



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

¿Está relacionada la amplitud de acomodación con la geometría del globo ocular?

Amplitude of accommodation and eye globe geometry: Are they really related?

Autora

Sandra Ruiz Bernad

Directores

Jorge Ares García

M.^a Pilar Casado Moreno

Facultad de Ciencias
2022/2023

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
<u>1.1. ACOMODACIÓN. DEFINICIÓN</u>	1
1.1.2. DEMANDA Y RESPUESTA ACOMODATIVA.....	1
1.1.3. MODELO DE LA RESPUESTA ACOMODATIVA DE MADDOX-SCHOR.....	2
1.1.4. ANATOMOFISIOLOGÍA.....	2
1.1.5. CAMBIOS GEOMÉTRICOS DURANTE LA ACOMODACIÓN.....	3
1.1.6. AMPLITUD DE ACOMODACIÓN.....	4
<u>1.2. TÉCNICAS PARA MEDIR LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN</u>	5
1.2.1 MEDIDAS SUBJETIVAS DE LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN.....	5
1.2.1.1. MÉTODO DE DONDERS.....	5
1.2.1.2. MÉTODO DE SHEARD O LENTES NEGATIVAS.....	6
1.2.2 MEDIDAS OBJETIVAS DE LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN.....	6
1.2.2.1. AUTORREFRACTÓMETRO DE CAMPO ABIERTO: AUTORREFRACTÓMETRO DE CAMPO ABIERTO: GRAND SEIKO WAM 5500.....	6
1.2.2.2. ABERRÓMETRO: ITRACE.....	6
<u>1.3 FACTORES PROBADOS QUE INFLUYEN EN EL VALOR DE LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN</u>	7
1.3.1 EDAD.....	7
1.3.2 AMETROPÍA.....	7
1.3.3 SEXO.....	8
1.3.4 RAZA.....	8
1.3.5 USO DE FÁRMACOS.....	8
1.3.6 PROFUNDIDAD DE CAMPO Y FACTORES ÓPTICOS.....	8
- DIAMETRO PUPILAR.....	8
- ESTÍMULO.....	9
-ABERRACIONES ÓPTICAS DE ALTO ORDEN.....	9
<u>1.4. FACTORES PROBABLES QUE INFLUYEN EN LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN</u>	10
1.4.1 GEOMETRÍA OCULAR.....	10
1.4.1.1. FACTORES ÓPTICOS.....	10
1.4.1.2. FACTORES BIOMECÁNICOS.....	10
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	11
3. MÉTODOS	11
<u>3.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y PROTOCOLO DE MEDIDA</u>	11
<u>3.2. MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE GEOMETRÍA OCULAR</u>	11
<u>3.3. MEDIDAS DE AMPLITUD DE ACOMODACIÓN SUBJETIVA</u>	12
3.3.1 MÉTODO DE DONDERS.....	12
3.3.2 MÉTODO DE SHEARD.....	12
<u>3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	13
4. RESULTADOS	13
5. DISCUSIÓN	17
6. CONCLUSIONES	21
7. BIBLIOGRAFIA	22
8. ANEXO	24

LISTADO DE ACRÓNIMOS:

AA: Amplitud de acomodación.

ACD: Anterior Chamber Depth (amplitud de cámara anterior)

aH1: distancia objeto a plano principal objeto del sistema 1.

aH2: distancia objeto a plano principal objeto del sistema 2.

AQD: Aqueous Depth (profundidad acuosa).

F'1: poder refractor imagen del ojo al observar un objeto 1 (situación de reposo).

F'2: poder refractor imagen del ojo al observar un objeto 2.

LA: longitud axial.

L1: vergencia objeto 1.

L'1: vergencia imagen 1.

L2: vergencia objeto 2.

L'2: vergencia imagen 2.

P: inversa punto próximo.

PP: Punto Próximo.

PR: Punto Remoto.

R: Refracción (inversa de punto remoto).

VC: Visión Cercana.

V1H'1: distancia de vértice anterior a plano principal imagen del sistema 1.

V1H'2: distancia de vértice anterior a plano principal imagen del sistema 2.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ACOMODACIÓN. DEFINICIÓN

La acomodación es el mecanismo que posibilita de manera activa la formación de imagen de un objeto próximo. En el caso de la cámara fotográfica de un teléfono móvil la acomodación se lleva a cabo modificando la distancia entre el sistema óptico y el plano del detector de luz. En el caso del ojo humano la acomodación se lleva a cabo mediante el cambio dióptrico del poder refractor del cristalino.

1.1.2 DEMANDA Y RESPUESTA ACOMODATIVA

La demanda acomodativa se define como la cantidad de acomodación requerida (expresada en dioptrías) por el sistema visual para lograr la formación de una imagen en la retina de los objetos observados. Su magnitud varía dependiendo de si se trata de ojos amétropes que han sido compensados o no. En el caso el que estén compensados mediante sistemas refractores, su magnitud depende del tipo de compensación refractiva.

Para un ojo emétrope, la demanda acomodativa es la inversa de la distancia a la que se encuentra el objeto observado por el ojo en metros y cambiada de signo. Por ejemplo, si el objeto se halla a -0.5m , será necesario aplicar una acomodación de $+2.00$ dioptrías para obtener una imagen nítida.

La respuesta acomodativa representa la variación real que experimenta un sistema en respuesta a una demanda acomodativa específica. Si la respuesta acomodativa excede la demanda, se habla de una hiper-acomodación; en caso contrario, se denomina hipo-acomodación. La discrepancia entre el valor de la respuesta y la demanda acomodativas se conoce como error acomodativo o "lag". En el ámbito clínico, el término "lag" se describe a través de su opuesto, es decir, por el valor de la lente que permite alcanzar un error acomodativo nulo⁽¹⁾.

Una forma de medir la respuesta acomodativa es con la retinoscopia MEM. Evalúa el retraso de la respuesta acomodativa en condiciones monoculares con ambos ojos desocluídos y con su corrección óptica. Típicamente, se colocan un estímulo visual solidario a un retinoscopio a -40cm del paciente y se le pide que lo lea. Simultáneamente, el optometrista observa las sombras retinoscópicas que el ojo del individuo nos devuelve y se encarga de neutralizarlas con lentes positivas si son directas y con lentes negativas si son inversas. Para un individuo con una respuesta acomodativa normal, se esperan valores de "lag" entre $+0.25\text{D}$ y $+0.75\text{D}$.

Valores < 0 indican un exceso de acomodación

Valores $> +0.75$ indican una insuficiencia de acomodación. ⁽²⁾



Figura 1. Retinoscopia MEM

Por definición, la respuesta acomodativa se obtendrá restando al módulo de la demanda acomodativa menos el valor del “lag” medido. Según esto, si un paciente emétrope presenta un “lag” de +1,00 D tendría una respuesta acomodativa de $+1/0,4 - 1,00 D = +1,50 D$.

El concepto de profundidad de campo se refiere al intervalo de distancias en el cual un objeto puede variar mientras se conserva una calidad de imagen satisfactoria en la retina sin necesidad de activar la respuesta acomodativa. Este fenómeno es factor natural de la hipoacomodación de +0.75 dioptrías observada en individuos con respuestas acomodativas dentro de los parámetros normales.

1.1.3. MODELO DE LAS COMPONENTES DE LA ACOMODACIÓN MADDOX-SCHOR:

Según el modelo de Maddox-Schor la respuesta acomodativa alcanzada por un sujeto está compuesta por 5 componentes principales:

1. Acomodación basada en la borrosidad: ajuste de la potencia ocular de forma involuntaria al detectar un desenfoque no mayor de 2D. Para valores mayores, se requiere un control de respuesta voluntario o de otras “pistas” visuales.
2. Acomodación vergencial: depende de la disparidad binocular de las imágenes retinianas en la relación entre acomodación y vergencia. Conocemos como CA/C al cambio que se produce en la acomodación al estimular o relajar la convergencia en base a la disparidad binocular.
3. Acomodación proximal: parte de la respuesta asociada a la percepción de proximidad del objeto observado.
4. Acomodación tónica: respuesta acomodativa que existe incluso ante la ausencia de estímulo visual. Según el caso, su presencia puede ser beneficiosa o perjudicial para alcanzar una respuesta acomodativa correcta.
5. Acomodación voluntaria: es la parte de la respuesta acomodativa que no se activa de manera refleja sino que precisa de la voluntad de control por parte del individuo. Es de gran utilidad a la hora de iniciar un entrenamiento de las habilidades acomodativa⁽³⁾.

1.1.4 ANATOMOFISIOLOGÍA

El sistema acomodativo en el ser humano está controlado por la rama inferior del tercer par craneal que tiene su origen en el núcleo de Edinger-Westphal situado en el mesencéfalo y vinculado de manera refleja (y a veces también conveniente) a la triada miosis-acomodación-convergencia⁽⁴⁾. No obstante, el cambio dióptrico se determina por la acción de músculo ciliar, zónula y cristalino.

Cristalino

Se trata de un cuerpo biconvexo (curvatura de la cara anterior es mayor que la posterior), en forma de lente, transparente, avascular y sin inervar, localizado inmediatamente detrás del iris, entre la cámara anterior y posterior del ojo. Su potencia dióptrica es de 22D aproximadamente en estado normal. Se encuentra rodeado de una cápsula que se moldea

en la acomodación. El núcleo del cristalino está formado por las fibras del cristalino embrionario, estas fibras son alargadas y se van superponiendo unas encima de otras como una cebolla. Este crecimiento es continuo y al final quedan comprimidas y superpuestas, esto hace que vaya perdiendo elasticidad con el aumento de edad del individuo.

Zónula

La zónula o ligamento suspensorio del cristalino está formada por fibras zonulares que se insertan en la cápsula del cristalino. Mantiene la posición y sujeta el cristalino al músculo ciliar.

Músculo ciliar

Se encarga del enfoque de la visión cambiando la forma del cristalino. Como hemos dicho anteriormente, la acomodación es el proceso que permite enfocar sobre la retina la imagen de los objetos a diferentes distancias. Una de las formas de aumentar la potencia del sistema ocular se consigue modificando las curvaturas anterior y posterior del cristalino y el grosor.

Según la teoría de Helmholtz, cuando el ojo usa esta función (ojo no acomodado), el músculo ciliar se encuentra relajado, la zónula tensa y el poder refractor imagen es lo más reducido posible por encontrarse los dioptrios del cristalino lo menos curvados posible. Por el contrario, cuando el ojo requiere del uso de la visión cercana (VC) (ojo acomodado), el músculo ciliar se contrae, la zónula se relaja, el cristalino se engruesa y sus radios se vuelven más convexos aumentando el poder refractor del sistema ocular⁽⁵⁾.

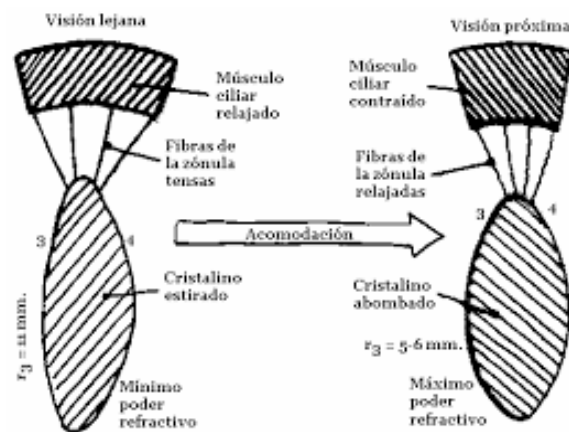


Figura 2. Cambios morfológicos en la acomodación.

1.1.5. CAMBIOS GEOMÉTRICOS DURANTE LA ACOMODACIÓN

La geometría ocular sufre cambios estructurales para conseguir que la imagen focalice en la retina. Según el estudio "Changes in the internal structure of the human crystalline lens with age and accommodation", no existe cambio significativo en el grosor del cristalino a nivel de la corteza a medida que aumentan o disminuyen las dioptrias, por el contrario si existe un engrosamiento a nivel del núcleo durante el proceso de la acomodación⁽⁶⁾.

Por otro lado, el estudio "Transient Axial Length Change during the Accommodation Response in Young Adults" demuestra que durante el proceso acomodativo el ojo sufre una elongación transitoria de la longitud axial (LA) siendo los ojos miopes los que más sufren este alargamiento. Es debido a la contracción del músculo ciliar el cual ejerce una fuerza sobre la coroides y la esclera adyacente al músculo. Al sufrir estos cambios, el ojo necesita mantener el volumen ocular constante y para ello necesita desplazar hacia atrás la porción posterior del ojo⁽⁷⁾.

Por último, la amplitud de la cámara anterior (ACD) no sufre grandes cambios con la acomodación. Estos cambios son menores del 5% de su grosor en estado de reposo medido con IOLMASTER en el estudio “Changes in anterior chamber eye during accommodation as assessed using a Dual Scheimpflug system”⁽⁸⁾.

1.1.6 AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

La amplitud de acomodación (AA) es el cambio máximo de demanda acomodativa que un sistema acomodativo es capaz de asumir para mantener imagen nítida en retina. Su valor, por lo tanto, se estima como la diferencia entre la inversa de la distancia al punto remoto (distancia más lejana que se puede observar con acomodación relajada, PR) y la inversa de la distancia al punto próximo (distancia más próxima que se puede observar tras activarse el sistema acomodativo, PP).

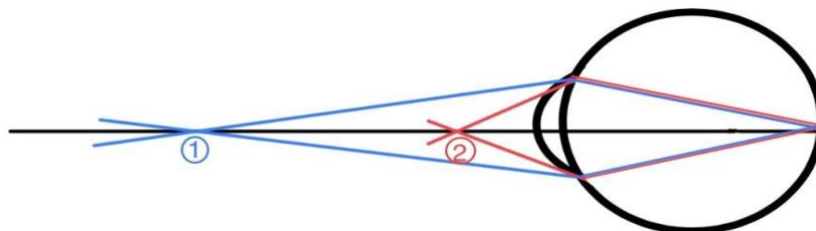


Figura 3. Simulación punto remoto (1) y punto próximo (2)

En la Figura 3, se muestran dos situaciones: Situación 1: punto remoto (estado desacomodado) Situación 2: punto próximo (estado acomodativo con máxima respuesta acomodativa)

Es interesante observar que la relación entre la amplitud de acomodación y los posibles cambios realizados en el sistema ocular al acomodar, se pueden obtener a través de la ley de Gauss aplicada a las situaciones 1 y 2.

$$F'1 = L'1 - L1 = \frac{n'}{la - V1H'1} - \frac{n}{a_{H1}} \quad Ec.1$$

$$F'2 = L'2 - L2 = \frac{n'}{la - V1H'2} - \frac{n}{a_{H2}} \quad Ec.2$$

Donde: $F'1$: poder refractor del ojo en situación de reposo. $F'2$: poder refractor del ojo en estado acomodativo. $L'1$: vergencia imagen 1. $L1$: vergencia objeto 1. $L'2$: vergencia imagen 2. $L2$: vergencia objeto 2. la : longitud axial. $V1H'1$: distancia de vértice a plano principal imagen 1. a_{H1} : distancia objeto al plano principal objeto 1. $V1H'2$: distancia vértice al plano principal imagen 2. a_{H2} : distancia objeto al plano principal objeto 2.

Restando Ec2 - Ec1 se obtiene la relación $\Delta F'$, la cual representa el aumento en el poder refractor imagen del sistema ocular al acomodar debido al cambio de la demanda acomodativa al moverse el objeto 1 a 2. Dado que $L1$ y $L2$ con las vergencias del punto remoto y el punto próximo, respectivamente, la AA corresponde con $(L1 - L2)$.

Si despejamos AA obtenemos la siguiente ecuación:

$$\Delta F' = F'2 - F'1 = (L'2 - L'1) + (L1 - L2) = (L'2 - L'1) + AA \quad \text{Ec. 3}$$

$$AA = \Delta F' - (L'2 - L'1) \quad \text{Ec.4}$$

De ella se puede observar que la amplitud de acomodación sólo representa al cambio en el poder refractor imagen ocular para el caso en que la vergencia imagen no se vea también modificada al acomodar. En el caso del globo ocular humano, si despreciamos los pequeños cambios de longitud axial que suceden al acomodar, el cambio de la vergencia imagen viene producida por el cambio en la posición del plano principal imagen del sistema ocular total.

$$L'2 - L'1 = \frac{1.336}{la-V1H'2} - \frac{1.336}{la-V1H'1} \quad \text{Ec 5}$$

Dicho cambio en la posición del plano principal es obviamente dependiente de la relación de distancias y poderes dióptricos de la córnea y el cristalino.

En el caso del sistema acomodativo de la cámara de un móvil típico, la amplitud de acomodación se corresponde únicamente con el cambio en la longitud axial de la misma.

1.2 TÉCNICAS PARA MEDIR LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

Existen test optométricos con los que podemos valorar la respuesta acomodativa de forma objetiva o subjetiva. Las medidas subjetivas son las medidas que obtenemos variando la demanda acomodativa y viendo si el paciente satisface dicha demanda a través de preguntas. Por otro lado, las medidas objetivas son directamente la medida de la cantidad de dioptrías que el sistema óptico puede añadir para cambiar su poder dióptrico. Debido a la profundidad de campo, los valores de las medidas subjetivas deberían ser mayores que las objetivas.

1.2.1 MEDIDAS SUBJETIVAS DE LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

Un defecto que tienen los dos métodos que vamos a comentar a continuación es que no tienen en cuenta la profundidad de campo. Además tienen la subjetividad del paciente que nos impide comprobar la veracidad del resultado al indicarnos la borrosidad percibida.

1.2.1 1. MÉTODO DE DONDERS

Evalúa la capacidad máxima de respuesta acomodativa mediante el acercamiento y alejamiento de un test. Se realiza de forma monocular y con la corrección refractiva habitual en VL. Colocamos el test a 0.4m y vamos acercándolo hasta que el paciente deje de verlo nítido (convertido en dioptrías, AA). Acercamos un poco más y retrocedemos hasta que la imagen vuelva a ser nítida (Acomodación de recobro, AR).

Tabla 1. AA media esperada en función de la edad en prueba de Donders.

EDAD (años)	AA(D)	EDAD(años)	AA(D)
10	14.00	45	3.50
15	12.00	50	2.50
20	10.00	55	1.75
30	7.00	65	0.50
35	5.50	70	0.20
40	4.50	75	0.00

El principal inconveniente de este test es que al aproximar el test al paciente, se produce un aumento del tamaño facilitando la visión aceptable sin añadir potencia dióptrica sobreestimándose en ocasiones la AA.

En la Tabla 1 se muestra la AA media según la edad con el método de Donders.

1.2.1.2. MÉTODO DE SHEARD O LENTES NEGATIVAS

Evalúa la máxima capacidad de respuesta acomodativa con la adición de lentes negativas. Se evalúa de forma monocular con el objeto típicamente a 0.4m. El paciente fija la visión en una línea inferior a su máxima AV. Se añaden lentes negativas en pasos de -0,25D y en intervalos de 5s (tiempo para enfoque), hasta que el paciente sea incapaz de enfocar la línea (AA). Entonces, añadimos -1D y vamos disminuyendo hasta que el paciente sea capaz de volver a enfocar (AR).

Tabla 2. AA media esperada en función de la edad en prueba de Sheard

EDAD (años)	AA(D)
15	11.00
20	9.00
25	7.50
30	5.00
35	5.00
40	3.75

La AA en este método es aprox. 2D menor que en el de Donders lo cual se estima que se debe tanto al mayor del tamaño angular del estímulo visual como a la posible ausencia de la componente de la respuesta acomodativa basada en proximidad.

En la Tabla 2 se muestra la AA media según la edad con el método de Sheard.

1.2.2 MEDIDAS OBJETIVAS DE LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

Pueden ayudar sobre todo en los casos donde el paciente no es participativo o cuando se quiere diferenciar de manera inequívoca cuanta cantidad de poder refractor ha sido añadido al sistema. La medida objetiva de amplitud de acomodación se realiza midiendo el cambio de la refracción del individuo cuando se le muestran objetos visuales de demanda acomodativa creciente.

1.2.2.1 AUTORREFRACTÓMETRO DE CAMPO ABIERTO: GRAND SEIKO WAM 5500

El Grand-Seiko WR-5100K es un autorrefractómetro de campo abierto capaz de registrar cambios de la esfera equivalente de la refracción a lo largo del tiempo y de modificar la distancia del estímulo visual a mostrar. La conjunción de ambas posibilidades permite la medida de la respuesta acomodativa de manera dinámica ⁽⁹⁾.

1.2.2.2 ABERRÓMETRO: ITRACE

El aberrómetro Itrace es capaz de medir el efecto de la respuesta acomodativa sobre el cambio en el error del frente de onda del paciente. Funciona con pupilas pequeñas y permite valorar el cambio de una de las componentes de Zernike incluida la del polinomio de desenfoque de orden 2 ⁽¹⁰⁾.

1.3 FACTORES PROBADOS QUE INFLUYEN EN EL VALOR DE LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

1.3.1 EDAD

A medida que avanzamos en edad, las fibras del cristalino van perdiendo elasticidad y por lo tanto produce un mal enfoque de la imagen en retina. Aparecen problemas a la hora del enfoque en la visión cercana.

Esta pérdida de la función visual se conoce comúnmente como presbicia o vista cansada. Es una condición de la visión humana inevitable que puede ser corregida de forma refractiva ⁽¹¹⁾.

La figura 4 muestra una gráfica de la AA frente a la edad.

Una forma de predecir la amplitud de acomodación de un individuo en función de la edad es a través de las fórmulas de Hofstetter. En ellas calculamos el valor aproximado de amplitud mínima, media y máxima de la acomodación en función de la edad.

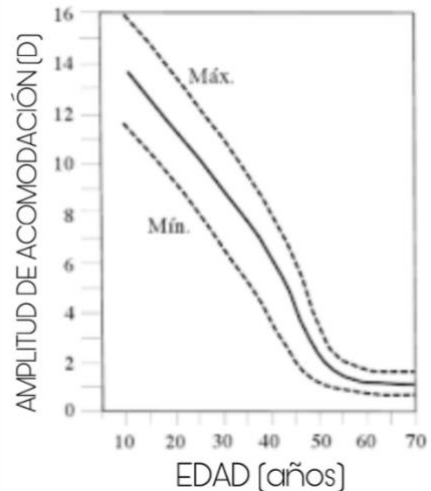


Figura 4. AA frente a edad

$$\begin{aligned} AA \text{ máxima} &= 25 - 0.4 * Edad && Ec. 8 \\ AA \text{ media} &= 18.3 - 0.3 * Edad && Ec. 9 \\ AA \text{ mínima} &= 15 - 0.25 * Edad && Ec. 10 \end{aligned}$$

1.3.2 AMETROPIA

Un estudio fue realizado a 80 universitarios entre 18 y 22 años divididos en grupos según su ametropía (miopes bajos, miopes altos, emétopes e hipermétropes) todos con su corrección refractiva y AV de unidad. Anisométropes y ambliopes fueron retirados del estudio. Fueron utilizados los métodos de Donders y Sheard para obtener un valor promedio de AA.

Se obtuvo la conclusión de que existe relación entre la demanda acomodativa y el defecto refractivo pero esta relación no es lineal. Como podemos ver en la Figura 5, los miopes bajos presentan la mayor amplitud de acomodación frente a los hipermétropes más altos ⁽¹²⁾.

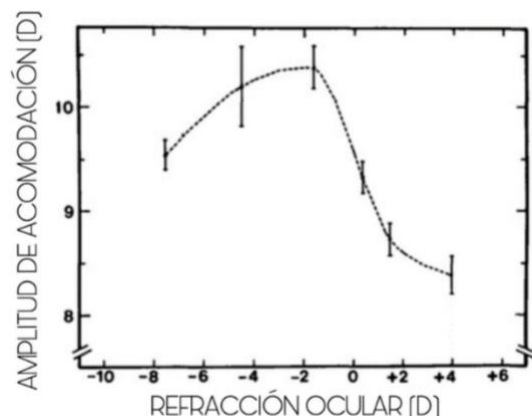


Figura 5. AA frente a refracción

La Figura 5 muestra la AA frente a la refracción ocular

1.3.3. SEXO

El estudio “Meta-Analysis of Sex Differences in Presbyopia” llevado a cabo en 2012, concluyó que aunque parecía que el sexo femenino presentaba antes presbicia, esto no era por razones fisiológicas sino a factores como la distancia de trabajo por preferir tareas más cercanas que los hombres. No se estudió si existían diferencias en la profundidad de campo, si influían las aberraciones de alto orden o el tamaño de la pupila⁽¹³⁾.

1.3.4. RAZA

Un estudio fue realizado en 2015 sobre la amplitud de acomodación en una muestra de población china y no china (Malasia e India) en las diferentes posiciones de mirada y se observó que existía una relación significativa mostrada en la tabla 3 entre acomodación y raza en las posiciones de mirada 20° y 40° hacia abajo donde la población china tiene una menor amplitud de acomodación⁽¹⁴⁾.

Tabla 3. Resultados estudio “Comparison of AA in different Vertical Viewing Angles”

Gaze	Race	Mean ± Std. Deviation (D)	p
Primary	Chinese	9.64 ± 1.86	0.19
	Non-Chinese	10.28 ± .83	
20° up	Chinese	9.26 ± 1.79	0.12
	Non-Chinese	10.12 ± 1.00	
20° down	Chinese	11.05 ± 1.83	0.00
	Non-Chinese	12.68 ± .94	
40° down	Chinese	11.72 ± 1.97	0.07
	Non-Chinese	13.06 ± 1.39	

Covell en 1950 realizó un estudio en el que comparó la AA en usuarios de raza blanca y negra y determinó que en edades tempranas no existía diferencias significativas pero conforme aumentaba la edad, los usuarios de raza blanca presentaba la presbicia más tarde que los de raza negra⁽¹⁵⁾.

1.3.5 USO DE FÁRMACOS

Fármacos como los analgésicos, antibacterianos, sedantes, tranquilizantes, antidepresivos, antiespasmódicos, diuréticos o antihistamínicos puede causar una disminución de la amplitud de acomodación. Esto ocurre mientras se está haciendo uso de estos medicamentos, es decir, por un tiempo determinado⁽¹⁶⁾.

1.3.6. PROFUNDIDAD DE CAMPO Y FACTORES ÓPTICOS

La profundidad de campo es el rango de distancia que puede variar un objeto manteniendo buena calidad de imagen en retina sin necesidad de activar la respuesta acomodativa. Este parámetro depende de factores como el diámetro pupilar, las condiciones del estímulo y las aberraciones ópticas.

1. DIÁMETRO PUPILAR

Un diámetro de pupila pequeño produce una mancha de desenfoque menor y por lo tanto reduce la necesidad de activar una respuesta acomodativa. En el caso de no activarse por la componente de borrosidad, son la proximal y la de convergencia las

que activan la respuesta acomodativa. Estudios han comprobado que con la edad, el tamaño de la profundidad de campo aumenta debido a la miosis senil ⁽¹⁷⁾.

Un ejemplo en la práctica sería la midriasis producida en la oscuridad. Nuestra pupila aumenta el diámetro para permitir mayor paso de luz, pero vemos menos enfocado el fondo (a mayor diámetro de pupila, menor es la profundidad de campo). La dilatación de la pupila reduce la respuesta acomodativa ⁽¹⁸⁾.

2. ESTÍMULO

- CONTRASTE:

Debido a la interacción del desenfoque con los detalles del fondo y de la figura, con estímulos visuales con detalles de alto contraste (figuras negras sobre fondo blanco), la exactitud de la respuesta acomodativa no resulta tan crítica para alcanzar buena calidad de imagen como para estímulos visuales con detalles de bajo contraste (figuras grises claro sobre fondo blanco).

- ILUMINACIÓN:

Con una iluminación más intensa del estímulo, la respuesta acomodativa es mayor frente a una iluminación baja. Además, surge un error en las medidas de amplitud de acomodación a medida que disminuye la iluminación. A una mayor iluminación, menor será el tamaño de la pupila y por lo tanto mayor será la profundidad de campo ⁽¹¹⁾.

Además en el estudio de “The effect of retinal illumination on the subjective amplitude of accommodation” se demostró que la disminución de la AA en función de la iluminación no se debía únicamente a la reducción de la profundidad de campo sino también a la disminución de la iluminancia retiniana causada que produce una serie de cambios neuronales. Además se vio que un ojo joven es capaz de producir una mayor iluminación retiniana que un ojo presbita para un objeto de igual luminancia ⁽¹⁹⁾.

- TAMAÑO ANGULAR:

Según el estudio “Detecting Binocular Vision Anomalies in Primary Eyecare Practice” la medida de la amplitud de acomodación subjetiva puede verse incrementada debido al efecto de la profundidad de campo. Conforme el tamaño angular aumenta, el efecto del desenfoque sobre el grado de borrosidad de un objeto es cada vez menor lo que posibilita que el paciente sea capaz de seguir distinguiendo el optotipo a pesar de no tener una respuesta acomodativa ante él ⁽²⁰⁾.

3. ABERRACIONES ÓPTICAS DE ALTO ORDEN

El estudio “Impact of higher-order aberrations on depth of field” se encargó de medir la profundidad de campo en función de sus aberraciones de alto orden en una serie de individuos y posteriormente, la medida de la profundidad de campo en los mismos individuos con la diferencia de que en la segunda medida, se corrigieron esas aberraciones. Los resultados obtenidos fueron que la profundidad de campo en la que no se corrigieron las aberraciones, era un 21% mayor que en las que sí que fueron corregidas ⁽²¹⁾.

1.4. FACTORES PROBABLES QUE INFLUYEN EN LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

1.4.1. GEOMETRÍA OCULAR

Bajo la suposición de que dos cristalinios de la misma edad son capaces de aumentar el mismo número de dioptrías, podrían existir casos en los que individuos de la misma edad no manifiestan las mismas dioptrías de AA. Esto podría ser debido a dos factores suponiendo que la geometría del globo ocular influye en el valor de la AA:

1.4.1.1 FACTORES ÓPTICOS

- LONGITUD AXIAL:

Observando la ecuación número 5, podemos concluir que cuanto mayor sea la constante de la longitud axial, menor será la diferencia entre las dos vergencias imagen y por lo tanto esperamos encontrar AA mayores.

$$AA = L'2 - L'1 = \frac{1.336}{la-V1H'2} - \frac{1.336}{la-V1H'1}$$

- TAMAÑO DE LA PROFUNDIDAD ACUOSA (AQD):

El valor del poder refractor de la situación acomodativa, es decir, F'2 se obtiene de la siguiente expresión. Donde V2H' es la distancia entre vértice posterior de córnea a plano principal imagen de la córnea y VH3 es la distancia de vértice anterior de cristalino a plano principal objeto del cristalino.

$$F'2 = F'córnea + F'cristalino - \frac{AQD+VH3-V2H'}{naq} * F'córnea * F'cristalino \quad Ec. 11$$

Por lo que podemos asumir que el valor del poder refractor de un ojo acomodado dependerá del valor dióptrico que posea el cristalino, la córnea y de la distancia de AQD respecto a los planos principales.

Por la expresión podría concluirse que para una mayor AQD, obtendremos una menor respuesta acomodativa.

1.4.1.2 FACTORES BIOMECÁNICOS

En el estudio Hyperelastic modelling of the crystalline lens: Accommodation and presbyopia” se diseñó un cristalino de 30 años en estado acomodado y se estudió cual era la fuerza zonular que aplicaba al cristalino a la hora de acomodar. Suponiendo que esa fuerza es constante, se construyeron otros dos modelos de 40 y 50 años y se observó que aplicando la misma cantidad de fuerza, no llegaba a acomodar la misma cantidad que el de 30 años. Se llegó a la conclusión de que al volverse más rígida la corteza y el núcleo, el valor constante de las fuerzas zonulares no llega a la acomodación total, es decir, que la acomodación disminuye ⁽²²⁾.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La hipótesis es que existe una relación de dependencia de la geometría del globo ocular sobre la amplitud de acomodación. Para validar o refutar la hipótesis, planteamos los siguientes dos objetivos:

1. Estudiar y realizar diferentes métodos de amplitud de acomodación subjetiva.
2. Realización de un estudio de medidas de geometría ocular en un grupo de pacientes no presbítas para un posterior análisis de dependencia sobre la amplitud de acomodación con uno de los métodos de medida de amplitud de acomodación.

3. MÉTODOS

3.1. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y PROTOCOLO DE MEDIDA

Se estudió una muestra de 36 individuos (28 mujeres y 8 varones), sin antecedentes oculares personales, no presbítas. Se evaluó ojo dominante (36 ojos) siendo 24 ojos derechos y 12 ojos izquierdos. La edad de los sujetos estaba comprendida entre 18 y 23 años siendo una media y una desviación estándar de $19,91 \pm 2,02$ años.

Las medidas fueron realizadas en un periodo de 3 semanas en grupos de 12 personas en periodo lectivo matinal.

Los criterios de exclusión del estudio fueron:

- Antecedentes oculares personales binoculares que requieran terapia visual
- AV menor de 0.8 con su mejor corrección óptica medida el mismo día de las pruebas
- Estereopsis mayor de 55"

Las condiciones de la realización de las pruebas fueron:

El método de Donders fue realizado con el carril acomodativo 3.50D (fabricado por Eyefabs®) que nos permite seguir manteniendo una iluminación constante mientras se produce la medida de la amplitud de acomodación de forma dinámica y con un resultado preciso. El test de SHEARD fue realizado a una distancia de -0.4m con la ayuda de un foróptero y la adición de lentes negativas.

3.2 MEDIDAS DE LOS PARÁMETROS DE GEOMETRÍA OCULAR

Fueron utilizados los siguientes aparatos: IOLMaster 500 (Zeiss) para la obtención de longitud axial, córnea anterior y ACD, Galilei G2X (Zeimer) para las medidas de forma y espesor de la córnea anterior y posterior, AQD, tamaño de la pupila y por último el Itrace (Tracey Technologies) como aberrómetro proporcionando las aberrometrías oculares y la refracción de

cada individuo. Los radios del cristalino fueron estimados a partir del resto de los parámetros biométricos de una manera análoga al trabajo de Bennet et al⁽²³⁾.

3.3. MEDIDAS DE AMPLITUD DE ACOMODACIÓN SUBJETIVA

3.3.1 MÉTODO DE DONDERS

El método de Donders fue realizado con un instrumento de la marca Eyefabs® que nos permite seguir la regla del Push up/Push down y nos proporciona la medida del valor de amplitud de acomodación de manera directa. Se realizaron 3 medidas en el ojo dominante con el objeto de máximo contraste y 3 medidas del ojo dominante con el objeto de menor contraste. Se realizó con su la corrección óptica en gafa en el caso de los sujetos amétropes corregidos, por lo que a partir del punto remoto y punto próximo compensado obtuvimos los mismos parámetros sin compensar para ver así el valor de la AA desde el vértice corneal y no desde el plano de la gafa. A los pacientes hipermétropes no compensados se les incluyó en su AA el valor de refracción medido por el aberrómetro. La luminancia del estímulo visual fue constante en todas las medidas. Una vez obtenidos los valores, se obtuvo una media y una desviación estándar del valor de AA con alto y bajo contraste.

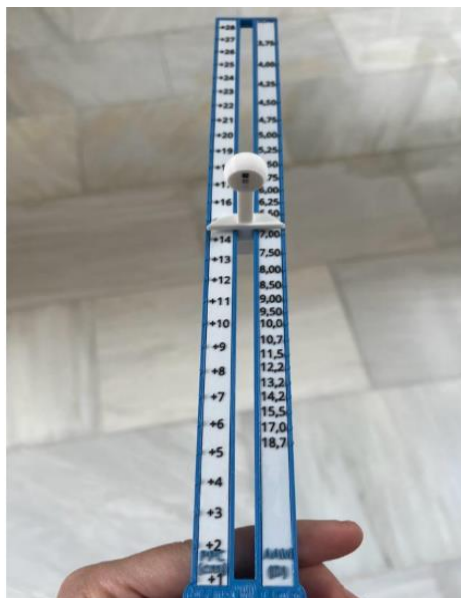


Figura 6. Instrumento de medida en el método de Donders



Figura 7. Diferentes contrastes en el instrumento de medida en el método de Donders

3.3.2. MÉTODO DE SHEARD

Las medidas del método de lente negativa fueron realizadas en el ojo dominante y un total de 3. Una vez obtenidos los valores, se calculó una media y una desviación estándar de los valores de AA. Las medidas se realizaron con la corrección refractiva en gafa en el caso de los pacientes que la llevaran. Al igual que en el caso anterior, corregimos los valores de AA en pacientes amétropes corregidos y en pacientes hipermétropes no corregidos. En la segunda semana se produjo una avería del foróptero que nos forzó a cambiarlo y en consecuencia la iluminación fue diferente en los pacientes restantes.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la comparación entre las variables cuantitativas se realizaron test de normalidad para comprobar si las medidas de AA siguen una distribución normal. De las 3 variables (AA Donders alto y bajo contraste y Sheard) solo Sheard siguió una distribución normal. Realizamos el test no paramétrico de Wilcoxon para comparar muestras pareadas.

Será la AA de Donders bajo contraste la que compararemos con los valores de geometría ocular ya que entre Donders con bajo contraste y Sheard no existe diferencia significativa y por lo tanto pueden ser intercambiables. Además, con el método de Sheard se han podido ver afectados los valores por el cambio de iluminación y la avería del foróptero, por lo que es más preciso el valor de AA con el instrumento utilizado.

Al evaluar varias comparaciones, mayor es la probabilidad de que exista un falso positivo por lo que realizamos la corrección de Bonferroni a partir de un nivel de significancia 0.05 entre el número de comparaciones realizadas ($\alpha^*=\alpha/n$).

4. RESULTADOS

4.1. MEDIA DE LOS VALORES OBTENIDOS EN CADA MÉTODO

En la tabla 4 mostramos la media de cada método con su respectivo p-valor obtenido en el test de normalidad y su desviación estándar (sd). Donders con alto contraste presenta una media y una desviación estándar de 11.36 ± 2.60 D, Donders con bajo contraste es de 8.66 ± 1.95 D y Sheard es de 9.12 ± 1.98 D. Además, hemos realizado una media de la desviación estándar de cada método que va acompañada de su propia desviación estándar.

Tabla 4. Valor medio de cada método con su respectivo p-valor y su desviación estándar. Además presenta la media de la sd de cada método con su sd.

TEST	MEDIA VALORES \pm SD (D)	p-valor	MEDIA sd \pm SD (D)
AA DONDERS alto contraste	11.36 ± 2.60	0.05	0.45 ± 0.48
AA DONDERS bajo contraste	8.66 ± 1.95	0.047	0.42 ± 0.37
AA SHEARD	9.12 ± 1.98	0.087	0.31 ± 0.23

4.2. COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Para considerar que una sigue una variable sigue una distribución normal, el p-valor debe ser mayor de 0,05. Observando la Tabla 4, vemos que solo Sheard sigue una distribución normal con un valor de 0.087. Donders alto contraste con un valor de 0.05 y bajo contraste con un valor de 0.047 por lo contrario no siguen una distribución normal.

Dos de las tres variables no superaron el test de normalidad, por lo que se realizó el test no paramétrico de Wilcoxon para comparar el valor de media y desviación estándar de los métodos entre sí. Los resultados de los test se muestran en la tabla 5

Al comparar varias variables entre sí, aplicamos la corrección de Bonferroni para controlar la probabilidad de error ($\alpha^*=0.05/3=0.016$). Esta corrección nos proporciona un nuevo p-valor y

por lo tanto para que las comparaciones tengan una diferencia significativa deben ser menores de 0.016.

Tabla 5. p-valor entre los diferentes tipos de métodos de AA

COMPARACIÓN	p-valor
AA DONDERS ALTO CONTRASTE VS AA DONDERS BAJO CONTRASTE	p<0.001
AA DONDERS ALTO CONTRASTE VS AA SHEARD	p<0.001
AA DONDERS BAJO CONTRASTE VS AA SHEARD	P=0.140

Observando la tabla 5 vemos que existe diferencia significativa entre AA Donders alto y bajo contraste ($p < 0.001$) y entre AA Donders alto contraste y Sheard ($p < 0.001$). Por el contrario, no existe diferencia significativa entre AA Donders de bajo contraste y Sheard ($p = 0.140$).

4.2. RELACIÓN ENTRE AMPLITUD DE ACOMODACIÓN Y VARIABLE DE LA EDAD

A continuación, representamos gráficamente cada método de medida de amplitud de acomodación frente a la AA esperada según Hofstetter en cuanto a la edad. En la figura 8 mostramos AA Donders alto contraste, en la figura 9 vemos AA Donders bajo contraste y por último, en la figura 10 representamos Sheard.

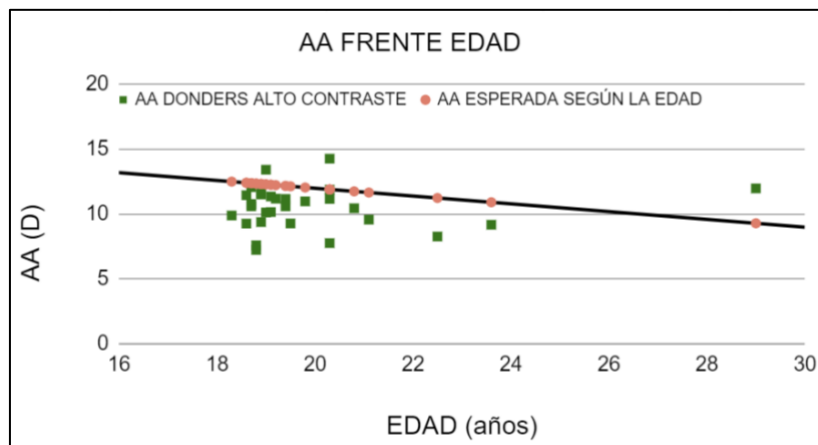


Figura 8. Valor de AA Donders alto contraste frente AA esperada por ecuación de Hofstetter

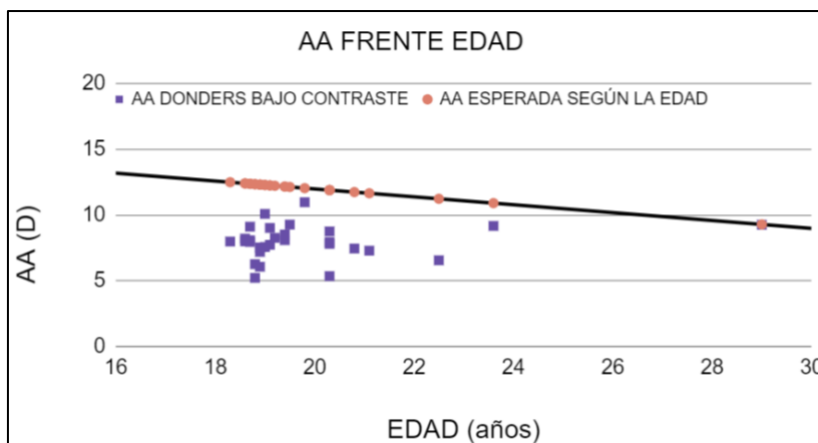


Figura 9. Valor de AA Donders bajo contraste frente AA esperada por ecuación de Hofstetter

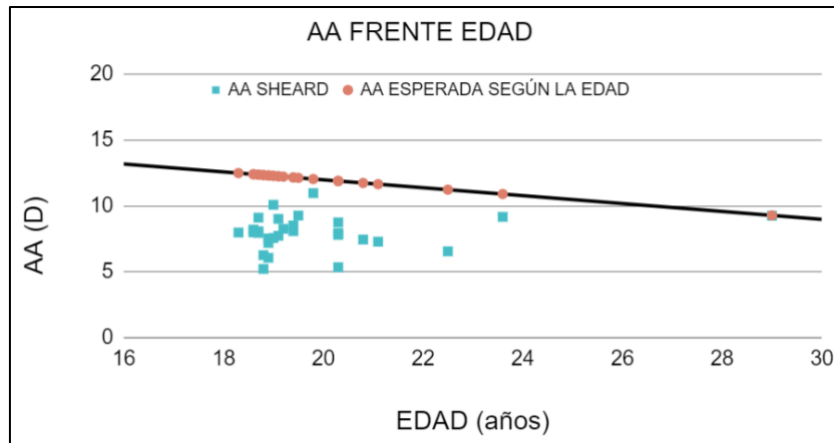


Figura 10. Valor de AA Sheard frente AA esperada por ecuación de Hofstetter

Entre la comparación de Sheard y Donders de bajo contraste hemos obtenido que no existe diferencia significativa y por lo tanto pueden ser intercambiables. En base a dicha igualdad, se tomaron los resultados del Donders de bajo contraste a la hora del estudio de la dependencia de la AA con la geometría ocular.

4.4. RELACIÓN ENTRE AMPLITUD DE ACOMODACIÓN Y GEOMETRÍA OCULAR

Los parámetros estudiados de geometría ocular se muestran en la tabla 8 con sus respectivos p-valor y R^2 . Estudiamos si existe una dependencia lineal estadísticamente significativa comparando cada parámetro de geometría ocular con la AA del método de Donders con bajo contraste.

Tabla 6. Parámetros estudiados con sus respectivos p-valor y R^2

PARÁMETRO	R^2	P-VALOR
LONGITUD AXIAL	0.0056	0.6786
R1 CÓRNEA	0.0181	0.4559
R2 CÓRNEA	0.0988	0.7970
ESPEJOR CORNEAL	0.0004	0.9171
ACD	0.0141	0.5109
AQD	0.0702	0.1396
PROFUNDIDAD DE VÍTREO	0.0032	0.7557
R1 CRISTALINO	0.0521	0.2091
R2 CRISTALINO	0.0332	0.3185
ESPEJOR CRISTALINO	0.0283	0.0358
PODER REFRACTOR CÓRNEA	0.0128	0.5306
PODER REFRACTOR CRISTALINO	0.2560	0.3813
PODER REFRACTOR OJO	0.008	0.6165

Representamos gráficamente la AA frente a los valores de geometría ocular que disponemos. Se evalúan a través de una regresión lineal donde la gráfica nos ofrecerá una línea de tendencia que se ajuste a los valores que hemos obtenido.

Si $R^2 > 0.7$, podemos decir que los datos se ajustan de forma correcta a la recta, pero para dar por válido este test, el p-valor debe ser menor de 0.05.

Como hemos visto en el punto 1.4.1., los valores de geometría ocular que podrían influirnos en el valor de la acomodación son la longitud axial y la ACD. A continuación, mostramos las gráficas que nos representan la AA frente a ACD (Figura 11), longitud axial (Figura 12), poder refracto del cristalino (Figura 13) y el poder refractor del ojo (Figura 14). El resto de las gráficas donde se enfrentan otros valores de geometría ocular frente a AA se encuentran en el ANEXO I.

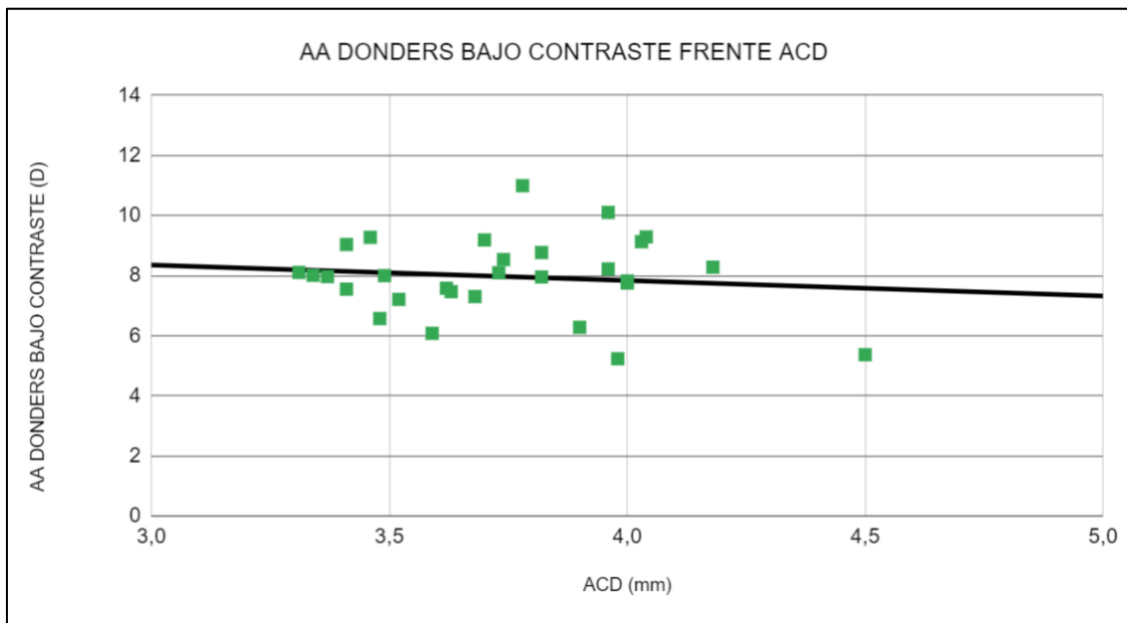


Figura 11. ACD frente AA Donders bajo contraste

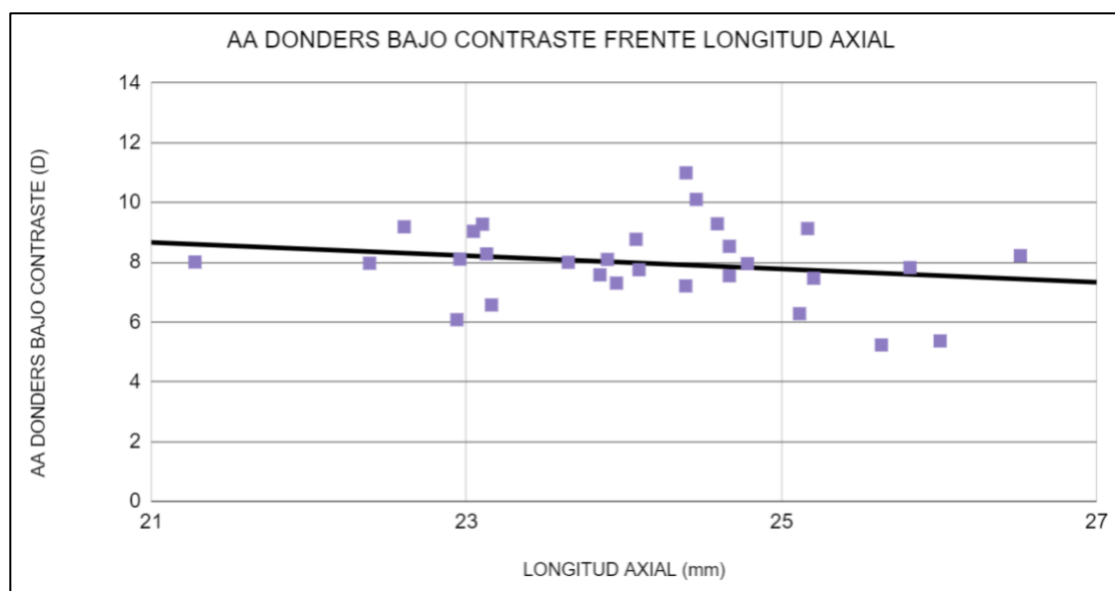


Figura 12. Longitud axial frente AA Donders bajo contraste

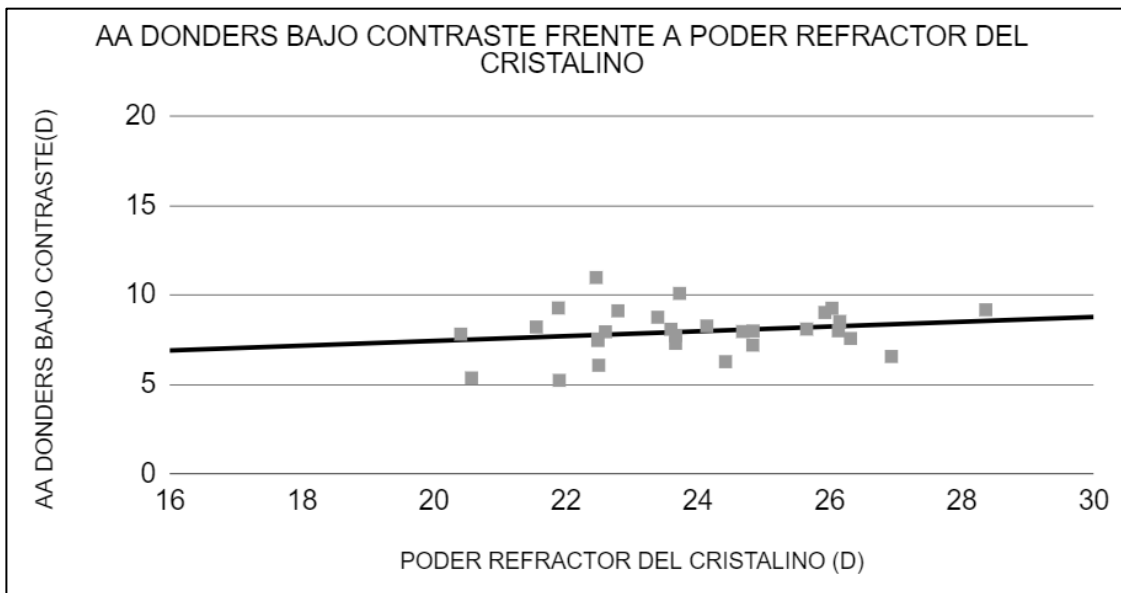


Figura 13. Poder refractor del cristalino frente AA Donders bajo contraste

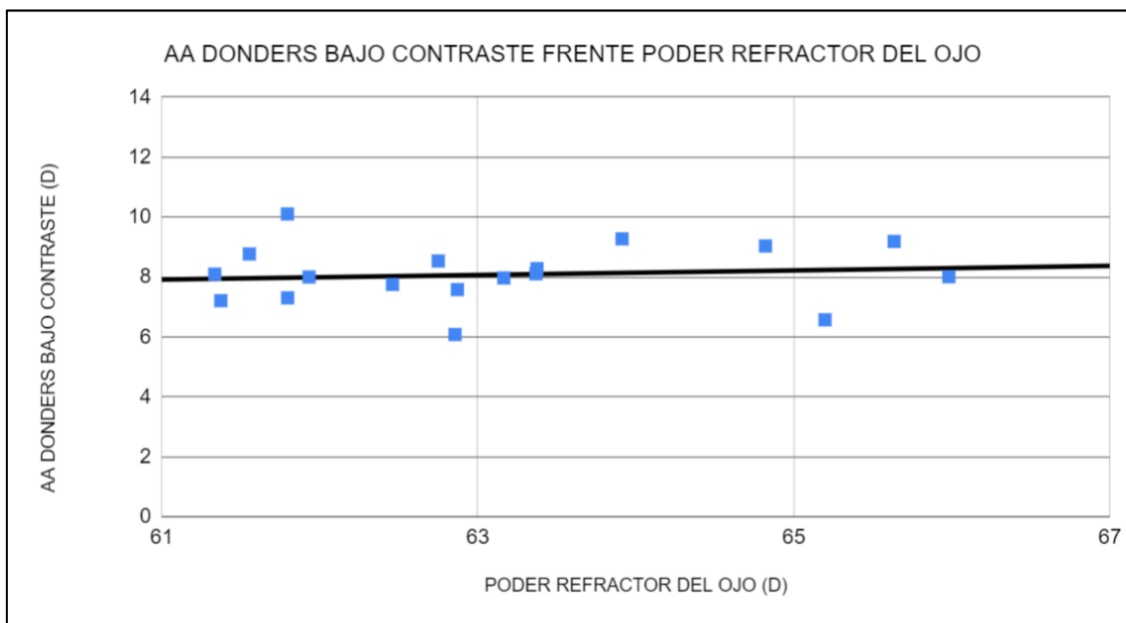


Figura 14. Poder refractor del ojo frente AA Donders bajo contraste

5. DISCUSIÓN

Los valores de amplitud de acomodación considerados normales se rigen comúnmente por las fórmulas de Hofstetter, las cuales se basan en la edad del individuo y por lo tanto supone que dos cristalinios de la misma edad son capaces de añadir el mismo número de dioptrías, pero existen casos en los que dos individuos de la misma edad no manifiestan la misma respuesta acomodativa. Dividimos la discusión según los objetivos.

5.1. COMPARACIÓN DEL VALOR DE AA CON VALORES NORMALES Y ENTRE LOS DIFERENTES MÉTODOS

En este estudio la AA fue medida de 3 formas diferentes: método de Donders con alto contraste, método de Donders con bajo contraste y método de Sheard. Los valores medios con su desviación se muestran en la tabla 4

La Tabla 1 muestran los valores de AA media según la edad con el método de Donders, mientras que la Tabla 2 muestra los valores de AA media según la edad con el método de Sheard. Comparando los valores de dichas tablas con los obtenidos en este estudio, los segundos son ligeramente mayores en el caso de Sheard con una diferencia de 0.12D y en Donders una diferencia de 1.36D. En el caso de Donders, es el de alto contraste el que comparamos ya que los valores normales están medidos con un contraste alto. Estas tablas son orientativas y según el estudio el valor de normalidad puede variar ya que no tienen en cuenta parámetros como la iluminación o el contraste.

Tanto el método de Sheard como el de Donders hacen uso de la acomodación basada en la borrosidad. Sin embargo, por diseño, el método de Donders presenta de manera natural una activación de la respuesta acomodativa proximal y un tamaño angular variable creciente para los detalles del objeto observado. En lo que respecta a Sheard, la acomodación proximal no está presente ya que la demanda acomodativa inducida por las lentes negativas no va emparejada con signos de aparente acercamiento del estímulo observado. Es habitual encontrar que debido a la nula implicación de la componente proximal de la respuesta acomodativa en el método de Sheard y al aumento angular del objeto observado en el test de Donders al ser aproximado, los valores de AA obtenidos mediante Sheard sean entre 1.5 y 2D menores que con Donders. Observando la figura 10, vemos que lo obtenido concuerda con esa tendencia.

Otro parámetro a tener en cuenta en los diferentes métodos es el contraste. Utilizando el mismo método con la diferencia de la variación del contraste, obtenemos una diferencia entre los valores medios de 2,7D. Con un contraste alto, aunque la imagen se encuentre ligeramente desenfocada, el sistema visual humano es capaz de identificar el objeto. Nuestro experimento nos ha demostrado hasta qué punto un estímulo visual con contraste bajo nos proporciona un valor de AA menor debido a la dificultad para identificar un objeto de bajo contraste desenfocado. A pesar del bajo contraste, es capaz de estimular la respuesta acomodativa pero la imagen desenfocada percibida es más difícil de reconocer como un carácter por el paciente que con el contraste alto debido a la diferenciación de colores.

Para ver si existen diferencias entre los tres métodos de medida hemos utilizado el test no paramétrico de Wilcoxon concluyendo que únicamente podrían ser intercambiables entre sí (por no haber diferencia significativa entre ellos) Sheard y Donders de bajo contraste.

5.2. DEPENDENCIA DE LA GEOMETRÍA OCULAR EN LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

En el presente estudio se pretende valorar si existe una dependencia de la geometría ocular sobre la amplitud de acomodación centrándonos especialmente en los valores de ACD, longitud axial, poder refractor de cristalino y poder refractor total del ojo. No hemos encontrado estudios que analicen esta dependencia.

Nuestro estudio ha limitado la muestra a pacientes del primer año de grado universitario comprendidos entre 18 y 23 años. Un total de 8 individuos fueron descartados por problemas de estereopsis por lo que se trata de una muestra de 36 pacientes y por lo tanto no podemos tomar estos resultados de una forma generalizada al tratarse de una muestra pequeña de la población. No ha sido valorado si existe algún problema binocular no estrábico acomodativo por lo que los valores podrían verse afectados. Además, la forma de medida de la amplitud de acomodación ha sido de forma subjetiva y no podemos controlar la capacidad que posee el paciente a la hora de ser más o menos susceptible con la borrosidad.

Evaluamos la amplitud de acomodación con el valor de ruptura por ser más fiable. El valor de recobro suele ser menor que podría ser debido a un espasmo acomodativo producido por haber llevado al límite al sistema acomodativo. Esto, dificulta la relajación de la acomodación a la hora de recuperar la visión haptópica. En cuanto a la repetibilidad de las pruebas, hay pocas investigaciones y aunque sí que se ha observado que se obtienen valores diferentes, la desviación típica es muy próxima a cero en la mayoría de los casos.

Como hemos visto en el punto 1.4.1.1. acerca de los factores ópticos que son probables que afecten a la amplitud de acomodación, los parámetros de geometría ocular que pueden afectarnos en los valores de amplitud de acomodación son la longitud axial y la amplitud de cámara anterior.

La razón por la que dos ojos de la misma edad pueden producir una respuesta acomodativa diferente puede deberse a dos razones:

- TAMAÑO DEL GLOBO OCULAR:

Aquí juega su papel la longitud axial. Un ojo más largo, deberá aportar una cantidad de dioptrías menor a su sistema óptico para formar imagen en retina.

En un sistema óptico, una lente más potente convergerá los rayos con una focal más cercana, es decir, más cerca de la segunda superficie. Esta idea proyectada en el ojo humano, el sistema óptico del ojo deberá ser mayor cuanto menor sea la longitud axial.

A pesar de que el efecto no es estadísticamente significativo, los resultados obtenidos siguiendo la tendencia de la regresión lineal y que se muestran en la figura 10 coinciden con esta idea: con valores de longitud axial menores, obtenemos respuestas acomodativas mayores.

Como hemos visto en la ecuación 11, una mayor ACD nos proporcionará valores de amplitud de acomodación menores. Para un valor dióptrico de los elementos refractivos, una mayor ACD proporcionará un sistema óptico óptimo que un sistema con una distancia entre los elementos menor.

Los resultados que hemos obtenido en este estudio concuerdan con esta idea y quedan reflejados en la figura 9. Sin embargo, como en el caso anterior, el efecto no ha sido estadísticamente significativo para nuestra muestra.

Como limitaciones del estudio podemos destacar que no hemos tenido una distribución de longitud axial favorable ya que existen varias muestras en torno a 24mm y la cantidad de los

casos en los que son menores de 23mm y mayores de 25mm son escasos por lo que no nos permiten que podamos encontrar de forma segura la influencia de la longitud axial sobre la amplitud de acomodación. Por otra parte también podría suceder que la hipótesis de partida: "Cristalinos de la misma edad son capaces de acomodar las mismas dioptrías", sea falsa. El tamaño de los componentes refractivos del globo ocular no se escala de manera regular con la longitud axial, debido a esto, el efecto óptico a observar podría estar parcialmente oculto por una diferenciación anatómica de los cristalinos existentes para diferentes longitudes axiales. Sin embargo, el efecto no ha sido estadísticamente significativo para nuestra muestra existiendo aquí los motivos que han sido expuestos en el apartado anterior respecto a la distancia entre los dos elementos refractores.

5.3. FACTORES PROBABLES Y PROBADOS QUE AFECTAN A LA AMPLITUD DE ACOMODACIÓN

Como factores probables, hemos analizado en el punto anterior aquellos considerados ópticos. No podemos asegurar por las limitaciones del estudio que si existe una afectación de la amplitud de acomodación causada por la geometría a pesar de si ser observado que sigue una tendencia que podría confirmar la hipótesis.

Como factores probados, podemos confirmar que la edad si afecta en los valores de amplitud de acomodación. Como vemos en las figuras 8, 9 y 10 donde comparamos los diferentes métodos de amplitud de acomodación en relación con la edad vemos que en los 3 estudios gráficos la tendencia es decreciente conforme aumentamos la edad. Sin embargo, si nos fijamos en la figura 15 donde se muestra el espesor del cristalino frente a la AA de Donders bajo contraste (teniendo este test un valor de coeficiente de correlación casi estadísticamente significativo) vemos que un mayor espesor de cristalino tiene tendencia a ofrecer respuestas acomodativas mayores. Según el estudio "Age-related changes of lens thickness and density in different age phases", el grosor del cristalino aumenta con la edad y por lo tanto se manifiesta que incluso un parámetro probado como la edad podemos encontrar que nuestro experimento no lo confirme siendo nuestra muestra de edad escasa⁽²⁴⁾.

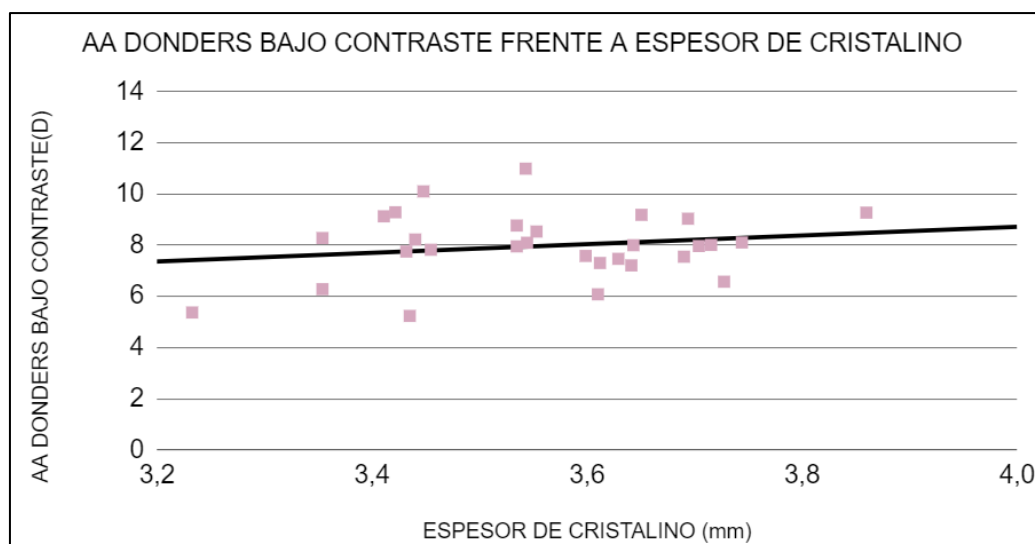


Figura 15. Espesor de cristalino frente AA Donders bajo contraste

6. CONCLUSIONES

- La medida de Donders de alto contraste ha resultado ser significativamente mayor que las medidas obtenidas con bajo contraste por el mismo método.
- Las diferencias entre las medidas de amplitud de acomodación de Donders de bajo contraste y Sheard no son estadísticamente significativas.
- En cuanto a la medida de la geometría, en el caso de la longitud axial y de la ACD, se ha observado la tendencia esperada a pesar de que los test estadísticos realizados no han confirmado nuestra hipótesis. La tendencia que nos ofrece la longitud axial es que se obtienen valores de amplitud de acomodación mayores en valores de LA pequeños mientras que en caso de ACD hemos obtenido que se obtienen valores mayores de amplitud de acomodación para los casos de ACD pequeños.
- Las limitaciones del estudio nos invitan a no poder afirmar las hipótesis. Como futuro trabajo podría realizarse con una muestra más numerosa y diversa y la realización de las medidas de amplitud de acomodación de manera objetiva.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Sandra M. Medrano M. *Métodos de diagnóstico del estado acomodativo. Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular.* 10:87-96
2. León A, Estrada JM, Rosenfield M. *Age and the amplitude of accommodation measured using dynamic retinoscopy. Ophthalmic Physiol Opt.* 2016 Jan;36(1):5-12. doi: 10.1111/opo.12244. Epub 2015 Sep 9. Erratum in: *Ophthalmic Physiol Opt.* 2016 Jul;36(4):512. PMID: 26353999.
3. *Componentes de la acomodación. Issuu.* 2019. Disponible en: https://issuu.com/acaicedomesa/docs/cinco_componentes_de_la_acomodaci_n
4. *Neurofisiología de la acomodación. (2019, September 23). Issuu.* https://issuu.com/ygranda90107/docs/neurofisiolog_a__de_la_acomodaci_n__1_
5. Luesma Bartolomé MJ. *Anatomía e Histología [apuntes]. 1º Curso Grado en Óptica y Optometría 2019-2020. Universidad de Zaragoza, Facultad de Ciencias.*
6. Dubbelman, M., Van der Heijde, GL, Weeber, HA y Vrensen, GFJM (2003). *Cambios en la estructura interna del cristalino humano con la edad y la acomodación. Investigación de la visión* , 43 (22), 2363–2375. [https://doi.org/10.1016/s0042-6989\(03\)00428-0](https://doi.org/10.1016/s0042-6989(03)00428-0)
7. Mallen, EAH, Kashyap, P. y Hampson, KM (2006). *Transient Axial Length Change during the Accommodation Response in Young Adults Oftalmología de investigación y ciencia visual*, 47 (3), 1251–1254. <https://doi.org/10.1167/iovs.05-1086>
8. Domínguez-Vicent, Alberto; Monsálvez-Romín, Daniel; Albarrán-Diego, César; Sanchis-Jurado, Vicent; Montés-Micó, Robert (2014). *Changes in anterior chamber eye during accommodation as assessed using a Dual Scheimpflug system. Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 77(4), -. doi:10.5935/0004-2749.20140062
9. WIN-HALL, DOROTHY M.; OSTRIN, LISA A.; KASTHURIRANGAN, SANJEEV; GLASSER, ADRIAN (2007). *Objective Accommodation Measurement with the Grand Seiko and Hartinger Coincidence Refractometer. Optometry and Vision Science*, 84(9), 879–887.
10. Win-Hall DM, Glasser A. *Objective accommodation measurements in prepresbyopic eyes using an autorefractor and an aberrometer. J Cataract Refract Surg.* 2008 May;34(5):774-84. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.12.033. PMID: 18471632; PMCID: PMC2917976. 3
11. Belen Díez-Feijóo Arias. *Estudio del comportamiento de la acomodación en una población sin patología oftálmica.* 1993. <http://webs.ucm.es/BUCM/tesis/19911996/D/0/AD0078501.pdf>
12. McBrien NA, Millodot M. *Amplitude of accommodation and refractive error. Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986 Jul;27(7):1187-90. PMID: 3721800.
13. Adam Hickenbotham; Austin Roorda; Craig Steinmaus; Adrian Glasser *Meta-Analysis of Sex Differences in Presbyopia. Investigative Ophthalmology & Visual Science* May 2012, Vol.53, 3215-3220. doi:<https://doi.org/10.1167/iovs.12-9791>

14. Majumder C, Ying LS. Comparison of amplitude of accommodation in different vertical viewing angles. *Optom Vis Perf* 2015;3(5):276-80
15. Covell LL. Presbyopia: comparative observations of white and Black populations. *Am J Ophthalmol.* 1950; 33(8): 1275-6. 35. Hofstetter HW
16. Ostrin, L. A., & Glasser, A. (2007). Effects of pharmacologically manipulated amplitude and starting point on edinger-Westphal–stimulated accommodative dynamics in rhesus monkeys. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 48(1), 313. <https://doi.org/10.1167/iovs.06-0380>
17. Lara F, Bernal-Molina P, Fernández-Sánchez V, López-Gil N. Changes in the objective amplitude of accommodation with pupil size. *Optom Vis Sci.* 2014 Oct;91(10):1215-20. doi: 10.1097/OPX.0000000000000383. PMID: 25207484.
18. Mazow, ML, Francia, TD, Finkleman, S., Frank, J. y Jenkins, P. (1989). Acute accommodative and convergence insufficiency. *Transactions of the American Ophthalmological Society* , 87 , 158–168; discusión 168-73.
19. Lara F, Del Águila-Carrasco AJ, Marín-Franch I, Riquelme-Nicolás R, López-Gil N. The Effect of Retinal Illuminance on the Subjective Amplitude of Accommodation. *Optom Vis Sci.* 2020 Aug;97(8):641-647. doi: 10.1097/OPX.0000000000001544. PMID: 32833407.
20. Evans, B. J. W. (2022). Detecting binocular vision anomalies in primary eyecare practice. In *Pickwell's Binocular Vision Anomalies* (pp. 11–44). Elsevier.
21. Juan F. Zapata-Díaz, Iván Marín-Franch, Hema Radhakrishnan, Norberto López-Gil; Impact of higher-order aberrations on depth-of-field. *Journal of Vision* 2018;18(12):5.
22. Lanchares, E., Navarro, R. y Calvo, B. (2012). Modelado hiperelástico del cristalino: Acomodación y presbicia. *Revista de Optometría* , 5 (3), 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.optom.2012.05.006>
23. 18. Bennett A. G., "A method of determining the equivalent powers of the eye and its crystalline lens without resort to phakometry," *Ophthalmic Physiol. Opt.* 8(1), 53–59 (1988). 10.1016/0275-5408(88)90089-0
24. Wang, Y.-H., Department of Ophthalmology, Peking University Third Hospital, Beijing 10091, China; Beijing Key Laboratory of Restoration of Damaged Ocular Nerve, Peking University Third Hospital, Beijing 10091, China, Li, X.-M., & Department of Ophthalmology, Peking University Third Hospital, Beijing 10091, China; Beijing Key Laboratory of Restoration of Damaged Ocular Nerve, Peking University Third Hospital, Beijing 10091, China. (2022). Age-related changes of lens thickness and density in different age phases. *International Journal of Ophthalmology*, 15(10), 1591–1597. <https://doi.org/10.18240/ijo.2022.10.05>

8. ANEXOS

8.1. ANEXO I

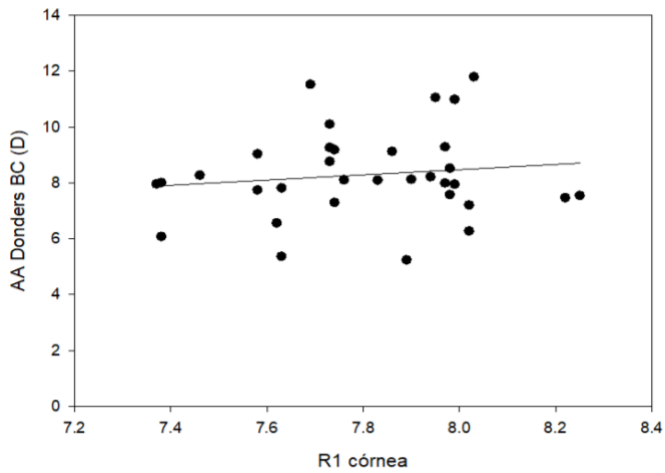


Figura 13 .R1 córnea frente AA Donders bajo contraste

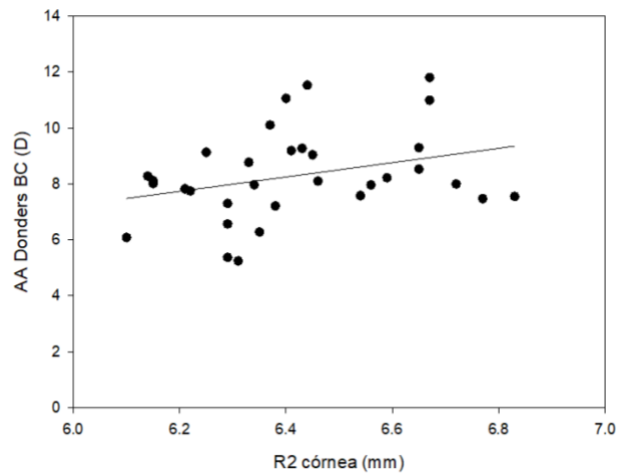


Figura 14. R2 córnea frente AA Donders bajo contraste

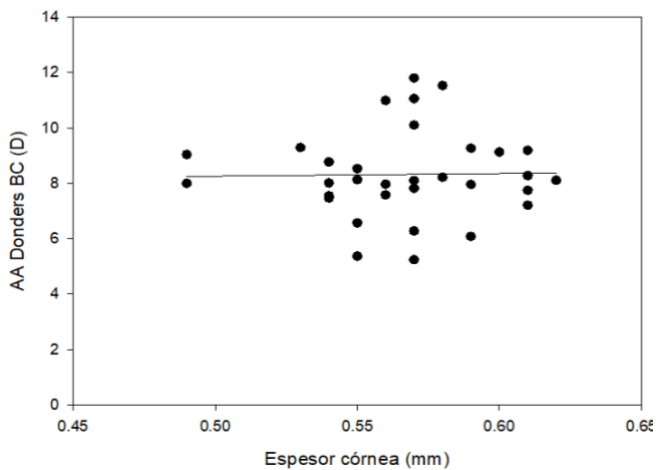


Figura 15. espesor córnea frente AA Donders bajo contraste

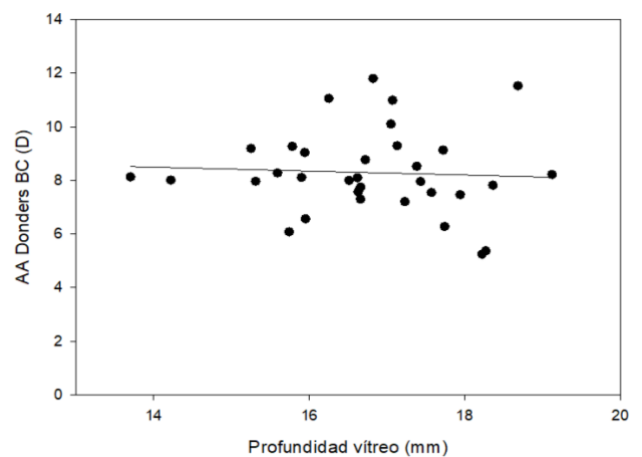


Figura 16. Profundidad vítrea frente AA Donders bajo contraste

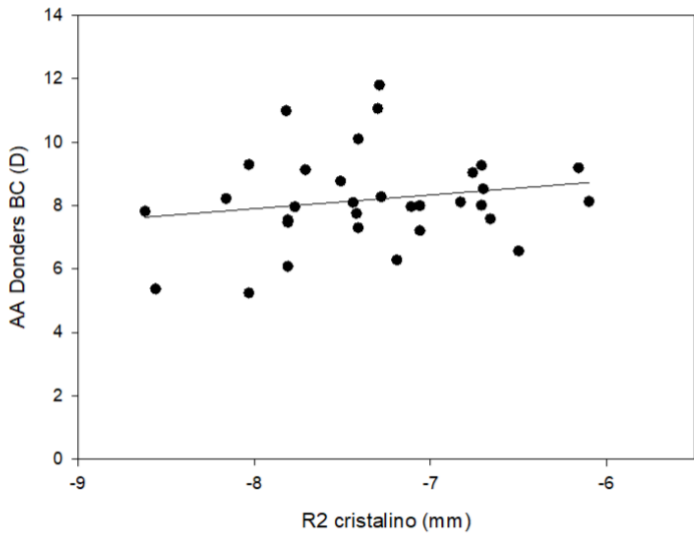


Figura 17 . R2 cristalino frente AA Donders

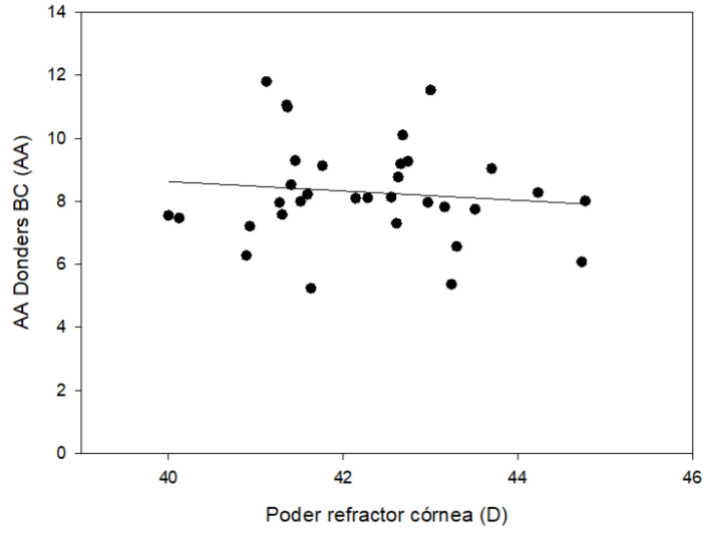


Figura 17 . Poder refractor de córnea frente AA Donders bajo contraste

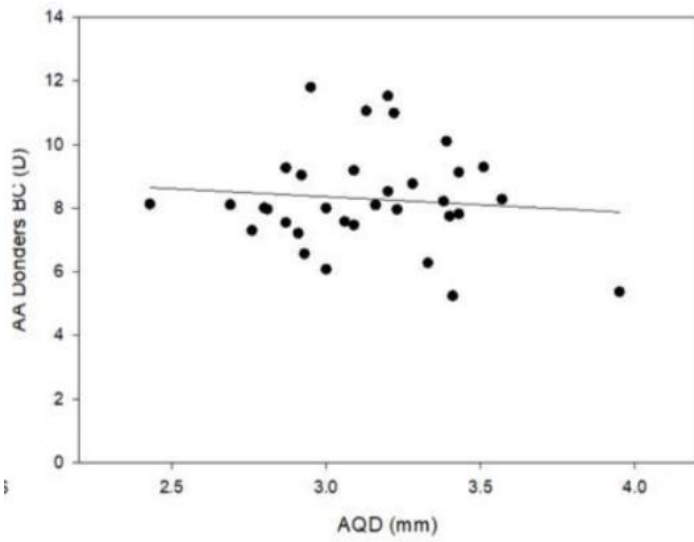


Figura 19. AQD AA Donders bajo contraste

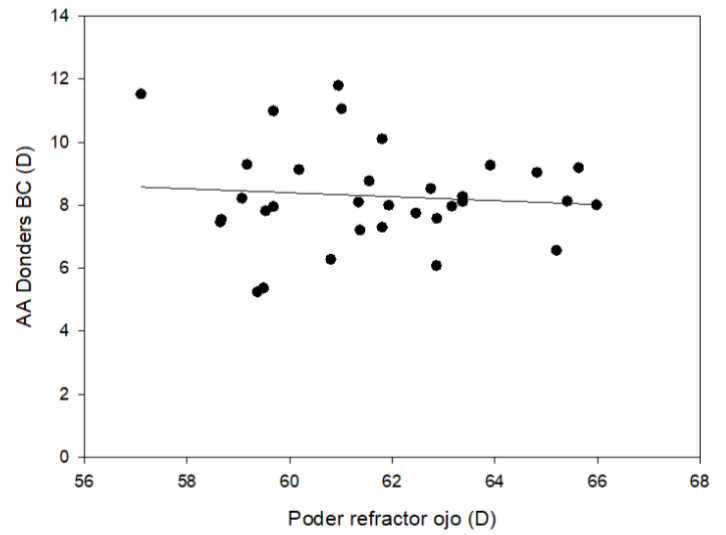


Figura 20. AQD frente AA Donders bajo contraste