

LA CROMOPTOMETRIA Y LA MEDIDA DE LOS DEFECTOS DE REFRACCION DEL OJO

Por el Dr. DANIEL M. VELEZ.

El estudio de las aberraciones cromáticas del ojo, habitualmente descuidado en óptica fisiológica, tiene una importancia funcional generalmente desconocida, bien que durante estos últimos años el doctor Polack las haya hecho patentes gracias a su **Objetivo hipercromático** el cual le ha permitido poner a la vista el papel de las aberraciones cromáticas en pintura y en toda percepción de los colores.

Gracias a la colaboración del Dr. J. L. Pechi, Profesor de Física Médica en la Universidad de Montpellier.

Gracias a la colaboración de maestros vidrieros bien conocidos, los señores L. y M. Appert, ha podido obtener el profesor Pech, luces prácticamente **monocromáticas**, que permiten demostrar experimentalmente que las aberraciones cromáticas del ojo humano normal, bien que teóricamente despreciables, tienen una importancia funcional que es necesario tener en cuenta en Biología.

Los estudios experimentales del refrido Profesor fijan de una manera bastante exacta los siguientes hechos:

1o.—Es posible demostrar que el ojo humano normal **funcionalmente muy miope** para el color azul; es al contrario **hipermétrope** para el rojo y prácticamente **emétrope** para el amarillo anaranjado.

2o.—Aun haciendo intervenir toda su acomodación, un ojo normal no puede ni suprimir, ni invertir el sentido funcional de sus aberraciones cromáticas. Se puede por lo tanto concluir que el conjunto de las modificaciones del ojo en el curso de la acomodación es incapaz de producir un efecto funcional tan importante como el debido al **índice de dispersión** de los medios del ojo; **índice** que afecta a lo más la tercera decimal del **índice** de refracción de esos mismos medios.

3o.—El color y la forma de los objetos percibidos por nosotros visualmente, son función, en gran parte, de esas aberraciones cromáticas.

4o.—Es verosímil, gracias a la utilización de las aberraciones cromáticas, que un individuo normal pueda percibir claramente al mismo tiempo, objetos situados a distancias diferentes de su ojo, siendo **poli-cromos** todos los objetos que nos rodean, y

5o.—Un individuo no se hace funcionalmente **amétrope**, sino cuando cesa de ser emétrope para uno cualquiera de los colores que forman

el espectro visible. Es corregido por el vidrio que lo hace emétrepe para el amarillo anaranjado.

Las experiencias por medio de las cuales se llegó a estas conclusiones, fueron efectuadas con todo rigor científico, gracias a la utilización del objetivo hiper Cromático del doctor Polack y a los cristales monocromáticos realizados por los hermanos Appert, quienes han proporcionado a la ciencia cinco cristales cuyas caracterizaciones de transparencia, muestran que cada uno de ellos es monocromático para un color y son permeables así:

1o.—EL VIDRIO VIOLETA

$$\lambda = 3341 \text{ A } " \text{ a } \lambda = 4060 \text{ A } "$$

2o.—EL VIDRIO AZUL

$$\lambda = 4400 \text{ A } " \text{ a } \lambda = 5000 \text{ A } "$$

3o.—EL VIDRIO VERDE

$$\lambda = 4900 \text{ A } " \text{ a } \lambda = 5600 \text{ A } "$$

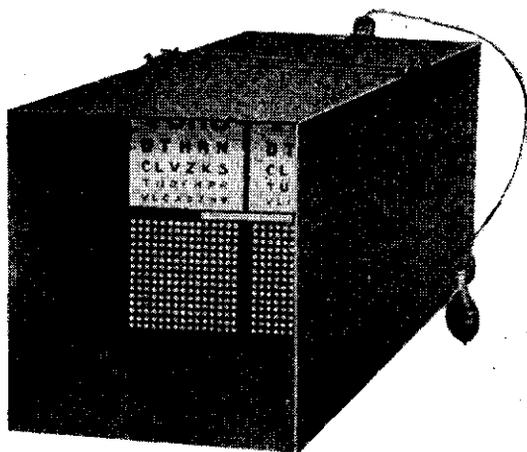
4o.—EL VIDRIO AMARILLO

$$\lambda = 5800 \text{ A } " \text{ a } \lambda = 6200 \text{ A } "$$

5o.—EL VIDRIO ROJO

$$\lambda = 6300 \text{ A } " \text{ a } \lambda = 8000 \text{ A } "$$

En la construcción del "ERISCISCOPIO" de J. Peter del que vamos a ocuparnos más adelante, se han utilizado de esos cristales los azules y los rojos.



Para obtener los objetos monocromáticos fotografiados en las experiencias del doctor Polack, se han recortado signos o dibujos en papel negro y se han pegado sobre vidrios monocromáticos que se han alumbrado por transparencia, por medio de lámparas de medio Watt, de envoltura opalina, cuya luz era además difundida por un vidrio despulido.

Los objetos policromos han sido realizados trazando dibujos con tinta de china sobre papeles de colores que daban al ojo la misma impresión colorida que los vidrios monocromáticos. Dibujos alumbrados de la misma manera que los anteriores.

Los objetos luminosos se han obtenido, pegando sobre vidrios despulidos, signos cortados en papel negro, y en seguida esos vidrios fueron alumbrados por transparencia, en la misma forma.

Los alumbrados para espectros de dibujos con tinta de China sobre bristol blanco, han sido obtenidos alumbrando los dibujos por medio de un espectro proyectado, la fuente de emisión, siendo el filamento rectilíneo de una lámpara de medio Watt.

En todas las fotografías obtenidas, los colores de los objetos se han indicado así: amarillo JA, verde VE, azul BL, violeta VI.

LAMINA I

Fig. 1.—Fotografía tomada con un objetivo acromático de los diversos dibujos utilizados. Los dibujos están en el mismo plano.

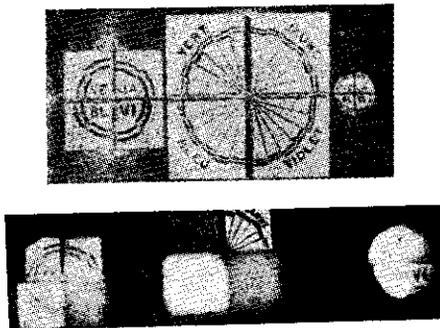


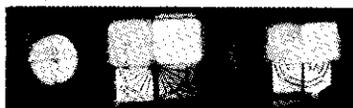
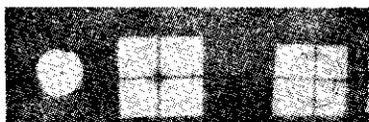
Fig. 2.—Fotografía de dibujos monocromáticos, tomada con objetivo hiperacromático. El dibujo de la derecha es el más aproximado al objetivo, el del medio es el más alejado y el de la izquierda es intermedio; y esa misma disposición es igual para las figuras 3, 4 y 5.

Fig. 3.—Fotografía obtenida rigurosamente en las mismas condiciones que la figura 2, pero los objetos monocromos están reemplazados por objetos policromos idénticos.

Fig. 4.—Fotografías de dibujos monocromos, en tres planos diferentes, tomadas con objetivo hiper Cromático.

Fig. 5.—Foto tomada en las mismas condiciones que la figura 4, los dibujos monocromos habiendo sido reemplazados por dibujos luminosos blancos y negros, idénticos.

Estas figuras muestran que el ojo humano, teniendo las mismas aberraciones cromáticas que el objetivo empleado, no puede ver claramente de cerca, sino los objetos monocromos, violetas o azules; a distancia



media, los objetos monocromáticos verdes y a gran distancia los objetos monocromáticos, amarillos o rojos.

Los objetos policromos o luminosos blancos y negros, pueden ser distinguidos claramente a distancias variables porque están siempre en foco para uno de sus colores.

LAMINA II

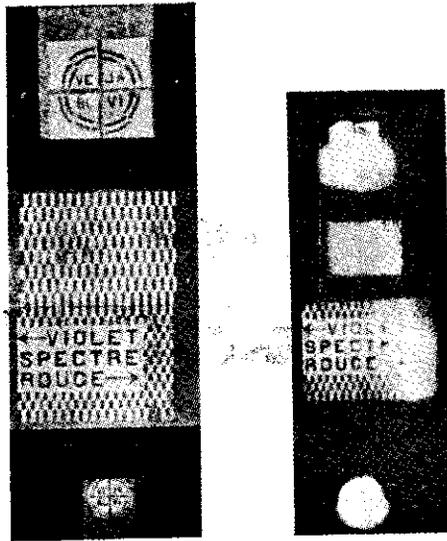
Fig. 1.—Representa dibujos en blanco y negro fotografiados en el mismo plano con un objetivo acromático.

Fig. 2.—Representa esos mismos dibujos fotografiados con el objetivo hiper Cromático, en las condiciones siguientes:

Los dos dibujos superiores están en el mismo plano y más lejanos del objetivo que los dos dibujos inferiores. Los dos dibujos extremos, superior e inferior, son monócromos. Los dibujos intermedios están alumbrados cada uno por la proyección de un espectro, el **violeta** está colocado a la izquierda y el rojo a la derecha.

Como se ve, los dos dibujos lejanos están en foco hacia los rojos y los cercanos, hacia los violetas.

Es lo mismo, cuando el ojo mira esos objetos. Somos **miopes** para los violetas; **hipremétropes** para los rojos y **emétropes** con los amarillo-naranjados.



LAMINA III

Fig. 1.—Muestra dos dibujos fotográficos sobre el mismo plano con un objetivo **acromático**.

Fig. 2.—Muestra esos mismos dibujos fotografiados sobre el mismo plano, pero con un objetivo **hipercromático**. Los cuatro sectores del dibujo inferior son monocromáticos y sus colores están dispuestos en el mismo orden, que los de los sectores del dibujo superior, igualmente **monócromos**. Como se ve, el afocamiento se hace sobre el **azul**.

Fig. 3.—Muestra esos mismos dibujos fotográficos con el **objetivo hipercromático** el afocamiento se hace para el **verde**. El dibujo superior

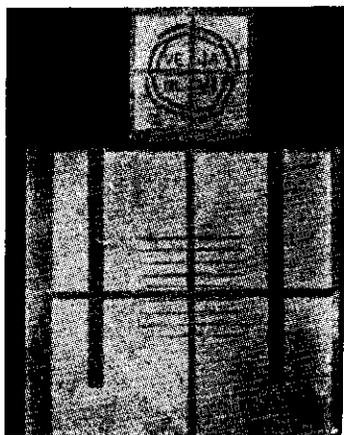
es **monócromo**, todo el dibujo inferior es **negro** sobre fondo luminoso blanco. Los dos dibujos están sobre el mismo plano.

Estas fotografías muestran como la forma y la claridad de los objetos dependen del **cromatismo del ojo**.

La Fig. 2, muestra, como objetos idénticos, pueden ser vistos con dimensiones diferentes, en función, de su afocamiento al punto **cromático**.

La fig. 3, muestra que un objeto esencialmente **polícromo** (objeto negro sobre fondo blanco) parece visto con claridad, a pesar de las aberraciones cromáticas.

El estudio físico del ojo asienta por base: que un objeto es visto claramente cuando su imagen geométrica se forma sobre la **retina**. Los



numerosos factores que intervienen para deformar la imagen del objeto, han sido estudiados por los físicos con el nombre de **aberraciones**, y se han estudiado las de **esfericidad** y las cromáticas de las cuales nos ocupamos especialmente en esta nota. Ya Von Helmholtz en su óptica el año de 1857, al hablar de las aberraciones cromáticas, cita los estudios de Fraunhofer, más antiguos aún; aberraciones al menos en lo que se refiere a su relación con el mecanismo de la acomodación, relación que el doctor Polack cree muy estrecha, habiéndole llevado a la construcción de un objetivo llamado **hipercromático** que posee la misma aberración cromática que el ojo. Ese objetivo permite fotografiar los objetos, tal como los ve el ojo normal.

Para hacer visible la aberración cromática del ojo, se alumbró con luz blanca una pantalla de vidrio construída de dos mitades: roja y azul, rigurosamente monocromáticas, sobre las cuales se han fijado caracteres de una escala de agudeza visual. En estas condiciones es fácil darse cuenta de que el paso de la visión roja a la visión azul implica una modificación de la acomodación y aún la visión de uno de los dos colores, puede perderse. Sobre este mismo principio se ha realizado el **ericiscopio** de J. Peter, construído según las indicaciones del Prof. J. L. Pech; aparato en el cual además de darse la luz azul y roja monocromática, se ha cuidado de dar a ambos vidrios de color la misma intensidad luminosa para ambos colores, y que de ordinario el azul es menos brillante que el rojo.

El índice de substancias, con diferente longitud de onda hacia prever que para la visión, los puntos próximo y remoto no serían los mismos para las luces azul y roja, y en efecto se ha comprobado por medio de los optómetros de Badal, de Perrín y Mascart y otros, que alumbradas sus escalas con luces, blanca, azul o roja los resultados son diferentes, en la forma siguiente:

Proximun azul $a + 8$ dioptrias

Remotun azul $a + 0.50$ dioptrias

Proximun rojo $a + 1.00$ dioptrias

Remotun rojo $a - 1.00$ dioptrias

Los objetos que nos rodean, no siendo monocromáticos, la imagen correspondiente a una radiación dada, estando en foco sobre la retina, las de todas las otras radiaciones emitidas por el objeto, no podrían serlo. Un objeto policromo no debería ser visto claramente: un cuadro, una tapicería, etc., serían vistos **borrados**, (fuera de foco).

Por tanto es lógico admitir que basta, para que un objeto sea visto claramente que una radiación de una imagen sobre la retina. Esta imagen da la impresión del tinte real del objeto, porque las otras radiaciones forman manchas de difusión que cubre la imagen retiniana de una luz global sensiblemente idéntica a la luz emitida.

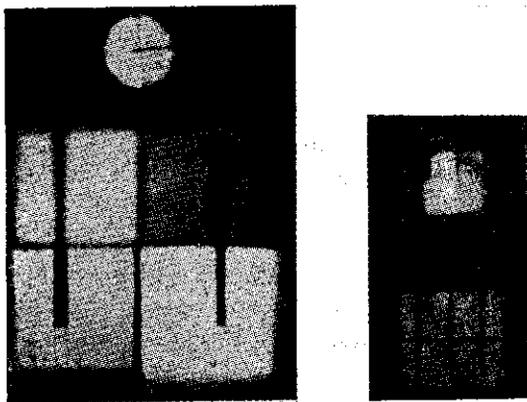
En esas condiciones cuando un objeto blanco se desalojara, delante del ojo, desde el infinito, la visión estará asegurada, primero sobre el afocamiento sobre la imagen **roja**; después sobre las diversas radiaciones, hasta el azul para el **punctun proximun**.

Por tanto la amplitud de la acomodación es igual a la suma de las amplitudes en **azul** y en **rojo**, disminuída del cabalgamiento de estas dos amplitudes y de la discordancia de los **remotun** rojos y blancos por una parte y de los **proximun** azules y blancos por otra.

La acomodación resulta pues de dos factores: la variación de **convergencia del cristalino** o **acomodación geométrica** y la **variación del foco conjugado de la retina**, según la longitud de onda utilizada o acomodación de dispersión.

Existe aún una tercera: **la acomodación de interpretación.**

Por ejemplo un objeto en forma de punto monocromático, no tiene sino una sola acomodación permitiendo su visión clara, no siendo lo mismo si sus dimensiones son apreciables.



Cuando la imagen de tal objeto no se forma sobre la retina, sino en su cercanía, la imagen es interpretada como suficientemente clara en tanto que la mancha de difusión que le corresponde, deja subsistir un contorno diferenciable del objeto, que parece simplemente modificado en su forma, sus dimensiones o su coloración marginal.

Con los elementos que hemos citado se ha fundado un nuevo método de examen y corrección de los defectos de refracción del ojo, llamado **chromoptometría** y el nuevo aparato que se emplea con ese objeto se titula **Ericiscopio**.

Este aparato (ver lámina IV) está esencialmente construido por una caja cúbica, de metal negro, de la que una de las caras lleva una escala **chromo-optométrica**, mitad roja, mitad azul. Ese optotipo está formado por la unión de una pantalla bi-color roja y azul estudiada al es-

pectoscopio y de pantallas transparentes fáciles de cambiar con signos en negro opaco.

El principio fundamental de la cromo-optometría es que existe un punto del espacio (punto de visión paradójica) prácticamente independiente de la acomodación en el cual, a pesar de las aberraciones cromáticas del ojo humano, dos objetos monocromos de color diferente, parecen igualmente netos.

El punto fundamental de la práctica de la cromooptometría es que a 1.40 m. del aparato un ojo **métrope** o corregido **correctamente** ve con igual claridad el azul y el rojo.

En la práctica un individuo colocado a 1.40 m. del **ericiscopio** alumbrado, puede quedar dentro de uno de los casos siguientes:

1o.—Llega a ver con igual claridad el rojo y el azul con el ojo examinado; en ese caso el ojo es normal.

2o.—Ve claramente el rojo y poco o nada el azul; el individuo es miope. Se le pasan vidrios divergentese, aumentando el grado hasta el primero que iguale la visión del azul y del rojo. Ese es el vidrio corrector.

3o.—Ve claramente el azul y poco o nada el rojo: el ojo es hipermetrope. Se le pasarán una serie de vidrios convergentese, hasta el que le de la visión del rojo, conservando igualmente la del azul. Pero aquí hay lugar de medir el **proximun** del azul y asegurarse que el vidrio corrector encontrado, da un **proximun** para el azul a 6 dioptrías. Si no es así, es necesario determinar el vidrio que lleva el **proximun** a ese valor. La medida se hace, como en la medición ordinaria de anteojos, buscando el vidrio divergente que permite aún ver claramente el azul o sea de los dos vidrios cóncavos que le den la mejor agudeza visual, se receta el menos fuerte. Hay que notar que esta determinación, aun cuando facilitada por el monocromatismo, hace intervenir la acomodación y tiene las mismas dificultades que los métodos ordinarios.

4o.—Si las respuestas del examinado no corresponden a los cuadros anteriores; se substituye la escala por un cuadrante de astigmatismo y se encontrará que no todos los rayos son vistos iguales, procediéndose en consecuencia a la corrección del o los meridianos anormales. Si el individuo declara no distinguir uno de los colores porque le parece obscuro, es que se trata de un afaco o de un daltoniano.

Si el individuo declara no ver sino los caracteres grandes, si ningún

vidrio lo mejora y si sus respuestas son vacilantes, se está en presencia de un caso de anomalía de la visión propiamente dicho: astigmatismo irregular, lesión del fondo del ojo, perturbaciones de origen cerebral, ú opacificación de los medios oculares.

La cromoptometría exige algunas precauciones cuando se practique en individuos **afacos** o en discromatopes. Sucede entonces que el brillo del **rojo** es insuficiente con relación al del **azul** y para evitar esa causa de error se emplean pantallas especiales para esos casos.

La comparación del rojo y del azul, que gozan mutuamente el papel de control del uno para el otro, permite una interpretación, extraordinariamente fácil del asunto, con una gran exactitud pues aprecia 0.25 de Dioptría, aproximación que puede ser llevada a un décimo de Dioptría, si las cajas de prueba diesen esos cristales.

El empleo del **Ericiscopio** para la determinación de los vidrios correctores, elimina todo error de interpretación debido a la acomodación y es lo que permite considerar este método **subjetivo** como equivalente a los más precisos de los métodos **objetivos**.

Las bases científicas del procedimiento y el descubrir nuevos problemas de estudio de óptica fisiológica en lo que se refiere a la percepción de los colores, hacen interesante este nuevo método que ahora sometemos al distinguido grupo de oculistas de nuestra querida Academia Nacional de Medicina.

COMENTARIOS

Dr. Antonio F. Alonso.—Es indudablemente de gran interés científico el trabajo del doctor Vélez. El ojo es un aparato bien imperfecto, al grado de que ha llegado a ser clásica la ocurrencia enfática de Hemholts, quien afirmó que si un fabricante le presentara un aparato como el ojo, indudablemente lo desearía. La dioptra corneal es una superficie que se encuentra llena de imperfecciones ópticas; la parte esférica central tiene 3 o 4 milímetros y es la que se ha aprovechado para los instrumentos de óptica, por ejemplo, el oftalmómetro; hacia la periferia tienen dos focos distintos los rayos luminosos. Existe un astigmatismo que es normal; el meridiano vertical es de una refracción más considerable que el horizontal. La naturaleza ha tratado de corregir los defectos de la refracción del cristalino haciendo que sus capas periféricas sean mucho menos densas que las del centro. El iris que evita la entrada de los rayos luminosos hacia la periferie y les impide formar la imagen. La retina misma hace que el ojo esté lleno de imperfecciones, sin embargo, lo admirable más que los estudios respecto de los defectos del ojo, es la tendencia de adaptarse a su medio natural la luz. Conforme se ha oído en el trabajo del doctor Vélez, somos hipermétropes para el rojo y somos miopes para el violeta; sin embargo el ojo tiene una adaptación cromática que hace que todos los objetos policromos los veamos sin alteraciones ostensibles. El aprovechamiento de estos estudios es muy interesante y por eso estimo de sumo interés la idea del doctor Vélez al remover estas cuestiones. El medio natural del ojo es la luz policromática y creo que bajo ese punto de vista científico sería interesante estudiar en la serie animal el cromatismo y aunque no tengamos la parte subjetiva, sí podemos la objetiva examinando con aparatos como el que ha hecho el Profesor Polak que imita los defectos cromáticos del ojo humano. Insisto en que hay en el ojo una tendencia a atenuar sus defectos acromáticos y en ciertos casos especialmente en algunas enfermedades se producen cambios de la refracción del ojo por alteraciones de sus medios las que son bien conocidas de todos los oculistas. Citaré la diferencia que hay entre examinar con luz incandescente naranjada como se hace en

las salas oscuras a examinar con luz natural policromada. Mis últimas palabras son para repetir mis felicitaciones al doctor Vélez.

Doctor Eliseo Ramírez.—El hecho de tomar parte en la discusión de un trabajo de especialidad, sería un atrevimiento de mi parte, si mi objeto no fuera tomar las cosas desde otro punto de vista. Hace muchos años presenté en la Sociedad Mexicana de Biología un trabajo que denominé "El Aspecto Lógico y el Aspecto Biológico del Conocimiento" y decía, entre otras cosas, que el ojo no proyecta a la misma distancia los colores: el rojo lo proyecta adelante de donde proyecta el azul. Esta terminología parece extraña, pues sonaría más natural que se dijera: "el ojo percibe" y no "proyecta" pero sin embargo esta terminología está de acuerdo con el problema epistemológico, pues el ojo es el que proyecta los colores. El origen de estos estudios remonta a Juan Müller, quien en un artículo importantísimo titulado "Sobre la Producción de Fantasmas Visuales", asienta que el ojo no está constituido para ver la luz ni para percibir los colores; fuera del ojo no existen ni la luz ni los colores; ateniéndonos a la teoría electromagnética, el sol lanza una gran cantidad de ondulaciones electromagnéticas que tienen desde kilómetros de longitud de onda hasta pocos mil millonésimos de milímetro y hay nervios que resultarían sensibles a ciertas longitudes de onda, de suerte que hay terminaciones nerviosas que son sensibles entre 8 décimos y 4 décimos de micra y a eso le llamamos luz; si fueran sensibles en 3 centímetros y 5 centímetros de longitud de onda a eso le llamaríamos luz. La retina es una parte de la corteza cerebral, pues los nervios ópticos no son propiamente nervios, y sin embargo el fenómeno visual se efectúa en la corteza del cerebro y en el cuneus. Los sentidos predicen las cualidades de los objetos y por lo tanto, hay un defecto cuando se dice que el ojo, para corregir determinados fenómenos y percibir mejor la luz, necesita compensaciones por faltarle determinadas propiedades necesarias para ver mejor. La realidad es que el ojo está hecho de determinada manera y por estar hecho así, por eso se producen determinadas sensaciones, esto tiene la trascendencia enorme de que hay gran diferencia entre señalar que el ojo está hecho para ver los colores y decir que los colores son una fabricación nuestra, un efecto de nuestra fisiología y que al predicar al sujeto con los colores en formas especiales, el rojo lo colocamos más cerca de lo que colocamos el azul. Cuando construimos un aparato fotográfico entonces hacemos que nos hagan una traducción que se amolde a nuestra fisiología, es porque nosotros fabrica-

mos los aparatos para que sirvan a nuestra fisiología y no para que nos digan las cosas como realmente son. Este es un pequeño punto de epistemología que quería hacer constar.

Doctor Antonio F. Alonso.—Lo expuesto por el doctor Ramírez es muy interesante y se basa en la ley de la especificidad de los nervios de Müller e indudablemente si no existiera el ojo surgido por esa forma de la energía universal que llamamos luz esta no existiría para nosotros. Los colores se forman en un aparato de óptica que es el ojo en diversos focos. Se ha construido un aparato con los defectos cromáticos del ojo y se ha visto la formación de los diversos focos, de manera que la proyección está de acuerdo con las leyes de la refracción que se pueden estudiar en el ojo, determinando el fenómeno visual. El ojo, es un resultado del desarrollo evolutivo en la escala orgánica y probablemente cambiarán las condiciones alcanzadas hasta hoy en la adaptación indefinida a su medio natural que es la energía que llamamos luminosa.

BIBLIOGRAFIA

- "LA CHROMOPTOMETRIE", par le Dr. René Ymbert.—Lyon.—France.—1929.
Emploi de L'Ericiscope J. Peter pour la Determination et la Correction des Amétropies. J. Peter. 11rue de la République.—Lyon.—France.
NOTE sur l'emploi de l'Ericiscope en Ophtalmologie. J. Peter. Lyon.—France.
"L'ERICISCOPE". J. Peter.—Lyon.

RESUME.

Se basant sur l'étude des égarements chromatiques de l'oeil, l'on a créé un objectif hyperchromatique avec lequel l'on peut obtenir des photographies d'objets colorés très ressemblant à l'aspect, comme donne l'oeil normal pour les couleurs monochromatiques.

Les objets dans la nature ne sont pas monochromatiques purs, mais plutôt ils sont polichromatiques, et c'est la la raison par laquelle ils sont perceptibles a diverses distances, mais pour les couleurs monochromatiques, l'oeil normal es miope pour le bleu, il est hypermétrope pour le rouge et pratiquement emmetrope pour le jaune-orange.

De ces faits d'observation l'on a obtenu une méthode, celui de la chromoptométric applicable au diagnostic et mesure des défauts de l'oeil et l'appareil que je désire présenter á Messieurs les Académiciens est le Ericiscope du Professeur Peter, avec lequel l'on pratique la méthode indiquée.

SUMMARY.

Based on the study of the chromatic errors of the eye, an hyperchromatic objective-glass has been constructed, with the use of which we may obtain photographs of colored objects, very similar to the aspect, as the normal eye gives for monochromatic colors.

Objects in nature are not pure monochromatic, but rather polichromatic, and this is the reason why they can be seen at different distances. But for monochromatic colors, the normal eye is myope for blue, hypermetrope for red, and practically emmetrope for orange-yellow.

From these observations a method has been obtained, Chromoptometry, that can be applied to diagnostic and measure of eye defects; and the apparatus that I wish to present to the Academicians is Prof. Peter's Ericiscope, with which above method is applied.