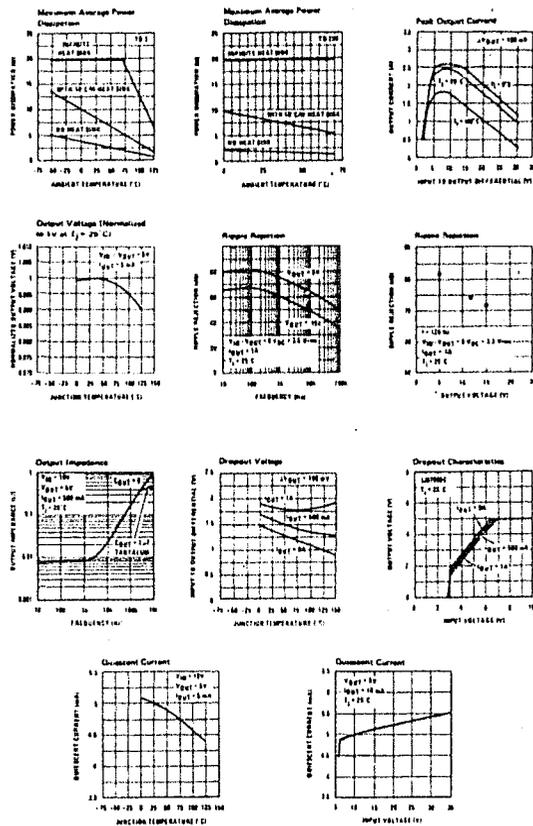


Order Number LM1524J, LM2524J
or LM3524J
See NS Package J16A

Order Number LM1524N
or LM3524N
See NS Package N16A

1115

Typical Performance Characteristics



National Semiconductor

Voltage Regulators

LM78LXX Series 3-Terminal Positive Regulators

General Description

The LM78LXX series of three terminal positive regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. When used as a series-diode/resistor combination replacement, the LM78LXX usually results in an effective output impedance improvement of two orders of magnitude, and lower quiescent current. These regulators can provide local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with long point regulation. The voltage available from the LM78LXX can be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78LXX is available in the metal three lead TO-92 (18) and the plastic TO-92 (12). With adequate heat sinking the regulator can deliver 100 mA output current. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

For applications requiring other voltages, see LM117 data sheet.

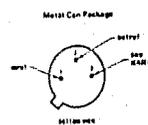
Features

- Output voltage tolerances of 15% (LM78LXXAC) and 10% (LM78LXXAC) over the temperature range
- Output current of 100 mA
- Internal thermal overload protection
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in plastic TO-92 and metal TO-92 low profile packages

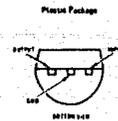
Voltage Range

LM78L05	5V
LM78L12	12V
LM78L15	15V

Connection Diagrams



Order Numbers:
LM78L05ACH LM78L05SCH
LM78L12ACH LM78L12SCH
LM78L15ACH LM78L15SCH
See NS Package HQ3A



Order Numbers:
LM78L05ACE LM78L05CCE
LM78L12ACE LM78L12CCE
LM78L15ACE LM78L15CCE
See NS Package HQ3A

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage	$V_{IO} = 5V$	30V
	$V_{IO} = 12V$ and $15V$	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)		Internally Limited
Operating Temperature Range		$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Maximum Junction Temperature		$125^{\circ}C$
Storage Temperature Range		$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Metal Can (IH Package)		$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Molded TO-92 (I Package)		$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)		$300^{\circ}C$

LM78LXXAC Electrical Characteristics (Note 2)

$T_J = 0^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$, $I_O = 40 mA$, $C_{IN} = 0.33 \mu F$, $C_O = 0.1 \mu F$ (unless noted)

LM78LXXAC OUTPUT VOLTAGE		5V		12V		15V		UNITS
INPUT VOLTAGE (unless otherwise noted)		16V		19V		23V		
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_O Output Voltage (Note 4)	$T_J = 25^{\circ}C$	4.9	5	5.2	11.9	12	12.1	V
	$1 mA \leq I_O \leq 10 mA$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ and $V_{IN} \leq V_O + V_{DIP}$	4.75	5	5.25	11.4	12	12.5	V
ΔV_O Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$	10	54	20	112	25	140	mV
	$18 \leq V_{IN} \leq 20$ $17 \leq V_{IN} \leq 25$	$18 \leq V_{IN} \leq 20$	$118 \leq V_{IN} \leq 21$	$120 \leq V_{IN} \leq 20$				
ΔV_O Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$, $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$	30	180	30	180	30	180	mV
	$T_J = 25^{\circ}C$, $1 mA \leq I_O \leq 100 mA$	30	180	30	180	30	180	mV
ΔV_O Long Term Stability	$T_J = 25^{\circ}C$	12	75	30	150	30	150	mV/1000 hr
	$T_J = 125^{\circ}C$	3	8	3	8	3	8	mA
I_Q Quiescent Current	$T_J = 25^{\circ}C$	3	8	3	8	3	8	mA
	$T_J = 125^{\circ}C$	4.3	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	mA
ΔI_Q Quiescent Current Change	$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ $V_{IN} \leq V_O + V_{DIP}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	mA
	$18 \leq V_{IN} \leq 20$ $118 \leq V_{IN} \leq 21$ $120 \leq V_{IN} \leq 20$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	mA
V_{PS} Output Noise Voltage	$T_J = 25^{\circ}C$ (Note 3) $f = 10 Hz - 10 kHz$	40		80		90		μV
	ΔV_{IN} Ripple Rejection ΔV_{OUT}	$f = 120 Hz$	47	62	42	64	37	81
Input Voltage Required to Maintain Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$	7	14.5	17.5				V

Note 1: Thermal resistance of the Metal Can Package (IH) without a heat sink is $15^{\circ}C/W$ junction to case and $140^{\circ}C/W$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^{\circ}C/W$ junction to ambient with 0.4" leads from a PC board and $180^{\circ}C/W$ junction to ambient with 0.125" lead length to a PC board.

Note 2: The maximum steady state usable output current and output voltage are very dependent on the heat sinking and/or lead length of the package. The data above represent pulse test conditions with junction temperatures as indicated at the duration of test.

Note 3: The recommended maximum load capacitance of 0.01 μF to limit high frequency noise bandwidth.

Note 4: The temperature coefficient of V_{OUT} is typically within $\pm 0.01\%$ $V_O/^{\circ}C$.

Absolute Maximum Ratings

Input Voltage	$V_{IO} = 5V$	30V
	$V_{IO} = 12V$ and $15V$	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)		Internally Limited
Operating Temperature Range		$0^{\circ}C$ to $+70^{\circ}C$
Maximum Junction Temperature		$125^{\circ}C$
Storage Temperature Range		$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Metal Can (IH Package)		$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Molded TO-92		$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)		$300^{\circ}C$

LM78LXXC Electrical Characteristics (Note 2)

$T_J = 0^{\circ}C$ to $+125^{\circ}C$, $I_O = 40 mA$, $C_{IN} = 0.33 \mu F$, $C_O = 0.1 \mu F$ (unless noted)

LM78LXXC OUTPUT VOLTAGE		5V		12V		15V		UNITS
INPUT VOLTAGE (unless otherwise noted)		16V		19V		23V		
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_O Output Voltage (Note 4)	$T_J = 25^{\circ}C$	4.8	5	5.4	11.1	12	12.9	V
	$1 mA \leq I_O \leq 10 mA$ $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ and ΔV_{IN}	4.6	5	5.4	10.8	12	13.8	V
ΔV_O Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$	10	150	20	200	25	250	mV
	$18 \leq V_{IN} \leq 20$ $118 \leq V_{IN} \leq 21$ $120 \leq V_{IN} \leq 20$	$18 \leq V_{IN} \leq 20$	$118 \leq V_{IN} \leq 21$	$120 \leq V_{IN} \leq 20$				
ΔV_O Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$, $1 mA \leq I_O \leq 40 mA$	8	30	10	30	12	75	mV
	$T_J = 25^{\circ}C$, $1 mA \leq I_O \leq 100 mA$	20	80	30	100	28	150	mV
ΔV_O Long Term Stability	$T_J = 25^{\circ}C$	12	24	30				mV/1000 hr
	$T_J = 125^{\circ}C$	3	8	3	8.5	3	8.8	mA
I_Q Quiescent Current	$T_J = 25^{\circ}C$	3	8	3	8.5	3	8.8	mA
	$T_J = 125^{\circ}C$	4.3	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	mA
ΔI_Q Quiescent Current Change	$1 mA \leq I_O \leq 40 mA$ $V_{IN} \leq V_O + V_{DIP}$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	mA
	$18 \leq V_{IN} \leq 20$ $118 \leq V_{IN} \leq 21$ $120 \leq V_{IN} \leq 20$	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	mA
V_{PS} Output Noise Voltage	$T_J = 25^{\circ}C$ (Note 3) $f = 10 Hz - 10 kHz$	40		80		90		μV
	ΔV_{IN} Ripple Rejection ΔV_{OUT}	$f = 120 Hz$	47	62	42	64	37	81
Input Voltage Required to Maintain Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}C$	7	14.5	17.5				V

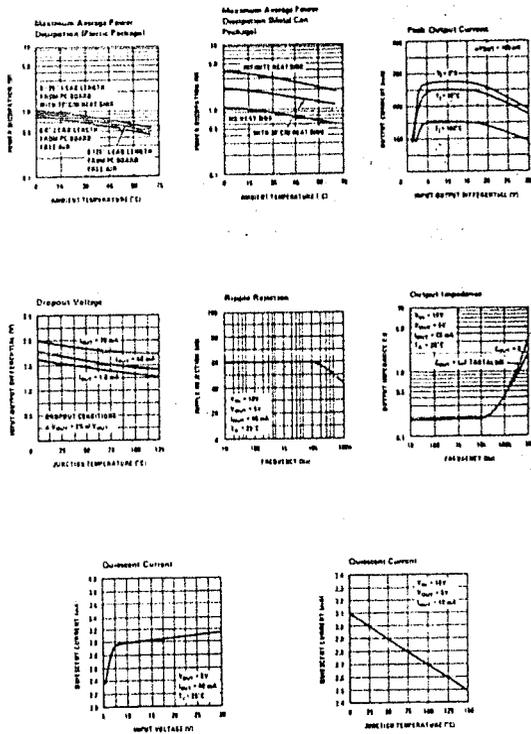
Note 1: Thermal resistance of the Metal Can Package (IH) without a heat sink is $15^{\circ}C/W$ junction to case and $140^{\circ}C/W$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^{\circ}C/W$ junction to ambient with 0.4" leads from a PC board and $180^{\circ}C/W$ junction to ambient with 0.125" lead length to a PC board.

Note 2: The maximum steady state usable output current and output voltage are very dependent on the heat sinking and/or lead length of the package. The data above represent pulse test conditions with junction temperatures as indicated at the duration of test.

Note 3: The recommended maximum load capacitance of 0.01 μF to limit high frequency noise bandwidth.

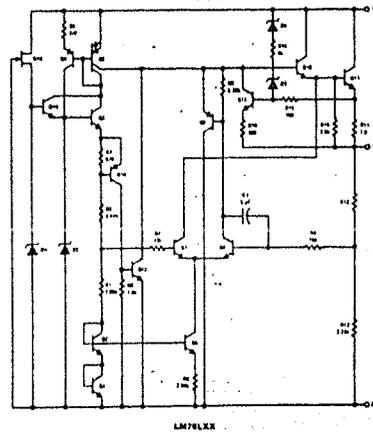
Note 4: The temperature coefficient of V_{OUT} is typically within $\pm 0.01\%$ $V_O/^{\circ}C$.

Typical Performance Characteristics



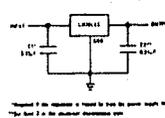
1142

Equivalent Circuit

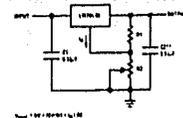


LM78LXX

Typical Applications



Fixed Output Regulator



Adjustable Output Regulator

1143

Typical Applications (Continued)

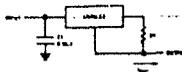


Fig. 11 - Current Regulator

LM78LXX Series
 100 mA Maximum Load Current

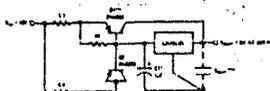
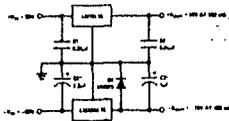


Fig. 12 - 5V, 500 mA Regulator with Short-Circuit Protection
 Note: See Fig. 11 for component values.
 Load Current: 500 mA, 5V, 100 mA maximum load current.

5V, 500 mA Regulator with Short-Circuit Protection



-15V, 100 mA Dual Power Supply

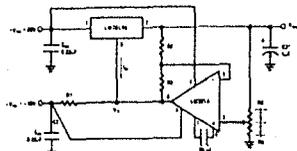


Fig. 13 - Variable Output Regulator
 Note: See Fig. 11 for component values.
 Load Current: 100 mA, 5V, 100 mA maximum load current.
 Output Voltage: 0.5V to 15V, 100 mA maximum load current.

Variable Output Regulator 0.5V - 15V



LM78MXX Series 3-Terminal Positive Regulators

General Description

The LM78MXX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, H.F., and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78MXX series is available in the plastic TO-202 package. The package allows these regulators to deliver over 0.5A if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistors is provided to limit internal power dissipation if internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown event takes over preventing the IC from overheating.

Voltage Regulators

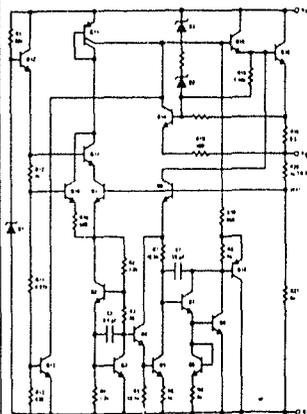
Considerable effort was expended to make the LM78MXX series of regulators easy to use and minimize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For applications requiring other voltages, see LM117 data sheet.

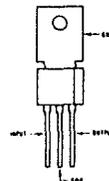
Features

- Output current in excess of 0.5A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in plastic TO-202 package
- Special circuitry allows start-up even if output is pulled to negative voltage (if supplied)

Schematic and Connection Diagrams



Plastic Package



Repeat 1000

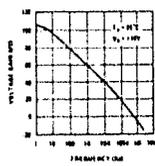
Order Numbers:
 LM78M05CP
 LM78M12CP
 LM78M15CP
 See NS Package PG23A

For Tab Bond TO-202

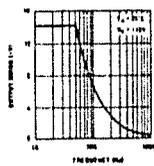
Order Numbers:
 LM78M05CP TS
 LM78M12CP TS
 LM78M15CP TS
 See NS Package PG23B

Typical Performance Characteristics (continued)

Open Loop Frequency Response



Large Signal Frequency Response

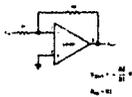


Voltage Follower Pulse Response

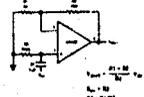


Typical Applications**

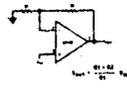
Inverting Amplifier



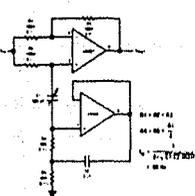
Non-Inverting AC Amplifier



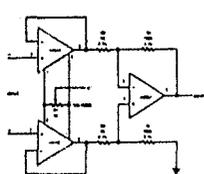
Non-Inverting Amplifier



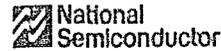
Tunable Notch Filter



Differential Input Instrumentation Amplifier



**Pin connections shown are for meter test.



Operational Amplifiers/Buffers

LM108/LM208/LM308 Operational Amplifiers

General Description

The LM108 series are precision operational amplifiers having specifications a factor of ten better than FET amplifiers over a -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ temperature range. Selected units are available with offset voltages less than 1.0 mV and drifts less than $50\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ agent over the military temperature range. This makes it possible to eliminate offset adjustments in most cases and obtain performance approaching chopper stabilized amplifiers.

The devices operate with supply voltages from $\pm 2\text{V}$ to $\pm 20\text{V}$ and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly sensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary. Outstanding characteristics include:

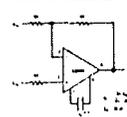
- Maximum input bias current of 3.0 nA over temperature
- Offset current less than 400 pA over temperature
- Supply current of only 300 μA , even in saturation
- Guaranteed drift characteristics

The low current error of the LM108 series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from 10 M Ω source impedances, introducing less error than devices like the 709 with 10 k Ω sources. Integrators with drifts less than 500 $\mu\text{V}/\text{sec}$ and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than 1 μF .

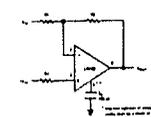
The LM108 is guaranteed from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM208 from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM308 from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

Compensation Circuits

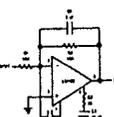
Standard Compensation Circuit



Alternate Frequency Compensation

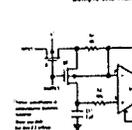


Feedforward Compensation

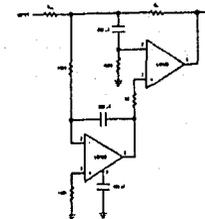


Typical Applications

Sample and Hold



High Speed Amplifier with Low Drift and Low Input Current



Absolute Maximum Ratings

	LM108/LM208	LM308
Supply Voltage	±20V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	±10 mA	±10 mA
Input Voltage (Note 3)	±18V	±18V
Output Short Current Duration	Indefinite	Indefinite
Operating Temperature Range (LM108)	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
(LM208)	-25°C to +85°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C

Electrical Characteristics (Note 4)

PARAMETER	CONDITIONS	LM108/LM208			LM308		UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.7	2.0	3.0	7.0	7.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.05	0.7	0.7	1.2	1	μA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.8	2.0	1.5	7	7	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	30	70	10	43		$\text{M}\Omega$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.3	0.6	0.3	0.8	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$, $R_L \leq 10\text{k}\Omega$	80	300	75	300		V/V
Input Offset Voltage				3.0		10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage		3.0	15		6.0	30	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current				0.4		1.5	μA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current		0.5	7.5		2.0	10	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current				3.8		10	μA
Supply Current	$T_A = 125^\circ\text{C}$		0.15	0.4			mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}$, $V_{OUT} = \pm 10\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	75		18			V/V
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}$, $R_L = 10\text{k}\Omega$	113	114	113	114		V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±12.5		±14			V
Common-Mode Rejection Ratio		65	102	80	132		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		80	96	80	96		dB

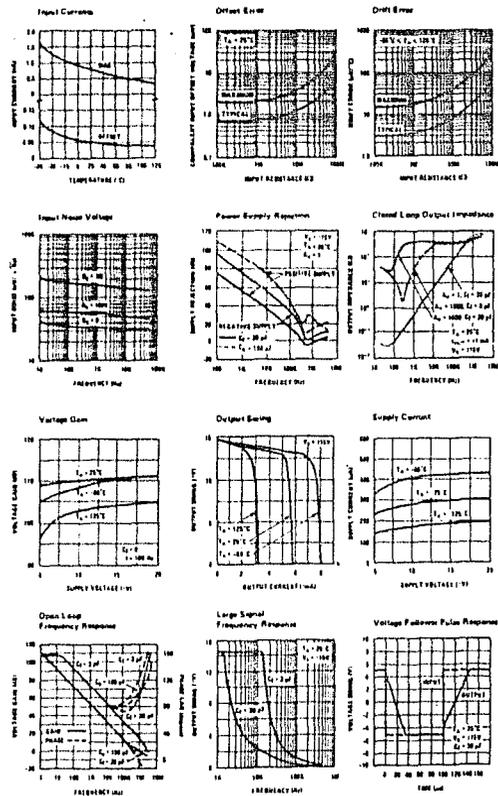
Note 1: The maximum junction temperature of the LM108 is 150°C, for the LM208, 100°C and for the LM308, 85°C. For operating at elevated temperatures, derate in the TO-8 package must be derived based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, as common current will flow if a differential input voltage in excess of 1V is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

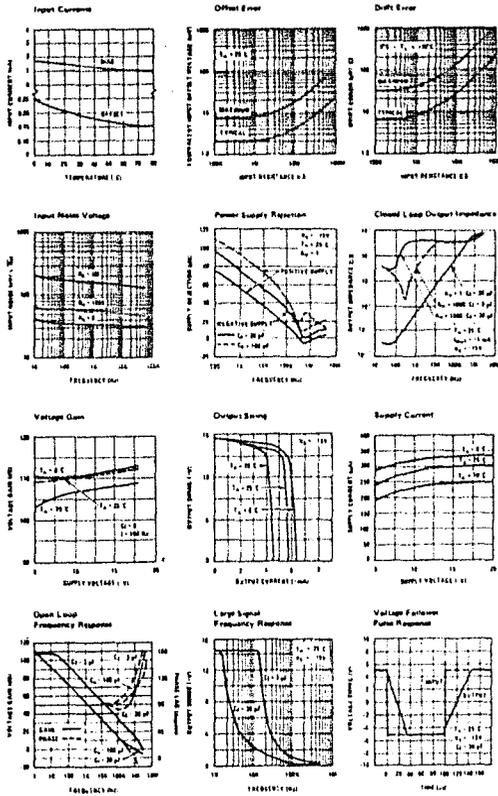
Note 3: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for ±15V V_S ≤ ±20V and -65°C ≤ T_A ≤ 125°C, unless otherwise specified. With the LM208, however, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ 85°C, and for the LM308 they are limited to 0°C ≤ T_A ≤ 70°C.

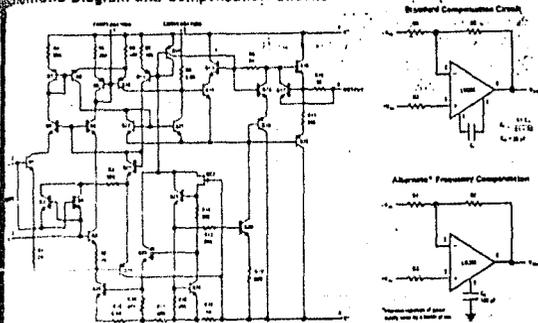
Typical Performance Characteristics LM108/LM208



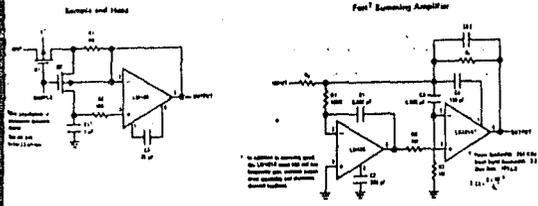
Typical Performance Characteristics LM308



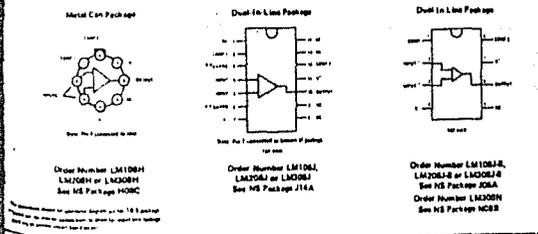
Schematic Diagram and Compensation Circuits



Typical Applications (Continued)



Connection Diagrams



Order Number LM108H, LM208H or LM308H See MS Package HO8C

Order Number LM108L, LM208L or LM308L See MS Package J16A

Order Number LM108B, LM208B or LM308B See MS Package J26A

Order Number LM308N See MS Package NC8B

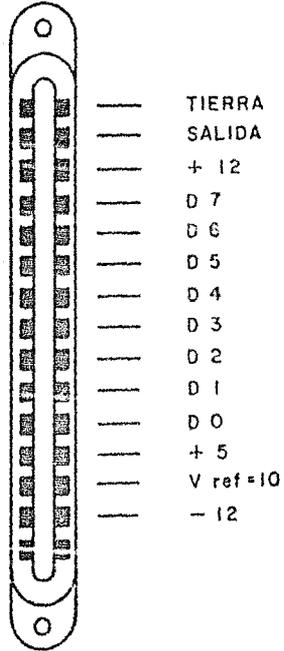
NEGATIVOS

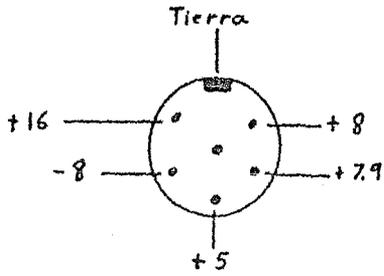
Anexo los negativos usados para los circuitos impresos que se construyeron. El circuito de la interfaz requirió de correcciones por medio de puentes que no están especificadas. Sugerimos un examen del circuito original en el Instituto de Investigaciones en Materiales.

Las tarjetas convertidoras D/A se conectan a la interfaz por medio de peines cuyas terminales se indican.

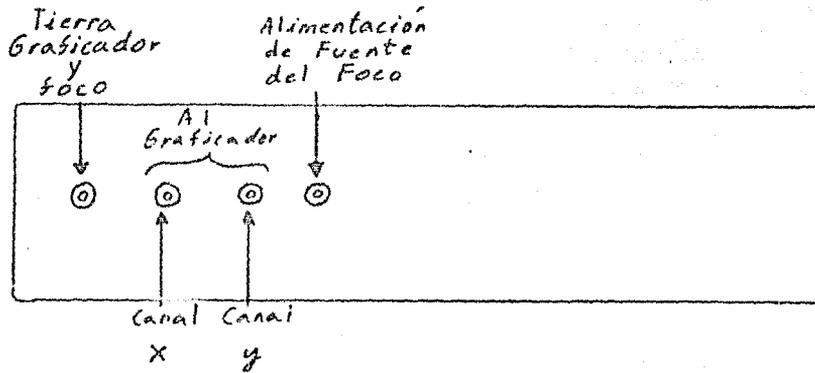
La fuente de poder tiene un conector cuyas terminales también se indican.

Peines de farjetas D/A



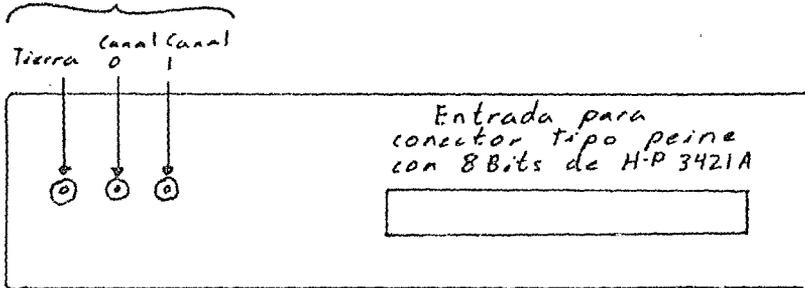


Conector de la Fuente

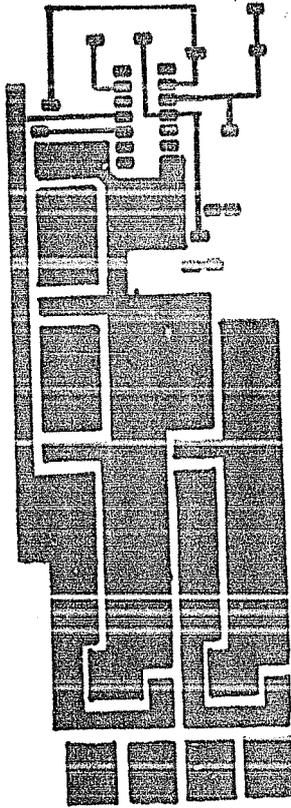


Parte Frontal de la Caja de la Interfaz

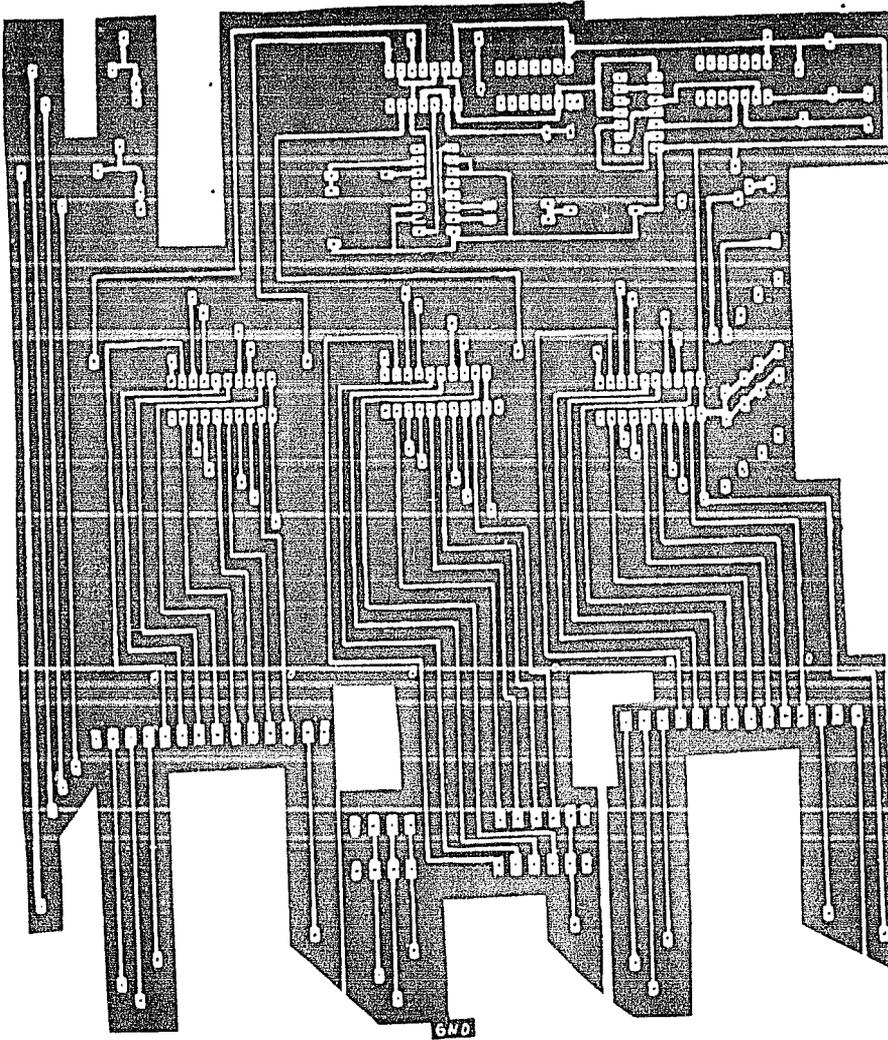
Salidas del H-P3421A



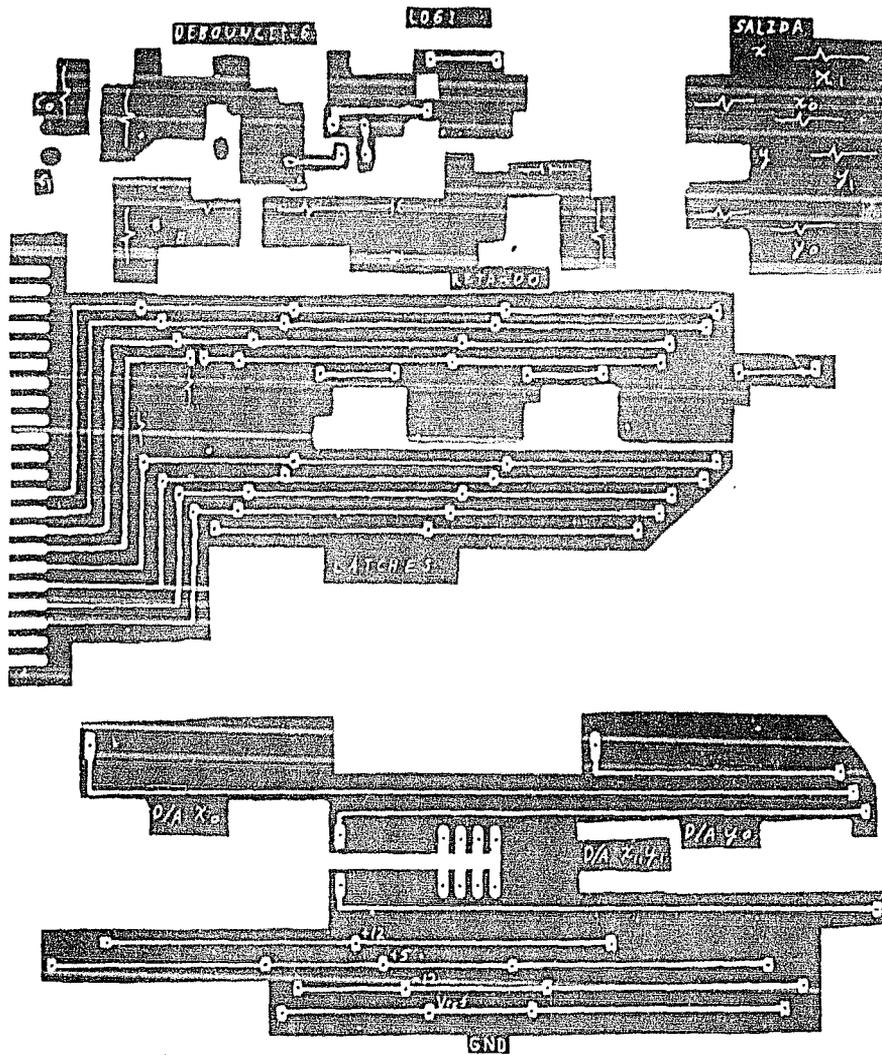
Parte Trasera de la Caja de la Interfaz



Fuente de Poder. regulada.



Cara de Abajo de circuito de Interfaz



Carra de arriba. Circuito de Interfaz

Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM.

Febrero de 1987