



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

**EFFECTO DE LAS LENTES ESFÉRICAS DE BAJA POTENCIA
EN LA MOTILIDAD OCULAR Y EN LA RESPUESTA
ACOMODATIVA DURANTE LA LECTURA**



Jesús Gascón Portalés

ROSA BORRÀS GARCÍA
JUAN CARLOS ONDATEGUI PARRA
DEPARTAMENTO DE ÓPTICA Y OPTOMETRÍA



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

El/s Sr./Srs. Rosa Borràs Garcia i Juan Carles Ondategui Parra, com a tutor/s i director/s del treball,

CERTIFICA/CERTIFIQUEN

Que el Sr./Sra. Jesús Gascón Portalés ha realitzat sota la seva supervisió el treball *Efecto de las lentes esféricas de baja potencia en motilidad ocular y en la respuesta acomodativa durante la lectura.* que es recull en aquesta memòria per optar al títol de màster en Optometria i Ciències de la Visió.

I per a què consti, signo/em aquest certificat.

Sr/a Rosa Borràs Garcia

Sr/a Juan Carles Ondategui Parra

Director/a del TFM

Director/a del TFM

Terrassa, 26 de maig de 2016



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

**EFFECTO DE LAS LENTES ESFÉRICAS DE BAJA POTENCIA
 EN LA MOTILIDAD OCULAR Y EN LA RESPUESTA
 ACOMODATIVA DURANTE LA LECTURA**

RESUMEN

Objetivos: Analizar los cambios en los parámetros de motilidad ocular y la acomodación que inducen cambios dióptricos esféricos durante el proceso de lectura.

Metodología: Se evalúan 17 pacientes ($21,06 \pm 1,98$ años) a quienes se les calcula el retraso acomodativo por medio de un autorrefractómetro WAM-5500 y, por otro lado, a 18 pacientes ($21,83 \pm 2,33$ años) se les evalúan los movimientos sacádicos mediante un Eye Link 1000 Plus. En ambos experimentos se han tomado mediciones colocando diferentes lentes esféricas de baja potencia al individuo (-1,00 dioptría (D), -0,50D, Habitual, +0,50D y +1,00 D).

Resultados: En los valores obtenidos para el retardo acomodativo con diferentes lentes no hemos encontrado diferencias estadísticamente significativas. Para los valores de los parámetros de movimientos sacádicos se han encontrado diferencias estadísticamente significativas con la lente de +1.00D para el tiempo de lectura ($p=.018$) y la duración de las regresiones ($p=.000$). La amplitud de las regresiones ($p=.021$) y la duración de las regresiones ($p=.003$) también se ven afectadas con la lente de -1.00D.

Conclusiones: El retraso acomodativo no se ve afectado por las lentes esféricas de baja potencia durante la lectura. En cambio, los movimientos sacádicos presentan alteraciones en algunos parámetros a partir de $\pm 1.00D$.



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

EFFECTE DE LAS LENTS ESFÈRIQUES DE BAIXA POTÈNCIA EN LA MOTILIDAD OCULAR I EN LA RESPOSTA ACOMODATIVA DURANT LA LECTURA

SUMMARY

Objectius: Analitzar els canvis en els paràmetres de motilitat ocular i l'acomodació que indueixen canvis diòptrics esfèrics durant el procés de lectura.

Metodologia: S'evaluen 17 pacients ($21,06 \pm 1,98$ anys), als quals es calcula el retard acomodatiu mitjançant un autorrefractòmetre WAM-5500 i, d'altra banda, a 18 pacients ($21,83 \pm 2,33$ anys) se'ls avaluen els moviments sacàdics mitjançant un Eye Link 1000 Plus. A ambdós experiments s'han pres mesures col·locant diferents lents esfèriques de baixa potència a l'individu (-1,00 diòptria (D), -0,50D, Habitual, +0,50D y +1,00 D).

Resultats: Als valors obtinguts per el retard acomodatiu amb diferents lents no hem trobat diferències estadísticament significatives. Per els valors del paràmetres de moviments sacàdics s'han trobat diferències estadísticament significatives amb la lent de +1.00D per el temps de lectura ($p=.018$) i la durada de les regressions ($p=.000$). L'amplitud de les regressions ($p=.021$) i la duració de les regressions ($p=.003$) també es veuen afectades amb la lent de -1.00D.

Conclusions: El retard acomodatiu no es veu afectat per les lents esfèriques de baixa potència. En canvi, els moviments sacàdics presenten alteracions en alguns paràmetres a partir de $\pm 1.00D$.



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

THE EFFECT OF LOW-POWER SPHERICAL LENSES IN OCULAR MOTILITY AND IN THE ACOMODATIVE RESPONSE DURING READING

SUMMARY

Objectives: To analyse the changes in ocular motility parameters and the accommodation that spherical dioptric changes lead to during the reading process.

Methodology: 17 patients ($21,06 \pm 1,98$ years) to whom is calculated the accommodation delay through an Auto Refractometer WAM-5500 and, on the other hand, 18 patients ($21,83 \pm 2,33$ years) to whom the saccadic eye movements are evaluated through an Eye Link 1000 Plus. In both experiments the measures have been taken fitting different low-power spherical lenses to the individual (-1,00 diopter (D), -0,50D, Regular, +0,50D and +1,00 D).

Results: In the values obtained for the accommodation delay we have not found statistically significant differences. For the values of the saccadic eye movements parameters we have found statistically significant differences with the +1.00D lens for the reading time ($p=.018$) and the duration of the regressions ($p=.000$). The regressions width ($p=.021$) and the duration of the regressions ($p=.003$) are also affected with the -1.00D lens.

Conclusions: The accommodation delay is not affected by the low-power spherical lenses during the reading. However, the saccadic eye movements show alterations in some parameters from $\pm 1.00D$.

Índice

1. Introducción.....	8
2. Marco teórico.....	9
2.1. Motilidad ocular.....	9
2.1.1. Musculatura oculomotora.....	9
2.2. Clasificación de los movimientos oculares.....	10
2.2.1. Movimientos de compensación del movimiento craneal y del entorno visual.....	10
2.2.2. Movimientos para el desplazamiento de la mirada.....	11
2.2.3. Micromovimientos asociados a la fijación ocular.....	13
2.3. Movimientos de versión: Movimientos sacádicos.....	14
2.3.1. Control neural de los movimientos sacádicos.....	14
2.3.2. Clasificación de los movimientos sacádicos.....	14
2.3.3. Características de los movimientos sacádicos.....	15
2.4. Motilidad ocular en lectura.....	17
2.4.1. Lectura.....	17
2.4.2. Motilidad ocular y lectura.....	18
2.5. Acomodación y retardo acomodativo.....	21
2.5.1. Descripción.....	21
2.5.2. Acomodación y lectura.....	21
2.5.3. Evaluación del retardo acomodativo.....	22
2.5.3.1. Evaluación del retardo acomodativo mediante retinoscopía dinámica.....	22
2.5.3.2. Evaluación del retardo acomodativo mediante autorrefractometría...23	
2.6. Evaluación clínica de los movimientos sacádicos en lectura.....	23
2.7. Evaluación mediante un Eye Tracker de los movimientos sacádicos.....	24
3. Instrumentación.....	27
3.1. El sistema de registro de movimientos oculares. Eye Link 1000 plus.....	27
3.2. Sistema para el análisis acomodativo. Autorrefractómetro WAM-5500.....	28
4. Objetivos.....	30
5. Metodología.....	31
5.1. Selección de la muestra.....	31
5.2. Diseño de las pruebas.....	32
5.3. Protocolo de medida.....	33



5.3.1. Calibración.....	34
5.3.2. Desarrollo de las pruebas de motilidad ocular en lectura.....	34
5.3.3. Desarrollo de las pruebas de acomodación.....	35
6. Obtención e interpretación de los datos.....	36
6.1. Obtención de los datos.....	36
6.2. Caracterización de los movimientos oculares en lectura.....	37
6.2.1. Caracterización de las fijaciones.....	38
6.2.2. Caracterización de los movimientos oculares.....	38
6.3. Tratamiento de los datos.....	39
6.3.1. Selección de los datos a analizar.....	39
6.3.2. Selección datos fijaciones.....	42
6.3.3. Selección datos de los movimientos oculares.....	42
6.3.3.1. Datos de los movimientos sacádicos.....	42
7. Resultados.....	44
7.1. WAM-5500.....	44
7.1.1. Descripción muestra.....	44
7.1.2. Descriptivos de las variables.....	45
7.1.3. Comparación entre condiciones.....	45
7.2. Eye Link 1000 Plus.....	46
7.2.1. Descripción muestra.....	46
7.2.2. Descriptivos de las variables.....	46
7.2.3. Comparación entre condiciones.....	48
7.2.4. Correlaciones entre condiciones.....	50
8. Discusión.....	53
8.1. Discusión WAM-5500.....	53
8.2. Discusión Eye Link 1000 Plus.....	54
9. Conclusiones.....	57
9.1. Acomodación	57
9.2. Motilidad ocular.....	57
10. Bibliografía	58

1. Introducció

La visió és uno de los sentidos más importantes que tiene el ser humano ya que más del 75% de la información que se percibe de nuestro entorno es a través de la vista. Es por eso que, un buen funcionamiento de la visió es indispensable para nuestro desarrollo cognitivo.

Es conocida la importancia de la lectura en nuestro aprendizaje, siendo esta la base del éxito académico y curricular. En este proceso nuestros ojos juegan un papel fundamental.

En este trabajo se empieza destacando en el marco teórico los aspectos más importantes de la motilidad ocular, desde un punto de vista genérico, para finalmente hacer hincapié en aquellos movimientos oculares más importantes en la lectura. También se habla de los aspectos más relevantes de la acomodación ocular, haciendo énfasis en el retardo acomodativo y cómo influye en la lectura. Finalmente, se hace una breve descripción de los métodos de evaluación de motilidad ocular y del retardo acomodativo.

A continuación, se realiza una breve descripción de la instrumentación utilizada en el estudio, y de los objetivos de este. Para después, explicar la metodología utilizada, desde cómo se ha realizado la selección de la muestra, el diseño de las pruebas, pasando por cómo se han obtenido e interpretado los datos, y como estos han sido tratados.

Seguidamente, se encuentran los resultados obtenidos en el estudio, estos vienen divididos en dos bloques, el de la motilidad ocular y el de la acomodación, al igual que en la discusión que viene después de los resultados, y es donde se comparan los resultados obtenidos con otros estudios realizados.

Finalmente, se incluyen una serie de conclusiones, que se han podido extraer con los resultados del estudio.

2. Marco teórico

2.1. Motilidad ocular

En este apartado, se procede a describir los tipos de movimientos oculares, así como su clasificación y finalmente relacionar estos movimientos con la lectura.

El sistema oculomotor se desarrolla más lentamente que el sistema de visión binocular y que el sistema visual acomodativo. Mientras que el sistema acomodativo se estabiliza a las dos semanas después del nacimiento, el sistema oculomotor empieza a ser estable a los seis meses, y al año, empieza a ser similar al de los adultos, aunque continúa desarrollándose hasta los seis años (Aslin R.N., 1977). Esta es una de las razones por la que el sistema oculomotor juega un papel determinante en la lectura y en el proceso de aprendizaje en la escuela primaria (Scheiman M, 2008).

2.1.1 Musculatura oculomotora

Para poder leer, los ojos deben moverse de manera adecuada y coordinada sobre los objetos de interés. Para realizar los movimientos oculares nuestros ojos están gestionados por la coordinación de seis músculos extraoculares que están inervados por los pares craneales III, IV y VI. En la figura 2.1.1 podemos ver una imagen de la musculatura extraocular. El objetivo de sus movimientos es llevar la imagen que se quiere ver a la fóvea del ojo (Martín, 2003).

Los seis músculos y sus funciones son las siguientes:

- *Recto externo o lateral:* Encargado de mover el ojo hacia fuera, o abducción. Inervado por el VI par craneal (nervio abducens)
- *Recto interno o medio:* Encargado de mover el ojo hacia dentro, o aducción. Inervado por el III par craneal (nervio oculomotor).
- *Recto superior:* Encargado de mover el ojo hacia arriba y hacia dentro además realiza una rotación en sentido nasal. Inervado por el III par craneal (nervio oculomotor).
- *Recto inferior:* Encargado de mover el ojo hacia abajo, hacia dentro además de realizar una rotación en sentido temporal. Este está inervado por el III par craneal (nervio oculomotor).
- *Oblicuo superior:* Realiza un movimiento del ojo hacia abajo, afuera y un movimiento de rotación hacia la nariz. Está inervado por el IV par craneal (nervio troclear).

- *Oblicuo inferior*: Realiza un movimiento del ojo hacia arriba, afuera y un movimiento de rotación en sentido temporal. Inervado por el III par craneal (nervio oculomotor).

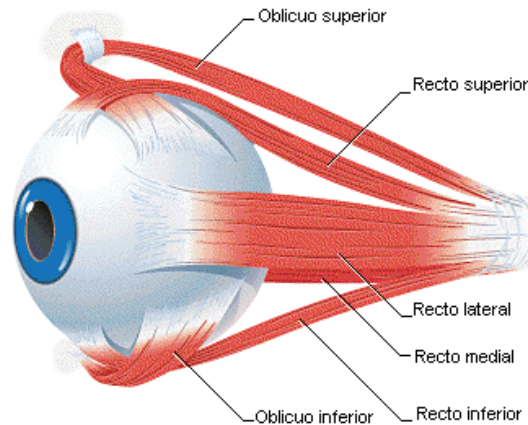


Figura 2.1.: Músculos extraoculares

(<http://iuofisiologia1.blogspot.com.es/2015/09/fisiologia-de-los-musculos-extra.html>)

2.2 Clasificación de los movimientos oculares

Existen varios tipos de movimientos oculares, por lo tanto, también existen distintas maneras de clasificarlos. Se puede realizar una clasificación basada en la finalidad de los movimientos oculares (Prieto 1980), clasificándolos en: ducciones, versiones, vergencias y seguimientos sacádicos.

No obstante, existe una clasificación de los movimientos oculares, que se basa en la funcionalidad de estos movimientos (Carpenter RHS, 1988). Según este criterio funcional, se determinan tres grupos y tipos de movimientos (Tabla 2.2):

Movimientos de compensación del movimiento craneal y del entorno visual	Reflejos vestibulo-oculares
	Reflejos optocinéticos
Movimientos para el desplazamiento de la mirada	Versiones
	Vergencias
Micromovimientos asociados a la fijación ocular	Movimientos de temblor
	Movimientos de Drift
	Microsacádicos

Tabla 2.2. Tabla de clasificación de los movimientos oculares basada en la funcionalidad. Carpenter 1988

2.2.1. Movimientos de compensación del movimiento craneal y del entorno visual

- *Reflejos vestibulo-oculares*

Se tratan de movimientos involuntarios, cuya finalidad es la de estabilizar la imagen retiniana y mantener la orientación espacial durante la rotación y la translación de la cabeza, y el cuerpo en el espacio. Estos movimientos se puede dividir en dos subsistemas, el angular y el lineal. Cuando hay aceleraciones angulares de la cabeza, el sistema angular se encarga de generar movimientos oculares compensatorios (Raphan T. & Cohen B., 2002). En cambio, el sistema lineal actúa manteniendo la mirada en un punto fijo del espacio, cuando hay cambios lineales de la cabeza. En la figura 2.2.1 podemos observar tanto el sistema lineal como el angular.

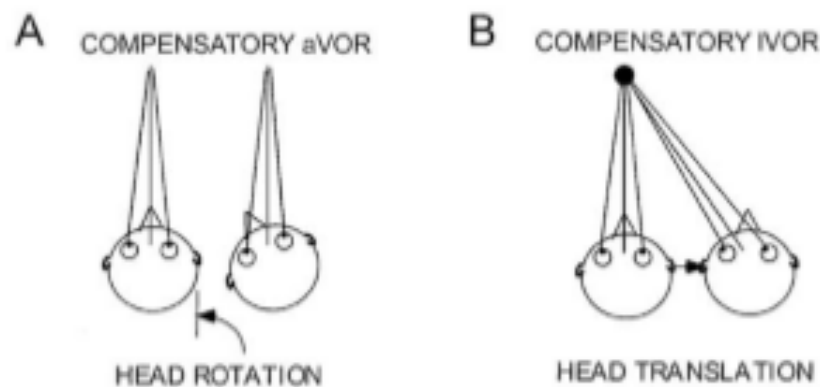


Figura 2.2.1 Mecanismos compensatorios del Subsistema angular(A) y el subsistema lineal (B) (Raphan & Cohen, 2002)

- *Reflejos optocinéticos:*

Son aquellos movimientos que se inducen cuando hay un movimiento rotacional del entorno respecto el observador, por ejemplo cuando viajando en tren, se mira por la ventana sin ningún foco de atención. En estas condiciones, solo hay dimensión de velocidad angular y no de posición (Tian Z. et al, 2007). Este movimiento se compone por una fase de movimientos lenta y otra rápida.

2.2.2 Movimientos para el desplazamiento de la mirada

Son aquellos movimientos oculares encargados de desplazar la línea de mirada de un punto a otro.

- *Versiones:*

Son movimientos binoculares conjugados y simétricos, estos pueden ser voluntarios o involuntarios. La principal finalidad es la de ampliar el campo visual efectivo y llevar la

imagen de interés a la fovea. Dentro de las versiones podemos distinguir dos tipos de movimientos: los seguimientos y los sacádicos.

Las distintas posiciones de mirada son importante, ya que permiten diagnosticar parálisis y paresias de musculos extraoculares

Las diferentes posiciones de mirada en versiones son las siguientes:

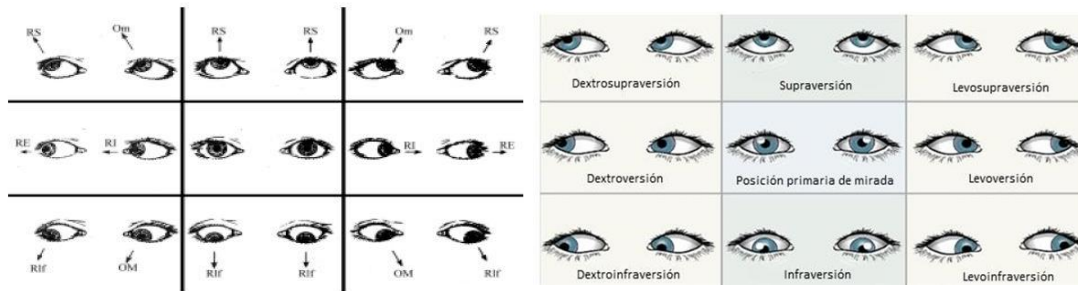


Figura 2.2.2 Musculatura extraocular y las posiciones de la mirada en las versiones (<http://gsdl.bvs.sld.cu/>)

Dentro de las versiones podemos distinguir dos tipos de movimientos: los seguimientos y los sacádicos.

- **Vergencias:**

Al igual que las versiones son movimientos binoculares voluntarios pero los ejes visuales van en direcciones opuestas. Permiten desplazar la mirada consiguiendo fijación foveal en ambos ojos, permitiendo fusionar las imágenes y consiguiendo así visión estereoscópica. Dentro de las vergencias podemos diferenciar tres tipos de movimientos, como podemos ver en la figura 2.2.3 y figura 2.2.4:

- **Convergencia:** consisten en movimientos de aducción simultánea (los ejes visuales giran hacia “adentro”).
- **Divergencia:** movimientos de abducción simultánea (los ejes visuales giran hacia “fuera”).
- **Ciclovergencia:** movimientos oculares de compensación de la desviación torsional. Dentro de estos movimientos, podemos dividir dos movimientos, la *exiclovergencia (extorsión)* y la *inciclovergencia (intorsión)*.



Figura 2.2.3. Movimientos de vergencias, convergencia y divergencia
 (Landaluce O, 2006)

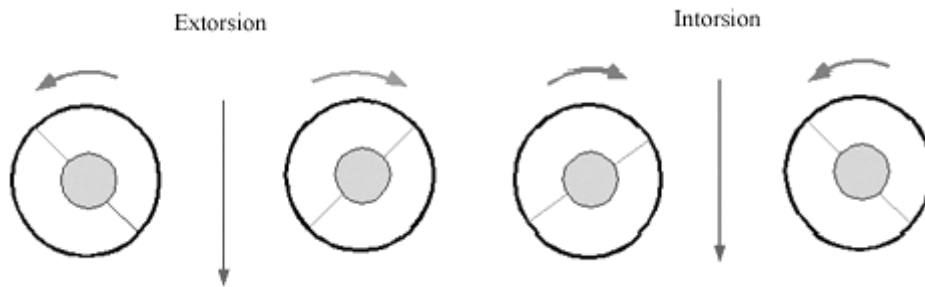


Figura 2.2.4 Movimientos de ciclovergencias, exciclovergencia e inciclovergencia
 (http://www.opt.indiana.edu/v665/CD/CD_Version/CH2/CH2.HTM)

2.2.3. Micromovimientos asociados a la fijación ocular

Son movimientos oculares involuntarios, que ocurren cuando el ojo está realizando una fijación. La función de estos es mantener la fijación de la mirada estable, optimizar la percepción visual y evitar el desvanecimiento visual (Otero-Millan et al., 2014). Además, cuando se producen estos movimientos, también se realiza un proceso cognitivo, es decir, hay una recogida de información.

Carpenter (1988) realizó la siguiente clasificación de este tipo de movimientos:

- *Movimientos temblor*: movimientos oscilatorios rápidos con frecuencias de 200Hz, y amplitudes de 1' arco equivalente al diámetro de un cono y duraciones de 10-20ms. (Collewijn & Kowler, 2008)
- *Movimientos Drift*: movimientos oculares relativamente lentos con un rango de amplitud entre 1.5 y 4' arco y velocidades aproximadamente de 4' de arco. (Collewijn & Kowler, 2008)
- *Microsacádicos*: movimientos oculares con amplitudes de 12' arco aproximadamente y duraciones de 10-100ms, alcanzando elevadas velocidades (Collewijn & Kowler, 2008).

2.3. Movimientos de versión: Movimientos sacádicos

Los movimientos sacádicos son movimientos voluntarios usados para dirigir la mirada a un objeto de interés. El objetivo de estos, es el de situar la imagen visual en fóvea. Estos movimientos consisten en desplazamientos angulares espasmódicos (donde los ojos realizan pequeños y rápidos movimientos entrecortados) (COA, 2015). El inicio de estos movimientos puede ser un estímulo visual o bien efectuarse de forma espontánea. Se suelen presentar cuando observador y objeto están fijos, y este tipo de movimientos son muy precisos y tan rápidos que por unos instantes la visión del observador se bloquea, es decir, que deja de percibir la imagen (Urtubia C., 1996).

2.3.1 Control neural de los movimientos sacádicos

Los movimientos sacádicos están controlados por distintas áreas corticales: las regiones frontales visuales, el área lateral intraparietal, los campos visuales suplementarios y el colículo superior (Wurtz R.H. y Goldberg M.E., 1989). Estas áreas son las responsables de la orientación visual, tanto de ojos, cabeza y tronco. También se encargan de controlar los movimientos oculares y de la cabeza en la realización de los movimientos sacádicos (Wurtz R.H. y Albano J.E., 1989). El colículo recibe inervaciones del córtex cerebral, de las regiones frontales (Frontal Eye Fields, FEF), del área lateral intraparietal (Lateral Intraparietal Area, LIP) y desde V1, que se encuentra en el área 17 de Brodmann. Se cree que el origen de estos movimientos se encuentra tanto en el colículo superior (mesencéfalo), como en los FEF. A pesar que el FEF representaría un estadio superior en el control del sistema oculomotor, este sería el responsable también de la fijación y seguimiento fino de objetos. En cambio, parece que el papel del LIP estaría más relacionado con funciones motoras, coordinación de movimientos de manos y cabeza, en respuesta a estímulos luminosos (Pierrot-Deseilligny C, 1995).

2.3.2 Clasificación de los movimientos sacádicos

Pélisson et al. (2010) realizaron un estudio en el que definieron que los movimientos sacádicos se pueden dividir en dos grupos:

- Sacádicos reflejos o automáticos: son realizados como respuesta a estímulos aleatorios, que aparecen de repente en retina periférica, dando lugar a sacádicos que presentan latencias de aproximadamente 200 milisegundos.

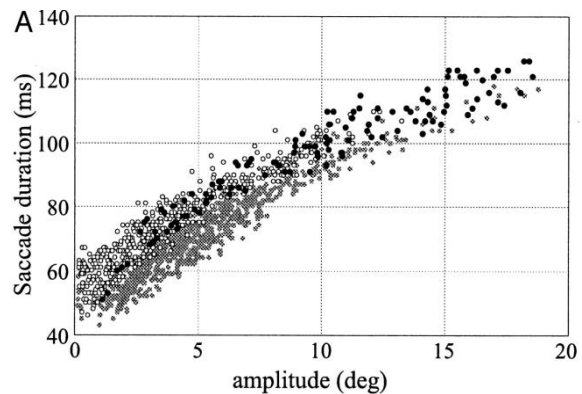
- Sacádicos voluntarios: movimientos oculares intencionados con un objetivo fijo al que dirigir la mirada, cuyas latencias son de aproximadamente 250 milisegundos.

Aunque también hay estudios que clasifican los movimientos sacádicos en función de la amplitud, se pueden diferenciar sacádicos de pequeña y gran amplitud. En el apartado 2.3.3 *características de los movimientos sacádicos* se especificarán las características de estos movimientos.

2.3.3 Características de los movimientos sacádicos

En el día a día, realizamos movimientos sacádicos constantemente, cuando leemos, al mirar una foto, cuando vemos el televisor, y estos pueden tener distintas características éstas són: amplitud, duración, velocidad, latencia y precisión de los movimientos sacádicos

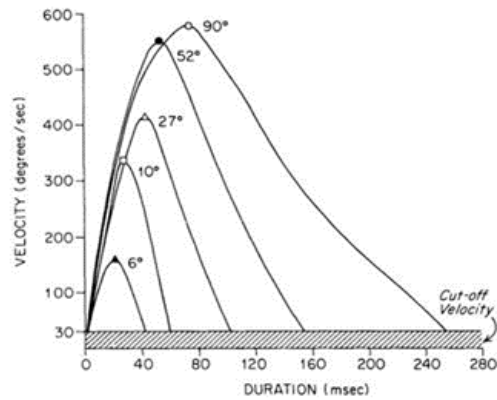
La amplitud viene definida por la posición del ojo al inicio del sacádico y por la posición el ojo al final del sacádico (Leigh RJ et al.). Existe una correlación lineal entre la amplitud del sacádico y la duración de estos (gráfica 2.3.3), donde la duración del sacádico aumenta 2.7 milisegundos, por grado de amplitud del movimiento (Baloh RW et al., 1975).



Gráfica 2.3.3 Relación entre la duración y la amplitud de los movimientos sacádicos (Brouwer S et al, 2001.

<http://jn.physiology.org/content/87/4/1772>

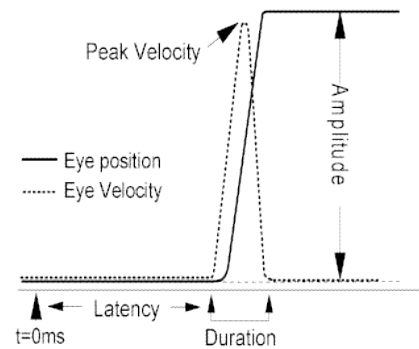
También existe una relación entre la amplitud, y la v mayor amplitud, mayor velocidad de movimiento. Del mismo modo, que la velocidad esta afectada por el tiempo de duración del movimientos sacadico, como vemos en la gráfica 2.3.3 (Baloh R.W. et al., 1975).



Gráfica 2.3.3. Relación entre el tiempo, la amplitud y la velocidad de los movimientos sacádicos (Baloh et al. 1975)

Para la evaluación clínica de los sacádicos, según Ostrowski V.B. et al. (1997) se tienen en cuenta diferentes parámetros: latencia, velocidad y precisión.

- **Latencia:** Se trata del tiempo que transcurre, desde que se presenta el estímulo, hasta que los ojos empiezan a realizar el movimiento sacádico como se observa en la gráfica 2.3.4, se trata de un parámetro que tiene gran variabilidad, aunque los valores de normalidad son de 200-250 milisegundos aproximadamente (Yang et al., 2002).

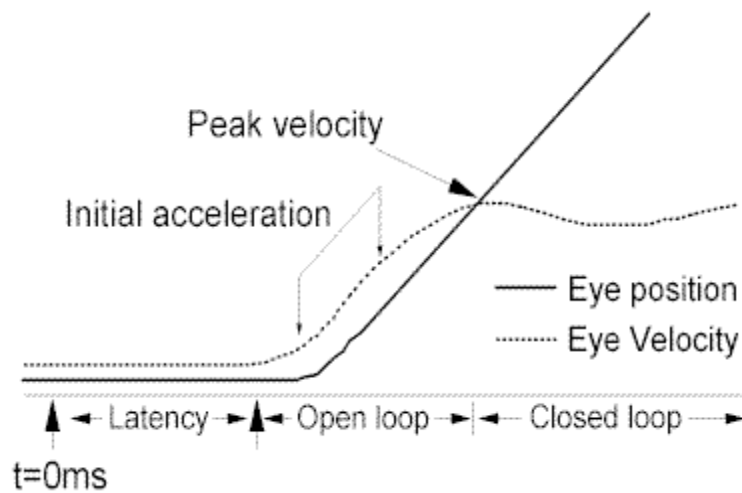


Gráfica 2.3.4. Ejemplo de sacádico, donde vemos podemos observar el tiempo de latencia, justo antes del inicio del sacádico (www.liverpool.ac.uk/~pcknox/teaching/Eyemovs/params.htm)

La latencia está muy relacionada con el desarrollo cognitivo y se ha llegado a la conclusión que las latencias son mayores en los niños, aunque disminuyen progresivamente con la edad (Yang et al., 2002). Aunque a edades avanzadas el tiempo de reacción ante la presentación de un estímulo es mayor (Abel, L. A., Troost, B. T., & Dell'osso, L. F. 1983).

- **Velocidad:** Como hemos observado en la gráfica 3.2 la velocidad de los movimientos sacádicos viene condicionada por la amplitud y por la duración de estos. El inicio del sacádico, viene caracterizado por una aceleración muy rápida (Gráfica 3.4), en la que se

obtiene la velocidad máxima y que ocurre en un periodo de tiempo muy breve, entre 40-50 milisegundos (Becker W., 1989). Seguido de una deceleración hasta llegar a una posición estable. En la misma gráfica 3.2 se observa que el tiempo de desaceleración de los movimientos sacádicos de gran amplitud, tiene una duración mayor que el tiempo de aceleración (Baloh R. W. Et al., 1975). Los sacádicos pueden alcanzar velocidades de 50-700 grados/segundo.



Gráfica 2.3.5 Representación de la aceleración y la velocidad de un movimiento sacádico al inicio de este. Se observa un pico de velocidad al inicio del movimiento, justo antes de que está se estabilice (www.liverpool.ac.uk/~pcknox/teaching/Eymovs/params.htm)

- **Precisión:** definida por Becker W, (1972) como la diferencia que hay entre la posición del ojo al finalizar el movimiento sacádico y la posición del estímulo de interes. La precisión es independiente de la latencia. Aunque en el caso que el sujeto se anticipase en la realización del sacádico, la precisión disminuye (Wang & Stern, 2001).

Al realizar un movimiento sacádico, este puede realizar un recorrido más corto del movimiento previsto, se trata de un movimiento hipométrico. Cuando el recorrido realizado es mayor del movimiento previsto hablaremos de un movimiento hipermétrico, en la figura 2.3.6. podemos ver ejemplificados estos movimientos.

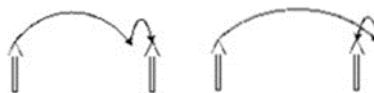


Figura 2.3.6 Representación de un sacádico hipométrico (derecha) e hipermétrico (izquierda)

En ambos casos, los movimientos sacádicos de corrección que realizan los ojos, comprenden latencias de 100 a 300 milisegundos, para unas amplitudes de 1-2 grados (Ohl S et al. 2011).

2.4. Motilidad ocular en lectura

2.4.1. Lectura

La definición de la Real Academia Española de la lengua de la palabra lectura es la acción de leer, y leer es pasar la vista por lo escrito o impreso comprendiendo la significación de los caracteres empleados.

En la acción de la lectura podemos afirmar, que en la lectura intervienen 4 procesos psicolingüísticos:

- *Procesos perceptivos*: Es el proceso relacionado con el reconocimiento de las palabras. Inicialmente se identifican las letras de forma aislada y más tarde formamos las palabras. Los movimientos y fijaciones oculares hacen un reconocimiento de letra-fonema que es requisito previo para leer.

La información que es presentada, es extraída por los mecanismos perceptivos y la almacenan por un periodo breve de tiempo en la memoria visual.

- *Procesos léxicos*: Es el proceso mediante el cual, se reconocen las palabras y accedemos al significado de ellas.
- *Procesos sintácticos*: Relacionado con la habilidad para comprender como están conectadas sintácticamente entre sí.
- *Los procesos semánticos*: Es el proceso relacionado con extraer el significado de la oración o del texto que estamos leyendo.

Cualquier problema existente en alguno de estos procesos dará lugar a dificultades en el proceso lector (Nadal M.C., 2011).

Un aspecto a tener en cuenta en el proceso de lectura, y en el que la motilidad ocular tiene un papel determinante es la velocidad lectora, que consiste en la capacidad que tiene un lector para leer un texto en un tiempo determinado, sin cometer errores y siendo este capaz de comprender el texto. (Martín M.P., 2003). La velocidad lectora está influenciada por una serie de condiciones en la lectura, como pueden ser el tipo de texto y vocabulario que se emplee en

él, el momento de día que tiene lugar la lectura (este factor está vinculado directamente con el cansancio), el tipo y el tamaño de la letra o si la lectura es realizada en voz alta o de manera silenciosa (Recasens M, 2005).

La velocidad lectora comprende procesos cognitivos diferentes a los implicados en la precisión de la lectura, esto implica que la edad en la que se alcanza la madurez en la precisión y el de la velocidad lectora, son distintas. Mientras que las tareas de precisión son dominadas entre los 7 y 8 años, la madurez en la velocidad lectora no se alcanza hasta los 14 años (González A.L. et al., 2011).

2.4.2 Motilidad ocular y lectura

Cuando leemos, los ojos no siguen el texto de manera regular y continua por cada uno de los ítem/letras, sino que estos van realizando pequeños saltos entre grupos de letras o palabras. Cuando realizamos estos saltos, los ojos están realizando movimientos sacádicos. Estos movimientos sacádicos en lectura, se pueden caracterizar en:

- Amplitud: Estos movimientos tienen una amplitud que oscila entre 2 y 4 grados. milisegundos (Alvarez L., González P., 1996).
- Duración: La duración de estos movimientos sacádicos en lectura puede llegar a oscilar entre 20 y 200 milisegundos(Alvarez L., González P., 1996).
- Velocidad: Esta depende de la amplitud del movimiento, aunque la velocidad angular máxima que se alcanza realizando un movimiento sacádico en lectura, puede ser de hasta 1000°/sec.

Los primeros estudios de movimientos sacádicos, concluían que la velocidad de estos, era mayor en la población infantil que en los adultos (Accardo A.P., 1992; Fioravanti F, 1995), pero en estudios recientes, con nuevos dispositivos de medida de motilidad ocular, se ha obtenido que la diferencia de la velocidad entre la población infantil y la población adulta es prácticamente idéntica (Fukushima J, 2002), lo que indica que los circuitos neuronales implicados en la velocidad de los sacádicos, se desarrolla desde edad temprana. A pesar de esto se pueden dar variaciones en función a diversos elementos, algunos que dependen del lector como pueden ser la motivación y la atención prestada, u otros inherentes al lector como la iluminación del lugar de lectura, el tamaño o contraste del estímulo (Díaz S.B., 2004). Relacionado con esto, encontramos que, la atención visual juega un papel central en el control de los movimientos sacádicos (Deubel H, 1996, Kustov A.A., 1996). Un elemento clave en la investigación de la

atención visual, es que la orientación de la atención puede diferir de la atención de la posición de la mirada.

Estos movimientos sacádicos están muy relacionados con las fijaciones. Estas son paradas que se realizan de forma inconsciente entre movimientos sacádicos con una duración aproximada de 200 y 250 milisegundos, aunque algunos autores refieren que el tiempo de duración de una fijación puede ir de 150 a 350 milisegundos (Engbert R, 2003).

Durante las fijaciones es donde el lector extrae la información del texto (Álvarez L., González P., 1996). Un 90% del tiempo de lectura lo ocupan las fijaciones (Díaz S.B., 2004). Varios estudios, han demostrado que la identificación de palabras aisladas, varía mucho con la ubicación inicial de fijación del ojo en dichas palabras. En primer lugar, la probabilidad de identificar correctamente una palabra es más alta cuando los ojos inicialmente fijan cerca de su centro, y disminuye a medida que la fijación inicial se desvía del centro de la palabra (Brysbart M., 1996; O'Regan J.K., 1990). En segundo lugar, el tiempo requerido para identificar una palabra es más corto cuando los ojos inicialmente fijan cerca de la mitad de la palabra (O'Regan J.K. & Jacobs A., 1992; O'Regan et al., 1984). Estos fenómenos, que han sido llamados efectos de visualización óptima de posición (efectos OVP), supone que, como resultado de la baja agudeza visual de la retina periférica, convierten el centro de la palabra, la posición desde la que se pueden ver o leer mayor número de letras, de la palabra en tan solo una mirada (McConkie G.W., 1989; Nazir T., 1991).

Por último, tenemos los movimientos microsacádicos, estos movimientos forman parte y se producen con las fijaciones. Se trata de movimientos pequeños, involuntario, como si fueran pequeñas sacudidas, muy similares a los sacádicos voluntarios pero de muy pequeña amplitud. La amplitud de estos movimientos puede variar desde 2 a 120 minutos de arco (Rolf M., 2009). Este tipo de movimientos, en tareas que demanden una alta agudeza visual, tales como, enhebrar una aguja, o apuntar con un arma, pueden llegar a suprimirse voluntariamente y sin necesidad de entrenamiento. (Bridgeman J., 1980; Steinman R.J., 1967). Originalmente, se pensaba que este tipo de movimientos jugaban un papel importante a la hora de contrarrestar la fatiga retiniana (Ditchburn D.H., 1959; Nachmias J., 1961).

Hay que tener en cuenta otro tipo de movimientos oculares que intervienen en la lectura, como los movimientos de convergencia, que se producen al activar los músculos rectos internos o medios, y producen el movimiento necesario para pasar de visión lejana a visión próxima. Durante estos movimientos, los globos oculares tienden a girar hacia la nariz, abducción, y

también van hacia abajo (Garcia-Castellón M.C., 2012). Aunque en nuestro estudio, a pesar de que los tenemos en cuenta, no los analizamos.

2.5. Acomodación y retardo acomodativo

2.5.1 Descripción

La respuesta acomodativa se define como la respuesta del sistema de acomodación al variar la distancia del punto de fijación. Asimismo, el error o retardo acomodativo se define como la diferencia entre la respuesta acomodativa y la potencia dióptrica del estímulo (Millodot 1990).

La respuesta acomodativa se mide estimulando la acomodación en el grado deseado y registrando la variación de la potencia dióptrica del ojo. El error acomodativo se calcula como la diferencia entre la acomodación estimulada y la respuesta medida. La medida de la respuesta y el error acomodativo van ligados, y el cambio de una a otra se calcula mediante una simple resta:

$$AR = AS - AE \text{ (Fórmula 1)}$$

$$AE = AS - AR \text{ (Formula 2)}$$

Donde AR es la respuesta acomodativa en dioptrías, AS la vergencia del estímulo acomodativo en dioptrías y AE el error acomodativo en dioptrías.

La acomodación es un proceso dinámico con numerosos factores de interés para su estudio: tiempo de latencia, velocidad de la respuesta, evolución con la edad o microfluctuaciones (Anderson 2010).

2.5.2 Acomodación y lectura

Muchos estudios sobre la acomodación (por ejemplo, disminución del tono acomodativo, disminución de la amplitud de acomodación, incrementos en el retardo acomodativo o incrementos en las microfluctuaciones en la acomodación) se han realizado (Rosenfield, 1998), pues se pensaba que estaba relacionada con el desarrollo miópico, debido a la relación que existe entre el desarrollo miópico y la visión próxima.

En cambio, se han realizado pocos estudios analizando el comportamiento acomodativo durante la lectura. Entender cómo puede variar el comportamiento acomodativo y su capacidad de mantener el foco en el plano del texto, entre diferentes individuos, es importante a la hora de

entender si hay alguna relación entre acomodación, trabajo en visión próxima y el desarrollo de la miopía.

Harb et al. 2006 realizaron un estudio analizando el comportamiento acomodativo en tres distancias de lectura distintas, cuyas demandas acomodativas eran 1.5D, 2.5D, 3.5D. Observaron que el retardo acomodativo (diferencia entre la respuesta acomodativa y la demanda del estímulo), variaba considerablemente entre sujetos a todas las distancias, y que este era mayor durante los 2-3 minutos iniciales, pasados este periodo de tiempo el retardo disminuía aproximadamente 0.2D. No detectaron una correlación significativa entre el retardo acomodativo y el estado refractivo de los pacientes, a pesar de que si observaron una ligera tendencia hacia retardos mayores en miopes. Vieron que la variabilidad de la respuesta acomodativa de los individuos estaba relacionada con la demanda acomodativa y el estado refractivo. Esta variabilidad era proporcional al grado de miopía en todas las distancias de lectura. Y los individuos miopes mostraban mayor variabilidad acomodativa que los emétopes, especialmente en las tareas cuya demanda acomodativa era mayor.

2.5.3 Evaluación del retardo acomodativo

Para la evaluación del retardo acomodativo, destacaremos aquellos métodos que utilizan retinoscopia dinámica y la autorrefractometría.

2.5.3.1 Evaluación del retardo acomodativo mediante retinoscopia dinámica

Se trata de la medida de respuesta acomodativa mediante la utilización de un retinoscopio.

La retinoscopia dinámica es una variante de la retinoscopia convencional y se utiliza para la medida de la respuesta acomodativa. Existen tres modalidades diferentes: Nott, Cross y MEM. En todas ellas el paciente debe llevar su corrección de lejos mientras se le pide que acomode mirando a un test de fijación cercano (Rabbets 1998).

- **NOTT:** En la retinoscopia de Nott, el test de fijación está a una distancia fija y el examinador determina la respuesta del paciente acercando o alejando el retinoscopio hasta hallar el punto neutro del reflejo retinoscópico. La inversa de la distancia entre el paciente y el observador se corresponde con la respuesta acomodativa (Rabbets 1998).
- **Método de estimación monocular (MEM):** En esta técnica se evita alterar el estado acomodativo con lentes esféricas; para ello, mientras el paciente observa binocularmente el test de fijación de cerca adherido al retinoscopio, el examinador

observa el reflejo retinoscópico y busca neutralizarlo mediante la adición rápida de lentes en uno de los ojos (Rabbets 1998).

2.5.3.2 Evaluación del retardo acomodativo mediante autorrefractometría

Los autorrefractómetros son instrumentos automáticos para la medida objetiva del estado refractivo ocular basados en diferentes principios como pueden ser la retinoscopía o el principio de Scheiner [Martínez-Corral 1998]de autorrefractometría.

Los autorrefractómetros, son ampliamente utilizados en clínica para la determinación de la refracción pero su uso para la medida de la respuesta acomodativa en clínica es muy escaso. En cambio en el ámbito de estudios científicos sí que se han utilizado una gran variedad de autorrefractómetros para realizar este tipo de medida (Wolffsohn 2006). La medida de la respuesta acomodativa con estos instrumentos se realiza registrando el cambio refractivo del ojo de la visión de lejos a visión cercana.

2.6. Evaluación clínica de los movimientos sacádicos en lectura

En este apartado, hablaremos de los métodos convencionales para evaluar la motilidad ocular: los movimientos sacádicos (pequeña y gran amplitud).

Se usan distintos métodos para la valoración de este tipo de movimientos:

DEM	Valoración de los movimientos sacádicos de pequeña amplitud en niños de 6 a 13 años
ADEM	Valoración de los sacádicos de pequeña amplitud en adultos
VTT-Groffman	Valora los seguimientos de pequeña amplitud
Heinsen-Shrock	Valoración de los movimientos sacádicos de gran amplitud
NSUCO	Valoración de los movimientos sacádicos de gran amplitud
SCCO	Valoración de los movimientos sacádicos de gran amplitud

Tabla 2.6. Tipología de test para la evaluación clínica de los movimientos sacádicos

La evaluación objetiva de los movimientos sacádicos puede requerir el uso de instrumentación cara y compleja. Por ese motivo se han desarrollado diferentes métodos más económicos que

tienen una amplia aceptación, como es el DEM (Development Eye Movement Test), y que consiste en medir el tiempo de lectura de números en voz alta. El problema que tiene este método, es que alteraciones en las funciones motoras o cognitivas del habla y el lenguaje, pueden afectar el resultado de estas pruebas y se pueden confundir con disfunciones de los movimientos sacádicos oculares (Manis F.R. et al, 2000).

He quitado lo del DEM. Está muy bien, pero como no comentas el resto de técnicas, creo más adecuado no incluirlo.

2.7. Evaluación mediante un Eye Tracker de los movimientos sacádicos

Actualmente, el instrumento más comúnmente usado para el análisis de los movimientos sacádicos, es el *Eye Tracker*. En general, hay dos tipos de técnicas de monitorización de los movimientos oculares, aquellas que miden la posición del ojo relativa a la cabeza, y aquellas que miden la orientación de mirada (en inglés, *point of regard*) en el espacio. Probablemente, la técnica más usada para medir la orientación de la mirada sea el eye tracker basado en el video del reflejo corneal (Young L.R. & Sheena D, 1975).

Podemos definir cuatro metodologías, para la medida de los movimientos oculares, estas son: el electrooculograma (EOG), una bobina escleral, el fotooculograma (POG) o videooculograma (VOG), el eye tracker basado en el video de la pupila y del reflejo corneal combinados.

El primer método para tomar medidas oculares objetivas usando la reflexión corneal data de 1901 (Robinson D.A., 1968). Para mejorar la precisión de estos métodos, en los años 50 se desarrollaron técnicas que dependían de lentes de contacto con dispositivos incorporados como pequeños espejos o bobinas esclerales (Figura 2.7.1).

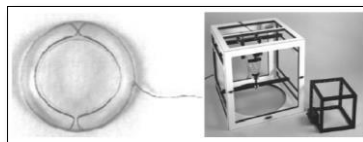


Figura 2.7.1 bobina escleral

Posteriormente a mediados de los 70, el método más usado era el electrooculograma (figura 2.7.2.), que consiste en medir las diferencias de los potenciales eléctricos en la piel que rodea la órbita ocular, para así registrar los movimientos oculares (Young L.R. & Sheena D, 1975).



Figura 2.7.2 Electroodos colocados para realizar un electrooculograma

Actualmente, la técnica más usada, para analizar los movimientos oculares, son aquellas basadas en el reflejo corneal. Estas técnicas, requieren de un análisis, manual o automático, basado en grabaciones de los movimientos oculares en video, este análisis puede ser realizado en tiempo real o no.

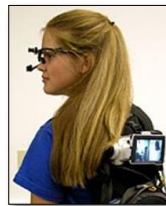


Figura 2.7.3. Sistema de registro de los movimientos oculares, videooculografía

Para obtener la orientación de la mirada del ojo en el espacio, la cabeza debe estar fijada, para que así la posición relativa del ojo respecto de la cabeza y la orientación de la mirada coincidan. Ya que si no múltiples parámetros oculares deberían ser medidos para discernir los movimientos rotatorios de los ojos, de los movimientos de la cabeza. Dos de estos parámetros son la reflexión corneal y el centro pupilar. Los Eye Trackers basados en video, usan hardware de procesamiento de imagen, para computar en tiempo real donde se encuentra la orientación de la mirada del ojo en el espacio. El reflejo corneal de la fuente de luz (normalmente infrarrojo) es medido en relación al centro pupilar, las reflexiones corneales son las imágenes de Purkinje (Crane H.D., 1994). Los Eye Trackers basados en video, normalmente utilizan la localización de la primera imagen de Purkinje, con los procesos de calibración adecuados, estos Eye Trackers son capaces de medir la orientación de la mirada del paciente, en una superficie posicionada adecuadamente en la cual los puntos de calibración son mostrados. Este sistema, requiere de dos puntos de referencia oculares, para diferenciar los movimientos de los ojos de los movimientos de la cabeza: el centro pupilar y el reflejo corneal. Estos puntos de referencia cambian con la rotación del ojo pero se mantienen relativamente constantes ante pequeños movimientos de la cabeza.

En versiones más modernas de estos Eye Trackers, se localiza también la cuarta imagen de Purkinje, midiendo la localización de la primera y la cuarta imagen de Purkinje, se consigue separar los movimientos de traslación y rotación del ojo. Ambas imágenes, se mueven de manera conjunta exactamente la misma distancia en los movimientos de traslación, en cambio, se mueven de manera distinta cuando se realizan movimientos de rotación.

Características más importantes de un eye tracker son:

- La frecuencia de muestreo de un eye tracker nos determina la cantidad de información proporcionada en datos por segundo, es decir, si el eye tracker es de 2000hz significa que cada segundo está obteniendo 2000 valores del movimiento ocular.

- La resolución del eye tracker, determina la capacidad que tiene para detectar pequeños movimientos.

3. Instrumentación

Los dos instrumentos usados para realizar este estudio han sido el autorrefractómetro WAM-5500 y el eye tracker *Eye Link 1000 Plus*.

3.1. El sistema de registro de movimientos oculares (Eye Link 1000 plus):

A continuación, se detallan los componentes utilizados para el registro de los movimientos oculares, que se realiza con el Eye Link 1000 Plus:

- **Mentonera**, para apoyar barbilla y frente, quedando la cabeza de los pacientes estabilizada durante el desarrollo de las pruebas
- **Eyelink 1000 plus camera**: Es un sistema de campo abierto no invasivo compuesto por una cámara de alta sensibilidad a la luz infrarroja y un panel de LEDs infrarrojos que se proyectan sobre los ojos del participante. La cámara enfoca binocularmente a los ojos del paciente y el panel de LEDs proyecta luz infrarroja sobre ellos. El sistema eye tracker toma como referente, para el procesado de datos, el centro pupilar y la reflexión corneal que mediante algoritmos permite calcular dónde mira el participante. Los registros se han tomado a 1000hz binocularmente y en pruebas monoculares a 2000hz.



Figura 3.1.1. Centro pupilar y reflexión corneal

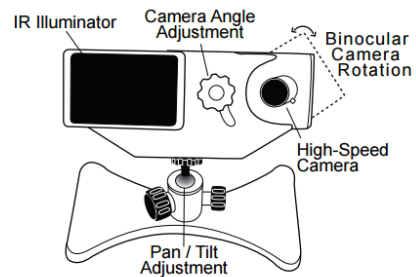


Figura 3.1.2. Esquema del Eye Link 1000 plus

Las características técnicas de la cámara son:

Frecuencia de muestreo	2000hz monocular / 1000hz binocular
Precisión	0.25° – 0.5°
Resolución	< 0.01° RMS

Tabla 3.1 Características técnicas del Eye Link 1000 Plus

- **Ordenador de control de registros (Host PC):** es un ordenador que permite calibrar la posición de la mirada del participante. Computeriza la posición de mirada del participante durante todo el desarrollo de la prueba y procesa todos los datos captados por la cámara.
- **Ocluser:** para llevar a cabo las pruebas monoculares.

Sistema para presentar los textos

- **Ordenador para la presentación de estímulos (Display PC):** es el ordenador que realiza la ejecución de cada prueba para este estudio.
- **Programa Experiment Builder:** programa informático para el diseño y desarrollo de las diferentes pruebas de movimientos sacádicos. Es capaz de mostrar complejos estímulos visuales y auditivos de altos niveles de precisión. Ejecuta las pruebas en el Display PC (Figura 3.1.3.).

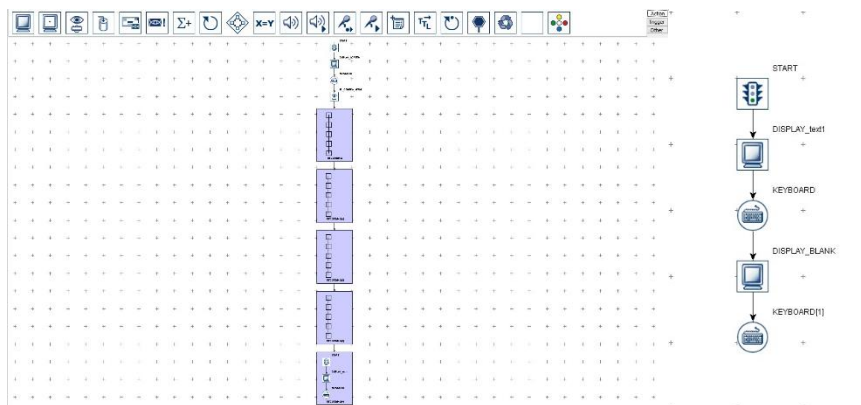


Figura 3.1.3. Imagen del Experiment Builder, en la que se ve el diseño de las pruebas realizadas con el Eye Link 1000 Plus

3.2 Sistema para el análisis acomodativo. Autorrefractómetro WAM-5500

El autorrefractómetro Grand Seiko Auto Ref/Keratometer WAM-5500 (Grand Seiko Co. Ltd., Hiroshima, Japan), es un autorrefractómetro y queratómetro binocular de campo abierto, que permite obtener datos de la autorrefractometría dinámica, así como del tamaño pupilar conectando el autorrefractómetro a un ordenador externo.

El rango de medidas y la precisión del autorrefractómetro WAM-5500 es el siguiente:

Esfera	±22 D	En pasos de 0.01, 0.12 o 0.25 D
--------	-------	---------------------------------

Cilindro	± 10 D	
Eje	$0^\circ - 180^\circ$	Pasos de 1°
Radio corneal	5 – 10 mm 33.75 – 67.50 D	Pasos de 0.01 mm Pasos de 0.01, 0.12 o 0.25 D

Tabla 3.1.2 Características técnicas del autorrefractometro WAM-5500

El propósito de este estudio, es el de realizar un análisis de la acomodación y la motilidad en lectura, y comprobar si alguna variable de estos dos factores se ven afectados, al analizarlos con lentes esféricas de baja potencia dióptrica.

4. Objectivos

Hemos realizado un estudio observacional, descriptivo y transversal de casos consecutivos.

Objetivo principal: analizar los cambios en los parámetros de motilidad ocular y la acomodación que inducen cambios dióptricos esféricos durante el proceso de la lectura.

Objetivos secundarios:

1. Determinar las características habituales en la motilidad ocular y acomodación durante la lectura del grupo estudio.
2. Determinar los cambios en los parámetros de motilidad ocular durante la lectura al usar lentes esféricas de baja potencia.
3. Determinar los cambios en el retardo acomodativo durante la lectura al usar lentes esféricas de baja potencia.
4. Determinar las correlaciones entre los parámetros de motilidad ocular para las diferentes condiciones del estudio.

5. Metodología

En este punto, vamos a comentar los diferentes procedimientos, logística e instrumentación que se ha utilizado para la realización de este estudio. En primer lugar se muestran las características que ha de reunir la muestra de sujetos para que puedan participar en el estudio, a continuación, se describen los textos usados en el experimento para el análisis de los movimientos sacádicos. Para finalizar, presentaremos el protocolo que hemos llevado a cabo para la realización del estudio.

Al ser un estudio que requiere una parte experimental con seres humanos, estos deben conocer los requisitos éticos, legales y jurídicos. En este estudio hemos tenido en cuenta la Declaración de Helsinki, de la Asociación Médica Mundial (AMM) como propuesta de principios éticos para la investigación médica en seres humanos (2008).

Para ello se entregó a cada participante del estudio un documento (Anexo 1) en el que se explicaba la finalidad del estudio, incluyendo el análisis de posibles riesgos y beneficios obtenidos en otros estudios semejantes. Antes de la iniciación de las pruebas nos aseguramos de que el sujeto había entendido toda la información explicada y seguidamente el participante leía y firmaba la hoja del consentimiento informado (Anexo I). En este momento procedimos a la realización de la prueba.

En todo momento se ha respetado el derecho de guardar la identidad y confidencialidad de los datos del participante, así como respetar el derecho a abandonar el estudio si lo consideraba necesario.

5.1 Selección de la muestra

Para realizar la parte experimental del estudio, hemos seleccionado a 22 personas jóvenes de edades entre 20 y 25 años. Todas las pruebas se han realizado en el edificio GAIA de la Universidad Politécnica de Catalunya en el Campus de Terrassa entre los meses de Noviembre y Diciembre del 2015.

Para realizar la selección de la muestra del estudio, hemos precisado de los siguientes materiales o instrumentos:

- Optotipo de Agudeza Visual en logMAR (Bailey-Lovie): para determinar la agudeza visual de lejos del paciente.

- Un optotipo de visión próxima, que simule el texto de un libro, en nuestro estudio hemos seleccionado textos del libro *La chica del tren*.
- Cartas de Ishihara, para descartar que el paciente presente alguna discromatopsia.
- Ocluser y barra de prismas: para la valoración de la foria horizontal en visión próxima y visión lejana.
- Test de sensibilidad al contraste Pelli-Robson

En las pruebas de selección de los pacientes se ha evaluado la agudeza visual con su corrección (gafas o lentes de contacto) y se ha medido la foria horizontal mediante el Cover Test.

Los requisitos de los sujetos para ser incluidos en el estudio son los siguientes (Anexo 2):

Criterios de inclusión:

- Una agudeza visual monocular en visión próxima superior o igual a 20/30.
- Una refracción inferior o igual a: esfera ± 6 dioptrias esféricas y ± 3 dioptrias cilíndricas
- Una foria horizontal en visión próxima entre 8 Δ de exoforia (x') y 2 Δ endoforia (e').

Criterios de exclusión:

- Paciente con estrabismo y/o ambliopía.
- Antecedentes de cirugía ocular.
- Patología ocular activa.
- Pacientes con alteraciones en la visión del color.
- Pacientes con baja sensibilidad al contraste.
- Punto de ruptura en PPC superior a 10 cm, y punto de recuperación en PPC superior a 15 cm.
- Pacientes con dislexia.

5.2 Diseño de las pruebas

Las distintas pruebas que hemos realizado para analizar los movimientos oculares en lectura, se han desarrollado con el programa informático *Experiment Builder*. Estas han sido diseñadas basándose en textos del libro de Paula Hawkins, la *Chica del tren*. Se han seleccionado textos de 10 líneas, de las cuales analizaremos de la línea 2 a la 9, el motivo de quitar la primera línea, es que desde que se presenta el texto, hasta que el paciente realmente empieza la lectura, hay

movimientos oculares erráticos, que el Eye Link registra y puede dar resultados erróneos. En cuanto a la última línea, esta se quita porque no podemos controlar tenga la misma extensión en todos los textos, por lo tanto el número de sacádicos, fijaciones, regresiones, se vería influenciado por el texto.

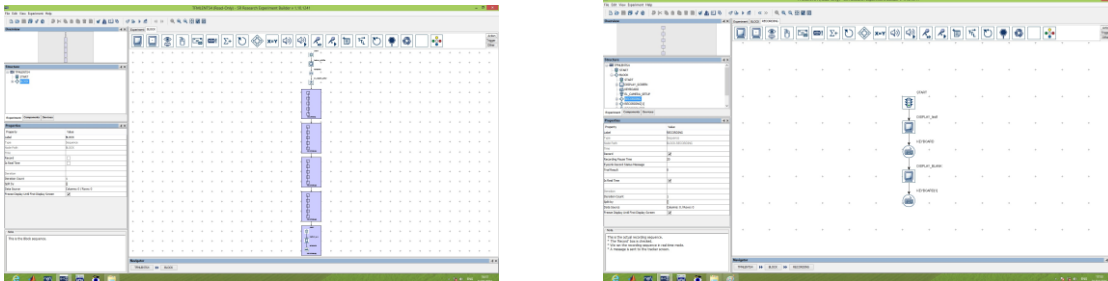


Figura 5.2 Diseño de las pruebas con el programa del Eye Link Experiment Builder

Cada mañana lo mismo, el mismo paisaje, las mismas casas y la misma parada de la señal roja. Son solo unos segundos, pero le permiten observar a una pareja desayunando tranquilamente en su terraza. Siente que los conoce y se inventa unos nombres para ellos; Marc y María. Está enterrada debajo de un abedul, cerca de las viejas vías del tren. Un mojón, en realidad, poco más que una pila de piedras, señala su tumba. No quería que su lugar de descanso llamara la atención, pero tampoco podía dejarla sin ningún recordatorio. Ahí dormirá en paz, sin que nadie la moleste, sin ruidos salvo el canto de los pájaros y el rumor de los trenes. Una por la pena, dos por la alegría, tres por una chica. Tres por una chica.

Figura 5.3. Muestra de un texto usado en el estudio

Este, es un estudio, que está dentro de un estudio mayor, en el que también se analizan los movimientos oculares en lectura y la respuesta acomodativa en distintas condiciones:

- Estudio con prismas
- Estudio con distintos contrastes
- Estudio con filtros cromáticos

La prueba se realizó de modo aleatorio, para tratar que factores como el cansancio influyeran del menor modo posible a los resultados, para ello creamos unas fichas de aleatoriedad. Cada paciente, antes de realizar las pruebas, tenía que seleccionar una al azar.

5.3 Protocolo de medida

El procedimiento para la realización del estudio ha consistido en dos sesiones. En la primera sesión al paciente se le explica la finalidad del estudio y se hace entrega del consentimiento

informado. Posteriormente se procede a realizar las pruebas de movimientos oculares en lectura. En la segunda sesión, el paciente acude para realizar las pruebas sobre la influencia de las lentes esféricas de baja potencia en la respuesta acomodativa.

5.3.1 Calibración

Antes de iniciar la calibración, sentamos al paciente enfrente del EyeLink y le indicamos que debe apoyar frente y barbilla en la mentonera, con la corrección (si es necesaria en LC).

Una vez tenemos al paciente en su sitio, se calibra binocularmente mediante el Host PC y el EyeLink. Le indicamos que siga con la mirada un estímulo blanco, que ira apareciendo en distintas posiciones de la pantalla de fondo negro, además se indica que debe permanecer con la cabeza inmóvil.



Figura 5.3.1. Imagen de la pantalla durante la calibración

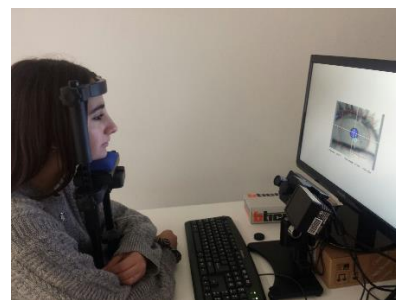


Figura 5.3.2. Imagen de una paciente, mientras se realiza la detección pupilar previa a la calibración

5.3.2 Desarrollo de las pruebas de motilidad ocular en lectura

Una vez realizada la calibración, procedemos a iniciar la prueba.

Esta se realiza en una sala con una iluminación de 81.1 lux (iluminación medida con el luxómetro IL 1700 nº serie 330), la pantalla del ordenador se encuentra a una distancia de 51 cm, y el EyeLink situado a una distancia de 40 cm.

El tamaño del texto que se presenta al paciente corresponde a 0.54 decimal, escrito en letra Tahoma, sin subrayar, ni en negrita, ni en cursiva, la agudeza visual del texto a esta distancia es de

Al paciente le damos las lentes en función de la condición que le toque. Las condiciones de examen son las siguientes

- Lente de +0.50
- Lente de +1.00
- Lente de -1.00
- Lente de -0.50
- Condición habitual 1 y 2: dos medidas realizadas sin ningún tipo de lente enfrente de los ojos del paciente.

Le indicamos al paciente que cuando esté listo, pulse la barra espaciadora del teclado, para que aparezca el texto y empiece el registro de datos. El paciente debe leer para sí mismo, y cuando termine el texto, pulsar otra vez la barra espaciadora para que el EyeLink termine su registro. Al terminar, se le hace una pregunta sobre el texto leído para asegurarnos que el texto se ha leído y este se ha comprendido. El paciente puede descansar, y cuando esté listo, le damos las lentes de la siguiente condición, y volvemos a indicar que pulse la barra espaciadora para pasar al siguiente texto. Así hasta realizar las pruebas de todos los test.

5.3.3 Desarrollo de las pruebas de acomodación

Realizamos las pruebas con el autorrefractómetro Grand Seiko Auto Ref/Keratometer WAM-5500. Sentamos al paciente y le indicamos que apoye la frente y la barbilla en la mentonera.

Realizamos la primera medida en visión lejana sin lente alguna, simplemente con su refracción habitual. Seguidamente, y con la ficha de aleatoriedad, realizaremos a una distancia de 40 cm dos medidas sin lente, y las medidas correspondientes a las condiciones de examen.

Los test usados son los siguientes:

- Cruz de Malta: Para visión lejana (6 metros), le indicamos al paciente que mantenga la mirada en el centro de la cruz, y que la visión de esta sea nítida.
- Test de Bailey Lovie: Para visión próxima (40 cm), le indicamos al paciente que mire y mantenga nítida las letras correspondientes a una agudeza visual de 1.

6. Obtención e interpretación de los datos

En este punto, describiremos el proceso de obtención de los datos una vez realizadas las pruebas, y el tratamiento de estos, en función de la información obtenida con el Eye Tracker. También explicaremos la interpretación del Eye Tracker, de los movimientos oculares en lectura.

6.1 Obtención de los datos

Para obtener los datos de las pruebas, hemos tenido que sacar 3 tipos de Excel, uno con datos de las fijaciones, otro con datos referentes a los movimientos oculares y otro con datos genéricos del test; por cada condición que se ha analizado, es decir, si un paciente ha realizado 6 test, implica que por cada paciente se han tenido que analizar un total de 18 Excel. En estos 3 Excel, obtenemos los siguientes datos:

- **Output Trial:** Tabla que recopila datos genéricos de todo el test. Tiene un inconveniente, también se analizan los movimientos oculares realizados antes que el paciente inicie la lectura, y los movimientos oculares posteriores.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	RECORD DURATION	EYE_USED	FIXATION_COUNT	PUPIL_SIZE_MEAN	SACCADE_COUNT	START_TIME	END_TIME	AVERAGE_FIXATION_DURATION	AVERAGE_SACCADE_AMPLITUDE			
2	id102	36513 RIGHT	106	716.48	104	5626581	5663094	204.59	2.71			
3	id102	45951 RIGHT	109	688.17	107	5663160	5709111	230.35	.			
4	id102	39027 RIGHT	122	648.62	121	5709177	5748204	226.93	3.19			
5	id102	26611 RIGHT	92	698.61	93	5748270	5774881	221.52	.			
6	id102	20743 RIGHT	77	612.99	76	5774947	5795690	223.78	2.75			

Tabla 6.1.1 Output Trial. Hoja de Excel que obtenemos con el Eye Link Plus 1000, con parámetros genéricos del Trial de la lectura

- **Fixation report:** Archivo que recopila toda la información relacionada con las fijaciones realizadas en lectura. Para el análisis hay que tener en cuenta el tiempo de inicio y el final de la lectura:

	A	B	C	D	E	F	G
1	RECORDING_SESSION_LABEL	EYE_USED	CURRENT_FIX_DURATION	CURRENT_FIX_START	CURRENT_FIX_END	CURRENT_FIX_RUN_INDEX	TRIAL_INDEX
2	id102	RIGHT	188	35	222	.	1
3	id102	RIGHT	122	347	468	.	1
4	id102	RIGHT	282	493	774	.	1
5	id102	RIGHT	35	798	832	.	1
6	id102	RIGHT	190	841	1030	.	1
7	id102	RIGHT	189	1046	1234	.	1
8	id102	RIGHT	219	1255	1473	.	1
9	id102	RIGHT	274	1493	1766	.	1
10	id102	RIGHT	214	1787	2000	.	1
11	id102	RIGHT	26	2114	2139	.	1
12	id102	RIGHT	35	2158	2192	.	1
13	id102	RIGHT	207	2252	2458	.	1
14	id102	RIGHT	203	2476	2678	.	1

Tabla 6.1.2 Fixation report. Hoja de Excel que obtenemos con el Eye Link Plus 1000, con los parámetros relacionados con las fijaciones

- Saccade report: Archivo que recopila toda la información relacionada con los movimientos sacádicos realizados en la lectura. Podemos obtener datos de los sacádicos, de las regresiones y de los cambios de línea. Para el análisis hay que tener en cuenta el tiempo de inicio y el final de la lectura:

	A	B	C	D	E	F	G
1	RECORDING	TRIAL_INDEX	CURRENT_SAC_DURATION	EYE_USED	CURRENT_SAC_START_TIME	CURRENT_SAC_START_X	CURRENT_SAC_START_Y
2	id102	1	124	RIGHT	223	1092.70	402.50
3	id102	1	24	RIGHT	469	303.30	294.60
4	id102	1	23	RIGHT	775	266.10	195.30
5	id102	1	8	RIGHT	833	357.90	224.20
6	id102	1	15	RIGHT	1031	423.40	270.70
7	id102	1	20	RIGHT	1235	422.50	209.00
8	id102	1	19	RIGHT	1474	480.70	205.30
9	id102	1	20	RIGHT	1767	547.80	215.60
10	id102	1	113	RIGHT	2001	637.60	209.90
11	id102	1	18	RIGHT	2140	625.60	166.50
12	id102	1	59	RIGHT	2193	625.60	166.50
13	id102	1	17	RIGHT	2459	700.90	205.50
14	id102	1	78	RIGHT	2679	739.00	192.30
15	id102	1	55	RIGHT	2906	289.80	238.20

H	I	J	K	L	M	N	O	P
CURRENT_SAC_END_TIME	CURRENT_SAC_END_X	CURRENT_SAC_END_Y	CURRENT_SAC_DIRECTION	CURRENT_SAC_AVG_VELOCITY	CURRENT_SAC_AMPLITUDE	CURRENT_SAC_PEAK_VELOCITY		
346	299.80	301.60	LEFT	168.62	20.91	226.35		
492	266.50	205.70	UP	85.62	2.05	118.74		
797	341.40	199.80	RIGHT	88.22	2.03	122.35		
840	369.70	232.50	.	45.11	0.36	43.18		
1045	440.80	238.80	UP	53.40	0.80	66.81		
1254	476.20	208.10	RIGHT	72.97	1.46	97.41		
1492	530.40	199.60	RIGHT	71.34	1.36	85.24		
1786	601.90	206.00	RIGHT	74.25	1.48	90.63		
2113	646.80	199.80	.	2.85	0.32	66.32		
2157	648.20	198.00	DOWN	49.09	0.88	82.19		
2251	648.20	198.00	DOWN	15.00	0.89	8.79		
2475	735.40	197.60	RIGHT	55.50	0.94	64.12		
2756	290.70	221.70	LEFT	154.90	12.08	226.32		
2960	262.00	197.70	UP	20.14	1.11	175.33		

Tabla 6.1.3 Saccade report, hoja de Excel que obtenemos con el Eye Link Plus 1000, con los parámetros relacionados con los movimientos sacádicos

6.2 Caracterización de los movimientos oculares en lectura

Con los archivos que obtenemos, se caracteriza diferentes parámetros que definen una fijación, un sacádico, una regresión o un cambio de línea; para que así estos puedan ser analizados.

El Eye Tracker, nos muestra de manera gráfica estos parámetros, para poder ver cómo ha sido el procedimiento de la prueba.

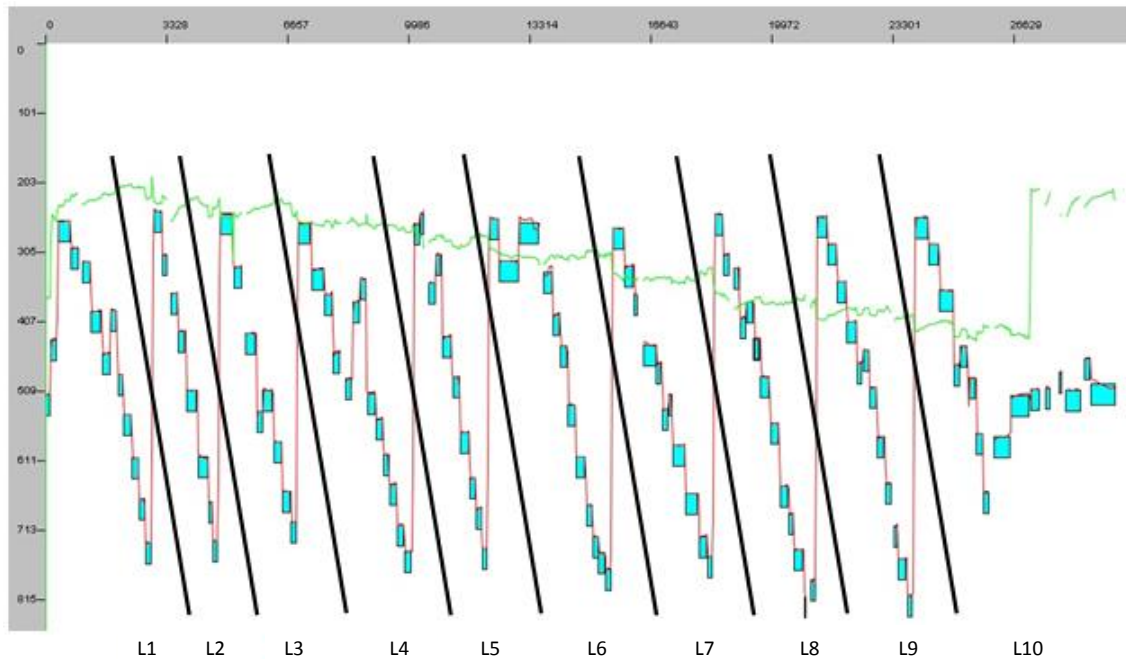


Figura 6.2 Visualización de los movimientos oculares en el Eye Tracker

En esta gráfica, el eje X viene indicado el tiempo, y el eje Y tenemos los valores correspondientes a la posición de los ojos, y esta viene dado en píxeles. La línea de color rojo muestra la posición de los ojos en X, mientras que el color verde muestra la posición de los ojos en Y. Los cuadrados azules son las fijaciones. Las líneas negras inclinadas indican la separación entre líneas, y en la parte inferior viene indicada cual es cada línea (L1, L2, L3,...).

6.2.1. Caracterización de las fijaciones

Sobre las fijaciones los aspectos que tendremos en cuenta a la hora de realizar el análisis de estas, son los siguientes:

- Número de fijaciones
- Duración de las fijaciones
- Tamaño en X de las fijaciones

6.2.2. Caracterización de los movimientos oculares

Sobre los movimientos oculares, los parámetros que analizados serán los mismos tanto si se trata de un sacádico, de una regresión o de un cambio de línea. Estos son:

- Número de sacádicos y fijaciones.

- Duración de los movimientos oculares.
- Amplitud en X.
- Velocidad media de los sacádicos, regresiones o cambios de línea.

El Eye Tracker identifica que el paciente está realizando un movimiento ocular, ya sea sacádico, regresión o cambio de línea, mediante tres mecanismos distintos, la velocidad, con la aceleración y la posición de la mirada.

- Velocidad: Para la realización de estudios clínicos sobre motilidad ocular en lectura, la recomendación del Eye tracker, es la de trabajar con un umbral de velocidad de $30^\circ/\text{segundo}$.
- Aceleración: Este mecanismo es el más importante para la detección de sacádicos de amplitud pequeña. El umbral recomendado para la realización de estudios motilidad ocular en lectura es de $8000^\circ/\text{seg}^2$.
- Posición de la mirada: La recomendación que nos da el Eye Tracker, es trabajar con un parámetro que este entre 0.1° y 0.2° . En nuestro estudio el umbral que hemos usado es de 0.15° .

6.3 Tratamiento de los datos

Una vez hemos obtenido los datos, tenemos que seleccionar o calcular aquellos que nos hemos propuesto obtener para organizar la base de datos para poder realizar el análisis de resultados. Este proceso, ha sido realizado en su totalidad de manera manual, pues no hemos encontrado ningún software capaz de realizar el análisis de manera automática.

6.3.1. Selección de los datos a analizar

En este apartado explicaremos como hemos seleccionado los datos a analizar. Anteriormente, hemos comentado que el análisis será realizado de la línea 2 a la 9. Esto se ha hecho de la siguiente manera:

- Identificación del inicio del análisis: En la pantalla donde se muestran los registros oculares, debemos identificar las 10 líneas que el paciente ha leído. Cuando tengamos las líneas identificadas seleccionamos la primera fijación, y anotamos el tiempo.

Field	Value
Label:	Fixation: 2985ms
Eye:	Right
Start Time:	2985 ms
End Time:	3194 ms
Duration:	210 ms
Avg. X Position:	245.8
Avg. Y Position:	234.3
Previous Fixation	
Angle:	0.645°
Distance:	13.081 degrees
Direction:	RIGHT
Next Fixation	
Angle:	4.793°
Distance:	1.74 degrees
Direction:	RIGHT
RT End Event:	<input type="checkbox"/>
Hidden:	false
Manually Adjusted:	false
Color:	

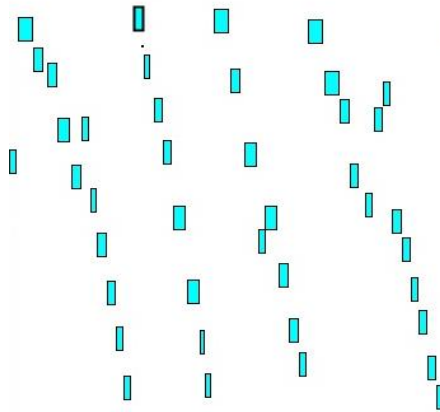


Figura 6.3.1 Selección de la primera fijación de la segunda línea y información de esta

- Identificación del final del análisis: En la misma pantalla, debemos seleccionar el tiempo final de la última fijación de la línea 9.

Field	Value
Label:	Fixation: 23710ms
Eye:	Right
Start Time:	23710 ms
End Time:	23850 ms
Duration:	141 ms
Avg. X Position:	809.8
Avg. Y Position:	398.8
Previous Fixation	
Angle:	-176.718°
Distance:	1.46 degrees
Direction:	LEFT
Next Fixation	
Angle:	-178.436°
Distance:	14.937 degrees
Direction:	LEFT
RT End Event:	<input type="checkbox"/>
Hidden:	false
Manually Adjusted:	false
Color:	

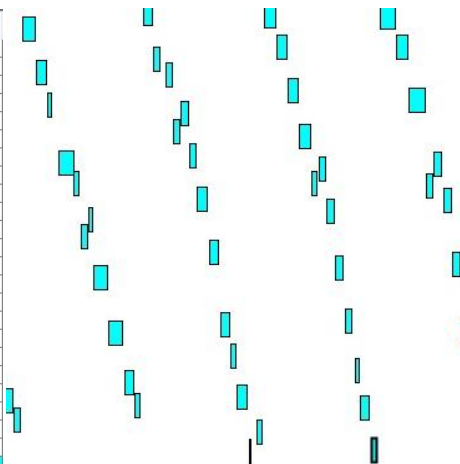


Figura 6.3.2 Selección de la última fijación de la novena línea e información de esta

En todos los pacientes y en todas las condiciones, realizaremos este procedimiento y lo tendremos que aplicar en los Excel de fijaciones y sacádicos. Siempre cuando vayamos a realizar cualquier análisis tendremos que buscar el tiempo de inicio y el tiempo final, el resto de valores carecen de importancia para el estudio.

En nuestro estudio, los parámetros analizados del Eye Link 1000 Plus serán:

Campo analizado	Parametro	Descripción
Total	T_LECTURA	Tiempo de lectura

Fijaciones	NUM_FIX (N)	Número de fijaciones realizadas
	TEMPS_FIX (milisegundos)	Duración de la fijación
	AMPLADAFIX (Nº pixels)	Amplitud en X que ha tenido la fijación
Sacádicos	NUM_SAC (N)	Número de sacádicos realizados
	TEMPS_SAC (milisegundos)	Duración del sacádico
	AMPLADA_X_FIX (Nº pixels)	Amplitud en X que ha tenido el sacádico
	VEL_MED_SAC (°/seg)	Velocidad media del movimiento sacádico
Regresiones	NUM_REG (N)	Número de regresiones realizados
	TEMPS_REG (milisegundos)	Duración de la regresión
	AMPLADA_X_REG (Nº pixels)	Amplitud en X que ha tenido la regresión
	VEL_MED_REG (°/seg)	Velocidad media de la regresión
Cambios de línea	TEMPS_BIG_REG (milisegundos)	Duración del cambio de línea
	AMPLADA_X_BIG_REG (Nº pixels)	Amplitud en X de los cambios de línea
	VEL_BIG_REG (°/seg)	Velocidad media del cambio de línea

Tabla 6.3.1 Descripción de los parámetros a analizar, de la base de datos obtenida con el Eye Link 1000 Plus

Y para el estudio con el autorrefractómetro WAM-5500 las variables con las que se ha trabajado son:

Parametro	Descripción
RETARDO_EE	Retardo acomodativo, calculado mediante esfera
RETARDO_ESF	Retardo acomodativo, calculado mediante equivalente esférico

Tabla 6.3.2. Descripción de los parámetros a analizar de la base de datos obtenida con el WAM-5500

6.3.2. Selección datos fijaciones

Para obtener los datos que necesitamos para el estudio de las fijaciones, requeriremos de los Excel Fixation_report y Saccade_report, este último es necesario para la obtención de los valores de la amplitud en X.

El número de fijaciones y la duración de estas vienen dados automáticamente por el Excel Fixation_report. Pero para obtener la amplitud en X de la fijación, debemos ir al Saccade_report, y hacerla siguiente operación:

$$\text{Current_sac_end_x (sacádico 2)} - \text{Current_sac_start_x (sacádico 1)}$$

RECORD	TRIAL	CURR EYE	US CURR	CURRENT_SAC_START_X	CURREN	CURRENT	CURRENT_SAC_END_X	CURRENT	CURRENT	CURRENT	CURRENT	CURRENT	AMPLITUD_SAC
50	1	27	RIGHT	141	512.2	371.6	167	451.8	293.3	LEFT	85.21	2.3	98.35
50	1	38	RIGHT	326	432	261	363	261.2	240.4	LEFT	122.14	4.64	173.01

Figura 6.4.1 Calculo para obtención de la amplitud en X de una fijación

6.3.3. Selección datos de los movimientos oculares

En este punto, analizaremos los datos que son necesarios para el estudio de los movimientos sacádicos, de las regresiones, y de los cambios de línea. Para llevar a cabo este análisis solo requeriremos del Excel Saccade_report.

6.3.3.1. Datos de los movimientos sacádicos

Para la obtención de estos datos tendremos que filtrar la dirección de los movimientos oculares, y seleccionar únicamente aquellos cuya dirección sea *right*.

Para obtener los valores referentes a las regresiones, a la hora de filtrar los movimientos, seleccionamos aquellos cuya dirección es *left*. Debemos calcular la amplitud en X de todos estos movimientos y entonces descartar aquellos cuya amplitud sea la de un cambio de línea (aproximadamente 400-450 pixels), o aquellos movimientos cuya suma de un valor próximo al de un cambio de línea.

Realizando el mismo proceso que hemos hecho para seleccionar las regresiones, hemos obtenido los cambios de línea. En este caso hemos seleccionado aquellos movimientos cuyas amplitudes en X dan valores de aproximadamente 400-450 pixels, o aquellos cuyas sumas dan valores de 400-450 pixels, descartando los demás movimientos con amplitudes inferiores.

RECOR	TRI	CU	EYE	CUR	CURRENT_SAC_START_X	CURR	CURRET	CURRENT_SAC_END_X	CURRET	CURRET	CURRET	CURRET	CURRET	AMPLITUD_SA
50	1	65	RIGHT	4743	730.4	241.7	4807	243.2	254.9	LEFT	201.53	13.1	308.36	-487.2
50	1	12	RIGHT	5979	538.2	239.3	5990	515.8	238.6	LEFT	50.88	0.61	49.87	-22.4
50	1	58	RIGHT	6911	704.9	251.4	6968	260.8	264.8	LEFT	206.44	11.97	330.28	-444.1

Figura 6.5.1 Selección de regresión y cambio de línea en función de la Amplitud en X

El valor en color rojo/naranja corresponde a una regresión, mientras que el valor marcado en color azul correspondería a un cambio de línea.

Los valores número de sacádicos, velocidad máxima, velocidad media y amplitud nos vienen dado de manera automática. Pero para obtener la amplitud en X y la duración se debe calcular manualmente.

- Amplitud X: Para obtener el valor de la amplitud en X debemos realizar la siguiente operación con los valores de un mismo sacadico, del Excel Saccade_report:

$$\text{Current_sac_end_X} - \text{Current_sac_start_X}$$

RECOR	TRI	CU	EYE	CUR	CURRENT_SAC_START_X	CURR	CURRET	CURRENT_SAC_END_X	CURRET	CURRET	CURRET	CURRET	CURRET	CURRET	AMPLITUD_SAC
50	1	20	RIGHT	3195	246.6	235.5	3214	305.5	223.9	RIGHT	80.03	1.6	104.51	58.9	
50	1	112	RIGHT	3356	307.4	232.4	3467	368.6	258.1	RIGHT	15.5	1.74	533.78	61.2	
50	1	18	RIGHT	3651	365.9	248.7	3668	417	241	RIGHT	77.53	1.4	103	51.1	

Figura 6.5.2 Cálculo para la obtención de la amplitud de X de un sacádico

- Duración del sacádico: Para obtener el valor de la duración de los movimientos sacádicos realizamos la siguiente operación:

$$\text{Current_sac_end_time} - \text{Current_sac_start_time}$$

RECOR	TRI	CU	EYE	CURRENT_SAC_START_TIME	CUR	CU	CURRENT_SAC_END_TIME	CUR	CUR	CURRET	CURRET	CURRET	CURRET	DURATION_SAC
50	1	18	RIGHT	3651	365.9	249	3668	417	241	RIGHT	77.53	1.4	103	17
50	1	27	RIGHT	3866	420.8	237	3892	507.9	231	RIGHT	87.9	2.37	132.87	26
50	1	26	RIGHT	4173	508.4	225	4198	601.9	228.7	RIGHT	97.91	2.55	142.05	25

Figura 6.5.3 Cálculo para la obtención de la duración del sacádico

7. Resultados

En este apartado se presentan los resultados que se han obtenido, tanto con el autorrefractometro WAM-5500, como con el Eye Link 1000 Plus, y que han sido tratados con el programa estadístico SPSS versión 20.

Para realizar el análisis de las pruebas con el WAM-5500 y con el Eye Link 1000 Plus se ha seguido el siguiente procedimiento:

- A continuación, se ha comprobado que las variables estudiadas siguen una distribución normal (estadística paramétrica) o no siguen una distribución normal (estadística no paramétrica).
- En primer lugar, se ha realizado un **análisis descriptivo** de cada una de las pruebas que se han realizado a los sujetos y de los parámetros analizados. Se muestran la media de los resultados, su desviación estándar y los valores máximo y mínimo de cada parámetro.
- También se comparan las condiciones *habituales* 1 y 2 para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre ellas, lo que cuestionaría la repetibilidad de las medidas. En el caso de no encontrar diferencias entre ellas, utilizaremos las medidas del habitual 1 para comparar con el resto de condiciones.
- Seguidamente, se ha realizado un **análisis comparativo** entre las diferentes condiciones de examen. Para llevarlo a cabo se ha realizado un análisis de varianza (**ANOVA**), que permite comparar si existen diferencias entre los resultados en las diferentes condiciones de examen.
- Una vez realizado, el análisis de varianza, para poder determinar entre que grupos existen diferencias estadísticamente significativas se ha realizado un **Post-hoc de Bonferroni**.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos con el WAM-5500 y con el Eye Link 1000 Plus en el análisis estadístico.

7.1 Resultados con el WAM-5500

7.1.1 Descripción muestra

La muestra de pacientes que se analizado en este estudio es de 17 sujetos con edades comprendidas entre 18 -25 años.

En la siguiente tabla 7.1.1 se muestra la media de edad, la desviación estándar, y los valores máximos y mínimos de los sujetos evaluados. Y en la gráfica 7.1.1 se muestra la descripción de la muestra, que incluye a 11 mujeres (64.71%) y 6 hombres (35.29%):

Media (Años)	Desviación estandar (Años)	Máximo (Años)	Mínimo (Años)
21,06	±1,98	25	18

Tabla 7.1.1 Descriptivo de la edad dela muestra

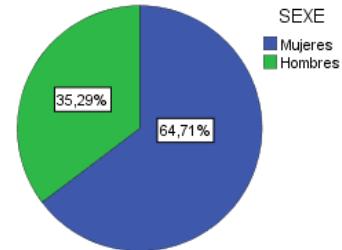


Gráfico 7.1. Descriptivo de distribución de sexo de la muestra

7.1.2 Descriptivos de las variables

Como analizamos una muestra inferior a 50 individuos usamos el test Shapiro-Wilk para determinar si la muestra presenta una distribución normal. Las variables Retard_EE y Retard_ESF siguen una distribución normal ($p < 0.05$), por lo que se ha calculado con estadística paramétrica.

	Media (dioptrias)	SD (dioptrias)	Min. (dioptrias)	Max. (dioptrias)
Retardo con EE	0,56	±0,57	-0,38	2,57
Retardo con ESF	0,58	±0,73	-0,5	2,87

Tabla

7.1.2. Descriptivo de las variables analizadas con el WAM-5500

7.1.3 Comparación entre condiciones

Se han comparado las condiciones RETARD_EE y RETARD_ESF, para ver si existen diferencias entre ellas y ver cuál de las dos seleccionamos a la hora de comparar con las otras condiciones. La comparación se realizó mediante la prueba de T Student. Obteniendo un valor de $p > 0.05$ ($p = 0.670$). Por lo tanto, a la hora de comparar las condiciones del estudio se puede usar indistintamente cualquiera de los dos tipos de cálculo del retardo, RETARD_EE o RETARD_ESF.

Cuando se realiza la prueba ANOVA de un factor, se observa que entre las condiciones analizadas no hay diferencias estadísticamente significativas entre el valor del retardo en las distintas condiciones estudiadas, ni al compararlas con el valor del retardo determinado con EE ($p = .502$) ni con el valor del retardo determinado con el valor de la esfera ESF ($p = .489$).

7.2 Resultados con el EYE LINK 1000 Pus

7.2.1 Descripción muestra

Las medidas se han realizado a 18 sujetos de edades comprendidas entre 18 -25 años.

En la tabla 7.2.1 se puede ver la media de edad de la muestra, la desviación estándar, y los valores máximos y mínimos. En la gráfica 7.2.1 se muestra la distribución de sexo de la muestra, que incluye a 12 mujeres (64.71%) y 6 hombres (35.29%).

Media (Años)	Desviación estandar (Años)	Máximo (Años)	Mínimo (Años)
21,83	±2,33	25	18

Tabla 7.2.1 Descriptivo de la edad de la muestra

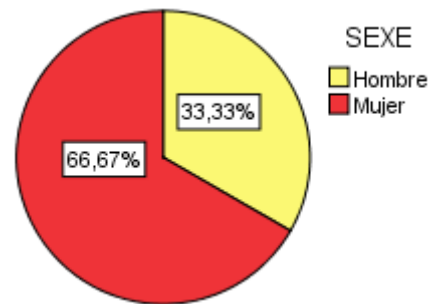


Gráfico 7.2.1 Descriptivo de distribución de sexo de la muestra

7.2.2 Descriptivos de las variables

Los resultados obtenidos en los parámetros analizados con el Eye Link 1000 Plus siguen una distribución normal. Se ha usado el test Shapiro Wick, pues la muestra de sujetos es inferior a 50 individuos.

A continuación se muestran las variables analizadas, con su media y desviación estándar, en función de la condición con la que se ha tomado la medida:

	T_LECTURA	Hab1	0,5	1	-1	-0,5
Tiempo de lectura (segundos)	Media	26,69	27,77	31,89	30,72	27,28
	SD	±4,58	±5,14	±3,16	±4,986	±55,11
Fijaciones	N	112,72 ±15,55	113,59 ±15,68	112,22 ±17,98	124,33 ±16,49	109,56 ±15,28
	Duración (ms)	218,33 ±31,97	214,19 ±31,22	219,76 ±29,49	221,3 ±35,46	221,07 ±30,47
	Amplitud (nº pixels)	5,34 ±1,04	5,03 ±0,93	5,18 ±0,94	4,89 ±0,1	5,05 ±0,97
Sacádicos	N	73,72	73,88	75	72,33	71,61

		±13,51	±11,39	±13,34	±11,96	±11,97
	Duración (ms)	20,39 ±2,98	21,4 ±2,77	21,83 ±3,52	20,19 ±2,34	20,72 ±2,49
	Amplitud X (nº pixels)	54,01 ±10,46	55,51 ±9,62	56,16 ±10,14	53,12 ±8,25	55,24 ±8,68
	Velocidad Media (º/seg)	70,91 ±6,26	71,09 ±6,36	71,03 ±6,07	70,93 ±5,05	71,38 ±4,66
Regresiones	N	14,83 ±9,81	14,53 ±8,43	13,66 ±9,12	13,05 ±8,18	11,61 ±6,23
	Duración (ms)	14,22 ±1,76	16,95 ±5,34	21,42 ±5,74	20,12 ±5,02	16,7 ±4,42
	Amplitud X (nº pixels)	-34,9 ±5,9	-36,3 ±5,41	-36,3 ±4,41	-41,17 ±7,11	-37,21 ±6,38
	Velocidad Media (º/seg)	59,55 ±3,5	56,98 ±6,64	57,31 ±4,92	61,24 ±6,33	60,38 ±5,28
Cambios de línea	Duración (ms)	72,42 ±10,36	72,94 ±11,95	72,25 ±7,91	66,7 ±6,82	70,23 ±6,23
	Amplitud X (nº pixels)	-429,55 ±38,56	-447,99 ±26,62	-399,15 ±218,77	-414,08 ±43,64	-426,71 ±40,64
	Velocidad Media (º/seg)	162,79 ±18,02	169,32 ±17,73	166,72 ±16,99	165,73 ±17,27	163,37 ±17,02

Tabla 7.2.2. Descriptivo de la edad de las variables analizadas con el Eye Link 1000 Plus. Vemos la media de la medida y en la parte inferior, la desviación estándar

Las variables descritas en la tabla 7.2.2 permiten comparar y determinar el efecto de lentes de distinta potencia para esos parámetros determinados por eye link.

No obstante, si el objetivo es caracterizar la motilidad ocular en la lectura de nuestra muestra debemos utilizar parámetros independientes de la longitud de texto que permitan comparar los resultados de este estudio con los obtenidos por otros autores. Los parámetros a utilizar son los siguientes:

- Para fijaciones:
 - Número de fijaciones en 100 palabras.
 - Frecuencia de las fijaciones por segundo.
 - Amplitud promedio de las fijaciones en número de caracteres (letras y espacios).
- Para sacádicos:

- Duración promedio en ms de los sacádicos.
- Frecuencia de los movimientos sacádicos por segundo.
- Amplitud promedio de los movimientos sacádicos en número de caracteres (letras y espacios).
- Para regresiones:
 - Porcentaje de regresiones respecto a los moviminetos sacádicos.
 - Frecuencia de regresiones por segundo
 - Duración promedio en ms de las regresiones.

Numero palabras de nuestros texto: 115,48± 6,14

Número caracteres: 625,32±10,02

Frecuencia de palabras por minuto: 259.61ppm

	Número por 100 palabras	Frecuencia	Anchura en número de caracteres.
Fijaciones	98,26±7,12	4.22±0,21	5,53±0,47
Sacádicos	64,09±4,03	2.76±0,19	8,48±0,88
Regresiones	12,90±1,01 (20.13%)	0.56±0.02,	-

Tabla 7.2.2. Tabla con las variables fijaciones, sacádicos y regresiones, en nº por 100 palabras, en milisegundos y de su anchura en función del número de caracteres, para poder realizar comparaciones con otros estudios.

7.2.3 Comparación entre condiciones

Miramos si existen diferencias entre la condición habitual 1 y habitual2. Realizamos la ANOVA de un factor y vemos que en todos los parámetros analizados $p > 0.05$. Por lo tanto podemos decir que no hay diferencias estadísticamente significativas.

Dado que la condición habitual 1 y habitual 2 no muestran diferencias estadísticamente significativas se va a utilizar la condición habitual 1 para realizar la comparativa entre el resto de variables. Al realizar el ANOVA (Tabla en el Anexo) se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en los siguientes variables de:

Variable analizada	medias			ANOVA de un factor + Prueba POST HOC (Bonferroni)			
	Habitual 1	-1.00D	+1.00	Dif. De medias	Sig.	IC del 95%	
	X ± SD	X ± SD	X ± SD			Lim. Inf.	Lim. Sup.
Tiempo de lectura (segundos)	26,68 ±45,78		31890.12 ±5136.75	-5200.95	0.018	-9840.14	-561.76

Duración de las regresiones (milisegundos)	14,22 ±1,76		21,42 ±5,74	-7.19	0.000	-11.68	-2.7
	14,22 ±1,76	20,12 ±5,02		-5.89	0.003	-10.39	-1.41
Amplitud de las regresiones (nº píxeles)	-34,9 ±5,9	-41,17 ±7,11		6.27	0.021	0.58	11.96

Tabla 7.2.3. Análisis estadístico descriptivo y comparativo del tiempo de lectura (T_LECURA), tiempo de regresión (TEMPS_REG) y amplitud en X de las regresiones (AMPLADA_X_REG), entre las condiciones Habitual 1, +1.00 y -1.00 mediante ANOVA de un factor y la prueba Post Hoc de Bonferroni

Y hemos visto que existen tendencias en:

- Tiempo de lectura:
 - -1.00 (p=.128): el tiempo de lectura aumenta.
- Número de fijaciones
 - -1.00D (p=0,073): siempre menos fijaciones. Y comparado con -0,50 p=0.077.
- Velocidad media de las regresiones:
 - -1.00D (p=0,087): siempre velocidad es más baja.

Se aplica la prueba Post Hoc de BONFERRONI para poder identificar cuáles son las condiciones donde existen diferencias, tal y como se ve en la tabla 7.2.3.

Se observan diferencias estadísticamente significativas entre la condición Habitual 1 con las con las condiciones +1.00 y -1.00 en el tiempo de lectura, en la duración de las regresiones y en la amplitud en X de las regresiones.

Para la variable de tiempo de lectura se puede ver que las diferencias existen entre la condición Habitual 1 y la condición +1.00, en este caso p=.018, es decir el tiempo de lectura aumenta con las lentes de +1.00, la diferencia entre ambas condiciones, es de -5.2 segundos. En cuanto a la duración de las regresiones, se puede observar que ésta aumenta con las lentes de +1.00 (-7.19 milisegundos) y la de -1.00 (-5.89 milisegundos) respecto a la condición Habitual 1. En el caso de la lente de +1.00, el valor de p=.000 y en la lente de -1.00, el valor de p=.003. Finalmente, en la amplitud en X de las regresiones, se han encontrado diferencias entre la condición Habitual 1 y

con la lente de -1.00 (6.27 pixels), con esta lente la amplitud de la regresión aumenta en comparación con el Habitual 1, el valor de $p=0.021$.

7.2.4 Correlaciones entre condiciones

En la tabla 7.2.4. se pueden ver todas las variables que se han usado en el estudio, y se especifican aquellas que están correlacionadas en color verde. Estos resultados se basan en el análisis de la condición Habitual 1.

En el análisis estadístico de las correlaciones se ha encontrado que la variable que tiene mayor número de correlaciones es la amplitud en X del movimiento sacádico. Una variación en la amplitud en X del movimiento sacádico puede variar las siguientes variables: amplitud de las fijaciones (donde a mayor amplitud del movimiento sacádico menor número de fijaciones), con el número de fijaciones, la duración de los movimientos sacádicos y la velocidad de los movimientos sacádicos (a mayor amplitud en X del movimiento sacádico el número de fijaciones disminuye, la duración y la velocidad aumentan) y por último, también afecta al número de regresiones (a mayor amplitud del sacádico el número de regresiones aumenta).

Por otro lado, la variable que tiene menor número de correlaciones es, la duración de los cambios de línea. Solamente tiene correlación con la variable velocidad del cambio de línea.

Analizando el tiempo de lectura, que lo consideramos la variable de mayor importancia, vemos que este tiene correlaciones significativas con el número de fijaciones, la duración de las fijaciones y con el número de regresiones.

Con la que hay mayor correlación (Tabla 7.2.4), es con la variable del número de fijaciones, pues el valor de R se acerca mucho a 0.7 ($R=0.672$), en cambio con las otras dos variables el valor de R es menor respecto al del número de fijaciones y al número de regresiones (Tabla 7.2.5. y 7.2.6), en el caso del número de fijaciones el valor de R es de 0.570, y en el caso del numero de regresiones el valor de R es de 0.507.

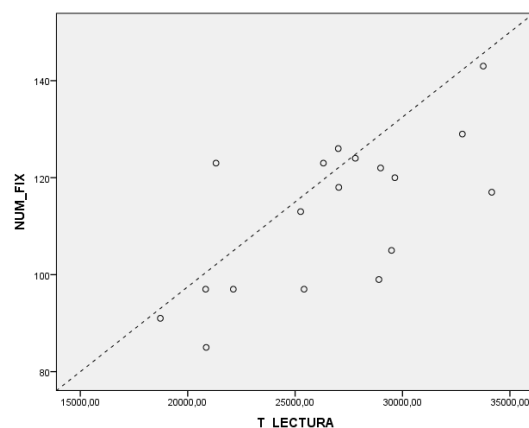


Tabla 7.2.4. Correlación con el número de fijaciones del tiempo de lectura, observamos que la mayoría de los valores están por debajo de la línea discontinua que indica $R=1$

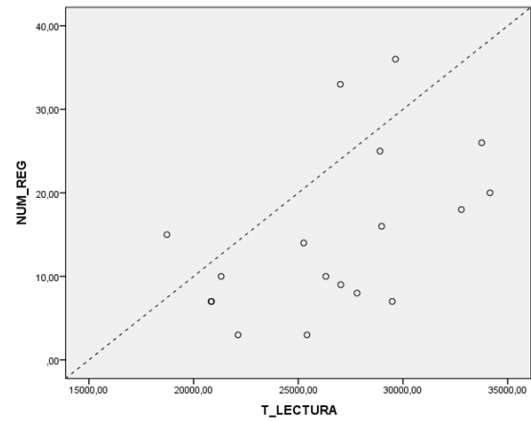
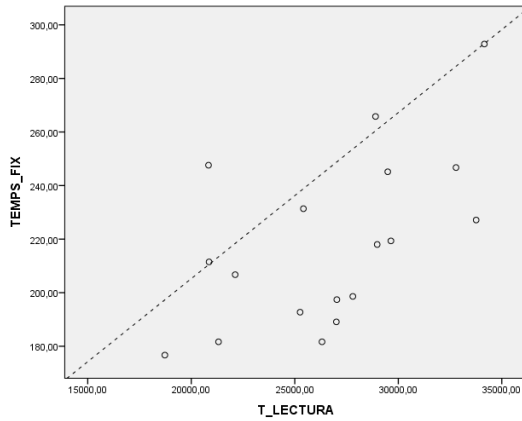


Tabla 7.2.5. y 7.2.6. Correlación del tiempo de fijación y el número de regresiones, con el tiempo de lectura. Si comparamos con la tabla 7.2.4., observamos que en los puntos están distribuidos de manera más homogénea respecto la línea discontinua ($R=1$).

Por ultimo, cabe destacar que hay variables que tienen correlaciones entre si que entran dentro de la lógica, como por ejemplo, la amplitud de un movimiento sacádico, esta relacionada con la velocidad y duración de este movimiento, al igual sucede con las regresiones y los cambios de línea.

Variable / Correlación de Pearson (Sig. bilateral)	Tiempo de lectura (segundos)	Número de fijaciones	Duración fijaciones (milisegundos)	Amplitud fijaciones (nº de milisegundos)	Número sacádicos	Duración sacádicos (milisegund	Amplitud sacádicos (nº de pixels)	Velocidad sacádicos (%/segundo)	Número de regresiones	Duración regresiones (milisegundos)	Amplitud regresiones (nº de milisegundos)	Velocidad regresiones (%/segundo)	Duración cambios de línea (milisegundos)	Amplitud cambios de línea (nº de milisegundos)	Velocidad cambios de línea
Tiempo de lectura (segundos)	0.672 .002	0.672 .002	0.570 .013	0.300 .226	0.232 .353	0.137 .586	0.155 .539	0.056 .826	0.507 .032	0.374 .126	-0.085 .737	-0.205 .415	0.051 .842	0.424 .079	-0.365 .136
Número de fijaciones	0.672 .002	0.672 .002	-0.080 .752	0.070 .781	0.560 .016	0.136 .590	-0.043 .866	-0.182 .471	0.478 .045	0.171 .496	-0.005 .983	-0.250 .317	0.107 .671	0.130 .608	-0.227 .365
Duración fijaciones (milisegundos)	0.570 .013	0.672 .002	0.570 .013	0.300 .226	0.232 .353	0.137 .586	0.155 .539	0.056 .826	0.507 .032	0.374 .126	-0.085 .737	-0.205 .415	0.051 .842	0.424 .079	-0.365 .136
Amplitud fijaciones (nº de pixels)	0.300 .226	0.070 .781	0.402 .098	0.402 .098	-0.219 .382	-0.068 .789	0.182 .470	-0.216 .389	0.144 .468	0.370 .130	-0.152 .548	0.143 .570	0.014 .955	0.369 .131	-0.297 .231
Número sacádicos	0.232 .353	0.560 .016	-0.219 .382	-0.188 .455	-0.412 .089	-0.412 .089	0.765 .000	-0.789 .000	-0.134 .595	0.194 .440	0.088 .727	-0.296 .234	0.089 .725	0.249 .318	-0.362 .140
Duración sacádicos (milisegundos)	0.137 .586	0.136 .590	-0.068 .789	-0.412 .089	-0.412 .089	0.618 .000	0.618 .000	0.557 .016	0.455 .058	0.283 .255	-0.572 .013	0.307 .215	-0.065 .798	0.039 .878	0.061 .811
Amplitud sacádicos (nº de pixels)	0.155 .539	-0.043 .866	0.182 .470	-0.658 .003	0.765 .000	0.618 .000	0.000 .000	0.936 .000	0.702 .001	0.290 .243	-0.345 .161	0.186 .460	-0.175 .487	0.079 .757	0.107 .671
Velocidad sacádicos (%/segundo)	0.056 .826	0.182 .471	-0.216 .389	0.224 .372	-0.789 .000	0.557 .016	0.936 .000	0.608 .007	0.608 .007	0.091 .718	-0.147 .561	0.154 .542	-0.189 .453	-0.050 .845	0.229 .361
Número de regresiones	0.507 .032	0.478 .045	0.144 .468	0.034 .895	-0.134 .595	0.455 .058	0.702 .001	0.608 .007	0.702 .001	0.372 .129	-0.198 .431	-0.138 .585	-0.293 .238	0.386 .114	-0.091 .721
Duración regresiones (milisegundos)	0.374 .126	0.171 .496	0.370 .130	0.494 .037	0.194 .440	0.283 .255	0.290 .243	0.091 .718	0.372 .129	0.059 .817	-0.575 .013	0.059 .817	-0.021 .935	0.641 .004	-0.552 .018
Amplitud regresiones (nº de pixels)	-0.085 .737	-0.005 .983	-0.152 .548	-0.456 .057	0.088 .727	-0.572 .013	-0.345 .161	-0.147 .561	-0.198 .431	-0.575 .013	0.191 .448	0.691 .000	0.191 .448	-0.172 .448	-0.044 .863
Velocidad regresiones (%/segundo)	-0.205 .415	-0.250 .317	0.143 .570	0.499 .035	-0.296 .234	0.307 .215	0.186 .460	0.154 .542	-0.138 .585	0.059 .817	0.691 .000	0.059 .817	-0.050 .843	-0.240 .337	0.200 .425
Duración cambios de línea (milisegundos)	0.051 .842	0.107 .671	0.014 .955	0.375 .125	0.089 .725	-0.065 .798	-0.175 .487	-0.189 .453	-0.293 .238	-0.021 .935	0.191 .448	-0.050 .843	-0.402 .099	-0.402 .099	-0.492 .038
Amplitud cambios de línea (nº de pixels)	0.424 .079	0.130 .608	0.369 .131	0.064 .801	0.249 .318	0.039 .878	0.079 .757	-0.050 .845	0.386 .114	0.641 .004	-0.172 .448	-0.240 .337	-0.402 .099	-0.560 .016	
Velocidad cambios de línea (%/segundo)	-0.365 .136	-0.227 .365	-0.297 .231	-0.424 .079	-0.362 .140	0.061 .811	0.107 .671	0.229 .361	-0.091 .721	-0.552 .018	-0.044 .863	0.200 .425	-0.492 .038	-0.560 .016	

Tabla 7.2.4. Tabla donde se muestran las correlaciones significativas entre las variable

Tabla 7.2.4. Tabla donde se muestran las correlaciones significativas entre las variable

8. Discusión

8.1 Discusión WAM-5500

Los resultados que se han obtenido analizando el retardo acomodativo mediante el WAM-5500, con las distintas condiciones de examen han mostrado que no hay diferencias estadísticamente significativas en el retardo en un rango de lentes que abarca desde -1.00 D hasta +1.00 D.

Comparando los resultados obtenidos con el estudio realizado por Harb E. et al (2006), en el que analizaron el comportamiento acomodativo durante la lectura en distintas demandas acomodativas, obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el retardo acomodativo en función de la demanda acomodativa. Aunque en su caso la demanda acomodativa viene dada por la distancia del test y las demandas acomodativas que usan son: 1.5D, 2.5D y 3.5D, y en nuestro estudio la demanda se induce mediante el uso de lentes esféricas. Esto es un factor a tener muy en cuenta, ya que como dijo Heather A. (2009) la respuesta acomodativa a un estímulo es más precisa si la demanda acomodativa viene dada por proximidad que mediante lentes.

El tamaño pupilar también puede jugar un papel importante, a pesar que las condiciones de iluminación eran iguales para todos, según Heather A. (2009) a menor diámetro pupilar, el retardo también se ve disminuido. Una de las limitaciones de nuestro estudio es que los resultados pueden haber estado influenciados por los cambios pupilares inducidos por la potencia de las lentes esféricas que se han utilizado.

También debemos tener en cuenta que el WAM-5500 realiza una sola medida en un momento de la lectura, si se hubiese utilizado autorrefractometría dinámica, probablemente obtendríamos valores más fiables del estado acomodativo durante la lectura, como hizo Harb E. (2006) en su estudio donde vieron que la respuesta acomodativa varía durante la lectura (durante los 2-3 primeros minutos la respuesta acomodativa es mayor y a continuación esta presenta una disminución). Además, se podría ver el efecto que tienen en la lectura las microfluctuaciones acomodativas.

Para finalizar, se debe tener en cuenta el error propio del aparato de medida WAM-5500. Kimura S et al. (2007) detectaron un pequeño error sistemático al realizar medidas con el autorrefractómetro WAM-5500 anteponiendo lentes esféricas al paciente. La magnitud del error depende de la potencia de la lente y del error refractivo del paciente.

Para futuros estudios, podría ser interesante un análisis del retardo en lectura, con un rango mayor de potencia positiva y negativa, para así poder ver cuál es la demanda acomodativa en la

que se empiezan a ver afectados los valores del retardo. También sería de gran interés un análisis del estado acomodativo en la lectura a través de distintas lentes esféricas mediante retinoscopia dinámica.

8.2 Discusión Eye Link 1000 Plus

En primer lugar, se comentan los resultados obtenidos con la condición Habitual 1, y a continuación se realiza la discusión analizando los resultados del Habitual 1, con los resultados obtenidos con las distintas condiciones con las que se ha realizado este estudio.

Al comparar la frecuencia de palabras por minuto (ppm) obtenida con la condición Habitual 1 (259.61 ppm) con otros estudios se puede ver que existen diferencias con sus resultados. Por ejemplo Chung et al. (2007) obtuvieron una frecuencia de palabras por minuto de 177.6 ppm. Las condiciones de lectura pueden justificar esta diferencia, pues en nuestro caso la lectura se realizaba con una pantalla mientras que en el estudio de Chung la lectura era en un texto en papel. Aspectos como el tamaño de letra, legibilidad del texto, idioma, comprensión del texto, condiciones de iluminación también pueden afectar a la lectura.

En cuanto a las fijaciones, se ha obtenido que la duración en milisegundos de estas es de 218.33 ± 32 milisegundos. Estos resultados muestran una alta coincidencia con los resultados del estudio realizado por Blythe H.I. et al. (2006) (donde se compara la coordinación de los movimientos oculares durante la lectura en adultos y en niños. Los resultados que obtienen en cuanto a la duración de las fijaciones en adultos es de 240 ± 88 milisegundos) y también con el estudio de Slattery T.J. y Rayner K. (donde se analizan los movimientos oculares durante la lectura en función de la legibilidad del texto y la duración de las fijaciones obtenidas son de 233 ± 4.68).

Si nos fijamos en el ratio de fijaciones (fijaciones por segundo), en nuestro estudio obtenemos que cada segundo se realizan 4.22 fijaciones, Este resultado difiere ligeramente del obtenido por Bullimore M.A. y Bailey I.L. (1995) en su estudio donde el ratio de fijaciones por segundo obtenido es de 3.18. Esta diferencia puede deberse a las condiciones de lectura, en nuestro caso la lectura se realiza con una pantalla de ordenador, mientras que en el ratio obtenido por Bullimore, la lectura se realiza sobre papel. De hecho, en el estudio realizado por Yang G.W. (2001) donde la lectura se analiza a través de pantalla de ordenador, la duración de las fijaciones se asemeja más, 200-225 milisegundos, a las de nuestro estudio, que la duración de las fijaciones de los estudios anteriormente citados.

En nuestro estudio, se han obtenido unos valores de amplitud de los movimientos sacádicos de $54,01 \pm 10,46$ píxeles. Estos valores se asemejan a los obtenidos por Yang S. (2001) donde el número de píxeles que ocupaba un movimiento sacádico en su estudio es de $61,48 \pm 0,26$ píxeles. En este estudio además obtienen un ratio porcentaje de movimientos sacádicos/regresiones es del 23.04%, mientras que en nuestro estudio dicho ratio es de 20.13%. Vemos que este ratio es prácticamente idéntico al del estudio de Blythe H.I. donde el ratio de sacádico/regresiones es del 20.5%. Si se compara la longitud de los movimientos sacádicos obtenidos con una pantalla de ordenador, con la longitud de los sacádicos obtenidos en lectura en papel, vemos que en el estudio realizado por Inhoff A.W. y Rayner K. (1986) la longitud de los movimientos sacádicos es de 4.97 caracteres por movimiento, mientras que en nuestro estudio este valor se ve incrementado a 5.53 caracteres por movimiento sacádico.

A continuación, se analizan las diferencias que hemos obtenido entre las distintas condiciones de lectura usadas en nuestro estudio y la condición de lectura Habitual 1.

Para empezar, hay que destacar que en dos de las condiciones analizadas, la condición con la lente de +0.50 y en la condición -0.50, no hemos detectado ninguna diferencia significativa en ninguna de las variables analizadas cuando las comparamos con la condición Habitual 1. Con el resto de condiciones se ha encontrado diferencias en algunas variables. Esto se corresponde con los resultados del estudio realizado por Chung S.T. (2006) y Levy S. & O'Reagan (1987) en el que se analizan los movimientos oculares en lectura en presencia de lentes positivas y concluyen que la lectura empieza a verse afectada de forma significativa a partir de lentes de +2.00D. Estos últimos, atribuyen este hecho a que la lectura es una habilidad muy entrenada por el individuo.

También se observa una tendencia en los resultados del número de fijaciones donde estas aumentan con la lente de -1.00 ($p=0.073$) y lente de -0.50 ($p=0.077$). Con estos resultados podemos ver una relación con los obtenidos por Harb et al. (2006) pues observaron que el número de fijaciones aumenta en función de la demanda acomodativa. En nuestro estudio con demandas, de 2.50D y 3.00D ya observamos una tendencia, Harb et al. encontraron diferencias a partir de demandas acomodativas de 3.50D.

En cuanto a las variables, duración de las regresiones y amplitud de las regresiones, hemos visto que en nuestro estudio existen diferencias significativas. Para la duración de las regresiones las diferencias aparecen con la condición Habitual 1 y las lentes de +1.00 ($p=.000$) y -1.00 ($p=.003$). Y para la variable amplitud de las regresiones se encuentran diferencias con las lentes de -1.00 ($p=.021$). Aunque no hemos encontrado referencias que especifiquen la variabilidad que pueden sufrir estas dos variables en la lectura. En función de la demanda acomodativa los estudios

anteriormente citados de Chung S.T. (2006) y Levy S. & O'Reagan (1987) justifican que con las lentes positivas la motilidad ocular en lectura se empieza a ver afectada. Sería interesante comprobar, cuanto se ve afectada esta motilidad y que variables son las primeras en manifestar afección en función de la potencia de las lentes positivas. En el estudio de Harb et al (2006) se justifican las diferencias obtenidas con las lentes negativas dado que en su estudio vemos que la hay aspectos en la lectura que se ven afectados. Al igual que con las lentes positivas sería muy provechoso un análisis más profundo en la afección de la motilidad ocular durante la lectura en función de la potencia de las lentes negativas.

En futuros estudios se podría realizar un diseño similar pero aumentando los rangos de las lentes, e ir analizando que variables se ven afectadas en función de las demandas acomodativas. Sería de gran interés evaluar con las mismas condiciones que se ha realizado este estudio y realizar un análisis de la binocularidad en la lectura, así como de las amplitudes en Y de los movimientos sacádicos y de las regresiones. También, aprovechando el potencial del Eye Link Plus 1000, se podría estudiar si con las lentes esféricas de baja potencia, los movimientos microsacádicos, característicos que se producen durante las fijaciones sufren alguna variación.

9. Conclusiones

A continuación se exponen las principales conclusiones que se extraen de los resultados obtenidos en el análisis de la influencia de estímulos acomodativos de baja potencia en los parámetros de acomodación y movimientos sacádicos durante la lectura.

9.1 Acomodación

Respecto a la parte del estudio relacionada con la acomodación, hemos visto que:

- No existen diferencias en el valor del retardo acomodativo cuando lo medimos mediante equivalente esférico, o usando únicamente la esfera del individuo.
- Con las lentes esféricas de baja potencia (rango de $\pm 1.00D$) no se observan diferencias significativas entre las condiciones, por lo tanto, pequeñas sobrerrefracciones o hipocorrecciones no deberían afectar de manera significativa al retardo acomodativo.

9.2 Motilidad ocular

En cuanto a la parte del estudio relacionada con la motilidad ocular, hemos visto que:

- No existen diferencias significativas entre las condiciones Habitual 1 y el Habitual 2, esto muestra que el Eye Link 1000 Plus tiene una buena repetibilidad en las medidas que realiza.
- La motilidad ocular en lectura puede verse afectada a partir de una modificación con una lente de $+1.00D$ y que con lentes negativas, está puede empezar a verse afectada a partir de $-0.50D$ aumentando el número de fijaciones.
- El tiempo de lectura aumenta con la lente de $+1.00D$ aumentando el tiempo de las regresiones respecto a la condición Habitual 1; con la lente de $-1.00D$ hemos observado que el tiempo de lectura, así como la duración de las regresiones y también la longitud de estas.
- La modificación con lentes negativas inducen tendencias a que el número de fijaciones aumente y la velocidad de las regresiones disminuya.
- La amplitud en X de los movimientos sacádicos presenta mayor número de correlaciones con el resto de parámetros.

10. Bibliografía

- Abel, L. A., Troost, B. T., & Dell'osso, L. F. The effects of age on normal saccadic characteristics and their variability. *Vision Research*, 23(1), 33–37. 1983.
- Accardo A.P, Penseiro S, Da Pozzo S, Perissutti P. *Some characteristics of saccadic eye movements in children of primary school age*. *Doc Ophthalmol*. 80(32), 189-199. 1992.
- Alvarez L., González P. *Dificultades en la adquisición del proceso lector*. *Psicothema*, 8 (3), 573-586. 1996.
- Aslin R. N. *Development of binocular fixation in human infants*. *J Exp Child Psychol*. 23(1), 1-12. 1977.
- Baloh, R. W., Sills, a W., Kumley, W. E., & Honrubia, V. (1975). *Quantitative measurement of saccade amplitude, duration, and velocity*. *Neurology*, 25(11), 1065–1070.
- Becker, W. *The neurobiology of saccadic eye movements*. *Metrics. Reviews of Oculomotor Research*, 3, 13–67. 1989.
- Blythe H.I., Liversedge S.P., Joseph H.S., White S. J., Findlay J.M., Rayner K. *The binocular coordination of eye movements during Reading in children and adults*. *Vision Research*. 46, 3898-3908. 2006.
- Bridgeman B., Palca. *The role of microsaccades in high acuity observational tasks*. *Vision research*, 20, 813-817. 1980.
- Brybaert M, Vitu F, Schroyens W. *The right field visual advantage and the optimal viewing position effect: on the relation between foveal and parafoveal word recognition*. *Neuropsychologia*, 1, 385-395. 1996.
- Bullimore M.A., Bailey I.L. *Reading and Eye Movemens in Age-Related Maculopathy*. *Optometry and Vision Science*. 72(2), 125-138. 1995.
- Carpenter R.H.S. *Movement of the eyes*. 1988.
- Chung S.T., Samuel H.J, Cheung S. *The effect of dioptric blur on Reading performance*. *Vision Research*. 47, 1584-1594. 2007.
- Collewijn, H., & Kowler, E. *The significance of microsaccades for vision and oculomotor control*. *Journal of Vision*, 8(14), 20.1–21. 2008.
- Crane H.D. *The purkinje image eyetracker, image stabilization, and related forms of stimulus manipulation*. *Visual Science and Engineering: Model and Applications*. 1994.
- COA Centro de Optometría Avanzada. URL <http://coabilbao.com/sacadicos.html>. (Visto septiembre 2015).
- Collewijn, H, & Kowler, E. *The significance of microsaccades for vision and oculomotor control*. *Journal of Vision*, 8(14), 20.1–21. 2008.
- Deubel H., Schneider W.X. *Saccade target selection and object recognition: evidence for a common attentional mechanism*. *iVision Research*, 36, 1827-1837. 1996.

- Díaz S.B., Gómez A., Jiménez C, Martínez M.P. *Bases optomètriques para una lectura eficaz*. Centro de Optometría Internacional. Material no publicado. 2004.
- Ditchburn D.H., Fender S. *Vision with controlled movements of the retinal image*. J Physiol, 145, 98-107. 1959.
- Engbert R, Kliegl R. *Microsaccades uncover the orientation of covert attention*. Vision Research. 43 (9), 1035-1045. 2003.
- Fevy-Schoen A, O'Regan J.K. *The effect of improper accommodation on the visual field and on eye movements in Reading*. Presbiopia: recent research and reviews. 178-84. 1987.
- Fukushima J, Hatta T, Fukushima K. *Developmento of voluntary control of saccadic eye movements*. Brain Dev. 22(3), 173-180. 2000.
- Garcia-Castellón M.C. *Funcionalidad visual y eficacia en los procesos lectores*. Universidad Internacional de la Rioja. 2012.
- Gonzalez A.L., Matute E, Inozemtseva O, Guajardo S, Rosselli M. *Influencia de la edad en medidas usuales relacionadas con tareas de lectura en escolares hispanohablantes*. Revista Neuropsicología, neuropsiquiatría y Neurociencias. 11(1), 51-66. 2011.
- Harb E, Thorn F, Troilo D. *Characteristics of accommodative behavior during sustained reading in emmetropes and myopes*. Vision Res. 46, 2581-2592. 2006.
- Inhoff A.W. y Rayner K. *Parafoveal Word processing during eye fixations in Reading: Effects of word frequency*. Perception & Psychophysics. 40(6), 431-439. 1986.
- Kustov A.A. Robinson D.L. *Shared neural control of attentional shifts and eye movements*. Nature, 384, 74-77. 1996.
- ManisF.R., Doi L.M., Bhadha B. *Naming speed, phonological awareness, and orthographic knowledge in second graders*. J Learn Disabil. 33(4), 325-33,374. 2000.
- Landaluce O. *Ortoptica*. 2006.
- Martín M.P. *La lectura. Proceso neuropsicológicos de aprendizaje, dificultades, programas de intervención y estudio de casos*. Barcelona: Lebón. 2003.
- McConkie G.W., Kerr P.K, Reddix M.D., Zola D, Jacobs A. *Eye movement control during reading: Frequency of refixating a word*. Perception & Psychophysics, 46, 245-253. 1989.
- Nachmias J. *Determiners of the drift of the eye during monocular fixation*. J. Opt Soc. Am, 51, 761-766. 1961.
- Nazir T, O'Regan J.K., Jacobs A.M. *On words and their letters*. Bulletin of the Psychonomic society, 29, 171-174. 1991.
- Nadal M. C. *Dislexia y Discalculia*. La Rioja UNIR. 2011.
- Ohl, S., Brandt, S. a., & Kliegl, R. *Secondary (micro-)saccades: The influence of primary saccade end point and target eccentricity on the process of postsaccadic fixation*. Vision Research, 51(23-24), 2340–2347. 2011.

- O'Regan J.K. *Eye movements and reading*. Elsevier, 395-453. 1990.
- O'Regan J.K., Jacobs A. *Optimal viewing position effect in word recognition: a challenge to current theories*. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 185-197. 1992.
- O'Regan J.K., Lévy-Shoen A., Pynte J., Bruguillère B. *Convenient fixation location within isolated words of different length and structure*. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 250-257. 1984.
- Otero-Millan, J., Macknik, S. L., & Martinez-Conde, S. *Fixational eye movements and binocular vision*. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 8(July), 1–10. 2014 .
- Ostrowski V.B, Hain T.C, Wiet R.J. *Pressure-Induced Ocular Torsion*. *ArchOtolaryngol Head Neck Surg*. 123 (6), 646-649. 1997.
- Péllisson D, Alahyane N, Panouillères M, Tilikete C. *Sensorimotor adaptation of saccadic eye movements*. *Neuroscience & biobehavioral Reviews*. 34 (8), 1103-1120. 2010.
- Pierrot-Deseilligny C, Rivaud S, Gaymard B, Muri R, Vermersch A. I. [Cortical Control of Saccades](#)". *Annals of Neurology*. 37 (5): 557–567. 1995.
- Raphan, T., & Cohen, B. *The vestibulo-ocular reflex in three dimensions*. *Experimental Brain Research*, 145(1), 1–27. 2002.
- Recasens M. *Actividades para mejorar como lectores*. Barcelona: CEAC. 2005.
- Robinson D.A. *The oculomotor control system: A review*. *Proceedings of the IEEE*. 56 (6). 1032-1049. 1968.
- Rolfs M. *Microsaccades: Small steps on a long way*". *Vision research*. 20.2415-41. 2009.
- Scheiman M, Wick B. *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Acomodative and Eye Movements Disorders*. 2008.
- Slattery T.J., Rayner K. *The influence of Text Legibility on Eye Movements During Reading*. *Appl. Cognit.Psychol*. 24, 1129-1148. 2010.
- Steinman R.M., Cunitz R. J., Timberlake M. *Voluntary control of microsaccades during maintained monocular fixation*. *Science*, 155, 1577. 1967.
- Tian, J., Zee, D. S., & Walker, M. F. *Rotational and translational optokinetic nystagmus have different kinematics*. *Vision Research*, 47(7), 1003–1010. 2007.
- Urtubia C. *Neurobiología de la vision*. Edicions UPC. 1996.
- Wang, L., & Stern, J. A. *Saccade initiation and accuracy in gaze shifts are affected by visual stimulus significance*. *Psychophysiology*, 38(1), 64–75. 2001.
- Wurtz R.H., Goldberg M.E. *The neurobiology of saccadic eye movements*. Amsterdam: Elsevier, 1989.



Yang, Q., Bucci, M. P., & Kapoula, Z. *The latency of saccades, vergence, and combined eye movements in children and in adults*. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*. 43(9), 2939–2949. 2002.

Yang S, McConkie G.W. *Eye movements during Reading: a theory of saccade initiation times*. *Vision research*. 41, 3567-3585. 2001.

Young L.R. & Sheena D. *Survey of eye movement recording methods*. *Behavior research methods & instrumentation*. 7(5), 397-429. 1975.



Anexo 1

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Este estudio tiene como principal objetivo valorar el efecto de las lentes positivas y negativas, prismas, lentes cromáticas y el efecto del contraste y color del fondo sobre la motilidad ocular durante la lectura y la concordancia y repetibilidad de la medida del retardo acomodativo.

La participación en este estudio se divide en 2 sesiones, que se realizarán en el centro GAIA y que consisten en lo siguiente:

- Lectura de diversos textos del libro *“La chica del tren”* a través de diferentes lentes y prismas para evaluar la motilidad ocular mediante el Eye tracker *EyeLink*. Posteriormente, se realizarán preguntas sobre los textos para comprobar la comprensión lectora del sujeto en estudio.
- Evaluación de la motilidad ocular mediante el Eye tracker *EyeLink* con 3 contrastes y colores diferentes para pantalla y texto
- Evaluación del retardo acomodativo mediante el autorefractómetro *Seiko Wam*, se realizarán 3 medidas en visión lejana y visión próxima, con la anteposición de las diferentes lentes y prismas.
- Pruebas de MEM y Nott en ambos ojos.

Las pruebas serán realizadas por optometristas en horario de mañana y tarde.

Asimismo, es preciso firmar el presente documento:

Yo,.....con DNI.....,
autorizo a Jesús Gascón, Anna León, Ainhoa de Castellarnau, Helena Blanch y Lidia Mullor a que me realicen las pruebas necesarias para el correcto desarrollo del estudio, y doy mi constancia de que he sido debidamente informado previamente a mi participación.

Firma

Terrassa,.....de..... de 2015

Anexo 2

Ficha de inclusión en el estudio:

Nom:	Edat:	ID:	Data:
RX ACTUAL	EIX	CIL (-)	ESFERA
UD			
UE			
	UD	UE	
AV VL			
AV VP			
	SI	NO	
Ambliopia			
Estrabisme			
Cirurgia ocular			
Dislexia			
Orto-K			
Visió color normal?			
SC normal?			
PPC<10cm?			
PPA <10cm?			
CT	VL:	VP:	
OBSERVACIONS:			
FIRMA:			