



LECCIONES DE FISICA FARMACEUTICA

Por el Prof. MATIAS GONZALEZ, Dr. en Química y Farmacia,
Químico Farmacéutico

Optica del ojo

El ojo humano

El ojo humano constituye un sistema dióptrico convergente casi centrado, aparato suficiente para las necesidades de la visión, cuya potencia puede ser acrecentada por distintos instrumentos basados en las leyes de la reflexión y de la refracción.

Sumariamente en el hombre el aparato de la visión se compone de un órgano principal llamado **bulbo** o **globo ocular** y de partes accesorias destinadas a su movimiento o a su protección.

El globo ocular es esferoidal con la cara anterior más encurvada (córnea), y en el cual se consideran una envoltura sólida y un contenido transparente.

La envoltura ocular presenta tres sistemas de membranas que encajan las unas en las otras y que son, enumerando de fuera hacia adentro: 1.º **esclerótica**; 2.º **coroides** y 3.º **retina**.

La **esclerótica** es una membrana fibrosa y opaca que se continúa hacia adelante con la **córnea**, membrana transparente, en forma de casquete esférico cuya extensión ocupa aproximadamente una sexta parte anterior del bulbo, cuyo radio de curvatura es más pequeño que el de la esclerótica y cuya superficie externa es esferoidal.

La **coroides** es una membrana vascular en cuya superficie interna se encuentra una capa de pigmento.

La coroides se adhiere a la esclerótica, pero se desprende un poco antes de llegar el **iris**, que es un diafragma circular

gar a la córnea, quedando libre para forhoradado en su centro por una abertura llamada **pupila**.

En la junción del iris con la coroides, se encuentran los **músculos** y **procesos ciliares**.

La **retina**, que está aplicada sobre la coroides pero que no se adhiere a ella, es una membrana delgada y transparente que termina en las proximidades de la **ora serrata**, en donde se confunde con la zónula de Zinn.

La retina, que es la membrana sensible del ojo que es impresionada por la luz, para producir la sensación visual, está constituida por diversas capas: la externa se llama la capa de **bastoncillos** y **conos** y está en comunicación con el cerebro por intermedio del **nervio óptico** que atraviesa a la esclerótica y a la coroides por la parte posterior del globo ocular.

El interior del casquete ocular está dividido transversalmente, por el cristalino y zónula de Zinn en dos cavidades de capacidades muy desiguales y sin comunicación entre sí.

La cavidad anterior está comprendida entre la córnea y la cara anterior del cristalino, está ocupada por el **humor acuoso** y es subdividida por el iris en dos compartimientos: la **cámara anterior** y la **cámara posterior**.

La cámara posterior, a consecuencia de la aplicación de gran parte del iris contra el cristalino, está reducida a un espacio anular.

El humor acuoso es un líquido incoloro, transparente, cuyas propiedades físicas difieren muy poco de las del agua y cuyo índice de refracción es casi el mismo.

El **crystalino** afecta la forma de una lente esférico-biconvexa, cuya cara anterior es menos curvada que la posterior.

La recta que une los polos de las dos caras se llama el **eje** cuya longitud mide el espesor del cristalino.

El músculo ciliar modifica la curvatura y también la forma geométrica del cristalino.

El índice de refracción del cristalino aumenta gradualmente de la superficie al centro; en la capa periférica es superior al del humor acuoso.

La **cámara posterior** está llena con una sustancia de consistencia gelatinosa, transparente y cuyo índice de refracción es igual al del humor acuoso y que se llama el **humor vítreo**.

El **eje ocular** es la recta que pasa por el centro y por el polo o cumbre de la córnea.

Todo plano trazado por este eje corta el esferoide ocular según una circunferencia de gran círculo que se llama **meridiano**.

El plano del **ecuador** es el plano llevado perpendicularmente al eje por el centro del ojo, y divide, por lo tanto, al globo, en dos hemisferios.

Se llaman **polos** a los puntos en que el eje encuentra a la superficie del ojo.

Así descritos sumariamente los elementos constitutivos del ojo humano, podemos llegar a establecer que en nuestro caso se reduce a la consideración de la luz que debe llegar a la retina pero que antes tiene que atravesar tres medios refringentes, cuya misión es desviar los segmentos diferentes del fascículo luminoso.

Estos medios están limitados por superficies curvas; suponiendo nulo el espesor de la córnea, son: humor acuoso, cristalino y humor vítreo.

Las superficies curvas están limitadas por la córnea, por la cara anterior y por la cara posterior del cristalino.

El conjunto se llama **dioptra**, denominación dada por Monoyer al conjunto de dos medios de refringencia desigual separados por superficies curvas.

En el ojo existen tres dioptras convergentes (concavidad dirigida hacia el medio refringente) cristalino $n = 1.43$, humor acuoso y humor vítreo $n = 1.33$, aproximadamente.

El ojo humano ha sido considerado como un dioptra centrado, aun cuando no lo sea exactamente.

Helmholtz ha llegado a determinar los elementos dióptricos y a calcular la posición de los planos principales, de los puntos nodales y de los focos del ojo.

Ojo esquemático. — El ojo esquemático representa la media de las medidas de los ojos normales por aplicación de las leyes y cálculos de los sistemas sistemáticamente centrados, vale decir, suponiendo exactamente esféricas a las superficies refringentes y reemplazando al cristalino por una lente ópticamente homogénea.

Estaría, entonces, constituido por un medio de $n = 1.33$, envolviendo a una lente de $n = 1.43$. Así habría un punto principal y un punto nodal.

Ojo reducido. — Para basar los cálculos necesarios (aproximados) para el estudio óptico de las anomalías de la visión, Donders ha estudiado un dioptra convergente que llevó a Landolt, Badal, Parent y otros a la construcción de ojos artificiales.

Acomodación. — El ojo humano es considerado como una cámara oscura de lente convexa y en cuya pared contraria hay una pantalla sensible, la retina, en la cual se forman las imágenes de los objetos que son reales, invertidas y más pequeñas, como pudo comprobarlo Magendie observando un ojo de vaca albina, cuya constitución anatómica es comparable al ojo humano, en la cual había adelgazado la cara posterior de la esclerótica.

En el ojo humano la visión es neta cuando se forma sobre la porción retiniana llamada **mancha amarilla** o **mácula lútea**.

Si los elementos ópticos del ojo permanecieran en sus valores invariables, resultaría que cuando los objetos se aproximaran al ojo de la imagen se formaría detrás de la pantalla retiniana o que cuando se alejaran se formaría la imagen delante de la misma pantalla.

Es decir, que sólo podrían verse las imágenes cuando ocuparan una distancia fija e invariable, calculada según las leyes del dioptra convergente centrado. Eso no sucede, puesto que podemos observar objetos a distancias variables entre un punto cercano llamado **punctum proximun** y otro punto lejano, **punctum remotum**.

Esta propiedad fisiológica obedece a una facultad que se llama **acomodación**, que consiste en la acción del músculo ciliar sobre el cristalino, que hace variar su convergencia y por lo tanto sus valores ópticos.

Esta observación se debe a Descartes en 1637 y mejor estudiada más tarde, por Purkinje en 1825, por Cramer y Sanson.

Se llama **poder de acomodación** a la diferencia entre el poder dióptrico de una lente que equivaliera al ojo normal enmétrico y el poder de otra lente que equivaliera al valor dióptrico del ojo cuando acomoda al infinito.

Por **amplitud de acomodación** se entiende el espacio que media entre el **punctum proximun** y el **punctum remotum**.

La medida del poder de acomodación se mide teniendo en cuenta las posiciones del **punctum remotum** y del **punctum proximun**, expresándolas en dioptrias, o sea tomando la inversa de las distancias de estos dos puntos al ojo.

$$A = \frac{1}{p} - \frac{1}{r}$$

p y **r** serán el **punctum proximun** y el **punctum remotum** expresados en metros.

En un ojo enmétrico $r = \infty$ de modo que $\frac{1}{r} = 0$ y entonces para ese ojo:

$$A = \frac{1}{p}$$

El poder de acomodación se mediría, entonces, determinando la distancia del **punctum proximun** y considerando su inversa.

Así, en un ojo enmétrico, por ejemplo, cupo **punctum proximun** está a 0.08, el poder de acomodación es:

$$A = \frac{1}{0.08} = 1.25. \text{ Dioptrias.}$$

Vale decir, que cuando este ojo acomoda al máximo, es como si se hubiera colocado al ojo normal una lente de 12.5 Dioptrias.

El poder de acomodación varía de una manera progresiva con la edad, según lo estableció Donders.

Se puede construir una gráfica de esta graduación, que en términos generales es así:

A 10 años	equivale a	14
" 20 "	" "	10
" 30 "	" "	7
" 45 "	" "	3.5
" 60 "	" "	1
" 75 "	" "	0

Anomalía de la acomodación. — La disminución del poder de acomodación con la edad es un fenómeno fisiológico que se traduce por el alejamiento progresivo del **punctum proximun** del ojo y se expresa, entonces, diciendo que el ojo es **presbita** o que hay **presbicia**.

El grado de presbicia está definido por el poder dióptrico de la lente convergente que traiga el **punctum proximun** a 22 centímetros.

Agudeza visual. — Se entiende por agudeza visual a la propiedad fisiológica en virtud de la cual dos imágenes retinianas de la misma magnitud, de la misma intensidad y en la misma posición dan a ambos ojos una percepción neta del mismo objeto.

La agudeza visual se mide por la inversa del ángulo más pequeño, bajo el cual el ojo pueda reconocer la forma de un objeto determinado, así:

$$Av = \frac{1}{a}$$

es decir, que cuanto más pequeño sea el valor de a mayor será el de AV .

Giraud-Teulon, llamó **minimun visibile** o **minimun separabile** al ángulo más pequeño formado por las dos direcciones más cercanas que pueda apercibir el ojo.

Ese ángulo ha sido objeto de medida por diversos autores, que encontraron valores distintos.

Aceptando como valor o magnitud un minuto, para ese ángulo, según las medidas de Giraud Teulon se ha adoptado una unidad que se llama **unidad de agudeza visual** y que sería el valor de la unidad de un ojo capaz de reconocer, bajo un ángulo de 5 minutos, caracteres de imprenta en los que el espesor de los trazos fuera el quinto de la altura de las letras, de manera que cada trazo se percibe bajo un ángulo de un minuto.

Medida de la agudeza visual. — Para medir la agudeza visual se puede seguir dos métodos.

El primero consiste en observar un objeto de tamaño fijo a distancia variable, y el segundo método es el de observar a distancia fija objetos de tamaño variable.

En el primer método, los objetos de tamaño fijo son generalmente caracteres de imprenta cuyos trazos tienen un espesor del quinto de su altura o trazos equidistantes a intervalos iguales.

Llamando D a la distancia a la cual el ojo de agudeza igual a la unidad distingue netamente al objeto tipo, y D' a la distancia a la cual el ojo de agudeza desconocida debe colocarse para hacer la misma observación, el valor de la agudeza será igual al cociente de D por D' .

En este método una sola línea basta para determinar todas las agudezas porque sólo son las distancias las que varían.

El segundo método, o sea el basado en las distancias fijas y objetos de magnitud variable, es de uso más generalizado. Acá la distancia es fija, generalmente de 5 a 6 metros; el sujeto son letras, signos o figuras dispuestas por orden de alturas decrecientes.

Estas escalas o carteles se llaman “escalas de agudeza”, “optotipos” o “escalas optométricas”.

Para su práctica se determina de antemano la magnitud de las letras que a la distancia fija aparecen bajo un ángulo de 5 minutos. Llamémosla A' . Luego se coloca el ojo a la distancia fija y se observa cuáles de los caracteres se alcanza a percibir con nitidez; sea A esta magnitud.

$$\text{La acuidad será: } A. V. = \frac{A'}{A}$$

La altura de las letras que se ven a 5 metros bajo un ángulo de 5 minutos es 7 mm. 5.

Supongamos que el ojo apercibe las letras de 11 mm. 25 de altura; su agudeza visual será:

$$A. V. = \frac{7.5}{11.25} = \frac{2}{3}$$

En este método basta anotar al lado de cada letra su altura para que la agudeza esté dada por la relación $\frac{A'}{A}$, o también

puede multiplicarse, como lo hace Monoyer, colocando al costado de las escalas, las relaciones decimales: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; etc.

Este segundo método es menos aproximativo que el primero, pero resulta más cómodo porque basta para el caso, tan solo, un espacio de 5 metros.

Escalas de agudeza. — Las escalas de agudeza visual deben estar constituidas por objetos fácilmente definibles y que no impliquen, por lo tanto, trabajo o confusión al ser observados.

Las más importantes son las escalas de Snellen, la de Monoyer y la de Bordier.

Escala de Snellen. — Está constituida por caracteres (letras) latinos, cuadrados, cuyas líneas y entrelíneas tienen el quinto de su altura.

Comprende 8 líneas de letras de altura decreciente. Sobre cada línea y en el medio hay una cifra que indica la distancia

a la cual las letras de esa línea se alcanzan a percibir bajo un ángulo de 5 minutos.

La magnitud de las letras pequeñas de la escala es tal que a 6 metros su diámetro aparente es de 5 minutos.

Para los analfabetos esta escala está trazada con rectángulos en vez de letras, a los cuales les falta un costado. En este caso el sujeto indica cuál es el costado abierto de la figura.

Escala de Monoyer. — Es una escala decimal construida para la distancia de 5 metros; comprende 10 grupos de letras antiguas cuyas alturas han sido calculadas de manera a que el conjunto represente la serie completa de los décimos de unidad de 0,1 a 1.

Siguiendo la observación de Green, en la escala de Monoyer, se han sustituido los caracteres latinos por los caracteres antiguos.

Escala de Bordier. — Las escalas de Snellen y Monoyer sólo permiten la medida de la **acuidad** a distancia fija cuando esta agudeza es inferior o igual a la unidad.

La escala decimal de Bordier permite medir las agudezas superiores a la unidad.

Está constituida por 9 escalones o líneas con caracteres latinos cuyas dimensiones se han calculado de manera que el sujeto, colocado a 5 metros, pueda ver las letras de cada línea como si observara la línea más pequeña de una escala ordinaria a las distancias sucesivas de 5 m. 50, 6 m. 50, 7 m., 7 m. 50, 8 m., 9 m., 10 m., 12 m. Así las agudezas correspondientes a cada línea son: 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2; 2,4.

Esta escala facilita la exactitud de la medida de las ametropías por el método Donders.

Diámetro de la pupila. — La agudeza visual varía con el diámetro de la pupila a causa de los círculos de difusión que ya estudiamos en microscopía.

Esta medida (diámetro pupilar) biológica se lleva a cabo por medio de la fotografía, llegando a establecerse relaciones que llevaron a Bordier a la ley siguiente: “al estado estático la acuidad visual varía en razón inversa del diámetro de la pupila”.

También puede lograrse esa medida dando artificialmente un diámetro pequeño a la pupila, como cuando se observa por el **Agujero Estenopecico**, que atenúa a los círculos de difusión.

Variaciones de la agudeza visual. — La agudeza visual varía con la edad, debilitándose al acercarse a la vejez.

Varios autores han practicado observaciones estableciendo gráficas de la variación, como puede observarse en las láminas de nuestro laboratorio.

Campos visuales. — Fisiológicamente considerada la retina presenta tres regiones netamente distintas:

- 1.º **Mácula lútea** con su **fovea centralis**.
- 2.º **Región periférica**.
- 3.º **Papila óptica**.

Campo de visión distinta. — Para observar un objeto con nitidez, es necesario orientar los ojos de manera tal para que el eje visual pase por el punto del espacio donde se encuentra el objeto cuya imagen retiniana se forma en la **mácula lútea**. La retina, entonces, se hace más curva, reduciéndose a su centro (fovea centralis) o sea a la membrana de Jacob, conos y bastoncillos.

La formación de la imagen del objeto, así observado, puede ser demostrada experimentalmente, tal cual lo practicó Donders con el oftalmoscopio.

Las dimensiones de la mácula, en término medio, es de 0 mm. 2. Si llevamos las extremidades de todos los diámetros de la mácula al centro óptico del ojo, conseguimos un cono que prolongado hacia afuera y hacia adelante del ojo representa el **campo de visión distinta**.

El ángulo en la cumbre del cono es de 12 minutos o sea un quinto de grado de círculo.

Este campo es pequeño en extremo pero toma mayor extensión porque instintivamente el observador imprime movimientos inconcientes a los globos oculares tan rápidos como para que persistan las imágenes de la retina.

Campo visual propiamente dicho. — El resto de las porciones retinianas no son aptos para percibir netamente las imágenes de los objetos que se forman sobre ellas. Esas imágenes originan sensaciones de advertencia de los cuerpos luminosos sin dar noción de sus formas.

Charpentier, estudiando la agudeza visual llegó a comprobar que no es la misma en todos los puntos de la retina periférica y que disminuye desde la mácula lútea hacia la **ora serrata**.

Para observar ese decrecimiento, se valió de puntos negros dibujados sobre fondo blanco, desplazándolos según los diferentes meridianos del ojo, anotando las distancias a las cuales, estos puntos, dejaban de ser vistos y haciendo determinaciones en todos los meridianos espaciados de 10 en 10 grados.

Así se llega a la designación del **campo visual propiamente dicho**, que será el espacio desde el cual un ojo inmóvil pueda percibir imágenes luminosas.

Este campo de visión es indirecto, está limitado: por los párpados, el esqueleto orbitario y las partes blandas que lo recubren, por la nariz y por el contorno del iris; así es que presenta mayor extensión del costado temporal que del costado nasal.

Medida del campo visual. — Se llega, fácilmente, a practicar la medida del campo visual con los aparatos llamados **campímetros** o con los **perímetros**.

El método de los campímetros está basado en hacer fijar un punto situado en un plano vertical a la altura del ojo a examinar. Sobre ese plano se desplaza un objeto en toda dirección y hasta límites en que cese de ser visto; la línea resultante de la unión de estos límites representa al campo visual.

El procedimiento de los campímetros presenta en la práctica, algunos inconvenientes, por cuya razón se sustituye con los perímetros, cuyo uso fué introducido por Aubert y que sirven para la observación de todos los puntos de la retina a distancias iguales, lo que no se consigue con los campímetros.

En los perímetros el objeto se coloca sobre una superficie curva en la cual el ojo ocupa el centro.

Representación gráfica. — La gráfica de estas observaciones se lleva a cabo por dos procedimientos distintos: **procedimiento de las tangentes** por medio de los campímetros y **procedimiento de la proyección equidistante polar**, método que está más difundido.

Las medidas del campo visual tiene sus indicaciones prácticas, como la posición de la cabeza, etc.

Para las determinaciones corrientes de los límites del campo visual llegan a satisfacer 8 medidas sobre los 4 meridianos distantes angularmente 45 grados.

Cuando se quiere mayor exactitud hay que aumentar el número de observaciones y proceder como en todo fenómeno físico, calculando los errores correspondientes.

Extensión. — Correspondiendo a estados patológicos el campo visual presenta sus variaciones.

La extensión media del campo visual es de 90 grados hacia el costado temporal y 55 grados hacia el costado nasal.

Campo visual cromático. — Para medir el campo de visión coloreado se sustituye al objeto luminoso por sujetos luminosos coloreados.

El campo visual cromático presenta una forma idéntica al campo visual normal, pero de límites más pequeños.

El azul presenta el campo más extendido, siempre es menor que el blanco; luego, después viene el amarillo, el anaranjado, el rojo, el verde y por último el violeta.

Campo de visión nula. — Este campo es el correspondiente a la pupila, mancha

de Mariotte o **punctum coecum**, cuyo diámetro es de 1 mm. 8 y que observada con el oftalmoscopio se distingue por su coloración blanca ligeramente rosada.

Reuniendo los puntos periféricos de la papila al centro óptico del ojo, se consigue un cono que prolongado hacia afuera representa al **campo de visión nula** cuyo ángulo es 6 grados.

Movimiento de los ojos. — Cuando los ojos tienen una posición primaria los ejes visuales son paralelos, pero si un observador se fija en las córneas los supondrá convergentes o divergentes.

Eso es debido a que el eje visual y el eje de la córnea no coinciden.

Midiendo en un mismo meridiano a las distintas partes de la curvatura de la córnea, se observará que el punto de intersección de la línea visual es más pequeño, lo que indica que el meridiano de la córnea no es un arco de círculo y que el eje visual no pasa por su cumbre, existiendo un ángulo que se ha convenido en llamar **alfa** [α]

Se llama ángulo α y al formado por el eje de la córnea con el centro de rotación del ojo.

Según el ángulo α , sea positivo o negativo, es decir, hacia afuera o hacia adentro, los ojos parecerán convergentes o divergentes.

El ángulo α se determina con los perímetros.

Medida de la excursión de los globos oculares. — Los movimientos de los ojos son susceptibles de representación por arcos cuyo centro coincidiera con el centro de rotación del ojo.

Se llama **campo de visión monocular**, al campo abarcado por un ojo durante sus movimientos mientras la cabeza permanece inmóvil.

El campo de visión monocular se mide por medio de los perímetros o siguiendo el método de Hering, que es más preciso aún cuando las imágenes persistentes en la retina hacen difíciles estas determinaciones.

La excursión media de los ojos normales, según distintos tratadistas, es:

45	grados	hacia	adentro
42	"	"	afuera
34	"	"	lo alto
57	"	"	abajo.

Movimiento simultáneo de los dos ojos.

— En la visión binocular la imagen de un punto luminoso se forma sobre cada mácula a causa de la orientación dada a los globos oculares por los músculos motores.

En tal caso la visión es simple y también podrá serlo aún cuando las imágenes no se formen sobre las mismas máculas sino que se realicen en puntos de la retina llamados **idénticos** o **correspondientes**; así cesa la visión binocular de ser simple porque el objeto se verá doble, es decir, hay **diplopia**.

Al conjunto de puntos del espacio que van a formar sus imágenes en puntos correspondientes de la retina para una posición dada de los ojos, se llama **Horoptera**.

El mecanismo de Horoptera, explicado por Sigalas, se comprende con claridad en el cartel mural de nuestro laboratorio, así como también la **convergencia** y la **determinación de su amplitud**.

Estrabismo. — Normalmente las líneas visuales de los dos ojos están dirigidas sobre el mismo punto, de manera que las imágenes de ese se formen sobre las dos máculas.

Se llama estrabismo a toda posición anormal de los ojos que cambie esa dirección.

Cuando la dirección de los ejes de la córnea varía el estrabismo, se llama **aparente**, y se llama **real** cuando varía la dirección de los ejes visuales.

Anomalías. — En el ojo normal o enmétrico al foco posterior coincide con la retina.

Un objeto colocado en el infinito forma su imagen en la retina sin que el ojo tenga que efectuar acomodación; así el punto remoto del ojo enmétrico está en el infinito.

Todo ojo que no reúna esas condiciones se llama **amétrope**.

Hay ametropías **esféricas** y **astigmáticas**

Ametropías esféricas. — En las ametropías esféricas las superficies de separación del dioptra son esféricas.

Definición de ametropías esféricas. — El ojo es amétrope cuando su foco posterior no coincide con la retina.

De ahí, que puedan existir dos ametropías:

1.º Cuando la distancia focal posterior es más pequeña que la longitud del ojo en el sentido antero-posterior (**miopía**); el foco posterior se forma entre la córnea y la retina.

2.º Cuando la distancia focal posterior es más grande que la longitud del ojo (**hipermetropía**); el foco posterior se forma atrás de la retina.

Miopía. — Esta anomalía puede presentarse en tres formas distintas, llamadas: miopía **axilar**, miopía de **curvatura** y miopía de **índice**.

En la miopía axilar hay alargamiento del eje; varía la longitud del ojo pero no varían las curvaturas de la córnea y del cristalino y no varían, tampoco, los índices de refracción de los medios del ojo.

En la miopía de curvatura se encuentran aumentadas las curvaturas del dioptra, conservándose normal la longitud del ojo, así como los índices de refracción de los medios.

En la miopía de índice varían los índices, formándose el foco delante de la retina.

La más frecuente de las miopías es la miopía axilar.

En el ojo miope el **punctum remotum** está situado delante de él a una distancia finita; de manera que para hacerle emétrope será necesario colocarle delante una lente esférica negativa para que pue-

da practicar la visión neta de un punto luminoso colocado al infinito.

El grado de miopía está dado por el valor de la potencia dióptrica de la lente correctora.

Hipermetropía. — En la hipermetropía el foco posterior se forma detrás de la retina.

Se consideran tres especies de hipermetropías:

1.º La llamada hipermetropía **axil**, que es debida a la disminución de la longitud antero-posterior del ojo.

2.º La hipermetropía de **curvatura**, que presenta el aumento del radio de curvatura por disminución de las curvaturas de la córnea y del cristalino.

3.º La hipermetropía de **índice**, en la cual están disminuidos los índices de refracción de los medios oculares.

La más frecuente de estas anomalías es la hipermetropía **axil**.

Así, un ojo hipermétrope será aquel en que su **punctum remotum** es virtual y para corregirlo será necesario colocar delante de él una lente esférica convergente que le permita la visión neta de un punto situado en el infinito y sin poner en función la acomodación del ojo.

El grado de hipermetropía está dado por el poder dióptrico de la lente correctora.

Diagnóstico y medida de las ametropías esféricas. — Este diagnóstico y esta medida se logran por dos métodos: el **subjetivo**, que necesita la intervención del sujeto, y el **objetivo**, que no requiere las respuestas e impresiones del sujeto.

En la práctica del método subjetivo se vale del procedimiento de Donders o de los optómetros.

El método de Donders es el llamado de la caja de pruebas.

La caja de pruebas contiene series escalares de lentes tipos generalmente repartidos así; en pares:

Lentes biconcavos	—	aros nikelados	desde	— 0.25 a	— 20.D
" biconvexos	+	" dorados	"	+ 0.25 a	+ 20.D
Planos cilíndricos	—	" nikelados	"	— 0.25 a	+ 7.D
" "	+	" dorados	"	+ 0.25 a	+ 7.D
Prismáticos			"	1 grado a	5 grados

Las primeras series distan sus graduaciones $1\frac{1}{4}$ de dioptria, las medianas $1\frac{1}{2}$ dioptria y las mayores 1 dioptria.

Hay otros cristales y complementos en las cajas, como: cristales planos opacos, medio-opacos, cristales de color, diafragmas y discos estenopeicos. Los cristales de color son verdes, azules, rojos, anaranjados y ahumados. Generalmente se presentan cuatro tintes de intensidad creciente. Además, las cajas traen dos armazones de prueba, uno simple para lentes esféricas y uno doble concéntrico para soportar lentes esféricas y cilíndricas y un esferómetro.

El esperómetro es el instrumento conocido para medir espesores, pero que en este caso se aplica para la medida de los radios de las superficies esféricas según el teorema de geometría

$$r^2 = (2x - a)a \quad x = \frac{r^2}{2a} + \frac{a}{2}$$

Para medir la dioptria de las lentes, se aplican estas contra las puntas del esferómetro apoyando ligeramente.

Si los cristales son biconvexos o bicóncavos se multiplica por dos la cifra indicada por el aparato.

En los cristales plano convexos o plano cóncavo la dioptria es la cifra indicada por el aparato.

En los cristales meniscos, periscópicos, etc., se miden las dos caras del cristal y se sustrae la cifra menor de la mayor; la diferencia indica la dioptria.

Para los cristales plano cilíndricos se gira el cristal concéntricamente sobre las puntas del esferómetro y se fija el eje de cristal que se determina por la marcha de la aguja cuando llega al mayor valor y la cifra que indica a la dioptria correspondiente.

De la misma manera se miden de cada costado a los cristales combinados.

El esferómetro se controla mediante una placa de vidrio de caras paralelas y con las lentes tipo de la caja.

Medida de la miopía y de la hipermetropía. — Esta medida física-biológica, en

nuestro país, es sólo permitida al médico; con todo es interesante conocer en sus líneas generales, cómo se reconoce al ojo enmétrico, miope o hiperométrico.

Para estas determinaciones se supone que el observador es enmétrico o que ha sido corregida su ametropía.

Situado el sujeto en la cámara oscura se le presentan las escalas tipos a distancia conveniente.

Puede suceder: 1.º, que el sujeto observa tal cual observa el operador, y 2.º, que el sujeto lee alguno o no alcance a leer ninguno de los caracteres de la escala.

En el primer caso el sujeto puede ser enmétrico y leer sin acomodación o ser hiperométrico y leer acomodando. Si colocamos delante de su ojo lentes convergentes desde la dioptrias menores puede suceder que su visión sea alterada, en cuyo caso el sujeto que era enmétrico se vuelve miope o que su visión no se altere y relajando su acomodación seguirá leyendo los caracteres de la escala.

Para determinar el grado de hipermetropía se empezará por colocar lentes convergentes de 0.25, luego de 0.50, de 0.75, de 1 D y así sucesivamente hasta llegar a una visión clara. Como en toda observación óptica, se anotará la producción del fenómeno, antes, en y después para establecer la media proporcional que en estos casos prácticos resulta suficiente.

En el segundo caso el sujeto lee algunos caracteres de la escala o no lee ninguno; entonces, es posiblemente miope.

La miopía se constata interponiendo delante del ojo lentes divergentes, de la misma manera que en el caso anterior.

Puede practicarse estas determinaciones por medio de los optómetros, de los cuales hay infinidad de modelos, como los de Mascart, Badal, Perrin, etc.

En los métodos objetivos se emplea el oftalmoscopio o el keratoscopio.

Ametropía no esférica. Astigmatismo. — También es llamada, esta anomalía, **ametropía asimétrica.** Se presentan casos en que ojos amétropes no son corregidos

en su visión por las lentes positivas o por las lentes negativas, vale decir, que no son miopes, ni hipermétropes, y se les llama ojos **astigmáticos**.

Esa ametropía resulta de la diferencia de meridiano o de la curvatura de una o varias superficies refringentes del ojo, como ya lo hemos expresado antes.

Un ojo astigmático no podrá observar simultáneamente a dos líneas rectangulares, una horizontal y otra vertical situadas en un mismo plano, o no observará con nitidez los trazos de un cuadrante horario.

Para la corrección del astigmatismo son necesarias lentes cilíndricas, orientadas de manera tal que compensen las diferencias de convergencia de los meridianos.

Se debe practicar estas medidas indistintamente con cada ojo, por si sus defectos fueran distintos.

Lentes. — Damos por sabido, la composición, cualidades y condiciones del cristal empleado en oculística, que en nada difiere del empleado en los aparatos o instrumentos de óptica.

Las lentes de oculista son esféricas, cilíndricas o tóricas.

Las lentes esféricas son convexas o positivas y cóncavas o negativas. Las lentes convexas se reconocen por la formación de su foco, caso de lentes convergentes, porque tienen menor espesor en los bordes que en el centro, porque observado un objeto colocado al infinito no acompaña los movimientos de la lente, por la indicación del esferómetro y porque la aguja indicadora no acompaña la rotación del cristal sobre sus puntas.

Las lentes cóncavas son reconocibles por la formación de su foco, caso lentes divergentes, por su mayor espesor en los bordes, por la indicación del esferómetro y como en el caso anterior por no acompañar los movimientos indicados. Hay una variedad llamada **periscópica** o de Wollaston, que presenta una curva, la de adentro, cóncava o convexa = 1.25. Hay len-

tes plano cóncavas y plano convexas reconocibles de la misma manera.

Las lentes cilíndricas pueden ser plano cilíndricas o esférico cilíndricas, se reconocen y se gradúan como se ha dicho en la práctica del esferómetro y además porque al observar objetos al infinito sus imágenes sufren deformaciones al desvío de las lentes.

El eje de las lentes cilíndricas se determina por medio de una simple cruz negra sobre fondo blanco o por un aparato de centrado.

Las lentes tóricas como los meniscos presentan una curvatura = 6.

Las lentes, también, son reconocibles por neutralización; positivas con negativas de igual valor, o inversamente dan neutras.

Las lentes prismáticas que sirven para corregir los defectos ya enunciados son muy poco empleadas.

Buscando comodidad para el caso de tener que emplearse dos clases de lentes para visión de cerca o visión de lejos, se construyen las lentes llamadas bifocales, formadas por cristales que abarquen las dos visiones, y que se logran por aplicación de una película pequeña de cristal o por una escavación practicada en el de la visión lejana en su parte inferior.

Fabricación. — La fabricación de las lentes se reduce a tomar bloques de cristales llamados neutros o de caras paralelas y a desvastar su superficie al torno por medio de moldes calibrados, ya cóncavos, ya convexas.

Recetas. — Los médicos oculistas adoptan en sus recetas los signos siguientes:

S ó Sph	= esférico.
C ó cyl	= cilíndrico.
C × ó +	= convexo.
Cc ó —	= cóncavo.
Pc × ó P +	= periscópico positivo
Pc c ó P —	= " negativo
Dc × ó D +	= doble convexo posit.
Dc c o D —	= " " negat.
D	= dioptria
Ax	= eje

=	= combin. o transp.
Pr.	= prisma
O I	= ojo izquierdo
O D	= ojo derecho
N	= nasal
T	= temporal
H	= horizontal
V	= vertical
D I	= distan. interpupilar.

Transposición. — Consiste en transponer, como su nombre lo indica, a combinaciones ambiguas que facilitan el trabajo del cristal.

Los ópticos prefieren trabajar con cristales **menos** cilíndricos sobre **más** esféricos mejor que con **más** cilíndricos y **menos** esféricos.

Así dos lentes cilíndricas de igual poder, cruzando sus ejes dan una lente esférica.

Cuando se trata de lentes esférico-cilíndricas o tóricas la resolución no resulta tan fácil.

Corrientemente la transposición se hace con las lentes esférico-cilíndricas y para su explicación fácil nos podemos valer los ejemplos siguientes: se trazan sobre un papel dos líneas que se crucen en el cen-

tro; así cada una representa a uno de los meridianos principales.

Se pide la transposición de una combinación de una lente esférica + 2.5 con un cilíndrico — 4.5 con eje horizontal.

El resultado algebraico de agregar — 4.5 a + 2.5 es — 2

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} - \\ + \end{array} \begin{array}{l} 4.5 \\ 2.5 \end{array} = - 2 \\
 | \\
 + 2.5 \text{ ———— } | \text{ ———— } + 2.5 \\
 | \\
 \begin{array}{c} + \\ - \end{array} \begin{array}{l} 2.5 \\ 4.5 \end{array} = - 2
 \end{array}$$

O en otro caso con — curvatura esférica.

Transponer una lente esférica — 2 con una cilíndrica + 4.5 con eje en ángulo recto.

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} - 2 \\ + 2.5 \end{array} = \begin{array}{c} + 4.5 \\ - 2 \end{array} \text{ ———— } | \text{ ———— } \begin{array}{c} + 4.5 \\ - 2 \end{array} = + 2.5 \\
 | \\
 - 2
 \end{array}$$

BREVES CONSIDERACIONES SOBRE LA IMAGEN MICROSCOPICA

(Inspiradas en las Conferencias de J. M. Castellarnan en Residencia de estudiantes de Madrid)

Actualmente, en la formación de la imagen, considerada como fenómeno físico, se tiene en cuenta las interferencias y los efectos de difracción que se producen siempre que se interrumpe la propagación libre de las ondas luminosas.

Antes era suficiente su estudio considerando al fenómeno bajo el punto de vista de la óptica geométrica, a pesar de no llegar a probar un sin número de hechos corrientes.

Las observaciones de Herschel y la de distintos microscopistas llevaron al presentimiento de la existencia de los factores citados en el primer párrafo.

Herschel, al observar las estrellas dobles, señaló que para su resolución era necesario que el objetivo del anteojo tuviera su diámetro en relación con la distancia de las dos estrellas del par.

Observando las estrías de la **Pleurosigma angulatum** se hace necesaria una apertura numérica determinada de lo contrario, con menor abertura; aunque el aumento sea mayor, las estrías no son visibles.

Las diatomeas presentan aspectos muy variados, según se observen con objetivos de abertura distinta, lo mismo según que la iluminación sea axial u oblicua.

De manera que a la formación de la imagen concurren factores no explicados por la óptica geométrica; factores como el diámetro del objetivo y de su apertura.

Refiriéndonos a la imagen microscópica tenemos dos maneras distintas de apreciar esta cuestión: una debida a Helmholtz y otra a Abbé.

Helmholtz, buscando la determinación del límite teórico de la resolución del microscopio, acepta como realidad que de cada punto del objeto emanan sistemas de ondas esféricas, las que si son interrumpidas, por la periferia de la abertura del microscopio, en su propagación libre, en vez de concentrarse en un solo punto en el plano de la imagen, dan origen a una pequeña mancha circular de difracción muy semejante al fenómeno que se manifiesta al observar las estrellas dobles con el telescopio.

Abbé busca el origen de las ondas luminosas en el manantial lumínico, como la llama de la lámpara, las nubes del cielo, etc., y cree que el objeto mismo es el que produce la difracción y no que sea ocasionado por la apertura del objetivo.

La teoría de Abbé se funda en que los puntos del objeto, cuando se trata de observaciones microscópicas, no pueden ser considerados como centros vibratorios.

La teoría de Helmholtz, aplicada al microscopio, no es cierta, pero la óptica moderna la acepta en la explicación del proceso de formación de la imagen de los objetos luminosos por sí mismos.

La teoría de Abbé es actualmente la base de la teoría del microscopio y de ella se deduce que no es posible considerar a la imagen como si fuera una proyección del objeto, porque su génesis inmediata depende de otra imagen intermedia formada por el objetivo en primer término y que no es la imagen directa del objeto, sino de la fuente luminosa.

Esa imagen intermedia, que es la que forma la imagen final, es la que sufre alteración por las acciones de la apertura del sistema óptico, por la calidad y

por las condiciones de iluminación.

Así que será posible constatar en la imagen final cambios que nada tienen que ver con el objeto.

Una imagen verdadera será aquella que presenta semejanzas entre el objeto y la primera imagen.

Teóricamente se llega a preveer un límite mínimo pasado el cual, el microscopio no da imágenes reales de los objetos.

En la vida real las percepciones dependen de otras condiciones educativas establecidas por el hábito.

En la visión microscópica sino tenemos en cuenta el proceso de formación de la imagen tratando de descartar a esas imágenes ficticias, caeríamos en error, pudiendo presentarse el caso de que un observador no llegara a apercibirse de ese error de visión y siempre cayera en la misma falsedad.

En la imagen óptica los efectos de difracción tienen una influencia capital y característica, por tratarse de objetos pequeños, de estructura muy delicada.

Cuando las dimensiones son del orden de magnitud próxima de la longitud de onda, no hay sombras, no hay reflexiones ni refracciones comparables a las de los objetos comunes, así que la interpretación de imágenes no será igual en uno que en otro caso, y de aquí que deba conocer todo observador y tener presente las teorías de Abbé sobre la formación de la imagen.

Objetos luminosos. — En los sistemas ópticos la imagen puede formarse por dos procesos distintos, según que el objeto sea luminoso por sí mismo o que no lo sea.

Así que la formación de la imagen se debe a la naturaleza del objeto y no al sistema óptico en sí.

Incoherencia y coherencia. — Los objetos luminosos por sí mismos son los que emiten de cada uno de los elementos de su superficie ondas esféricas que se propagan independientemente, las unas de las otras, sin ser influenciadas por las ondas que se desprenden de los otros elementos

del objeto o sea aquellos que presentan un sistema **incoherente** de propagación de ondas.

Cuando las ondas de un origen común vuelven a encontrarse, después de haber sido separadas por un procedimiento cualquiera, se dice que son **coherentes**, o que constituyen un sistema coherente y que se interfieren entre sí.

Interferencia y difracción. — Las acciones recíprocas de las ondas coherentes originan los fenómenos de interferencia y difracción. La incoherencia de las ondas de un mismo foco o de focos distintos, así como las condiciones necesarias para que dos sistemas sean coherentes e interfieran entre sí, son hechos experimentales con explicación física.

Representación física. — Si imaginamos una fuente luminosa situada de manera tal que produzca rayos divergentes sobre una lente biconvexa, o sean ondas divergentes que partiendo de un punto se transformarán en ondas convergentes al atravesar la lente para llegar a su foco, que estará en el lado opuesto al punto luminoso, podremos concebir que toda la energía angular comprendida entre la fuente luminosa y la cara de la lente, estará concentrada en el foco de la cara opuesta.

Así, punto por punto de la fuente irá reproduciendo su imagen y tendremos una imagen puntiforme de la fuente. Aplicando el principio de Fermat del **camino más corto** o de **menor resistencia**, que se enuncia así: "la luz, para ir de un punto a otro sigue siempre el camino más propio para ser recorrido en el menor tiempo posible"; se establece la concordancia entre las ondas de la teoría ondulatoria con los rayos de la óptica geométrica.

Esa concordancia es el resultado de que todos los rayos homo-céntricos hacia uno y otro costado de la lente tienen igual longitud óptica, igual número de fracciones de longitud de onda y una misma faz.

La transformación de las ondas homo-céntricas divergentes en ondas homo-céntricas convergentes se producen dentro del sistema óptico por cambio de dirección al atravesar el cristal, refracciones que dan superficies homofásicas.

un rayo de luz es el **camino óptico** más corto que sigue la luz para ir de un punto a otro.

En medio homogéneos, bajo el punto de vista óptico, el rayo sigue una línea recta.

Cuando la luz tarda el mismo tiempo en recorrer dos longitudes ópticas, se dice que éstas son iguales o que en ellas se produce igual número de ondulaciones.

La longitud óptica de un rayo que atraviesa distintos medios es igual a la suma de los productos parciales de las longitudes recorridas en cada medio por sus índices de refracción.

Cuando un sistema de lentes es atravesado por varios rayos desde un punto de la fuente hasta su homólogo dióptricamente conjugado de la imagen, presentan la misma longitud óptica, llegando con igual fase al punto de la imagen si han partido con la misma fase del punto de la fuente, sin que por ello puedan ser iguales las fases de partida y de llegada.

Un hecho tal sería debido a que la longitud de las ondas luminosas está en razón inversa del índice del medio en que se propagan, o dicho de otra manera, que la velocidad de ondulación está en razón inversa de los índices del medio.

En óptica geométrica, en donde sólo se consideran puntos y líneas en el sentido matemático para la formación de la imagen en un sistema, basta considerar que no presente aberración de esfericidad o cromática, si se emplea luz blanca.

Observando la realidad física del fenómeno ante la cual la reacción de puntos geométricos está sustituida por la de elementos superficiales pequeños pero capaces de ser aumentados o disminuidos, hay que tener en cuenta la relación constante entre los ángulos que forman los rayos con el eje en el espacio de la fuente lu-

minosa y los que forman sus conjugados en el espacio de la imagen.

Ley de los senos. — Esa relación fué denominada por Abbé con el nombre de **ley de los senos**.

Más tarde Helmholtz la anuncia sin demostrarla, Czapski da una demostración confusa y difícil, al decir del docto J. M. Castellarnan en sus conferencias en Residencia de Madrid.

Finalmente Hockin da una demostración propia en Anales de la R. S. de Microscopía de Londres.

Cuando la ley de los senos se cumple el sistema resulta aplanático y es de importancia suma en los sistemas ópticos, como en el microscopio, cuyos objetivos recogen de cada elemento del objeto un cono de rayos de gran ángulo.

Con esa condición las imágenes formadas en las distintas zonas angulares del objetivo presentan el mismo aumento. Si no se cumpliera esa condición las imágenes centrales tendrían aumento distinto al de las periféricas y al superponerse darían una imagen confusa.

Envoltura de difracción. — Para un sistema óptico que forme imágenes punto por punto, son suficientes las condiciones anotadas, pero no bastan cuando hay que tener en cuenta la influencia de la abertura del objetivo, cuestión frecuente dado que hasta el ojo humano posee un diafragma que es la membrana del iris.

Estos diafragmas dan lugar a una limitación de ondas y por demostraciones varias podríamos llegar a sustituir la imagen geométrica por una figura de difracción, o sea formación de una imagen central luminosa con una envoltura de difracción.

Para aceptar que la imagen de un punto es otro punto es necesario recordar que la sensibilidad de la retina es muy limitada, tanto para la percepción de impresiones luminosas de corta intensidad como para su distinción cuando las diferencias de intensidad son próximas y así en la generalidad de las observaciones sólo

se percibe el centro de la figura de difracción.

Así, merced a la poca sensibilidad retiniana se ven claras las imágenes **teóricamente confusas** de los sistemas ópticos.

Esta teoría de la formación de la imagen tiene su comprobación práctica en la observación de las estrellas por medio del telescopio.

Dada la distancia a que se hallan las estrellas, su ángulo óptico es prácticamente nulo, lo que según los postulados de la óptica geométrica, su imagen estaría reducida a un punto.

Eso no sucede así, como puede comprobarse al enfocar una estrella de primera magnitud con el telescopio. Aparece, entonces, la figura de difracción con nitidez y definición.

La comprobación de que la formación de esa figura se debe a los diafragmas circulares o a los lentes la ponemos de manifiesto si colocamos delante del objetivo un disco de cartón con una abertura rectangular en el centro. Los anillos circulares serán sustituidos por los brazos de una cruz perpendiculares a los lados del rectángulo del diafragma.

Si observamos estrellas de magnitud menor la figura de difracción no alcanza a observarse porque no tiene la intensidad suficiente para impresionar a nuestra retina.

Ya Herschel anotó que la resolución de las estrellas dobles depende del diámetro del objetivo y no del aumento, cosa que no explica la óptica geométrica pero que puede concebirse estableciendo el ángulo que mide el **poder de resolución** o **poder óptico** del telescopio.

Ojo óptico. Ojo fisiológico. — El ojo humano puede ser considerado como órgano fisiológico o como aparato óptico.

Ópticamente es el caso de considerar, según las reglas generales de la óptica, la formación de la imagen en la retina.

Fisiológicamente, el ojo está encargado de la transmisión de la sensación producida y después de percibida por los cen-

tros nerviosos, darle forma para llevarle al exterior.

El ojo tiene un **poder óptico** que puede ser determinado de la misma manera que la de los lentes, considerando que su abertura es la correspondiente al diámetro pupilar.

Para Helmholtz, la menor distancia a que pueden estar dos puntos para ser percibidos separadamente a simple vista, es de un minuto, que es el límite inferior de visibilidad admitida.

El poder óptico del ojo tiene valor cuando se quieren observar detalles en una preparación, valiéndose del aumento del instrumento, ya que la resolución que también aumenta detalles depende del ángulo de abertura.

Objetos externos. — Cuando los objetos están formados por infinidad de puntos se cumplen las mismas leyes, es decir, siempre la figura de difracción sustituye a la imagen geométrica.

J. M. Castellarnau cita como ejemplos de la disparidad entre la imagen física y la geométrica, al creciente brillante de luna que hace la impresión de desbordar los límites del disco iluminado tan solo con luz cenicienta, como si perteneciera a un globo de mayor diámetro, y a las ventanas de las catedrales, vivamente iluminadas por la luz del sol que se ven penetrar dentro del perfil de las columnas oscuras que se interponen delante de ellas.

Objetos no luminosos. — En los objetos luminosos la imagen puede ser considerada como formada punto por punto en casi todos los casos, según los preceptos geométricos y descartando la difracción originada por la apertura óptica, ya que la difracción pasa sin notarse cuando el brillo del objeto no alcanza al brillo normal. La formación anotada presenta dos condiciones esenciales: 1.^ª, cada punto del objeto se considera como centro vibratorio, fuente de ondas homo-céntricas, y 2.^ª, las ondas de los distintos puntos del objeto son incoherentes entre sí.

En los objetos no luminosos por sí mismos la formación de la imagen sigue un proceso diferente porque esas dos condiciones no se realizan.

Suponiendo un objeto no luminoso por sí mismo pero iluminado por transparencia, como el caso del microscopio, de cada uno de sus puntos partirá un haz de rayos que luego de atravesar la lente irán a sus puntos conjugados de la imagen. Todos estos rayos son incoherentes, entre sí, presentando igual longitud de onda y por lo tanto no podrán trasladar al punto de la imagen el estado luminoso del punto conjugado del objeto, como sucedería con los objetos luminosos por sí mismos.

En los objetos luminosos, de cada punto se desprenden ondas homo-céntricas, mientras que, en los no luminosos esas ondas o radiaciones tienen origen en el manantial de luz y no en el punto del objeto en el cual se cruzan los rayos.

El cruce de estas radiaciones, que luego se reúnen en los puntos conjugados del plano de la imagen, no puede formar imagen porque no tiene relación con los puntos del objeto.

También, si nos refiriéramos separadamente a cada una de las partes radiantes de la fuente luminosa, podríamos concebir de otro modo a los rayos que parten del objeto. Por ejemplo: considerando que desde un elemento del vértice del manantial parten radiaciones u ondas que abarcan a todo el objeto, prescindiendo de las difracciones por interrupción o modificación de ondas por el objeto; hemos de suponer que las porciones no interceptadas continuarán su trayectoria hasta el sistema óptico que las transformará en ondas convergentes hasta su punto conjugado, vale decir, que al no haber difracción producida por el objeto se formarí en el conjugado una imagen de la fuente de luz.

Como con el resto de los elementos acontecería lo mismo, llegaríamos a tener una imagen de la fuente formada punto por punto y en la cual estaría concen-

trada toda la luz que llega al sistema óptico y de cada uno de sus elementos saldría una radiación de ondas incoherentes entre sí, que sólo serían susceptibles de dar una iluminación uniforme en el plano conjugado del objeto; de esta manera no es posible la formación de la imagen; sin embargo la experimentación evidencia lo contrario: la imagen se forma.

La razón de este hecho está en haber omitido la consideración de la difracción producida por el objeto sobre las ondas radiantes del manantial, que si no existieran no se formaría la imagen.

Observando la realidad de las cosas y llevando del terreno de la suposición a la verdad de manifestación del fenómeno, podemos constatar que detrás del sistema óptico (objetivo) se forma una imagen real, capaz de ser estudiada con la pantalla o por medio de una lente y esta imagen es una imagen de difracción y no una imagen normal de la llama. A esa imagen se le llama **espectro de Fraunhofer**. Se presentan tantos espectros como puntos que se llaman **espectros elementales**; todos ellos concurren a la formación del **espectro total**, que es la superposición del conjunto.

El espectro total representa la imagen de difracción de la fuente luminosa y los espectros elementales la imagen de difracción de cada punto.

Estos espectros se formarían con las ondas que al partir de la fuente encuen-

tran al objeto y sufren interrupciones en su camino de maneras distintas.

Simplificando supondremos al objeto formado tan solo por elementos transparentes y opacos; las ondulaciones serán detenidas por los elementos opacos y se propagarán por los transparentes. Se producirán difracciones más o menos acentuadas en consonancia con la forma y con la naturaleza del objeto; en la zona periférica y en las partes transparentes se difractarán los rayos en todo sentido.

Estos rayos pueden considerarse como agrupados en haces de rayos paralelos con inclinaciones distintas en relación al eje óptico del sistema.

Como la propiedad dióptrica de todo sistema óptico que forma imagen es la de reunir a los rayos paralelos de cada haz en un punto de su plano focal posterior, el objetivo de nuestro caso reunirá a los rayos difractados en haces paralelos y en sitios más o menos alejados del eje según el ángulo que formen con él.

Y como los rayos de cada haz tienen un mismo origen aunque procedan de puntos diferentes del objeto y como son coherentes entre sí, el estado luminoso de su punto de reunión será, según el principio de interferencias, igual a la suma de las fases con las cuales lleguen a él los rayos aisladamente. Así se forman los espectros elementales cuya extensión y figura depende de la estructura y forma del objeto y de las dimensiones de sus elementos.

Los diversos puntos del espectro elemental corresponden a un solo elemento del manantial lumínico y entre ellos y el elemento originario no existe la relación dióptrica de puntos conjugados.

En los espectros elementales la energía luminosa irradiada se halla distribuida de modo definitivo y característico dado por la forma y estructura del objeto; el sistema óptico que lo ha formado actúa dióptricamente reuniendo en su plano focal posterior los haces de rayos paralelos que le llegan con inclinaciones distintas.

DOCTOR

HUMBERTO S. TORRANO

ODONTÓLOGO

CIRUGIA BUCO-DENTARIA

T. U. 2377 CORDON SIERRA 1902, BIS-ESQ. LA PAZ

La acción difractora del objeto es la que origina la figura y extensión del espectro de Franhofer; si no hubiera objetivo la formación del espectro tendría lugar en el infinito por considerarse que allí es el punto de reunión de los rayos paralelos.

El espectro total de Franhofer se debe a la superposición de todos los espectros elementales.

Cuando el espectro **total** de Franhofer se ha formado termina la primera etapa del proceso de formación de la imagen, que es la única en la que el objetivo toma parte directamente.

Esa imagen se llama **primaria**.

Todos los rayos que llegan al plano de la imagen parten del espectro de Franhofer de tal manera que poseyéndolo se puede deducir la imagen prescindiendo del sistema óptico, del objeto y de la fuente lumínica.

La imagen resulta una función directa del espectro de Franhofer, de manera que cualquier modificación, como la diafragmación de este, influye en la imagen.

El espectro de Franhofer da origen a la imagen porque cada elemento de un espectro elemental es un centro de vi-

bración que emite ondas esféricas coherentes entre sí. Las ondas interfieren en su plano, que es el que se acepta como imagen del objeto.

En resumen, el proceso de formación de la imagen microscópica por transparencia, aplicable también a los demás casos, sería: una difracción producida por el objeto en relación a su estructura, a su forma, y a sus dimensiones; formación de un espectro de Franhofer porque el objetivo o sistema óptico recoge al efecto difractivo a causa de su propiedad dióptrica de reunir las radiaciones paralelas en puntos determinados de su plano focal posterior.

Esto constituiría la acción directa única que tiene el sistema óptico en la formación de la imagen.

Luego, como todos los elementos del espectro de Franhofer, son centros de vibración que emiten ondas esféricas, coherentes entre sí, las que pertenezcan a un mismo espectro elemental se interferirán produciendo sendas luminosas cuyas superposición en el plano conjugado del objeto da la imagen, que es debida de un modo directo al espectro de Franhofer, lazo de unión, si así puede decirse, entre esta y el objeto.

== Farmacia Ripoll ==

DE

M. E. RIPOLL - Químico - Farmacéutico

LABORATORIO BIOLÓGICO DE ANÁLISIS CLÍNICOS

Director: CARLOS H. AMORIN

Jefe de trabajos de la Facultad de Medicina.

Sub Jefe del Laboratorio General de
Sanidad Militar

SECCION ÓPTICA Y FOTOGRAFIA

A cargo del Optico

ENRIQUE MORALES

COLON