



UNIVERSIDAD DE SONORA

Escuela de Altos Estudios

LA EVALUACION DE UN GRAN LENTE DE PROYECCION

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

LICENCIADO EN FISICA

Presenta

Miguel Arturo Cervantes Montoya



**EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
ALTOS ESTUDIOS
BIBLIOTECA**

Hermosillo, Sonora

Septiembre de 1974

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

A MIS PADRES

LA EVALUACION
DE UN
GRAN LENTE DE PROYECCION

INTRODUCCION

En este trabajo se hace una discusión sobre algunos métodos para evaluar la calidad de sistemas ópticos en general y por otra parte contiene la evaluación de un sistema de tres lentes denominado Triplete Cooke que fué diseñado y construido en el Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, por orden y bajo los auspicios del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

En el primer capítulo se describen algunos de los métodos de uso más generalizado en la prueba de sistemas ópticos, como son la prueba de la estrella, la de Hartmann, la de Foucault, las de tipo interferométrico y la prueba del patrón de barras a través de la Función de Transferencia de Modulación. Este último método de evaluación es el que se sigue para probar el Triplete Cooke antes mencionado, y para ello se dedica el capítulo dos para discutirlo más ampliamente.

En el capítulo tres se describe como se llevó a cabo la parte experimental y las dificultades que se encontraron para obtener los datos necesarios para la construcción de la Función de Transferencia de Modulación (FTM). De hecho fueron cuatro FTM las que se construyeron, correspondientes a cuatro posiciones del patrón de barras en el plano objeto con el

fin de obtener una evaluación más completa.

Finalmente en el capítulo cuatro, se exponen los resultados obtenidos y las correspondientes ~~gráficas de las FTM~~ con las cuales se hace la evaluación final, luego se enlistan las fuentes de error más importantes que producen la incertidumbre asociada con cada valor experimental de la FTM.

Quiero manifestar mi sincero agradecimiento al Dr. Robert H. Noble quien me sugirió este tema para ser desarrollado como tesis profesional y cuyas sugerencias fueron siempre de gran utilidad. Al M. en C. Alejandro Cornejo por la revisión de este trabajo y a todas las personas que de manera directa o indirecta participaron conmigo en la elaboración de esta obra durante mi permanencia en el I.N.A.O.E.



EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
ALTOS ESTUDIOS
BIBLIOTECA



EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
ALTO... OS
BIBLIOTECA

CONTENIDO

- Capítulo 1: Algunos métodos de evaluación de sistemas ópticos.
- 1.1 Algunos métodos de evaluación de sistemas ópticos.
 - 1.2 Clasificación.
 - 1.3 Prueba de la estrella.
 - 1.4 Prueba de Foucault.
 - 1.5 Prueba de Hartmann.
 - 1.6 Pruebas Interferométricas.
 - 1.7 Prueba del Patrón de barras.
 - 1.8 Resumen.
- Capítulo 2: La Función de Transferencia de Modulación.
- 2.1 La FTM de un sistema ideal.
 - 2.2 La FTM de un sistema real.
- Capítulo 3: Trabajo Experimental.
- 3.1 Descripción del sistema óptico.
 - 3.2 Obtención de las FTM.
 - 3.3 Obtención de las transparencias imagen.
 - 3.4 Medición de contraste.
- Capítulo 4: Resultados y Evaluación.

CAPITULO 1

ALGUNOS METODOS DE EVALUACION DE SISTEMAS OPTICOS

1.1 Algunos métodos de evaluación de sistemas ópticos.-

Supóngase que tenemos un objeto luminoso puntual colocado frente a un sistema óptico ideal. Este objeto produce frentes de onda esféricos perfectos con centro en la fuente, que al ser interceptados por el sistema óptico (SO), éste va a hacer que cambien su forma pero sin dejar de ser esféricos y el nuevo centro del frente de onda va a localizar la posición de la imagen del objeto puntual. (figura 1).

Por otro lado, debido al carácter ondulatorio de la luz, la imagen no va a ser puntual como el objeto, es decir, la energía que portan las ondas no se va a concentrar en un punto sino que se va a distribuir de acuerdo con el patrón de difracción¹. Si ponemos el plano imagen como el plano X-Y de un sistema de coordenadas X-Y-Z, y en la cota ponemos la intensidad luminosa, la imagen de la fuente puntual se representará con la figura 2. En la realidad los sistemas ópticos sufren defectos y aberraciones que hacen que el patrón de difracción se aparte de la idealidad que representa la figura 2, es decir, el frente de onda emergente no va a ser esférico y la desviación con

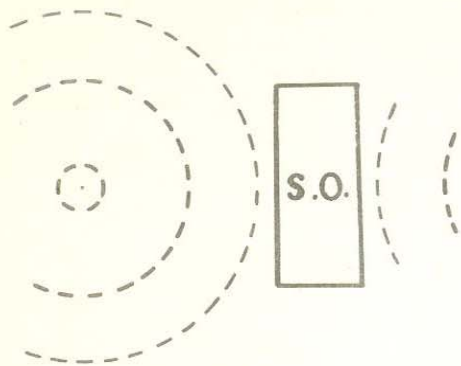


figura 1

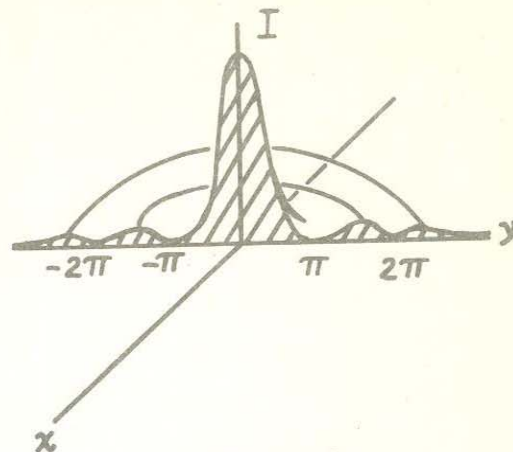


figura 2

respecto a una esfera de referencia, es lo que se llama aberración de frente de onda. Usualmente esta diferencia se mide en la pupila de salida del sistema y se expresa en términos de longitud de onda de la luz empleada.

Podemos decir que en todo sistema óptico real hay siempre presente una mayor o menor cantidad de aberración debido a inhomogeneidades del material usado y a defectos del pulido de las superficies de los componentes.

Cuando la cantidad de aberración de frente de onda es relativamente grande -digamos muchas veces la longitud de onda-, podemos usar el concepto de rayo de luz y evaluar satisfactoriamente la calidad del sistema en cuestión. Cuando no ocurre así, tenemos que recurrir al concepto de onda y en general a la óptica ondulatoria.

1.2 Clasificación .- Es claro que la capacidad de un sistema óptico para formar buenas imágenes de objetos extensos, depende de su capacidad para hacerlo con objetos puntuales ya que aquellos se pueden considerar como el conjunto de las imágenes de los objetos puntuales que forman el objeto.

Así que los métodos para evaluar un SO, se pueden agrupar en dos clases: los que estudian la respuesta ante una fuente puntual y los que consideran la respuesta ante un objeto extenso. Por ejemplo, la prueba de la estrella, la prueba de Hartmann, la prueba de Foucault y las pruebas de tipo interferométrico, pertenecen al primer grupo y la prueba del patrón de barras al segundo. Aunque en las dos primeras pruebas se trata de conocer la distribución de la energía luminosa en el plano de la imagen y en la prueba de Foucault e interferométricas se trata de conocer más concretamente la forma del frente de onda emergente.

A continuación se describirán brevemente estas pruebas con el fin de presentar una exposición mas objetiva.

1.3 Prueba de la estrella .- Para llevarla a cabo se puede usar una estrella artificial que se coloca en el eje de simetría del sistema o un haz de luz colimado de tal manera

que si el SO está bien corregido, el patrón de difracción será como el de la figura 2, de lo contrario, al observar con algún microscopio, cualquier asimetría observada se deberá a defectos de los componentes. P. ej. si muestra forma de cruz o hay muestras de más de un punto focal, la causa puede ser astigmatismo axial debido a un elemento no alineado o a una superficie no esférica.

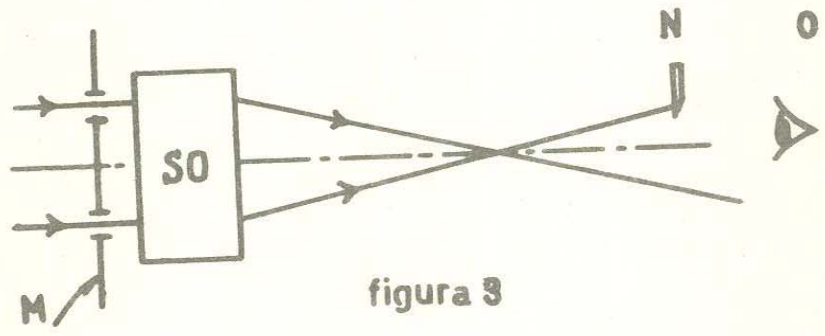
El patrón axial puede también usarse para determinar el estado de corrección de la aberración esférica y cromática. Si la estrella se coloca fuera del eje, el patrón está sujeto a una mayor variación y por lo tanto es más difícil el análisis ya que hay un mayor número de aberraciones presentes que contribuyen al patrón comático que se observa.²

1.4 La prueba de Foucault.- En la prueba del filo de la navaja, como también se le llama, se hace pasar una navaja perpendicularmente al eje del sistema óptico de tal modo que intercepte parte de la luz que forma el cono de rayos convergentes a una cierta distancia pequeña del foco. El observador, que se coloca más allá de la navaja, observa el paso de ésta como una sombra en la pupila de salida.

Si la navaja se mueve entre el foco y el SO, la sombra

se mueve en sentido contrario a como hace la navaja.

Si se mueve más allá del punto focal, la sombra y la navaja se mueven en la misma dirección, pero si la navaja se mueve justo en el plano focal se apreciará un oscurecimiento uniforme y simultáneo; de esta manera se localiza el foco de un sistema óptico bien corregido. Usualmente se coloca una máscara sobre la pupila de entrada del SO (figura 3), que solo permite el paso de luz a través de cierta zona.



Luego se localiza el foco correspondiente a esa zona por el procedimiento anterior. De esta manera se hace para todas las zonas de interés. Esta es la base del análisis cuantitativo que se puede hacer con la prueba de Foucault.

Tratándose de un sistema esférico, se pueden obtener los focos para las distintas zonas a partir de los datos de diseño y compararlos con los obtenidos experimentalmente y así el óptico puede saber que zonas requieren de más

o menos pulido.

La prueba de Foucault dá buenos resultados cuando se trata de medir aberración de esfericidad, cromática y curvatura de campo y es muy útil sobre todo en la elaboración de grandes superficies reflectoras, las cuales se pueden probar ya sea en el foco o más cómodamente en el centro de curvatura de la superficie con el consiguiente ahorro de espacio y de equipo requerido.

1.5 Prueba de Hartmann .- Esencialmente consiste en simular el paso de rayos de luz a través de un SO y medir la desviación de éstos con respecto a la dirección que predice la óptica geométrica. Este método es recomendable cuando hay notable cantidad de astigmatismo, coma y aberración cromática (para ésta última es necesario disponer de luces de varias longitudes de onda).

Una manera de llevar a cabo esta prueba es como sigue: Al SO sometido a prueba, L, (figura 4) se le cubre la pupila de entrada con una pantalla opaca, P, la cual tiene una serie de orificios pequeños, dispuestos a lo largo de varios diámetros. Por éstos pasa luz procedente de una fuente puntual o de un colimador. La trayectoria de uno de los rayos que pasa a través de uno de los orificios a una al-

tura h sobre el eje del sistema, cruzará a éste en el punto O . Ahora bien, para determinar con precisión la posición de O con respecto al sistema, se miden las distancias a y b para dos posiciones de la pantalla, digamos separadas una distancia e .

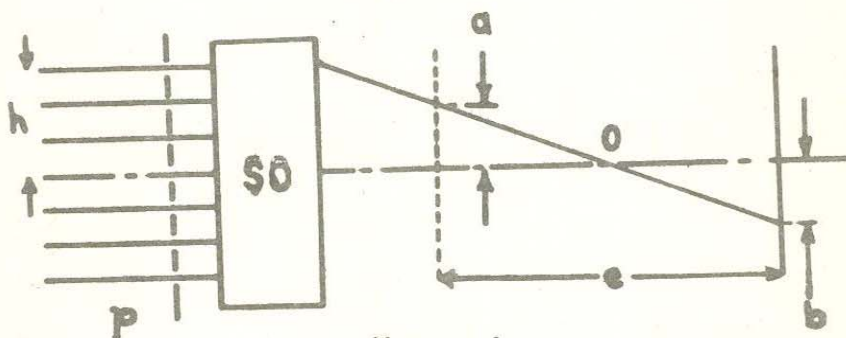


figura 4

A partir de estos datos podemos fácilmente determinar O . Este procedimiento se repite para todos los rayos que se quieran y así se determinan los focos para cada uno de los rayos y con ello se puede construir el frente de onda emergente. Generalmente se usan placas fotográficas en lugar de las pantallas y sobre éstas se hacen las mediciones necesarias.

1.6 Pruebas Interferométricas .- La modificación que introdujo Twyman en el interferómetro de Michelson, permitió conocer con bastante precisión la forma del frente de onda que ha atravesado un SO y es una de las mejores maneras en que se ha usado el fenómeno de interferencia para conocer la ca-

lidad de un sistema óptico.

Esencialmente el procedimiento que se sigue es el de combinar dos frentes de onda uno de los cuales, X , (figura 5) mantiene su forma plana y el otro X' es deformado por los defectos del S_0 ; al superponerse los dos frentes de onda se produce un patrón de interferencia que contiene la información necesaria para conocer la forma del frente de onda proveniente del S_0 .

En la práctica se quita el espejo fijo del interferómetro de Michelson y en su lugar se pone el S_0 bajo prueba, como en la figura 5, en donde se prueba una lente convergente.

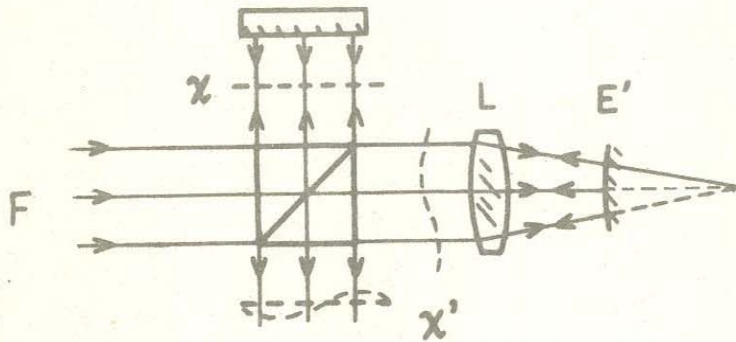


figura 5

Aquí es necesario usar un espejo convexo, E' , de alta calidad cuyo centro de curvatura se hace coincidir con el foco principal de la lente L , así, los rayos que llegan a E' se reflejan normalmente y recorren dos veces la lente; después interfieren con el otro haz de luz llamado de re-

ferencia y como resultado se tiene un interferograma en donde la distancia entre dos franjas oscuras (P.ej.), equivale a una diferencia de camino óptico de $\lambda/2$, donde λ es la longitud de onda de la fuente monocromática F. Sin embargo como de hecho hubo doble paso de la luz a través de la lente, esto equivale a una diferencia de camino óptico de $\lambda/4$, introducido cada vez que se atravieza la lente en una dirección; esta diferencia puede representar cambios en el índice de refracción o errores en el pulido de las superficies.³

Entre otros tipos de pruebas interferométricas que podemos mencionar estan las de tipo de desplazamiento lateral o radial y de dispersión.

1.7 Prueba del patrón de barras .- El hecho de usar un objeto extenso, en vez de puntual, tiene la ventaja de que presenta al SO en una situación más parecida con las que realmente se encontrará en uso común.

En el patrón de barras se tiene una serie de líneas paralelas alternadas claras-oscuras, dispuestas como en la figura 6 en donde P representa el período espacial en milímetros.

El análisis cuantitativo en esta prueba se basa en la definición de contraste (también llamado modulación o

1940
EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
ALTOS ESTUDIOS
BIBLIOTECA

visibilidad) que a continuación se expone.

Si en un patrón de barras I_M representa la máxima intensidad luminosa de una barra clara e I_m representa la mínima intensidad luminosa de una barra oscura, entonces para determinado grupo de pares de barras, el contraste está definido por:

$$\text{Contraste} = C = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m}$$

Ahora bien, cuando un SO forma una imagen de un grupo de barras como el de la figura 6, el correspondiente contraste medido en la imagen, C_i , es siempre menor que el contraste en el objeto C_o , así que:

$$C_i/C_o < 1 \dots\dots\dots(1)$$

La razón de esto, es el fenómeno de difracción como se explicará en el siguiente capítulo.

Por otro lado en un SO real, la presencia de desenfoque y aberración de frente de onda van a contribuir para que la razón (1) sea aún menor que en el caso de un SO ideal, por lo tanto una gráfica de C_i/C_o contra frecuencia espacial, $N = 1/P$, es una medida de la calidad del SO, a esta función se le llama Función de Transferencia de Modulación (FTM), de la que se hablará con más detalle en el siguiente capítulo.

Un patrón de barras usado para esta prueba se muestra en la figura 7.



figura 6

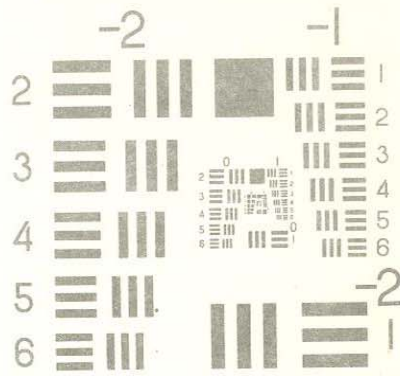


FIGURA 7

Aquí se tienen series de seis grupos cuyo período decrece gradualmente a partir del primer grupo -señalado con el número 1 pequeño- hasta el marcado con el número 6. Cada serie de grupos tiene asociado un número grande que da el número de pares de barras por milímetro del grupo 1 correspondiente a esa serie, expresado en potencias de 2, así, 2^0 indica un par de barras por milímetro, 2^3 ocho pares etc. Luego, para una misma serie, el período de sus grupos decrecerá de acuerdo con la regla: $P_i = (0.892)^{i-1} P_1$ donde $i = 1, 2, \dots, 6$. P_1 es el período del primer grupo y P_i es el período del i-ésimo grupo.

1.8 Resumen .- Podemos decir que dada la complejidad de usos a que se somete un sistema óptico, no se tiene un

método de prueba que pudiera ser considerado el mejor, pero sí, cada uno de los métodos puede resultar altamente favorecido conociendo el tipo de usos y/o el tipo de sistema de que se trate, así como dada la etapa de la construcción en que se va a hacer la prueba. Así, el método de Hartmann resulta conveniente cuando se tienen que correlacionar periódicamente los datos de diseño con los del SO y ello por la relativa sencillez del arreglo experimental, aunque, si se tiene confianza en que el frente de onda tiene simetría alrededor del eje del sistema, muchos ópticos prefieren usar el método de Foucault, pero si hay irregularidades difíciles de detectar, las pruebas interferométricas pueden hacer evidentes estas irregularidades con bastante fidelidad, pero un interferómetro de Twyman-Green requiere componentes de muy alta calidad y además se requiere que todo el interferómetro sea muy estable para poder hacer observaciones y tomar buenas fotografías del patrón de interferencia.

Tratándose de la prueba de la estrella, es difícil superar el juicio subjetivo de un experimentado observador, sobre todo cuando el SO se va a usar para observación visual.

La prueba del patrón de barras es altamente recomen-

ble cuando se trata de evaluar la calidad total del sistema óptico, especialmente si éste último se va a usar en combinación con alguna placa fotográfica. En etapas intermedias del montaje es útil echar un vistazo a la imagen de un patrón de barras formado por el SO para conocer el efecto de la obstrucción en la pupila de entrada, como puede ser un espejo secundario en un telescopio reflector, el diafragma en un objetivo fotográfico, etc.

También es importante detectar si hay diferencia notable de contraste entre líneas verticales y horizontales - correspondientes a un mismo período espacial o bien si hay disminución del poder de resolución.

CAPITULO 2

LA FUNCION DE TRANSFERENCIA DE MODULACION

2.1 La Función de transferencia de Modulación de un sistema ideal.- La figura 7 muestra un patrón de barras comúnmente usado para llevar a efecto esta prueba. Usualmente este patrón es fotografiado para obtener una transparencia en negativo que se ilumina con luz difusa. Se tiene así el objeto cuya imagen va a formar el SO en cuestión y la cual va a ser analizada.

Si en un sistema de coordenadas X-Y llamamos transmitancia, T, a la ordenada y X representa la distancia a algún punto de referencia -convenientemente escogido-, un grupo de barras caracterizado por una frecuencia espacial $N = 1/P$ siendo P el período espacial, se puede representar con una onda cuadrada como la que se muestra en la figura 8 (a).

Ahora consideremos un SO ideal, libre de aberraciones, que forma una imagen de este patrón. A cada punto luminoso de una barra clara le corresponde un patrón de difracción determinado por la función:

$$I(\theta) = I_0(\text{sen } \beta / \beta) \dots\dots\dots(2)$$

donde $\beta = \frac{\pi D}{\lambda} \text{sen } \theta$, siendo I_0 la máxima intensidad de una barra clara; D la apertura del sistema y λ la longitud de onda representativa de la luz empleada y θ es el ángulo que deter-

mina la posición del punto luminoso.

Consecuentemente la distribución de intensidad luminosa en el plano imagen (a lo largo de una línea perpendicular al grupo de barras), ya no se representará con una onda cuadrada sino que tendrá la forma de la curva $T'(X)$ en la figura 8 (b) que resulta de superponer (sumar) las funciones (2)

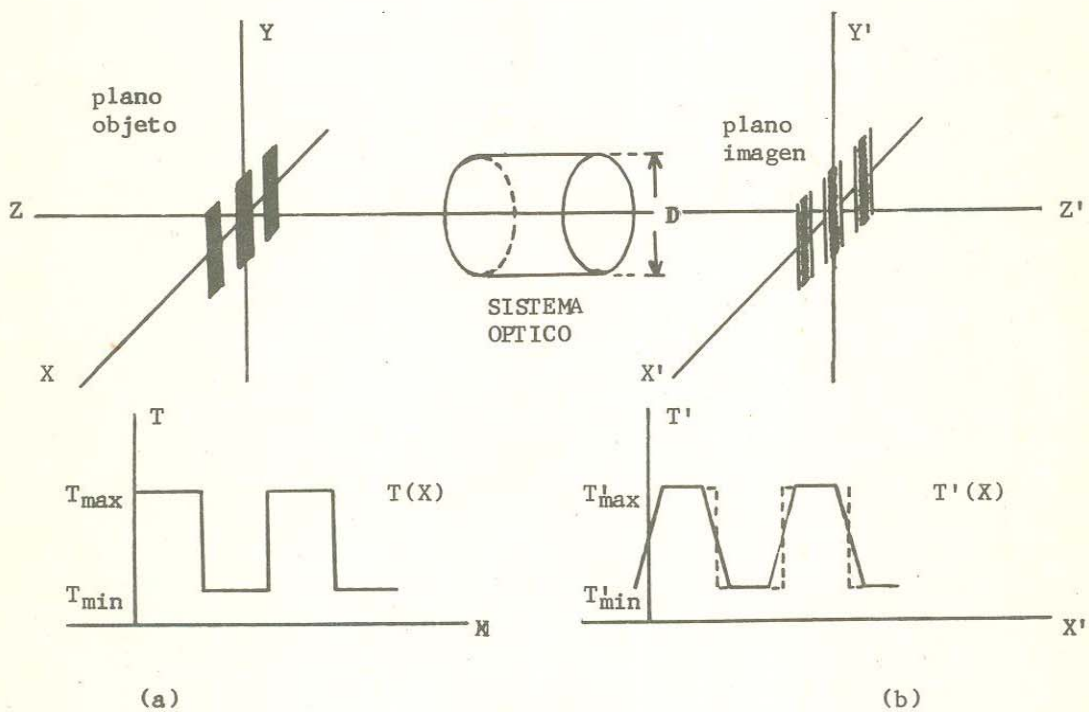


figura 8

que corresponden a cada punto luminoso en el plano objeto y los bordes de la onda cuadrada se verán suavizados, de tal suerte que el contraste entre una barra clara y una oscura en el plano imagen, será disminuido conforme disminuya el período espacial, figura 9 (a) y (b).

Se encuentra⁴ que la FTM de un SO ideal y con pupila de entrada circular, esta dada por:

$$FTM(N) = \frac{2}{\pi} (\phi - \cos \phi \sin \phi) \cos^k \theta \dots\dots\dots()$$

donde $\phi = \cos^{-1} \frac{N\lambda}{2 N.A.}$

N.A. = Apertura numérica del sistema = $\frac{1}{2(f/\#)}$.

N = frecuencia espacial en ciclos por milímetro.

λ = longitud de onda en milímetros.

θ = ángulo de semicampo visual.

k = 1 para líneas radiales

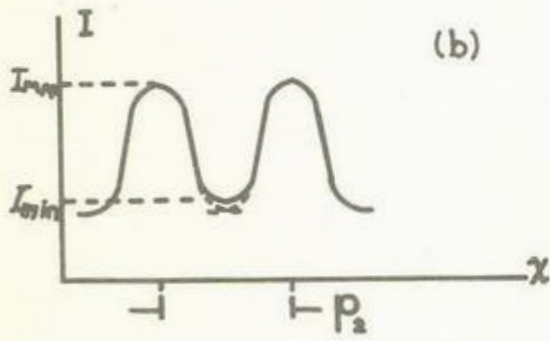
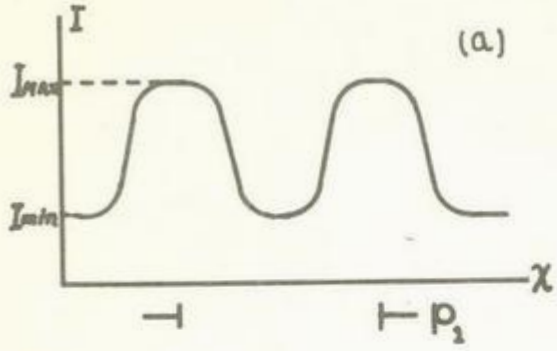
= 3 para líneas tangenciales.

Se puede ver que la FTM vale cero cuando ϕ vale cero, o sea cuando: $N = N_0 = \frac{2 N.A.}{\lambda} = \frac{1}{\lambda (f/\#)}$
 N_0 es la frecuencia para la cual el contraste en la imagen vale cero, es decir, cuando no se pueden apreciar barras; Para valores de N menores que la frecuencia N_0 , las barras pueden ser resueltas y se dice que N_0 es la frecuencia de corte.

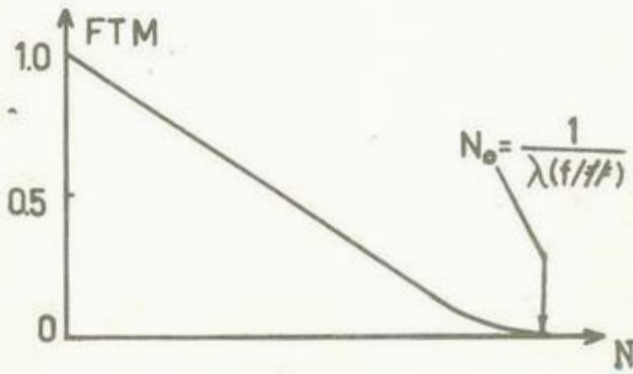
En la figura 9 se muestra como disminuye el contraste en la imagen de un patrón de barras formado por un SO ideal al disminuir el período de P_1 a P_2 en (a) y (b) respectivamente, con la consiguiente disminución de la FTM (c)

Hay que hacer notar que el valor de la FTM de un sistema real, nunca puede ser mayor que el valor de la FTM de

un sistema ideal para una misma frecuencia espacial.



AL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
ALTOSEJECUTIVOS
BIBLIOTECA



(c)

figura 9a

2.2 El caso de un sistema real.- En este caso la presencia de aberraciones y defectos de construcción causarán que la energía que porta la onda se concentre de manera más irregular en el plano de la imagen, que en el caso ideal anterior (secc. 2.1) y todo ello se va a traducir en una función de esparcimiento de la energía luminosa, $S(x)$, cuya forma ha de obtenerse experimentalmente.

En la figura 9 (a) se pueden comparar las funciones de esparcimiento de un sistema ideal limitado solo por difracción (línea interrumpida) con la de un sistema real. Una manera de interpretar estas gráficas es que ahora la energía luminosa que varía directamente con la intensidad, se distribuye en una área mayor, más precisamen-

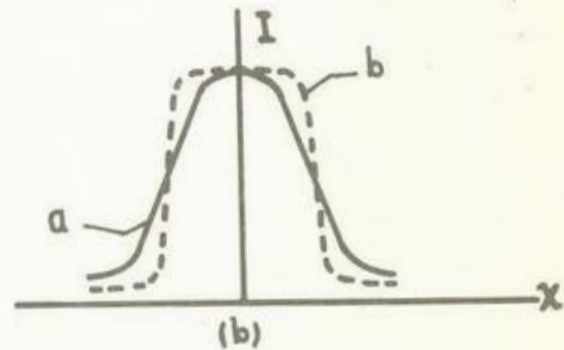
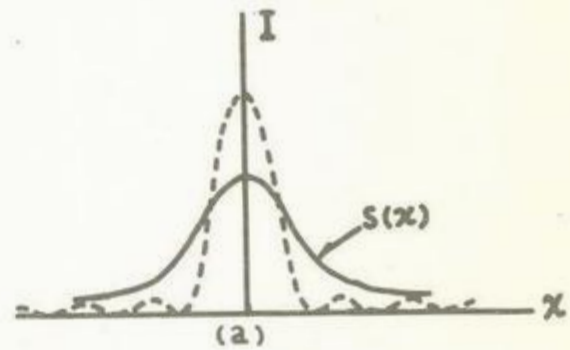


figura 9

te, la misma fracción de la energía luminosa total se dispersa en una mayor área. En consecuencia la curva que describe la

distribución de intensidad de una barra clara, decrecerá más lentamente a partir del valor máximo, en relación a como ocurre en el caso ideal, como se muestra en la figura 9 donde la curva indicada con (a) corresponde a la imagen formada por un sistema real y un sistema ideal (con la misma razón de apertura) forma una imagen como la señalada con (b).

Al disminuir el período de un par de barras, el contraste en la imagen, disminuye más rápidamente en el caso real que en el ideal y la FTM de aquel decrecerá más rápidamente en consecuencia como se puede apreciar en la figura 9 b

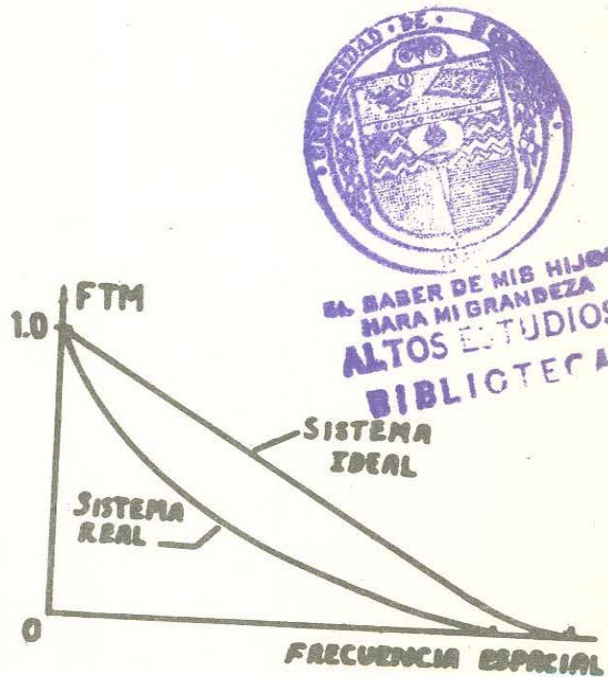
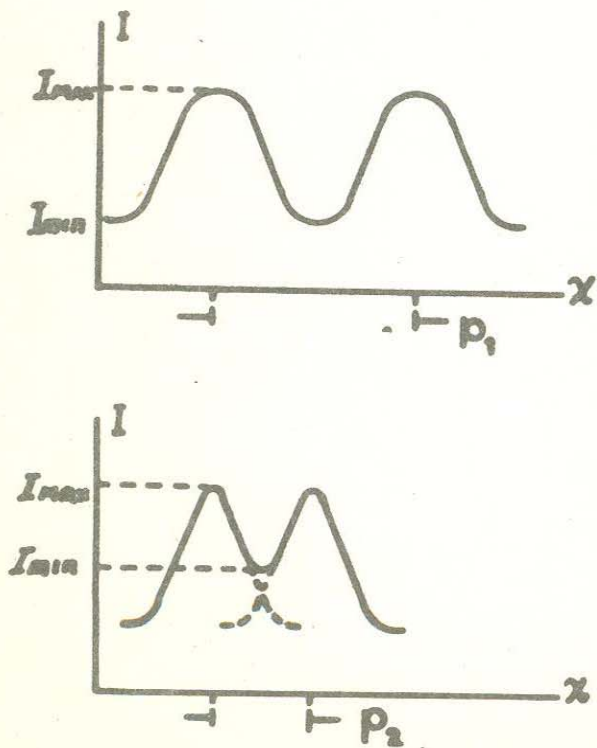


figura 9b

La FTM como método de evaluación de sistemas ópticos presenta una ventaja y es que cuando se combinan dos o más SO, la FTM de la combinación es el producto de las FTM de cada sistema, aún cuando se incluya una emulsión fotográfica como parte del sistema.

Sin embargo esta característica no se aplica a combinación de componentes como lentes simples ya que se puede presentar el caso de que se encuentre presente determinada aberración en una componente y que sea anulada por la misma aberración con signo opuesto de la otra componente y el resultado es una FTM de un sistema que no padece del defecto anterior.



EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
ALTOS ESTUDIOS
BIBLIOTECA

CAPITULO 3

TRABAJO EXPERIMENTAL

3.1 Descripción del Sistema Optico Bajo Prueba.- Se trata de un sistema de tres lentes llamado Triplete de Cooke, introducido en 1893 por H. Dennis Taylor como un objetivo fotográfico corregido para las aberraciones de astigmatismo, curvatura de campo, cromatismo y esfericidad. Dicho sistema óptico consiste de un elemento negativo de vidrio Flint colocado entre dos elementos positivos de vidrio Crown, siendo el espacio de aire entre los elementos relativamente grande. Generalmente se construyen objetivos de este tipo con aberturas relativas entre $f/4$ y $f/8$.

La figura 10 muestra una sección transversal del sistema y en las subsiguientes tablas se dan los datos de diseño así como las constantes de los vidrios usados en la construcción y las características del triplete, según el Reporte Técnico no. 3 del I.N.A.O.E. (1973).

D I S E Ñ O O P T I C O

SUPERFICIE	ABERTURA LIBRE	RADIO DE CURVATURA	GRUESOS Y SEPARACIONES	MEDIO REFRACTOR
OBJETO				
1	14.9	$39.92 \pm .2$	100	AIRE
2	14.6	-248.26 ± 3.0	$2.0 \pm .05$	SKN18
3	9.7	$-33.88 \pm .2$	$11.52 \pm .1$	AIRE
4	9.9	$49.28 \pm .2$	$1.0 \pm .05$	SF2
5	15.1	1598.54 ± 20	$9.31 \pm .05$	AIRE
6	15.4	$-32.45 \pm .2$	$2.0 \pm .05$	SKN18
IMAGEN			565.0	AIRE



CARACTERISTICAS DEL TRIPLETE COOKE

Distancia focal efectiva 95.61 cm.

Diámetro de la pupila de entrada 12.5 cm.

Diámetro del iris 9.59 cm.

Amplificación -5.05

Relación focal f/7.65

Curvatura de la imagen $-.0013 \text{ cm}^{-1}$

Dimensiones del objeto 30 X 30 cm.

Dimensiones de la imagen 150 X 150 cm.

Separación Objeto-Imagen 690.83 cm.

Distancia del objeto a la primera superficie 100 cm.

Distancia de la última superficie a la imagen 565 cm.

Distancia de la primera superficie a la pupila de entrada 16.57 cm.

Distancia de la última superficie a la pupila de salida -14.32 cm.

Distancia mínima del observador a la pantalla 70 cm.

Campo angular máximo $10^{\circ} 22'$

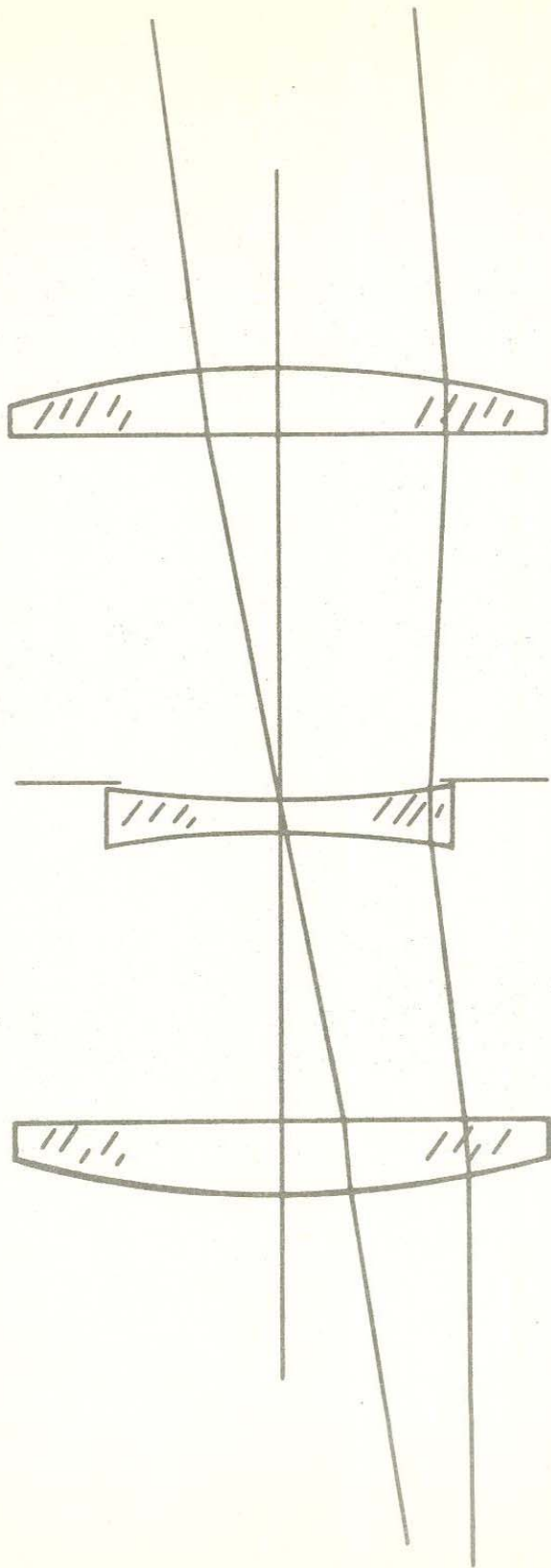
Poder resolutor medio en el objeto

Poder resolutor axial en el objeto

- o o o -

CONSTANTES DE LOS VIDRIOS OPTICOS

VIDRIO	N_C 6563 Å	N_d 5876 Å	N_F 4861 Å	N_g 4358 Å	V_d
SKN 18	1.63547	1.63896	1.64699	1.65332	55.47
SF 2	1.64268	1.64827	1.66180	1.67305	33.91



ESCALA 1:2

figura 10

3.2 Obtención de la Función de Transferencia de Modulación.-

El procedimiento que se siguió para calcular la FTM del triplete Cooke antes descrito (secc. 3.1), fué el de hacer que el sistema formara una imagen de un objeto constituido por un patrón de barras como el de la figura 7 sobre película fotográfica colocada en el plano de la imagen.

El objeto es una reproducción de un patrón de barras impreso en una placa de vidrio.

Una vez que se obtuvieron las placas fotográficas en el plano imagen, se procedió a medir el contraste en la transparencia imagen y en la transparencia objeto y así, obtener la FTM.

Como se ve en la tabla de características, el sistema está diseñado para formar imágenes de objetos comprendidos en una superficie cuadrada de 30 x 30 cm. por cuyo centro pasa el eje óptico del sistema. Entonces, si se pretende evaluar la calidad de las imágenes correspondientes a esa área objeto, es de esperarse que la calidad no sea la misma en todo el campo imagen por que para objetos situados fuera del eje, se va a tener la presencia de las aberraciones de astigmatismo y coma, las cuales se van a hacer más pronunciadas en cuanto mayor sea la distancia del eje al objeto.

Suponiendo que hay simetría del sistema alrededor de su

eje óptico, se tomaron como posiciones representativas del área objeto, cuatro posiciones distintas siendo ellas:

Posición 1: Sobre el eje óptico

Posición 2: A una distancia de 7 centímetros del eje.

Posición 3: A una distancia de 14 centímetros del eje.

Posición 4: A una distancia de 21 centímetros del eje.

las cuales se muestran en la figura 11. Para las cuatro posiciones objeto se obtuvieron las correspondientes cuatro imágenes impresas en película fotográfica, las que permitieron calcular la cuatro FTM.

3.3 Obtención de las Transparencias Imagen.- Fué necesario primeramente localizar el eje óptico del sistema, más concretamente su intersección con los planos objeto e imagen, para ello se procedió como sigue: Se colocó una máscara, M_1 (figura 11), en la pupila de entrada con un orificio en su centro de aprox. 2 mm. de diámetro, O_1 . Luego se colocó otra máscara M_2 , con un orificio O_2 , semejante a O_1 , frente a un láser de tal manera que el haz de éste último pase a través de O_2 y luego a través de O_1 después de ser reflejado en un divisor de haz consistente en una delgada placa de vidrio, V. Después de pasar por O_1 , el haz incide en una primera superficie del sistema. Si no incide normalmente en ésta, el rayo reflejado no va a salir por O_1 y si lo hace casi

normalmente, entonces se apreciará el haz reflejado como una pequeña mancha en la máscara M_2 . sin embargo se puede cambiar la posición del láser hasta que la mancha luminosa coincida con O_2 , por donde emerge la luz del láser. Cuando esto ocurre, el haz incidente llega normalmente a la primera superficie del sistema y al reflejarse en la dirección O_1V , llega hasta el plano objeto en O . Hay que hacer notar que al transmitirse a través de la placa V , hay un pequeño desplazamiento del haz transmitido pero se puede considerar despreciable debido a lo delgado de la placa.

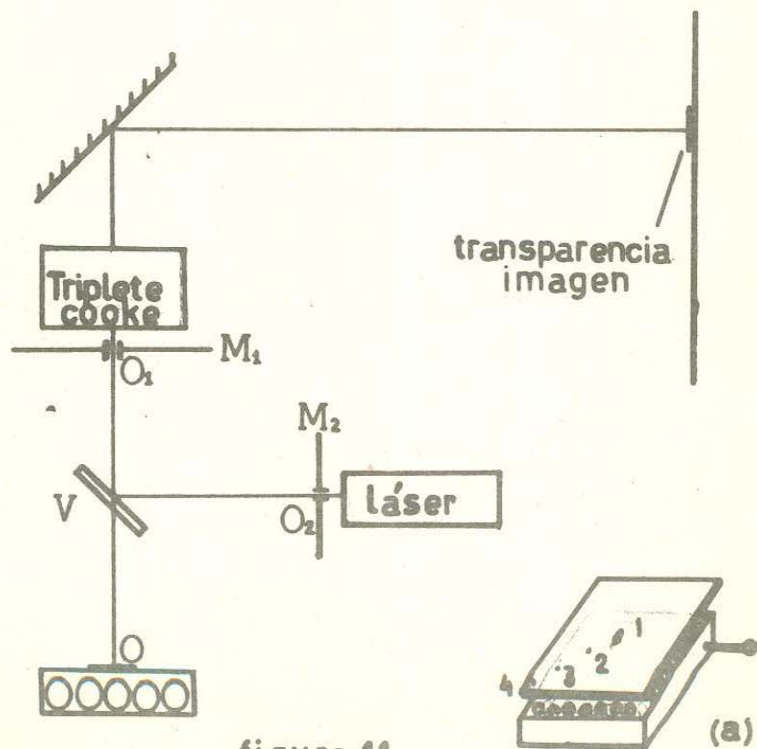


figura 11

Una vez hecho esto se colocó el objeto consistente en la transparencia con el patrón de barras, en el plano objeto a una distancia de aproximadamente 102 cm. de la primera superficie del sistema.

El plano objeto venía siendo una placa de vidrio de 6 mm. de espesor y esmerilado en una de sus caras; éste se colocó en una caja que contiene focos distribuidos uniformemente. (figura 11 a). Luego se procede a cubrir completamente el vidrio esmerilado para dejar salir luz únicamente a través de la transparencia. Encima de ésta se coloca un obturador para dejar pasar luz durante un tiempo suficiente para que se imprima la imagen en la película que se coloca justo donde cae la imagen en la pantalla P. Todo esto se hizo en una habitación completamente oscurecida.

El tiempo de exposición fué de 2 segundos, tiempo que se consideró óptimo para una película de mediana sensibilidad y de grano muy fino y contraste moderado. Hay que mencionar que se tuvo cuidado de mantener las mismas condiciones de revelado para las cuatro transparencias imagen que se obtuvieron.

3.4 Medición de contraste.- Una vez obtenidas las imágenes impresas en la película fotográfica, se procedió a medir el contraste en éstas. Para ello resultó altamente útil el siguiente sistema de medición que se ilustra en la figura 12

(A).- Un microscopio binocular.

(B).- Una fotoresistencia.

(C).- Un óhmetro de rango múltiple.

(D).- Una fuente luminosa de intensidad variable.

Se colocó una rendija r de papel aluminio de dimensiones 3.40×0.55 mm. en el plano focal de uno de los oculares del microscopio. La fotoresistencia estaba situada en la pupila de salida de este mismo ocular y cubierta de tal manera que solo le llegara luz procedente del SO ocular. Así a la fotoresistencia solo llegaba luz procedente de una angosta región del plano de

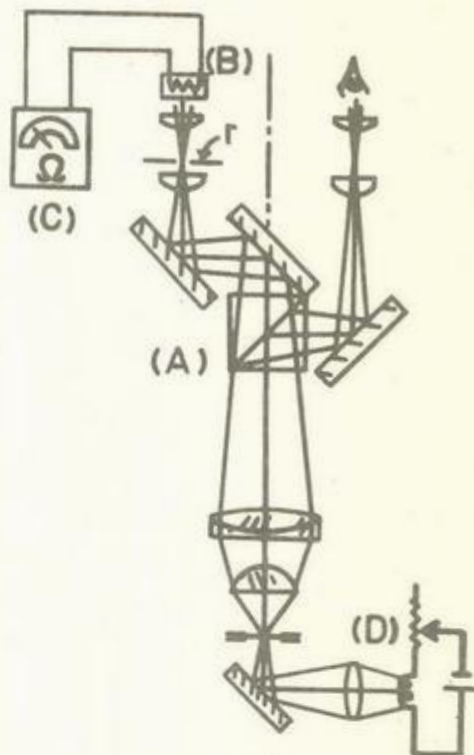


figura 12

la imagen formada por el ocular, región cuyas dimensiones podrían variarse cambiando de objetivo en el revólver del microscopio y cambiando así el poder de amplificación de éste.

Las terminales de la fotoresistencia estaban conectadas al medidor donde se podían hacer las lecturas y las transparencias objeto o imagen en cuestión estaba sobre la platina del microscopio para ser observada.

El otro ocular era empleado para, visualmente, localizar el grupo de barras a las que se les quería medir el contraste.

De esta manera al ir moviendo la transparencia se va analizando con la rendija la cantidad de luz transmitida a través de la película la cual se medía en el óhmetro como variaciones de resistencia de la fotoresistencia, es decir, se supuso que la resistencia era una función decreciente de la intensidad luminosa: $R = k/I$ donde k es una constante de proporcionalidad. Así el contraste está dado por:

$$\begin{aligned} \text{Contraste} &= \frac{k/R_{\min} - k/R_{\max}}{k/R_{\min} + k/R_{\max}} \\ &= \frac{1/R_{\min} - 1/R_{\max}}{1/R_{\min} + 1/R_{\max}} \end{aligned}$$

donde R_{\min} es el valor correspondiente a un máximo de intensidad y R_{\max} es el correspondiente a un mínimo de intensidad.

De esta manera se midió el contraste en las transparencias. Siguiendo este método se encontraron las siguientes fuentes de incertidumbre:

- A).- Errores en la lectura del óhmetro.
- B).- No linealidad de la respuesta de la fotoresistencia.
- C).- Fatiga de la resistencia.
- D).- Dimensiones de la rendija.
- E).- Errores personales.
- F).- Revelado no uniforme de la película.

CAPITULO 4
RESULTADOS Y EVALUACION



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA
ALTO A DIOS
BIBLIOTECA

OBJETO COLOCADO SOBRE EL EJE OPTICO

Frecuencia espacial ciclos por milímetro	FTM	Intervalo de Incertidumbre
2.76	0.53	(0.43, 0.64)
3.05	0.50	(0.32, 0.76)
3.45	0.46	(0.30, 0.66)
3.94	0.49	(0.32, 0.72)
4.33	0.49	(0.31, 0.68)
4.93	0.48	(0.27, 0.70)
5.42	0.42	(0.24, 0.61)
6.21	0.32	(0.16, 0.50)
6.90	0.31	(0.15, 0.51)
7.68	0.24	(0.13, 0.38)
8.67	0.29	(0.16, 0.44)
10.84	0.17	(0.09, 0.29)
12.12	0.22	(0.09, 0.43)
13.69	0.21	(0.13, 0.35)
15.37	0.19	(0.06, 0.38)
17.23	0.22	(0.20, 0.25)

OBJETO COLOCADO A 7 CENTIMETROS DEL EJE OPTICO.

Frecuencia espacial ciclos por milímetro	FTM	Intervalo de Incertidumbre.
2.76	0.28	(0.25, 0.31)
3.05	0.20	(0.17, 0.24)
3.45	0.18	(0.16, 0.20)
3.94	0.18	(0.16, 0.21)
4.33	0.24	(0.20, 0.30)
4.93	0.17	(0.14, 0.19)
5.42	0.19	(0.16, 0.22)
6.21	0.15	(0.11, 0.20)
6.90	0.15	(0.11, 0.18)
7.68	0.08	(0.07, 0.09)
8.67	0.13	(0.06, 0.20)
9.85	0.13	(0.13, 0.13)
10.84	0.12	(0.11, 0.14)
12.12	0.16	(0.11, 0.25)
13.369	0.15	(0.13, 0.19)
15.37	0.15	(0.09, 0.24)
17.23	0.11	(0.10, 0.13)

OBJETO COLOCADO A 14 CENTIMETROS DEL EJE OPTICO

Frécuencia espacial ciclos por milímetro	FTM	Intervalo de ... Incertidumbre
2.76	0.44	± 0.08
3.05	0.36	± 0.12
3.45	0.32	(0.25, 0.41)
3.94	0.35	(0.30, 0.40)
4.33	0.33	(0.27, 0.38)
4.93	0.31	(0.29, 0.34)
5.42	0.27	(0.24, 0.30)
6.21	0.22	(0.18, 0.27)
6.90	0.18	(0.15, 0.22)
7.68	0.18	(0.13, 0.24)
8.67	0.15	(0.12, 0.18)
9.85	0.13	(0.09, 0.16)
10.84	0.15	(0.13, 0.17)
12.12	0.11	(0.06, 0.18)
13.69	0.12	(0.08, 0.15)
15.37	0.11	(0.09, 0.14)
17.23	0.06	(0.05, 0.06)

OBJETO COLOCADO A 21 CENTIMETROS DEL EJE OPTICO

Frecuencia espacial ciclos por milímetro	F TM	Intervalo de Incertidumbre
2.76	0.11	+ 0.03
3.05	0.06	+ 0.01
3.45	0.04	+ 0.01
3.94	0.04	+ 0.00
4.33	0.04	+ 0.00
4.93	0.06	+ 0.03
5.42	0.04	+ 0.00
6.21	0.03	+ 0.01
6.90	0.02	+ 0.00
7.68	0.02	+ 0.00
8.67	0.02	+ 0.00

EN LAS SIGUIENTES FRECUENCIAS EL CONTRASTE ESTUVO POR DEBAJO DEL NIVEL
DETECTABLE.



EL SABER DE MIS HIJOS
PARA MI GRANDEZA
BIBLIOTECA

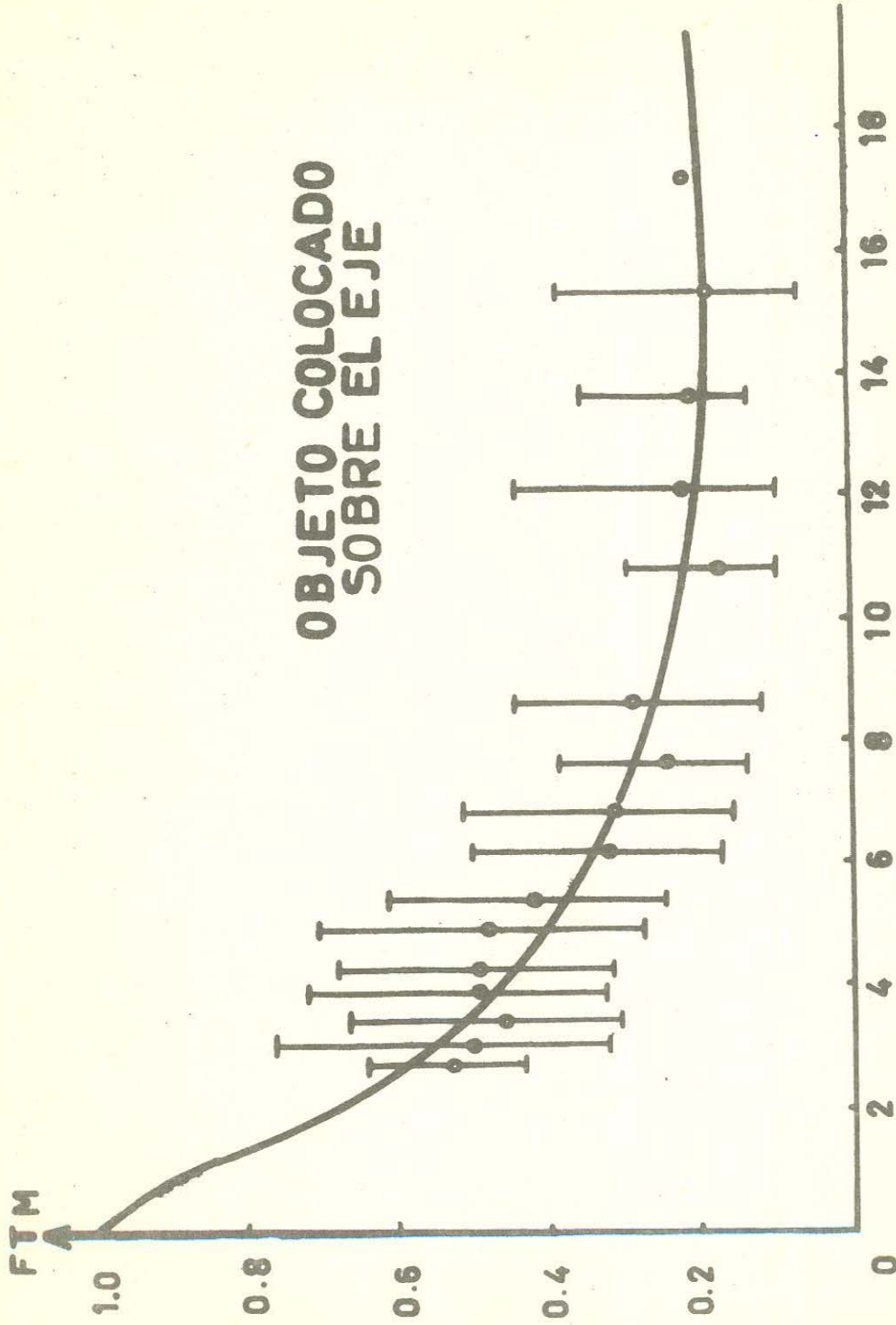
FTM

1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0

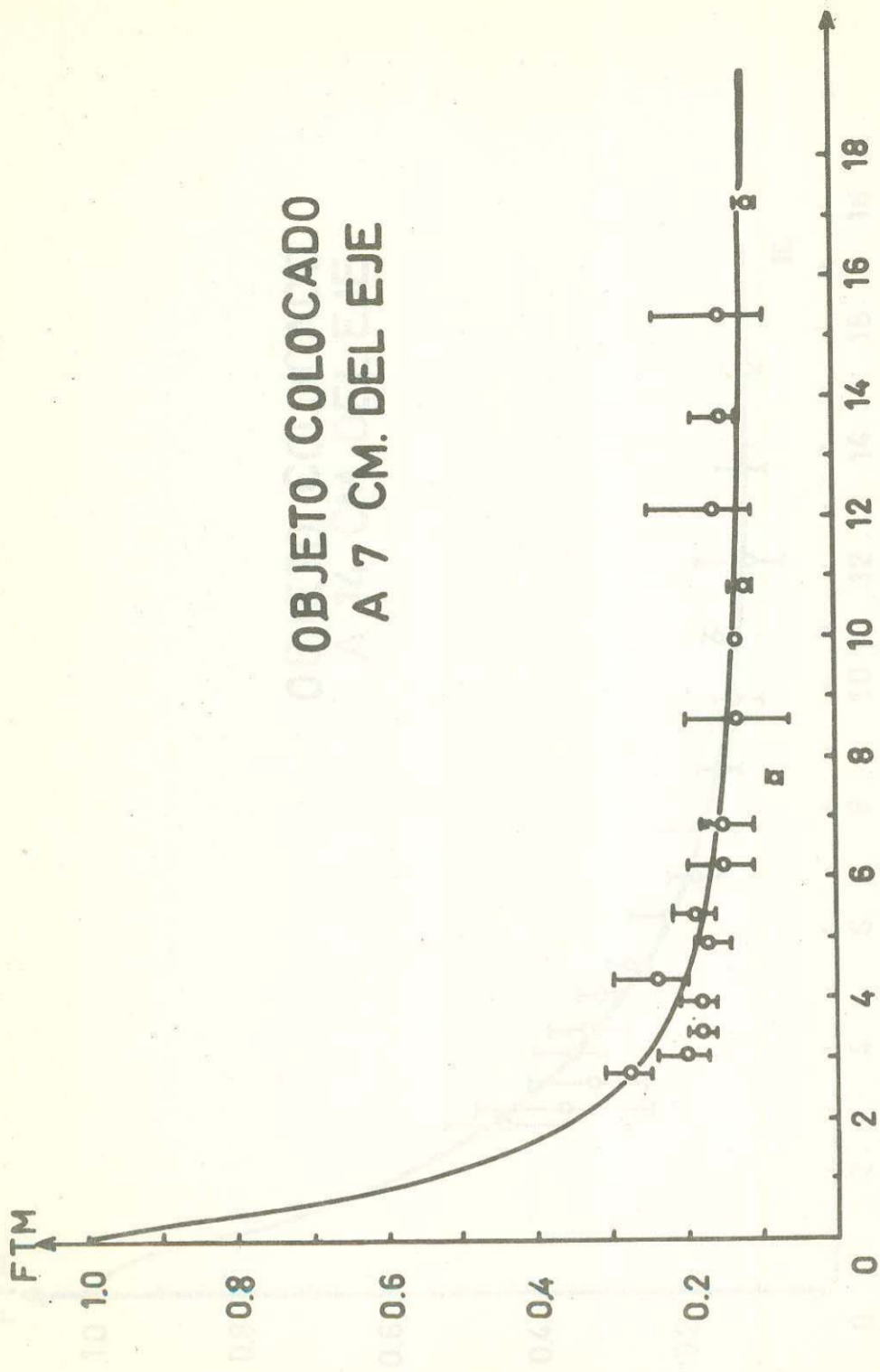
OBJETO COLOCADO
SOBRE EL EJE

PARES DE LINEAS POR MILIMETRO

2 4 6 8 10 12 14 16 18

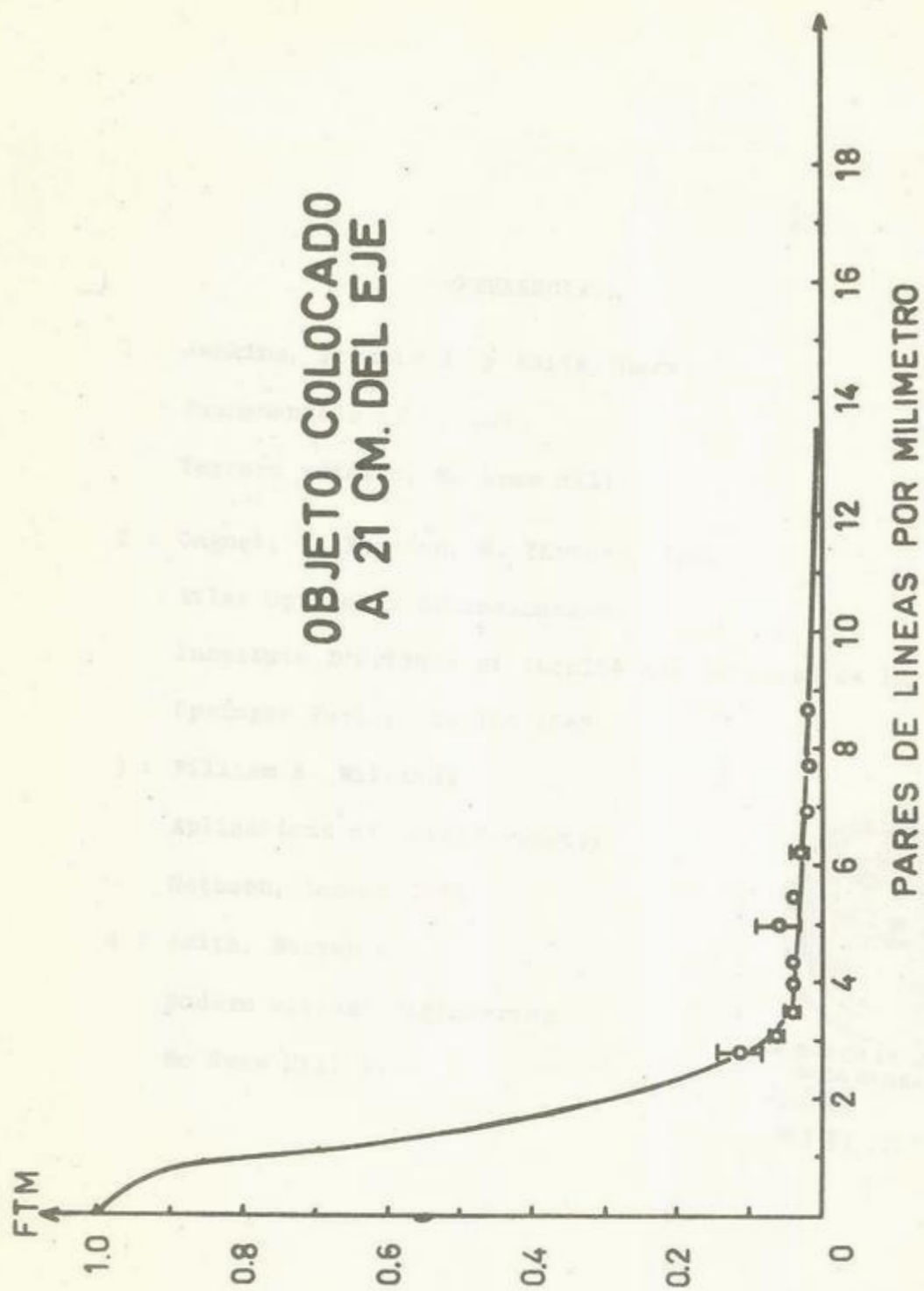


OBJETO COLOCADO
A 7 CM. DEL EJE



PARES DE LINEAS POR MILIMETRO

**OBJETO COLOCADO
A 21 CM. DEL EJE**



REFERENCIAS:

1 : Jenkins, Francis A. y White, Harvey E.

Fundamentals of Optics

Tercera edición, Mc Graw Hill.

2 : Cagnet, M. Françon, M. Thrierr, J.C.

Atlas Optischer Erscheinungen.

Institute D'Optique et Faculté des Sciences de Paris.

Springer Verlag, Berlin 1962

3 : William E. Williams

Aplications of Interferometry

Methuen, London 1958

4 : Smith, Warren J.

Modern Optical Engineering

Mc Graw Hill 1966



EL SABER DE NUESTROS
DIAS ES NUESTRA GRANDEZA
ALTOS ESTUDIOS
BIBLIOTECA