

# Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: Análisis del Test de la pantalla de Hess  
Lancaster con eyetracker

Autora

Luz Maurain Orera

Directora

Elvira Orduna Hospital

Facultad de Ciencias

Grado en Óptica y Optometría

2021 – 2022

# ÍNDICE

1.	Resumen de abreviaturas	1
2.	Introducción	2
2.1.	La visión binocular y el campo visual	2
2.2.	Diplopia	2
2.3.	Musculatura extraocular	3
2.4.	Pantalla de Hess Lancaster	5
2.5.	Eyetracker	7
3.	Hipótesis y objetivos	8
3.1.	Hipótesis	8
3.2.	Objetivos	8
4.	Material y métodos	8
4.1.	Sujetos a estudio	8
4.2.	Protocolo exploratorio	9
4.2.1.	Realización pantalla de Hess Lancaster	9
4.2.2.	Medida con eyetracker	11
4.3.	Extracción de datos	12
4.4.	Análisis estadístico	13
5.	Resultados	13
6.	Discusión	18
6.1.	Discusión de los resultados por participante	18
6.2.	Discusión de los resultados estadísticos	21
6.3.	Limitaciones	22
7.	Conclusiones	23
8.	Bibliografía	24

## 1. Resumen de abreviaturas

AO: Ambos ojos

CV: campo visual

cc: Coeficiente de correlación

CRA: correspondencia retiniana anómala

CRN: correspondencia retiniana normal

FR: filtro rojo

FV: filtro verde

MOE: músculos extraoculares

OBI: músculo oblicuo inferior

OBS: músculo oblicuo superior

OD: ojo derecho

OI: ojo izquierdo

RI: músculo recto inferior

RL: músculo recto lateral

RM: músculo recto medio

RS: músculo recto superior

PPM: posición primaria de mirada

VI: visión intermedia

VL: visión lejana

VP: visión próxima

## 2. Introducción

### 2.1. La visión binocular y el campo visual

La visión de cada uno de los ojos, gracias a un sistema muscular y neuronal es capaz de recrear un entorno observado de forma fiable.

El campo visual (CV) es la zona que percibe un ojo inmóvil mirando a un punto fijo del espacio. En el caso de superponer los campos visuales de ambos ojos (AO) de un sujeto, podemos obtener una fusión de las imágenes generando una visión binocular, la cual nos dará estereopsis. (1)

Hay que tener en cuenta que para que se dé visión binocular continua, debe existir un área de solapamiento entre los campos visuales monoculares de cada ojo incluso cuando se produzcan movimientos oculares. Para ello se necesita que AO se muevan de manera coordinada.

### 2.2. Diplopia

El cerebro interpreta que un objeto se encuentra en el eje visual adecuado para un ojo, cuando la imagen cae en la fovea de ese ojo.

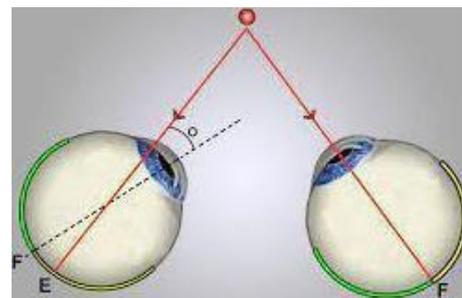
Cuando las foveas de ambas retinas tienen puntos retinianos correspondientes y la retina nasal de un ojo corresponde con la retina temporal del otro, se considera que existe correspondencia retiniana normal (CRN).

Si estando con la mirada fija en un punto o realizando movimientos oculares observáramos que las imágenes retinianas no caen en puntos correspondientes, es decir, una cae más desplazada que la otra en sus respectivas retinas, pero el cerebro las integra sin generar confusión, entonces estaríamos ante una situación de correspondencia retiniana anómala (CRA). (Figura 1)

Cuando las imágenes de un objeto no caen en puntos retinianos correspondientes o caen en la fovea existiendo CRN, pero los ejes visuales están desviados localizando el objeto en un punto diferente del espacio para cada ojo, se perciben dos imágenes (dos puntos del espacio) de un objeto. A esta situación se le denomina **diplopia**.

La diplopia es la percepción de dos imágenes de un único objeto. Se conocen distintos tipos de diplopias.

En este caso, interesa diferenciar cuando se da una diplopia monocular o binocular.



**Figura 1:** Ojo izquierdo desviado, ese ángulo de desviación lo forman el eje de incidencia que recae en E y el eje visual (o eje de dirección de la fovea). (2)

- La diplopia monocular es menos frecuente, se da cuando con un solo ojo el sujeto comenta que ve dos imágenes, puede ser debido a patologías corneales, cataratas, iridotomías, etc.
- La diplopia binocular es la más frecuente, se da cuando con los dos ojos, el sujeto comenta que ve dos imágenes. Para poder diagnosticar que es una diplopia binocular, y no una monocular, consiste en hacerle cerrar al sujeto un ojo y luego el otro, y preguntarle en todas las situaciones cuantas imágenes percibe. Si es binocular, al cerrar un ojo la visión doble desaparecerá. (3)

### 2.3. Musculatura extraocular

El globo ocular tiene seis músculos extraoculares (MOE) encargados de dirigir el ojo en la dirección deseada, los cuales se contraen en la dirección de mirada (agonistas) y se relajan los antagonistas (encargados de mover el ojo en sentido contrario).

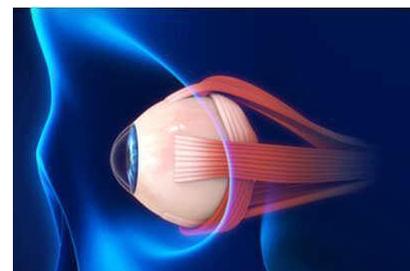
Los movimientos de los MOE de AO también tienen que estar coordinados entre sí. (Figura 2) (4)

De los seis MOE que tiene el globo ocular, se encuentran:

- Cuatro músculos rectos:
  - o Recto medio (RM), nasal o interno
  - o Recto lateral (RL), temporal o externo
  - o Rector superior (RS)
  - o Recto inferior (RI)

Todos ellos, menos el RL, están inervados por el III par craneal, es decir, el nervio oculomotor común. El caso del RL, está inervado por el VI par craneal, nervio motor ocular externo (o abducens).

- Dos músculos oblicuos:
  - o Oblicuo superior (OBS), está inervado por el IV par craneal, el nervio patético o troclear. Se origina en el anillo de Zinn, pasa por la tróclea cambiando su trayecto y se inserta en la poción escleral temporal superior después de pasar por debajo del RS.
  - o Oblicuo inferior (OBI) está inervado por el III par craneal. Se origina a nivel de la fosa lagrimal, pasa junto al suelo de la órbita y el RI y termina insertándose en la esclerótica. (5-7) (Figura 3)



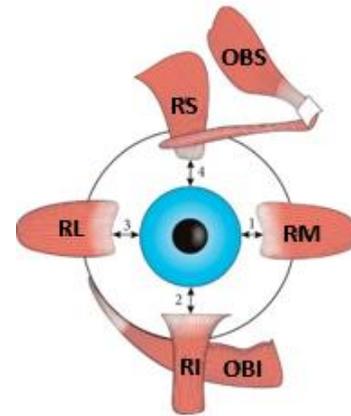
**Figura 2:** Se pueden ver los músculos que controlan el movimiento de los ojos. (4)

Los músculos tienen diferentes acciones, las cuales quedan recogidas en la Tabla 1.

Músculo	Acción primaria	Acción secundaria	Acción terciaria
RM	Aducción		
RL	Abducción		
RI	Depresión	Exciclotorsión	Aducción
RS	Elevación	Inciclotorsión	Aducción
OBI	Exciclotorsión	Elevación	Abducción
OBS	Inciclotorsión	Depresión	Abducción

**Tabla 1:** Movimientos de cada MOE

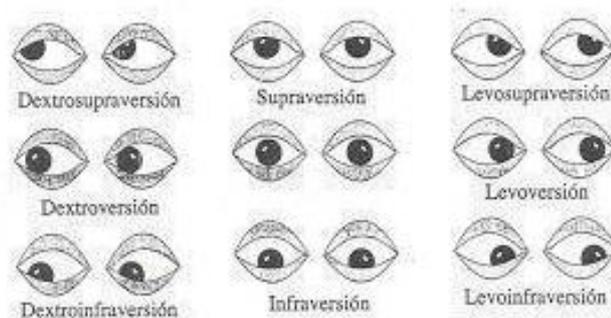
Las ducciones o también llamados movimientos monoculares pueden ser horizontales (los cuales son aducción (hacia nasal) y abducción (hacia temporal)), verticales (depresión y elevación) o cicl torsiones (inciclotorsiones y exciclotorsiones). (5)



**Figura 3:** Ilustración de cómo se verían los MOE alrededor del globo ocular visto de frente, donde están los rectos (RM, RL, RS y RI) y los oblicuos (OBI y OBS). (8)

Mientras que las vergencias y versiones son movimientos binoculares.

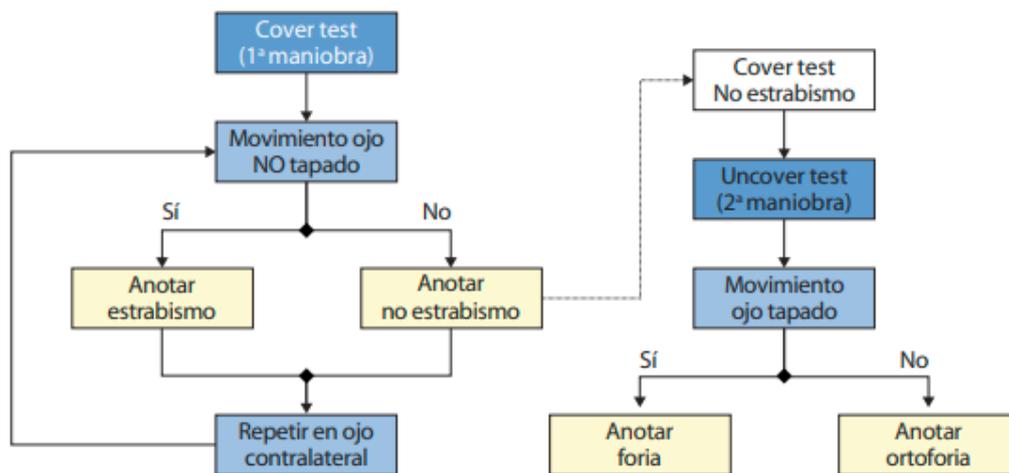
- Vergencias: movimientos de AO en direcciones opuestas de mirada
  - o Convergencia (hacia nasal AO)
  - o Divergencia (hacia temporal AO)
  - o Ciclovergencias
  
- Versiones: movimientos de AO sincronizados y conjugados en una misma dirección (Figura 4)
  - o Posición primaria de mirada (PPM)
  - o Supraversión
  - o Infraversión
  - o Dextroversión
  - o Levoversión
  - o Dextrosupraversión
  - o Levosupraversión
  - o Dextrainfraversión
  - o Levoinfraversión



**Figura 4:** Posiciones según las versiones. (10)

Teniendo en cuenta la PPM, se conoce que existen dos tipos de desviaciones de los ejes visuales, las **tropias** y las **forias**.

- Las tropias (heterotropia): son desviaciones manifiestas estables, de los ejes visuales al fijar un punto. Uno de los ojos muestra una desviación clara respecto al otro. En principio, no se consigue fijación bifoveal sobre ningún estímulo visual.
- Las forias (heteroforias): son desviaciones no manifiestas (donde en condiciones normales los ojos fijan sobre el punto de fijación), pero que, cuando se ocluye un ojo para dissociar la visión binocular, se pueden detectar. Para el estudio de este tipo de desviaciones, es muy común realizar la prueba del Cover test (Figura 5). (10)



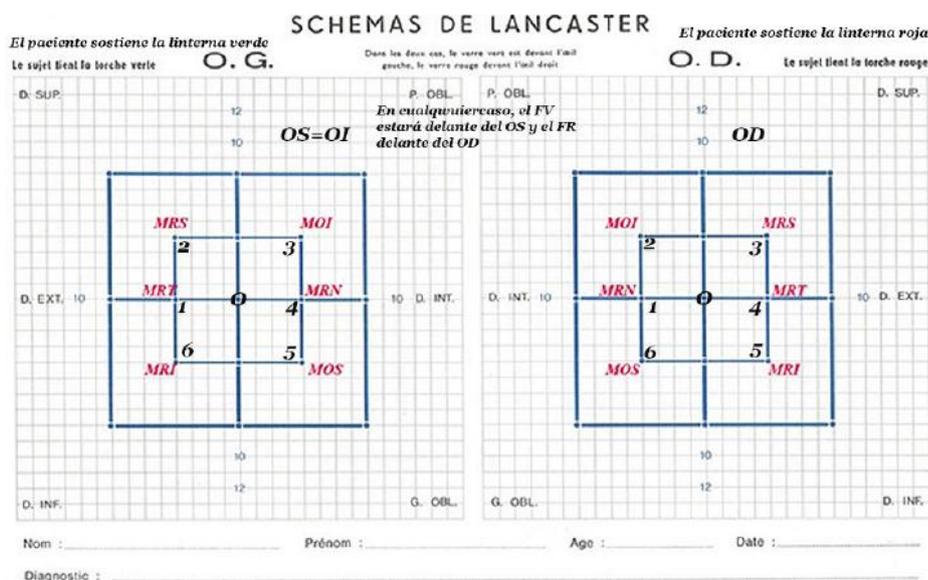
**Figura 5:** Pasos a realizar en la prueba del Cover Test. (10)

Existe una segunda clasificación de estas desviaciones (tropias y forias), si es **comitante** (continuo) o **incomitante** (intermitente). En una incomitante la desviación varía irregularmente con la dirección de mirada, mientras que, en una comitante, el ángulo de desviación permanece constante. En la práctica clínica la mayoría de los casos de forias, son comitantes.

#### 2.4. Pantalla de Hess Lancaster

Es una prueba subjetiva para explorar la coordinación y el grado de desviación de AO existente en las distintas posiciones de mirada (las 9 posiciones descritas en el punto anterior), con la cual se obtiene un gráfico de la motilidad extraocular del paciente de AO.

Los resultados obtenidos de cada paciente se irán apuntando durante la realización de la prueba en una plantilla, la cual simula la pantalla de Hess Lancaster en tamaño reducido. (Figura 6)



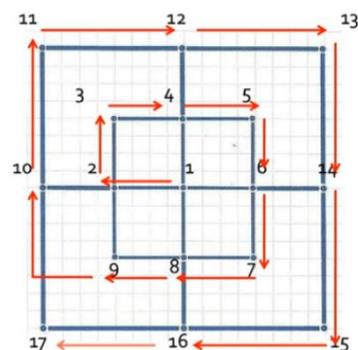
**Figura 6:** Imagen de la ficha de la plantilla de la prueba Hess Lancaster.

La prueba de Hess Lancaster fue diseñada por Luneau, es una pantalla cuadrada de 140 cm de lado, la cual tiene pequeños cuadrados formados por líneas horizontales y verticales separadas entre sí 7 cm. (Figura 7)

Además, hay que tener en cuenta que, si se realiza a un metro de distancia, cada cuadrado pequeño (de 7 cm de lado) equivale a 7 dioptrías prismáticas.

Esta prueba se realiza en pacientes con diplopia o con sospecha de tener desviaciones primarias y secundarias de uno o más MOE (como casos sobre hiper o hipoacción, o por una anomalía de uno o más nervios que inervan los MOE). También sirve para diagnosticar las torsiones que existirán cuando la franja luminosa proyectada por el paciente aparezca inclinada (se puede obtener un valor cualitativo en estos casos, ya que no se puede medir la inclinación).

A la hora de realizar esta prueba, el paciente llevará puestas unas gafas con filtros, un ojo con filtro rojo (FR) y el otro con filtro verde (FV), las cuales consiguen la disociación visual. Así se pretenden identificar y cuantificar desviaciones de un eje visual respecto al otro en CRN, además de la existencia de ciclodesviaciones, aunque estas últimas no serán cuantificables.



**Figura 7:** Imagen de la pantalla de Hess Lancaster, en la cual se pueden observar los puntos de evaluación.

La pantalla de Hess Lancaster suele ser útil para casos de paresias recientes de los MOE, pudiéndose determinar el músculo o grupo de músculos afectados. Mientras que no suele ser efectiva en casos de supresión de uno de los ojos y en heteroforias y heterotropias intermitentes, escotomas centrales o áreas de supresión.

Además, al realizar esta prueba hay que tener en cuenta una serie de factores:

- Pueden existir fluctuaciones debidas a la acomodación y/o convergencia.
- La posición de la cabeza del paciente debe ser la adecuada (que no la incline).
- El paciente deberá tener CRN (ya que no es útil realizar esta prueba en pacientes que tienen CRA) y una visión del color normal.
- La iluminación de la sala debe estar a un nivel muy bajo, pero que permita al examinador percibir los puntos de la pantalla a evaluar. (11)

## 2.5. Eyetracker

El eyetracker o rastreador ocular, detecta las posiciones donde apuntan los ejes visuales y los movimientos de mirada (como son la fijación o los sacádicos) para un estímulo visual presentado en un sistema informático o en un campo externo. (12)

El **seguimiento ocular** se ha convertido en una herramienta muy útil para estudiar la atención visual y la cognición, diagnosticar trastornos neurológicos e incluso para poder interactuar con ordenadores y pantallas inteligentes.

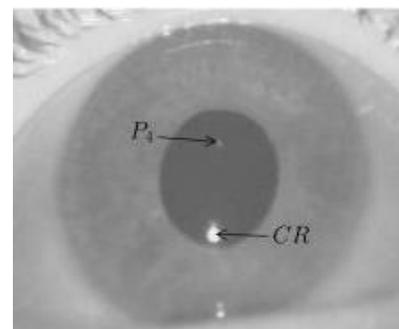
La mayoría de los eyetrackers actuales estiman los movimientos oculares utilizando como referencia el reflejo corneal detectable por el aparato en contraste con la pupila de los pacientes (o varios reflejos corneales en algunos casos).

Los reflejos en el ojo se generan al iluminarlo con una fuente de luz infrarroja cercana (la cual emite el eyetracker). Esta se refleja en la córnea (CR) y en el cristalino (P4). El más brillante corresponde al reflejo de la córnea y se moverá en la misma dirección que lo haga el ojo. (Figura 8)

Normalmente, un eyetracker emite diferentes señales adquiridas a una velocidad determinada según el aparato (en este caso el **Tobii Pro Fusion** (Tobii AB, Sweden) tiene una frecuencia de muestreo de 250Hz), donde la más común es la detección del reflejo pupilar de mirada. Además, puede determinar el tamaño, las posiciones del centro de ambas pupilas y determinar la distancia interpupilar.

Para calcular el centro de la pupila del paciente examinado existen diferentes métodos. Uno de ellos es calcular el centro de gravedad de los píxeles asociados con la pupila, mientras que otro se basa en el cálculo del centro de una elipse ajustada a la pupila.

La dirección de mirada en el eyetracker se calcula a través de un **proceso de calibración**, donde los participantes tienen que mirar una serie de objetos puntuales con ubicaciones conocidas y extremas en el campo que queremos evaluar. Este proceso es muy importante realizarlo a todos los pacientes antes de cada medida para que los datos recogidos sean válidos. (13)



**Figura 8:** Imagen de cómo se observarían los reflejos de una luz infrarroja emitida por un eyetracker, donde CR es la reflejada por la córnea y la P4 por el cristalino.

### 3. Hipótesis y objetivos

#### 3.1. Hipótesis

La Pantalla de Hess Lancaster es una prueba subjetiva por parte del examinador, donde no se puede detectar exactamente donde tiene los ojos el paciente (uno respecto al otro) ni cuantificar el grado de desviación existente entre AO en las diferentes posiciones de mirada de manera objetiva. Por tanto, gracias a la utilización de nuevas tecnologías, como es el eyetracker, se consiguen recoger datos objetivos de la posición y dirección de mirada de un ojo respecto al otro en las diferentes posiciones diagnósticas, sin intervenir la subjetividad del examinador.

#### 3.2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es medir de forma objetiva con el eyetracker la coordinación y dirección de mirada de AO en diferentes posiciones al realizar la pantalla de Hess Lancaster en una muestra de sujetos control sin disfunciones binoculares.

Como objetivos específicos:

- Realización de un examen optométrico completo de la visión binocular, donde será de mayor interés la evaluación de la alineación de los ejes visuales en busca de forias compensadas y la fusión, con test tradicionales como el Cover Test, varilla de Maddox y el test de Worth.
- Realización simultánea de la pantalla de Hess Lancaster de forma subjetiva, apuntando los resultados por parte del examinador, y de forma objetiva registrando los movimientos oculares por un eyetracker , para comparar ambos resultados.
- Comparar los datos recogidos por las pruebas optométricas tradicionales con los obtenidos en la pantalla de Hess Lancaster subjetiva y objetiva.

### 4. Material y métodos

#### 4.1. Sujetos a estudio

El estudio se realizó siguiendo los principios establecidos en la Declaración de Helsinki y tras la aprobación del Comité Ético de Investigación Clínica de Aragón (CEICA). A los participantes se les explicó en qué consistía el estudio y se les pidió que firmaran el consentimiento informado para proceder a la realización de las pruebas optométricas.

En este estudio se evaluaron 59 sujetos, de entre 18 y 27 años, a los cuales se les realizó un examen optométrico completo, en el cual se valoró el estado refractivo, la acomodación, las vergencias, la oculomotricidad y el estado sensorial.

Fueron **excluidos** los sujetos que padecían supresión de alguno de los dos ojos, agudeza visual inferior a 0,8 en cada ojo, estrabismo o alguna disfunción binocular que pudiera alterar los resultados o que tuvieran sintomatología con indicios de sospecha de padecerla.

#### 4.2. Protocolo exploratorio

Tras la evaluación optométrica quedaron 29 participantes sin problemas binoculares a los que se les realizó la prueba de la pantalla de Hess Lancaster. A la vez que se realizaba esta prueba de manera subjetiva apuntando los resultados de cada uno de los puntos, por parte siempre del mismo examinador, estaba colocado delante del sujeto el eyetracker, tomando medidas objetivas de cada punto.

De las pruebas optométricas realizadas en el examen preliminar, nos interesó la evaluación de la alineación de los ejes visuales, en concreto las **forias disociadas** horizontal y vertical, y la fusión, tanto en VL como en visión intermedia (VI) a 1 metro, de cada uno de los sujetos.

- Para **valorar las forias**, se realizaron el Cover Test y test de la varilla de Maddox en VL y en VI, obteniendo las posibles forias existentes tanto en horizontal como en vertical.
- El test de Worth se realizó para **evaluar la fusión** tanto central como periférica de cada uno de los sujetos y evitar supresiones que impidieran la realización de la pantalla de Hess Lancaster.

##### 4.2.1. Realización pantalla de Hess Lancaster

Para realizar la prueba de la **pantalla de Hess Lancaster** el paciente se coloca a 1 metro de la misma, sentado a la altura del punto central (punto 1, Figura 7), con la cabeza quieta y las gafas con FR/FV puestas. Solo podrá mover los ojos y la linterna que le proporcionemos en cada momento.

Estas linternas se denominan, linternas de Foster, una proyecta una franja luminosa roja (que será vista por el ojo que tenga el FR de la gafa) y otra que proyecta una franja verde (vista por el ojo que tenga por delante el FV). (Figura 9)

El explorador proyectará la luz en horizontal y el paciente proyectará su luz en vertical, formando una cruz y siguiendo un orden establecido (Figura 7), hasta completar los 17 puntos a evaluar.



**Figura 9:** Linternas de Foster

Se comienza con la **exploración del ojo izquierdo (OI):**

- En este estudio, el paciente tendrá colocada la gafa con el FV sobre el ojo derecho (OD) y el FR sobre el OI.
- El explorador proyectará la luz verde en horizontal y el paciente su luz roja en vertical. El paciente intentará formar la cruz siguiendo el orden de la Figura 7 conforme le vaya marcando el examinador cada uno de los 17 puntos.
- El explorador tendrá que ir apuntando donde ha colocado el paciente la franja de luz roja respecto a la verde del examinador sobre la cuadrícula izquierda de la plantilla (correspondiente al OI).

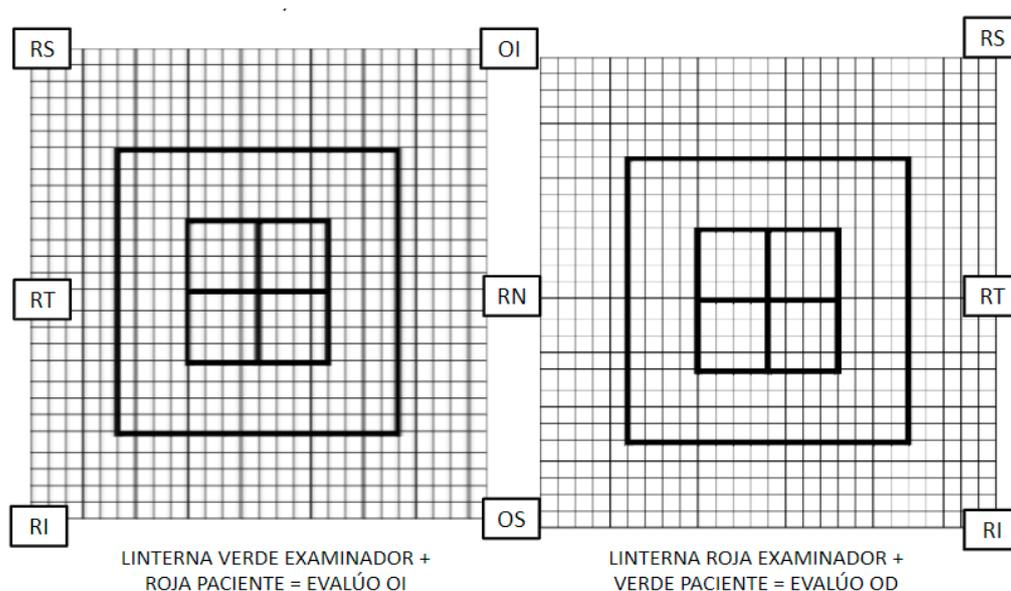
Seguido, se realiza la **evaluación del OD**:

- El paciente llevará ahora la linterna verde en vertical y el examinador la linterna roja en horizontal.
- Le haremos realizar las mismas cruces que hacíamos anteriormente y en el mismo orden.
- Esta vez, apuntaremos en la cuadrícula del lado derecho, que corresponde con el OD.

Si al realizar la prueba quedan las luces cruzadas correctamente significará que el paciente no tiene ningún tipo de desviación (ortoforia). En caso de quedar separadas las franjas luminosas, ya sea en horizontal o en vertical, aunque el paciente las verá cruzadas, se tratará de un caso de foria disociada (las tropias fueron excluidas) y si quedan inclinadas de un caso de ciclodesviación. (11)

En este caso, utilizamos unas gafas anaglifas con FR/FV, con el FR en el OI y el FV en el OD puesto que las gafas FV/FR más correspondientes con las luces de las linternas llevaban ese montaje. Además, tenían unos filtros más claros que facilitaban la detección de las pupilas al eyetracker para que pudiera tomar las medias perdiendo los mínimos datos posibles.

La plantilla donde apuntamos los resultados de forma manual fue modificada para nuestro protocolo de evaluación. (Figura 10)



**Figura 10:** Plantilla donde se anotarán los resultados recogidos manualmente

#### 4.2.2. Medida con eyetracker

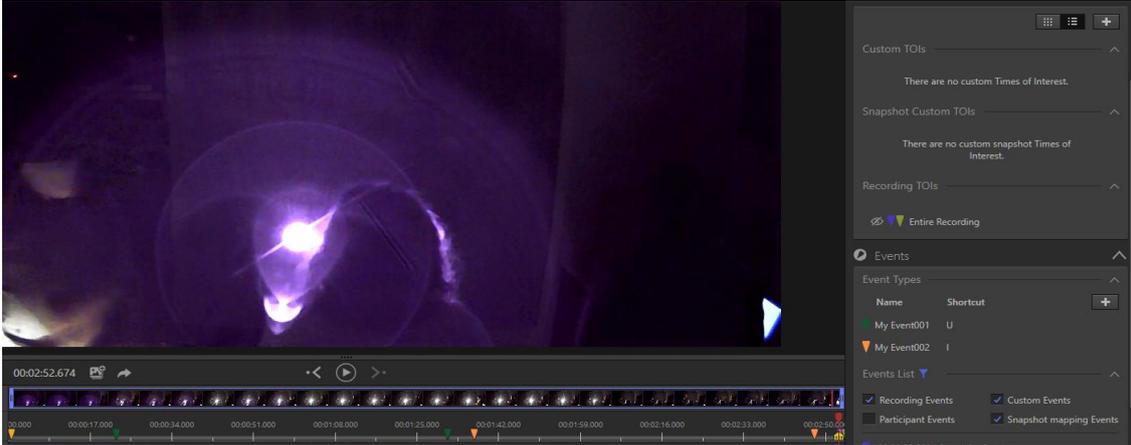
Además, mientras se realizaba la pantalla de Hess Lancaster, el **eyetracker** estaba colocado a 60 cm frente al paciente para detectar y monitorizar los movimientos oculares, obteniendo así medidas tanto subjetivas (apuntadas por el examinador en la plantilla) como objetivas (las detectadas por el eyetracker).

Los pasos seguidos antes de realizar las medidas fueron los siguientes:

- Colocación de los elementos del estudio (Figura 11)
    - o Trípode imantado sobre unas marcas del suelo, para que así, todas las medidas estuvieran a la misma distancia de la pantalla y del paciente y fueran comparables.  
En este trípode, se colocaba el eyetracker, el cual estaba conectado a un ordenador colocado en una mesa al lado.
    - o Silla a un metro de la pantalla de Hess Lancaster (donde también realizamos una marca en el suelo) y a 60 cm del eyetracker.
    - o Una cámara conectada al ordenador, la cual situamos en la parte de atrás de la sala, detrás del paciente, que grababa la prueba y que posteriormente nos permitirá representar la localización de las fijaciones sobre el vídeo.
- 
- Aplicaciones informáticas utilizadas:
    - o **Eyetracker MANAGER** (Tobii Technology, Sweden), para la selección del dispositivo **Tobii Pro Fusion** (Tobii Technology, Sweden) y su configuración.
    - o **Tobii Pro Lab** (Tobii Technology, Sweden) donde se diseñó el proyecto y se realizó la toma de medidas y revisión de las mismas para su exportación a Excel (Microsoft® Office Excel 2011, Microsoft Corporation).
    - o Ambas aplicaciones se configuraron específicamente para realizar la prueba de Hess Lancaster.
      - Antes de comenzar, se realizó una **pre-calibración** para cada participante comprobando que los puntos que salían en la pantalla de Hess Lancaster se correspondían con los puntos marcados en el programa Tobii Pro Lab y que tenían que verse coincidentes en la imagen que proporcionaba la cámara.
      - Después se realiza una **calibración final** en la que el paciente lleve puestas las gafas con FR/FV. Si uno de los dos ojos no era detectado por el eyetracker, el paciente se descartaba.
  - Tras la calibración, la prueba se realizó en condiciones de iluminación escotópica, se evaluó primero el OI y seguido el OD del paciente. A la vez se apuntaban los resultados en la plantilla.
  - Es muy importante fijarse que el eyetracker no pierda la detección de alguno de los ojos al realizar la prueba, ya que sino la prueba no es válida.

#### 4.3. Extracción de datos

Una vez realizada la prueba a todos los participantes, se revisaron todas las grabaciones en Tobii Pro Lab y se segmentaron con “eventos” en dos partes, **una primera parte** de la grabación donde comenzaba y terminaba la exploración del OI (My Event001 U en verde) y **una segunda parte** donde lo hacía la del OD (My Event002 I en naranja). (Figura 12)

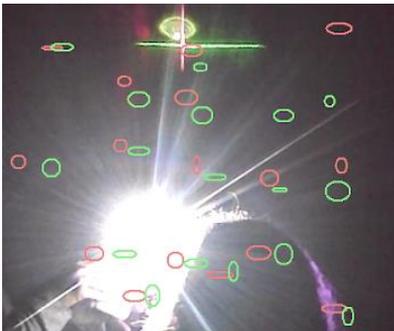


**Figura 12:** Imagen de los “eventos” de un sujeto creados sobre la grabación en Tobii Pro Lab.

Después se exportaron los datos desde Tobii Pro Lab a Excel (Microsoft® Office Excel 2011, Microsoft Corporation) y se cargaron en un programa creado específicamente para analizar las dioptrias prismáticas de desviación que existe entre la fijación del OI respecto al OD en cada uno de los puntos explorados durante la realización de la prueba (programa **ETrackerParse Video**) y se volvieron a exportar desde este programa a Excel para crear nuestras gráficas, según las coordenadas (x, y, z) tomadas por el eyetracker de la posición de cada ojo respecto a la pantalla. (Figuras 13 y 14)



**Figura 13:** Fijación en el punto central de la pantalla de Hess Lancaster, donde se puede ver la diferencia entre la exploración subjetiva (cruce de los haces de luz de las linternas roja (OI) y verde (OD)), y la exploración objetiva por el eyetracker (las elipses roja (OI) y verde (OD)). Imagen del programa ETrackerParse Video.



**Figura 14:** Pantalla realizada de manera objetiva y subjetiva para un OI, donde el eyetracker va recogiendo la información con las elipses de colores rojo y verde en cada una de las posiciones de fijación de AO para calcular las desviaciones prismáticas. Imagen tomada del programa ETrackerParse Video.

#### 4.4. Análisis estadístico

Los valores de las variables de interés se recogieron en bases de datos del programa Excel (Microsoft® Office Excel 2011, Microsoft Corporation), con el que se realizaron las figuras del apartado de resultados, según las coordenadas (x, y, z) de las posiciones de cada ojo en cada punto explorado. Además, se analizaron las desviaciones prismáticas en cada punto estudiado y de cada paciente, según se habían obtenido de forma manual o automática, con el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 24.0 Inc., Chicago, IL, EEUU).

Se valoró la distribución de la normalidad de las variables con el test de Kolmogorov-Smirnov y se estudió si existían diferencias entre los métodos de medida del mismo sujeto para cada punto, tanto en horizontal como en vertical (prueba T para muestras relacionadas) y su correlación. Un valor de  $p < 0,05$  se consideró estadísticamente significativo.

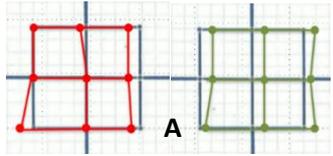
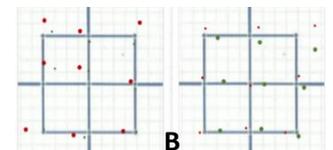
#### 5. Resultados

Se realizó la prueba a 29 sujetos, de los cuales fueron 16 descartados por problemas de detección del reflejo pupilar por el eyetracker no obteniendo medidas valorables. Finalmente se completaron 13 sujetos con una edad media de  $21,92 \pm 2,02$  años y una media de error refractivo de  $-2,83 \pm 1,91D$ , de los cuales fueron 8 mujeres y 5 hombres.

Los datos recogidos, tanto subjetivamente por parte del examinador (medida de la foria horizontal y vertical tanto en VL como en VI con la varilla de Maddox, y la pantalla de Hess Lancaster) como objetivamente (pantalla de Hess Lancaster con el eyetracker), quedan representados en la Tabla 2. Para el análisis de resultados de la pantalla de Hess Lancaster se tomaron los 9 puntos centrales (Figura 7) puesto que eran mucho más precisas las medidas tomadas por el eyetracker que los puntos del cuadrado más periférico (puntos del 10 al 17), donde había bastantes pérdidas de detección por parte del eyetracker en muchos pacientes.

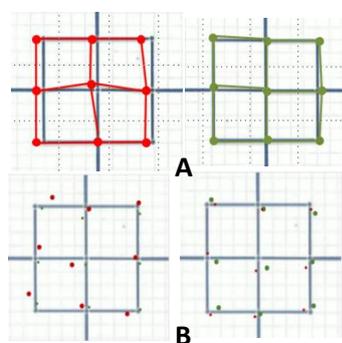
Sujeto 1

Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	Ortoforia	Ortoforia
Vertical	Ortoforia	1 Δ Base Sup. OD

	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)				
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	
	1	0,00	0,00	-5,00	0,00	-4,02	1,42	-6,08	-0,75
	2	0,00	0,00	-5,00	0,00	-4,76	2,08	-9,13	1,22
	3	0,00	0,00	-5,00	0,00	-3,17	4,30	-5,48	3,69
	4	-2,50	0,00	-5,00	0,00	-4,23	4,32	-1,03	6,03
	5	-5,00	0,00	-5,00	0,00	1,81	8,57	-1,03	9,57
	6	-5,00	0,00	-3,75	0,00	-2,25	3,28	-2,62	4,64
	7	-3,75	0,00	-5,00	0,00	-5,47	-0,10	-5,80	1,36
	8	0,00	0,00	-5,00	0,00	-4,78	0,74	-6,60	0,20
	9	-6,25	0,00	-2,50	0,00	-7,45	-0,15	-8,61	-1,00

Sujeto 2

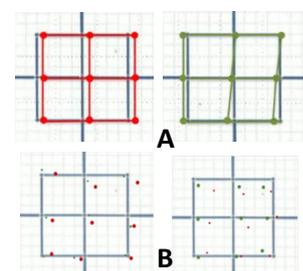
Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	1 Δ EXO	4 Δ EXO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	-2,50	2,50	0,00	0,00	-5,12	0,02	-4,35	-0,98
2	-2,50	0,00	0,00	1,25	1,72	4,78	-3,17	3,07
3	-2,50	0,00	0,00	1,25	3,75	4,10	1,16	-1,62
4	-2,50	0,00	0,00	0,00	2,46	3,70	-0,63	0,15
5	-5,00	0,00	0,00	0,00	5,76	0,04	-1,77	1,63
6	-2,50	0,00	-2,50	0,00	-2,44	2,12	-2,52	-2,13
7	-2,50	0,00	-1,25	0,00	5,53	0,03	-3,56	-1,65
8	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,67	0,38	-1,97	-1,13
9	-2,50	0,00	0,00	0,00	-3,05	3,35	-3,11	-2,61

Sujeto 3

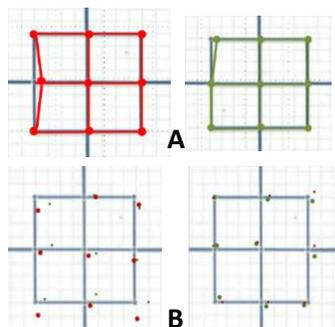
Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	3 Δ ENDO	2 Δ ENDO
Vertical	2 Δ Base Inf. OD	1 Δ Base Inf. OD



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	2,50	0,00	1,25	0,00	1,33	-3,67	3,56	-4,31
2	2,50	0,00	2,50	0,00	3,15	-1,05	5,46	-1,67
3	2,50	0,00	2,50	0,00	6,35	-1,33	7,45	-2,25
4	2,50	0,00	0,00	0,00	3,54	-2,54	2,10	-3,47
5	2,50	0,00	0,00	0,00	5,50	-2,23	3,70	-3,70
6	2,50	0,00	1,25	0,00	1,55	0,25	4,87	1,07
7	2,50	0,00	2,50	0,00	2,35	-1,20	3,70	-2,20
8	2,50	0,00	2,50	0,00	3,01	-0,68	2,10	0,40
9	2,50	0,00	2,50	0,00	3,47	1,13	3,95	2,73

Sujeto 4

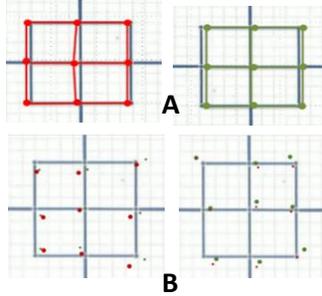
Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	Ortoforia	Ortoforia
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,75	-1,02	0,30	0,65
2	2,50	0,00	0,00	0,00	-4,23	-2,86	-1,70	-0,01
3	0,00	0,00	-2,50	0,00	-4,27	-2,43	-0,57	-0,23
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	-0,55	0,63	1,25
5	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,26	1,15	0,47	2,93
6	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,29	-0,26	-0,38	3,27
7	0,00	0,00	0,00	0,00	-5,20	-5,45	0,27	0,88
8	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,94	-4,18	0,58	1,52
9	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,01	-5,32	1,07	-1,40

Sujeto 5

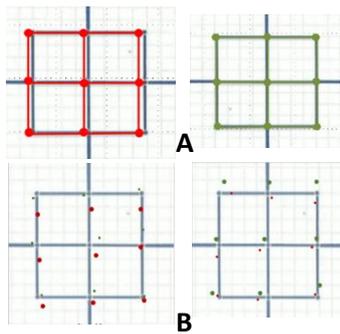
Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	Ortoforia	Ortoforia
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	$\Delta x$ OI	$\Delta y$ OI	$\Delta x$ OD	$\Delta y$ OD	$\Delta x$ OI	$\Delta y$ OI	$\Delta x$ OD	$\Delta y$ OD
1	-2,50	0,00	-1,25	0,00	-2,10	-1,27	-0,22	-2,76
2	-2,50	0,00	-2,50	0,00	0,90	-0,68	-0,30	-1,03
3	-2,50	0,00	-2,50	0,00	-0,99	-0,87	0,15	-0,53
4	-1,25	0,00	-1,25	0,00	-3,16	-1,99	1,48	-2,08
5	-1,25	0,00	-1,25	0,00	-2,98	-2,74	1,75	-4,70
6	-1,25	0,00	-1,25	0,00	-3,23	-2,16	-0,77	-2,66
7	-1,25	0,00	-1,25	0,00	-4,89	-3,35	-3,55	-3,92
8	-1,25	0,00	-1,25	0,00	0,58	-2,78	-1,55	-2,73
9	-2,50	0,00	-2,50	0,00	1,12	-0,80	-1,97	-2,73

Sujeto 6

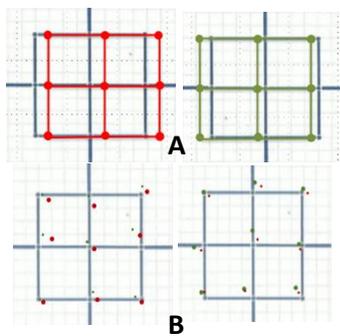
Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	1 $\Delta$ ENDO	1 $\Delta$ ENDO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	$\Delta x$ OI	$\Delta y$ OI	$\Delta x$ OD	$\Delta y$ OD	$\Delta x$ OI	$\Delta y$ OI	$\Delta x$ OD	$\Delta y$ OD
1	-1,25	0,00	0,00	0,00	-1,27	-5,70	-1,91	-3,46
2	-1,25	0,00	0,00	0,00	2,88	-4,81	0,40	-5,32
3	-1,25	0,00	0,00	0,00	1,60	-4,90	2,99	-3,47
4	-1,25	0,00	0,00	0,00	3,40	-4,27	1,08	-4,43
5	-2,50	0,00	0,00	0,00	0,65	-6,01	-0,46	-6,37
6	-2,50	0,00	0,00	0,00	-0,62	-5,41	-1,70	-2,69
7	-2,50	0,00	0,00	0,00	0,08	-1,18	-1,70	-2,69
8	-1,25	0,00	0,00	0,00	-0,51	-3,76	-1,00	-1,93
9	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,39	-3,36	1,78	-0,70

Sujeto 7

Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	Ortoforia	Ortoforia
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	$\Delta x$ OI	$\Delta y$ OI	$\Delta x$ OD	$\Delta y$ OD	$\Delta x$ OI	$\Delta y$ OI	$\Delta x$ OD	$\Delta y$ OD
1	5,00	0,00	2,50	0,00	3,05	-2,72	1,90	-2,61
2	5,00	0,00	3,75	0,00	3,74	-1,70	2,46	-0,63
3	5,00	0,00	3,75	0,00	2,67	-2,20	1,95	-0,93
4	5,00	0,00	2,50	0,00	2,20	-3,63	2,50	-1,00
5	5,00	0,00	2,50	0,00	2,10	-2,05	1,64	-1,06
6	5,00	0,00	2,50	0,00	3,20	-2,27	0,45	-1,40
7	5,00	0,00	2,50	0,00	2,60	-2,03	0,87	-1,40
8	5,00	0,00	2,50	0,00	1,76	-3,03	0,28	-0,51
9	5,00	0,00	3,75	0,00	1,24	-0,94	0,90	0,23

Sujeto 8

Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	Ortoforia	1 Δ EXO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia

	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	-5,00	0,00	-2,50	0,00	0,71	-0,98	0,10	0,30
2	-5,00	0,00	-5,00	0,00	2,53	1,45	6,05	2,05
3	-5,00	0,00	-5,00	0,00	0,20	-4,67	0,67	-2,57
4	-5,00	0,00	-5,00	0,00	3,30	-3,63	2,00	-3,22
5	-5,00	0,00	-5,00	0,00	3,70	-2,60	3,15	-5,08
6	-5,00	0,00	-5,00	0,00	3,92	-2,12	1,03	1,30
7	-5,00	0,00	-5,00	0,00	3,83	-3,77	2,80	-5,76
8	-2,50	0,00	-5,00	0,00	3,51	1,92	-0,63	-1,15
9	-2,50	0,00	-2,50	0,00	0,01	-3,09	1,48	-0,71

Sujeto 9

Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	Ortoforia	1 Δ EXO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia

	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	-5,00	0,00	-20,00	0,00	-0,08	2,13	-0,20	3,70
2	-6,25	0,00	-15,00	0,00	-4,00	8,97	2,60	-6,80
3	-5,00	0,00	-20,00	0,00	-6,68	6,03	-10,78	7,62
4	-15,00	0,00	-20,00	0,00	-1,03	2,43	-4,30	5,90
5	-10,00	0,00	-20,00	0,00	-5,52	7,44	-7,00	10,65
6	-20,00	0,00	-15,00	0,00	-6,00	9,25	-10,18	10,93
7	-15,00	0,00	-22,50	0,00	-1,73	7,80	-8,53	-3,80
8	-15,00	0,00	-20,00	0,00	-1,53	8,47	-1,20	6,60
9	-15,00	0,00	-15,00	0,00	-8,45	4,25	-1,90	8,80

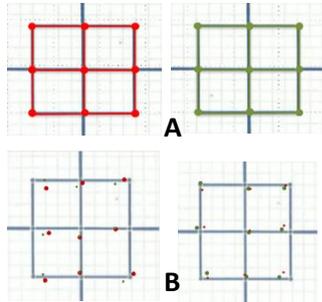
Sujeto 10

Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	2 Δ ENDO	2 Δ ENDO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia

	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	0,00	0,00	0,00	0,00	2,72	0,58	1,45	0,43
2	0,00	0,00	0,00	0,00	3,74	-0,58	2,16	0,40
3	0,00	0,00	0,00	0,00	5,69	1,11	-4,02	-0,51
4	0,00	0,00	0,00	0,00	1,83	3,30	2,08	-0,08
5	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,59	2,43	1,08	1,22
6	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	1,60	1,33	-1,30
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,04	2,48	0,84
8	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36	3,40	0,35	0,45
9	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36	0,98	0,575	-0,43

Sujeto 11

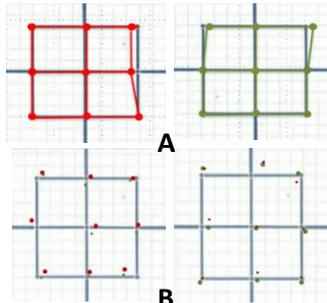
Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	4 Δ ENDO	2 Δ ENDO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	-0,25	0,27	0,71
2	0,00	0,00	0,00	0,00	2,93	0,60	3,77	0,47
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	-2,36	0,93	-2,39
4	0,00	0,00	0,00	0,00	3,03	1,19	0,65	0,08
5	0,00	0,00	0,00	0,00	4,54	1,33	0,80	1,30
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	-0,33	1,18	1,50
7	0,00	0,00	0,00	0,00	4,72	2,30	2,00	-2,58
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	-0,25	-0,85	0,68
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	-1,82	0,30	-1,76

Sujeto 12

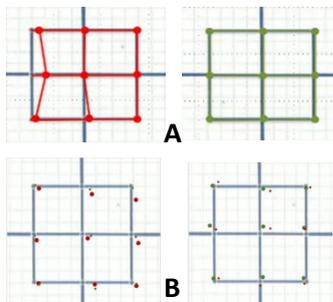
Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	4 Δ ENDO	2 Δ ENDO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	0,00	0,00	0,00	0,00	1,66	3,98	0,51	1,27
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	1,83	0,39	4,97
3	0,00	0,00	-2,50	0,00	-0,58	0,96	0,93	0,05
4	0,00	0,00	0,00	0,00	2,13	4,11	0,40	1,48
5	-2,50	0,00	-3,75	0,00	1,16	1,14	-0,85	-4,33
6	-2,50	0,00	0,00	0,00	0,62	3,62	-1,50	1,24
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	2,61	-0,19	2,94
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	2,11	-0,72	4,20
9	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38	2,97	1,13	2,26

Sujeto 13

Foria Varilla de Maddox	VL	VI
Horizontal	1 Δ ENDO	1 Δ ENDO
Vertical	Ortoforia	Ortoforia



	MANUAL				AUTOMÁTICO (eyetracker)			
	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD	Δx OI	Δy OI	Δx OD	Δy OD
1	0,00	0,00	0,00	0,00	-2,04	-1,30	2,78	-0,76
2	5,00	0,00	0,00	0,00	1,02	-2,48	2,10	-1,53
3	2,50	0,00	0,00	0,00	2,44	-1,34	1,91	1,53
4	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	-2,82	2,78	-0,76
5	0,00	0,00	0,00	0,00	2,51	-6,54	1,54	0,47
6	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	-2,88	0,22	-0,36
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	-1,28	0,23	-2,58
8	1,25	0,00	0,00	0,00	-0,27	2,09	-1,08	-3,35
9	1,25	0,00	0,00	0,00	0,94	0,55	2,04	0,24

**Tabla 2:** Datos de los 13 sujetos del estudio. Arriba una primera tabla con los datos subjetivos de los valores de las forias horizontal y vertical medidas con la Varilla de Maddox tanto para VL

como para VI. Debajo a la derecha otra tabla con los datos, tanto objetivos (las fijaciones recogidas por el eyetracker de los 9 puntos centrales de las pantallas de Hess Lancaster) como subjetivos (desviaciones estimadas tras la recogida de datos de forma manual por el explorador y plasmado en las plantillas de las pruebas de Hess Lancaster), en ambos casos desviaciones horizontales ( $\Delta x$ ) y verticales ( $\Delta y$ ) para cada ojo. A la izquierda arriba resultado representado de la pantalla de Hess Lancaster obtenida de forma manual (roja para el OI y verde para el OD (ilustración A)) y justo debajo la representación de los puntos obtenidos con el eyetracker (puntos rojos para el OI y verdes para el OD (ilustración B)).

Hay que tener en cuenta que el programa que hemos creado para analizar los datos del eyetracker toma las desviaciones prismáticas cogiendo de referencia lo que se desvía **el OI respecto del OD**, por eso siempre representamos unos puntos pequeños y otros grandes (los grandes correspondientes al ojo que estamos evaluando), para que se vea que esa desviación numérica que plasmamos en la tabla es siempre de un punto respecto al otro (Ilustraciones A y B de la Tabla 2). Así pues, una exoforia irá con signo negativo (-), mientras que cuando se refiere a una endoforia va con signo (+). En el caso de las desviaciones verticales, una hiperforia del OD será signo (+) y una hipoforia del OD será (-).

Una vez se tuvieron todos los valores en los nueve puntos de las desviaciones prismáticas al evaluar cada ojo en la pantalla de Hess Lancaster y de cada sujeto, se comparó si existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores que se obtenían al realizar la prueba de manera subjetiva y objetiva y si existía correlación entre los dos métodos, lo que se muestra en la siguiente tabla (Tabla 3):

Valores subjetivos vs. objetivos	Diferencias (p)	Coef. Correlación (cc) (p)
$\Delta x$ OI	<0,001	0,401 (<0,001)
$\Delta y$ OI	0,815	0,002 (0,983)
$\Delta x$ OD	<0,001	0,527 (<0,001)
$\Delta y$ OD	0,650	0,034 (0,716)

**Tabla 3:** Diferencias relacionadas entre las medidas y coeficiente de correlación (cc) que se obtienen al comprar los resultados de las desviaciones horizontal ( $\Delta x$ ) y vertical ( $\Delta y$ ) recogidos subjetivamente versus los objetivos con un tamaño muestral de 117 mediciones (9 puntos de 13 sujetos). Se consideró estadísticamente significativo un valor de  $p < 0,05$ .

## 6. Discusión

### 6.1. Discusión de los resultados por participante

A continuación, se interpretan y discuten algunos ejemplos de los resultados de las desviaciones que se encontraron en esta muestra de pacientes:

#### En el sujeto 1:

- Para el OD:

- Pantalla de Lancaster medida de forma **subjetiva o manual**: salen valores negativos horizontales indicando una exoforia de  $-5 \Delta$  en PPM (punto 1), que se mantiene cuando mira a la izquierda (punto 2) y a la derecha parece que disminuye un poco a  $-3,75 \Delta$  (punto 6). En mirada superior en los puntos 3, 4 y 5 se mantiene una exoforia constante de  $-5 \Delta$  y en mirada inferior también (para los puntos 7 y 8), en cambio en el punto 9 disminuye ligeramente a  $-2,50 \Delta$ .  
No se detecta desviación vertical en ninguno de los puntos.
- Si lo comparamos con las medidas obtenidas **objetivamente con eyetracker** también salen valores negativos para la PPM (punto 1) con una exoforia de  $-6,08 \Delta$ , en este caso el aparato ha medido en mirada a la izquierda una exoforia más elevada con  $-9,13 \Delta$  (punto 2) y en mirada a la derecha disminuye también la exo a  $-2,62 \Delta$  (punto 6). En mirada superior (puntos 3, 4 y 5) salen valores de exoforia de  $-5,48 \Delta$ ,  $-1,03 \Delta$  y  $-1,03 \Delta$  respectivamente, con los dos últimos valores muy bajos, y en mirada inferior vuelve a aumentar el valor de la exoforia en los puntos 7 ( $-5,80\Delta$ ), 8 ( $-6,60 \Delta$ ) y 9 ( $-8,61$ ).  
En cambio, en mirada superior el aparato mide desviaciones verticales no detectadas cuando se mide de manera subjetiva. En este caso, con la medida realiza con el eyetracker se recoge valor negativo correspondiente a hipoforia del OD para la PPM (punto 1) de  $-0,75 \Delta$ , mientras que en mirada izquierda (punto 2) y derecha (punto 6) cambia a valores positivos (hiperforia del OD) de  $1,22 \Delta$  y  $4,64 \Delta$ , respectivamente. En mirada superior (puntos 3, 4 y 5) salen valores de hiperforia del OD de  $3,69 \Delta$ ,  $6,03 \Delta$  y  $9,57 \Delta$  respectivamente, donde cabe destacar una mayor hiperforia en el punto 5 en comparación con los demás puntos analizados en esta dirección de mirada. Y en mirada inferior encontramos valores de hiperforia del OD más bajos en los puntos 7 ( $1,36 \Delta$ ) y 8 ( $0,20 \Delta$ ), mientras que en el punto 9 se recoge un valor de hipoforia del OD de  $-1,00 \Delta$ .
- Para el OI:
  - Pantalla de Lancaster medida de forma **subjetiva o manual**: salen valores de ortoforia ( $0,00 \Delta$ ) horizontales indicando que no existe desviación en PPM (punto 1) ni en mirada a la izquierda (punto 2), sin embargo, cuando mira a la derecha (punto 6) podemos observar una exoforia de  $-5,00 \Delta$ . En mirada superior en el punto 3 se mantiene en ortoforia, mientras que en los puntos 4 y 5 se vuelve a encontrar una exoforia de  $-2,50 \Delta$  y  $-5,00 \Delta$ , respectivamente. En mirada inferior encontramos valores de exoforia en los puntos 7 ( $-3,75 \Delta$ ) y 9 ( $-6,25 \Delta$ ), y en cambio, en el punto 8 se vuelve a encontrar ortoforia.  
No se detecta desviación vertical en ninguno de los puntos.
  - Si lo comparamos con las medidas obtenidas **objetivamente con eyetracker** podemos observar que en horizontal existe una exoforia de  $-4,02 \Delta$  en PPM (punto 1), a la izquierda (punto 2) de  $-4,76 \Delta$  y a la derecha (punto 6) de  $-2,25 \Delta$ . En mirada superior, existe una exoforia de  $-3,17 \Delta$  en el punto 3 y de  $-4,23 \Delta$  en el punto 4, mientras que en el punto 5 se recoge una endoforia de  $1,81 \Delta$ . Y en mirada inferior vuelve a aumentar el valor de la exoforia en los puntos 7 ( $-5,47 \Delta$ ), 8 ( $-4,78 \Delta$ ) y 9 ( $-7,45 \Delta$ ).  
El aparato mide desviaciones verticales no detectadas de manera manual. Se recogen valores positivos correspondientes a hiperforia del OD, o su equivalente hipoforia del OI, en PPM de  $1,42 \Delta$ , en mirada a la izquierda (punto 2) de  $2,08 \Delta$  y a la derecha (punto 6) de  $3,28 \Delta$ . En mirada superior correspondiente a los puntos 3, 4 y 5 encontramos valores de  $4,30 \Delta$ ,  $4,32 \Delta$  y  $8,57 \Delta$  respectivamente, donde cabe destacar una mayor hiperforia del OD en el punto 5 en comparación con los demás puntos analizados en esta dirección

de mirada. En mirada inferior encontramos valores de hipoforia del OD (o hiperforia del OI) en los puntos 7 (-0,10 Δ) y 9 (-0,15 Δ), mientras que en el punto 8 se recoge una hiperforia del OD de 0,74 Δ.

- Al realizar el test subjetivo con la varilla de Maddox en distancia de VI, el sujeto 1 tiene ortoforia en horizontal y una hipoforia de 1 Δ BS OD (-1 Δ) en vertical cuando se encuentra en PPM. Si estos resultados medidos subjetivamente con la Varilla de Maddox los comparamos con la medida tomada por el eyetracker en esa misma posición de mirada (punto 1), podemos ver que existe una diferencia notable en componente horizontal, ya que los recogidos por el eyetracker son de -6,08 Δ en el OD y -4,02 Δ en el OI (correspondientes ambos a una exoforia), pero en vertical se obtienen unos valores muy similares, siendo estos de -0,75 Δ en el OD y -0,15 Δ en el OI (correspondientes a una hipoforia del OD o a una hiperforia del OI).
- Con todos los resultados de este paciente podemos determinar que tiene una exoforia en la mayoría de posiciones diagnósticas de mirada, no detectada con el test de la varilla de Maddox, pero sí con la pantalla de Lancaster en ambas modalidades (manual y con eyetracker). Además, en PPM cursa con una hipoforia del OD detectada en la varilla de Maddox y eyetracker, pero no con pantalla de Lancaster manual, esa hipoforia del OD se convierte en hiperforia del OD en el resto de posiciones diagnósticas de mirada.

### En el sujeto 3:

- Para el OD:
  - Pantalla de Lancaster medida de forma **subjetiva o manual**: salen valores positivos horizontales indicando una endoforia de 1,25 Δ en PPM (punto 1), que se mantiene cuando mira a la derecha (punto 6), y cuando mira a la izquierda aumenta a 2,50 Δ (punto 2). En mirada superior encontramos un valor de 2,50 Δ en el punto 3, mientras que el punto 4 y 5 se mantiene una ortoforia constante y en mirada inferior, para los puntos 7, 8 y 9 nos volvemos a encontrar un valor de endoforia de 2,50 Δ.  
No se detecta desviación vertical en ninguno de los puntos.
  - Si lo comparamos con las medidas obtenidas **objetivamente con eyetracker** también salen valores positivos para la PPM (punto 1) con una endoforia de 3,56 Δ, en este caso el aparato ha medido en mirada a la izquierda una endoforia más elevada con 5,46 Δ (punto 2), así como en mirada a la derecha 4,87 Δ (punto 6). En mirada superior (puntos 3, 4 y 5) salen valores de endoforia de 7,45 Δ, 2,10 Δ y 3,70 Δ respectivamente, y en mirada inferior se mantiene esa endoforia en los puntos 7 (3,70 Δ), 8 (2,10 Δ) y 9 (3,95 Δ).  
En este caso el aparato también mide desviaciones verticales no detectadas cuando se mide de manera subjetiva. El eyetracker recoge un valor negativo correspondiente a hipoforia del OD para la PPM (punto 1) de -4,31 Δ, en mirada izquierda (punto 2) un valor de -1,76 Δ y cambia a valor de 1,07 Δ (hiperforia OD) hacia la derecha (punto 6). En mirada superior (puntos 3, 4 y 5) salen valores de hipoforia del OD de -2,25 Δ, -3,47 Δ y -3,70 Δ respectivamente. En mirada inferior encontramos valores de hipoforia del OD en el punto 7 (-2,20 Δ), que cambia a leve hiperforia en los puntos 8 (0,40 Δ) y punto 9 (2,73Δ).
- Para el OI:
  - Pantalla de Lancaster medida de forma **subjetiva o manual**: sale endoforia de 2,50 Δ en los 9 puntos examinados en la pantalla de Hess Lancaster.

No se detecta desviación vertical en ninguno de los puntos.

- Si lo comparamos con las medidas obtenidas **objetivamente con eyetracker** podemos observar que en horizontal existe una endoforia de 1,33  $\Delta$  en PPM (punto 1), a la izquierda (punto 2) de 3,15  $\Delta$  y a la derecha (punto 6) de 1,55  $\Delta$ . En mirada superior, existe una endoforia con valor mayor en el punto 3 de 6,25  $\Delta$ , de 3,54  $\Delta$  en el punto 4 y de 5,50  $\Delta$  en el punto 5. En mirada inferior vuelve a disminuir el valor de la endoforia en los puntos 7 (2,35  $\Delta$ ), 8 (3,01  $\Delta$ ) y 9 (3,47  $\Delta$ ).

El aparato mide desviaciones verticales no detectadas de manera manual. Se recogen valores negativos correspondientes a hipoforia del OD, o su equivalente hiperforia del OI, en PPM de -3,67  $\Delta$ , en mirada a la izquierda (punto 2) de -1,05  $\Delta$  y a la derecha (punto 6) un valor positivo correspondiente a una hipoforia del OD de 0,25  $\Delta$ . En mirada superior correspondiente a los puntos 3, 4 y 5 encontramos valores de -1,33  $\Delta$ , -2,54  $\Delta$  y -2,23  $\Delta$  respectivamente. En mirada inferior encontramos valores de hipoforia del OD (o hiperforia del OI) en los puntos 7 (-1,20  $\Delta$ ) y 8 (-0,68  $\Delta$ ), mientras que en el punto 9 se recoge una hiperforia del OD de 1,13  $\Delta$ .

Al realizar el test subjetivo con la varilla de Maddox en distancia de VI, el sujeto 3 tiene endoforia de 2  $\Delta$  en horizontal y una hiperforia de 1  $\Delta$  BI OD (1  $\Delta$ ) en vertical cuando se encuentra en PPM. Si estos resultados medidos subjetivamente con la Varilla de Maddox los comparamos con la medida tomada por el eyetracker en esa misma posición de mirada (punto 1), podemos ver que se parecen en componente horizontal, ya que los recogidos por el eyetracker son de 3,56  $\Delta$  en el OD y 1,33  $\Delta$  en el OI (correspondientes ambos a una endoforia), pero en vertical se obtienen unos valores bastante distintos, siendo -4,31  $\Delta$  en el OD y -3,67  $\Delta$  en el OI (correspondientes a una hiperforia del OD o a una hipoforia del OI).

## 6.2. Discusión de los resultados estadísticos

Una vez recogidos todos los valores de desviaciones horizontal y vertical para cada uno de los 9 puntos de cada ojo y de cada sujeto del estudio, se pasó a realizar una estadística para muestras relacionadas (Tabla 3). Se compararon las medidas recogidas manualmente y por parte del eyetracker de las **desviaciones horizontales del OD y del OI** por separado, en la cual se obtuvo que existían diferencias estadísticamente significativas para AO (para el OD  $p < 0,001$  y para el OI  $p < 0,001$ ), es decir, se obtienen resultados diferentes al realizar la misma prueba al mismo tiempo si se apunta subjetivamente por parte del examinador que si se mide objetivamente con el eyetracker. Pero se vio una correlación estadísticamente significativa positiva para ambos ojos en medidas horizontales (OD:  $cc=0,401$ ,  $p < 0,001$  y OI:  $cc=0,527$ ,  $p < 0,001$ ) que indica que, aunque haya diferencias estadísticamente significativas entre el valor de las medidas, se observa que, si la medida manual es una endoforia, el eyetracker también medirá una endoforia y que si el examinador detecta una exoforia también lo será por parte del eyetracker. Hay diferencias en el valor absoluto de las medidas subjetiva y objetiva, pero no las hay en el signo o en la dirección de la desviación.

Esta comparación entre medida subjetiva y objetiva también se realizó para **la desviación vertical** y para cada ojo por separado, donde por el contrario que en el horizontal, se obtuvo que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los valores de desviaciones prismáticas medidos de una forma u otra (OD:  $p=0,815$  y OI:  $p=0,650$ ), pero no existía ninguna

correlación entre ellos (OD:  $cc=0,002$ ,  $p=0,983$  y OI:  $cc=0,034$ ,  $p=0,716$ ). Esto indica que la desviación vertical podía no ser detectada por el examinador y el eyetracker medir cierta desviación vertical o que el examinador detectara cierta hiperforia del OD y en cambio el eyetracker detectarla como hipoforia del OD (como ha pasado en el sujeto 3 comentado).

Por todo lo anterior, los resultados en cuanto a desviación horizontal son bastante similares entre todas las modalidades de test realizadas (varilla de Maddox, pantalla de Lancaster manual y medida con eyetracker), pero se pueden encontrar variaciones en la magnitud de la desviación de unos a otros, aunque no en la dirección (si hay una endoforia, se detecta como endoforia en los tres casos). Ninguno es diagnóstico por sí solo, pero todos ellos son complementarios al resto de pruebas optométricas que se realizarían en una consulta. En cambio, las desviaciones verticales son más difíciles de detectar y cuantificar por parte del examinador, obteniendo valores diferentes cuando se miden de forma objetiva con el eyetracker, sobre todo cuando se trata de magnitudes pequeñas, como ha sido en el caso de este trabajo.

En este trabajo se ha querido comprobar si al analizar los 9 puntos centrales de la pantalla de Hess Lancaster, de manera subjetiva (medidas tomadas por el examinador manualmente) y objetiva (tomadas por el eyetracker) se encuentran resultados iguales o muy parecidos, o por el contrario muy diferentes, ya que depende mucho de la subjetividad del examinador que la esté realizando, que en este caso ha sido siempre el mismo.

Hoy en día, gracias a los avances tecnológicos, se está buscando mejorar la fiabilidad y reproducibilidad de esta prueba tratando de objetivarla.

Se puede encontrar un trabajo presentado en ARVO "Association for Research in Vision and Ophthalmology" del año 2015 de Seo y cols., el cuál compara realizar esta prueba de manera tradicional (evaluando punto por punto con linternas y representando los resultados de manera gráfica) con la realización con la ayuda de un ratón 3D. Realizan esta comparación buscando mayor reproducibilidad, mejora de la interfaz del usuario y la fidelidad de la prueba. Al observar los resultados del estudio, pudieron recoger que esta forma nueva de realización podría mejorar el rendimiento y la confiabilidad de la prueba, conclusión muy similar a la nuestra.

Tras haber realizado una búsqueda exhaustiva sobre más estudios o publicaciones que realizaran una comparación del método subjetivo con el manual (como se realizó en nuestro estudio), no se encontraron más resultados que el anteriormente explicado, esto es porque es un campo nuevo de investigación, con el cual se podrían llegar a conseguir grandes avances en el campo de las desviaciones binoculares medidas de forma objetiva.

### 6.3. Limitaciones

Como se puede observar en los resultados plasmados anteriormente, la muestra de sujetos descrita era bastante pequeña, debido a que, en la realización de la prueba, el eyetracker no detectó bien los ojos a todos los participantes.

Mirando las tablas de resultados cuantitativos, se puede destacar una pequeña diferencia en el componente vertical de mirada. Esto es que, en casi todos los sujetos, el eyetracker ha recogido

una desviación vertical mientras que, en la recogida de datos de forma subjetiva, el examinador no es capaz de detectar dicha desviación.

Otro tema que puede ser cuestionado es la fiabilidad de la calibración del eyetracker, ya que esto influirá directamente con los resultados de las desviaciones de los sujetos. Es necesaria una calibración por sujeto cada vez que se realiza la prueba.

En resumen, teniendo en cuenta los datos recogidos de los 13 sujetos, se podría decir que los resultados son muy parecidos en cuanto a dirección, sobre todo en desviaciones horizontales, siendo más exactos para un estudio cuantitativo los recogidos por el eyetracker.

Todavía existen ciertas limitaciones en la realización de la pantalla de Hess Lancaster con eyetracker pero que poco a poco se pretenden ir mejorando, gracias a los avances científicos y tecnológicos, para que se puedan obtener datos más objetivos y fiables que permitan cuantificar las desviaciones en cada posición de mirada.

## 7. Conclusiones

El eyetracker es un método objetivo con el cual podemos evaluar la prueba de la pantalla de Hess Lancaster en pacientes con ausencia de problemas binoculares obteniendo resultados más exactos que cuando se realiza de forma subjetiva.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio podemos deducir las siguientes conclusiones:

- Los sujetos recogidos en este estudio mantienen una alineación de los ejes visuales adecuada, con forias compensadas y fusión en visión asociada.
- Existen diferencias en el valor absoluto de las medidas subjetiva y objetiva al realizar la pantalla de Hess Lancaster en las 9 posiciones diagnósticas de la mirada, pero no en el signo o en la dirección de la desviación horizontal.
- Las medidas de las desviaciones horizontales son bastantes similares entre todas las modalidades realizadas (varilla de Maddox, pantalla de Hess Lancaster manual y medida con eyetracker) con la única diferencia de la magnitud.
- Las desviaciones verticales son más difíciles de detectar por el examinador en los test subjetivos y el eyetracker es capaz de medir pequeñas desviaciones.
- El eyetracker es un instrumento que se utiliza para poder obtener datos objetivos, ganando mayor precisión y fiabilidad, sin interferir la subjetividad del examinador.

## 8. Bibliografía

1. Palomar-Petit F, Collado F. consideraciones acerca del campo visual binocular de superposicion normal y patologico. Archivos Soc Oftalmol Hisp Am . 1958 .
2. Perea J. Alteraciones Sensoriales Del Estrabismo. 2015;1–43. [http://www.doctorjoseperea.com/images/libros/pdf/estrabismos/capitulo5.pdf?fbclid=IwAR01ek-\\_P\\_4\\_nXKmt6gvwrUiwDbsh5MXzp6RCh4r3xjUUEBDKljTMwP7tLA](http://www.doctorjoseperea.com/images/libros/pdf/estrabismos/capitulo5.pdf?fbclid=IwAR01ek-_P_4_nXKmt6gvwrUiwDbsh5MXzp6RCh4r3xjUUEBDKljTMwP7tLA)
3. Phillips PH. Treatment of diplopia. Semin Neurol. 2007 Jul;27(3):288–98.
4. Boyd K, Turbert D. Eye Anatomy: Parts of the Eye and How We See. American Academy of Ophthalmology. 2011. <https://www.aao.org/eye-health/anatomy/parts-of-eye>
5. Montés-Micó R, Diego C, Fernández J, Martínez P. Optometría: principios básicos y aplicación clínica. 1st ed. Elsevier; 2011.
6. Soria Peñas L. Protocolo para la evaluación de la función vergencial en un examen optométrico. Universidad de Sevilla. 2017. [https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/64674/14TFG\\_LORENA\\_SORIA\\_PENAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/64674/14TFG_LORENA_SORIA_PENAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
7. McLoon L. Los músculos extraoculares. Fisiología del ojo de Adler. 2011. 182–207 p.
8. Haładaj R. Normal Anatomy and Anomalies of the Rectus Extraocular Muscles in Human: A Review of the Recent Data and Findings. Biomed Res Int. 2019. 2019:8909162.
9. Tlaseca García G. Caracterización de problemas motores en niños de 6 a 14 años en la escuela primaria Cuauhtémoc del municipio de Tenago del Aire . 2010. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/10171/220.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
10. Martín R, Vecilla G, Ares J, Bueno I. Manual de optometría. Segunda ed. Editorial médica panamericana; 2018.
11. Saona Santos C. Pantalla de Lancaster. Universidad Politécnica de Barcelona. 1980.
12. Venugopal D, Amudha J, Jyotsna C. Developing an application using eye tracker. International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT). 2016; 1518–22.
13. Nyström M, Hooge I, Andersson R. Pupil size influences the eye-tracker signal during saccades. Vision Res. 2016; 121:95–103.
14. Seo J-M, Seo M-W, Bae SH, Yang H-K, Hwang J-M. Development of 3D mouse-assisted Hess-Lancaster test. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2015;56(7):5213.