



Universidad
Zaragoza



Facultad de Ciencias
Universidad Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Análisis de dos métodos de evaluación de la motilidad ocular mediante eye tracker

Autor:

Elena Saz Onrubia

Director:

Carmen López de la Fuente

Facultad de Ciencias

Curso 2021/2022

ÍNDICE

ABREVIATURAS.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. MOTILIDAD OCULAR	4
1.1.1. SACÁDICOS	5
1.1.2. FIJACIONES	6
1.1.3. SEGUIMIENTOS	6
1.2. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE MOVIMIENTOS OCULOMOTORES.....	7
1.2.1. EYE TRACKER.....	8
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	9
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	9
3.1. KING-DEVICK	11
3.2. VISUAL TRACING TEST	11
3.3. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS	12
4. RESULTADOS.....	13
4.1. VISUAL TRACING TEST.....	13
4.2. KING-DEVICK.....	15
4.3. CORRELACIÓN ENTRE EL TEST KING DEVICK Y VISUAL TRACING TEST.....	17
5. DISCUSIÓN.....	18
5.1. LIMITACIONES.....	22
6. CONCLUSIONES.....	22
7. BIBLIOGRAFÍA.....	23
ANEXOS.....	26
ANEXO 1. CUESTIONARIO DE SÍNTOMAS	

ABREVIATURAS

TDAH: Trastorno por déficit de atención e hiperactividad

DCD: Developmental coordination disorder

DEM: Developmental Eye Movement Test

VTT: Visual Tracing Test

EEG: Electroencefalograma

EOG: Electrooculograma

DNP: Distancia naso-pupilar

PPC: Punto próximo de convergencia

ARN: Acomodación relativa negativa

ARP: Acomodación relativa positiva

AA: Amplitud de acomodación

FAB: Flexibilidad acomodativa binocular

FAM: Flexibilidad acomodativa monocular

DIP: Distancia interpupilar

KD: King-Devick

OD: Ojo derecho

OI: Ojo izquierdo

1. INTRODUCCIÓN

El sentido de la visión es uno de los más importantes en el ser humano, ya que con él podemos captar, analizar y procesar la información de los objetos que nos rodean como su color, forma, posición, movimiento o distancia a la que están y así, tener constancia y garantizar la existencia del mundo material a nuestro alrededor. Para que el proceso de percepción, análisis y procesamiento de las imágenes se realice correctamente, tenemos una serie de habilidades visuales como pueden ser: la agudeza visual, motilidad ocular, visión binocular, acomodación, estereopsis, integración visuo-motora, integración visuo-auditiva, visión espacial y la percepción visual.¹

En este trabajo se valorará la motilidad ocular, en concreto los movimientos sacádicos y las fijaciones, de una serie de pacientes mediante dos test realizados con eye tracker, para posteriormente comparar los resultados que se han obtenido.

La motilidad ocular es una habilidad del sistema visual que tiene mucha importancia, debido a que su función es mantener el objeto de interés centrado en la fóvea. Nuestra retina tiene una distribución de fotorreceptores no uniforme, gran parte de los conos se concentran en la fóvea, zona central de la retina especializada en la visión de los detalles y donde habitualmente se centra el objeto de interés. Por otro lado, gracias a los movimientos oculares podemos aumentar nuestro campo visual y así, mantener la imagen de interés enfocada en la fóvea y a su vez los ejes visuales alineados, y mantener una imagen haplópica.²

El estudio de esta parte de la visión es fundamental, ya que permite conocer el funcionamiento del cerebro. Por otro lado, la detección de disfunciones en la motilidad ocular puede ser muy útil para diagnosticar algunos trastornos como: estrabismos, forias, paresias o nistagmus.³

1.1 MOTILIDAD OCULAR

Los movimientos oculares se pueden dividir en dos grupos: los que se encargan de mantener la imagen en fóvea y que así la percibamos nítida, siendo estos involuntarios, y los que se realizan voluntariamente para trasladar el eje visual a un nuevo objeto de interés o perseguir objetos en movimiento.³

Los movimientos involuntarios de mantenimiento de imagen en la retina son: los vestibulo-oculares, que compensan los movimientos de cabeza, y los optocinéticos que permiten la fijación en un punto del campo visual compensando el movimiento del campo periférico. Estos dos movimientos trabajan complementándose el uno al otro.³

Los movimientos voluntarios para ubicar la imagen de un objeto del campo visual en la fóvea son: los sacádicos, los seguimientos y las vergencias.³

Los movimientos oculares que ejecutamos se realizan en torno a un sistema de coordenadas con tres ejes perpendiculares entre sí, los ejes de Fick. Estos tres ejes son: el eje X (horizontal) sobre el que se realizan movimientos verticales, el eje Y (antero-posterior) sobre el que se hacen los movimientos de compensación de inclinación de la cabeza y el eje Z (vertical) para los movimientos horizontales.⁴

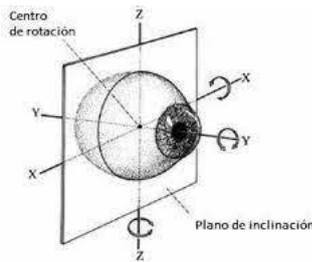


Figura 1. Ejes de Fick⁵

1.1.1 SACÁDICOS

Los sacádicos son movimientos rápidos y bruscos de ambos ojos en la misma dirección con el fin de cambiar lo más rápidamente el punto de fijación para corregir la diferencia entre la posición actual de mirada y la posición que se desea. Tienen una duración de entre 10ms y 100ms aproximadamente. El motivo por el cual son movimientos tan rápidos es porque durante este movimiento el ojo se puede decir que es ciego, por lo que es conveniente que sean lo más rápidos posible para no perder estabilidad de la imagen.^{2,6,7}

Pueden ser movimientos voluntarios o reflejos, estos últimos se pueden producir en situaciones donde se experimenta un cambio inesperado en nuestra periferia visual o también se pueden desencadenar al percibir un estímulo sonoro, táctil u olfativo y así, nos permiten detectar peligros próximos.^{6,8,9,10}

El proceso para la ejecución del movimiento sacádico empieza en el momento que el sistema nervioso central recibe una información sensorial sobre la localización del estímulo percibido, la entiende y la transforma en información motora a realizar. En el córtex cerebral se analiza el lugar en el que está el estímulo y en el tronco cerebral se procesa y elabora la amplitud del movimiento sacádico que es necesario realizar para llegar al objetivo. En este momento se iniciará la sacada.¹⁰

La bifovealización que persiguen los movimientos sacádicos se consigue en dos pasos:¹⁰

- Primero se sitúan las fóveas en la posición más adecuada para observar el estímulo de interés mediante un desplazamiento voluntario o reflejo.
- Como segundo paso, se produce un reajuste para posicionar en el lugar correcto la fóvea de cada ojo de forma que se evite la diplopía.

Son los movimientos que se realizan en la lectura, siendo estos rápidos, progresivos y hacia la derecha. Van saltando de palabra en palabra sin pararse en las palabras comunes. En ocasiones se realiza un sacádico para llegar a una palabra, pero no se llega al punto deseado, en este caso se produce un sacádico corrector. En otras situaciones, puede aparecer una microsacada de retorno para entender mejor una palabra que ya ha sido leída.¹⁰

También trabajan junto a los movimientos de seguimiento, más concretamente en seguimientos de objetos que se mueven en trayectorias impredecibles. En estos casos, primero se realiza el movimiento de persecución, pero normalmente se producen errores de posición, donde es necesario ejecutar una sacada correctiva y así devolver el objeto a la fóvea.²

Tanto la retina periférica como la central o fóvea participan en estos movimientos. La retina central se encarga de procesar la información obtenida de la imagen. Mientras que, a su vez, la retina periférica está trabajando, localizando el siguiente punto del entorno en el que se va a fijar la mirada.^{5,11}

Hay factores como la edad avanzada, el alcohol, medicamentos, alteraciones neurológicas o falta de sueño que pueden alterar estos movimientos.¹¹ Existen enfermedades y disfunciones, como la enfermedad de Huntington, ataxia espinocerebelosa, la atrofia muscular espinobulbar o el síndrome de Balint que pueden afectar a estos movimientos haciendo que se vuelvan lentos, prolongados e inexactos a la hora de ejecutarlos.³

1.1.2 FIJACIONES

Son movimientos que se dan entre sacádicos, en ellos el ojo permanece prácticamente inmóvil pero no totalmente ya que mientras observamos un objeto existen microsacadas que mantienen este objeto de interés centrado en fovea y así, percibirlo nítidamente en todo momento.

Tienen una duración de aproximadamente 200 y 350 milisegundos, y es en este tiempo cuando se recoge la información necesaria del punto que estamos fijando y se planifica cual va a ser la siguiente zona del campo visual que va a ser fijada.^{12,13}

1.1.3 SEGUIMIENTOS

Son movimientos conjugados, suaves, lentos y voluntarios con el fin mantener estabilizada la imagen foveal, de los dos ojos, de objetos que se desplazan por el campo de visión u objetos fijos mientras la persona o solamente la cabeza de esta se mueve. Como consecuencia, se minimiza el desenfoque y aumenta la agudeza visual.^{8,9,10,14}

Pueden ser conjugados o no conjugados según el tipo de movimiento que se realice. Los movimientos de seguimiento o persecución lenta se tratan de movimientos conjugados que siguen estímulos que se mueven lentamente por el campo visual, pueden alcanzar una velocidad de hasta 45°/s. Los movimientos no conjugados son los movimientos de vergencia, en los que los ojos se mueven en direcciones opuestas siguiendo un estímulo que se acerca o se aleja del sujeto. En los movimientos de divergencia (el estímulo se aleja) los ojos se separan de la línea media para enfocar el objeto de interés, mientras que en los movimientos de convergencia (el estímulo se acerca), los ojos se dirigen a la línea media para enfocar el estímulo. Estos movimientos alcanzan velocidades más bajas que los anteriores, siendo estas de 10°/s.⁹

El movimiento de seguimiento se complementa a la perfección con los sacádicos correctores, siendo estos los responsables de reajustar los errores que pueden aparecer en el seguimiento del estímulo.¹⁰

Este movimiento se puede dividir en 3 etapas:¹⁵

- Iniciación del seguimiento: La velocidad del movimiento del ojo aumenta llegando, en casos, a sobrepasar la velocidad del objeto al que se está siguiendo
- Seguimiento sostenido: Se producen sacádicos con el fin de aminorar la diferencia que existe entre el eje visual y el estímulo en movimiento.
- Fin del seguimiento: Momento en el que el objeto se detiene y por tanto, la velocidad del ojo se reduce rápidamente hasta pararse.

No es posible que este movimiento se lleve a cabo sin la existencia de un estímulo visible y que se mueva a una velocidad entre 15°/s y 50°/s.^{10,15} Se ha demostrado que, sin un estímulo visible, en vez de producirse un movimiento de seguimiento, lo que se realiza son sacádicos de pequeña amplitud. Es por esto por lo que no es posible ejecutar este movimiento con los ojos cerrados.¹⁰

Los seguimientos son más débiles que los sacádicos a la hora de verse afectados por determinadas causas. Estas causas pueden ser: neurológicas, fatiga, ingesta de alcohol, marihuana,

tranquilizantes y la edad.^{10,11} Estos factores hacen que el seguimiento se inicie después de lo normal y se ralentice, convirtiéndose en una persecución sacadizada en la que es necesario introducir microsacádicos de aproximación para seguir el estímulo.⁹

1.2. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE MOVIMIENTOS OCULOMOTORES

Los movimientos oculares deben ser realizados de manera efectiva y automática para poder considerar que no existe una disfunción de los mismos.¹⁵ La evaluación de los movimientos sacádicos, de los seguimientos y de las fijaciones es importante y necesaria, ya que estos participan en tareas cotidianas de la vida como leer, realizar deportes, conducir o caminar entre otras.¹⁶ Medir el estado de estos movimientos nos permite detectar alteraciones oculomotoras que puedan existir. También estos movimientos han sido estudiados en algunas patologías neurológicas, como la dislexia, el trastorno por déficit de atención (TDAH) o el trastorno del desarrollo de la coordinación (Developmental coordination disorder, DCD), en los que se han obtenido como resultado que estos movimientos en sujetos con las patologías anteriores difieren de los movimientos en la población normal.^{16,19,20}

Tanto en la dislexia, en el TDAH y en el DCD se han detectado un porcentaje mayor de anomalías en los movimientos sacádicos y en los seguimientos acompañados de movimientos de cuerpo y cabeza.^{20,21} En pacientes con dislexia, se ha observado una mala coordinación binocular durante la ejecución de la sacada y también después de esta²²; en el TDAH, déficit en la inhibición de movimientos oculomotores²³ y en el DCD, hay deficiencias en las tareas de fijación y seguimiento.²⁴

Para evaluar los movimientos sacádicos y de seguimiento subjetivamente se puede utilizar la prueba NSUCO que consiste en evaluar numéricamente del 1 al 5 la capacidad del sujeto para realizar la prueba, la exactitud con la que la hace y los movimientos de cuerpo y cabeza que se experimentan, utilizando estímulos de fijación como pueden ser dos varillas diferenciadas entre sí.²⁵

Otras pruebas subjetivas son el DEM, que evalúa de forma visuo-verbal la función de los movimientos oculares sacádicos basándose en la velocidad de enumeración vertical y horizontal y teniendo en cuenta los errores que se cometen; el King-Devick (KD), es un test visuo-verbal con diferentes láminas que consisten en leer números de forma horizontal y anotar el tiempo utilizado para ello evaluando así los movimientos sacádicos; o el Visual Tracing Test (VTT), que como los anteriores es un test visuo-verbal que tiene en cuenta el tiempo necesario para hacerlo, pero en este caso se evalúan los movimientos oculares mediante una serie de laberintos.

Mientras que opciones más recientes, tecnológicas y objetivas, serían medir las respuestas cerebrales a través de señales de electroencefalograma (EEG) a la vez que se miden los movimientos oculares con un eye tracker. El inconveniente de este método sería la sincronización del eye tracker con el EEG, ya que la configuración del eye tracker puede ser difícil en ciertas personas como las que usan gafas para corregir ametropías.¹⁶

Otro método es medir los sacádicos mediante la evaluación del potencial eléctrico con una electrooculografía (EOG). Consiste en colocar unos electrodos en la zona periocular, alrededor del ojo. Esta técnica se basa en que los ojos son el origen de un campo potencial constante siendo la córnea el polo positivo y la retina el polo negativo. Al mover los ojos a zonas periféricas del campo visual para fovealizar el estímulo mostrado, la córnea se aproximará a un electrodo y la retina se acercará al electrodo contrario produciendo así, un cambio en la señal del EOG. Una de

sus ventajas es que permite la fácil sincronización con el eye tracker a diferencia del método que utiliza el eye tracker junto al EEG.¹⁶

Otra opción es utilizar un eye tracker conectado a una pantalla en la que pueden aparecer diferentes tipos de estímulos, como por ejemplo texto o incluso como en el presente trabajo, test digitalizados que convencionalmente se realizan en papel. Se pueden utilizar estímulos que van apareciendo en diferentes partes del campo visual y a diferentes velocidades para evaluar los movimientos sacádicos, prestando atención a factores como la capacidad de realizarlos, si son hipométricos (amplitud disminuida) o hipermétricos (amplitud aumentada) o la cantidad de sacadas correctoras que se realizan. Para evaluar los seguimientos en cambio, se utilizarán test en los que el estímulo no desaparezca, se mueva continuamente por el campo visual a diferentes velocidades o haya que seguir un camino para llegar a un estímulo en concreto.²⁵

1.2.1 EYE TRACKER

El eye tracking es un método con el cual se puede seguir el rastro de la mirada de un sujeto.²⁶ Esta tecnología funciona de la siguiente manera: enfocando una luz infrarroja y en ocasiones una cámara en el ojo de la persona a examinar. Se envía la luz infrarroja a los ojos y esta luz se refleja en ellos. Si el eye tracker consta de cámara de video, las reflexiones son captadas por las cámaras y mediante un procesamiento de imágenes y algoritmos el eye tracker analiza y capta donde están mirando los ojos del paciente. Es un método totalmente no invasivo.^{27,28}

Normalmente, el eye tracker necesita un procedimiento de calibración ya que cada ojo es único y realizando esta calibración el estudio del movimiento ocular consigue ser lo más preciso posible. La calibración consiste en que el paciente se tendrá que fijar en un estímulo que va cambiando de ubicación. Este método le dará información al eye tracker de cómo funcionan y como reflejan la luz los ojos examinados.^{28,29}

Con la tecnología actual el equipo del eye tracker puede estar integrado en el monitor de un ordenador y así, el software de este es capaz de realizar un seguimiento de la mirada del paciente mientras se analizan las imágenes y estímulos mostrados en la pantalla.³⁰

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

- Hipótesis:
 - o Se obtiene más información sobre los movimientos oculares mediante el método de medición con eye tracker, siendo esta información más fiable también, que la que se obtendría midiendo estos movimientos a través de otros métodos que suelen utilizarse convencionalmente en las consultas optométricas.
- Objetivo general:
 - o Valorar la motilidad ocular de sujetos jóvenes mediante eye tracker a través de los test King-Devick y Visual Tracing Test y analizar los resultados obtenidos.
- Objetivos secundarios:
 - o Análisis del número, duración, amplitud y velocidad de fijaciones y sacádicos.
 - o Análisis de la correlación entre ambos test de motilidad ocular.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para el estudio se seleccionaron 59 voluntarios jóvenes, cumpliendo los criterios de inclusión y exclusión. Siguiendo la declaración de Helsinki, antes de participar en la investigación, los sujetos firmaron un consentimiento informado en el que se les explicaba el protocolo a realizar del estudio.

Los criterios de inclusión fueron:

- Edad comprendida entre 18 y 30 años.
- Corrección óptica actualizada, tanto de gafa como de lentillas.
- Disponibilidad y colaboración para la realización de la prueba
- Sujetos sanos

Los criterios de exclusión:

- Patologías oculares o sistemáticas que pudiesen repercutir en el estudio.
- Sin disfunciones binoculares o acomodativas
- Cirugías oculares previas

En un primer momento se cumplimentaba un cuestionario de síntomas (Anexo 1) para descartar sujetos sintomáticos y posteriormente se realizaba un examen optométrico completo. Para finalizar se valoró la motilidad ocular mediante eye tracker.

El cuestionario constaba de 32 preguntas acerca de los síntomas que se pueden experimentar tras realizar trabajos en visión próxima, los síntomas se puntuaban del 0 al 4 siendo el 0 nunca y el 4 siempre. Todos los voluntarios resultaron asintomáticos.

Durante el examen optométrico los sujetos a estudio portaban la corrección de su ametropía, ya fuese en gafa o lentes de contacto y se realizaron los siguientes test:

Distancia naso-pupilar (DNP), agudeza visual monocular de lejos y de cerca con corrección, cover-uncover y cover alternante para visión lejana y cercana, NSUCO para valorar las habilidades de seguimiento y sacádicas, punto próximo de convergencia (PPC) con linterna puntual, test de Worth, test de Randot para evaluar la estereopsis, test de Maddox para la medida de forias horizontales realizado tanto de cerca como de lejos, flexibilidad vergencial en visión cercana, acomodación relativa negativa (ARN) y acomodación relativa positiva (ARP), amplitud de acomodación (AA) monocular y por último, la flexibilidad acomodativa binocular (FAB) y monocular (FAM) con un Flipper de +2,00D/-2,00D.

Tras el examen optométrico completo, se procedió a realizar la última parte del estudio, la evaluación de la motilidad ocular con dos test diferentes mediante un eye tracker.

El eye tracker utilizado en este estudio es el Tobii Pro Fusion (Tobii Technology AB, Danderyd, Suecia), es un rastreador ocular compacto con capacidad de adherirse a pantallas que dispone de dos cámaras de eye tracking que capturan los movimientos oculares a velocidades de hasta 250Hz, esto permite el seguimiento ocular registrando las fijaciones y los sacádicos que realizan los ojos fácilmente. Este eye tracker se basa en el principio del seguimiento de la reflexión corneal, para ello tiene varias luces infrarrojas, invisibles para el ojo humano, que crean patrones de reflexión en la córnea, con sensores de imagen y una alta frecuencia de muestreo se registra una imagen de los ojos del sujeto. Con el procesamiento de imágenes se consigue detectar la posición exacta de la pupila e identificar los reflejos correctos y su posición exacta. Por último, se utiliza un modelo

matemático del ojo para calcular la posición de los ojos en el espacio y el punto de mirada. Con este procedimiento se obtienen entre otros los siguientes datos: el número de sacádicos, fijaciones, movimientos no clasificados, veces que no se han encontrado los ojos, duración total de los test, duración de sacádicos, velocidad de sacádicos para cada ojo, amplitud de sacádicos en mm para cada ojo, duración de las fijaciones, la desviación típica, la DIP en mm y el tamaño de la pupila.

El Tobii Pro Fusion trabaja conjuntamente con el Tobii Pro Lab (Tobii Technology AB, Danderyd, Suecia), que es un software que ayuda a la persona que está manipulando el eye tracker a diseñar, controlar y grabar el test. Otro programa relacionado que usamos es el Eye Tracker Manager (Tobii Technology AB, Danderyd, Suecia), que nos ayudara a configurar el eye tracker, calibrarlo y elegir el tipo de ajustes que queremos en función de la prueba que vayamos a realizar, así como calibrar el dispositivo para cada sujeto.

En el caso de este estudio, el eye tracker estaba acoplado a un monitor de ordenador que se configuró utilizando el Eye Tracker Manager. A su vez los test mostrados se configuraron a través del Tobii Pro Lab.

El paciente, portando su corrección habitual, se colocaba en una mentonera a 60cm del eye tracker. Las pruebas se realizaron binocularmente y con iluminación controlada en condiciones fotópicas. Se realizó una calibración previa con el software Eye Tracker Manager con cada individuo. Posteriormente se efectuaron los test de motilidad KD y VTT, previamente digitalizados con el fin de poder visualizarlos en una pantalla. El tamaño de los ítems de cada test en la pantalla era el mismo que el del test original.

Se utilizó un micrófono que, mientras se llevaban a cabo las pruebas, iba grabando el proceso al ser una prueba visuo-verbal y así, posteriormente poder seleccionar con más precisión los datos necesarios para el análisis.

A pesar de haber participado 59 sujetos en el estudio, en algunas pruebas los datos recabados con el eye tracker no eran óptimos, por lo que hubo que eliminar las medidas obtenidas de algunos de estos pacientes para realizar el análisis de datos.

3.1. KING-DEVICK

Este test es un test visuo-verbal creado en 1976 por Alan King y Steven Devick para Bernell Corporation en el Illinois College of Optometry, como resultado de una modificación del Test de Pierce; con la finalidad de mejorar la evaluación de la lectura en los niños y, posteriormente su uso se extendió para la detección de distintas afecciones neurológicas como conmociones cerebrales y para el estudio de la motilidad en visión deportiva.^{31,32}

El test consta de una lámina de demostración con la que se instruye al paciente como realizar el mismo y tres láminas de medida. En ellos encontramos una serie de números de un solo dígito con un espaciado variable entre ellos, que pueden estar unidos o no por una línea (Figura 2). La dificultad de las láminas es creciente. El paciente tiene que leerlos de forma horizontal, de izquierda a derecha, lo más rápido posible. Se anota el tiempo que tarda en realizar cada lámina del test y se suma para obtener el tiempo total en realizar la prueba, también se anota el número de errores que se realizan. En función del tiempo total que se ha tardado en leer los tres test, se puntúa el test del 1 al 6 siendo el 1 la peor puntuación, con lo cual se habrá tardado más tiempo en realizarlo, y el 6 la mejor, con un tiempo de realización del más bajo. Este test precisa de movimientos rápidos de los ojos para fovealizar el número correcto que hay que decir, por lo tanto, se están midiendo los movimientos sacádicos.^{33,34}

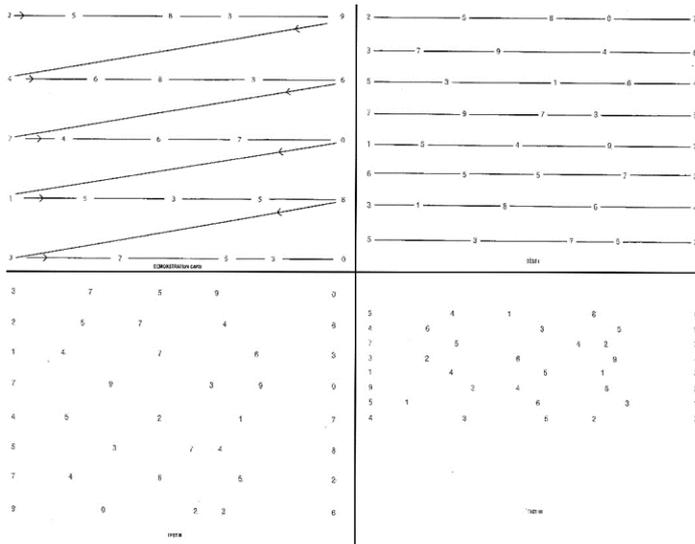


Figura 2. Tarjetas de demostración y prueba del test KD.

3.2. VISUAL TRACING TEST

El VTT es una prueba de seguimiento visual desarrollada por el Dr. Sidney Groffman. Es una prueba completamente visual por lo que no requiere el uso de las manos u otros sentidos, también es apta para todos los idiomas y grupos de edad.

El test consta de dos láminas de prueba y cinco láminas de medida, evalúan el movimiento de seguimiento mediante una serie de laberintos que el sujeto que lo realiza tiene que seguir con la mirada (Figura 3). Conforme se va pasando de lámina, la dificultad aumenta. Se le pide al sujeto que siga con la mirada, lo más rápido que pueda y de izquierda a derecha, el camino del laberinto que corresponde al número 1 y nos diga que dibujo hay al final de este. Solo se realiza con el número 1, el resto de las líneas están para crear confusión. Se cronometrará el tiempo que tarda en realizar cada uno de los 5 test y sumando todos estos tiempos obtendremos el tiempo total, que lo utilizaremos para obtener la puntuación del test que va desde el 0 (cuando el tiempo total es mayor a 60 segundos) al 10 (cuando el tiempo total es menor de 10 segundos).^{35,36} También se anotarán datos como: si utiliza el dedo para seguir el laberinto, si existen movimientos excesivos de cabeza o de cuerpo, posturas inusuales de cabeza y cuerpo, expresiones faciales raras u otros sucesos que nos llamen la atención.

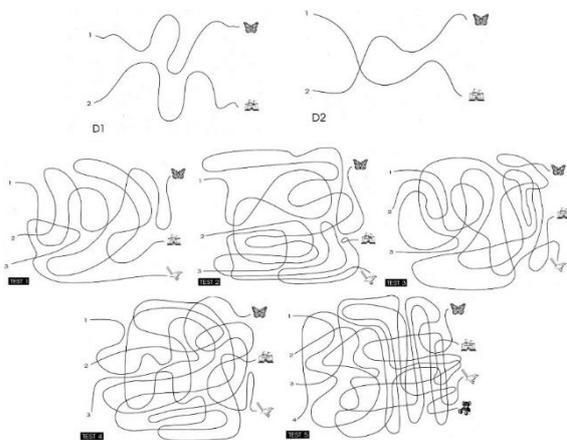


Figura 3. Tarjetas de demostración y prueba del VTT

3.3 RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

Una vez realizados los test, con ayuda del programa Tobii Pro Lab se seleccionaron los datos de interés, creando lo que se llama “eventos”. Estos eventos empezaban desde la fijación anterior antes de empezar a realizar el test y terminaban en la fijación inmediatamente posterior a finalizarlo. Con todos los eventos creados, se pasaron a otro programa para acabar de seleccionar los datos necesarios y por último, se recogieron en un Excel.

Las medidas obtenidas se registraron en una base de datos elaborada con el programa Excel (Microsoft Office Excel 2016, Microsoft Corporation). Se realizó el análisis estadístico para cada variable con el paquete estadístico SPSS 25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EEUU).

Todas las variables recogidas fueron de tipo cuantitativo, se definieron mediante su media y desviación estándar. Se utilizaron test no paramétricos para dos muestras pareadas tras comprobar la normalidad de las variables, con un nivel de significación de 0,05. Se midió el grado de asociación entre variables cuantitativas con la correlación de Spearman.

4. RESULTADOS

En el estudio participaron 59 voluntarios, 36 de ellos eran mujeres con una media de edad de $20,94 \pm 1,58$ años y los otros 23 eran hombres con una media de edad de $21,65 \pm 1,68$ años.

4.1 VISUAL TRACING TEST

Las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 muestran la media de cada uno de los parámetros obtenidos durante la prueba VTT, así como su desviación estándar y los valores mínimos y máximos.

En la tabla 1, se muestra el número, el mínimo, el máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros obtenidos durante la prueba VTT para la lámina número 1.

TEST 1	N= 51	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones		11,00	40,00	19,63	4,68
n° Sacádicos		10,00	48,00	24,12	8,73
n° No encontrados		0,00	7,00	0,84	1,55
n° Inclasificados		0,00	26,00	5,39	7,35
Duración total test (ms)		2368,00	11064,00	4886,59	1340,40
Duración fijaciones (ms)		139,48	281,85	209,18	35,32
Duración sacádicos (ms)		20,13	34,80	27,98	3,87
Amplitud sacádico OI (mm)		25,04	124,36	49,65	21,85
Amplitud sacádico OD (mm)		22,16	74,89	40,96	13,84
Velocidad sacádicos OI (m/s)		0,94	3,74	1,43	0,50
Velocidad sacádicos OD (m/s)		0,73	2,98	1,33	0,36

Tabla 1. Estadísticos descriptivos del test 1 del VTT. VTT: Visual Tracing Test; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo

En la tabla 2 se observa el número, el mínimo, máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros medidos con el eye tracker en la lámina número 2 del VTT.

TEST 2 N= 51	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones	15,00	66,00	29,78	10,11
n° Sacádicos	17,00	69 ,00	36,06	13,11
n° No encontrados	0,00	28,00	2,02	4,32
n° Inclasificados	0,00	31,00	7,24	8,62
Duración total test (ms)	3848,00	20824,00	7612,39	3126,04
Duración fijaciones (ms)	129,48	306,43	211,74	33,02
Duración sacádicos (ms)	21,12	34,86	28,90	3,78
Amplitud sacádico OI (mm)	26,30	90,06	46,73	13,60
Amplitud sacádico OD (mm)	22,42	106,89	45,85	16,01
Velocidad sacádicos OI (m/s)	0,88	2,35	1,41	0,30
Velocidad sacádicos OD (m/s)	0,92	2,40	1,39	0,28

Tabla 2. Estadísticos descriptivos del test 2 del VTT. VTT: Visual Tracing Test; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo

En la tabla 3 se observa el número, el mínimo, máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros medidos con el eye tracker en la lámina número 3 del VTT.

TEST 3 N=51	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones	16,00	64,00	35,49	8,93
n° Sacádicos	11,00	78,00	42,96	14,24
n° No encontrados	0,00	47,00	2,82	7,06
n° Inclasificados	0,00	36,00	9,33	10,72
Duración total test (ms)	4068,00	16220,00	9119,53	2623,42
Duración fijaciones (ms)	151,41	287,23	215,77	32,97
Duración sacádicos (ms)	21,29	35,58	27,13	3,26
Amplitud sacádico OI (mm)	20,33	176,99	45,39	23,62
Amplitud sacádico OD (mm)	21,12	164,39	43,17	23,37
Velocidad sacádicos OI (m/s)	0,75	3,57	1,31	0,43
Velocidad sacádicos OD (m/s)	0,80	3,20	1,29	0,35

Tabla 3. Estadísticos descriptivos del test 3 del VTT. VTT: Visual Tracing Test; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo

En la tabla 4 se observa el número, el mínimo, máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros medidos con el eye tracker en la lámina número 4 del VTT.

TEST 4 N=51	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones	24,00	127,00	50,63	19,59
n° Sacádicos	24,00	143,00	62,31	24,62
n° No encontrados	0,00	33,00	3,82	6,72
n° Inclasificados	0,00	55,00	12,98	14,67
Duración total test (ms)	7696,00	31752,00	13165,33	5112,40
Duración fijaciones (ms)	136,68	304,67	218,85	33,74
Duración sacádicos (ms)	19,62	34,82	27,93	2,99
Amplitud sacádico OI (mm)	25,48	232,82	46,41	29,43
Amplitud sacádico OD (mm)	24,04	97,11	42,20	16,46
Velocidad sacádicos OI (m/s)	0,79	3,00	1,35	0,34
Velocidad sacádicos OD (m/s)	0,74	3,55	1,31	0,41

Tabla 4. Estadísticos descriptivos del test 4 del VTT. VTT: Visual Tracing Test; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo

En la tabla 5 se observa el número, el mínimo, máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros medidos con el eye tracker en la lámina número 5 del VTT.

TEST 5 N=51	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones	22,00	147,00	58,88	21,91
n° Sacádicos	9,00	219,00	74,18	40,32
n° No encontrados	0,00	79,00	4,82	11,62
n° Inclasificados	0,00	107,00	17,27	23,16
Duración total test (ms)	5672,00	32884,00	15647,84	5542,33
Duración fijaciones (ms)	136,96	300,13	227,93	32,36
Duración sacádicos (ms)	19,62	34,29	26,96	3,30
Amplitud sacádico OI (mm)	21,89	119,70	44,71	19,60
Amplitud sacádico OD (mm)	17,60	86,55	37,57	14,43
Velocidad sacádicos OI (m/s)	0,76	3,35	1,32	0,41
Velocidad sacádicos OD (m/s)	0,67	3,08	1,25	0,44

Tabla 5. Estadísticos descriptivos del test 5 del VTT. VTT: Visual Tracing Test; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo.

Analizando los datos de las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 las cuales corresponden a cada una de las láminas del test VTT, observamos que a medida que avanzamos de lámina el número de fijaciones y sacádicos y la duración total del test y de las fijaciones va aumentando. Esto se debe a que, como podemos ver en la Figura 3, la dificultad de la prueba va incrementando conforme pasamos de lámina. Por otro lado, la duración de los sacádicos y la velocidad de estos se mantiene más o menos estable en todas las láminas, siendo la duración de 27 segundos y la velocidad de 1,3 m/s aproximadamente. La amplitud de los sacádicos, en cambio, va disminuyendo al pasar de test.

4.2. KING-DEVICK

Se procede al análisis de los datos obtenidos en el test KD. En la tabla 6 se observa el número, el mínimo, máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros medidos con el eye tracker en la lámina número 1 del KD.

TEST 1 N=52	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones	47,00	73,00	57,81	6,39
n° Sacádicos	47,00	214,00	76,75	29,48
n° No encontrados	0,00	21,00	4,98	4,90
n° Inclasificados	0,00	147,00	19,90	26,75
duración total test (ms)	11416,00	22252,00	16035,46	2566,59
duración fijaciones (ms)	161,02	343,93	230,76	35,84
duración sacádicos (ms)	20,22	36,46	29,08	4,01
Amplitud sacádico OI (mm)	25,52	106,91	57,84	15,07
Amplitud sacádico OD (mm)	27,23	120,84	55,59	16,24
Velocidad sacádicos OI (m/s)	0,85	2,79	1,54	0,34
Velocidad sacádicos OD (m/s)	0,48	3,12	1,52	0,36

Tabla 6. Estadísticos descriptivos del test 1 del KD. KD: King-Devick; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo.

Se observa que el número de fijaciones mínimas es de 47, el de fijaciones máximas de 73 y la media de estas es de 57,81. La lámina 1 consta de 40 dígitos por lo que, las fijaciones a realizar deberían ser como mínimo de 40 (una por cada dígito), se puede comprobar que esto se cumple.

En la tabla 7 se observa el número, el mínimo, máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros medidos con el eye tracker en la lámina número 2 del KD.

TEST 2 N=52	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones	47,00	89,00	59,54	7,88
n° Sacádicos	54,00	171,00	78,02	22,19
n° No encontrados	0,00	75,00	6,77	11,10
n° Inclasificados	1,00	84,00	20,00	19,34
duración total test (ms)	11352,00	23068,00	16780,08	2932,50
duración fijaciones (ms)	173,01	332,53	235,24	33,55
duración sacádicos (ms)	21,95	37,57	29,15	43,40
Amplitud sacádico OI (mm)	30,41	180,58	60,16	21,70
Amplitud sacádico OD (mm)	29,67	153,37	57,30	19,04
Velocidad sacádicos OI (m/s)	0,82	3,25	1,59	0,48
Velocidad sacádicos OD (m/s)	0,49	3,55	1,51	0,42

Tabla 7. Estadísticos descriptivos del test 2 del KD. KD: King-Devick; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo.

En el caso de la lámina número 2, el número de fijaciones mínimas es de 47, el de fijaciones máximas de 89 y la media de estas es de 59,54. Igual que el test 1, el test 2 también consta de 40 dígitos y las fijaciones mínimas deberían ser de 40 a la hora de realizarlo. En este caso son de 47 por lo que, son mayores que las 40 que se deberían realizar.

En la tabla 8 se observa el número, el mínimo, máximo, la media y la desviación típica de cada uno de los parámetros medidos con el eye tracker en la lámina número 3 del KD.

TEST 3 N=52	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
n° Fijaciones	27,00	91,00	61,71	9,93
n° Sacádicos	26,00	276,00	77,63	35,48
n° No encontrados	0,00	46,00	5,37	9,28
n° Inclasificados	0,00	200,00	17,19	32,98
duración total test (ms)	7264,00	25072,00	17382,23	3389,03
duración fijaciones (ms)	165,44	355,49	237,70	38,74
duración sacádicos (ms)	19,58	36,93	29,84	3,66
Amplitud sacádico OI (mm)	36,47	101,14	57,23	12,99
Amplitud sacádico OD (mm)	28,84	184,51	55,10	22,76
Velocidad sacádicos OI (m/s)	0,95	3,15	1,60	0,42
Velocidad sacádicos OD (m/s)	0,86	2,80	1,49	0,31

Tabla 8. Estadísticos descriptivos del test 3 del KD. KD: King-Devick; OD: ojo derecho; OI: ojo izquierdo; ms: milisegundos; mm: milímetros; m/s: metros por segundo.

En la lámina 3 se obtiene: un mínimo de 27 fijaciones, un máximo de 91 y una media de 61,71. Este test sigue teniendo 40 dígitos aunque en este caso están más próximos entre ellos que en los otros dos test anteriores. Existen menos fijaciones mínimas que dígitos en el test.

Observando los datos de las tres tablas en conjunto, que corresponden respectivamente a cada una de las láminas del test KD, podemos decir que a medida que avanzamos de lámina el número de fijaciones, la duración total del test, de las fijaciones y de los sacádicos va aumentando, mientras que el número de movimientos sacádicos se mantiene prácticamente estable.

4.3. CORRELACIÓN ENTRE EL TEST KING DEVICK Y VISUAL TRACING TEST

Para buscar correlaciones entre ambos test se obtuvieron los datos del total de fijaciones y sacádicos, el tiempo total y la media de la duración de sacádicos y fijaciones, así como la media de la amplitud de los sacádicos y su velocidad para cada uno de los test, estos valores se muestran en la tabla 9.

N=51	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
VTTn° Fijaciones	113	312	191,02	39,969
VTTn° sacádicos	124	449	235,00	70,299
VTTtiempo total test	30216	84956	50285,02	11222,721
VTTduración fijaciones	147,46	263,51	215,6909	27,78254
VTTduración sacádicos	21,20	33,47	27,6633	2,98473
VTTmedia amplitud	20,60	140,86	43,2909	16,54082
VTTmedia vel.	0,76	3,18	1,2998	0,36059
KDn° Fijaciones	134	661	230,63	81,614
KDn° sacádicos	131	234	178,18	20,311
KDtiempo total test	35772	68784	49896,94	8131,679
KDduración fijaciones	179,36	331,26	234,4071	33,88669
KDduración sacádicos	20,59	36,10	29,4431	3,31786
KDmedia amplitud	33,80	141,23	56,2917	14,94607
KDmedia vel.	0,75	3,11	1,5509	0,33805

Tabla 9. Correlación entre el KD y el VTT. VTT: Visual Tracing Test; KD: King-Devick.

En la tabla 10 se describe las correlaciones más destacadas entre varios parámetros de ambos test utilizando la correlación de Spearman.

Rho de Spearman	N=51	KDduración fijaciones	KDduración sacádicos	KDmedia amplitud	KDmedia vel.
VTTduración fijaciones	Coefficiente de correlación	0,473	0,206	-0,129	-0,191
	p-valor	0,000	0,147	0,368	0,180
VTTduración sacádicos	Coefficiente de correlación	0,190	0,625	0,157	0,022
	p-valor	0,182	0,000	0,270	0,878
VTTmedia amplitud	Coefficiente de correlación	-0,297	-0,268	0,560	0,146
	p-valor	0,035	0,057	0,000	0,306
VTTmedia vel.	Coefficiente de correlación	-0,467	-0,357	0,381	0,725
	p-valor	0,001	0,010	0,006	0,000

Tabla 10. Correlaciones más destacadas entre el KD y el VTT. VTT: Visual Tracing Test; KD: King-Devick. Esta tabla nos da información sobre en qué variables se obtiene un p-valor menor de 0,05 (marcadas en verde) y por tanto, son estadísticamente significativas.

Podemos observar que existe correlación directa entre las variables: duración de las fijaciones en el VTT y duración de las fijaciones en el KD (relación moderada), duración de los sacádicos en el VTT y duración de los sacádicos en el KD (relación alta), amplitud media de los sacádicos en el VTT y amplitud media de sacádicos en el KD (relación moderada), velocidad de sacádicos media en el VTT y amplitud media de estos en el KD (relación baja), y por último la velocidad media de los sacádicos en el VTT con la velocidad media de estos en el KD (relación alta). Por lo que, los valores de estas variables incrementarán o disminuirán conjuntamente.

Las variables que presentan una correlación inversa son: la amplitud media de los sacádicos del VTT y la duración de las fijaciones en el KD (relación baja), la velocidad media de los sacádicos del VTT y la duración de las fijaciones en el KD (relación moderada); y la velocidad media de los sacádicos del VTT con la duración de los sacádicos en el KD (relación baja). Por lo que, cuando una de estas variables aumente, la variable con la que esta correlacionada disminuirá y viceversa.

Las demás variables, o tienen una correlación muy baja entre ellas ya sea directa o inversa, o tienen una correlación nula. Los valores de estas variables no se verán afectados unos a otros cuando incrementen o disminuyan.

5. DISCUSIÓN

En este estudio se ha llevado a cabo un análisis objetivo de los movimientos oculares, en concreto de los movimientos sacádicos, seguimientos y fijaciones, mediante la realización de los test de motilidad ocular KD y VTT.

El test KD ha sido ampliamente utilizado en el estudio de la motilidad ocular en visión deportiva y su relación con lesiones cerebrales leves. Hecimovich y colaboradores llevaron a cabo un estudio en el que evaluaron mediante la prueba de KD con eye tracker a 19 jugadores de fútbol adultos antes de un partido y después del partido volvieron a valorar con el mismo método a los jugadores con sospechas de tener una conmoción cerebral por un impacto en la cabeza durante el

juego, con el objetivo de comprobar la precisión diagnóstica de esta prueba para detectar una conmoción cerebral relacionada con el deporte. Para ello, realizaron un análisis comparativo de los recuentos de movimientos sacádicos para cada lámina del KD. Los resultados que se obtuvieron en la prueba que realizaron los 19 sujetos sanos fueron: una media de 54,3 sacadas para la lámina 1 del test, de 57,6 sacadas para la lámina 2 y 56,2 sacadas para la lámina número 3. En total 168,1 sacadas. El orden de las láminas en función del número de sacadas en sentido ascendente fue: 1ª lámina, 3ª lámina, 2ª lámina. También se obtuvo un tiempo de realización de cada test individualmente que aumentaba conforme se avanzaba en las láminas, 17,8 segundos para la primera lámina, 18,4 segundos para la segunda y 20,2 segundos para la tercera. En los jugadores con sospechas de conmoción cerebral, que fueron 6, se obtuvieron tiempos totales de realización en general más rápidos y mayor media de sacadas totales³⁷.

En el estudio llevado a cabo en este trabajo se obtuvieron, en comparación con los valores del estudio mencionado anteriormente obtenidos por los 19 sujetos sanos antes del partido (ya que, serían los sujetos que más se asemejan a los voluntarios de nuestro análisis), valores más altos de número de sacadas en todas las láminas, pero con el mismo orden ascendente en función del número de movimientos sacádicos (1ª, 3ª y 2ª), también coincide el orden de las láminas en función del tiempo de realización de estas (1ª, 2ª y 3ª) aunque en este caso, el tiempo en el estudio de Hecimovich era mayor en comparación con el tiempo de nuestro estudio. Se puede concluir que a mayor dificultad del test, mayor tiempo de realización de este pero no mayor número de sacadas, siendo este número de sacadas mayor en todos los casos estudiados que el número de dígitos presentados en el test KD (40 dígitos).

Cabe destacar que la media de sacadas de los sujetos de nuestro estudio también resultó mayor que la media de sacadas de los sujetos con conmoción cerebral de la investigación de Hecimovich.

Esto puede deberse a que los estudios realizados por este autor se hacen con deportistas profesionales. Investigaciones han demostrado que entrenar normalmente a un deporte puede aumentar las habilidades visuales³⁸ por lo que, a la hora de realizar un ejercicio que requiera movimientos oculares estos pueden conseguir completarlo con menor número de movimientos que sujetos no deportistas, como los sujetos incluidos en nuestra investigación.

En un estudio realizado por Rizzo y colaboradores, se llevó a cabo el análisis de los movimientos oculares mediante el test KD con el método de evaluación del eye tracker, por parte de 25 pacientes con antecedentes de conmoción cerebral y 42 pacientes sanos, con edades de 31 y 32 años de media respectivamente, con la intención de compararlos entre sí. Como resultados se obtuvo: que los tiempos de realización de cada lámina del test así como el tiempo total en realizar el KD completo estaban aumentados en los sujetos con antecedentes de conmoción cerebral, el número de movimientos sacádicos durante la realización del test era mayor en los sujetos con antecedentes de conmoción cerebral que en los sanos, mientras que la amplitud y la duración de estos movimientos era mayor en los sujetos sanos.³⁹

Podemos comparar los tiempos utilizados por los sujetos sanos para realizar cada lámina del test con nuestro estudio, en la primera tarjeta los sujetos de Rizzo obtienen 14,3 segundos, en la segunda tarjeta 14,40 segundos y en la tercera 15,10 segundos. En nuestro estudio en la primera tarjeta obtenemos 16,03 segundos, en la segunda 16,78 segundos y en la tercera 17,38 segundos. Se observa que nuestros tiempos están más o menos 2 segundos por encima de los obtenidos por Rizzo, es decir, los sujetos sanos de Rizzo realizaron el test más rápidamente que los evaluados en nuestro estudio. Sin embargo, en los dos estudios se coincide en que conforme se va pasando de lámina, mayor tiempo se utiliza para hacerla, debido a su incremento de dificultad. En cuanto

a la duración de los sacádicos, los sujetos sanos del estudio de Rizzo obtienen una media de 32 milisegundos y los sujetos de nuestro estudio una media de 29,36 milisegundos, es decir, nuestros sujetos realizaban sacádicos más rápidos.

No existen muchos estudios que analicen el test de motilidad ocular VTT de Groffman, y nuestro trabajo es el primero que sepamos que realiza el análisis del VTT a partir de los datos obtenidos con un eye tracker. Además, debemos tener en cuenta que existen dos diseños del test, el original con números y letras y uno modificado, que es el utilizado en este trabajo, con números y dibujos. En estos dos test también difiere el tipo de laberinto. Tampoco hay constancia de que existan estudios realizados con el test de números y dibujos.

Facchin y colaboradores realizaron un análisis en el que participaron dos grupos de niños y dos de adultos, un grupo de cada edad realizó el VTT de Groffman convencional y el grupo de niños y el grupo de adultos restante una versión simplificada de este test. Los dos test constaban cada uno de dos láminas con cinco laberintos cada una, se siguieron los cinco laberintos que aparecen en cada lámina una sola vez. El objetivo de este estudio era comprobar que el VTT de Groffman era un test en el que hay efecto aprendizaje, es decir, que conforme se realizan los laberintos se va aprendiendo a hacerlos y por tanto la eficacia aumenta. Otro objetivo era demostrar que este método de evaluación de los movimientos oculomotores es apto para todas las edades, desde los 6 años hasta la edad adulta en este caso.

Dados los resultados que se obtuvieron, la afirmación que dice que el VTT de Groffman es un test en el que se puede ver un efecto aprendizaje se pudo confirmar ya que, durante la realización del test la habilidad al ejecutarlo aumentaba, esto se pudo saber debido a que se mostró un aumento en la precisión y una disminución en el tiempo de realización a medida que se realizaban los distintos laberintos, en el último laberinto se mostraba mayor habilidad y menor tiempo que en el primer laberinto realizado, siendo estos de igual dificultad. Por otro lado, el objetivo de demostrar que este test puede servir para todas las edades se pudo explicar parcialmente. La versión original del VTT de Groffman resultó difícil y en algunos casos imposible de realizar por parte de los sujetos más jóvenes, mientras que la versión simplificada del test pudo ser realizada por todas las edades, teniendo los más jóvenes menores dificultades al hacerla en comparación con la prueba original.⁴⁰

Los resultados de este estudio no son del todo comparables con los de nuestro análisis ya que, por una parte, en el estudio de Facchin y colaboradores para demostrar que el VTT era un test con efecto aprendizaje, los sujetos tuvieron que seguir cada uno de los 5 laberintos de cada lámina del test para así ver su evolución. Sin embargo, en nuestro estudio los sujetos a evaluar solo realizaron el laberinto número 1, tal y como indican las instrucciones del test, por lo que, solo con esta información no se podría comprobar si la habilidad aumenta a medida que se van realizando los laberintos. Por otra parte, en nuestro estudio las edades de los sujetos a examinar están comprendidas entre los 18 y los 30 años, es decir, población adulta. Sí podemos confirmar que es un test válido para ser realizado por personas adultas ya que, no hubo ninguna imposibilidad ni ninguna dificultad por parte de los voluntarios evaluados al hacer el test en nuestro caso. Pero las tablas de normas para este test están comprendidas desde los 7 años hasta los 12 años, y no ofrece resultados normalizados en pacientes más allá de los 12 años.

Un trabajo llevado a cabo por el mismo equipo de investigación que el estudio anterior, evaluó manualmente el comportamiento oculomotor en 526 voluntarios adultos con edades comprendidas entre los 20 y los 79 años todos sanos, sin déficits neurológicos ni psiquiátricos, mediante el test visual de Groffman, es decir, el VTT. Este estudio tenía como objetivo definir

datos normativos para la población adulta y evaluar el impacto que tiene la edad en los movimientos oculares de rastreo. Se dividió a los participantes en seis grupos de edad, de 20 a 29 años, de 30 a 39 años, de 40 a 49 años, de 50 a 59 años, de 60 a 69 años y de 70 a 79 años.

Como resultados se obtuvo que los tiempos de ejecución eran diferentes entre todos los laberintos y láminas y cambiaban con la edad. La precisión disminuía conforme hacían la prueba los grupos de edad más avanzada y el tiempo de ejecución aumentaba al aumentar la edad. Se concluyó que la edad sí que tenía impacto sobre los movimientos oculares de rastreo.⁴¹

Comparando los tiempos de realización de nuestra lámina número 5 con los tiempos del laberinto A de las dos láminas del estudio de Facchin, en nuestro estudio obtenemos una media de duración del test de 15,65 segundos mientras que en el estudio de Facchin en la lámina A se obtuvo una media de 18,3 segundos y en la lámina B de 16,4 segundos. Pero debemos tener en cuenta que son versiones diferentes del test, aunque estos laberintos son los que más se asemejan entre sí en cuanto a dificultad. Son valores muy similares teniendo en cuenta que los laberintos no son exactamente iguales y la diferencia de tiempos se podría deber a que el VTT original de Groffman, utilizado en el análisis de Facchin, tiene más dificultad o también al método de medición de los tiempos ya que, la medición con eye tracker consigue ser más precisa y por tanto menor.

Falcke y colaboradores, realizaron una comparación mediante el VTT de Groffman original, con números y letras, de los resultados obtenidos en este test entre niños de Dinamarca y niños americanos de la misma edad. La hipótesis que mantenían era que los resultados de ambos grupos de niños serían iguales. Se escogió una muestra de 136 niños daneses con edades de 7, 8, 10 y 11 años y se compararon con una muestra de 215 niños americanos de las mismas edades que habían realizado el VTT en un estudio llevado a cabo anteriormente por Groffman. Los niños daneses realizaron solamente el test A, binocularmente, con luz normal y con su corrección si procedía, con un cronometro se midió el tiempo utilizado para realizar cada uno de los 5 laberintos y durante el proceso se anotó: si existían movimientos de cabeza, la distancia de trabajo al test, si se usaba el dedo para seguir los laberintos, movimientos de cuerpo inusuales y comentarios verbales. Si el sujeto realizaba correctamente el seguimiento del laberinto, se le daban puntos en función del tiempo que había tardado en hacerlo pero, si no lo realizaba de manera correcta o usaba el dedo repetidas veces no recibía ningún punto.

Como resultados se obtuvo que los niños de Dinamarca de 7 años obtuvieron una media de 9,44 puntos, los de 8 años una media de 17,61 puntos, los de 10 años de 23,34 puntos y los de 11 años una media de 27,97 puntos. Se compararon estos valores con los niños americanos que obtuvieron: una media de 10 puntos los niños de 7 años, una media de 17 puntos los de 8 años, una media de 26 puntos los niños de 10 años y por último, una media de 28 puntos los que tenían 11 años. Se vio que eran resultados muy semejantes, los que más se diferenciaban eran los niños de 10 años, que pasaban de tener 23,34 puntos los daneses a 26 puntos los americanos, esto podría deberse a que la muestra cogida de niños americanos podrían ser sujetos elegidos específicamente de un área y que tuviesen ciertas habilidades más desarrolladas que los de Dinamarca que fueron escogidos aleatoriamente. De todas formas, en los dos grupos de niños (americanos y daneses) se vio un aumento en la puntuación y por tanto, una disminución en el tiempo de ejecución, conforme avanzaba la edad de estos.

Para los niños de Dinamarca, los tiempos resultantes de realización de cada laberinto se agruparon en dos grupos, los de 7 y 8 años juntos y los de 10 y 11 años juntos. El grupo de 7 y 8 años obtuvo: para el laberinto A una media de 24,89 segundos, para el B una media de 34,34 segundos, en el C una media de 34,03 segundos, en el D una media de 33,29 segundos y en el laberinto E una

media de 23,61 segundos. El grupo de 10 y 11 años obtuvo: en el laberinto A una media de 18,33 segundos, en el B una media de 27,19 segundos, en el C una media de 28,83 segundos, en el D una media de 24,91 segundos y en el laberinto E una media de 19,11 segundos. En estos resultados se puede volver a ver que los tiempos de realización eran más rápidos para todos los laberintos cuanto mayor era la edad de los sujetos que realizaban el test.⁴²

Comparando los resultados de los tiempos obtenidos en el test 5 del VTT de nuestro análisis con los resultados del estudio explicado anteriormente, ya que el test 5 es el que más se parece en cuanto a dificultad al VTT de Groffman, se observa que nuestros tiempos están reducidos en comparación con los tiempos de los niños de Dinamarca, siendo los de nuestro estudio una media de 15,6 segundos mientras que los del estudio de Falcke el mínimo de tiempo que se consiguió fue de 18,33 segundos. Esta diferencia puede deberse a tres factores: los test no son exactamente iguales por lo que, podría haber la posibilidad de que el VTT de Groffman (utilizado en el estudio de Dorte Falcke) tuviese mayor dificultad a la hora de seguir las líneas y por eso requiriese mayor tiempo para realizarlo, los sujetos estudiados en ambas investigaciones no tienen la misma edad o al método de medida de los tiempos. De todos modos lo más probable es que se deba a que los sujetos evaluados en los estudios no son de la misma edad, en nuestro estudio eran voluntarios con edades comprendidas entre los 18 y 30 años y en el estudio de Falcke eran niños de 7, 8, 10 y 11 años. Como se comprobó en este último estudio los tiempos de realización disminuían conforme aumentaba la edad y por ello se podría explicar que los tiempos de nuestro estudio fuesen menores en comparación con los del estudio de Falcke.

Tras realizar el análisis mediante dos test (KD y VTT) de la motilidad ocular con eye tracker, podemos concluir que existen relaciones entre algunas variables de los dos test. Aunque son test que en principio miden aspectos diferentes de la motilidad ocular sí que encontramos correlación entre varios de los parámetros que se consiguen con el eye tracker y que no se han podido obtener hasta ahora con métodos convencionales.

Hay una relación directa entre la duración de los sacádicos de un test y la duración de los sacádicos del otro test, es decir, los sujetos que han realizado movimientos sacádicos de mayor duración en el VTT también han realizado los han realizado de mayor duración en el test KD y viceversa. También ocurre con los que realizaron sacádicos de menor duración. Esto mismo ocurre entre las variables velocidad media de los sacádicos de un test y velocidad media de los sacádicos del otro test, es decir, cuando un sujeto realiza unos sacádicos más lentos en el KD también serán lentos en el VTT y viceversa.

Se han observado también relaciones inversas entre variables, aunque no tan altas como las directas, como pueden ser: la relación entre la velocidad media de los sacádicos en el VTT y la duración de las fijaciones en el test de KD. Esto se traduce a que un sujeto que realiza sacádicos más rápidamente en el VTT, las fijaciones que realiza en el test de KD tendrán una duración menor y también ocurrirá al revés, si este sujeto ejecuta sacádicos más lentos en el VTT la duración de sus fijaciones en el test KD será mayor.

Serían necesarias más investigaciones para conocer si estos parámetros pueden ser utilizados como indicadores de la calidad de la motilidad ocular.

En el caso del VTT al ir realizando las distintas láminas, el número de fijaciones, de sacádicos y la duración total en la que se completa el laberinto aumenta mientras que, la amplitud de los sacádicos que se realizan disminuye. Esto puede deberse a que las láminas están ordenadas en sentido creciente de dificultad y por tanto, a mayor dificultad del laberinto se tendrán que realizar

mas movimientos oculares, se tardará más y la amplitud de estos será menor ya que, se trata de un laberinto con mas detalles.

Observando la tabla de normas del VTT, damos los correspondientes puntos a cada test según la media de duración de estos y, posteriormente sumándolos, se obtienen 47 puntos. Esta puntuación estaría por encima de la puntuación de la tabla de normas para los 12 años (41,84 puntos), siendo esta la mayor edad que se puede puntuar.

Por otro lado, se puede decir que la técnica del eye tracker es un método eficaz a la hora de evaluar los movimientos oculomotores tanto sacádicos, como seguimientos y fijaciones de manera objetiva mediante los test KD y VTT.

El eye tracker puede ser la técnica de elección a la hora de evaluar los movimientos oculares ya que, se ha comprobado que es un método fácil, rápido y cómodo debido a que no es invasivo y es apto para todas las edades que han participado en este estudio, desde los 18 años hasta los 30 años, que se puede considerar la edad adulta.

5.1. LIMITACIONES

El análisis realizado consta de algunas limitaciones, tanto a la hora de la evaluación de las pruebas como en el análisis de los resultados.

Una de las limitaciones ha sido el tamaño de la muestra estudiada. Una muestra de 59 sujetos como es nuestro caso, no permitiría generalizar los resultados obtenidos a toda la población.

Al llevar a cabo las distintas pruebas con el eye tracker y recoger los datos necesarios, no se han obtenido los movimientos de seguimiento en el VTT, aunque este test se utiliza para la valoración de los mismos. Al ser un test en el que no había un objeto en movimiento, se decidió utilizar para el estudio únicamente los datos que ofrecía el dispositivo. Los datos de los seguimientos no son aportados directamente por el software Pro lab, siendo necesario un análisis más profundo de los mismos para obtenerlos.

Por otro lado, serían necesarias más investigaciones al respecto para determinar si las normas de estos test realizados digitalmente serían las mismas que las realizadas en cartas de papel, ya que es posible que el valor del tiempo obtenido con el eye tracker, sea más preciso y difiera al tomado convencionalmente con cronómetro.

6. CONCLUSIONES

- Nuestro trabajo aporta una base de datos de distintos parámetros de la motilidad ocular de una población adulta joven. Estos parámetros pueden servir para caracterizar de una manera más precisa esta habilidad visual a partir de test normalizados.
- Los tiempos obtenidos en el test KD son similares a los obtenidos en estudios previos.
- El tiempo de realización medio del VTT en la población estudiada de adultos jóvenes es menor que el establecido en la tabla de normas para la máxima edad.
- Existe una relación directa alta entre la duración de los sacádicos de un test y la duración de los sacádicos del otro test, con un coeficiente de correlación de 0,625.
- Existe una relación directa alta entre las velocidades medias de los sacádicos realizados durante ambos test, con un coeficiente de correlación de 0,725.

- La técnica de evaluación con eye tracker es eficaz para medir los movimientos oculares en adultos.
- Hay que tener en cuenta el método de medición de los tiempos ya que, pueden diferir según sean medidos con cronómetro o con el propio eye tracker. Con eye tracker se obtienen tiempos menores.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Alberich J, Fontanills DG, Ferrer Franquesa A. Percepción visual. Universitat Oberta de Catalunya. 2014.
2. Goettker A, Gegenfurtner KR. A change in perspective: The interaction of saccadic and pursuit eye movements in oculomotor control and perception. *Vision Res.* 2021 Nov 1;188:283–96.
3. Leigh RJ, Zee DS. The neurology of eye movements. 5.a ed. New York, NY: Oxford University Press. 2015.
4. Ma D, Marín CP. Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Madrid. Universidad Complutense de Madrid. 2006
5. Pizzichillo A, Lorenzoni S, Barbieri C, Freccero V, Maglione I, Iglesias C, Céspedes P, Padovani F, Fernández PS, Casanova F, Pineda MJ, Bordagorry L, et al. Archivos de la cátedra de oftalmología. Incidencia de fatiga visual en niños uruguayos Correlación con el uso de dispositivos electrónicos. Pupila de Adie. Síndrome de Duane. 2016.
6. Chamorro Diaz Y. Influencia del nivel de lectura y de la escolarización en el control del movimiento ocular sacádico. Tesis que para obtener el grado de maestro en ciencia del comportamiento (orientación neurociencia). México. Universidad de Guadalajara. 2010 Dic 7; 10-14.
7. Moreno FJ, Ávila F, Damas JS. El papel de la motilidad ocular extrínseca en el deporte. Aplicación en los deportes abiertos. *Rev Mot. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura.* 2001;7:75–94. Disponible en: <https://cienciadeporte.eweb.unex.es/motricidad/7/art5.pdf>
8. Dell’Osso L.F, Daroff R.B. Características y técnicas de registro de los movimientos oculares. Salvat Editores. 1982. 181–93. Disponible en: http://www.omlab.org/personnel/dfd/Jrnl_Arts/Book_Chapters/018_Caract_tecnicas_registro_mov_ocular_1982.pdf
9. Gila L, Villanueva A, Cabeza R. Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares. *An Sist Sanit Navar.* 2009;32:9-26.
10. Perea J. Fisiología motora 1ª parte. Capítulo 2. 2018 Jul 11;47–92.
11. Rodríguez-Bobada Lillo E. La Importancia de los Movimientos Oculares en la Lectura. Escuela de Formación Superior SAERA. 2021 May 21. Disponible en: <https://www.saera.eu/motilidad-ocular-en-la-lectura/>
12. Tejero-Gimeno P, Pastor-Cerezuela G, Crespo A. Exploración visual y movimientos oculares en conductores con distinta experiencia. *Universidad de Murcia.* 2004 Jun; 20(1):127-145.

13. Bowers NR, Gautier J, Lin S, Roorda A. Fixational eye movements in passive versus active sustained fixation tasks. *J Vis.* 2021;21(11):16.
14. Krauzlis RJ. Recasting the smooth pursuit eye movement system. *J Neurophysiol.* 2004;91(2):591-603.
15. Missal M, Heinen SJ. Stopping smooth pursuit. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2017 Abr 19;372(1718).
16. Jia Y, Tyler CW. Measurement of saccadic eye movements by electrooculography for simultaneous EEG recording. *Behav Res Methods.* 2019 Oct 1;51(5):2139-51.
17. Keller EL, Missal M. Shared brainstem pathways for saccades and smooth-pursuit eye movements. *Ann N Y Acad Sci.* 2003;1004(1):29-39.
18. Land MF. Eye movements and the control of actions in everyday life. *Prog Retin Eye Res.* 2006 May;25(3):296-324.
19. Apicella F, Costanzo V, Purpura G. Are early visual behavior impairments involved in the onset of autism spectrum disorders? Insights for early diagnosis and intervention. *Eur J Pediatr.* 2020 Feb 1;179(2):225-34.
20. Bilbao C, Piñero DP. Distribution of visual and oculomotor alterations in a clinical population of children with and without neurodevelopmental disorders. *Brain Sci.* 2021 Mar 1;11(3):351.
21. Bilbao C, Piñero DP. Clinical characterization of oculomotricity in children with and without specific learning disorders. *Brain Sci.* 2020 Nov 1;10(11):836.
22. Bucci MP, Brémond-Gignac D, Kapoula Z. Poor binocular coordination of saccades in dyslexic children. *Arbeitsphysiologie.* 2008 Mar;246(3):417-28.
23. Mahone EM, Mostofsky SH, Lasker AG, Zee D, Denckla MB. Oculomotor anomalies in attention-deficit/hyperactivity disorder: evidence for deficits in response preparation and inhibition. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry.* 2009;48(7):749-56. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19465877/>
24. Sumner E, Hutton SB, Kuhn G, Hill EL. Oculomotor atypicalities in Developmental Coordination Disorder. *Dev Sci.* 2018 Jun 1;21(1). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27753223/>
25. Bilbao C, Piñero DP. Objective and subjective evaluation of saccadic eye movements in healthy children and children with neurodevelopmental disorders: A pilot study. *Vision (Basel).* 2021 Jun 7;5(2):28.
26. Villanueva A, Cabeza R. Evaluation of corneal refraction in a model of a gaze tracking system. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2008 Dic;55(12):2812-22. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4564194>
27. Duchowski AT. Eye tracking methodology: Theory and practice. 3.a ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing; 2017.
28. ¿Qué es el Seguimiento Ocular?. Tobii Dynavox ES. Disponible en: <https://es.tobiidynavox.com/pages/what-is-eye-tracking>

29. Zoccolan D, Graham BJ, Cox DD. A self-calibrating, camera-based eye tracker for the recording of rodent eye movements. *Front Neurosci.* 2010;4:193.
30. Nielsen J, Pernice K. *Eyetracking Web Usability.* Upper Saddle River, NJ, Estados Unidos de América: New Riders Publishing; 2009.
31. King A, Devick S. *The Proposed King-Devick Test and Its Relation to the Pierce Saccade Test and Reading Levels.* Chicago, IL: Illinois College of Optometry; 1976.
32. Galetta KM, Barrett J, Allen M, et al. The King-Devick test as a determinant of head trauma and concussion in boxers and MMA fighters. *Neurology.* 2011;76(17):1456–1462.
33. Gold DM, Rizzo J-R, Lee YSC, Childs A, Hudson TE, Martone J, et al. King-Devick test performance and cognitive dysfunction after concussion: A pilot eye movement study. *Brain Sci.* 2021;11(12):1571.
34. Hamedani AG, Bardakjian T, Balcer LJ, Gonzalez-Alegre P. Contrast acuity and the king-devick test in Huntington's disease. *Neuroophthalmology.* 2020;44(4):219-25.
35. Jeyaratnam J, Boey KW, Ong CN, Chia CB, Phoon WO. Neuropsychological studies on lead workers in Singapore. *Br J Ind Med.* 1986;43(9):626-9. Disponible en: <https://oem.bmj.com/content/oemed/43/9/626.full.pdf>
36. Remick-Waltman K, Redman-Bentley D, Walker K, Armstrong D. An Inter-Professional Investigation. Visual Tracing: Is There a Difference Between Children with Sensory Processing Disorder (SPD) and Typical Development?. Western University of Health Science. College of Optometry. Disponible en: http://pubs.covd.org/VDR/17AM/46_Remick-Waltman.pdf
37. Hecimovich M, King D, Dempsey A, Gittins M, Murphy M. In situ use of the King-Devick eye tracking test and changes seen with sport-related concussion: saccadic and blinks counts. *Phys Sportsmed.* 2019 Jan 2;47(1):78–84. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30244636/>
38. Deveau J, Ozer DJ, Seitz AR. Improved vision and on-field performance in baseball through perceptual learning. *Curr Biol.* 2014 Feb 17;24(4):R146–7. Available from: <http://www.cell.com/article/S0960982214000050/fulltext>
39. Rizzo J-R, Hudson TE, Dai W, Birkemeier J, Pasculli RM, Selesnick I, et al. Rapid number naming in chronic concussion: eye movements in the King-Devick test. *Ann Clin Transl Neurol.* 2016;3(10):801–11.
40. Facchin A, Giordano L, Brebbia G, Maffioletti S. Application, limits, scoring and improvements of Groffman Visual Tracing test. *Scand J Optom Vis Sci.* 2020;13(1):2–9.
41. Facchin A, Misch E, Iannello C, Maffioletti S, Daini R. Normative Values of the Groffman Visual Tracing Test for the Assessment of Oculomotor Performance in the Adult Population. *Vision.* 2022 Jun 15;6(2):34. Available from: <https://www.mdpi.com/2411-5150/6/2/34>
42. Falcke D, Kristiansen K, Harris P. Comparison of Danish and American Children on the Groffman Visual Tracing Test.

ANEXOS

ANEXO 1. CUESTIONARIO DE SÍNTOMAS

CUESTIONARIO SÍNTOMAS

CISS V-15 modificado
NOMBRE Y APELLIDOS:

Instrucciones para el optometrista: lea las siguientes preguntas al sujeto, si este responde "Si", debe intentar cuantificar cuando le pasa. No de ejemplos.

Instrucciones para el sujeto: Por favor responda las siguientes preguntas acerca de cómo nota sus ojos cuando lee o realiza trabajos en visión cercana.

	E1B8:F29	0 Nunca	1 casi nunca	2 A veces	3 bastante amenudo	4 Siempre
VP	1 Ojos cansados					
	2 Visión poco confortable					
	3 Dolores de cabeza					
	4 Somnolencia					
	5 Pierde la concentración					
	6 Tiene problemas para recordar lo que ha leído					
	7 Tiene visión doble					
	8 Tiene que guiñar un ojo para ver bien de cerca					
	9 Ve las palabras moverse, saltar o parecen flotar en la página					
	10 Cree que su velocidad de lectura es lenta					
	11 Dolor en los ojos cuando lee o realiza trabajos en visión cercana					
	12 Ojos llorosos					
	13 Ojos rojos					
	14 Ojos secos					
	15 Picor de ojos					
	16 Sensación de arenilla					
	17 Tensión, sensación de tirantez o pesadez de ojos					
	18 Las palabras se emborronan o se enfocan y desenfocan					
	19 Las palabras en una página debido a que parecen destellar o parpadear					
	20 Mueve los ojos por la página, parpadear continuamente o frotarte los ojos para conseguir que el texto sea fácil de ver					
	21 Dolor de cuello espalda, hombros					
	22 Al leer con luz fluorescente o luz solar, ¿el brillo de las páginas de papel blanco satinado causa que muevas continuamente la página para que puedas ver claras las palabras?					
Nota algún	23 ¿Alguna vez te parece que el fondo blanco detrás del texto se mueve, parpadea o brilla haciendo las letras difíciles de leer?					
	23 Se pierde de lugar					
	25 Tiene que releer la misma línea de palabras cuando lee?					
	26 ¿Tienes que usar un lápiz o el dedo para no perderte al leer ?					
	27 ¿Alguna vez tienes dificultades para ver más de una o dos palabras enfocadas, en una línea?					
	28 ¿Ve líneas de colores alrededor de las letras cuando lee, o manchas de colores durante la lectura?					
VL	29 ¿Nota alguna vez borrosidad en visión lejana?					
	30 ¿En visión lejana debe cerrar un ojo para ver claramente un objeto?					
	31 Tiene visión doble en visión lejana?					
	32 Le molestan las luces brillantes					