



Desarrollo de mecanismo controlado a partir de movimientos oculares en lectura natural

Gonzalo Ilutovich
Tutor: Mariano Sardón

Trabajo Final de Grado
Licenciatura en Artes Electrónicas
2014

Resumen

Este proyecto fue llevado a cabo en el marco del proyecto de arte y neurociencia de Mariano Sardón y Mariano Sigman.

En primer lugar, en este documento se presenta el estudio de la dinámica de la lectura natural y del diseño de un experimento de posicionamiento ocular, con el objetivo de recolectar datos relevantes y representativos de la gestualidad del ojo humano.

En segundo lugar, se presenta el desarrollo de un dispositivo mecatrónico, capaz de interpretar los datos de posicionamiento ocular recolectados durante el experimento. Este prototipo tiene como objetivo hacer visibles los imperceptibles movimientos que realiza el ojo y su gestualidad durante el proceso de lectura.

Algunas de las preguntas para destacar, que surgieron durante el desarrollo del proyecto y sobre las que finalmente pudimos concluir son: ¿que se hace en un laboratorio de ciencia cuando se lleva a cabo una medición de movimientos oculares?, ¿que rasgos de la lectura son normalizados para poder aplicar a un marco teórico?, ¿que diferencias existen entre nuestro experimento y los experimentos que se llevan a cabo en otros ámbitos de investigación científica?

Palabras claves: arte electrónico, mecatrónica, visión, lectura, eye tracking.

Índice general

Resumen

Introducción

- 1 Organización de procesos cognitivos en lectura natural
 - 1.1 la visión
 - 1.2 movimientos oculares
 - 1.3 la lectura
 - 1.3.1 nociones generales
 - 1.3.2 caracterización del texto
 - 1.3.3 caracterización de la lectura
 - 1.4 efectos y predictores
- 2 Referencias artísticas
 - 2.1 Golan Levin: arte y técnicas de detección y seguimiento ocular
 - 2.2 EyeWriter, TEMPT1
 - 2.3 The EyeHarp Project
 - 2.4 Seiko Mikami: Eye Tracking Informatics
- 3 Diseño y armado del experimento de posicionamiento ocular para el proceso de lectura de libro “Historia del ojo” de Georges Bataille
 - 3.1 armado y depuración de textos
 - 3.2 técnicas de seguimiento ocular
 - 3.3 presentación de textos
 - 3.4 preanálisis de la información
 - 3.4.1 preanálisis y normalización de datos para estadística
 - 3.4.2 preanálisis datos de lectura “Historia del ojo”
- 4 Diseño y construcción del dispositivo de visualización de datos
 - 4.1 programación
 - 4.2 sistema electrónico
 - 4.3 sistema mecánico
- 5 Conclusiones
- 6 Bibliografía

Introducción

Este trabajo se encuentra enmarcado en el proyecto de investigación artístico dirigido por Mariano Sardón y Mariano Sigman sobre el estudio de procesos cognitivos durante la lectura natural, en el que se lleva a cabo el desarrollo de diferentes estrategias artísticas que reflexionan sobre la lectura como modo de abordaje del mundo, su certeza, su materialidad, su apertura y ambigüedad en el marco de las artes electrónicas y la investigación de procesos cognitivos.

Para abordar la primera etapa del proyecto se diseñó un experimento, a partir del cual se analizan y recolectan rasgos significativos de la mirada durante la lectura. Para esto, fue necesario adentrarse en la dinámica de trabajo del Laboratorio de Neurociencia Integrativa de la UBA. Allí se estudió el manejo de equipos de posicionamiento ocular y su relación con los mecanismos cognitivos que se ponen en juego durante dichos procesos.

Para trabajar con el sentido de la visión, poder extraer datos y realizar una efectiva medición, primero fue necesario realizar diferentes lecturas de trabajos científicos sobre la materia.

A partir de estos estudios, se desarrolló un conjunto de interfaces de control de utillajes y mecanismos en el Laboratorio de Artes Electrónicas e Inteligencia Artificial de la UNTREF. Allí se estudio el diseño y construcción de un dispositivo que actúa según los movimientos oculares anteriormente estudiados. Dicho artefacto consiste en un dispositivo que copia el movimiento ocular llevando a cabo el quemado de las paginas de un texto, imitando la gestualidad de los ojos durante la lectura. A su vez, se llevo a cabo el estudio de materiales de electrónica y sistemas de control utilizando lenguajes de programación para controlar tanto el flujo de datos obtenido como el dispositivo mecatrónico.

Se investigó también acerca de las referencias artísticas existentes en relación con este tema.

Capítulo 1

Organización de procesos cognitivos en lectura natural

Mientras leemos un texto nuestros ojos se mueven rápidamente, llevando a cabo sacadas y fijaciones sobre palabras, sílabas, letras o incluso espacios en blanco de la página. En la lectura existe una fuerte relación entre los movimientos oculares y los procesos mentales involucrados. Distintas técnicas de seguimiento ocular, permiten observar las fijaciones, y son utilizados para estudiar la comprensión de los procesos mentales que ocurren durante la lectura.

De las lecturas preliminares, fundamentalmente de la tesis de María Julia Carbajal, "Organización de procesos cognitivos en lectura natural" presentada en el año 2013 como trabajo final de grado de la Licenciatura en Ciencias Físicas de la Universidad de Buenos Aires, fueron extraídos algunos conceptos fundamentales para el abordaje de la labor y los procedimientos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Dichos conceptos aportan a la comprensión del comportamiento del mecanismo visual y su relación con la percepción del mundo, es decir, la relación entre lo que sucede en nuestro entorno, en este caso lo que observamos a través de la visión y lo que sucede cuando nuestras mentes interpretan lo que vemos.

1.1. La visión

En primer lugar es necesario comprender que la visión forma parte de la percepción, es decir, la forma que tenemos los seres humanos de recopilar información sobre el mundo que nos rodea. La percepción es un proceso activo de identificación e interpretación de los estímulos provenientes del entorno, los cuales ingresan a nuestro sistema a través de los sentidos. Sin embargo, la forma en que entendemos el mundo que nos rodea, no solo depende de lo que registran nuestros sentidos, sino que también, depende de los procesos que lleven a cabo nuestras mentes a partir de estos estímulos.

La percepción a través de la visión es muy importante para el ser humano, ya que la información que se puede obtener sobre los objetos que nos rodean a partir de la luz que reflejan es variada y muy valiosa (Palmer, 1999). Una gran cantidad de las actividades que realizamos están estrechamente relacionadas con la visión, desde reconocer objetos para su manipulación como la interacción con otros individuos.

Al momento específico de leer, nuestro sistema visual realiza una infinidad de tareas de gran importancia. Empezaremos entonces haciendo una breve descripción del funcionamiento del ojo, lo que nos permitirá comprender las restricciones que impone el sistema visual a la adquisición de información durante la lectura.

Al llegar al ojo la luz atraviesa la córnea, que tiene como función principal protegerlo (ver Imagen 1). Detrás de la cornea se encuentra el humor acuoso y luego la pupila, que es el diafragma que modificando su apertura, regula la cantidad de luz que entra al ojo. Esta apertura es controlada a su vez por el iris.

Detrás del iris está el cristalino que se encarga del enfoque a distintas distancias y posee una estructura curva, allí se forman las imágenes dentro del ojo.

En la parte posterior se encuentra la retina, en donde se encuentran las células fotorreceptoras encargadas de convertir la luz en señales nerviosas. Es así que para que se forme una imagen el cristalino debe refractar la luz en la retina. En la retina hay dos tipos de fotorreceptores, los conos y los bastones. Los primeros detectan colores y los segundos, detectan intensidad de luz.

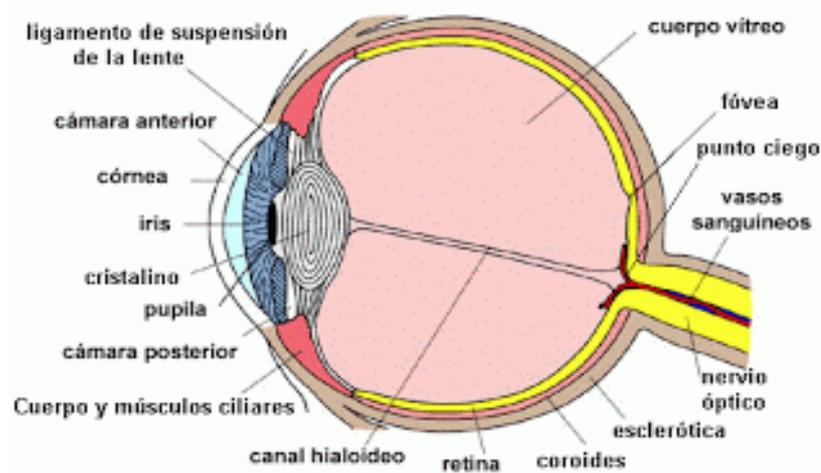


Imagen 1: corte del ojo humano con sus componentes.

Los fotorreceptores no se encuentran distribuidos de forma uniforme, ya que hay una mayor concentración de conos en el centro de la retina, mientras que los bastones se encuentran en la periferia. A la zona de mayor concentración de conos se conoce como fovea, que abarca 2 grados alrededor del punto de fijación, y es en donde el ojo tiene mayor resolución y nitidez en las imágenes. Alejándose del punto de fijación la resolución disminuye y no se distinguen tanto los colores (ver Imagen 2). Pegada a la zona de fovea, se encuentra la parafovea, en donde aún se puede recolectar información relevante para la lectura. La parafovea comprende 5 grados alrededor del punto de fijación. El resto de la retina es la perifovea de donde prácticamente no se extrae información para la lectura. Existe en el ojo un punto ciego que es donde se inserta el nervio óptico, ya que allí no hay ni conos ni bastones (ver Imagen 3). El nervio óptico es el encargado de enviar la información recolectada en la retina al cerebro.

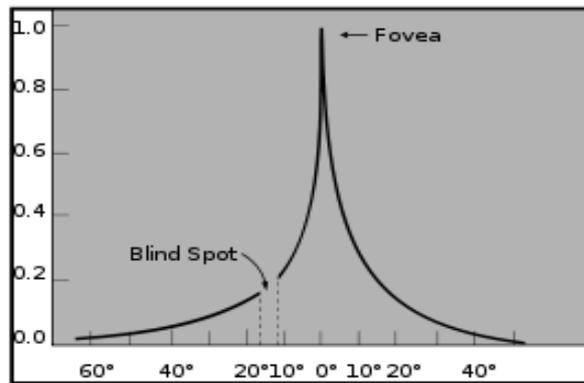


Imagen 2: gráfico de resolución espacial del ojo humano. La fovea es el punto de mayor definición.

Como primera conclusión sobre estos conceptos, se captaron particularidades de la visión, como por ejemplo que durante la lectura, solo utilizamos de 2 a 5 grados de ángulo visual lo que significa que vemos entre 10 a 20 letras de un texto.

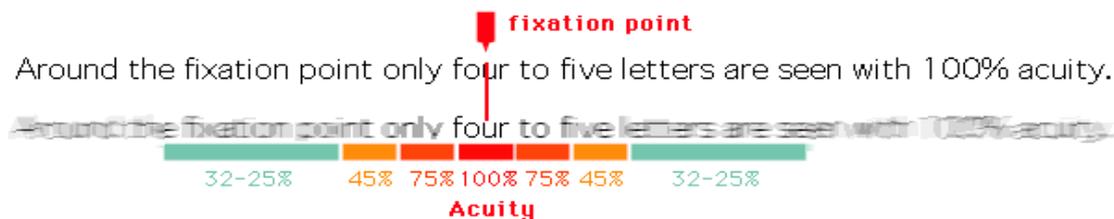


Imagen 3: el punto de fijación ubicado en el centro, en rojo, es el lugar en donde hay un 100% de resolución. A medida que nos alejamos del punto de fijación, disminuye progresivamente la nitidez y el texto se vuelve borroso e ilegible.

1.2. Los movimientos oculares

Teniendo en cuenta lo que se dijo anteriormente, el ojo humano posibilita observar detalladamente a través de una ventana fija angular de 2 grados. La forma en que el sistema visual logra obtener información útil sobre un objeto o un lugar, es seleccionando los puntos de mayor interés o relevancia (Palmer, 1999). Debido a esto la manera en que observamos una escena es a través de una sucesión de sacadas y fijaciones. Las sacadas son movimientos rápidos, discretos y bruscos, que llevan la mirada de un punto a otro con el objetivo de poner al objeto de interés en la fovea. Mientras estos movimientos tienen lugar sucede lo que se llama supresión sacádica, que es el bloqueo de nueva información. Una sacada, dura aproximadamente alrededor de 30 ms. Estos son interrumpidos por las fijaciones, momentos en los que el ojo mantiene bastante fija su posición, estos tienen una duración media de 200ms a 300ms. Este proceso de mover y fijar se lleva a cabo entre 3 o 4 veces por segundo (Rayner, 1998).

Nuestro cerebro entonces debe elegir adecuadamente donde realizar las fijaciones para conseguir la mayor cantidad de información. Esta elección dependerá en gran parte del objetivo previo que tenga el observador.

Esto fue demostrado, inicialmente, por el psicólogo ruso Alfred L. Yarbus, quien mostró que las fijaciones al observar una misma escena visual depende de la tarea a realizar sobre la escena (Yarbus, 1967). En la Imagen 5 podemos observar los resultados de uno de sus experimentos. En este Yarbus utiliza un dispositivo de seguimiento ocular sobre un sujeto y le presenta una imagen pidiendo que la mirara con diferentes objetivos. Como resultado se puede observar que a partir de distintas tareas surgen distintos patrones de fijación.

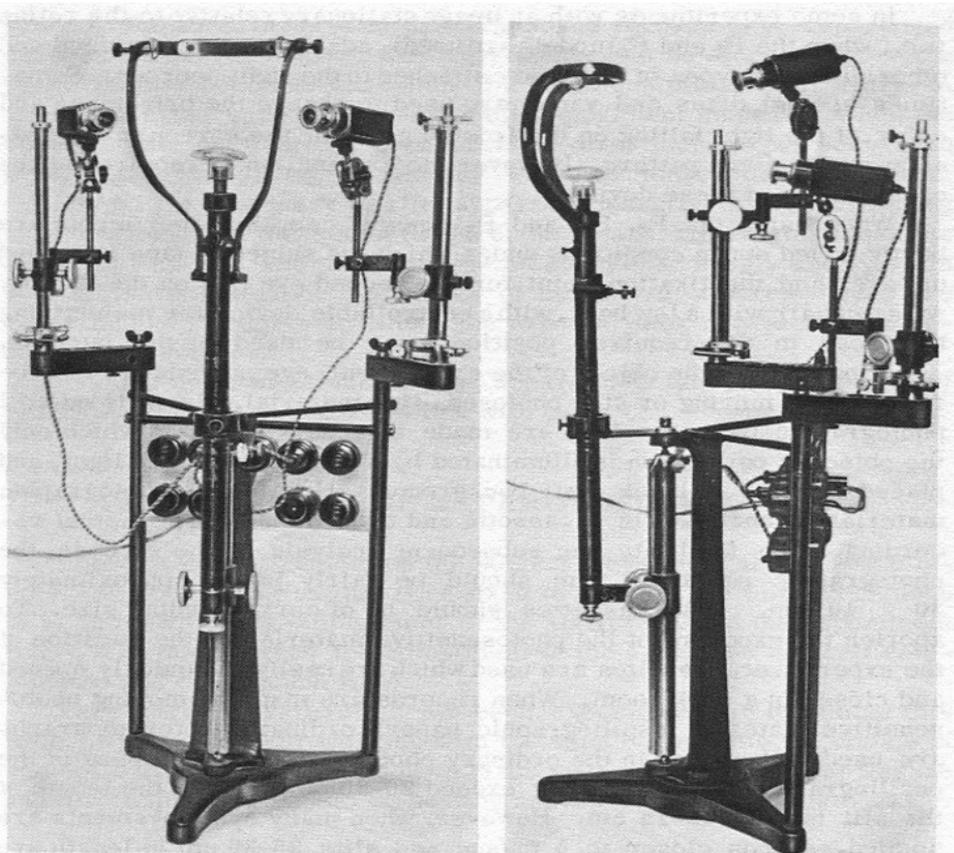


Fig. 21. The apparatus used in recording eye movements.

Imagen 4: fotos del dispositivo de seguimiento ocular utilizado por Yarbus en sus investigaciones en los años 60.

El hecho de que el cerebro seleccione y arme un patrón de fijaciones dependiente de la actividad que se está realizando indica que la visión es un proceso dinámico que evoluciona temporalmente (Palmer, 1999). Como resultado, luego de realizar una reconstrucción a partir de procesos e interpretaciones en la corteza cerebral, percibimos el mundo como algo continuo, en lugar de un conjunto aislado de imágenes. Existen, aparte de las fijaciones y sacadas, otros tipos de movimientos oculares, únicamente consideraremos estos, ya que, son los movimientos que se encuentran involucrados durante la lectura.

En tareas que incluyen procesamiento de información, como es el caso de la lectura, existe una relación sumamente fuerte entre los movimientos oculares y los procesos mentales involucrados (Rayner, 1998). Es por esto que se han ido desarrollando, desde hace más de medio siglo, distintas técnicas de seguimiento ocular que permiten observar el patrón de las fijaciones y sacar conclusiones sobre su relación con los procesos mentales.

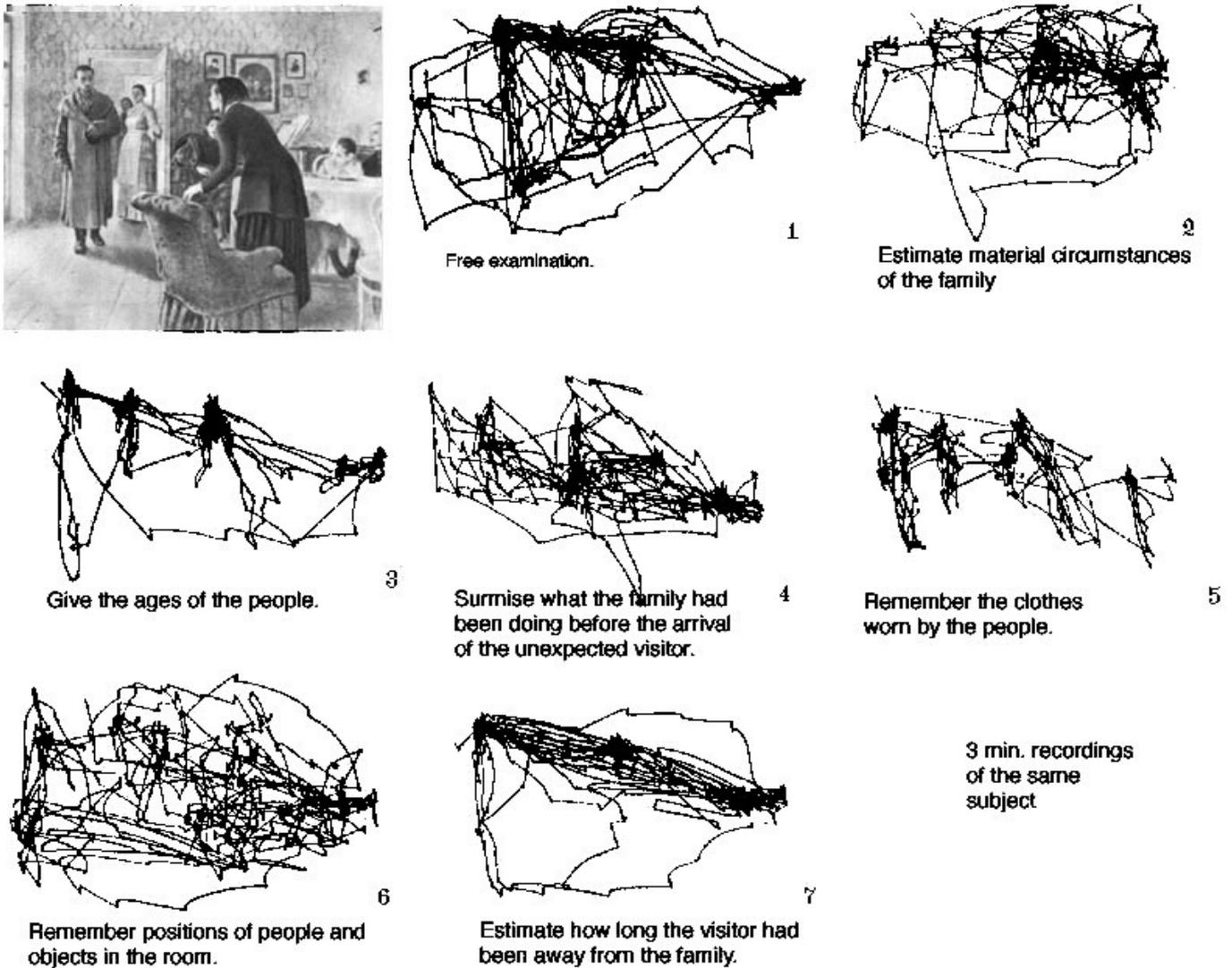


Imagen 5: Movimientos oculares durante un experimento en donde los participantes debían observar una fotografía a partir de distintos objetivos: (1) Examinación libre de la imagen. (2) Estimar el nivel económico de la familia. (3) Determinar la edad de los personajes. (4) Sugerir lo que la familia estaba haciendo antes de la llegada del visitante. (5) Recordar las vestimentas usadas por las personas. (6) Memorizar la posición de los personajes y de los objetos en la habitación. (7) Estimar cuánto tiempo hacía que el visitante no veía a la familia. Cada tarea se realizó por un lapso de 3 minutos, los resultados corresponden a un mismo sujeto (Yarbus, 1967).

1.3. La lectura

“Según una teoría de la lectura propuesta por Just y Carpenter (1980), la relación entre la mirada y el proceso cognitivo subyacente se basa en dos presupuestos conceptuales: la inmediatez de procesamiento y la relación ojo-mente.”

Maria Julia Carbajal, 2013.

Para entender los movimientos que realiza el ojo durante la lectura y la relación de estos con los procesos mentales que trae aparejada, es importante comprender dos conceptos, que son: la inmediatez de procesamiento y la relación que se produce entre el ojo y la mente.

El presupuesto de inmediatez asume que al leer, se interpreta palabra a palabra según aparecen en el texto, realizando predicciones para leer lo que continua. El segundo presupuesto sobre la relación entre el ojo y la mente, asume que la duración de la mirada sobre una palabra es el tiempo que la mente necesita para procesarla.

Esta dinámica está íntimamente relacionada con el contenido del texto, su semántica. Poesías, novelas, textos de ciencia y de filosofía, por ejemplo, propondrán diferentes dinámicas de procesamiento cognitivo y por ende diferentes gestualidades sobre los textos.

1.3.1. Nociones generales

Para recolectar información útil nuestros ojos llevan a cabo movimientos bruscos y se detienen en los puntos de mayor interés. Durante la lectura se llevan a cabo aproximadamente una fijación entre 150 a 300ms, cada ocho letras. Durante el tiempo que dura la fijación la palabra está siendo leída por lo que se la mantiene en la fovea, en donde se distinguen con nitidez unas 4 o 5 letras, y con menor nitidez alrededor de 4 letras en dirección izquierda y 14 letras a la derecha, esto se conoce con el nombre de rango perceptivo (Rayner, 1998). Esta asimetría en la cantidad de letras que pueden distinguirse por fuera de la fovea tiene que ver con la dirección en la que leemos.

Por otra parte, es importante destacar que cuando leemos no fijamos en todas las palabras sino que algunas son salteadas. Esto nos demuestra que es posible, con la información recolectada en la parafovea, predecir ciertas palabras. Durante la lectura la mayor cantidad de sacadas se producen de izquierda a derecha pero también se producen lo que se denomina regresiones, movimientos de derecha a izquierda dentro de un mismo renglón o hacia renglones anteriores. Según explica Carbajal, entre el 10% y el 15% de las sacadas son regresiones. En la imagen 6, puede verse un ejemplo de los movimientos oculares durante la lectura de un texto. A su vez, explica, que las regresiones podrían ser correcciones que preceden sacadas demasiado largas o podrían deberse a una falta de comprensión del texto.

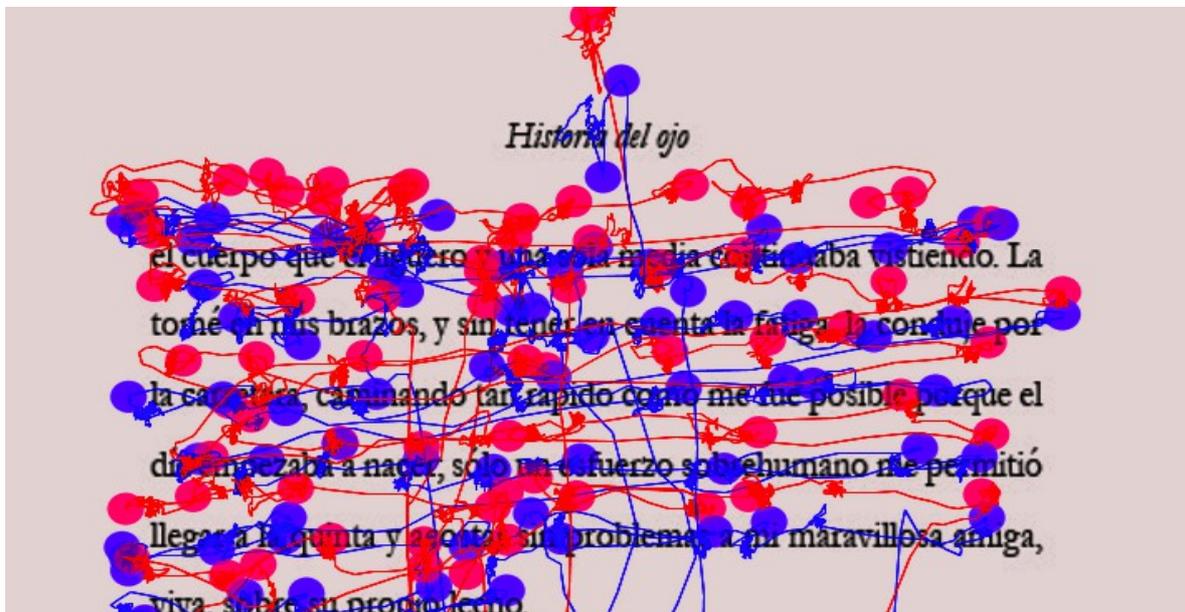


Imagen 6: los círculos corresponden a las fijaciones y las líneas que los unen son las sacadas. Cada color corresponde a uno de los ojos, rojo para el ojo izquierdo y azul para el ojo derecho.

A continuación se describen dos caracterizaciones que son sumamente relevantes en las investigaciones científicas sobre la lectura, a la hora de clasificar la información obtenida luego de realizadas las mediciones: la caracterización del texto y la caracterización de la lectura.

1.3.2. Caracterización del texto

A diferencia del experimento realizado en este proyecto, en el llevado a cabo por María Julia Carbajal además se analiza al texto desde un punto de vista gramatical, clasificando las palabras en dos categorías principales, la función y el contenido. Las palabras de contenido son los verbos sustantivos y adjetivos, y las otras son las que cumplen funciones relacionales, como los artículos y las preposiciones. En general se nota durante un experimento de posicionamiento ocular que las palabras de función son saltadas debido a que son fácilmente identificables a través de la parafovea.

Cada palabra, sea de función o de contenido, puede ser caracterizada por medio de varios parámetros. Entre los parámetros usualmente considerados se encuentran su categoría gramatical y conjugación, su longitud contada en caracteres, su frecuencia (definida a partir de algún corpus, volveremos a esto en un momento), y su lema, que es la forma más simple de la palabra (por ejemplo, el lema de corrimos es correr y el de abuelas es abuelo).

La frecuencia de una palabra pretende estimar cuán frecuentemente estuvo expuesto el lector a una palabra, pero no es algo que se pueda definir unívocamente. Se suele tomar como medida de frecuencia la cantidad de apariciones de la palabra en un determinado corpus. Un corpus es un conjunto extenso de textos, usualmente de contenidos muy variados, que permite obtener estadística sobre el uso del lenguaje en

algún idioma particular. En español, uno de los corpus más utilizados en estudios de lingüística es el LexEsp. Este corpus informatizado, desarrollado en la Universidad de Barcelona, contiene más de 5,5 millones de palabras tomadas de diversos textos, tales como libros, artículos de diario, textos científicos, etc. Si bien esta medida es una estimación, ya que cada persona puede haber tenido distinta exposición a la palabra en su vida, se considera que un corpus de este tamaño representa más o menos bien el léxico de un hispanohablante adulto. A su vez, es del uso de estos corpus de donde se desprende la definición de “lectura natural”, ya que se trata de textos preexistentes, no textos especialmente preparados para experimentos.

Finalmente existen parámetros que caracterizan a las palabras como parte de un todo (el texto), y no como cosas aisladas. Por ejemplo, el número global de palabra indica en qué ubicación se encuentra una palabra respecto del comienzo del texto. Se podría considerar también la función sintáctica de las palabras y su profundidad en la estructura sintáctica dentro de la oración, para lo que sería necesario hacer un análisis sintáctico de todas las oraciones dentro de un texto completo. Este tipo de análisis no se utiliza habitualmente pues no existe una manera única de analizar sintácticamente.

Dentro de un texto las palabras se relacionan entre sí, formando un contexto. Este contexto puede influir en los tiempos de lectura, ya que si una palabra es esperable en cierto momento posiblemente se demore menos tiempo en procesarla que si apareciera una palabra que no era esperada por el lector (Fernández et al., 2012). Es por esto que en este tipo de estudios se utiliza frecuentemente como parámetro la predictibilidad. Como indica su nombre, este parámetro se refiere a qué tan predecible es una palabra dado su contexto, y se suele medir mediante un tipo de tareas llamadas cloze tasks. En un cloze task típico, una oración es presentada por partes y el participante del experimento debe indicar qué palabra considera que viene a continuación (Taylor, 1953). Realizando este mismo experimento con cantidades grandes de personas, se puede contar cuántas veces se responde cada palabra del texto y esto es lo que se considera como la predictibilidad (Kliegl et al., 2006; Kennedy et al., 2012).

1.3.3. Caracterización de la lectura

Existe fuerte evidencia recaudada en los últimos 30 años que indicaría que las medidas oculares son un reflejo de varios procesos cognitivos (Rayner, 1998; Radach et al., 2004), y que la duración de las fijaciones se encuentra en estrecha relación con la cantidad de procesamiento que se lleva a cabo. Como variables asociadas al proceso de la lectura Carbajal propone algunas medidas de los movimientos oculares.

La primera medida que se considera es la duración de las fijaciones. Sin embargo, no siempre ocurre que a una palabra corresponda una única fijación, sino que hay palabras que se fijan más de una vez y palabras que no son fijadas nunca, así como también hay palabras que se vuelven a fijar a través de las regresiones. Por lo tanto es necesario distinguir los distintos tipos de fijaciones. Consideran en primer lugar las

distintas pasadas por cada palabra: la primera pasada es aquella que reúne todas las fijaciones hechas sobre una palabra por primera vez, antes de salir de la misma (es decir, sin contar regresiones a esta palabra); las siguientes pasadas se contarán como segunda pasada, tercera pasada, etc.

Dentro de cada pasada existen varias medidas temporales posibles: la primera fijación es la primera de todas las fijaciones que se hacen dentro de la palabra, es decir que es precedida por una sacada proveniente de otra palabra, aunque puede ser seguida por sacadas hacia la misma palabra. La suma de todas las fijaciones dentro de una misma pasada se denomina mirada.

Por otro lado, las medidas espaciales que surgen del patrón de lectura son la amplitud de la sacada medida en caracteres o en píxeles, la posición de la fijación dentro de la palabra y el sitio de lanzamiento de la sacada anterior, es decir la distancia entre la posición de la fijación anterior y el comienzo de la palabra actual (Radach y Kennedy, 2004). Este último resulta muy importante porque da una estimación de la cantidad de pre procesamiento, es decir que mientras más cerca haya estado la última fijación, más pre procesamiento habrá y por lo tanto se observará una disminución de la duración de la mirada.

1.4. Efectos y predictores

Los parámetros que tienen un efecto significativo sobre el tiempo de lectura se los denomina predictores. Por ejemplo uno de los efectos es el de longitud: cuanto mas larga es la palabra, más probabilidades tiene de ser fijada (Rayner, 1996). Asimismo el efecto de frecuencia, es en donde la duración de las fijaciones es menor para palabras de alta frecuencia comparada con palabras de baja frecuencia.

Otro ejemplo es el efecto de predictibilidad, el cual implica que aumenta la probabilidad de saltar una palabra y disminuye la duración de las fijaciones durante la lectura cuando el contexto es fuerte.

Para poder estudiar alguno de estos efectos, es necesario diseñar experimentos apropiados. Existen en la actualidad dos tipos de experimentos, que se distinguen por la forma en que construyen los textos. El primero consiste en presentar palabras u oraciones aisladas, construidas especialmente para responder preguntas concretas sobre el procesamiento semántico o sintáctico, y suelen contener una única palabra target u objetivo (Rayner, 1998).

El segundo tipo de experimentos, consiste en la presentación de textos extensos u oraciones tomadas de un corpus, pero que provean un entorno más ordinario para estudiar el proceso de la lectura. En este caso se suelen presentar textos compuestos por varias oraciones, sean párrafos o capítulos enteros, o bien oraciones sueltas pero en donde todas las palabras son palabras objetivo. Por un lado, este tipo de experimentos puede parecer menos controlado, y para subsanar la falta de control sobre los textos se realiza una profunda caracterización de las propiedades de las palabras y de las

fijaciones. De esta forma se obtiene una enorme cantidad de información sobre la dinámica de la lectura en un contexto mas normal de lectura, lo cual aporta la potencia estadística necesaria para resolver un alto número de predictores. A este segundo tipo de experimentos, es a los que se denominan de lectura natural.

Otro efecto conocido es el de retraso debido a la modulación dinámica de la amplitud perceptual, es decir, que si la palabra en la fovea es difícil de interpretar, se disminuye el procesamiento de las palabras en la parafovea para aumentar la atención sobre la palabra en la fovea, disminuyendo el beneficio del preprocesamiento. También se conoce el efecto debido a la longitud de sacada, en donde sacadas largas son precedidas de fijaciones más largas.

Por otra parte, cuando leemos un texto extenso, muchas veces ocurre que algunas palabras aparecen repetidas. Si se analizaran los tiempos de lectura en dichas palabras sin tener en cuenta si fueron leídas previamente o no, se estaría perdiendo de vista una parte importante de la dinámica de la lectura. Entonces, ¿qué sucede con aquellas palabras que se repiten a medida que las volvemos a leer, y qué mecanismos están involucrados en la lectura repetida?

El efecto de repetición, ha sido estudiado haciendo una segunda lectura de un mismo texto o del texto parafraseado y comparando sus tiempos de lectura (Rayner, 1995). Lo que se ha observado consistentemente a lo largo de los experimentos es una disminución de la duración de las fijaciones al leer por segunda vez la misma palabra. Este efecto ocurre debido a que la memoria reciente de la primera ocurrencia facilita el procesamiento durante la segunda ocurrencia.

Capítulo 2

Referencias artísticas

Si bien no se han encontrado antecedentes de proyectos con las mismas características que el que se presenta aquí, en el cual se realizan mediciones oculares de alta definición durante la lectura, se seleccionaron proyectos en los que se trabaja con la visión a partir de dispositivos, que con menor efectividad y caudal de información, captan algunos de los rasgos de la mirada, bien para ser expuestos como obra de arte electrónico o con el objetivo de controlar interfaces a partir de los movimientos de los ojos.

2.1. Golan Levin: arte y técnicas de detección y seguimiento ocular

Eyecode, 2007

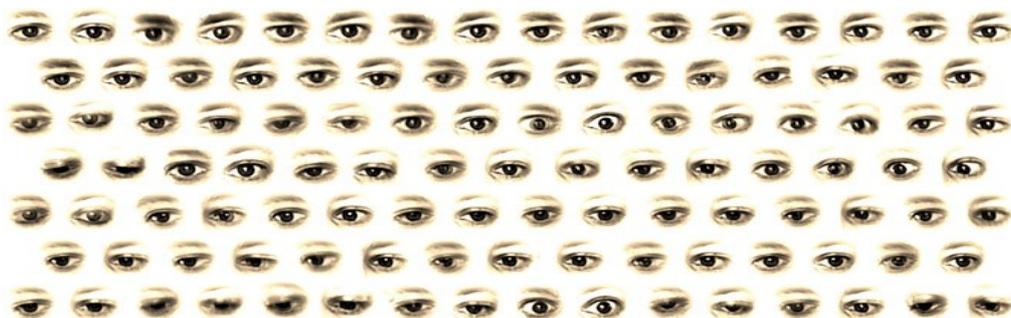


Imagen 7: Eyecode, tapicería de miradas por Golan Levin.

El Eyecode de Golan Levin, es una instalación interactiva cuya visualización es construida a partir de su propia historia de ser observado.



Imagen 8: Eyecode, solo.

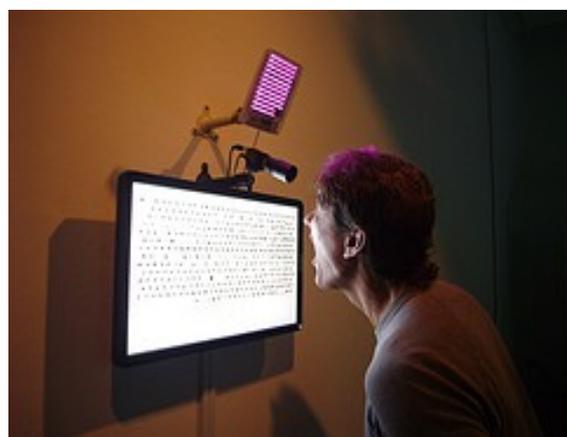


Imagen 9: exposición en donde puede verse la visualización de miradas y el sistema de detección ocular.

Desde de una cámara de seguimiento ocular, el dispositivo genera clips de video que se repiten, únicamente con los ojos de sus espectadores. Cada clip tiene como duración el tiempo entre dos de los parpadeos del espectador. Como resultado puede observarse, lo que Levin llama, “una tapicería tipográfica de la observación recurrente”.

Eyeshine, 2011

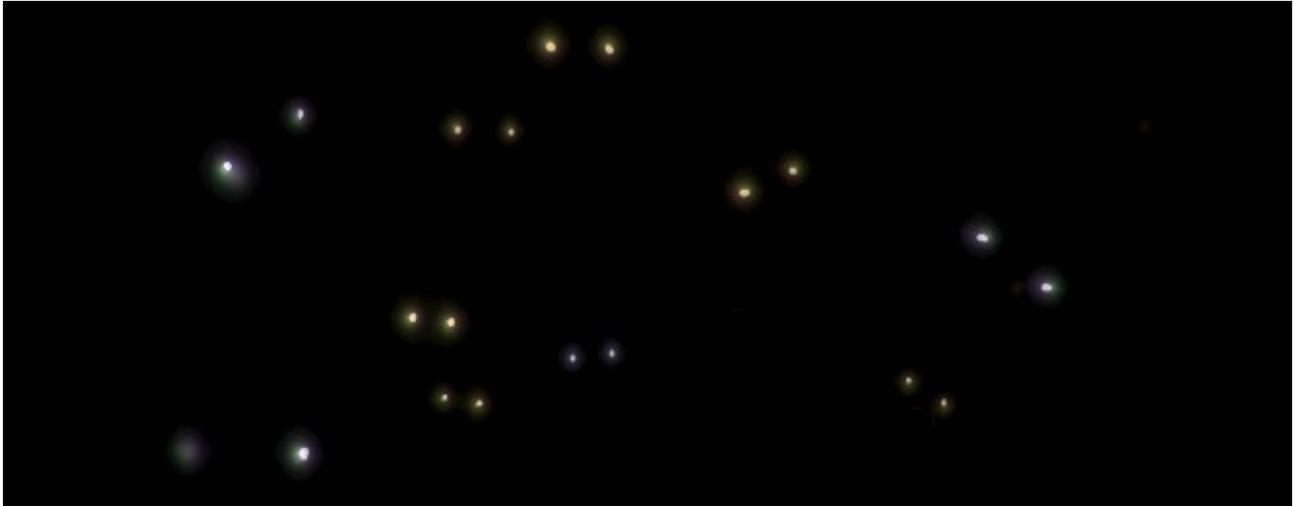


Imagen 10: Eyeshine, tapicería de reflexiones de los ojos

Eyeshine es una instalación interactiva, también de Golan Levin, que captura, registra y reproduce el efecto de reflexión de los ojos de sus observadores. Esta pieza como la anterior, presenta una imagen totalmente construida a través del proceso de observación.

El proyecto está inspirado en el fenómeno de reflexión de luz que producen los ojos de animales en la noche debido a la presencia de una capa, ubicada en el ojo, llamada Tapetum lucidum que reflejan la luz. Esta, permite a los animales tener una mayor visibilidad en la oscuridad.

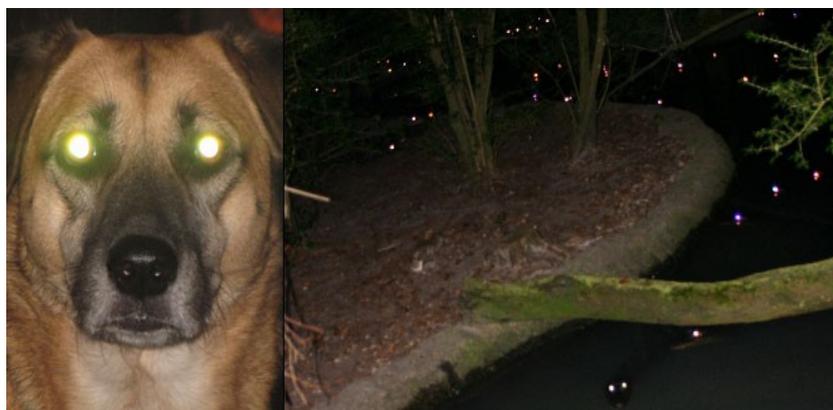


Imagen 11: ejemplos que Levin muestra sobre reflexión de la luz en animales.

En esta instalación interactiva, una cámara captura las reflexiones de los ojos de los invitados. Luego, las grabaciones son acomodadas formando una tapicería brillante, rehaciendo a los observadores, visualmente, como animales misteriosos, pero conservando las cualidades humanas del gesto.

2.2. EyeWriter – Tempt1

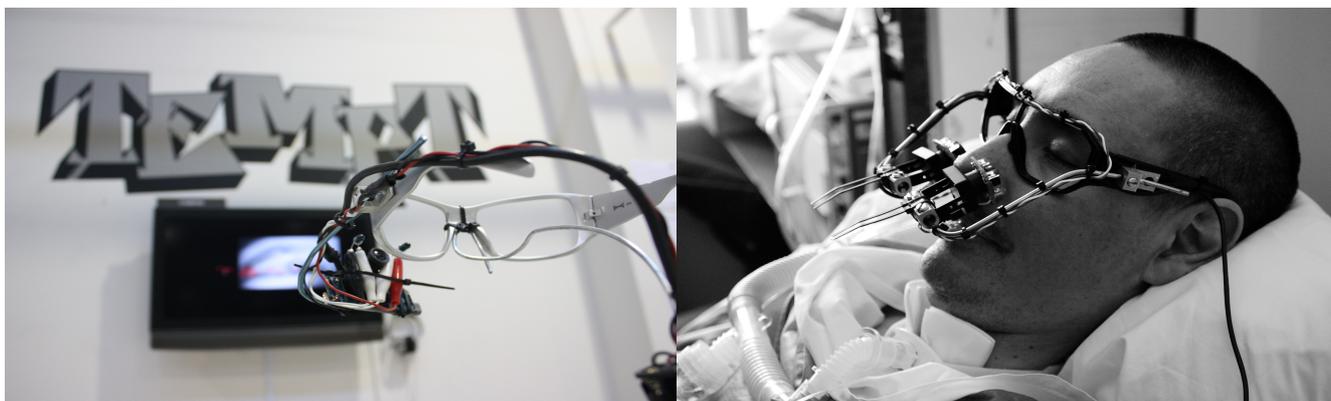


Imagen 12: Eyewriter, Tempt 1 utilizando el dispositivo de seguimiento ocular especialmente diseñado

Eyewriter, es un desarrollo del tipo “do it yourself” (DIY), que consiste en un sistema de eye tracking económico diseñado para el artista de graffiti TEMPT1, quien sufrió una parálisis de su cuerpo debido a una esclerosis lateral amiotrófica. Este sistema de trackeo portátil, le permite a TEMPT1 realizar su trabajo dibujando a partir del movimiento de sus ojos. El sistema usa cámaras baratas y software de código abierto.

EyeWriter fue desarrollado por artistas e ingenieros de Free Art & Technology Lab, Laboratorio de Investigación de Graffiti y el equipos de OpenFrameworks, Zachary Lieberman, Evan Roth, James Powderly, Theo Watson y Chris Sugrue.

2.3. The EyeHarp Project: un instrumento musical basado en seguimiento ocular

EyeHarp, es un dispositivo económico, también de desarrollo DIY, diseñado por Zacharias Vamvakousis. Dicho proyecto fue presentado como tesis de la Maestría en Tecnologías del Sonido y la Música de la Universitat de Pompeu Fabra de Barcelona, en el 2011.

El EyeHarp rastrea el movimiento del ojo a partir de una cámara permitiendo al usuario comunicarse con una interfaz musical intuitiva a partir de la mirada. El sistema permite que el ejecutante produzca la música en tiempo real controlando ajustes y acontecimientos musicales sólo a partir del movimiento del ojo.

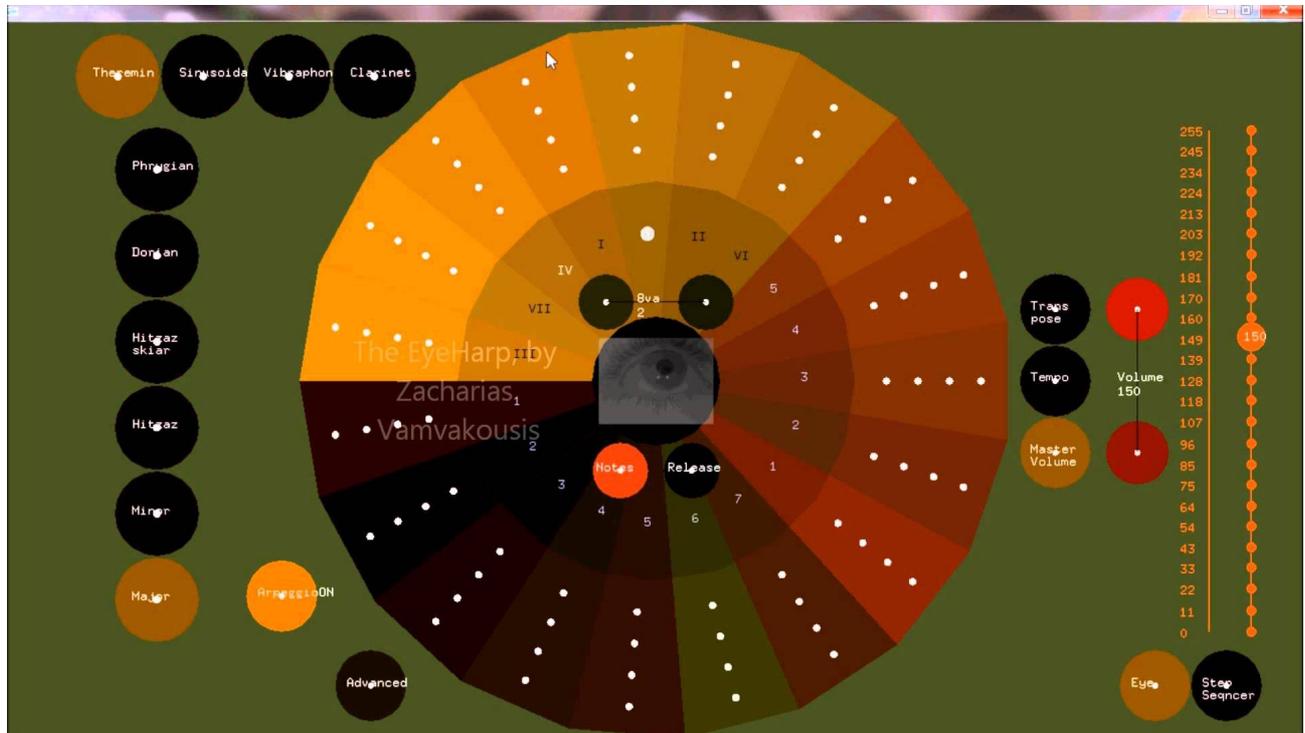


Imagen 13: Visualización de la interfaz gráfica de EyeHarp

El usuario puede controlar la melodía y el timbre de su composición a través de la interfaz. A su vez, una arpegiador y un secuenciador proporcionan al usuario la oportunidad de crear un fondo armónico y rítmico.

El objetivo principal del proyecto, es permitir a las personas con parálisis resultante de la esclerosis lateral amiotrófica, tocar música usando sólo sus ojos. Por otra parte, el instrumento puede ser controlado por cualquier dispositivo de entrada como podría ser un ratón, por lo que, podría ser un instrumento musical apropiado para muchos casos de personas con discapacidad motora. El EyeHarp se implementa en openframeworks v0.6. y es un software libre y de código abierto.

2.4 Eye Tracking Informatics, Seiko Mikami, 2011



Imagen 14: Visualizaciones de dos usuarios interactuando con el Eye Tracking Informatics

Eye Tracking Informatics, es una obra interactiva de la artista Seiko Mikami. Esta es la última versión mejorada de la obra Molecular Informatics producida en 1996, en la que se actualizaron elementos de imagen, sonido e interactividad. Eye Tracking Informatics, utiliza la aplicación de código abierto EyeWriter antes nombrado, lo que permite un sensado en tiempo real sobre los veloces movimientos del ojo. Mikami establece un mundo virtual de moléculas generadas por la mirada del espectador a través del sensado del movimiento de sus ojos; a partir de los movimientos que detecta en la mirada, la obra crea estructuras moleculares que a su vez se proyectan en el espacio por lo que pueden ser vistas por los demás visitantes.

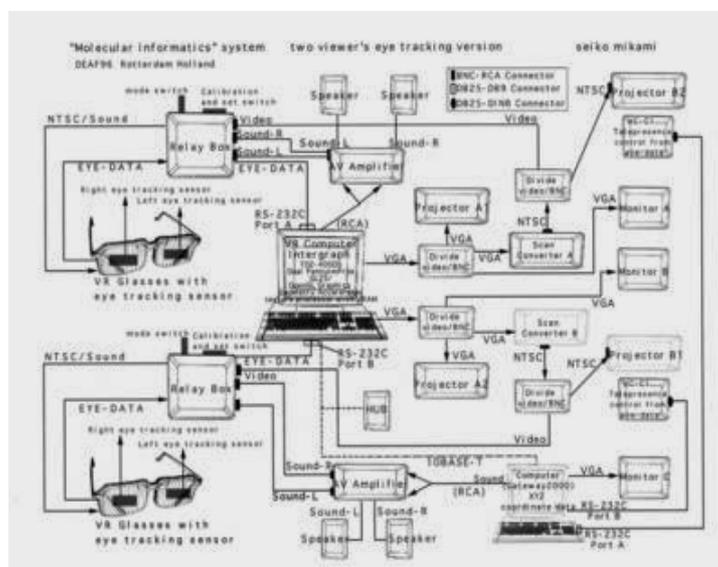


Imagen 15: sistema de "Molecular Informatics"

Dice Mikami sobre su proyecto: "El cuerpo desempeña una función diferente en cada uno de mis proyectos. Por ejemplo, mi obra titulada "eye-tracking project (1996~)" se mueve entre lo consciente y lo inconsciente. Se trata de una instalación audiovisual interactiva que consiste en una tecnología de seguimiento ocular que genera estructuras de moléculas en tiempo real según los movimientos de los ojos del espectador mientras observa la obra. El visitante puede navegar por este espacio exclusivamente con la mirada, una mirada que a su vez se convierte en coordenadas XYZ que generan simultáneamente las estructuras. No obstante, a las personas nos resulta extremadamente complicado controlar nuestra mirada. Los detectores de mentiras, por ejemplo, utilizan tecnología de seguimiento ocular. Esta obra demuestra que nuestra mirada expresa nuestros afectos inconscientes y no podemos controlarla a voluntad. El movimiento de los ojos se ve influido por nuestros procesos conscientes e inconscientes. La base de la que parte este proyecto es la discrepancia que existe entre el proceso controlado y voluntario y el proceso pasivo que no podemos controlar. En consecuencia, al utilizar el seguimiento ocular, los ojos median en el espacio que existe entre nuestro "yo" y nuestro cuerpo."



Imagen 16: dispositivo de seguimiento ocular del "Eye Tracking Informatics"

Capítulo 3

Diseño y armado del experimento de posicionamiento ocular para el proceso de lectura del libro “Historia del ojo” de Georges Bataille

En este capítulo se explican los métodos y técnicas de medición utilizadas para realizar el experimento. Este, es prácticamente idéntico a los llevados a cabo en las investigaciones científicas como la que describe María Julia Carbajal en su tesis, salvo por algunas diferencias en cuanto al armado de los textos y el proceso que se realiza al final, de preanálisis y depuración de la información.

El texto seleccionado para llevar a cabo el experimento de este proyecto fue “Historia del ojo”, una de las obras más destacadas de Georges Bataille.

Bataille fue un escritor, antropólogo y pensador francés nacido en 1897. Entre sus escritos pueden enumerarse, poemas, ensayos, publicaciones para revistas y novelas. La novela utilizada en el experimento fue escrita en el año 1928 y es un ícono de la literatura erótica. En ella se narran las experiencias de una pareja de adolescentes, quienes tienen encuentros sexuales, en los que participan diferentes personajes, como una tercer joven, que termina por suicidarse, un extranjero que los acompaña en sus viajes y un sacerdote que finalmente es asesinado por los protagonistas, lo que los hace emprender una fuga en barco hacia otro país debido al asedio de la policía.

3.1. Armado y depuración de textos

Como se dijo anteriormente, en el experimento de captura de movimientos oculares, se utilizó el texto “Historia del ojo” de Georges Bataille, en idioma español. Dicho texto tiene 13 capítulos, aproximadamente 16850 palabras y fue debidamente depurado. El proceso de depuración consiste en la revisión cuidadosa del texto para detectar errores de ortografía o de tipeo. A su vez, fue necesario reestructurar el texto en 101 imágenes, con una resolución de 1024 x 768 píxeles de manera que se adapten al experimento diseñado en MATLAB. Esta reestructuración se realizó respetando las características de un texto impreso, teniendo en cuenta parámetros estándar como la cantidad de renglones por página, el tipo de interlineado y el tipo de justificación.

sobre mi vientre dándome la espalda y empezó a orinar mientras yo le metía un dedo por el culo, que mi semen joven había vuelto untuoso. Luego se acostó, con la cabeza bajo mi verga, entre mis piernas; su culo al aire hizo que su cuerpo cayera sobre mí; yo levanté la cara lo bastante para mantenerla a la altura de su culo: —sus rodillas acabaron apoyándose sobre mis hombros—. “¿No puedes hacer pipí en el aire para que caiga en mi culo?”, me dijo “— Sí, le respondí, pero como estás colocada, mi orín caerá forzosamente sobre tus ropas y tu cara—.” “¿Qué importa!” me contestó.

Hice lo que me dijo, pero apenas lo había hecho la inundé de nuevo, pero esta vez de hermoso y blanco semen.

El olor de la mar se mezclaba entretanto con el de la ropa mojada, el de nuestros cuerpos desnudos y el del semen. Caía la tarde y permanecimos en esta extraordinaria posición sin movernos, hasta que escuchamos unos pasos que rozaban la hierba.

Imagen 17: página de "Historia del ojo" preparada para llevar a cabo el experimento de posicionamiento ocular

3.2. Técnica de Seguimiento Ocular

Para obtener información respecto del movimiento ocular, sobre dicho texto, es necesario utilizar un dispositivo de seguimiento ocular (DSO). Existen diversos mecanismos de este tipo: en algunos casos se coloca algún objeto adherido al ojo y se registra el movimiento del objeto, otro tipo de DSO consiste en el uso de métodos ópticos, y por último existen métodos que utilizan electrodos para medir potenciales eléctricos. En nuestro caso, utilizaremos un método óptico que describiremos a continuación.

Se utilizó como dispositivo de medición un eye tracker EyeLink 1000. Este permite saber en que punto de una pantalla en un momento específico esta fijando la vista un sujeto.

El EyeLink 1000 funciona a partir de una cámara CCD (charge coupled device) infrarroja. También se encuentra junto a la cámara un panel LED que emite luz infrarroja con una longitud de onda de 890 nm que ilumina los ojos del sujeto. La luz infrarroja genera un reflejo en la cornea que es registrada por la cámara y esta registra la posición de la pupila. Ya con los datos de posición de la pupila y posición del reflejo del ojo, es posible calcular la posición de la mirada sobre la pantalla.



Imagen 18: Imagen del eyetracker utilizado, EyeLink II.

Para que el experimento pueda ser llevado a cabo efectivamente, es necesario hacer una calibración previa del sistema, la cual consiste en trece puntos distribuidos a lo largo y ancho de la pantalla en donde se realiza el experimento. La velocidad máxima de muestreo del dispositivo, y a la que se realizó el experimento es de 1 khz, y su resolución espacial es de 0,01 grados (SR Research, 2005).

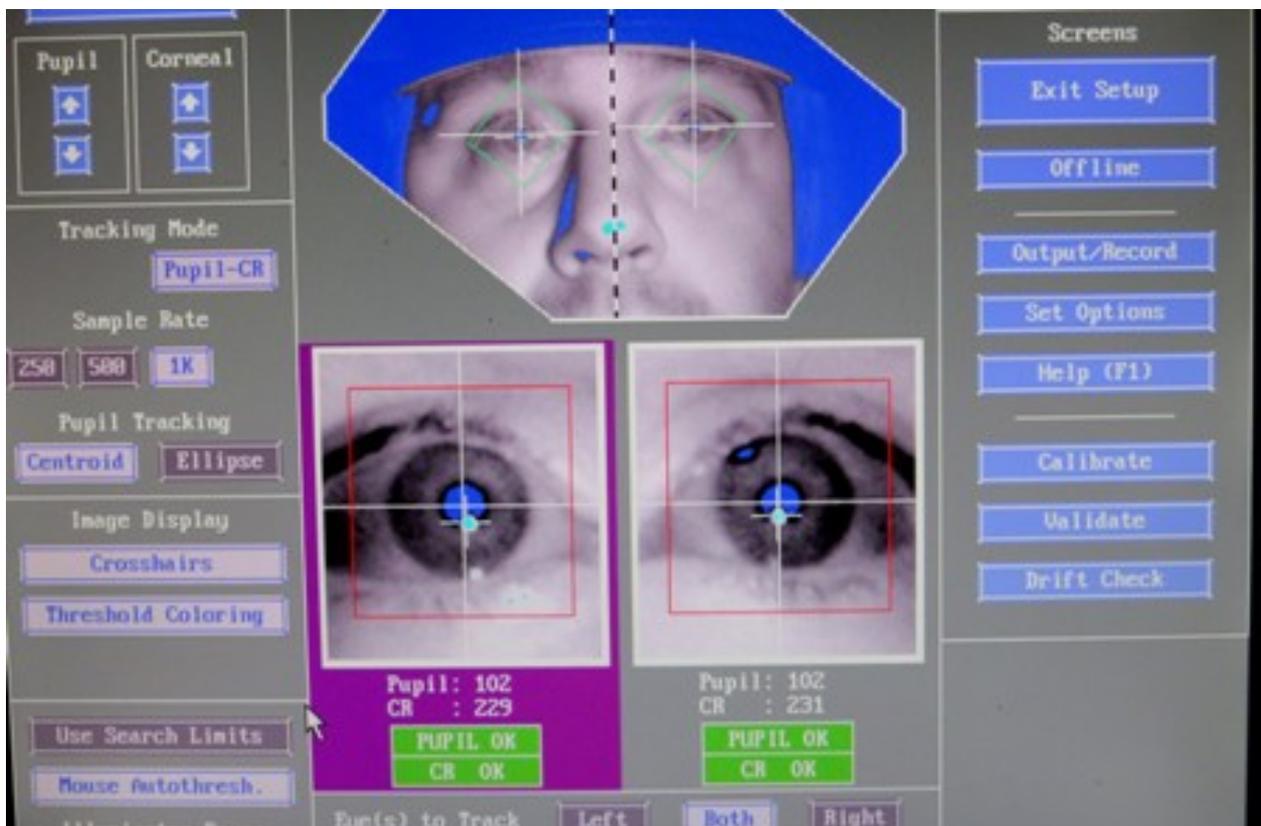


Imagen 19: Pantalla de ajustes y configuración del EyeLink 1000.

El EyeLink 1000 funciona a partir de dos computadoras, una que registra los datos y realiza la calibración, y la otra en donde se corre el experimento, dedicada exclusivamente a la presentación de estímulos. Para la presentación de los textos fue utilizado un monitor de 19 pulgadas Samsung SyncMaster 997MB con una resolución de 1024x 768 pixeles y una tasa de actualización de 100 Hz. Dicho monitor fue ubicado como dispone el manual del EyeLink 1000 a una distancia de 55 cm desde donde se ubica la cabeza del sujeto. La cabeza es apoyada en una mentonera alineada con el centro del monitor, que tiene como función mantener la posición de la cabeza del sujeto y por consiguiente de sus ojos durante el experimento.



Imagen 20: Sujeto en situación experimental con la cabeza en la mentonera y frente a él la computadora de presentación y el EyeLink 1000, con el panel emisor de luz infrarroja a su izquierda y la cámara la derecha. Sobre el lado derecho de la imagen, la pantalla de ajustes y configuración. Laboratorio de Neurociencia Integrativa de la UBA, 2014.

El EyeLink 1000 registra tanto movimientos monoculares (de un solo ojo), como movimientos binoculares (de ambos ojos). En el experimento diseñado, se llevó a cabo un registro binocular a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Cuando finaliza el procedimiento, la computadora central envía los datos a la computadora de presentación en donde los analiza. En la base de datos queda guardada la información de todas las fijaciones y sacadas, su posición en pixeles y su duración en milisegundos. Como último paso del experimento es necesario realizar un preanálisis de datos para asociar las fijaciones a las palabras que aparecieron en la pantalla.

3.3. Presentación de textos

El experimento que se desarrolló en este proyecto es sobre la lectura de un texto extenso, presentado a través de la pantalla de la computadora, mientras en otra computadora se registran los movimientos de los ojos con un DSO, como explicamos anteriormente. El sujeto es invitado a realizar el experimento y se le explica en que consiste el mismo, indicándole que, dentro del contexto particular del experimento, debe actuar como si leyera normalmente, pero sin realizar movimientos con la cabeza. El sujeto entonces permanece sentado, con su cabeza apoyada en una mentonera mientras suceden en la pantalla imágenes con el texto que fue previamente programado en un lenguaje de programación que el dispositivo puede interpretar llamado MATLAB. Este programa corre respetando los siguientes pasos:

- En primer lugar, lleva a cabo la calibración de todo el sistema. Este es un proceso que se realiza manualmente y debe ser llevado por el experimentador mientras el sujeto observa unos puntos en la pantalla. Una vez hecha la calibración, se hace una validación volviendo a pasar la mirada por sobre los mismos puntos. Si esta resulta correcta, comienza el experimento. Si no es correcta la validación, comienza un nuevo proceso de calibración.
- Luego de la calibración se lleva a cabo un chequeo de calibración automático. En esta etapa aparecen 9 puntos en la pantalla sobre los que hay que ir fijando la mirada sucesivamente. Al desaparecer uno aparece el siguiente. Es una verificación más para asegurarse que el registro de los movimientos oculares está funcionando de forma correcta.
- Luego, aparece una pantalla de bienvenida al experimento. A partir de este momento el sujeto lector, controla el paso de las paginas que lee presionando algunas de las teclas del teclado que se encuentra frente a él, permitiéndole leer el texto a su ritmo. Cada cinco pantallas, es decir cada cinco paginas se realiza una nueva calibración y se sigue adelante.
- Por último, vuelve a aparecer el chequeo de calibración automática, después del cual se da por finalizado el experimento y la computadora recibe los datos del sistema de seguimiento ocular.

En cada pantalla existe la posibilidad de mover el límite de un renglón verticalmente si la definición preliminar hubiera salido mal.

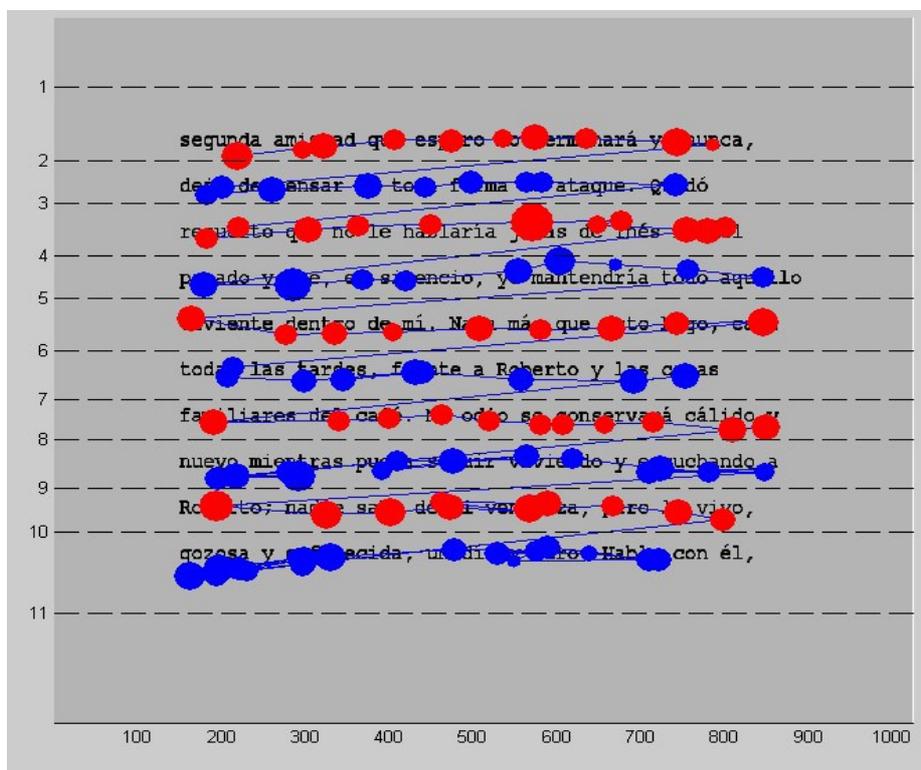


Imagen 22: Imagen de una de las pantallas individuales durante la corrección de la posición de renglones. Se divide en colores para visualizar las fijaciones pertenecientes a diferentes renglones.

Luego de finalizar la determinación de renglones, el programa asigna automáticamente las fijaciones a las palabras dentro del renglón al que pertenecen, asignando cada fijación a la palabra más cercana. Por último presenta nuevamente las pantallas de texto, una por una, coloreando en escala cromática el orden cronológico de todas las fijaciones. En esta instancia es posible eliminar fijaciones erróneas, la mayoría de las cuales son primeras fijaciones de una pantalla, que aparecen en los renglones inferiores debido a que la mirada quedó abajo al terminar de leer la pantalla anterior, o bien fijaciones fuera de la pantalla por distracciones o descanso de la vista. Las fijaciones eliminadas son guardadas en archivos separados para su recuperación en caso de ser necesario.

Al finalizar el preanálisis, se obtiene una estructura de datos que contiene la información de todas las palabras que componen al texto, las fijaciones que hubo sobre ellas y las duraciones de dichas fijaciones. Se agrega además información útil sobre la palabra, tal como su longitud, frecuencia, lema y categoría gramatical.

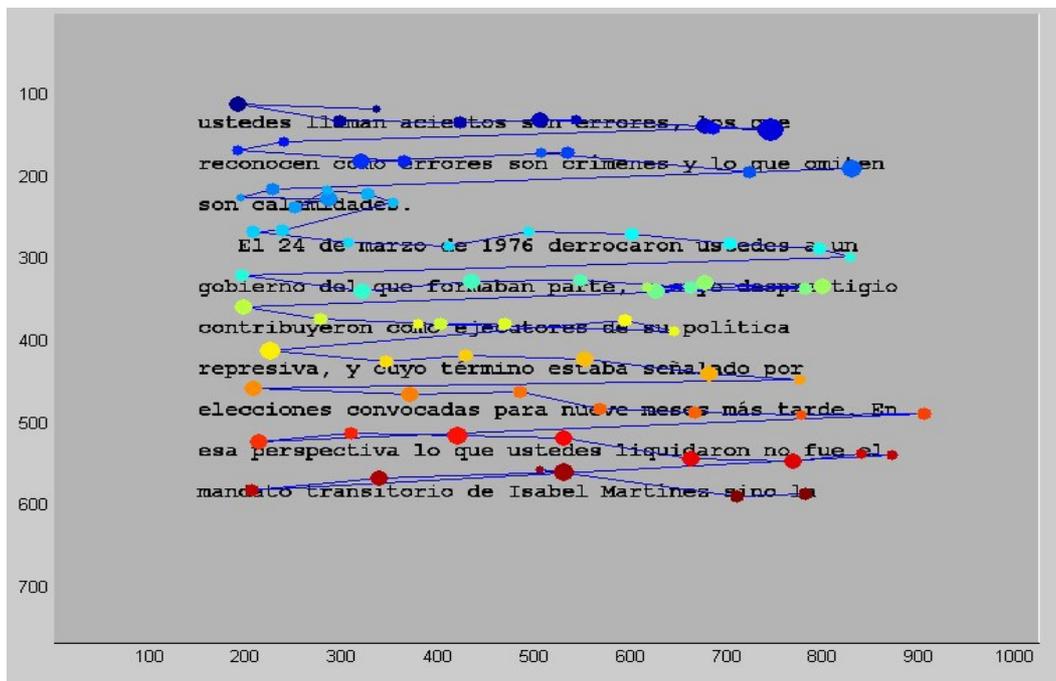


Imagen 23: Imagen de una de las pantallas durante la eliminación manual de fijaciones erróneas. La evolución temporal de las fijaciones está representada por una escala cromática, comenzando en azul oscuro (primera fijación) y avanzando hacia el rojo oscuro (última fijación).

Por último, se seleccionan de esta base de datos recolectados, las palabras de contenido: adjetivos, sustantivos y verbos. De estos datos se quedan únicamente con aquellas palabras que fueron leídas de izquierda a derecha. Se realiza por un lado un análisis de regresiones simples a ciertas variables para poder visualizar e identificar fácilmente los efectos posibles, y posteriormente se efectúa un análisis estadístico para estudiar los diferentes efectos durante la lectura.

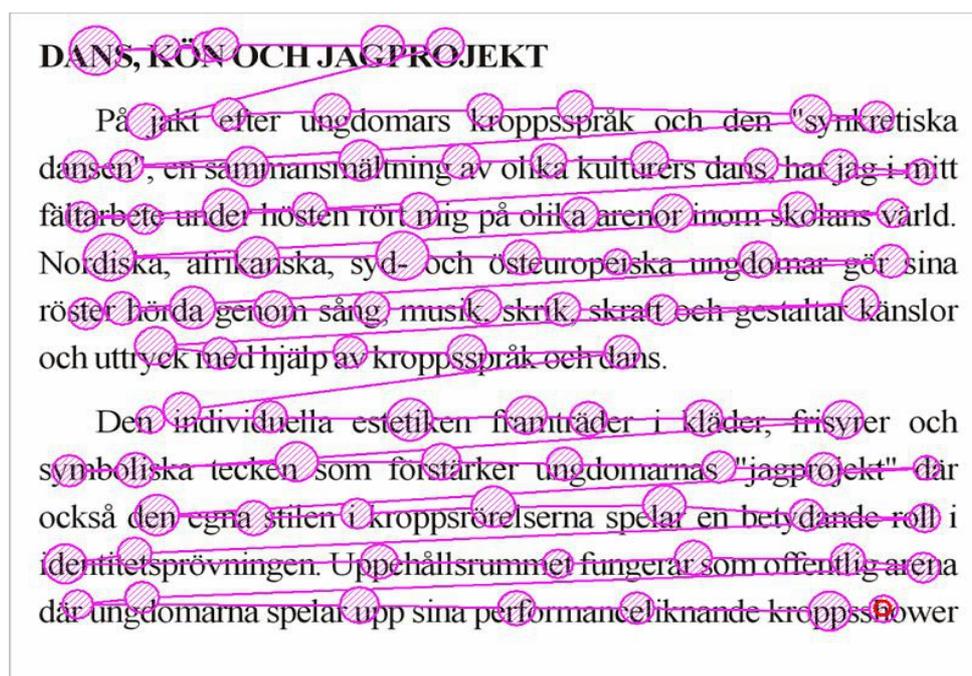
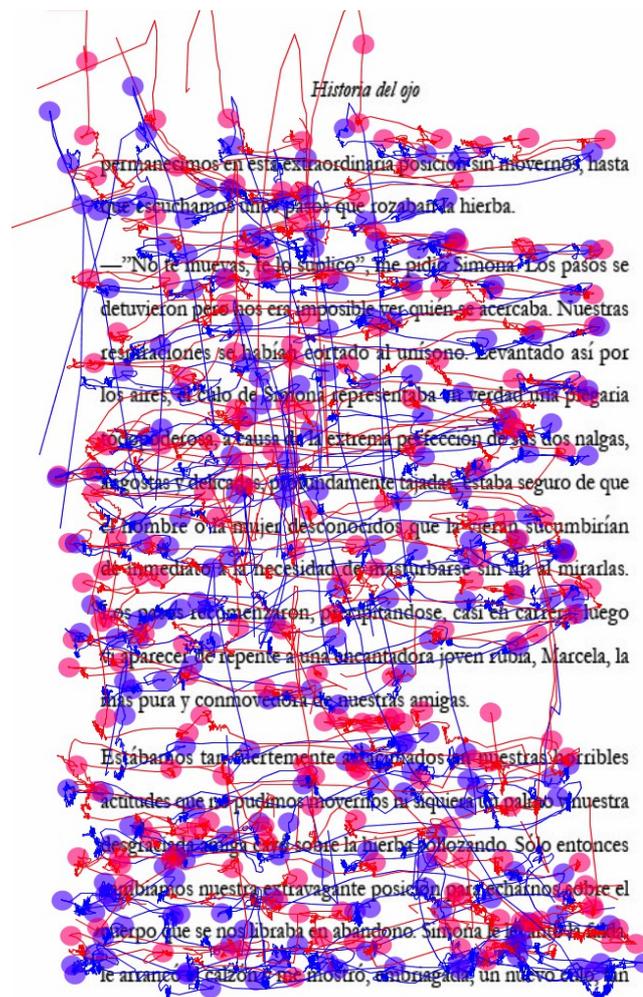


Imagen 24: movimientos oculares durante la lectura de un texto en sueco, experimento llevado a cabo en la Universidad de Lund de Suecia en 2005. Los círculos representan la fijaciones y las líneas son las sacadas.

3.4.2 Preanálisis datos de lectura “Historia del ojo”

Luego de realizado el experimento, el programa en MATLAB genera un archivo. Dicho archivo contiene las coordenadas de posición de los ojos, tomadas a razón de 1000 muestras por segundo, durante el experimento de lectura sobre “Historia del ojo”. Este alto nivel de resolución, permite captar de la mejor forma posible los movimientos de sacadas, las vibraciones del ojo durante las fijaciones y todo aquel movimiento relacionado con la gestualidad de la mirada en la lectura. No se realizan correcciones de datos, ni se eliminan regresiones ni datos que indican parpadeos o primeras fijaciones en renglones inferiores, consideradas como “errores” en las mediciones que deben ser sometidas a procesos estadísticos.



7

Imagen 25: movimientos oculares registrados durante la lectura de el texto de Georges Bataille. En este caso el color no es la evolución temporal sino la posición del ojo izquierdo, rojo y el ojo derecho, azul

En la etapa de preanálisis del experimento de este proyecto, también se corre un programa de MATLAB, pero lo único que este realiza es la organización de la información.

Los datos recolectados en este, son levantados por la computadora en donde se corre el experimento y a partir de la ejecución de un programa de MATLAB, se organizan los valores que determinan las posiciones en X e Y para ambos ojos, en columnas generando un archivo de tipo .TXT. Este archivo permite utilizar los datos obtenidos para representar los movimientos de los ojos en el dispositivo mecatrónico.

0.0000000e+000	4.6690000e+002	3.0160000e+002	5.7000000e+002
2.0000000e+000	4.6660000e+002	3.0270000e+002	5.7200000e+002
4.0000000e+000	4.6590000e+002	3.0280000e+002	5.7400000e+002
6.0000000e+000	4.6690000e+002	3.0300000e+002	5.7500000e+002
8.0000000e+000	4.6820000e+002	3.0450000e+002	5.7500000e+002
1.0000000e+001	4.6860000e+002	3.0490000e+002	5.7500000e+002
1.2000000e+001	4.6870000e+002	3.0540000e+002	5.7500000e+002
1.4000000e+001	4.6890000e+002	3.0570000e+002	5.7500000e+002
1.6000000e+001	4.6910000e+002	3.0510000e+002	5.7500000e+002
1.8000000e+001	4.6980000e+002	3.0480000e+002	5.7500000e+002
2.0000000e+001	4.7050000e+002	3.0540000e+002	5.7700000e+002
2.2000000e+001	4.6950000e+002	3.0580000e+002	5.7700000e+002
2.4000000e+001	4.6950000e+002	3.0680000e+002	5.7900000e+002
2.6000000e+001	4.6840000e+002	3.0810000e+002	5.8000000e+002
2.8000000e+001	4.6840000e+002	3.0740000e+002	5.7700000e+002
3.0000000e+001	4.6970000e+002	3.0530000e+002	5.7700000e+002
3.2000000e+001	4.6960000e+002	3.0540000e+002	5.7800000e+002
3.4000000e+001	4.6930000e+002	3.0670000e+002	5.7800000e+002

Imagen 26: Tabla de datos final del experimento. Cada fila corresponde a un momento específico. Las columnas 1 y 2 son las posiciones en X e Y del ojo izquierdo y las columnas 3 y 4 son las posiciones en X e Y del ojo derecho.

Capítulo 4

Diseño y construcción del dispositivo mecatrónico

El diseño y construcción del dispositivo que copia la gestualidad ocular y que quema el texto, se llevo a cabo en tres módulos de trabajo (programación, sistema electrónico, sistema mecánico), que se desarrollaron simultáneamente, ya que siendo un dispositivo original, fue de suma utilidad tener la posibilidad de ir modificando el diseño ideal de las partes, según las necesidades y las limitaciones que fueron surgiendo.

El prototipo inicial consiste básicamente en un sistema de paralelas que permite posicionar un cabezal en X e Y, sobre una hoja impresa con el texto “Historia del ojo”. Dicho cabezal posee un dispositivo que quema el texto según este fue leído por un sujeto durante el experimento. Dos motores paso a paso bipolares controlados a través de Arduino, montados sobre rodamientos lineales, posibilitan el desplazamiento del cabezal en cualquier punto del plano. A su vez se estudiaron las diferentes opciones de quemadores disponibles en el mercado, capaces de quemar papel de 80 gr.

4.1. Programación

4.1.1. Processing

Una vez finalizado el experimento, habiendo sido obtenidos los datos de posicionamiento ocular durante la lectura, se utiliza un programa en Processing, preexistente a este proyecto, que permite interpretar y mapear los datos del archivo .TXT, que contiene la información de la posición de los ojos durante la lectura. Este programa permite que Arduino pueda traducir dicha información en el movimiento del dispositivo. Esta etapa aún está en desarrollo, ya que se encontraron limitaciones técnicas que no permitieron profundizar en la construcción de los programas de control de Arduino.

4.1.2. Arduino

Teniendo en cuenta que es necesario usar dos motores paso a paso, que para su funcionamiento necesitan cuatro pines de salida, sumados a los cuatro pines de entrada para los sensores infrarrojos que indican el inicio y el final de las guías, y algunos pines más para activar el encendido del quemador, consideramos el uso del microcontrolador Arduino Mega 2560 que posee 54 entradas/salidas digitales. Dicho microcontrolador se programa a partir del lenguaje de programación Arduino, utilizando librerías o realizándolo manualmente.

En este caso, se realizaron pruebas con la librería llamada stepper. Esta librería

permite controlar a partir de un puente H, motores paso a paso unipolares y bipolares.



Imagen 27: placa Arduino Mega 2560

Se escribieron códigos de prueba para verificar el funcionamiento de la librería en función de los componentes que se seleccionaron para la construcción del sistema electrónico del dispositivo.

```
pap_libOk7Ago | Arduino 1.0.5
pap_libOk7Ago
#include <Stepper.h>

//Sensores
int pinSensor_XA = 10;
int pinSensor_XB = 11;
int pinSensor_YA = 12;
int pinSensor_YB = 13;

//Sensor value
int valSensor_XA = 0;
int valSensor_XB = 0;
int valSensor_YA = 0;
int valSensor_YB = 0;

int sentidoX = 0;
int sentidoY = 0;

int stepsPerRevolution_X = 200; // pasos por giro 360
// for your motor
int stepsPerRevolution_Y = 200; // pasos por giro 360

Stepper myStepper_X(stepsPerRevolution_X, 2, 3, 4, 5); //verde, rojo, azul, amarillo
Stepper myStepper_Y(stepsPerRevolution_Y, 6, 7, 8, 9); //verde, rojo, azul, amarillo

void setup() {
  pinMode(pinSensor_XA, INPUT);
  pinMode(pinSensor_XB, INPUT);
  pinMode(pinSensor_YA, INPUT);
  pinMode(pinSensor_YB, INPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(6, OUTPUT);

  myStepper_X.setSpeed(300); //max. 300
  myStepper_Y.setSpeed(300);

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  valSensor_XA = digitalRead(pinSensor_XA);
  valSensor_XB = digitalRead(pinSensor_XB);
  valSensor_YA = digitalRead(pinSensor_YA);
  valSensor_YB = digitalRead(pinSensor_YB);

  if(valSensor_XA == LOW){
    sentidoX = 1;
  }
  else if(valSensor_XB == LOW){
    sentidoX = -1;
  }
  if(sentidoX == 1){
    myStepper_X.step(stepsPerRevolution_X);
  }
  else if(sentidoX == -1){
    myStepper_X.step(-stepsPerRevolution_X);
  }
  if(valSensor_YA == LOW){
    sentidoY = 1;
  }
  else if(valSensor_YB == LOW){
    sentidoY = -1;
  }
  if(sentidoY == 1){
    myStepper_Y.step(stepsPerRevolution_Y);
  }
  else if(sentidoY == -1){
    myStepper_Y.step(-stepsPerRevolution_Y);
  }
}
```

Imagen 28: declaracion de variables del programa de prueba de la librería stepper

Imagen 29: void setup y void loop del programa de prueba de la librería stepper

Aún queda por realizar el programa que permita levantar desde Arduino los datos mapeados en Processing.

4.2. Sistema electrónico:

El sistema electrónico consiste en dos motores pap bipolares, montados en un bastidor de aluminio, que posibilitan el movimiento, en dos dimensiones, de un quemador láser. Dichos motores son activados a partir de una plaqueta con un integrado L298N, controlada desde un microcontrolador Arduino Mega 2560. El integrado L298N sirve de etapa de potencia y el microcontrolador le indica como es la secuencia de excitación de las bobinas del motor para que este funcione. También se colocaron sensores infrarrojos como finales de carrera, para determinar donde se encuentra el comienzo y el final de cada guía lineal.

4.2.1 Motores paso a paso bipolares

Se define un motor como aquella máquina eléctrica rotativa que es capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica. Los motores paso a paso (PaP), son aquellos en los que la señal eléctrica de alimentación es un tren de pulsos que se suceden con una secuencia, previamente definida, a cada una de las bobinas que componen el estator. Cada vez que a alguna de estas bobinas se les aplica un pulso, el motor se desplaza un paso, y queda fijo en esa posición. Dependiendo de las características constructivas del motor este paso puede ser desde 90° hasta incluso $0,9^\circ$.

Este tipo de motores hace posible controlar la posición con precisión. Además, variando la frecuencia con la que se aplican los pulsos, se modifica la velocidad con que se mueve el motor, lo que nos permite realizar un control de velocidad. Es decir que los motores PaP, nos permiten controlar posición, velocidad y sentido de giro.

Si cabe citar algún inconveniente de los motores PaP sería que presentan una velocidad angular limitada. Dicha limitación surge de que para realizar un paso, el motor requiere un tiempo para alcanzar la posición de equilibrio.

El principio de funcionamiento de los motores PaP de imán permanente, está basado en las fuerzas de atracción-repulsión que experimentan los cuerpos sometidos a un campo magnético.

El motor bipolar está compuesto por dos bobinas por las que circula corriente en uno u otro sentido según una secuencia definida. Mientras no circule corriente por ninguna de las bobinas el rotor se encontrará en reposo en una posición cualquiera.

Motor paso a paso Bipolar

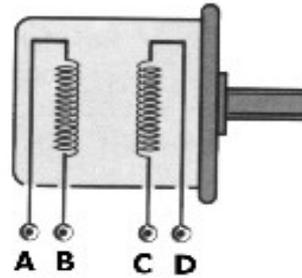
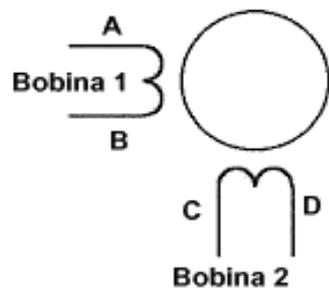


Imagen 30: Diagrama de bobinas de un motor pap bipolar

Para llevar a cabo la realización de este dispositivo seleccionamos dos motores pap bipolar de 1,2 amperios con una resolución de $1,8^\circ$ por paso, lo que nos indica que para lograr un giro completo el motor debe realizar 200 pasos.

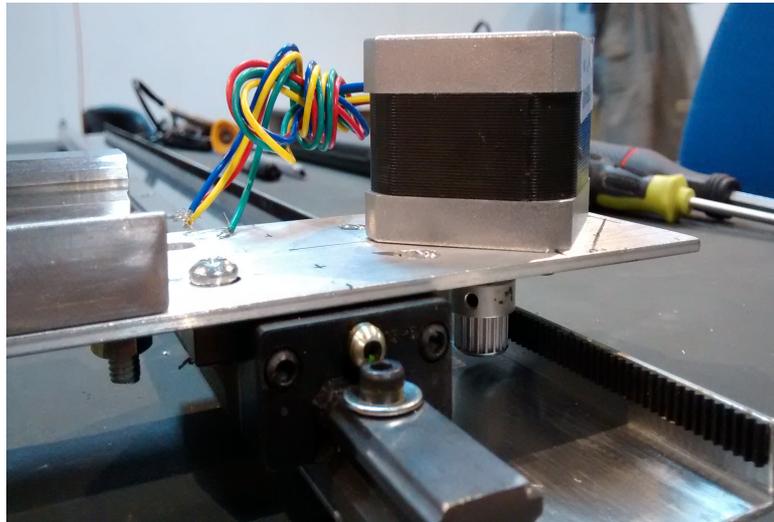


Imagen 31: motor pap bipolar de 1,2A montado sobre un rodamiento lineal.

4.2.2 Sensores Infrarrojos activos

Los sensores son dispositivos que miden y mapean un atributo, entregando como resultado una medida cuantizada, normalmente un nivel de tensión eléctrica.

El sensor infrarrojo activo es un dispositivo electrónico capaz de medir la radiación electromagnética infrarroja de los cuerpos en su campo de visión. Todos los cuerpos reflejan una cierta cantidad de radiación, esta resulta imperceptible para nuestros ojos, ya que se encuentran en el rango del espectro justo por debajo de la luz visible.



Imagen 32: sensor infrarrojo

Este tipo de sensores contienen un emisor y un receptor que forman parte de un mismo circuito integrado. El emisor es un diodo led infrarrojo y el receptor es un fototransistor. Al alimentar el circuito con 5V , el emisor emite radiación infrarroja y cuando se enfrenta con una superficie reflectante, la radiación llega al receptor y es captada haciendo que el módulo genere una señal de salida.

En el diseño del prototipo, fueron montados en cada rodamiento lineal, pegados a los motores pap, dos de estos módulos, uno orientado hacia el comienzo de la guía y el otro hacia el final. Al llegar a cualquiera de los extremos el módulo capta la radiación reflejada y emite una señal de salida, que es dirigida a un pin de entrada del microcontrolador.

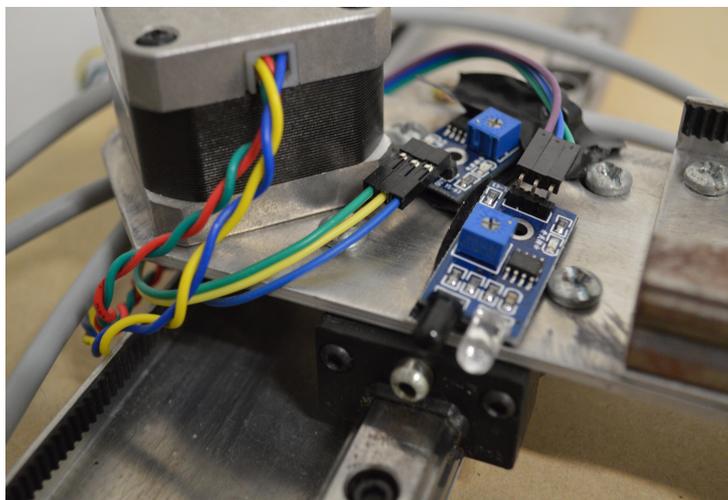


Imagen 33: sensores sobre rodamiento lineal

4.2.3 Controlador de potencia con doble puente H, L298N

Este integrado permite controlar dos motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar de hasta 2 amperios. Este debe ser alimentado para el funcionamiento de la lógica con 5 v, y se le puede brindar entre 6 y 12 v para alimentar al motor.

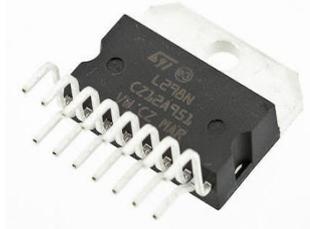


Imagen 34: integrado L298N

Las patas 6 y 11 son enables que habilitan el funcionamiento del integrado un vez que se les entrega 5v. Las patas 5, 7, 10 y 12 son las entradas a las que se conectan los cuatro pines configurados como salidas en el Arduino. Las 4 salidas en donde se conectan los cables del motor son las patas 2, 3, 13 y 14. Por la pata 9 se alimenta con 5v el integrado para el funcionamiento de la lógica del mismo y por la pata 4, se lo alimenta con energía para el motor.

A partir de su lógica de compuertas el L298N permite entregar una serie de impulsos ordenados que posibilita el movimiento del motor paso a paso. Esto se logra conectando las cuatro bobinas del motor paso a paso a las 4 salidas del integrado que son capaces de entregar un tren de impulsos eléctricos activando y desactivando las bobinas para generar el movimiento con la dirección y la velocidad deseada.

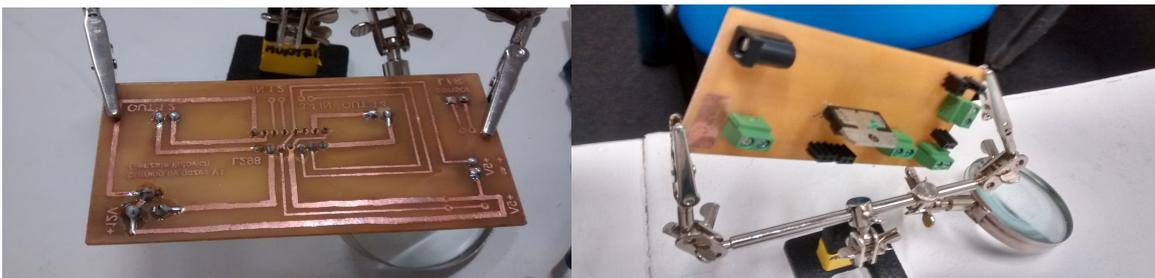


Imagen 35: plaqueta con L298N en fase de construcción

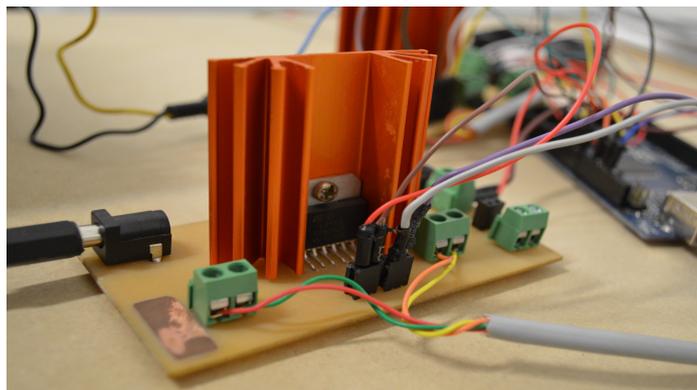


Imagen 36: plaqueta con L298N conectada con Aduino Mega 2560

4.2.4 Quemador

En cuanto al quemador, en principio se evaluó el uso de una resistencia tubular. Se realizaron pruebas con una resistencia de 40W. La misma logra alcanzar una temperatura de 312 grados, temperatura necesaria para hacer arder el papel de 80 gr. en el que esta impreso el texto, luego de 4 segundos de contacto. Se realizaron pruebas llevando a cabo el quemado del texto manualmente. Finalmente se abandonaron las pruebas, al notar que el material residual provocado por el contacto entre la superficie metálica de la resistencia y el papel, generaba la disminución de la temperatura de la resistencia dificultando su correcto funcionamiento.



Imagen 37: resistencia tubular de 40W

En segunda instancia se consideró el uso de un láser de alta potencia que pudiera quemar papel, como solución ante la dificultad del contacto de la resistencia y el residuo que esta genera. Se adquirió un diodo láser de 500 mw, capaz de generar un haz de luz de 890 nm, un modulo con disipador, un cabezal con lente colimador y un driver. Se llevaron a cabo pruebas pero aún no se logró producir quemaduras sobre papel blanco debido a la disipación de calor que este produce. Se espera llegar al quemado de papel, con un driver que entregue mayor potencia al diodo.



Imagen 38: diodo laser 500 mw / 890 nm



Imagen 39: modulo laser en fase de prueba

4.3. Sistema mecánico

La estructura del sistema mecánico está constituido principalmente por dos guías lineales cruzadas, por las que se deslizan dos rodamientos a bolas, generando grados de libertad en los ejes X e Y. Las guías lineales junto con los rodamientos a bolas son dispositivos mecánicos que permiten reducir la fricción en una máquina. Esto posibilita el fluido movimiento del quemador en cualquier punto dentro de un plano.



Imagen 40: Guía y rodamiento lineal a bolas

Ambas guías, se montaron sobre perfiles de aluminio tipo L de un metro de largo. Estos perfiles tienen como finalidad ser el soporte de la estructura. A estos se les adosa una cremallera de caucho en la que engranan los motores que posibilitan el movimiento.

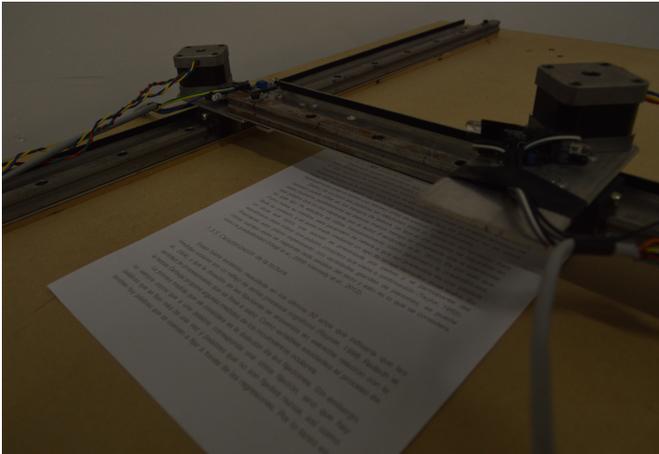


Imagen 41: Guías lineales montadas sobre perfiles de aluminio tipo L.

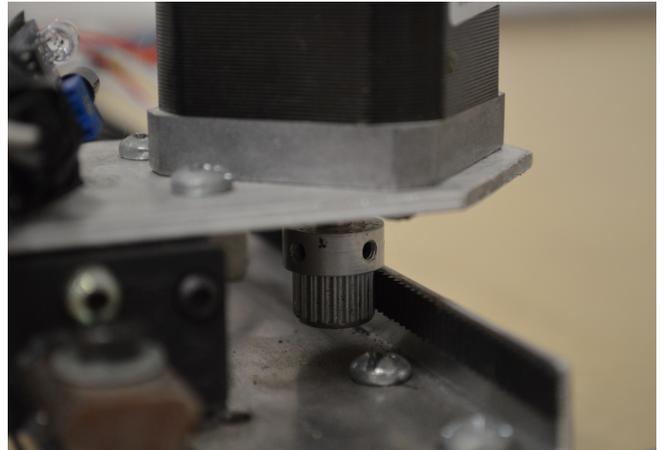


Imagen 42: Piñón engranando en la cremallera de caucho adosada al perfil de aluminio.

Sobre el lado izquierdo del dispositivo fue necesario colocar una barra rectificada con un rodamiento lineal de bolas recirculantes por el cual pudiera deslizarse el perfil de aluminio que posibilita el movimiento sobre el eje X.



Imagen 43: Perfil de aluminio montado sobre el rodamiento lineal de bolas recirculantes que se desliza sobre la barra rectificada.

Finalmente las guías lineales y la barra fueron fijadas a una superficie de aglomerado de fibras de madera MDF, con el objetivo de generar una superficie de fijación que enmarque el sistema mecánico, dándole firmeza y unidad al dispositivo.

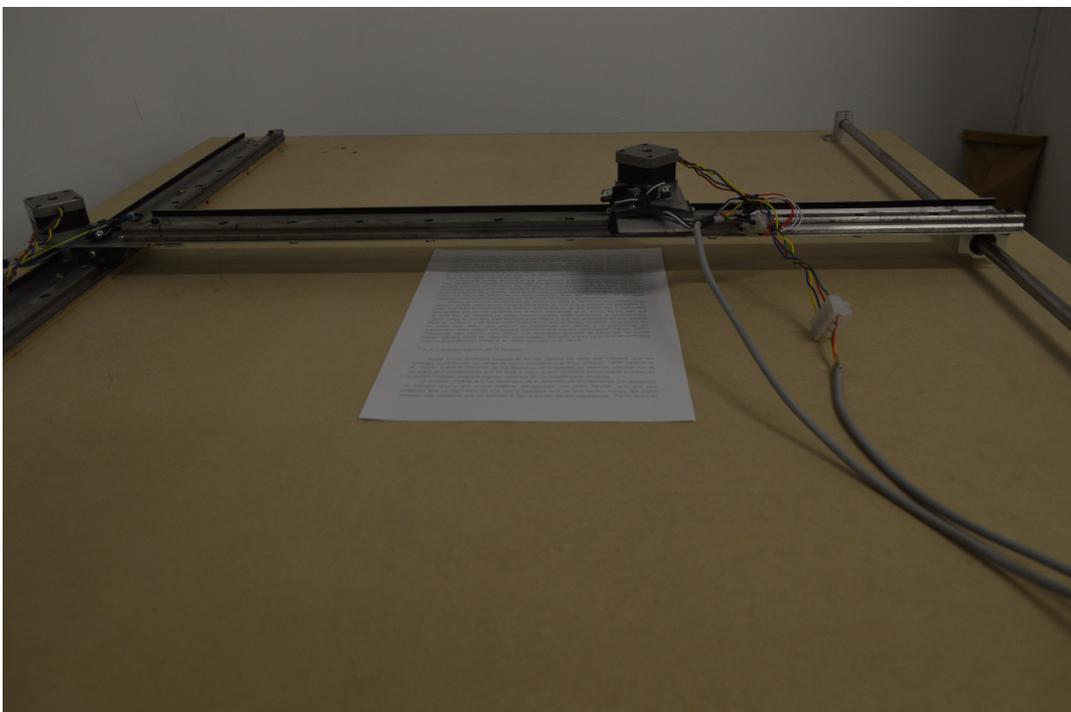


Imagen 44: Bastidor visto de frente con las dos guías lineales cruzadas y sobre el lado izquierdo, la barra rectificada sostenida por dos soportes en sus extremos.

Capítulo 5

Conclusiones

Como final de este trabajo es interesante detenerse en algunas cuestiones que surgieron a partir del armado del dispositivo mecatrónico y sobre todo en el diseño y desarrollo del experimento de posicionamiento ocular.

Como se dijo al inicio del punto 3.4, existen algunas diferencias en los métodos experimentales que describe Carbajal con los que fueron desarrollados para realizar este trabajo.

El primero de los experimentos, esta enmarcado en la dinámica de trabajo del Laboratorio de Neurociencia Integrativa de la UBA teniendo como objetivo caracterizar la lectura natural en textos extensos escritos en español. Para llevar a cabo esta labor, es necesario analizar una gran cantidad de datos a partir de modelos estadísticos. Es así, que se prepara la presentación de los textos organizándolos en pantallas que contienen como máximo 10 renglones, con un interlineado alto, generando una separación entre renglones que permite asociar rápidamente fijaciones a palabras (ver Imagen 27). Posteriormente en la etapa de preanálisis se descartan fijaciones que son consideradas erróneas. Las fijaciones erróneas son aquellas que no son producidas a partir de la lectura normal, es decir la lectura de izquierda a derecha. Por otra parte, para el análisis se tienen en cuenta únicamente las palabras de contenido (adjetivos, sustantivos y verbos), descartando la información obtenida sobre las palabras de función. Todo esto, de alguna manera desnaturaliza el proceso de lectura ordinario.

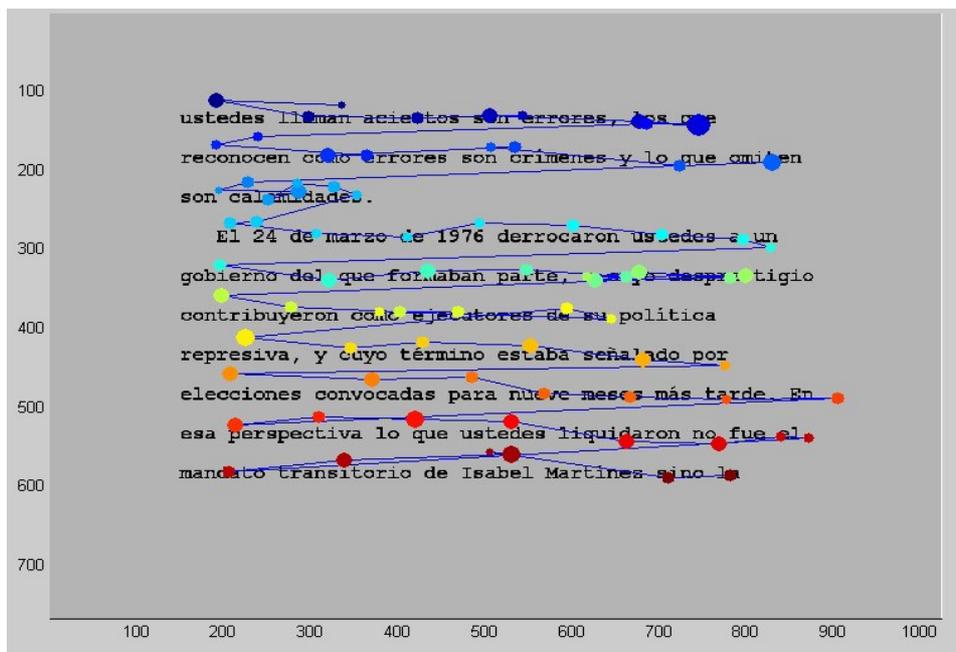


Imagen 45: movimientos oculares luego de la etapa de preanálisis durante uno de los experimentos llevados a cabo para la tesis de María Julia Carbajal. Se pueden observar como las fijaciones y sacadas señaladas se encuentran bastante ajustadas a los renglones en donde se encuentran las palabras y como los movimientos sacádicos dentro de un mismo renglón son de derecha a izquierda.

En el caso de la experiencia para “Historia del ojo”, en cambio, se tiene como objetivo realizar una medición que contenga todos los rasgos de los movimientos de los ojos durante la lectura teniendo en cuenta que las características del texto, conserve la re semblanza de un texto impreso. Es por eso que para la presentación del texto se tuvo en cuenta el formato de una página estándar de un texto impreso con el objetivo de generar en el lector una situación de lectura habitual. Por otra parte, en la etapa de preanálisis de este experimento, no se realiza una normalización de las fijaciones ni una depuración de datos, ya que ninguna de la información recolectada es considerada errónea, sino, que todo dato obtenido hace a la gestualidad de los movimientos del ojo durante la lectura. En este experimento, se tienen en cuenta movimientos relacionados al cansancio de la vista, regresiones y sacadas de todo tipo.

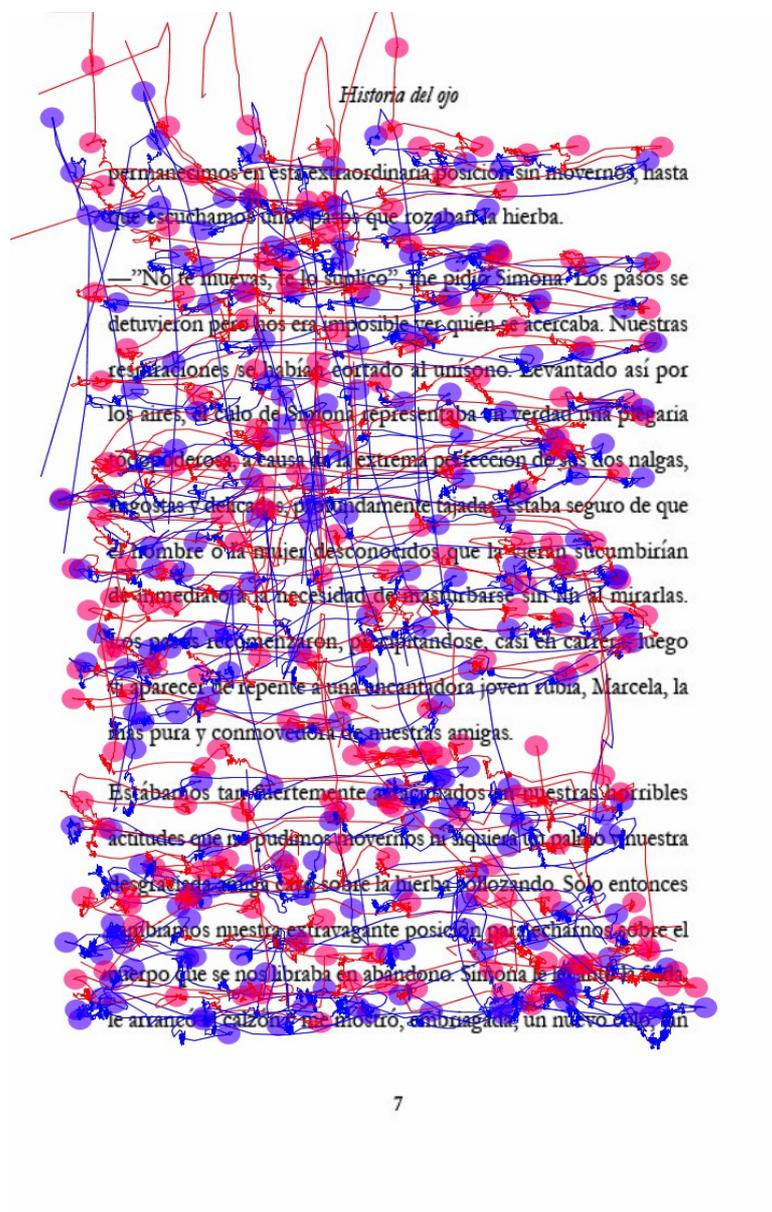


Imagen 46: en el experimento sobre el texto de Bataille, pueden verse fijaciones que no se ajustan a los renglones y movimientos regresivos o que continúan por fuera de la pantalla.

Como conclusión pudimos observar que ambos experimentos utilizan las mismas herramientas bajo métodos muy parecidos, pero poseen algunas diferencias, que producen que se genere información distinta en ambos casos. Esto se debe a los diferentes objetivos que motivan estas investigaciones y los ámbitos en que estas se encuentran enmarcados. Se pudo observar también, como Información que no es relevante para la investigación planteada por Carbajal, si lo es para este proyecto artístico, en donde toda rasgo captado durante la lectura, hace a la gestualidad del ojo humano mientras lee.

En cuanto al prototipo, fueron varias las complicaciones que surgieron a la que no permitieron la finalización del dispositivo. Por un lado, la movilidad del prototipo exhibe un comportamiento de oscilación que no permite ajustar la posición de los motores con la precisión necesaria. A su vez, las pruebas realizadas a partir de la librería stepper, no resultaron efectivas debido a la gran diversidad de motores paso a paso bipolares disponibles en el mercado y la diferente construcción que cada uno posee. Aún queda por realizar manualmente la programación, activando a través de impulsos eléctricos las bobinas según corresponda.

Por otra parte, aún se encuentra en etapa de desarrollo el laser que permite quemar el texto. Se logró generar un laser a partir de un diodo, pero las pruebas demostraron que la disipación de calor que se produce en la hoja blanca, impide el quemado de la misma.

A futuro se trabaja en el re diseño de un dispositivo mecánico más adecuado para el copiado de la gestualidad del ojo y más ajustado según consideraciones estéticas, como las dimensiones y los materiales utilizados.

Capítulo 6

Bibliografía

Maria Julia Carbajal, 2013, *Organización de procesos cognitivos en lectura natural*.

Kazimierski L., Lengyel I., 2012, *Caracterización de la mirada: propiedades locales de puntos observados en imágenes con contenido semántico y propiedades fundamentales de la mirada en presencia de estímulo auditivo*.

Kazimierski L., Lengyel I., 2011, *¿Un novio mira igual a su novia que su vecino? Propiedades locales de imágenes, subjetividad, y vínculo del observador*.

SR Research Ltd., 2005, *Eye-Link User Manual for EyeLink 1000, 2000 & Remote*.

SR Research Ltd., 2005-2007, *Eye-Link II User Manual*.

Andrew Knight, *Basics of MATLAB and Beyond*.

Massimo Banzi, *Getting Started with Arduino (Make: Projects)*.

Zacharias Vamvakousis, 2011, *The EyeHarp: A Gaze-Controlled Musical Instrument*.

Applied Science Laboratories, 2001, *Eye Tracking System Instruction Manual*.

Boehme, Meyera, Martinetz, Barth, 2006, *Remote Eye Tracking: State of the Art Directions for Future Development*.