



**Universidad  
Zaragoza**

## Trabajo Fin de Grado

### **Test de los Cilindros Cruzados de Jackson: Repetibilidad y factores de influencia.**

Jackson's Cross Cylinder:  
Repetibility and influency factors.

Autor/es

Isaac Pérez Pereira

Directora/es

Diana Gargallo Yebra

Sara Perches Barrena

Facultad de Ciencias

2020

## Índice

1- Introducción.....	3
1.1 Astigmatismo.....	5
1.2 Test de los Cilindros Cruzados .....	7
2- Hipótesis.....	9
3- Objetivos.....	11
4- Materiales.....	11
5- Métodos.....	13
5.1 Selección de la muestra .....	14
5.2 Procedimiento.....	14
6- Análisis de datos.....	15
6.1 Estudio de la variabilidad de respuesta .....	16
6.2 Estudio de la correlación entre experimento real y simulado.....	17
6.3 Estudio del porcentaje de acierto/fallo .....	19
Discusión.....	21
Bibliografía.....	22
Anexos.....	23
Consentimiento informado.....	23

## 1- Introducción

Los defectos de refracción o ametropías son todas aquellas situaciones en las que, por mal funcionamiento óptico, el ojo no es capaz de proporcionar una buena imagen sobre la retina. Existen muchas otras circunstancias en las que la imagen es defectuosa, pero que no dependen directamente de un mal funcionamiento óptico sino que están asociadas a otras patologías. (1)

Uno de los modos para describir el funcionamiento del sistema óptico es evaluar la imagen en términos de frentes de onda. El frente de onda es la superficie de camino óptico constante para un punto objeto. Un sistema perfecto, libre de aberración, tiene un frente esférico (Ver Figura 1.A) y forma imágenes ideales en la retina ya que cada rayo focaliza en el mismo punto del plano imagen. En cambio, cuando el frente de onda ya no es una esfera al atravesar los medios oculares (Ver Figura 1.B) y el rayo intercepta el plano imagen en un punto distinto, la imagen en la retina es una mancha borrosa, más extensa y asimétrica, dando origen a un sistema óptico aberrado. (2)

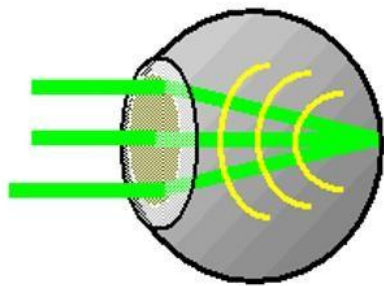


Figura 1.A. Frente de onda esférico.

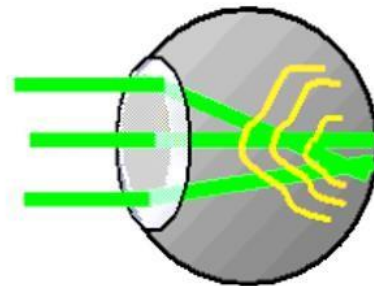


Figura 1.B. Frente de onda aberrado

La aberración de onda se define como la diferencia entre el frente de onda esférico y el frente de onda aberrado (Ver Figura 2). (3)

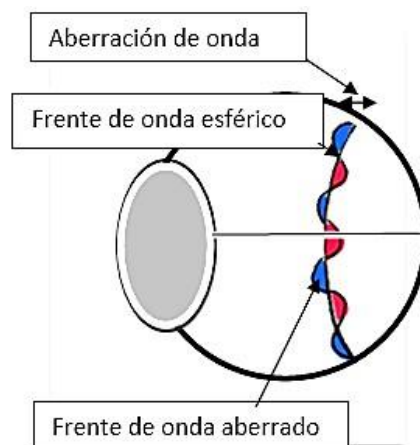


Figura 2. Aberración de frente de onda

La aberración de onda se suele representar como un mapa de frente de onda en forma de gráfico codificado por colores que muestran el relativo retardo o avance del frente de onda aberrado respecto al frente de onda ideal.(4)

Para representar las aberraciones del frente de onda se utilizan los polinomios de Zernike (Ver Figura 3) (5) describen todos los componentes de un sistema óptico: aberraciones totales de bajo y alto orden en el plano pupilar. (6)

Así mediante la descripción de Zernike, las aberraciones se pueden clasificar en:

- **Aberraciones constantes:** Los órdenes cero y uno de la pirámide contienen tres aberraciones invariables en todos los sistemas ópticos: el pistón, el tilt y el tip.(7)
- **Aberraciones de bajo orden:** Describen las ametropías clásicas. Se miden y corrigen fácilmente con lentes esfero-cilíndricas en gafa, lentes de contacto o cirugía refractiva convencional. Son dos componentes del astigmatismo regular y uno de desenfoque esférico. Representan el error refractivo de los rayos centrales de un frente de onda con respecto a los periféricos, que pueden ser positivos o negativos en función del adelanto o del atraso que sufran los rayos. Así se sabrá si se está ante un defecto miópico o hipermetrópico. (8)
- **Aberraciones de alto orden:** Hay numerosas aberraciones de alto orden aunque las que más interés clínico tienen son la aberración esférica, el coma y el trifoil, ya que conforme aumenta el orden de la aberración en la pirámide, menor es el impacto visual en el paciente por lo que a partir del sexto orden no se suelen corregir. (9)

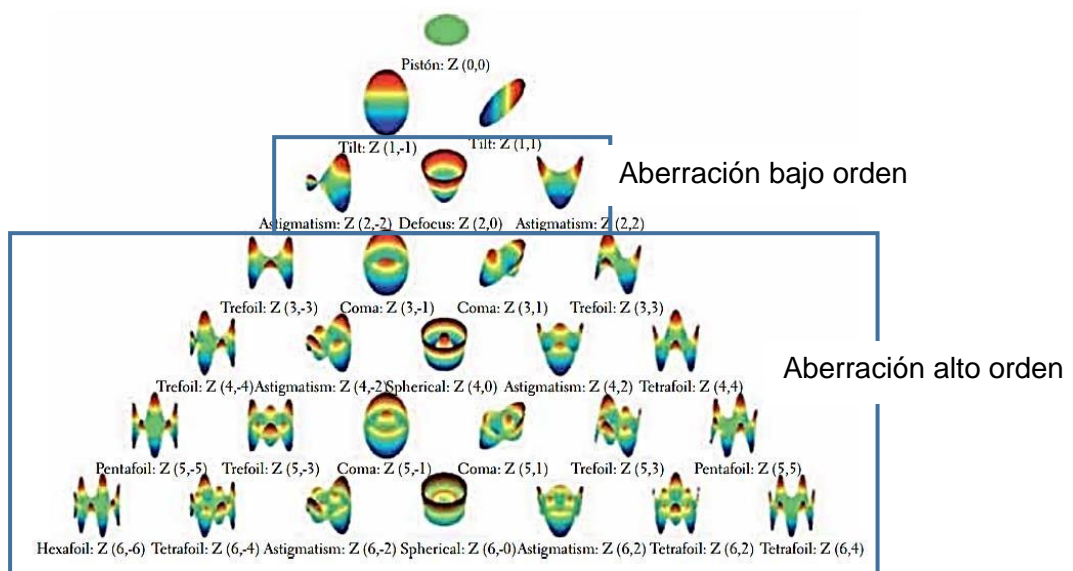


Figura 3. Mapa aberraciones. Polinomios de Zernike (3)

## 1.1 Astigmatismo

El astigmatismo se define como la ausencia de estigmatismo, por lo que la imagen de un punto no será un punto sino una línea o elipse desenfocada. Una superficie refractiva que presenta diferentes curvaturas en distintos meridianos perpendiculares entre sí, se considera astigmática. En ella, los rayos emitidos por un punto objeto no sufren la misma desviación en todos los meridianos, en vez de un punto focal ( $F'$ ) hay dos líneas focales ( $F'y$ ) y ( $F'z$ ) perpendiculares y separadas entre sí por un intervalo, denominado Intervalo de Sturm (10), cuya longitud es directamente proporcional a la diferencia de potencia en los dos meridianos principales, siendo éstos el de máxima y mínima potencia. Entre ellos se encontrará el círculo de mínima confusión (CMC). (Ver Figura 4)

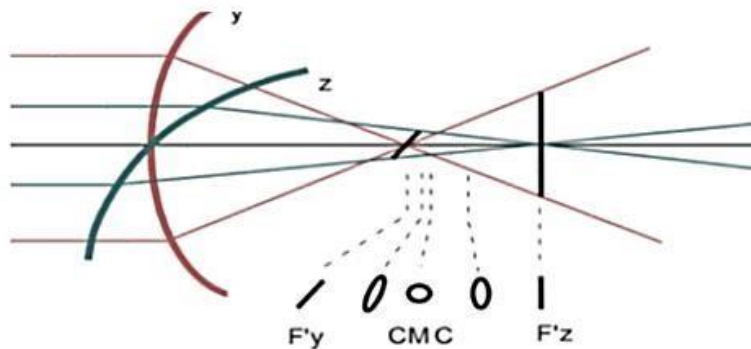


Figura 4. Planos de focalización de una superficie tórica (10)

Se puede dividir el astigmatismo según si es regular o irregular. Se habla de un **astigmatismo irregular** cuando los meridianos principales están separados por cualquier ángulo con excepción de  $90^\circ$ , es decir, no son perpendiculares entre sí. Este astigmatismo está relacionado con aberraciones de alto orden y es difícil de compensar con lentes correctoras. (11)

Cuando la curvatura de los meridianos es regular, es decir, los meridianos son perpendiculares entre sí, hablamos de un **astigmatismo regular**. Este astigmatismo aparece en ausencia de aberraciones de alto orden.

Otra clasificación posible es diferenciar los astigmatismos según la orientación de los meridianos principales. Si el meridiano de mayor potencia corresponde al meridiano vertical se habla de un astigmatismo regular a favor de la regla. Por el contrario, si el meridiano de mayor potencia es el horizontal, el astigmatismo es regular en contra de la regla. (12)

El astigmatismo regular puede clasificarse en función de la posición de la retina con relación a las líneas focales en dos grupos: (13)

- Astigmatismo simple.
- Astigmatismo compuesto.

A continuación se detallan cada uno de ellos:

## Astigmatismo simple

Una de las líneas focales se sitúa sobre la retina (ret) y la otra puede estar por delante o por detrás de ella, de modo que un meridiano es emétrope y el otro hipermetrope o miope.

En el astigmatismo **hipermetrope simple (AHS)**, un meridiano es emétrope, la imagen se forma correctamente en la retina, y un meridiano es hipermetrope, los rayos refractados por este meridiano enfocan detrás de la retina. La imagen de un punto es una línea (Ver Figura 5.A).

En el astigmatismo **miópico simple (AMS)**, un meridiano es miope, la imagen de este se forma delante de la retina, y otro es emétrope (Ver Figura 5.B). (13)

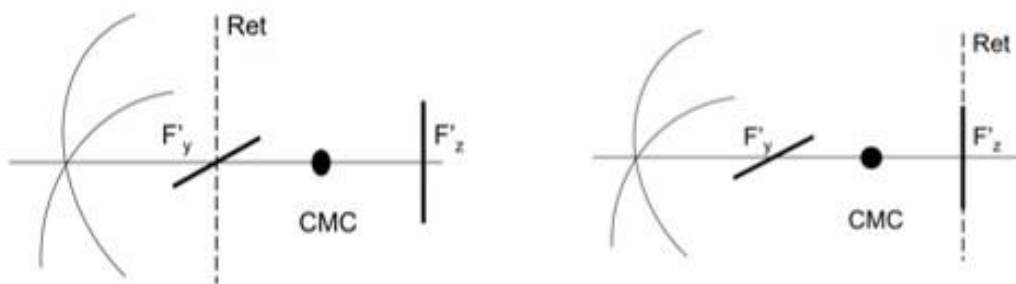


Figura 5.A. Astigmatismo hipermetrope simple. Figura 5.B. Astigmatismo miope simple (17)

Ambos astigmatismo pueden ser directo o inversos en función de si el meridiano amétrope o de menor curvatura es el vertical o el horizontal respectivamente.

## Astigmatismo compuesto

Ninguna de las dos líneas focales se sitúa sobre la retina (ret), sino que quedan por delante o por detrás de ella. El estado de refracción puede ser totalmente hipermetrope, miópico o mixto.

En el astigmatismo **hipermetrope compuesto (AHC)**, la retina está delante de las dos focales y los dos meridianos principales son hipermetropes, siendo la imagen retiniana de un punto una elipse borrosa (Ver Figura 6.A).

En el **astigmatismo miópico compuesto (AMC)**, la retina está detrás de las dos focales, siendo los dos meridianos principales miopes y la imagen retiniana de un punto una elipse (Ver Figura 6.B).

En el **astigmatismo mixto (AX)**, una línea focal está delante y la otra detrás de la retina, de modo que un meridiano es miope y el meridiano perpendicular será hipermetrope (Ver Figura 7). (13)

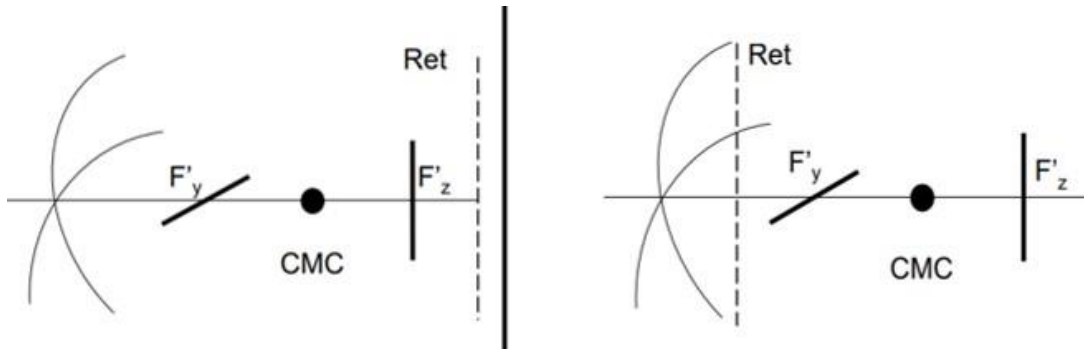


Figura 6.A. Astigmatismo miópico compuesto. (17)

Figura 6.B. Astigmatismo hipermetrópico compuesto (17)

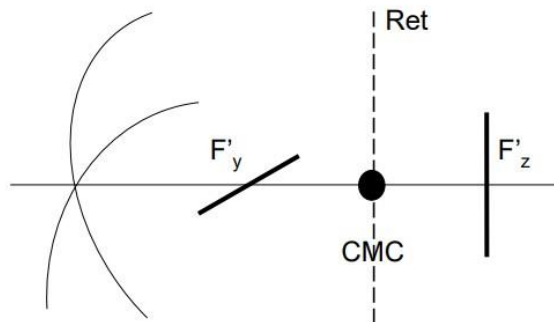


Figura 7. Astigmatismo mixto (17)

## 1.2 Test de los Cilindros Cruzados

El cilindro cruzado de Jackson (CCJ) (Ver Figura 8) consiste en una lente que tiene en uno de los meridianos principales una potencia negativa (0.25D; 0.50D; 1.00DP) e idéntica potencia pero positiva en el otro meridiano.

Suele disponer de unas marcas que serán rojas para el eje del cilindro negativo y negras para el eje del cilindro positivo, también puede llevar otra marca lineal para indicar el meridiano intermedio entre ambos. (16)

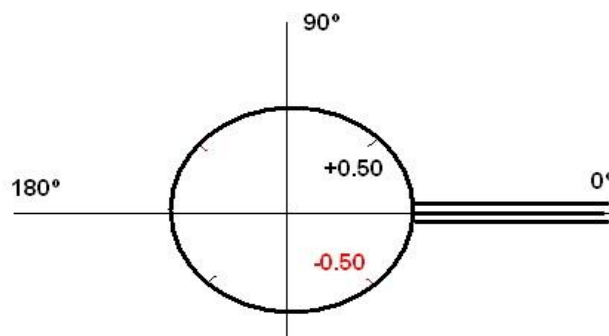


Figura 8. Cilindro Cruzado de Jackson (CCJ) (16)

El propósito de este test es determinar la presencia de astigmatismo y verificar tanto el eje como la potencia del cilindro que los corrige. El test se realiza monocularmente, ojo por ojo.

Para realizar esta técnica es necesario que el círculo de mínima confusión se encuentre en la retina. (14) Así, cada focal correspondiente a los meridianos principales quedará a ambos lados de la retina a la misma distancia. Para conseguir esto se realiza dentro del método de refracción subjetiva, cuando el paciente tiene una AV mínima y para afinar el resultado obtenido con el test de la esfera horaria. (15)

La prueba se realiza en dos partes, primero se determina el eje del astigmatismo y posteriormente se verifica la potencia de este.

### Verificación del eje del astigmatismo

Procedimiento:

1. Partir desde el CMC, círculo de mínima confusión, para ello el paciente debe estar previamente miopizado. Así nos encontraremos a la misma distancia entre focales.
2. Colocar el CCJ a 45° del eje obtenido en el test horario.
3. Voltar el CCJ y preguntar al paciente en qué posición ve mejor.
4. En la posición de mejor visión, girar el eje del cilindro corrector hacia el eje del CCJ con el mismo signo, por ejemplo, si el cilindro es negativo se moverá su eje en dirección hacia la marca roja y viceversa.

Cuanto más potente sea el cilindro, menor será la necesidad de girar el eje. Mover 5° si se trata de cilindros superiores a 1.00D y 10° en cilindros menores.

Repetir los pasos 2 y 3 hasta que el paciente manifieste la misma visión en las dos posiciones. Esto significa que los meridianos del CCJ se sitúan equidistantes del cilindro corrector del astigmatismo y por tanto producen la misma borrosidad. (17) A continuación se muestra el esquema del procedimiento anteriormente descrito (Ver Figura 9).

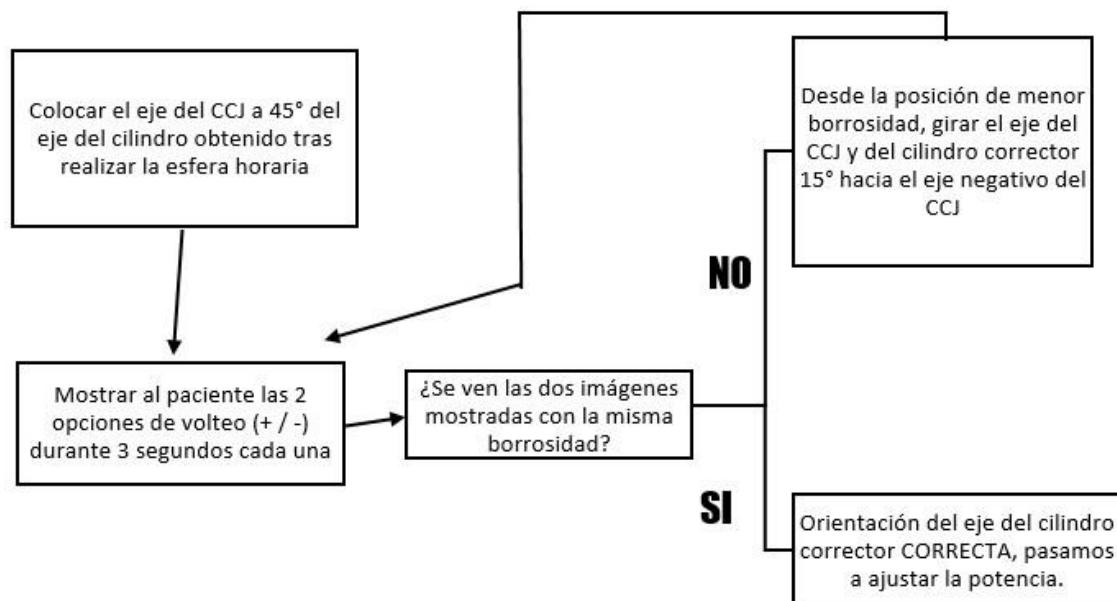


Figura 9. Determinación del eje del astigmatismo (16)



## Verificación de la potencia del astigmatismo

Procedimiento:

1. Una vez verificada la posición del eje, girar el CCJ de manera que coincida uno de los meridianos principales con el eje del cilindro corrector.
2. Voltear y preguntar en qué posición ve mejor.
3. Si ve mejor en la posición del CCJ negativo es necesario añadir más potencia negativa .Si por el contrario el paciente prefiere la posición del cilindro positivo es necesario añadir potencia positiva.

La prueba finaliza cuando el paciente vea igual en ambas posiciones. (17)

A continuación se muestra un esquema del procedimiento para la determinación de la potencia del astigmatismo (Ver Figura 10).

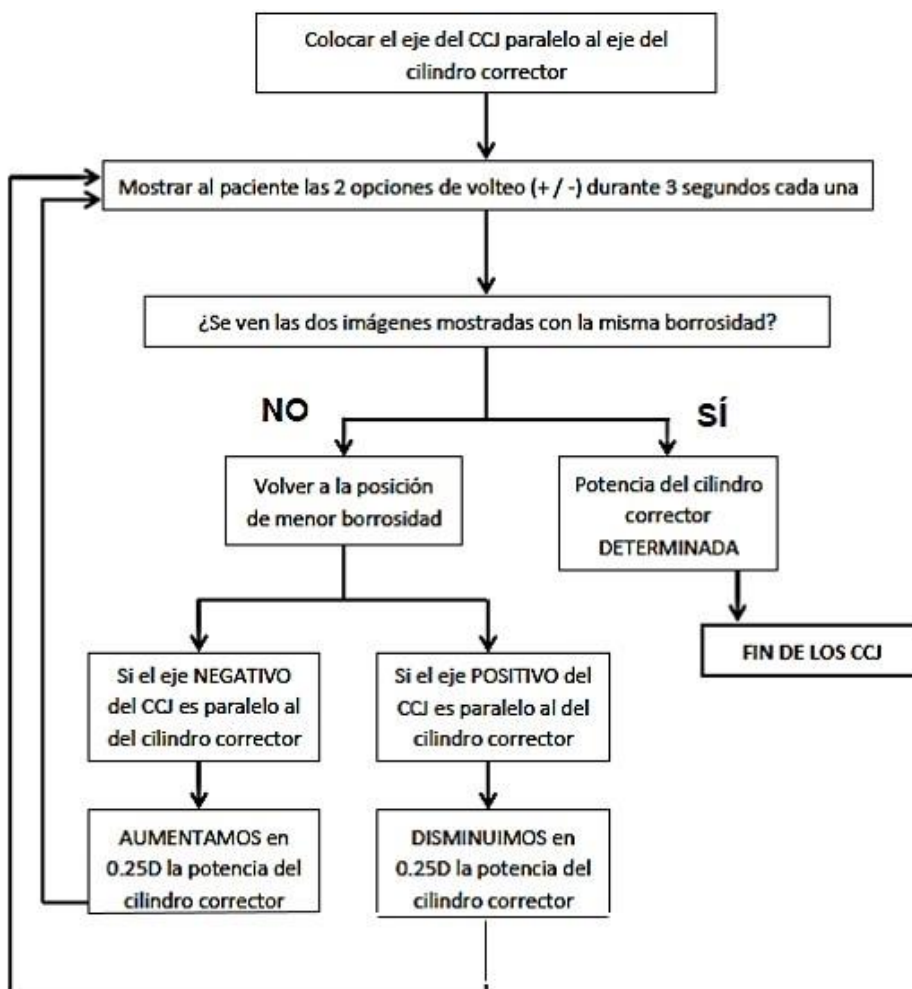


Figura 10. Determinación de la potencia del astigmatismo (16)

## 2- Hipótesis

En la actualidad, el test de los CCJ es la técnica más empleada para el ajuste final del astigmatismo, por ello en el presente estudio se ha llevado a cabo un análisis sobre diferentes aspectos que pueden influir en la prueba de los CCJ y que se deberían de tener en cuenta durante el procedimiento.

Primero se debe de explicar correctamente el procedimiento, el objetivo y el criterio que debe seguir el paciente al observar y elegir entre las dos imágenes mostradas para así evitar repetir las instrucciones.

Uno de los principales motivos de la imprecisión en la realización de los CCJ es la *dinámica acomodativa*, en un estudio previo (18) se concluyó que no afecta durante la realización de los CCJ, salvo en pacientes con astigmatismo mixto en los que el CMC no esté en la retina. En dicho estudio no se concluye si el efecto de la acomodación es suficientemente importante como para tenerlo en cuenta ya que concluyen también que el solo hecho de voltear una lente frente al ojo del sujeto, independientemente de la potencia, provoca un cambio en la acomodación, probablemente debido a la acomodación proximal.

Otro factor es la variabilidad en la respuesta dependiendo del optotipo empleado como objeto de fijación. Ya en 1943, Williamson (19) afirmó que las letras borrosas son más fáciles de reconocer cuando sus partes verticales están relativamente más enfocadas que las horizontales (Ver Figura 11).

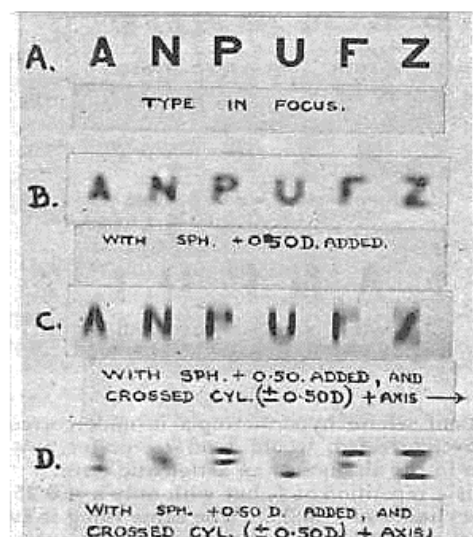


Figura 11. Resultados CCJ Williamson (18)

Por ello, para el presente estudio se evaluó el test CCJ con dos optotipos diferentes. Por un lado, se empleó un patrón de puntos debido a que es uno de los optotipos más recomendados para la realización del test de los CCJ por su simetría y por no favorecer ninguna orientación en concreto. Por otro lado, se empleó una línea de letras de AV 0,70. Este optotipo suele ser el habitual para el resto de las pruebas que forman el proceso de refracción subjetiva.

Además, otro factor que podría afectar es el perfil aberrométrico del sujeto. Estudiar el perfil aberrométrico permitirá evaluar si el éxito de la prueba es el mismo para un sujeto que solo tiene desenfoque (característico de la miopía, hipermetropía) o si además tiene aberraciones de alto orden (coma, esférica). También permitirá comprobar la efectividad del test de los CCJ para un sujeto con aberraciones de bajo orden leves que para otro con aberraciones de bajo orden severas.

En este estudio, también se trabajó con dos tipos de astigmatismo; astigmatismo mixto y astigmatismo miópico simple, así se comprobará la efectividad de los CCJ para distintos tipos de astigmatismo y la repetibilidad de los resultados con cada uno de ellos.

Todo esto nos motivó a llevar a cabo un análisis de la técnica de los CCJ, estudiando la variabilidad de la respuesta del paciente en función de diversos factores (perfil aberrométrico, tipos de astigmatismo y tipos de optotipo).

### 3- Objetivos

El objetivo del presente trabajo se basa en analizar los diferentes factores que pueden influir en la técnica de los cilindros cruzados de Jackson mediante la realización de una serie de medidas experimentales a una muestra de sujetos determinada. Los objetivos concretos son los que se detallan a continuación.

- Estudiar la variabilidad de la respuesta del sujeto en función del optotipo empleado (patrón de puntos o línea de letras de AV 0,7).
- Comprobar la receptibilidad de los resultados obtenidos para diferentes tipos de astigmatismo y la efectividad de los CCJ.
- Observar hasta qué punto se pueden predecir las respuestas que han dado los pacientes a partir de observación de las imágenes simuladas en base a las aberrometrías tomadas.
- Estudiar la influencia de las aberraciones de bajo orden y su impacto según su magnitud, así como evaluar la influencia de las aberraciones de alto orden sobre la prueba.

### 4- Materiales

#### Aberrómetro

Se realizaron 3 aberrometrías de cada ojo con el Aberrómetro iTrace (Ver Figura 12) del laboratorio de optometría de la Facultad de ciencias de la universidad de Zaragoza. Con el que se obtuvieron los mapas de frente de onda del OD de cada paciente, así como la magnitud de las aberraciones de bajo orden, en este caso el astigmatismo regular, y las aberraciones de alto orden.

Con el objetivo de verificar la refracción de los ojos que participaron en el estudio y de llevar a cabo la comparativa entre los datos experimentales y simulados.



Figura 12. Aberrómetro iTrace

### Cilindro Cruzado de Jackson

Se empleó un CCJ de +/- 0.50D montado sobre un soporte con motor programado para que los volteos fuesen automáticos (cada 3 segundos) (Ver Figura 13).

El soporte que sujetaba el cilindro se mantenía fijo durante todo el estudio a 4,7m del optotipo a observar.



Figura 13. Montaje motor + cilindro cruzado

### Optotipos

Los optotipos utilizados para la realización del estudio fueron una línea de letras de Snellen y un optotipo de puntos ambos sobre fondo blanco. Las medidas de los optotipos son las siguientes:

- Optotipo de letras: Una fila de letras (Ver Figura 14).
  - Altura de cada letra: 7mm
  - Separación entre letras: 3mm
  
- Optotipo de puntos (Ver Figura 15):
  - Diámetro total del círculo de puntos: 54mm
  - Diámetro de punto individual: 6mm
  - Separación entre puntos: 12mm



Figura 14. Optotipo Snellen



Figura 15. Optotipo de puntos

### Gafas de simulación

Para la realización del estudio se utilizaron lentes montadas sólo en OD en tres en monturas de acetato iguales (Ver Figura 15), cada una con un tipo de ametropía diferente.

Tabla 1. Ametropías de cada gafa

<b>Gafa 1</b>	Neutro	<b>Neutro</b>
<b>Gafa 2</b>	Astigmatismo miópico simple	<b>-0.50 cil 10°</b>
<b>Gafa 3</b>	Astigmatismo mixto	<b>+0.25 esf -0.50 cil 10°</b>



Figura 16. Gafas de simulación de ametropías

### Simulador de Refracción Subjetiva

Para crear las imágenes simuladas se utilizó el Software de Refracción Subjetiva (Ver Figura 17) que permitió simular, de manera virtual, la imagen retiniana de cada sujeto del estudio teniendo en cuenta las características aberrometrias medidas anteriormente con el aberrómetro. El programa está desarrollado íntegramente en Matlab R10a (Mathworks Inc.) y se encuentra disponible en los laboratorios de la Universidad de Zaragoza para tareas de docencia e investigación en esa misma Universidad, para más detalles de este software se pueden consultar en la siguiente publicación de S. Perches et al. (20)

La pantalla principal del Software consta principalmente de una ventana donde se simulan las imágenes retinianas y de tres partes claramente diferenciadas: parámetros iniciales, foróptero y CCJ.

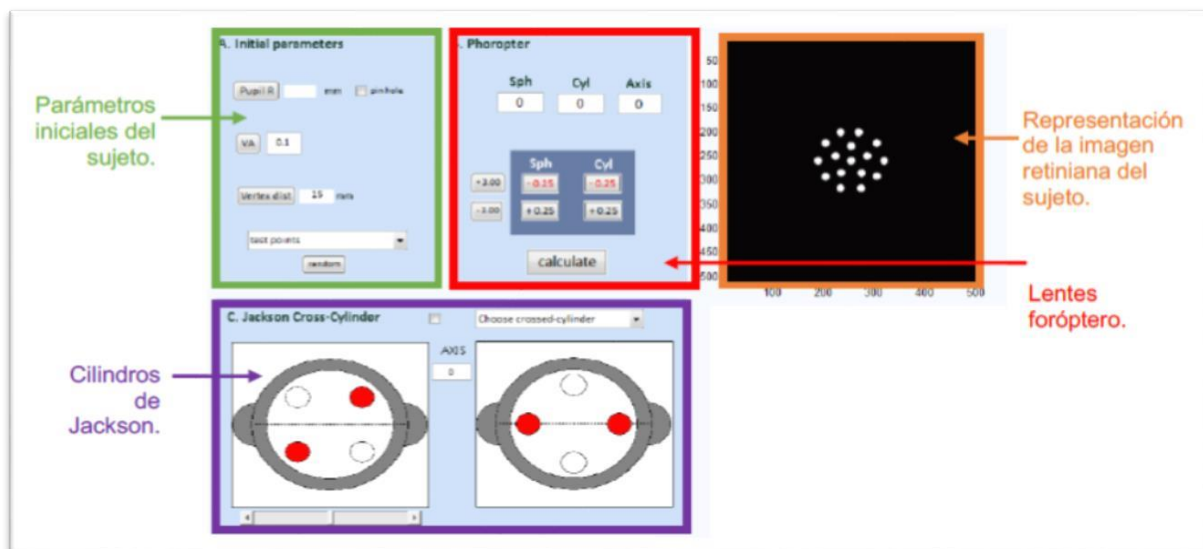


Figura 17. Simulador de refracción subjetiva. (19)

### 5- Métodos

La toma de medidas se dividió en las medidas reales, las que se realizaron a una muestra determinada en los gabinetes de optometría de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza y la toma de medidas simuladas.

En esta sección se describe el procedimiento seguido en el estudio, detallando los materiales utilizados, el criterio de selección de la muestra, el protocolo para la obtención de los datos y el análisis estos:

## 5.1 Selección de la muestra

Los criterios de inclusión fueron:

- Pacientes emétopes o que no necesitan corrección para alcanzar una agudeza visual (AV) superior a 0,70 con el ojo derecho (OD).
- Pacientes amétopes con corrección en lente de contacto y AV superior a 0,70 OD.
- Alta disponibilidad de horarios para realizar la prueba completa.

Se excluyó de la muestra a los pacientes con ametropías que no alcancen 0,70 AV o superior sin corrección y a pacientes que presentaran algunas patologías visuales.

Se examinaron 21 ojos derechos de sujetos con edades comprendidas entre 20-26 años que cumplieran los criterios de inclusión y exclusión.

## 5.2 Procedimientos

### Medidas experimentales

- 1) Se realizaron 3 medidas del frente de onda con el Aberrómetro *iTrace* del OD para conocer las aberraciones de bajo y de alto orden. Las condiciones del examen se mantuvieron entre los individuos y se realizó la prueba con la luz encendida y sin luz natural.
- 2) Se llevaron a cabo 3 medidas con cada una de las 3 gafas de prueba, en orden aleatorio y sin conocimiento por parte de ninguno de los participantes de la prueba de la ametropía de cada una de ellas. Los CCJ +/- 0.50D se colocaron con los ejes positivo y negativo a 45° del eje que se evaluaba (10°) (Ver Figura 18). La distancia del paciente al optotipo fue de 4,70 metros, lo que equivale a tener un optotipo de letras de Snellen de AV: 0.70.

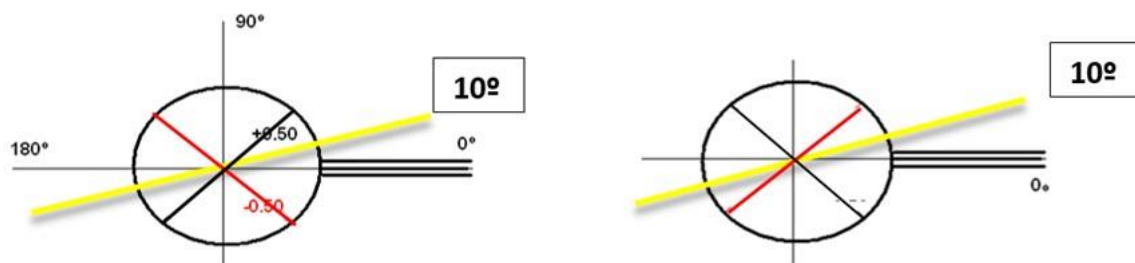


Figura 18. Posición cilindros cruzados durante la toma de medidas reales.

- 3) En esta posición se indicaba al paciente que observara el optotipo y volteando el cilindro de forma automática cada 3 segundos, se le pedía que indicara una de las 3 opciones de respuesta. Las opciones de respuesta eran: Arriba; correspondiente al

cilindro positivo, Abajo; correspondiente al cilindro negativo, o Igual, es decir, no existe diferencia entre ambos volteos.

- 4) Se realizó el mismo procedimiento con ambos optotipos primero con el optotipo de letras y posteriormente con el optotipo de puntos.

### Medidas simuladas

- 1) Se introdujeron los datos obtenidos de las aberrometrías en el simulador de refracción subjetiva para simular el procedimiento de los CCJ con cada una de las ametropías de las gafas del estudio y para cada uno de los optotipos.
- 2) Se crearon las parejas de imágenes obtenidas con el volteo de los CCJ.
- 3) Se presentaban las imágenes en un ordenador y un único observador externo elegía que imagen prefería de la pareja o si no existía preferencia por ninguna. Las imágenes se presentaban aleatoriamente en una pantalla y la distancia del observador a la pantalla se mantuvo constante y en ningún momento se conocía el paciente simulado.

## 6- Análisis de datos

Se llevaron a cabo tres medidas con cada gafa. Se dividieron todos los resultados obtenidos en grupos, según la preferencia de elección del paciente. A continuación muestro una tabla con los criterios de simplificación:

*Tabla 2. Criterio de discriminación de las respuestas.*

<b>Volteo1</b>	Prefiere tres veces el volteo 1	Prefiere dos veces el volteo1 y vez Igual
<b>Volteo 2</b>	Prefiere tres veces el volteo 2	Prefiere dos veces el volteo 2 y una vez Igual
<b>No sabe que decir</b>	Elige cada vez una respuesta	Prefiere dos veces Igual

El análisis estadístico de los datos consta de tres apartados:

Primero se estudió la variabilidad de respuesta de los datos obtenidos experimentalmente y los datos obtenidos en la simulación. Se estudiará el IVC para cada una de las gafas y para ambos optotipos.

Después se estudió porcentaje fallo/acierto de los resultados experimentales con el resultado esperado en los CCJ.

Por último se estudió de la correlación de los datos experimentales y simulados comparando los resultados experimentales y los simulados para corroborar si las respuestas han sido las mismas.

## 6.1. Estudio de la variabilidad de respuesta

A partir de la tabla de datos calculamos las frecuencias para cada uno de los volteos y el Intervalo de variabilidad (IVC) para cada gafa y para ambos optotipos.

La fórmula del IVC (Ecuación 1) es la siguiente (21):

$$IVC = \frac{1 - (f_1^2 + f_2^2 + f_3^2)}{2/3} \quad (\text{Ecuación 1})$$

El IVC expresa el grado en que los casos están dispersos en las diferentes modalidades de la variable, alcanzando su máximo (IVC = 1) en el caso en que las frecuencias relativas sean iguales para todas las modalidades de la variable (caso que se corresponde al de una variable con una distribución uniforme, esto es, de máxima dispersión). El IVC sería igual a 0 cuando las frecuencias relativas de una variable fuesen iguales, esto es, el caso en que todos los casos tuviesen el mismo valor observado en la variable (dispersión nula). (22)

Se representaron los datos en forma de grafica de barras (Ver Figura 19, 20,21 y 22) para cada optotipo y para los datos experimentales y simulados.

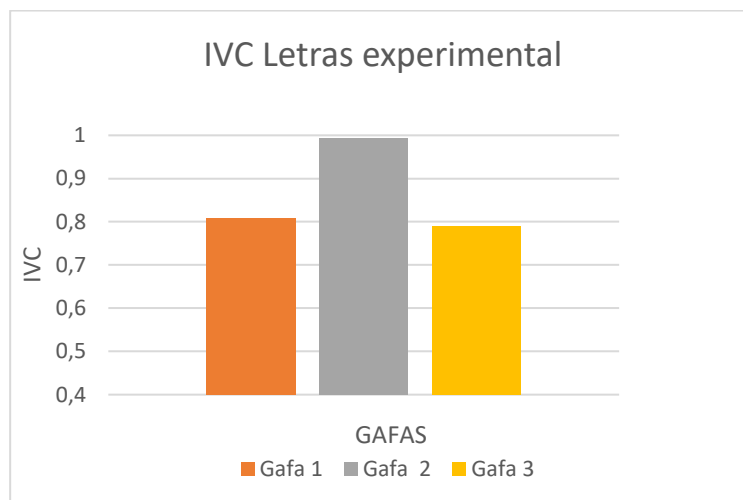


Figura 19. Gráficas IVC datos experimentales. Optotipo letras

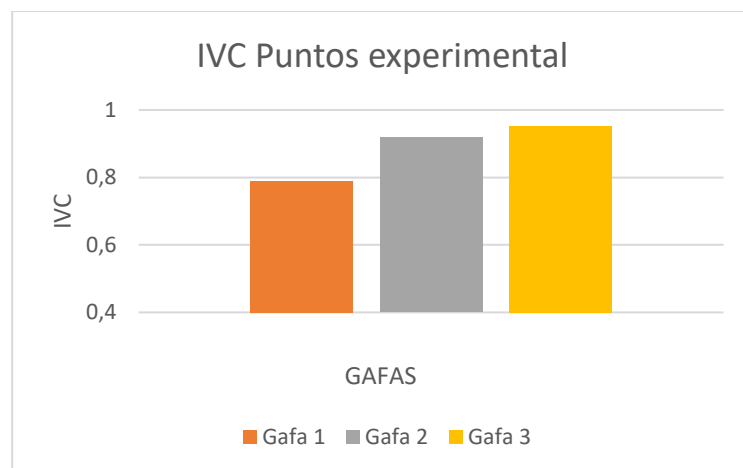


Figura 20. Gráficas IVC datos experimentales. Optotipo letras



Con respecto a los datos experimentales se observa como la variabilidad de los datos en todos los casos es próxima a 1, por lo que la dispersión de las respuestas es alta para todos.

La variabilidad más baja es para la Gafa 1 con el optotipo de puntos y para la Gafa 3 con el optotipo de letras. Se observa que para el optotipo de letras la gafa con menor variabilidad es la gafa 3, por el contrario con el optotipo de puntos con la gafa 3 es con la que se obtiene un IVC mayor.

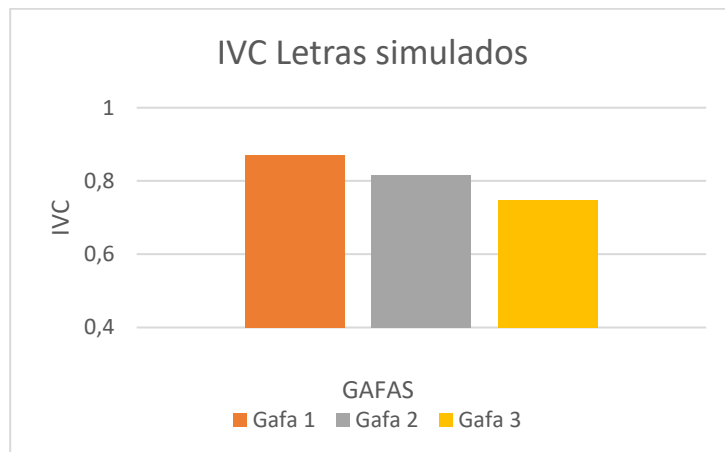


Figura 21. Gráficas IVC datos simulados. Optotipo letras

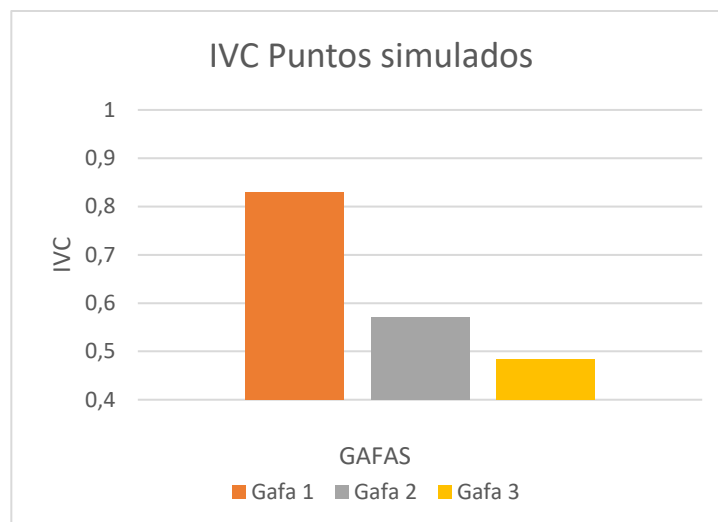


Figura 22. Gráficas IVC datos simulados. Optotipo puntos

En los datos simulados se observa que existe una tendencia en el IVC, tanto para el optotipo de letras como para el optotipo de puntos. En ambos optotipos la variación es mayor con la Gafa 1 que con la Gafa 2 y a su vez esta es mayor que con la Gafa 3. Es decir, la variación será menor con la Gafa 3 en ambos casos. Se aprecia como con el optotipo de puntos se obtiene una variación considerablemente menor tanto para la Gafa 2 como para la Gafa 3.

## 6.2. Estudio de la correlación entre experimento real y simulado

La idea es chequear la hipótesis de que la variación encontrada no se deba a una variable aleatoria sino que puedan existir sesgos individuales debido a las HOAS diferentes de cada paciente. El chequeo consiste en observar hasta qué punto se pueden predecir las respuestas

que han dado los pacientes a partir de la observación de las imágenes simuladas en base a los datos aberrometricos tomados.

Para ello se comparan los resultados obtenidos experimentalmente con los datos obtenidos a partir del simulador. Se dio a cada respuesta del paciente el valor de 1 si la respuesta coincide y de -1 si la respuesta no coincide. Cuanto más cerca de -1 existe más certeza de que la respuesta más frecuente es equivocada. En cambio, cuanto más cerca de +1, existe más certeza de que sea la correcta. De esta manera, cuanto más cerca del cero esté el promedio, significa que falla los mismos que aciertan.

Se realizó el promedio y la desviación estándar. Se representó en una gráfica (Ver Figura 23 y 24).

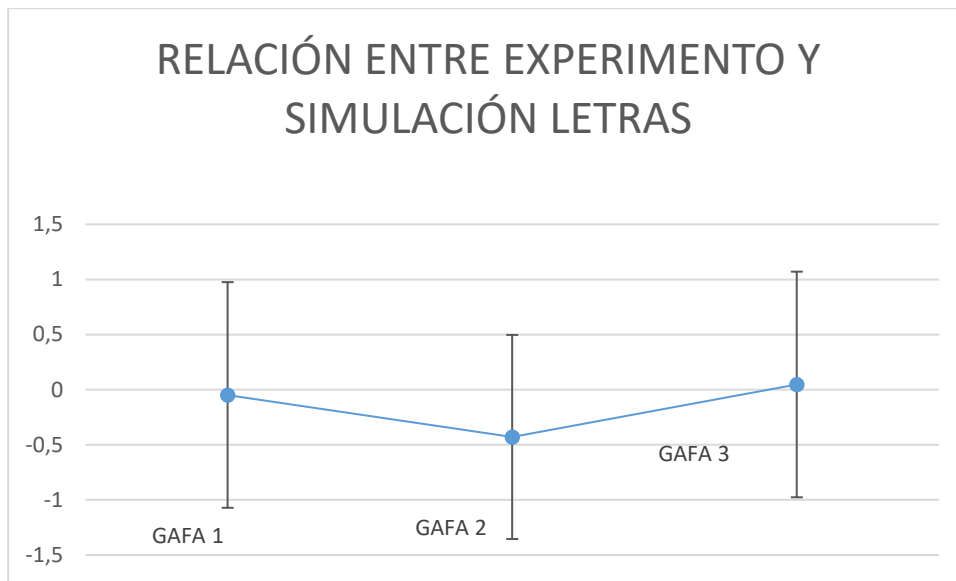


Figura 23. Relación entre experimento real y simulado letras

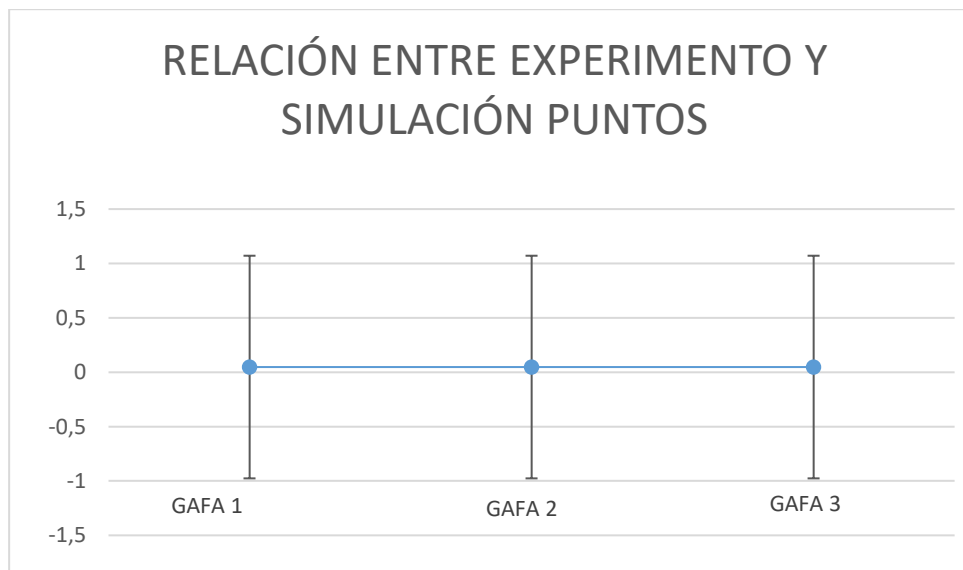


Figura 24. Relación entre experimento real y simulado puntos

Los resultados no son estadísticamente significativos, teniendo en cuenta la desviación. Se observa que en todos los casos el promedio tiende a 0, es decir, el número de fallos es similar al de aciertos.

Por el contrario, los resultados encontrados en la gafa 2 con el optotipo de letras no se corresponden con el resto. El promedio es -0,428571429, lo que quiere decir que predecirá peor los resultados.

### 6.3. Estudio de porcentaje fallo/acierto

Conociendo las ametropías de las gafas de simulación y la posición del cilindro cruzado durante el estudio podemos deducir cuál debería ser la respuesta del paciente con cada gafa.

El meridiano de potencia del CCJ se encuentra a 45° del eje horizontal de la gafa de simulación y el defecto refractivo en la gafa se encuentra en el meridiano de 10°. Por lo que uno de los dos volteos se encontrará más cerca del eje de la ametropía en gafa y por lo tanto debería ver mejor uno de ellos. En ambas ametropías deberían de preferir positivo (Volteo 1). La respuesta del paciente para la 1ª gafa, sin defecto refractivo, debería ser igual para ambos volteos. Hay que tener en cuenta que, al existir 3 posibles respuestas en el test (Volteo 1, Volteo 2, o Iguales), si el paciente eligiera al azar se obtendría un 33% de aciertos.

Para calcular el intervalo de confianza utilizamos el método de Wilson, si calculamos el intervalo de confianza del 95% utilizando este método se puede proporcionar un rango de valores para los que la proporción de la población (es decir, la proporción de toda la población, no solo los de este estudio) podría ser plausible (23). El IC del 95% ha sido calculado con la Ecuación 2:

$$IC = \frac{\hat{p} + \frac{z^2}{2n}}{1 + \frac{z^2}{n}} \pm \frac{z}{1 + \frac{z^2}{n}} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n} + \frac{z^2}{4n^2}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

A continuación se representan los porcentajes de acierto de cada gafa (Ver Figura 26 y 27) para cada optotipo:

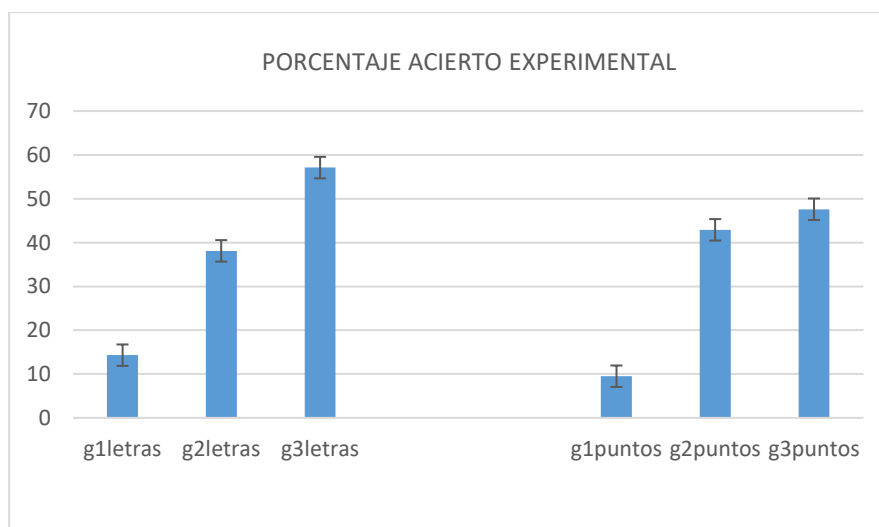


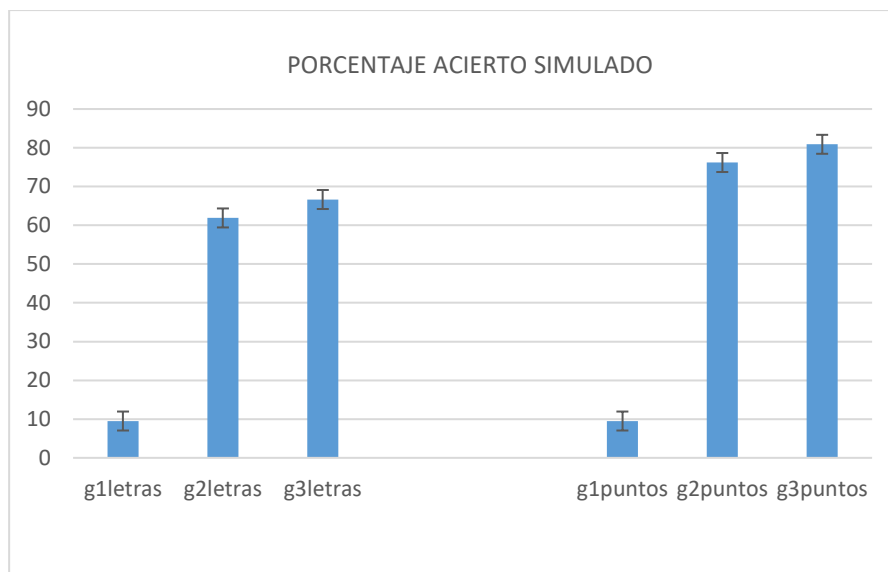
Figura 26. Porcentaje aciertos datos experimentales

Con el optotipo de Letras se observa que el porcentaje de acierto más alto es para la Gafa 3; correspondiente al astigmatismo mixto mientras que el porcentaje de menor acierto es para la Gafa 1; neutro.

Con el optotipo de puntos el porcentaje de acierto más alto es para la Gafa 3, seguido muy de cerca por la gafa 2. El menor porcentaje de aciertos es también para la gafa 1.

De forma general se observa como el mayor nivel de acierto es para la gafa 3 con ambos optotipos pero sobre todo con el optotipo de letras, y que el menor porcentaje es para la gafa 1 siendo también más alto en el optotipo de letras.

Se realizó el mismo análisis con los datos simulados (Figura 27).



*Figura 27. Porcentaje acierto simulado*

Con el optotipo de letras se observa que el mayor porcentaje de acierto es para la gafa 3, seguido por la gafa 2. La gafa 1 tiene poco porcentaje de acierto.

Con el optotipo de puntos las gafas 2 tiene el porcentaje de acierto más alto, seguido de la Gafa 2. La Gafa 1 tiene el porcentaje más bajo incluso inferior al obtenido con el optotipo de letras. Con la Gafa 2 se obtiene un porcentaje más alto utilizando el optotipo de puntos que con el optotipo de letras.

## 7- Discusión

De los resultados obtenidos de este Trabajo Fin de Grado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Sobre el estudio de la variabilidad (6.1):

- Con el optotipo de letras el astigmatismo miópico tiene más variabilidad de respuesta y el astigmatismo mixto el que menor variabilidad siendo todas altas.
- Con el optotipo de puntos la mayor variabilidad de respuesta la tiene el astigmatismo mixto y la menor variabilidad la gafa neutra.
- Con el simulador la mayor variabilidad de respuesta la tiene la gafa neutra y la menor variabilidad el astigmatismo mixto para ambos optotipos, siendo más notable con el optotipo de puntos.

Sobre el estudio de la correlación entre experimento real y simulado (6.2)

- Con el simulador se han acertado y fallado las mismas respuestas con ambos optotipos aunque el astigmatismo miópico simple tiene peor pronóstico.

Sobre el estudio del porcentaje de acierto y fallo (6.3)

- El astigmatismo mixto tiene más porcentaje de acierto con el optotipo de letras.
- En el simulador se obtiene mayor porcentaje de aciertos para ambos tipos de astigmatismo
- En el simulador se obtienen mejores resultados con el optotipo de puntos.
- El hecho de que haya porcentajes de aciertos significativamente diferentes al 33% implica que un grupo de individuos con las características cognitivas y culturales como el elegido han demostrado que es posible responder adecuadamente, no por puro azar, al test de CCJ.

## Bibliografía

1. D.A. ATCHISON GS. OPTICS OF THE HUMAN EYE. OXFORD: BUTTERWORTHHEINEMANN. 2000;
2. DRA M<sup>A</sup> CINTA PUELL MARÍN. ÓPTICA FISIOLÓGICA: EL SISTEMA ÓPTICO DEL OJO Y LA VISIÓN BINOCULAR. UNIV COMPLUT MADRID.
3. ROSARIO VIDAL OLARTE. UNDERSTANDING AND INTERPRETING OPTICAL ABERRATIONS. CIEN TECNOL SALUD VIS Y OCUL. 2011;
4. YOBANI B. THE WAVEFRONT AND ITS REPRESENTATION WITH ZERNIKE POLYNOMIALS. CIENC Y TECNOL PARA LA SALUD VIS Y OCUL. 2011; 9(2):145–66.
5. SALMON T. NORMAL EYE ZERNIKE COEFFICIENTS AND ROOT MEAN SQUARE WAVEFRONT ERRORS. J CATARACT REFRACT SURG. 2006; 12:2064–74.
6. ARTAL P. OPTIC ABERRATIONS IN THE EYE AND NEW INTRAOCULAR LENS. IN: MICROCIRUGÍA OCULAR, 2002. P. 50–8.
7. BÁEZ M. EXÁMENES DE TOPOGRAFÍA, ABEROMETRÍA Y PENTACÁMARA. REV LA FED COLOMB OPTÓMETRAS. 2008; 22:22–6.
8. ROSAS A. UNA APROXIMACIÓN A LA TECNOLOGÍA DE FRENTES DE ONDA: BASES DE ABERROMETRÍA (1 PARTE). REV SOC COLOMB OFTALMOL. 2005; 38(3):68–81.
9. JAVIER TOMÁS-JUAN. ABERROMETRÍA OCULAR: APLICACIONES CLÍNICAS Y LIMITACIONES DE LOS SENSORES DE FRENTE DE ONDA. CIENC Y TECNOL PARA LA SALUD VIS Y OCUL. 2014; 12(1):93– 105.
10. STURM. TEORÍA DE LA VISIÓN. COMTES RENDUS XX554. 1845; 751(1238POGGENDORFF'S ANN LXV115):164.
11. GAO, Y., YE, Z., CHEN, W., LI, J., YAN, X., & LI Z. MANAGEMENT OF CATARACT IN PATIENTS WITH IRREGULAR ASTIGMATISM WITH REGULAR CENTRAL COMPONENT BY PHACOEMULSIFICATION COMBINED WITH TORIC INTRAOCULAR LENS IMPLANTATION. J OPHTHALMOL. 2020;
12. WHEWELD. ASTIGMATISMO. HELMHOLTZ OPT PHYSIOL. 1867;193.
13. REMÓN L, MONSORIU JA FW. INFLUENCE OF DIFFERENT TYPES OF ASTIGMATISM ON VISUAL ACUITY.]. J OPTOM 5. 2017;141–8.
14. J.R. WARMAN. THE CORRECTION OF LOW ASTIGMATISM. 1950;119:429–32.
15. A.G. BENNETT RBR. SUBJECTIVE REFRACTION. LONDON: BUTTERWORTHS. 1984; IN BENNETT: 95–117.
16. M T. A ROTATING CROSS - CYLINDER. BR J OPHTHALMOL. 1939; 632–3.

17. SARA PERCHES BARRENA. TRABAJO DE FIN DE GRADO: INFLUENCIA DE LA DINÁMICA DE LA ACOMODACIÓN EN LA DETECCIÓN DEL ASTIGMATISMO. 2013.
18. F.A. WILLIAMSON-NOBLE. A POSSIBLE FALLACY IN THE USE OF THE CROSS CYLINDER. BR J OPHTHALMOL. 1943; 27:1–12.
19. FA. W-NL. COMMUNICATIONS A POSSIBLE FALLACY IN THE USE OF THE CROSSCYLINDER. 1943.
20. PERCHES S, COLLADOS MV AJ. RETINAL IMAGE SIMULATION OF SUBJECTIVE REFRACTION TECHNIQUES. LU Z-L, ED PLOS ONE. 2016; 11.
21. DE VEAUX, R. D., BOCK, D. E. Y VELLEMAN, P. (2003). INTRO STATS. BOSTON: ADDISON-WESLEY. PEÑA, D. Y ROMO, J. (1997). INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA PARA LAS CIENCIAS SOCIALES. MADRID: MCGRAW-HILL.
22. SOLANAS, A., SALAFRANCA, L., FAUQUET, J. Y NÚÑEZ, M. I. (2005). ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA EN CIENCIAS DEL COMPORTAMIENTO. MADRID: THOMPSON.
23. AGRESTI, A., AND COULL BA. APPROXIMATE IS BETTER THAN “EXACT FOR INTERVAL ESTIMATION OF BINOMIAL PROPORTIONS. [INTERNET]. THE AMERICAN STATISTICIAN. 1998 [CITED 2020 SEP 1]. P. 52,119-26.

## Anexos



### Consentimiento informado

Yo, \_\_\_\_\_,  
mayor de edad, con DNI \_\_\_\_\_ expreso mi consentimiento para  
participar de este estudio.

Manifiesta que ha sido informado sobre la naturaleza de las pruebas a las que se  
somete y ha entendido lo referente a su participación en la medida de repetibilidad de  
los Cilindros Cruzados de Jackson, estando advertido de los siguientes aspectos:

1. Estas medidas forman parte de una investigación para la realización de un trabajo fin de grado realizado por Isaac Pérez siendo él mismo el que realizará las medidas experimentales.
2. El propósito de las pruebas es la medida de la repetibilidad de la prueba de los Cilindros Cruzados de Jackson para la determinación del astigmatismo en diferentes condiciones de medida.
3. Las medidas se realizaran en un entorno dedicado exclusivamente a investigación.
4. Dada la inocuidad de las medidas no se tiene constancia ni se contempla la posibilidad de ningún acontecimiento adverso. Las medidas generalmente requerirán una única visita y no suponen tratamiento adicional ni alteración (en caso de haberla) con respecto a la prescripción que haya sido administrada por su oftalmólogo u

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

En Zaragoza, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

Firma del sujeto

Firma del alumno responsable  
de la medida