

Variaciones que existen entre las medidas del ojo teórico de Yves Le Grand respecto medidas oculares de pacientes atendidos en la clínica de optometría de la Universidad Santo Tomás en la ciudad de Bucaramanga

Juan José Barrio Arlante

Profesor Facultad de Optometría y Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Santo Tomás.

Bucaramanga, Colombia.

juan.barrios01@ustabuca.edu.co

barrios.juanjose@gmail.com

María Beatriz Rueda León

Estudiante de Optometría, Universidad Santo Tomás.

Bucaramanga, Colombia.

marry.595@hotmail.com

María Gabriela Rangel Suárez

Estudiante de Optometría, Universidad Santo Tomás.

Bucaramanga, Colombia

mgaby.rangels@gmail.com

Abstract— Anthropometric ocular measures variations can be determined by the sociodemographic condition of patients, altering concepts: academical, surgical, and diagnostical for the study of the visual conditions of patients. In a quantitative study, observational and descriptive of cross section, from the Pentacam HR to a database are extracted next measures: anterior and posterior corneal radio, corneal thickness, anterior chamber depth, lens thickness and pupillary diameter in a target population of registered patients with corneal topography in Pentacam HR between 18 and 40 years old that attended to the Santo Tomás University Optometry Clinic in Floridablanca. Applying the Yves Le Grand's method comparisons are made to allow establish similitude between measures. There are not significant differences in the studied variables, although the fact of keeping the surfaces refractive index alter the data real comparison and variability.

Keywords— Eye, Anterior Eye Segment, Eye Section.

I. INTRODUCCIÓN

A través de la Óptica Geométrica se pueden tener aproximaciones fisicomatemáticas que logran, en el mejor de los casos, cuantificar las caracterizaciones de los fenómenos luminosos como la reflexión y la refracción de la luz entre otros. Además del análisis de la formación de las imágenes generadas por dispositivos ópticos que ayudan a visualizar los sistemas microscópicos y macroscópicos. Es así como la óptica paraxial se vincula al estudio de la comprensión de la

formación de imágenes en el ojo humano, brindando la posibilidad de predecir posibles correcciones a los defectos refractivos que se presenten en éste. Estudiar un dispositivo que sirve como herramienta óptica implica tener conocimiento respecto las generalidades que se han realizado, a lo largo de la trayectoria en éste campo de la física, en lo que respecta a la ubicación de los puntos cardinales y potencias de dioptrios, potencias de un dispositivo óptico. Es el Doctor Yves Le Grand quien brinda un análisis detallado respecto la determinación de dichos puntos, pupila de entrada, pupila de salida y potencia total del ojo en sus estados relajado y acomodado, estudios que hasta la fecha se utilizan para análisis de la fisiología óptica del ojo.

El objetivo del presente trabajo está dirigido en el aprovechamiento de las ecuaciones utilizadas por Le Grand y las medidas oculares de pacientes atendidos en la clínica de la Universidad Santo Tomás, para determinar, en aproximación, la ubicación de los puntos cardinales y potencia total del ojo. Lo tratado en este artículo hace parte de una trabajo más amplio desarrollado por los autores en éste documento.

El estudio de la formación de imágenes dentro del ojo humano es un tema que siempre ha causado gran fascinación e interés en el campo del conocimiento en óptica y optometría y dentro de estas áreas es importante conocer cómo es posible que la luz llegue a la retina a través de los diferentes medios refractivos del ojo y formar una determinada imagen, todo este proceso no sería posible sin los diferentes componentes del ojo

cuya función es generar un medio donde se pueda dar la interacción adecuada de la luz para el resultado esperado.

Dentro de las condiciones adecuadas para la formación de imágenes se deben tener en cuenta la ubicación de los puntos principales, potencia de cada dioptrio y potencia total del ojo, Si el paciente presenta un defecto refractivo, dichos puntos pueden variar su ubicación.

Por todo esto y para favorecer la aplicación de procedimientos actuales en el área de la salud visual y ocular es importante conocer y analizar la ubicación de los puntos principales, la pupila de entrada, pupila de salida, potencia de los dioptrios correspondientes, y la potencia total del ojo. Se presentará los resultados que se obtuvieron a través de la toma de los datos con el equipo Pentacam HR en pacientes que han sido atendidos en la Clínica de la Facultad de Optometría de la Universidad Santo Tomás, dilucidando las variaciones halladas en el ojo teórico.

De acuerdo a los principios establecidos en el Reporte de Belmont y en la Resolución 8430 del 4 de Octubre de 1993, que teniendo en cuenta las características de esta investigación la clasifica como sin riesgo y en cumplimiento de los aspectos mencionados en el Artículo 6 de la misma resolución, y con lo establecido en la Resolución 8430 de 1993 no se vulnera la identidad del paciente, ni se hace pública su condición ocular.

II. REFENTES TEÓRICOS

El ojo humano se considera un sistema óptico que forma imágenes invertidas sobre la retina de los objetos que se encuentran a distintas distancias del ojo. El estudio óptico del ojo se realiza considerándolo un sistema óptico centrado y aplicando la aproximación paraxial para el ojo, aunque en realidad se debe considerar la formación de imágenes en retina teniendo en cuenta las aberraciones del ojo.

Se llama sistema óptico centrado a un conjunto de dioptrios que tienen un mismo eje, es decir, que sus centros están alineados en una misma recta que se conoce como eje de revolución del sistema. [1] Fue Gauss quien estableció, la teoría de los sistemas ópticos centrados en aproximación paraxial, la cual, en su honor, también se conoce como aproximación de Gauss. En esta aproximación solo interviene una zona pequeña de cada dioptrio próximo a su eje, ya que solo se consideran los rayos luminosos que inciden en el dioptrio con un ángulo suficientemente pequeño para que el valor del seno se confunda con el valor del ángulo. Trabajando una zona paraxial el sistema se comporta como un sistema perfecto, pero si van aumentando los ángulos de incidencia respecto al eje del sistema empiezan a aparecer aberraciones en la imagen. [1]

Un sistema óptico centrado queda definido por los elementos cardinales del sistema, estos son: dos pares de puntos conjugados [focos y puntos principales], dos pares de planos conjugados [planos focales y planos principales] y en

1845 Listing indujo otros par de puntos y planos conjugados [puntos y planos nodales], con el fin de facilitar los cálculos y medidas.

Dioptrio esférico: toda la superficie que separa dos medios de distinto índice de refracción n y n' . [2]

Dioptrio esférico: toda la superficie que separa dos medios de distinto índice de refracción n y n' . [2]

Foco objeto [F]: es el punto por el que deben pasar los rayos incidentes en el sistema para que atravesado, emerjan paralelos al eje óptico.

Foco imagen [F']: es el punto en que concurren, después de atravesarlo, los rayos que inciden en el sistema paralelamente al eje óptico.

Planos focales: los planos perpendiculares al eje óptico que contienen los focos.

Puntos principales [H y H']: pareja de puntos conjugados en los que el aumento lateral la unidad.

Planos principales: planos perpendiculares al eje óptico trazados por los puntos principales. [5]

Las constancias ópticas del ojo (radio de curvatura, distancias respectivas, índice de refracción) varían de individuo a otro. Para el estudio óptico del ojo, y como modelo, se ha elegido el llamado ojo teórico, que se caracteriza en que sus constantes ópticas son las medidas de un gran número de ojos normales. Debida a que el ojo teórico es un esquema del ojo también se denomina ojo esquemático.

Los principales modelos de ojos teóricos han sido numerosos a lo largo de la historia: Listing [1852], Moser [1884], Helmholtz [1896], Tscherning [1898]. Durante la primera mitad del siglo XX el modelo más aceptado fue el de Gullstrand [1908], este fue desplazado posteriormente por el ojo teórico de Yves Le Grand [1945]. Las nuevas tecnologías de las últimas décadas han hecho posibles investigaciones que proporcionan datos más reales sobre las dimensiones oculares, sobre estos datos se basa el modelo de ojo teórico de Bennet y Rabbetts [1989].

El ojo esquemático de Le Grand es sencillo y muestra valores fiables de los cálculos ópticos. Consideramos el ojo un sistema óptico compuesto de dos lentes que son la córnea y el cristalino; determinamos la posición de los elementos cardinales, distancias focales, potencia y poder refractor de cada uno de estos elementos y así alcanzar la caracterización del ojo completo desacomodado. [5]

El cálculo de la formación de imágenes, basado en las leyes de la óptica geométrica, exige el conocimiento de las distintas densidades y geometría del sistema (índices de refracción, radios de curvatura, pupilas y distancias) con los que deducir las potencias y elementos cardinales (puntos principales y focos) que lo caracterizan.

En la óptica ocular estos datos no sólo varían de unos individuos a otros, sino que en uno mismo lo hacen con la edad, estado de salud e incluso estado anímico, por lo que

tenemos que recurrir a valores medios, que conjuntamente forman los llamados “ojos teóricos”, indispensables en la óptica fisiológica desde que se pudo seguir la marcha de los rayos luminosos dentro del ojo. [5]

En esta parte solamente se presentan los datos referentes al cristalino y al ojo completo se invita a complementar con el texto citado en [5].

El estudio óptico del cristalino, aceptando un índice de refracción n constante, no pasa de ser un divertimento matemático, pues su naturaleza laminar y fibrosa hace que n sufra variaciones discontinuas muy difíciles de expresar analíticamente; variaciones que para complicar su cálculo, cambian con la acomodación. [5]

Sin embargo, la aceptación de un valor medio de n , no es una pérdida de tiempo, la potencia y elementos cardinales del cristalino, deducidas con este valor medio, son piezas básicas en el estudio de la óptica fisiológica y de la optométrica. En nuestros cálculos, tomaremos los valores dados por Ives Le Grand en su ojo teórico [1965]. [5]

A continuación se indican los valores numéricos teóricos que se utilizan en las ecuaciones de Ives Le Grand, como el índice de refracción, radios de curvatura de la cara anterior y posterior del cristalino, camino reducido, entre otros y posteriormente determinar la potencia del ojo sin acomodar. [5]

$$n = 1,42$$

$$r_1 = 10,2 \text{ mm}$$

$$r_2 = -6 \text{ mm}$$

$$e = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Cara anterior

$$P_1 = \frac{n' - n_1}{r_1} \quad (1)$$

$$P_1 = \frac{n' - n_1}{r_1} = 8,10 \text{ D}$$

Cara posterior

$$P_2 = \frac{n_2 - n'}{r_2} \quad (2)$$

$$P_2 = \frac{n_2 - n'}{r_2} = 14 \text{ D}$$

Espesor reducido

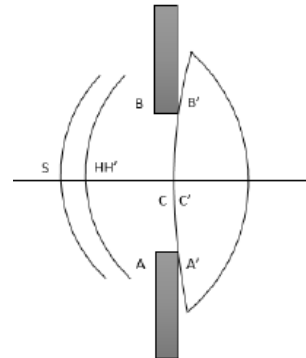
$$\delta = \frac{4 \times 10^{-3}}{1,42} = 2,82 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$P_{\text{Cristalino}} = P_1 + P_2 - \delta P_1 P_2 \quad (3)$$

$$P_{\text{Cristalino}} = P_1 + P_2 - \delta P_1 P_2 = 21,78 \text{ D}$$

La potencia y elementos cardinales del ojo se determinan a partir de los ya conocidos del cristalino y la córnea aplicando las fórmulas de los sistemas compuestos. Al hablar de sistema óptico del ojo, nos referimos al ojo sin acomodar. [5]

Fig. 1. Representación esquemática del ojo



En el texto de fisiología óptica [5] se determina la potencia de la córnea y del cristalino respectivamente así

$$P_C = 42,46 \text{ D}$$

$$P_{Cr} = 21,78 \text{ D}$$

$$\delta = \frac{(6,02 + 0,06) \times 10^{-3}}{1,337} = 4,55 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Determinando así la potencia total del ojo sin acomodar

$$P = P_C + P_{Cr} - \delta P_C P_{Cr} = 42,36 + 21,78 - 4,55 \times 10^{-3} \text{ m} \times 42,46 \times 21,78 = 59,94 \text{ D} \quad (4)$$

El resultado anterior muestra que la potencia del ojo es en aproximación dos tercios de la potencia de la córnea. [5]

En la Tabla 1. Se muestran los datos del ojo teórico de Ives Le Grand.

III MÉTODO

La investigación fue realizada utilizando la óptica para desarrollar estudios en el campo de la optometría. Cuidado primario de la salud visual y ocular desde el desarrollo de la optometría basada en la evidencia y la línea de Investigación 2 “Salud Colectiva con énfasis en salud visual y ocular”, cumpliendo dos de los objetivos del proyecto: determinar las características visuales y oculares de las poblaciones

específicas, Identificar factores de riesgo que alteren la función visual y ocular. Ya que se pretende hacer una determinación promedio de medidas propias de cada paciente y así mismo con los resultados se pueden dar como beneficios del estudio los factores de riesgo entre las variaciones entre poblaciones.

Se llevó a cabo un estudio cuantitativo, observacional, descriptivo de corte transversal, por la observación y análisis de datos respecto a las medidas antropométricas oculares de los pacientes atendidos en la Clínica de Optometría de la Universidad Santo Tomás – Bucaramanga en el período 2014-2015. En este artículo se muestra parte de las medidas de una investigación general a través de los cálculos y métodos que fueron necesarios para tal efecto.

Tabla 1. Medidas Ojo Teórico Ives Le Grand

Superficie	posterior	de la	-6,11	-6,11		
córnea						
Superficie	anterior	del	8,10	14,93	8,31	15,00
cristalino						
Superficie	posterior	del	14	16,55	14,13	16,37
cristalino						
Córnea						
Potencia			42,36	42,36	42	42
Posición del punto principal			-0,06	-0,06	0	0
Posición del punto principal			-0,06	-0,06	0	0
Posición focal objeto			-23,61	-23,61	-23,81	-23,81
Posición focal imagen			31,57	31,57	31,81	31,81
Tabla 1 – Medidas Ojo Teórico propuesto por Yves Le Grand. ^[5]						
Cristalino						
Potencia			21,78	30,70	22,44	31,37
Posición del punto principal			6,02	5,47	6,37	5,78
Posición del punto principal			6,20	5,65	6,37	5,78
Posición focal objeto			-61,41	-43,56	-59,55	-42,58
Posición focal imagen			61,34	43,52	-59,55	42,58
Ojo completo						
Potencia			59,94	67,68	59,94	67,68
Posición del punto principal			1,59	1,82	1,79	2,00
Posición del punto principal			1,91	2,19	1,91	2,19
Posición del foco objeto			-15,09	-12,96	-14,90	-12,77
Posición del foco imagen			24,20	21,23	24,20	21,93
Distancia focal objeto			-16,68	-14,78	-16,68	-14,78
Distancia focal imagen			22,29	19,74	22,29	19,74
Posición del punto nodal objeto			7,20	6,78	7,39	6,97
Posición del punto nodal			7,51	7,16	7,51	7,16
imagen						
Acomodación (origen en p.p.)			0	6,96	0	6,96
Posición de la pupila de entrada			3,04	2,66	3,04	2,66
Posición de la pupila de salida			3,68	3,26	3,49	3,03
Aumento en el plano de las pupilas			0,92	0,95	0,93	0,96

Tomada de: 5. RIO, E. GIL DEL. 1981. Óptica Fisiológica clínica. Cuarta edición. Barcelona: Ediciones Toray, S.A, 1981. p. 201-207; 253-257.

III.A Selección y Descripción de Participantes

Los datos de la población se adquirieron de los registros del dispositivo Pentacam HR teniendo en cuenta el período 2014 – 2015.

La muestra está conformada por el 100% de la población encontrada en la base de datos de la Pentacam en la clínica de la universidad de Santo Tomás de optometría en el período comprendido mencionado anteriormente.

III.A1 Criterios de Selección

En el trabajo se tomaron criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de Inclusión

- ✓ Pacientes atendidos en la Clínica de Optometría de la Universidad Santo Tomás, Bucaramanga en el año 2014 y 2015 cuyos datos se encuentran registrados en la Pentacam HR
- ✓ Edades Comprendidas entre 18 y 40 años
- ✓ Sin patologías que alteren medios
- ✓ Cualquier tipo de defecto refractivo

Criterios de Exclusión

- ✓ Poca confiabilidad en los exámenes

III.A2 Estadística y Tratamiento de los Datos

Par el análisis del problema se tiene en cuenta variables sociodemográficas y clínicas así como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Variables para el análisis de resultado

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL
Sexo	Conjunto de seres pertenecientes a un mismo sexo. Sexo masculino, femenino.	Masculino o femenino
Edad	Cada uno de los periodos en que se considera dividida la vida humana.	18 a 40 años
Radio de curvatura de las superficies	Es la distancia que existe entre el centro de curvatura y el vértice	Superficie anterior de la córnea: 7.8 Superficie posterior de la córnea: 6.5 Superficie anterior del cristalino: 10.2 Superficie posterior del cristalino: -6
Espesor de la córnea	Es un indicador de la 520 um fisiología endotelial. Si existe un incremento en el espesor, es muy posible que exista una falla en las células endoteliales. La córnea normal tiene un espesor central de 0.52 mm, y normalmente es más gruesa periféricamente.	
Espesor de cristalino	A la anchura entre las caras anterior y posterior se le denomina espesor del cristalino	Según medidas STD: 4mm
Profundidad de la cámara anterior	La profundidad de la cámara anterior, medida a lo largo del eje óptico está determinada por la distancia desde el vértice de la cara posterior de la córnea, hasta el polo anterior del cristalino.	Según medidas STD 3,5 mm
Longitud axial	Medida de dimensión antero posterior ocular	24 mm

Fuente: Autores

IV. RESULTADOS

En esta parte se presentan los resultados que se obtuvieron respecto el grupo etario masculino, ojo derecho (OD), de una población de 160 datos de pacientes atendidos en la clínica de Optometría de la USTA y su información de las medidas oculares quedó registrado en el equipo en el equipo Pentacam HR atendiendo el periodo estipulado en la investigación que se desarrolló.

Debido al número de datos analizados, en este artículo solamente se indica parte de la información de todos los datos analizados. Así como se muestra en la tabla 3 donde se

presenta la edad, los índices de refracción y el radio de curvatura de los pacientes analizados en la investigación desarrollada.

Tabla 3. Índice de refracción y radios de curvatura del ojo de los pacientes

EDAD	SEXO	OJO	n1	n.K	n.h.s	RAK (mm)	RPK (mm)	Esp.K (mm)	Prf.CA (mm)	φ pilar (mm)	RA.CR (mm)	RP.CR (mm)	Esp.CR (mm)	n.CR	n.h.v
19	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,01	6,77	2,88	2,61	2,24	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
19	M	OD	1,00	1,376	1,336	8	6,71	3,47	2,83	5,13	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
19	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,74	6,25	2,69	3,29	3,43	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
19	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,74	6,25	2,69	3,29	3,43	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
19	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,1	6,61	3,86	2,78	3,62	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
19	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,68	6,61	2,18	2,54	2,39	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
20	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,59	6,14	2,8	3,36	3,36	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
20	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,56	6,57	3,45	2,72	3,91	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
20	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,72	6,34	2,57	3,26	2,95	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
20	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,72	6,34	2,57	3,26	2,95	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
23	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,01	6,59	2,56	2,86	3,02	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
23	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,03	6,68	2,87	2,64	2,85	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
23	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,9	6,68	2,72	3,21	3,03	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
23	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,53	6,22	2,55	3,49	3,48	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
23	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,53	6,22	2,55	3,49	3,48	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
23	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,9	6,68	2,72	3,21	3,03	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
23	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,04	6,56	2,32	2,69	2,69	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
25	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,66	6,34	1,93	3,43	2,56	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
25	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,51	6,12	3,23	3,5	4,44	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
25	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,14	6,44	2,21	3,31	3,54	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
25	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,12	6,47	2,01	3,28	3,6	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
25	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,68	6,25	3,06	3,52	3,69	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
26	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,89	6,42	2,13	3,02	2,84	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
26	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,7	6,2	4,14	2,96	4,12	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
26	M	OD	1,00	1,376	1,336	7,98	6,67	2,74	2,67	2,69	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
26	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,23	6,59	2,86	2,52	3,3	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
26	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,16	6,92	3,57	3,01	4,24	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336
26	M	OD	1,00	1,376	1,336	8,16	6,92	3,57	3,01	4,24	10,20	-6,00	4,00	1,42	1,336

Fuente: Autores

Posteriormente en la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos respecto la medida de la potencia de la cara anterior y posterior de la córnea respectivamente (PAK y PPK) lo cual se logra utilizando la ecuación (5) y (6) respectivamente.

$$P_1 = \frac{n - n_1}{r_1} \quad (5)$$

Siendo n el índice de refracción de la córnea, n_1 el índice de refracción del aire y r_1 el radio de curvatura de la cara anterior de la córnea.

$$P_2 = \frac{n_2 - n}{r_2} \quad (6)$$

Representando n_2 el índice de refracción del humor acuoso y r_2 el radio de curvatura de la cara posterior corneal.

El camino reducido en la córnea se determinó a través de la expresión (7).

$$\delta K = \frac{Esp.K}{n} \quad (7)$$

Los valores $Esp.K$ se encuentran en la tabla 3 cada dato del camino reducido de la córnea se identifica en la tabla 4. El

dispositivo óptico implementado entrega los datos de la profundidad de la cámara anterior del ojo así como el espesor corneal y los respectivos radios de curvatura.

Debido que a los pacientes no se les dilató la pupila, no se logró tener información respecto los radios de curvatura, espesor e índices de refracción del cristalino. Esto implicó el utilizar datos de los radios de curvatura y espesor del cristalino utilizado en la literatura como la registrada en [5].

Por lo que el dato correspondiente al cristalino es constante para todos los participantes de la muestra en estudio. Estos valores se pueden obtener a través de las expresiones fisicomatemáticas (1) y (2) respectivamente, así como el camino reducido y/o espesor reducido.

Además en la tabla 4 se registran los valores de la ubicación geométrica de los planos principales de la córnea, datos que se hacen necesarios para la determinación de la potencia del ojo completo. Cada una de las ecuaciones utilizadas en este caso se representa en (8) y (9)

$$H_1 H = n \delta \frac{P_2}{P} \quad (8)$$

$$H'_2H' = -n'\delta\frac{P_1}{P} \quad (9)$$

Tabla 4. Potencia y camino reducido de la córnea y el cristalino

PAK (D)	PP.K(D)	δ K (m)	P.K (D)	H1HK (m)	H2HK (m)	PACR (D)	PPCR (D)	δ CR (m)	Pcris (D)
46,94	-5,91	2,09E-03	41,61	-2,97E-04	-3,15E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
47,00	-5,96	2,52E-03	41,75	-3,60E-04	-3,79E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
48,58	-6,40	1,95E-03	42,79	-2,92E-04	-2,97E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
48,58	-6,40	1,95E-03	42,79	-2,92E-04	-2,97E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,42	-6,05	2,81E-03	41,16	-4,12E-04	-4,23E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
48,96	-6,05	1,58E-03	43,38	-2,21E-04	-2,39E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
49,54	-6,51	2,03E-03	43,68	-3,03E-04	-3,08E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
49,74	-6,09	2,51E-03	44,41	-3,44E-04	-3,75E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
48,70	-6,31	1,87E-03	42,97	-2,74E-04	-2,83E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
48,70	-6,31	1,87E-03	42,97	-2,74E-04	-2,83E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,94	-6,07	1,86E-03	41,40	-2,73E-04	-2,82E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,82	-5,99	2,09E-03	41,42	-3,02E-04	-3,15E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
47,59	-5,99	1,98E-03	42,17	-2,81E-04	-2,98E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
49,93	-6,43	1,85E-03	44,10	-2,70E-04	-2,80E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
49,93	-6,43	1,85E-03	44,10	-2,70E-04	-2,80E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
47,59	-5,99	1,98E-03	42,17	-2,81E-04	-2,98E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,77	-6,10	1,69E-03	41,15	-2,50E-04	-2,56E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
49,09	-6,31	1,40E-03	43,21	-2,05E-04	-2,13E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
50,07	-6,54	2,35E-03	44,30	-3,46E-04	-3,54E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,19	-6,21	1,61E-03	40,44	-2,47E-04	-2,45E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,31	-6,18	1,46E-03	40,54	-2,23E-04	-2,23E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
48,96	-6,40	2,22E-03	43,26	-3,29E-04	-3,36E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
47,66	-6,23	1,55E-03	41,88	-2,30E-04	-2,35E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
48,83	-6,45	3,01E-03	43,33	-4,48E-04	-4,53E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
47,12	-6,00	1,99E-03	41,68	-2,86E-04	-3,01E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
45,69	-6,07	2,08E-03	40,19	-3,14E-04	-3,16E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,08	-5,78	2,59E-03	40,99	-3,66E-04	-3,90E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911
46,08	-5,78	2,59E-03	40,99	-3,66E-04	-3,90E-03	8,24	14	2,82E-03	21,911

Fuente: Autores

Luego se determinaron los planos principales del cristalino, el camino reducido y la potencia total del ojo, a cada uno de los pacientes que se indican en el texto. Esta información se registró en la tabla 5. La potencia del ojo se logró medir utilizando la ecuación (4). Atendiendo al dato suministrado respecto la potencia total del ojo sin acomodar presentado en [5] el cual tiene un valor de 59.94 Dioptrías (D).

Atendiendo a los resultados obtenidos se logra apreciar que el ojo derecho (OD) de uno de los pacientes de 19 años presentó una potencia de 56.592 D lo cual equivalente al 5.58% de error respecto el dato teórico.

Para alguno de los pacientes de 26 años el OD presentó una potencia de 56.519 D, representando el 5.70% de error respecto el valor consignado en la teoría. Ahora bien, en uno de estos pacientes se logró medir una potencia de 62. 474 D con lo cual se logra inferir el porcentaje de error de 4.22%.

En uno de los pacientes de 35 años se logró medir la potencia del OD de 54.141 D, siendo el 9.67% de error.

Este tipo de resultado en cierto número de pacientes puede advertir algún tipo de defectos refractivos presente en el ojo

estudiado. Posiblemente debido a alguna ectasia corneal o alguna patología en el ojo de estos.

Tabla 5. Planos principales en el cristalino y potencia del ojo sin acomodar

SH1 cxi (mm)	SH2 cxi (mm)	H1H cxi (m)	SH cxi (m)	H2H'cxi (m)	SH' cxi (m)	SH' c (m)	δ ojo (m)	P ojo (D)
5,49	9,49	2,40E-03	1,50E-02	-1,41E-03	8,08E-03	2,74E-04	6,25E-03	57,825
6,3	10,30	2,40E-03	1,66E-02	-1,41E-03	8,89E-03	3,23E-04	6,89E-03	57,351
5,98	9,98	2,40E-03	1,60E-02	-1,41E-03	8,57E-03	2,75E-04	6,62E-03	58,493
5,98	9,98	2,40E-03	1,60E-02	-1,41E-03	8,57E-03	2,75E-04	6,62E-03	58,493
6,64	10,64	2,40E-03	1,73E-02	-1,41E-03	9,23E-03	3,67E-04	7,18E-03	56,592
4,72	8,72	2,40E-03	1,34E-02	-1,41E-03	7,31E-03	2,09E-04	5,62E-03	59,941
6,16	10,16	2,40E-03	1,63E-02	-1,41E-03	8,75E-03	2,83E-04	6,76E-03	59,124
6,17	10,17	2,40E-03	1,63E-02	-1,41E-03	8,76E-03	3,02E-04	6,78E-03	59,721
5,83	9,83	2,40E-03	1,57E-02	-1,41E-03	8,42E-03	2,58E-04	6,49E-03	58,767
5,83	9,83	2,40E-03	1,57E-02	-1,41E-03	8,42E-03	2,58E-04	6,49E-03	58,767
5,42	9,42	2,40E-03	1,48E-02	-1,41E-03	8,01E-03	2,58E-04	6,19E-03	57,701
5,51	9,51	2,40E-03	1,50E-02	-1,41E-03	8,10E-03	2,80E-04	6,27E-03	57,642
5,93	9,93	2,40E-03	1,59E-02	-1,41E-03	8,52E-03	2,61E-04	6,57E-03	58,011
6,04	10,04	2,40E-03	1,61E-02	-1,41E-03	8,63E-03	2,54E-04	6,65E-03	59,587
6,04	10,04	2,40E-03	1,61E-02	-1,41E-03	8,63E-03	2,54E-04	6,65E-03	59,587
5,93	9,93	2,40E-03	1,59E-02	-1,41E-03	8,52E-03	2,61E-04	6,57E-03	58,011
5,01	9,01	2,40E-03	1,40E-02	-1,41E-03	7,60E-03	2,40E-04	5,86E-03	57,772
5,36	9,36	2,40E-03	1,47E-02	-1,41E-03	7,95E-03	1,99E-04	6,10E-03	59,350
6,73	10,73	2,40E-03	1,75E-02	-1,41E-03	9,32E-03	3,14E-04	7,21E-03	59,213
5,52	9,52	2,40E-03	1,50E-02	-1,41E-03	8,11E-03	2,41E-04	6,25E-03	56,816
5,29	9,29	2,40E-03	1,46E-02	-1,41E-03	7,88E-03	2,19E-04	6,06E-03	57,070
6,58	10,58	2,40E-03	1,72E-02	-1,41E-03	9,17E-03	3,03E-04	7,09E-03	58,449
5,15	9,15	2,40E-03	1,43E-02	-1,41E-03	7,74E-03	2,23E-04	5,96E-03	58,328
7,1	11,10	2,40E-03	1,82E-02	-1,41E-03	9,69E-03	3,90E-04	7,54E-03	58,078
5,41	9,41	2,40E-03	1,48E-02	-1,41E-03	8,00E-03	2,67E-04	6,18E-03	57,946
5,38	9,38	2,40E-03	1,48E-02	-1,41E-03	7,97E-03	2,96E-04	6,18E-03	56,658
6,58	10,58	2,40E-03	1,72E-02	-1,41E-03	9,17E-03	3,27E-04	7,10E-03	56,519
6,58	10,58	2,40E-03	1,72E-02	-1,41E-03	9,17E-03	3,27E-04	7,10E-03	56,519

Fuente: Autores

V. CONCLUSIONES

La investigación desarrollada mostró que cada paciente presentó una potencia en el ojo diferente a la determinada en la literatura. Que la ubicación de los planos principales y potencia se ven afectados por las aberraciones ópticas y/o los defectos refractivos intrínsecos a cada paciente.

A pesar de no contar con los datos del cristalino de cada ojo analizado, se pudo apreciar las diferencias entre el ojo teórico de Yves Le Grand y el ojo de cada paciente atendido en la clínica de la Facultad de Optometría de la Universidad Santo Tomás.

REFERENCES

- [1] Y. Le Grand, Óptica fisiológica. Sociedad Española de Optometría. Madrid. 1994. pp. 12
- [2] M. Aguilar, F. Mateuos, Óptica Fisiológica. vol. 1 Universidad Politécnica de Valencia, 1993, pp. 110-112.
- [3] J. Romero, Curso introductorio a la Óptica Fisiológica, Madrid: Comares, 1996, pp. 24-34.
- [4] C. Muñoz, O. Villaescusa, Ch. Núñez y A. Batista, "Modelo Óptico del Ojo Humano", Revista Cubana de Física, La Habana: Altshuler, 2014, -1: vol. 31.
- [5] E. Río, Óptica Fisiológica Clínica, Barcelona: Ediciones Toray, S.A, 1981, pp. 201-207, 253-257.
- [6] T. Langenbucher, B. Seitz, E. Janunts, "Customized Aspheric IOL Design by Raytracing through the Eye Containing Quadric Surfaces" USA: Francis Taylor: Current Eye Research, July 2011, -7: vol. 36, pp. 637-646.
- [7] M. Faria, D. Riberio, N. López, J. Jorge, J. Gonzalez, "Errores Asociados a la Biometría IOL Master en Función de las Dimensiones Oculares", Jurnal Optometry, 2014, -2: vol. 7, pp. 75-78.

- [8] M. Aguilar, F. Mateos, Óptica Fisiológica, Universidad Politécnica de Valencia: SPUPV-93.701, 1993, vol. 1, pp. 109-167.
- [9] D. Ortiz, J. Saiz, F. González, J. Velarde, J. Fernández y F. Moreno, “Optimización de una intervención de cirugía LASIK individualizada: Modelo óptico de trazado de rayos. Arch Soc Esp Oftalmol [Base de datos de internet: Scielo]. 2003, Aug [citado 2014 mar 14], 78(8): pp. 443-449.
- [10] S. Lissa, “Importancia de la película lagrimal en la calidad óptica”, Andina Visual [internet]. 2009 Oct – 2010 March [Citado 2014 May 09]; 4(6): 34-36. ISSN 1909.2911. Disponible en: http://www.areandina.edu.co/contenidos/medios_portal/n-publicaciones/n-revistas-bogota/andinavisual/Andina-Visual-06.pdf
- [11] M. Bass, Handbook of Optics: Fundamentals, techniques, and design *de Handbook of Optics*, Optical Society of America, vol. 1, McGraw-Hill, 1995.
- [12] E. Hecht, A. Zajac, ÓPTICS, Adelphi University, 4^{ed} ed, Addison Wesley, San Francisco, 2002.
- [13] M. Freeman, H. HULL C.C. Optics. Eleventh Edition. Butterworth Heinemann. 2003.
- [14] M. Born, E. Wolf, Principles of optics, Seventh Edition. Cambridge University Press.