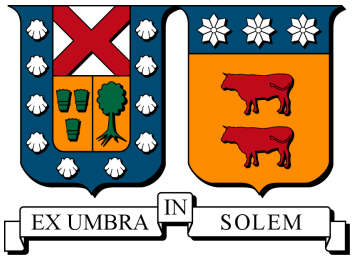
UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO - CHILE



”SISTEMA DE ESTIMULACIÓN VISUAL Y REGISTRO DE MOVIMIENTOS OCULARES PARA TAREAS SICOMOTORAS”

CHRISTIAN ANDRÉS WICHE LATORRE

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRÓNICO MENCIÓN CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

PROFESOR GUÍA: **MARÍA JOSÉ ESCOBAR SILVA**
PROFESOR CORREFERENTE: **MATÍAS ZAÑARTU SALAS**

JUNIO - 2018

Para aquellos que siempre me han apoyado e inspirado
y nunca leerán este trabajo.

Agradecimientos

Resumen

Este trabajo de título muestra la construcción e implementación de un sistema de estimulación visual y registro de movimiento ocular para uso en experimentos que evalúan tareas sicomotoras.

El estudio de las dinámicas del ojo y la capacidad de registrar sus movimientos ha permitido avances importantes en áreas diversas como entender el desarrollo de la enfermedad de Parkinson, estudiar la usabilidad de productos o la efectividad de la publicidad o entrenamiento en sistemas simulados, entre otros.

Cada experimento tiene requerimientos específicos, relacionados a las características técnicas de las tareas y a la forma en que se registran los parámetros de configuración de las mismas. El sistema desarrollado en este trabajo de título permite al usuario montar un experimento, ingresar los parámetros y definir tareas a través de una interfaz gráfica, sin requerir alterar el código del software.

El sistema propuesto incluye hardware (PC, monitores, *eye tracker* y apoya barbilla) y software para la adquisición de datos y la proyección del experimento.

Para demostrar el funcionamiento del sistema se incluye un ejemplo de aplicación, con instrucciones para realizar un experimento de muestra, ya sea mediante código o usando la interfaz gráfica, además de mostrar los resultados de este experimento.

Glosario

Ejes visuales	Corresponde a la proyección de una línea recta que pasa simultáneamente por el centro de la fóvea, y la pupila.
Esclerótida	Sección blanca del ojo que rodea a la pupila
Eye tracker	Dispositivo utilizado para realizar seguimiento de los movimientos oculares
Fóvea	Área de la retina que permite la visión más nítida y detallada
Log	Se asigna este término a un registro secuencial de todos los acontecimientos que afectan a un proceso particular.
Retina	Capa fotosensible ubicada en la parte posterior del ojo encargada de transducir estímulos lumínicos en impulsos nerviosos
Setup	Se asigna esta denominación a cierta configuración de un espacio de trabajo

Siglas

CRT	Cathode Ray Tube (Tubo de Rayos Catódicos)
EOG	Electro-OculoGraphy (Electro-oclulografía)
FP	Fixation Point (Punto de Fijación)
FPS	Frames Per Second (Cuadros Por Segundo)
GUI	Graphical User Interface (Interfaz gráfica de Usuario)
IR	Infra-Red (Infra-Rojo)
ISI	Inter Saccadic Inteval (Intervalo Inter-Sacádico)
RT	Response Time (Tiempo de Respuesta)
SL	Saccadic Latency (Latencia Sacádica)
SO	Sistema Operativo
SSC	Scleral Search Coil (Bobina Escleral de Búsqueda)
TP	Target Point (Punto Objetivo)
VOG	Video-OculoGraphy (Oculografía basada en Video)

Índice general

Agradecimientos I

Resumen II

Glosario II

1. Introducción **1**
1.1. Motivación 1
1.2. Objetivos 2

2. Estado del arte **3**
2.1. Movimiento ocular 3
2.2. Métodos de captura de movimiento ocular 5
2.2.1. Antecedentes históricos 5
2.2.2. Tecnologías actuales 6
2.2.3. Comparacióen entre tecnologías 9
2.3. Métodos de estimulación visual 10
2.3.1. Hardware de estimulación 10
2.3.2. Software de estimulación 12
2.3.3. Experimentos de estimulación 13
2.4. Sistemas de estimulación y registro visual 16

3. Sistema propuesto **18**
3.1. *Setup* a utilizar 18
3.2. Diseño del sistema 19
3.2.1. Primera parte: Estructura de datos 19
3.2.2. Segunda parte: Implementación de las funciones principales 23
3.2.3. Tercera parte: Interfaz gráfica 40

4. Resultados **41**
4.1. Comprobación de funcionamiento. 42

5. Conclusiones y trabajo futuro **44**
5.1. Conclusiones 44
5.2. Trabajo futuro 45

Referencias **46**

Índice de figuras

2.1. Estructura del ojo 3
2.2. Ejemplo de uso de SSG 7
2.3. Ejemplo de posicionamiento de electrodos para EOG 7
2.4. Principio de detección VOG en base a reflexión de luz 8
2.5. Muestra de *eye trackers* disponibles en el mercado con tecnología VOG basados en reflexión de luz IR 9
2.6. Tarea pro/anti sacádica. 14
2.7. Paradigmas de experimentación. 15
2.8. Tarea guiada por memoria. 16
2.9. *Setup* experimental típico 17
2.10. Diagrama general de la interfaz hombre-máquina 17

3.1. Diagrama de base de datos a implementar. 20
3.2. Diagrama de funcionamiento general. 23
3.3. Estructura de directorios para resultados. 24
3.4. Diagrama de clases del sistema (no considera *GUI*). 25

4.1. Centro de monitores de PsychoPy. 42
4.2. Datos registrados. 43

Índice de cuadros

2.1. Comparativa de los sistemas de adquisición encontrados 10
2.2. Comparativa de software de estimulación 13

3.1. Hardware y software utilizado en el desarrollo. 18
3.2. Métodos implementados en `utils`. 28
3.3. Métodos implementados en la clase `SaccadeDB`. 28
3.4. Métodos implementados en la clase `Configuration`. 30
3.5. Métodos implementados en la clase `ItemList`. 31
3.6. Métodos implementados en la clase `ItemListSequence`. 32
3.7. Métodos implementados en la clase `Component`. 34
3.8. Métodos implementados en la clase `Frame`. 35
3.9. Métodos implementados en la clase `Test`. 37
3.10. Métodos implementados en la clase `Experiment`. 39
3.11. Métodos implementados en la clase `ExperimentHandler`. 39
3.12. Métodos implementados en la clase `ExperimentRuntime`. 40

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Diariamente y sin prestar mayor atención, gran parte de la población utiliza sus ojos para interactuar con su entorno: se detienen a admirar el paisaje, leer un libro, revisar su teléfono, navegar en internet, verificar que sus alimentos se encuentran en buen estado, etc. A pesar de lo simple que puede parecer esta acción, en la realidad corresponde a un proceso sumamente complejo que involucra la participación de un sinnúmero de estructuras sensoriomotrices.

El simple hecho de orientar nuestra vista hacia un nuevo objetivo desencadena una serie de eventos fascinantes: El globo ocular rota hasta lograr posicionarse en una determinada dirección de forma tal que los rayos de luz que son reflejados por el punto de interés se proyectan en la retina, estructura que transduce esta información en impulsos eléctricos que son interpretados de forma posterior por el cerebro y que se traducen en información que percibimos como una imagen.

El estudio de las dinámicas del ojo y la capacidad de registrar sus movimientos ha permitido con el paso de los años avances importantes en áreas sumamente variadas como la detección y seguimiento de enfermedades, estudios de marketing y usabilidad, ayuda a personas con dispacidad, entrenamiento y detección de errores en sistemas simulados, defensa y seguridad, videojuegos y experiencia de usuario, entre otras.

La principal dificultad en los avances de todas las áreas recae no solo en la calidad del registro ocular tanto en presición temporal como espacial, si no, en la capacidad de correla-

cionar estímulos visuales y respuestas motrices con el fin de detectar la relación causa/efecto de los eventos. Para lograr esto, es necesario el uso de sistemas que permitan sincronizar las estapas de estimulación y registro de respuesta de forma tal de entregar insumos que permitan la obtención de información pertinente y útil del procesamiento posterior.

1.2. Objetivos

Así, el objetivo principal de este trabajo de título consiste en el diseño y construcción de un sistema de estimulación visual y registro de movimientos oculares enfocado en la realización de experimentos asociados a tareas sicomotoras. De esta forma, se presentan a continuación los objetivos específicos para el desarrollo:

(I) Definir y programar un mecanismo de estimulación visual acorde con las características técnicas de los protocolos utilizados en la realización de tareas sicomotoras.

(II) Implementar un sistema de sincronización entre el registro y la estimulación visual que permita la integración de un sistema de captura de movimiento ocular y que asegure el correcto registro de los datos.

(III) Integrar todas las etapas en una interfaz gráfica de usuario (*GUI*).

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Movimiento ocular

La acción de dirigir la mirada hacia un objeto (*fixation point*) es parte fundamental del proceso de visión. Este acto involucra el direccionamiento de los ejes visuales (ver figura 2.1) hacia un objetivo determinado, permitiendo la realización de análisis visuales precisos. Dicha orientación muchas veces implica movimientos coordinados de los ojos, cuello y cabeza, no obstante, existen movimientos más pequeños que son realizados únicamente por los ojos, conocidos como movimientos sacádicos [1, 2].

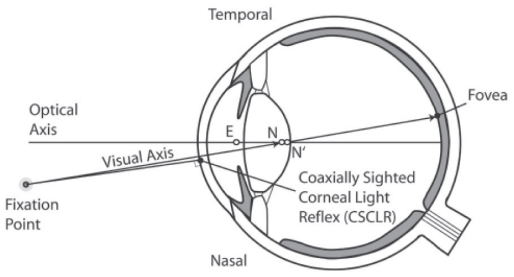


Figura 2.1: Estructura del ojo[1].

En la figura 2.1 se observa un esquema simplificado del ojo observado desde la parte superior de la cabeza. En ella pueden apreciarse las proyecciones del eje óptico (*optical axis*) y visual (*visual axis*) del ojo, que corresponden a líneas imaginarias que van desde el

[1]Fuente imagen: J. T. Schwiegerling, "Eye Axes and Their Relevance to Alignment of Corneal Refractive Procedures", Journal of Refractive Surgery, vol 29(8), pp. 515-516, fig. 1-D.

centro de la retina y fóvea respectivemente, pasando por la parte posterior del cristalino y extendiéndose luego a través de la pupila y córnea.

Los movimientos sacádicos corresponden a las rotaciones que realiza el globo ocular entre dos momentos de posicionamiento estacionario, por tanto se traducen en el consecuente desplazamiento de la pupila. Dichos movimientos pueden ocurrir tanto en el eje horizontal como vertical y se encuentra aún en discusión [2, 3] si se entrega información visual en todo momento o solo es relevante al mantener la mirada detenida en alguna posición. Los movimientos sacádicos ocurren en todo momento y pueden estar provocados por procesos cognitivos conscientes o inconscientes. Independientemente de la naturaleza de estos movimientos, ambos generan patrones que permiten la construcción de un mapa mental de la escena observada. La necesidad de redireccionar el eje visual constantantemente para analizar una imagen se relaciona con la idea de que, en el ojo humano, solo la parte central de la retina (fóvea) se encuentra encargada de la visión en alta resolución, pues presenta una alta concentración de células fotorreceptoras sensibles al color.

Existen dos tipos de movimientos sacádicos: Los voluntarios, también conocidos como provocados, que implican control consciente sobre los procesos cognitivos y los reflexivos o automáticos, que corresponden a la respuesta natural a la aparición de un nuevo estímulo visual.

Las características principales de dichos movimientos son:

1. Por su naturaleza los movimientos sacádicos se consideran balísticos, lo que quiere decir que la posición de destino no cambia durante el desarrollo del movimiento. Esto puede entenderse también como que el objetivo se encuentra predeterminado en el momento de partida.
2. La velocidad de las sacadas[2] aumenta de forma no lineal en la medida que aumenta la amplitud de movimento y puede alcanzar magnitudes de hasta $600 - 700[\frac{grados}{s}]$. Además, la duración del movimiento puede fluctuar entre $20 - 120[ms]$, aunque en promedio solo dura de $20 - 40[ms]$.
3. La precisión del movimiento sacádico presenta un error que varía entre el $5 - 10\,\%$ de la amplitud total del movimiento. Las correcciones son realizadas por desplazamientos

[2]Forma de referirse a un movimiento sacádico.

de calibración denominados micro-sacadas, que permiten además realizar tareas que requieren de gran presición visual [4]. Estos métodos correctivos permiten suponer que existe algún tipo de procesamiento paralelo encargado de la calibración ocular de largo plazo [2].

Las características expuestas entregan, a grandes rasgos, nociones que permiten comprender el por qué su estudio se ha vuelto común en campos científicos como la neurociencia: Dado que los movimientos del globo ocular son caracterizables, de patrones definidos y de alta precisión es posible identificar mediante ellos enfermedades cuyos síntomas se traduzcen en alteraciones de las capacidades motrices y cognitivas de zonas que decidan el punto de destino de futuras sacadas. Un ejemplo de esto es la enfermedad de Parkinson, donde una afección crónica a los ganglios basales produce una reducción progresiva de la sustancia negra lo que se traduce en una producción insuficiente de dopamina, neurotransmisor presente en diversas áreas del cerebro y que es especialmente relevante para la función motora. Esta insuficiencia se traduce en aumentos en los tiempos de respuesta y tasas de error en diversas tareas asociadas a movimiento ocular [5, 6, 7, 8] (ver 2.3.3).

2.2. Métodos de captura de movimiento ocular

2.2.1. Antecedentes históricos

Para poder registrar los movimientos oculares es necesario el uso de equipamiento especializado que, por su función y sin importar la tecnología utilizada, se denomina por su nombre en inglés: *eye tracker*. A modo introductorio se presenta a continuación una pincelada de su desarrollo en la historia [9, 10]

La primera aparición de dispositivos de este tipo data de finales del siglo XIX [11, 12] y permitieron objetivizar las investigaciones de comportamiento existentes. Sus primeras versiones consistieron en sistemas sumamente invasivos donde alambres finos conectados a una especie de lente de contacto movían una serie de palancas que amplificaban el movimiento y lo registraban en papel. Por su contrucción, dichos dispositivos permitían observar el comportamiento espacial, mas no el temporal.

A principios del siglo XX comenzaron a desarrollarse sistemas más parecidos a las tecnologías actuales de la mano de técnicas no invasivas basadas en óptica y reflexión de luz: La proyección de luz sobre la córnea genera reflejos que se mueven de forma similar a la pupila. Si se hace posible su registro, es posible conocer el movimiento ocular tanto horizontal como vertical, más no rotatorio [13]. Este método revolucionario marcaría los desarrollos futuros en esta área.

En la década de los 70', gracias a los avances en sistemas de grabación de video y procesamiento digital, se hizo posible detectar electrónicamente características del movimiento en base al contraste existente entre la esclerótida y los bordes del iris. Debido a los efectos de sombra producidos por los párpados, este método presentaba problemas para detectar movimientos verticales, no obstante, permitía registrar movimiento horizontal con buena calidad.

De forma posterior y en base a estos avances iniciales fueron desarrolladas las tecnologías que, cada vez más, permiten obtener información relevante sin producir daño sobre quienes forman parte de los experimentos, reduciendo así las limitantes en este campo de investigación.

2.2.2. Tecnologías actuales

En la actualidad existen una gran gama de tecnologías para registrar movimiento ocular [9, 10, 14]. A continuación se indican las más relevantes:

1. **Bobina escleral magnética (SSC):** Esta técnica requiere del uso de lentes de contacto de gran tamaño directamente sobre el globo ocular. Dicho lente posee dos pequeñas bobinas de alambre que, al ser alineadas con el eje de visión e inducidas por campos electromagnéticos externos de alta frecuencia, permiten obtener información sobre la dirección en la que se encuentra el ojo en forma de voltaje. A pesar de la gran incomodidad que producen (ver figura 2.2), esta técnica es una de las más precisas y exactas.

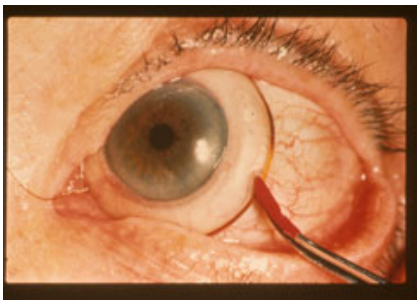


Figura 2.2: Ejemplo de uso de SSG[3].

2. **Electro-OculoGrafía (EOG):** Este método de seguimiento ocular permite determinar la dirección en la que se encuentra direccionado el ojo en base a la medición de diferencias de potencial eléctrico en la piel. En la medida que el ojo rota, el dipolo producido por la córnea y la retina cambia su orientación, lo que se ve reflejado en los potenciales de las zonas aledañas. Sus ventajas principales, además del bajo costo, son su buena precisión temporal y la capacidad de medir el movimiento ocular incluso aunque los ojos se encuentren cerrados (lo que hace de este método una herramienta interesante en casos de estudio de sueño) y que las mediciones son relativas a la posición de la cabeza. No obstante lo anterior, la precisión y exactitud de las mediciones obtenidas es baja ya que se encuentran sujetas a artefactos como el movimiento de los párpados. La figura 2.3 muestra el posicionamiento típico de los electrodos en este tipo de *setup*.

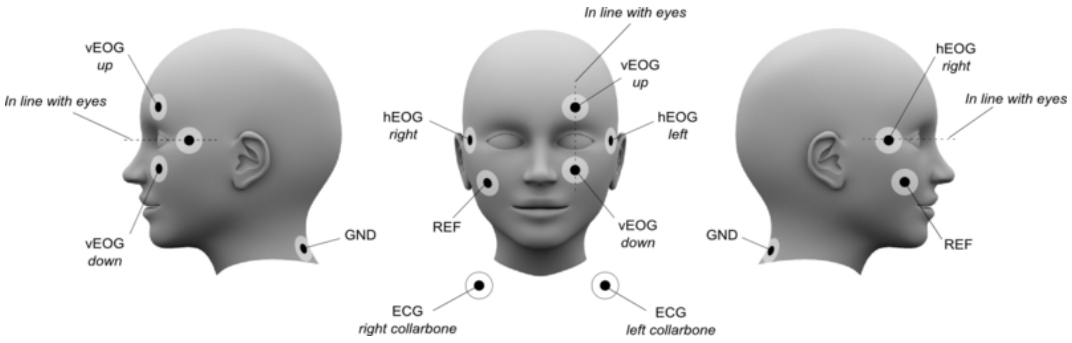


Figura 2.3: Ejemplo de posicionamiento de electrodos para EOG[4].

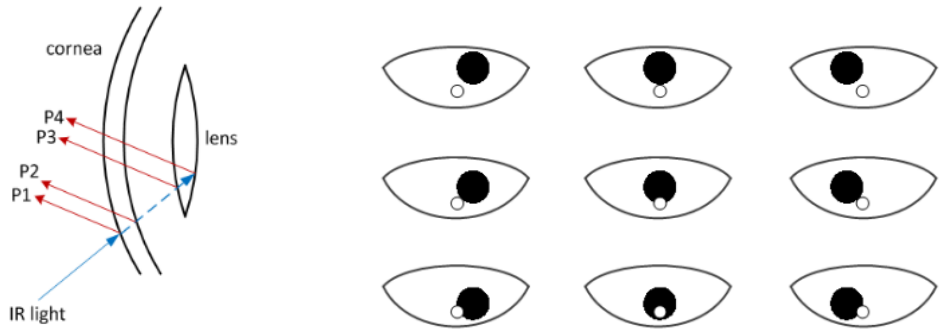
3. **Seguimiento ocular basado en video (VOG):** Este método de seguimiento ocular es el más popular en la actualidad. Consiste en capturar, con una o más cámaras, la actividad ocular y mediante procesamiento de imágenes determinar en que dirección se

[3]Fuente imagen: http://www.dizziness-and-balance.com/practice/default.htm
[4]Fuente imagen: http://sbiwiki.cns.ki.se/mediawiki/index.php/Natmeg/checklist_MEG_preparation

encuentra orientada la mirada. El procesamiento puede ser dividido en dos etapas principales: en la primera se detecta y localiza el ojo en la imagen, para lo que típicamente se utiliza la pupila o el iris y la segunda etapa corresponde al proceso por el cual se estima hacia donde se encuentra dirigido.

Dentro de las técnicas VOG existentes la más utilizada corresponde a la estimación mediante reflexión corneal (con una fuente de luz típicamente infrarroja (IR)) y detección de pupila. Los focos de luz se ubican de forma que siempre se encuentren en la misma posición respecto del ojo, con lo cual la reflexión se mantiene virtualmente siempre en el mismo lugar. De esta forma la estimación se genera en base a la diferencia entre la ubicación de centro de la pupila y la posición de la reflexión.

El principio de funcionamiento asociado a este método se basa en las imágenes de Purkinje-Sanson que describen la existencia de al menos 4 reflexiones de luz producidas por la córnea y el cristalino (figura 2.4 (a)) que pueden ser utilizadas como referencia para estimar la posición del ojo. En la figura 2.4 (b) es posible observar la primera reflexión de Purkinje en relación a distintas posiciones de la pupila.



(a) Reflexiones de Purkinje-Sanson

(b) Posición de la reflexión P1 relativa al centro de la pupila.

Figura 2.4: Principio de detección VOG en base a reflexión de luz [14].

La presentación de estos dispositivos es variada y van desde cascos y lentes hasta trípodes y columnas donde se integran un elemento apoya-baribilla y el *eye tracker*, como en la figura 2.9. En la figura 2.5 se muestra un par a modo de referencia.

(a) Tobii Pro Glasses 2 (b) MiraMetrix S2

Figura 2.5: Muestra de *eye trackers* disponibles en el mercado con tecnología VOG basados en reflexión de luz IR[5].

2.2.3. Comparacióen entre tecnologías

En la literatura consultada [9, 10, 14] se entregan nociones sobre las capacidades operativas que se resumen en la tabla 2.1 para EOG, SSG, VOG (común) y DPI (VOG de gama alta utilizando distintas reflexiones de Purkinje).

En esta, es posible evidenciar a grandes rasgos la cantidad de parámetros a considerar en el proceso de elección de una tecnología particular: Debe existir un compromiso entre la comodidad para el usuario, las prestaciones tanto en precisión temporal como espacial, dificultad para obtener una buena calibración, etc. De forma tal que permitan la ejecución de cierto tipo de experimentos.

Si lo que interesa medir corresponde al efecto de, por ejemplo, las micro-sacadas en el proceso visual, la principal preocupación se centra en obtener una alta precisión espacial y temporal con el fin de caracterizar correctamente estos movimientos. Por otro lado, si lo que interesa estudiar son los patrones de comportamiento de usuarios para un estudio de usabilidad[6] en un sitio web, estas variables no son tan importantes como la comodidad del usuario, ya que sus acciones deben corresponder lo más posible a una situación común, con el fin de reflejar correctamente sus intereses.

[5]Fuente imagen: https://www.tobii.com/ y https://www.microway.com.au/ respectivamente.

[6]Estudios enfocados en caracterizar la experiencia de usuario e identificar el comportamiento del mismo en alguna plataforma (pagina web, aplicación, etc.).

	EOG	SSG	VOG	DPI
Precisión espacial (grados)	$\approx 0{,}5$	$\approx 0{,}01$	$\approx 0{,}05$	$\approx 0{,}017$
Precisión temporal[7](Hz)	40	500	$50 - 400$	$500 - 1000$
Registro de mov. verticales	Es posible pero se encuentran sujetos a error por efecto de artefactos producidos por el párpado	Si	Si	Si
Registro de torsión	No	Si	Si	Si
Tiempo de *setup*	Lento debido a que requiere la utilización de electrodos	Lento	Rápido	Rápido
Requiere calibración por enfoque	Si	No	Si	Si
Complejidad de calibración	Requiere configuración bitemporal	La no-linealidad puede ser compensada con un modelo basado en ajuste de parámetros	Buena linealidad	Buena linealidad
Invasividad	Electrodos cercanos al ojo (sin contacto), no afecta el campo visual	Lentes de contacto, posibles efectos negativos en precisión visual, incomodidad	Aparato montado en la cabeza (sin contacto con los ojos), limitación moderada del campo visual	Cabeza inmovilizada en un soporte de barbilla, limitación moderada del campo visual

Cuadro 2.1: Comparativa de los sistemas de adquisición encontrados en [9, 10, 14].

2.3. Métodos de estimulación visual

2.3.1. Hardware de estimulación

Debido a que la presentación de resultados de investigación científica requieren de que los datos obtenidos sean comprobables y los experimentos reproducidos, es que se hace necesario declarar de forma precisa las características de los estímulos, métodos utilizados para adquirir datos y técnicas aplicadas en el procesamiento posterior. Por lo cual, la elección del artefacto de estimulación es una tarea particularmente sensible [15].

[7]Frecuencia de muestreo.

A lo largo de la historia, los investigadores dedicados al estudio del movimiento ocular han usado diversas tecnologías con el propósito de estimular visualmente a sus pacientes, no obstante, no fue hasta la década de los 70' y de la mano de los computadores, que los monitores CRT revolucionaron este campo de investigación convirtiéndose en el estándar durante décadas. El motivo principal de su popularidad dice relación con la capacidad que brindan, mediante la programación en computador, de diseñar con relativa facilidad una gran gama de pruebas y experimentos distintos, lo que permitió explorar de forma rápida nuevos métodos e hipótesis. Esto, complementado a la integración del control de los parámetros de estimulación y almacenamiento de resultados e historiales en el mismo dispositivo permitió robustecer los procesos de investigación debido a la capacidad de repetir los experimentos sin afectar las características de los estímulos.

Las limitantes de los primeros dispositivos se fueron subsanando con el avance de la tecnología, de esta forma, los monitores análogos avanzaron hasta alcanzar tasas de refresco elevadas ($\geq 200[Hz]$), una gran gama de colores, buena resolución espacial (alcanzando hasta $1600[px]$ de ancho), un rápido decaimiento del fósforo de la pantalla que se traduce en tiempos de repuesta reducidos ($< 1[ms]$) y un buen tamaño (típicamente $20[pulg]$ en la diagonal). En base a esta información pueden definirse dos conceptos relevantes para el hardware de estimulación:

1. **Tasa de refresco (FPS):** Dice relación con la cantidad de veces que se actualiza la imagen de la pantalla por cada segundo. Influye en el timing de los estímulos.
2. **Tiempo de respuesta (RT):** Es cuanto demora un pixel de la pantalla en cambiar su color de blanco a negro. Influye en la calidad y nitidez de las imágenes.

A pesar de la mejoras considerables en sus características, las nuevas tecnologías han hecho desaparecer a los monitores CRT del mercado, siendo más comunes ahora monitores LCD, LED y oLED que tienen pantallas de mayor tamaño, menor consumo de energía, menor radiación electromagnética y una menor huella de carbono. Es importante destacar que, a pesar de que el aspecto de las nuevas tecnologías es similar, sus principios de funcionamiento, capacidades y características difieren.

Existen varias consideraciones que hacer al utilizar estas tecnologías [16, 17]. Transversalmente se tiene un problema de *timing* debido a las bajas tasas de refresco de la mayor parte

de los monitores modernos, lo que vuelve una tarea no trivial el cumplir con los requerimientos de los estímulos y evitar que el usuario perciba una falta de fluidez en la presentación, lo que podría producir que distraiga su atención. En este sentido, por ejemplo, aunque muchos monitores modernos indican que su tasa de refresco se encuentra entre $60 - 75[Hz]$, no se aclara en sus hojas de datos cual es el límite efectivo. Este punto se vuelve crítico si se considera que una buena parte de los equipos modernos incorporan sistemas de procesamiento de imagenes para mejorar la calidad, lo que retrasa aún mas estos tiempos.

Otro elemento de cuidado es el tiempo de respuesta. Si este es elevado, producirá un efecto de halos o rastros de luz cuando las imágenes se mueven con rapidez, por esto, es ideal asergurar que este sea reducido para lograr que el cambio entre imágenes no sea notorio y afecte el experimento (esto se hace más presente en casos en los que se muestra secuencias de video).

Finalmente, es importante compaginar las características del experimento con las propiedades lumínicas del equipo ya que es sabido que en tecnologías como la de los monitores LCD tanto el ángulo del observador respecto de la pantalla como las distintas zonas de la misma afectan el color/contraste observado (efecto de retro-iluminación).

2.3.2. Software de estimulación

Tal como se indicó en el apartado anterior la generación de estímulos es una pieza clave en la realización de experimentos ya que permiten preparar un escenario adhoc para la obtención de datos específicos. En el sitio web de Hans Strasburger [18] es posible encontrar una larga lista de software especializado para el desarrollo de experimentos en el área de la psicofísica además de referencias e información sobre sus características. A modo de resumen se presenta en el cuadro 2.2 una comparación entre algunas de las aplicaciones indicadas en la página[8].

[8]Esta selección fue realizada en base al número de citas para cada aplicación en Google Scholar.

	PsychoPy	VissionEgg	PsychoToolbox	Stimulus Presentation
Tipo de software	Open source			Privativo, de pago
Plataforma	python + OpenGL		Matlab/Octave	Software independiente (IDE con editor de python)
Sistema operativo	Linux, MacOS, Windows			Windows
Fecha de última actualización	$Dec/2017$	$Sep/2014$	$Oct/2017$	$Abr/2017$
Citaciones en Google Scholar	2220	427	6310	3520
Programable	Si			
Imágenes y Video	Si			
Sonido	Si			
Soporte para *Eye trackers* incluido	Si	No	Si	Si
Capacidad para registro de data	Si	No	Si	Si
Documentación/Foro disponible	Si	No (Link caído)	Si	Si

Cuadro 2.2: Comparativa de software de estimulación [19, 20, 21, 22].

2.3.3. Experimentos de estimulación

Debido a la versatilidad de los movimientos sacádicos, se ha desarrollado con el tiempo un número importante de tareas sicomotoras para probar distintos mecanísmos cognitivos. Por este motivo y a modo de acotar las actividades asociadas a este trabajo de título, se desarrollará el sistema propuesto de forma tal que permita solo la implementación de experimentos con características similares a los presentados en [5, 6, 7, 8, 23], que corresponden a métodos utilizados en la evaluación y caracterización de desempeño sicomotor en pacientes que padecen la enfermedad de Parkinson. Dichas tareas corresponden a la evaluación de movimientos pro-sacádicos, anti-sacádicos y aquellos guiados por memoria.

En la explicación de estos experimentos se utilizarán dos elementos importantes. El primero corresponde al punto de fijación o FP y el segundo al punto objetivo o TP. FP es un punto ubicado en el centro de la estimulación a modo de referencia y se utiliza para calcular las amplitudes de los movimientos oculares. TP es un punto objetivo que sirve como guía en la realización de los movimientos.

Métricas de interés

Las métricas principales a considerar para este tipo de experimentos son:

1. **Latencia sacádica (SL):** Lapso de tiempo que transcurre entre la aparición de un nuevo estímulo y el comienzo de una sacada $[ms]$.
2. **Intervalo inter-sacádico (ISI):** Tiempo entre el término de un movimiento sacádico y el comienzo de otro en $[ms]$.
3. **Ganancia inicial de movimiento:** Corresponde a una medida de presición del movimiento ocular. Relaciona la amplitud efectiva de la sacada realizada y la amplitud existente entre el punto de inicio y el punto de destino.
4. **Tasa de error:** Relación entre el número de veces que el movimiento ejecutado fue errado y el total de movimientos realizados.

Movimientos pro/anti sacádicos

Aunque se parecen en estructura, el enfoque de estas tareas es completamente distinto. La medición de la respuesta prosacádica tiene como fin el cuantificar la capacidad del individuo para responder de forma reflexiva frente a un nuevo objetivo y entrega información que suele utilizarse como base para comparar otros métodos. Por otro lado, la actividad antisacádica implica la inhibición del comportamiento reflexivo y la realización de un movimiento voluntario en la dirección opuesta, de esta forma la información obtenida permite conocer el estado de estructuras cerebrales como el lóbulo frontal, en donde se procesan las funciones ejecutivas.

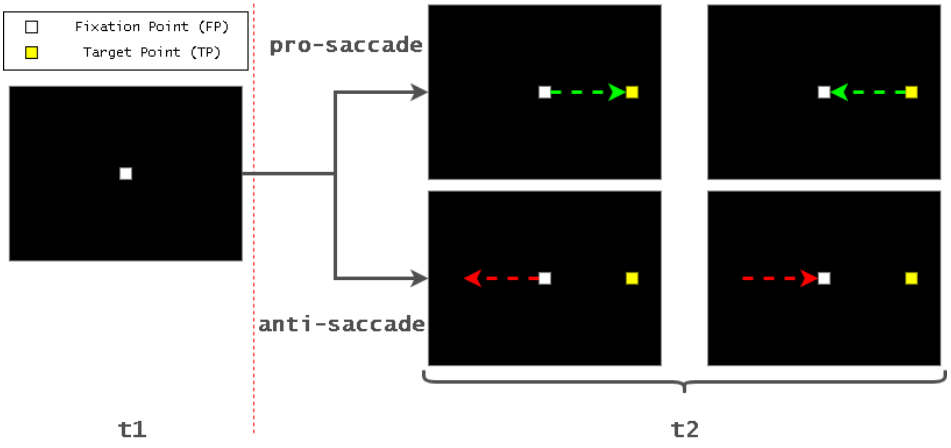


Figura 2.6: Tarea pro/anti sacádica.

Los tipos de movimientos descritos se estudian mediante estímulo similares al propuesto en la figura 2.6. Usualmente se pide al sujeto que mantenga su vista en FP (blanco) durante algún tiempo t_1 hasta que aparezca TP (amarillo) y luego realice la tarea solicitada, para lo cual se otorga un tiempo t_2. En el caso de los movimientos prosacádicos, como ya fue explicado con anterioridad, se debe rotar los ojos hacia TP y luego volver a FP (flechas verdes). Para movimientos antisacádicos se realiza la acción contraria (flechas rojas). En algunos casos resulta conveniente añadir una imagen de feedback al final del experimento para indicar si la tarea fue realizada correctamente.

Estos experimentos pueden ser modificados y complementados con el fin de estudiar actividades cognitivas más complejas. Típicamente estas variaciones aplican uno o más paradigmas como los que se muestran en la figura 2.7, donde puede apreciarse un diagrama de temporización de un estímulo bajo el efecto de los paradigmas de *gap*, *overlap* y *delay*.

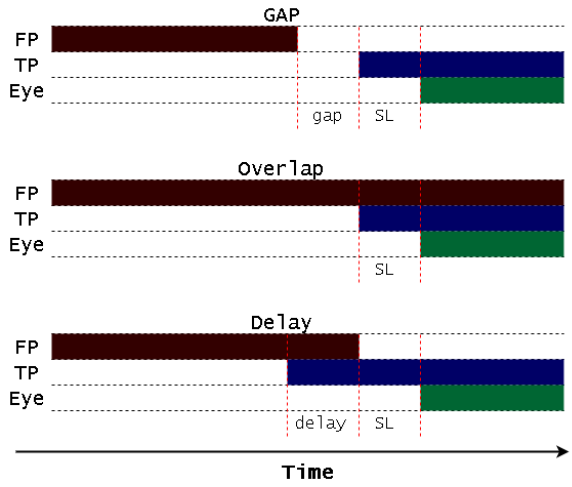


Figura 2.7: Paradigmas de experimentación.

Los paradigmas de estimulación permiten analizar el desempeño en distintos escenarios. En el caso de *gap* y *overlap* se incluyen distractores que corresponden a un espacio de tiempo sin estímulo entre FP y TP y a mantener FP durante la presentación de TP respectivamente. En el caso de *delay* se incluye la dificultad de esperar a que FP desaparezca antes de realizar la tarea asociada a la aparición de TP.

Movimientos guiados por memoria

Los experimentos guiados por memoria corresponden a tareas en las cuales el usuario debe repetir con movimientos oculares algun patrón observado con anterioridad.

En la figura 2.8 es posible observar un diseño simple para este tipo de experimentos. Despues de mantener FP (blanco) por un lapso t_1 en pantalla se muestra una serie de objetivos T_n (amarillo) en intervalos de tiempo idénticos, luego se muestra nuevamente TP por un lapso t_3 para indicar que ha finalizado la serie y dar tiempo al usuario para prepararse. Finalmente se solicita que se muevan los ojos en secuencia por los puntos en que se vio aparecer los objetivos (flechas rojas).

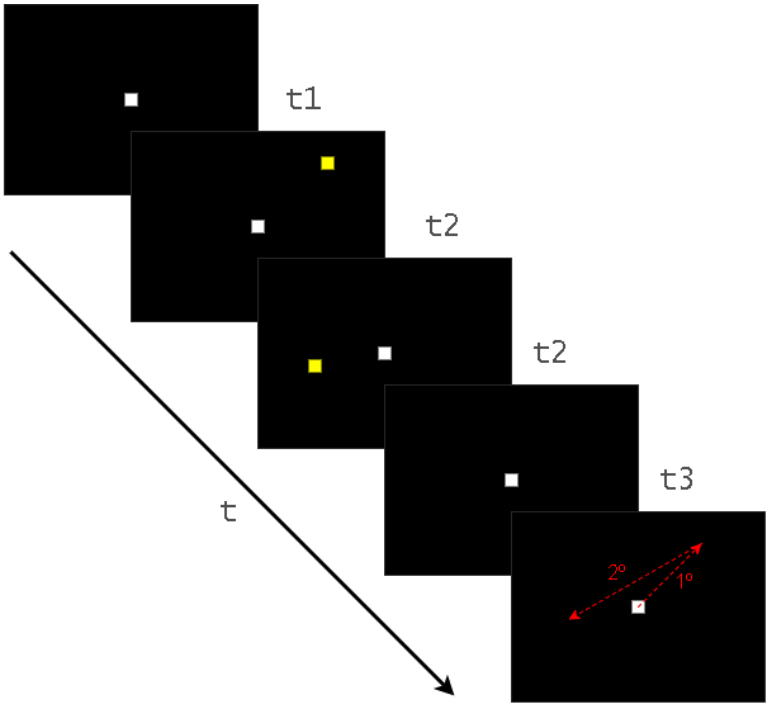


Figura 2.8: Tarea guiada por memoria.

2.4. Sistemas de estimulación y registro visual

A continuación se muestran los elementos principales requeridos para la configuración y puesta en marcha de un sistema de estimulación visual y registro de movimiento ocular según lo propuesto por Scott MacKenzie en [24].

En la figura 2.9 se presenta a modo de ejemplo un *setup* típico en estudios de movimiento

ocular. Su configuracón consiste en un monitor LCD, un *eye tracker* de trípode que en este caso se encuentra montado en un apoya-barbilla y un teclado en el caso de requerir interacción con el usuario. El apoya-barbilla cumple dos funciones sumamente importantes: Mantiene al usuario a una distancia determinada de la pantalla, lo que permite generar estímulos en un rango visual específico y ayuda al paciente a no mover su cabeza durante el experimento, con lo cual se evitan distorsiones en las mediciones realizadas por el *eye tracker*.

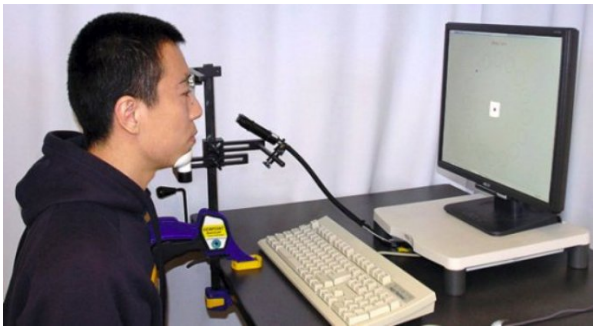


Figura 2.9: *Setup* experimental típico [24].

En la figura 2.10 se pretende explicitar la función del sistema de estimulación - adquisición - registro y los requerimientos del mismo. El software asociado al sistema debe ser capaz de manejar la interfaz con el usuario para poder entregar estímulos (visuales principalmente) y recibir las respuestas asociadas (en forma de datos de posicionamiento ocular o respuestas solicitadas por pantalla) de forma de agrupar las acciones temporalmente, permitiendo de esta forma dar sentido a los datos obtenidos en el experimento.

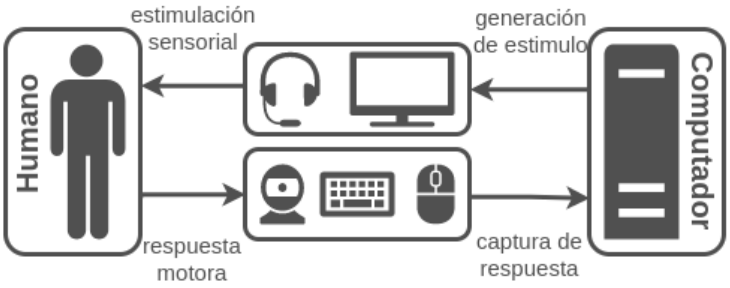


Figura 2.10: Diagrama general de la interfaz hombre-máquina [24].

Capítulo 3

Sistema propuesto

3.1. *Setup* a utilizar

Debido a que este trabajo de memoria corresponde fundamentalmente a una prueba de concepto se decidió junto al profesor guía evitar en lo posible la compra de nuevo equipamiento y por tanto no se entrega particular importancia a cumplir de forma estricta con las características de hardware utilizado en instancias formales de investigación. Con esto en consideración se presenta a continuación una descripción del entorno de hardware y software utilizado:

Hardware	PC	Procesador:	Intel Core i7-3770
		Memoria RAM:	16,0$[GB]$, DDR3, 650$[MHz]$
		Disco duro:	Samsung SSD, 840 Series, 120$[GB]$
		Tarjeta gráfica:	NVIDIA GeForce GTX 660 Ti, 2$[GB]$
	Monitores	Principal:	Samsung SyncMaster, $1680 \times 1050[px]$, 60$[Hz]$
		Secundario:	Samsung SyncMaster, $1680 \times 1050[px]$, 60$[Hz]$
	Adquisición	*Eye tracker*:	EyeTribe
	Otro	Apoya-barbilla:	Hecho a medida[1].
Software	Entorno	SO:	Windows 10 Pro x64
		Base:	Python 2.7 x86, Anaconda
	Módulos	Principal:	PsychoPy 1.84.2 [25]
		Requeridos:	Ver anexo **??**

Cuadro 3.1: Hardware y software utilizado en el desarrollo.

[1] Diseñado y construido por Christopher Rozas con colaboración del departamento de IDP de la Universidad Técnica Federico Santa María.

La elección de software se encuentra infuenciada fuertemente por los siguientes puntos:

1. El *eye tracker* a utilizar solo tiene disponible sus drivers para Mac y Windows. Debido a la facilidad de encontrar computadoras con Windows se decanta por este SO.
2. Los desafíos del sistema a implementar requieren del uso de un lenguaje orientado a objetos. A pesar de las bondades de Octave o Matlab en procesamiento y acceso a módulos complementarios estos entornos carecen de buen soporte para este tipo de programación, por este motivo se utiliza Python como lenguaje de desarrollo.
3. Dentro de las opciones disponibles PsychoPy resulta sumamente interesante. Cumple con ser open-source, es ampliamente utilizado por investigadores, presenta documentación detallada y clara para todas sus funciones y los foros se encuentran activos. Otro punto interesante es que entrega soporte para varias marcas de *eye tracker*, entre los cuales se encentra el seleccionado.

3.2. Diseño del sistema

El sistema a ser desarrollado en este trabajo de título tiene como función principal facilitar el proceso de configuración y puesta en marcha de experimentos asociados a movimiento ocular. Para esto, se considera oportuno subdividir el desarrollo en tres partes: La primera consiste en determinar la estructura de datos requerida para almacenar tanto las configuraciones del sistema como de las tareas a implementar. La segunda implica la implementación de los métodos de configuración y ejecución del experimento, asegurando su correcto funcionamiento. La tercera etapa corresponde a montar estas funciones en una *GUI* para facilitar el proceso a personas que no tengan conocimiento del lenguaje. Así, se presenta a continuación el trabajo realizado.

3.2.1. Primera parte: Estructura de datos

Al diseñar la estructura de datos se debió considerar el problema desde tres aristas. La primera correspondía a la necesidad de almacenar la información del conjunto compuesto por experimento-tareas-cuadros-componentes donde, complementando lo expuesto en el apartado 2.3.3, las tareas corresponden a las actividades específicas que el paciente debe reaizar.

Los cuadros corresponden a los elementos que conforman dichas tareas y los componentes serán considerados como las figuras e imágenes contenidas en cada cuadro. La segunda dice relación con la información complementaria que se desea incluir para posterior análisis, tal como comentarios del investigador encargado del experimento para una sesión específica o algunas características de quien realizará el experimento, tales como su edad, sexo, color de ojos o si se utilizan lentes durante la ejecución. Finalmente, la tercera arista implica el conservar las configuraciones del equipo y hardware a utilizar para montar el servicio de ejecución asociado al módulo ioHub, que es el componente de PsychoPy que permite sincronizar todos los dispositivos asociados a la ejecución del experimento: teclado, pantalla, *eye tracker*, etc. y almacenar los datos en un archivo.

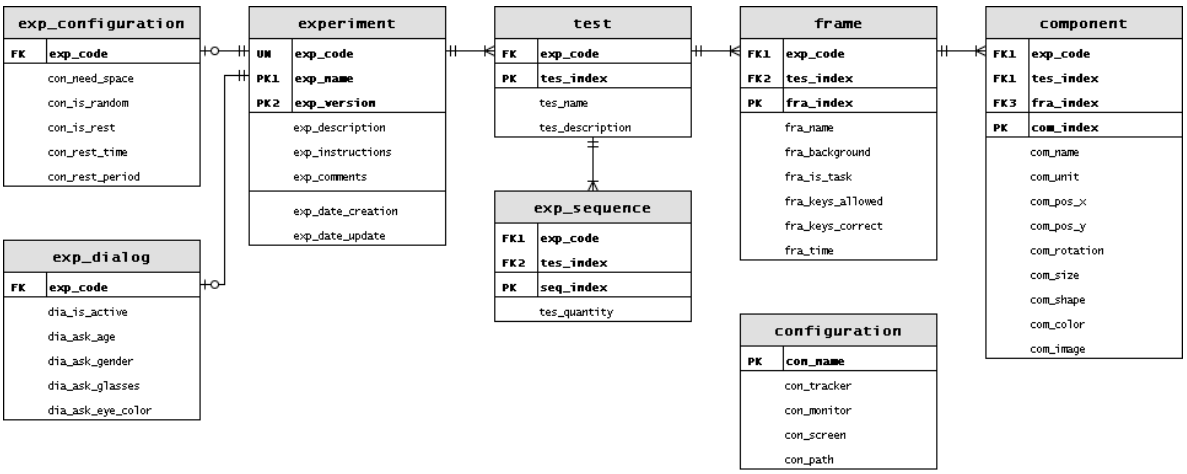


Figura 3.1: Diagrama de base de datos a implementar.

En base a lo anterior, se propone como solución el uso de una base de datos local de tipo *SQLite* con la estructura presentada en la figura 3.1. A continuación se comenta el contenido de cada tabla propuesta y su función:

1. **`configuration`:** Almacena la información asociada a un perfil de configuración. Cada perfil se identifica con un nombre (`con_name`) e indica qué monitor será utilizado (`con_screen`), cuál es su configuración[2] (`con_monitor`), el *eye tracker* a utilizar (`con_tracker`) y el directorio en que serán almacenados los resultados (`con_path`).
2. **`experiment`:** Almacena la configuración de un experimento. Cada experimento se identifica por un código único (`exp_code`) y un par nombre / versión (`exp_name` /

[2]Los parámetros del monitor se definen en un aplicativo especializado de *psychoPy*.

exp_version), que tiene como objetivo identificar a una aplicación específica de una familia del mismo tipo, por ejemplo: (”antisaccade” / ”v1.0”). Además, se incluye un campo para indicar una descripción (exp_description), instrucciones para el usuario (exp_instructions) y comentarios para quien tome el experimento (exp_comments). Se incluyen la fecha de creación y la última modificación para dejar de forma explícita una señal de cuidado: Las condiciones del experimento pueden no ser las mismas de la última ejecución.

3. **exp_configuration:** Esta tabla es complementaria al experimento y almacena la configuración general de ejecución. ¿Es necesario que el paciente presione la tecla espacio antes de cada tarea? (exp_need_space), ¿El orden de las tareas es aleatorio o secuencial? (exp_is_random), ¿Se incluyen en el experimento tiempos de descanso? (exp_is_rest), ¿Cada cuántas tareas? (exp_rest_period), ¿Con qué duración? (exp_rest_time).
4. **exp_dialog:** Esta tabla es complementaria al experimento y almacena la configuración del diálogo inicial, que permite obtener información adicional sobre el paciente. ¿Es necesario incluir información complementaria? (dia_is_active), ¿Qué edad tiene el paciente? (dia_ask_age), ¿Cuál es su sexo? (dia_ask_gender), ¿Utiliza gafas o lentes de contacto? (dia_ask_glasses), ¿Cuál es su color de ojos? (dia_ask_eye_color).
5. **test:** Almacena, para cada experimento, la identificación de las tareas que lo componen ordenadas por un índice (tes_index). Cada tarea se identifica por su nombre (tes_name), que es único para cada experimento, y un campo para añadir su descripción (tes_description).
6. **exp_sequence:** Almacena, para cada experimento, la secuencia de tareas a ejecutar. Cada ítem incluye un identificador del experimento (exp_code) y la tarea correspondiente (tes_index), además de un índice que permite definir el orden de ejecución (seq_index) y el número de veces que debe ejecutarse la tarea (seq_quantity).
7. **frame:** Esta tabla contiene, para cada tarea, el conjunto de cuadros que la conforman ordenados por aparición mediante un índice (fra_index). Cada cuadro se identifica por un nombre (fra_name), único para cada tarea, y permite la configuración de su comportamiento y características de forma general: color de fondo (fra_color), si el

cuadro corresponde a una tarea que requiere respuesta de teclado o es temporizada (`fra_is_task`), las teclas habilitadas (`fra_keys_allowed`) y las teclas que se espera sean presionadas (`fra_keys_correct`) en el primer caso o el tiempo por el cual debe ser presentado (`fra_time`) en el segundo.

8. **`component:`** Esta tabla contiene, para cada cuadro, el conjunto de componentes o elementos que lo conforman ordenados por presentación mediante un índice (`com_index`). Cada componente se identifica por un nombre (`com_name`), único para cada cuadro, y las configuraciones asociadas tanto a las unidades de medida a utilizar (`com_units`), su posición en la pantalla ((`com_pos_x`), (`com_pos_y`)), su tamaño (`com_size`), si se encuentra rotada o no (`com_rotation`), en el cao de ser figura su forma (`com_shape`) y color (`com_color`) o si es una imagen la información binaria correspondiente (`com_image`).

Este modelo se considera apropiado por los siguientes motivos:

1. Aísla un experimento de otro al tener tareas y configuraciones completamente independientes. Esta configuración permite evitar que cambios en alguna tarea específicas afecte a mas de un experimento.
2. No puede existir una tarea que no se encuentre asociada a un experimento, lo que evita almacenar datos innecesarios (esto aplica también a cuadros y componentes).
3. Tener todas las configuraciones almacenadas en un archivo facilita la portabilidad y migración desde un equipo a otro. Además, dado que es tratable como una base de datos convencional facilita el proceso de revisión de los datos sin necesidad de contar con el programa principal.

Cabe destacar que, para asegurar la limpieza de la base de datos se tomo la decisión de definir las operaciones de *update* como *delete* en cascada a todas las tablas asociadas a un experimento. Esto implica que al eliminar un experimento particular se eliminan todos los datos dependientes de él, tales como sus tareas, cuadros y componentes, evitando mantener data residual. Cabe destacar que esto se define también en niveles más bajos: eliminar una tarea elimina todos sus cuadros, eliminar un cuadro elimina también todos sus componentes.

3.2.2. Segunda parte: Implementación de las funciones principales

Para lograr sincronizar la ejecución del experimento con el uso de dispositivos tales como el monitor, teclado y *eye tracker* se hará uso de *ioHub* [26]. Esta herramienta, que forma parte de los módulos de *psychoPy*, tiene por característica principal la capacidad de montar un servicio que permite ralizar una revisión constante de los dispositivos de entrada/salida configurados previamente para el experimento, almacenando la información recopilada de forma ordenada en un archivo con formato *hdf5*. Este tipo de archivos es considerado estándar en investigación y, a grandes rasgos, corresponde a un tipo *log* de datos organizado a modo de diccionario. Utilizando esta aplicación se plantea formular un sistema que permita las funcionalidades presentadas en la figura 3.2.

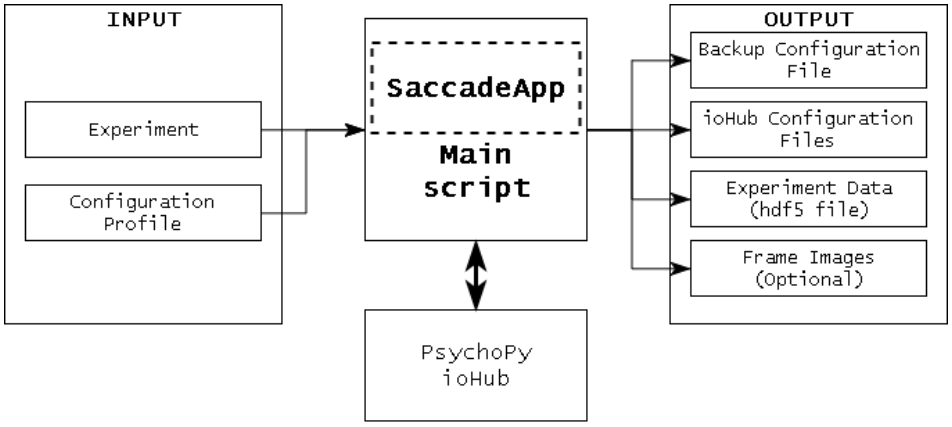


Figura 3.2: Diagrama de funcionamiento general.

La aplicación propuesta tiene por requerimientos tanto la configuración del experimento (`Experiment`) como la del perfil de configuración (`Configuration Profile`), explicados en la sección 3.2.1.

Los resultados esperados son:

1. Creación de una estructura de carpetas que permita almacenar la información de las distintas instancias de ejecución de forma organizada y clara.

   Para lograr esto se propone el sistema de la figura 3.3 que consiste en separar los resultados por tipo de experimento y por versión. De esta forma, en el directorio base determinado en el perfil de configuración (`Base_Folder`) se crean carpetas con los nombres de los experimentos ejecutados (`Experiment_Name`) y dentro de estas se organizan los

resultados en carpetas que indican la versión del experimento (`Experiment_Version`) y su código (`Experiment_Code`).

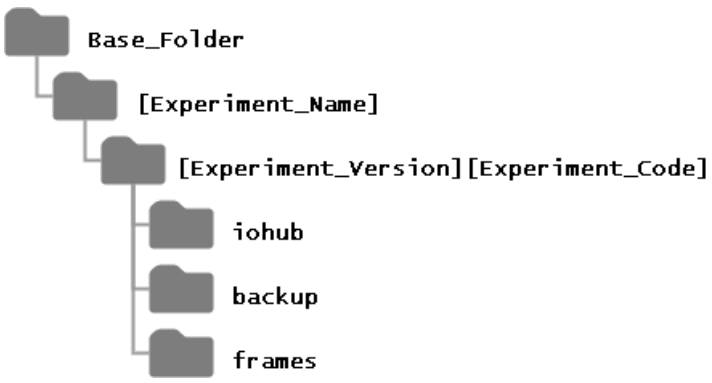


Figura 3.3: Estructura de directorios para resultados.

2. Para facilitar el proceso de revisión y posterior *debug* de los experimentos realizados se decide almacenar en la carpeta de resultados 3 archivos: El primer archivo, a almacenar en la carpeta `backup` consiste en un diccionario que contiene todas las configuraciones asociadas al experimento y perfil utilizados (`Backup Configuration File`). Los siguientes 2 archivos, a almacenar en la carpeta `ioHub`, corresponden a las configuraciones del experimento y hardware en el formato requerido por *ioHub* para su funcionamiento (`ioHub Configuration Files`). Para identificar una ejecución de otra, cada grupo de archivos se identifica por la marca de tiempo del momento de ejecución en formato *Unix*.
3. Los resultados del experimento (`Experiment Data`) se almacenan directamente en la carpeta `[Experiment_Version][Experiment_Code]`. Este archivo se actualiza con cada ejecución y contiene los resultados de todas las sesiones del experimento.
4. De forma opcional, el *script* permite obtener capturas de pantalla de cada uno de los cuadros del experimento (`Frame Images`). Estas imagenes son almacenadas en la carpeta `frames`.

En la figura 3.4 se presenta la estructura de clases implementada en este trabajo de título. Las clases `Configuration`, `Experiment`, `Test`, `Frame` y `Component` representan el conjunto de métodos que permiten la manipulación de los datos almacenados en la base de datos, además de entregar funcionalidades que permiten la ejecución.

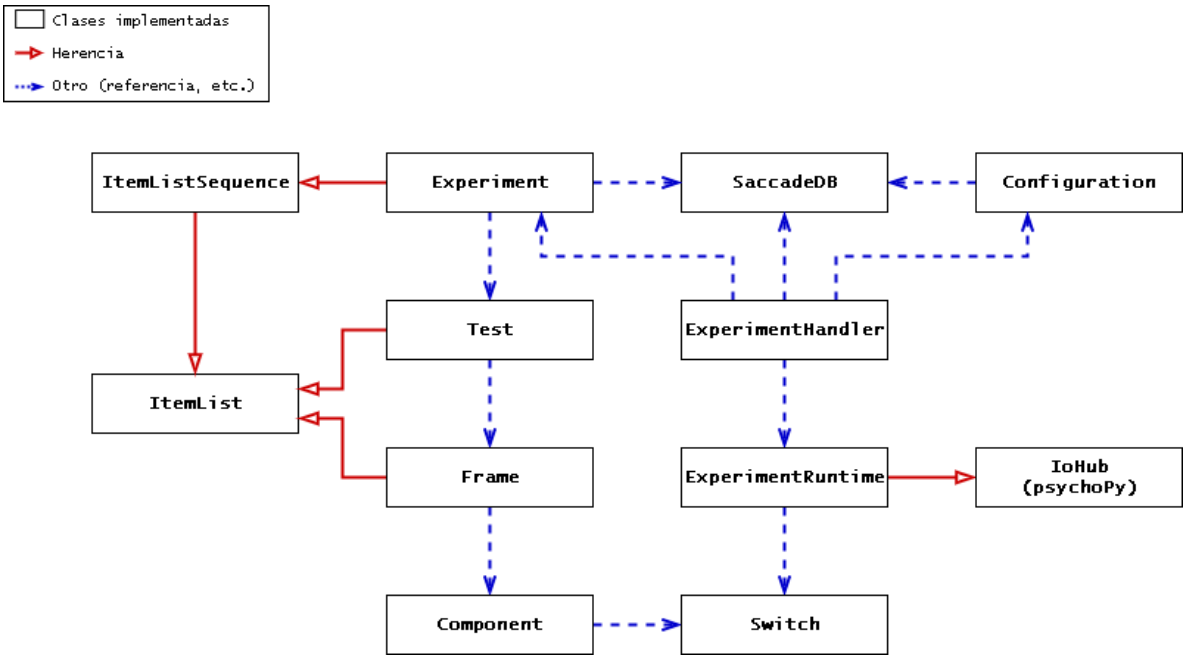


Figura 3.4: Diagrama de clases del sistema (no considera *GUI*).

Debido a que las clases `Experiment`, `Test` y `Frame` implican el manejo de una lista de objetos se crea una clase base llamada `ItemList` que permite integrar funcionalidades tales como agregar, quitar, mover o reemplazar elementos. Además, ya que un experimento implica la ejecución de una secuencia de tareas que pueden repetirse se implementa una variante de `ItemList` que permite la manipulación de secuencias en base a los elementos disponibles en lista `ItemListSequence`.

Las clases `SaccadeDB` y `Switch` añaden funcionalidades transversales al resto de las clases: `SaccadeDB` permite la comunicación e interacción con el archivo de base de datos y `Switch` permite implementar estructuras *switch-case* para facilitar el uso de máquinas de estado. `ExperimentHandler` y `ExperimentRuntime` (que hereda sus funcionalidades de `ioHub` e inicializa los servicios asociados) son las encargadas de preparar los archivos de configuración y ejecutar el experimento respectivamente.

En las siguientes páginas se procede a describir con un mayor grado de detalle cada clase y módulo utilizado. Por simplicidad se obvian las funciones asociadas al get-set de los atributos de las clases (ya que corresponden a los datos almacenados en la base de datos).

1. **`utils`:** Módulo auxiliar que implementa métodos de uso general.

`format_text`		
Descripción	Convierte el dato de entrada a unicode. Si el dato ingresado no cumple con las condiciones de formato se levanta una excepción indicando el error asociado.	
Inputs	text: lmin: lmax: var_name:	Dato a ser convertido en `unicode`. Largo mínimo (`int`). Por defecto: `None` (Sin condición). Largo máximo (`int`). Por defecto: `None` (Sin condición) Nombre de la variable para la cual se utilizará el dato formateado (`string`). Se agrega en el mensaje de excepción para hacer seguimiento del error. Por defecto: vacío (Sin nombre).
Return	`unicode`.	
`format_int`		
Descripción	Convierte un valor de entrada en entero. Si el valor ingresado no cumple con las condiciones de formato se levanta una excepción indicando el error asociado.	
Inputs	value: vmin: vmax: var_name:	Valor a ser convertido en int. Valor mínimo permitido (`int`). Por defecto: `None` (Sin condición) Valor máximo permitido (`int`). Por defecto: `None` (Sin condición) Nombre de la variable para la cual se utilizará el dato formateado (`string`). Se agrega en el mensaje de excepción para hacer seguimiento del error. Por defecto: vacío (Sin nombre).
Return	`int`.	
`format_float`		
Descripción	Convierte un valor de entrada en flotante. Si el valor ingresado no cumple con las condiciones de formato se levanta una excepción indicando el error asociado.	
Inputs	value: vmin: vmax: var_name:	Valor a ser convertido en float. Valor mínimo permitido (`float`). Por defecto: `None` (Sin condición) Valor máximo permitido (`float`). Por defecto: `None` (Sin condición) Nombre de la variable para la cual se utilizará el dato formateado (`string`). Se agrega en el mensaje de excepción para hacer seguimiento del error. Por defecto: vacío (Sin nombre).
Return	`float`.	
`format_bool`		
Descripción	Convierte el valor de entrada entregado en un booleano. Si el dato ingresado no puede ser convertido se levanta una excepción indicando el error asociado.	
Inputs	state: var_name:	Variable a convertir en bool. Nombre de la variable para la cual se utilizará el dato formateado (`string`). Se agrega en el mensaje de excepción para hacer seguimiento del error. Por defecto: vacío (Sin nombre).
Return	`bool`.	
`is_in_list`		
Descripción	Indica si un elemento se encuentra o no en una lista.	
Inputs	item: item_list:	Elemento a encontrar. Lista a revisar (`list`).
Return	`bool`.	`True` en caso de ser encontrado, `False` en caso contrario.

get_time	
Descripción	Permite convertir una fecha desde el formato de tiempo GTM al horario de Chile continental.
Inputs	date: Fecha (`string`) en formato "`Y-m-d H:M:S`".
Return	`unicode`.
get_main_path	
Descripción	Retorna la ubicación en donde la aplicación se encuentra siendo ejecutada.
Inputs	`void`.
Return	`unicode`.
get_module_path	
Descripción	Retorna la ubicación donde se encuentra almacenado el módulo de la aplicación (`saccadeapp`).
Inputs	`void`.
Return	`unicode`.
format_path	
Descripción	Modifica la ubicación de entrada dependiendo del sistema operativo para asegurar compatibilidad.
Inputs	path: Ubicación de un archivo o directorio (`string`).
Return	`bool`.
get_available_colors	
Descripción	Retorna una lista con los nombres de los colores disponibles en *psychoPy*.
Inputs	`void`.
Return	`list`. Si no hay elementos: lista vacía.
get_available_trackers	
Descripción	Retorna una lista con los nombres de los *eye trackers* disponibles.
Inputs	`void`.
Return	`list`. Si no hay elementos: lista vacía.
get_available_screens	
Descripción	Retorna una lista con la información (id y resolución) de los monitores disponibles.
Inputs	`void`.
Return	`list`. Si no hay elementos: lista vacía.
get_available_monitors	
Descripción	Retorna una lista con los nombres de los perfiles de configuración de monitor disponibles en *psychoPy* mediante el *Monitor Center*.
Inputs	`void`.
Return	`list`. Si no hay elementos: lista vacía.
get_available_units	
Descripción	Retorna una lista con los nombres de los tipos de unidad disponibles en *psychoPy* para el dibujo de estímulos en pantalla.
Inputs	`void`.
Return	`list`. Si no hay elementos: lista vacía.

get_available_shapes		
Descripción	Retorna una lista con los nombres de las figuras disponibles para la construcción de estímulos.	
Inputs	`void`.	
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.
open_documentation		
Descripción	Abre una copia del documento de memoria como documentación.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
open_psychopy_monitor_center		
Descripción	Abre una instancia de la aplicación de configuración de monitores de *psychoPy*.	
Inputs	`void`.	
Return	`bool`.	`True` si abre una nueva ventana, `False` si ya existe una en ejecución.

Cuadro 3.2: Métodos implementados en `utils`.

2. **`SaccadeDB`:** Clase utilizada para implementar la conexión con la base de datos SQLite.

SaccadeDB		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.	
Inputs	path:	Directorio en donde se encuentra el archivo de base de datos (`string`). Por defecto: vacío (Se crea en el directorio de ejecución).
Return	`void`.	
connect		
Descripción	Inicia una conexión con el archivo de base de datos. Si el archivo de base de datos epecificado en el constructor no existe, crea uno nuevo.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
close		
Descripción	Finaliza, de ser posible, la conexión con la base de datos.	
Inputs	`void`.	
Return	`bool`.	`True` si la acción se realizó correctamente, `False` en caso contrario.
push_query		
Descripción	Permite realizar querys para modificar los contenidos de la base de datos (`insert, update, delete`).	
Inputs	query.	Instrucción SQL (`string`).
Return	`bool`.	`True` si la acción se realizó correctamente, `False` en caso contrario.
pull_query		
Descripción	Permite realizar querys para obtener datos desde de la base de datos (`select`).	
Inputs	query.	Instrucción SQL (`string`).
Return	`object`.	Array (`numpy`) en caso de existir datos, `None` en caso contrario.

Cuadro 3.3: Métodos implementados en la clase `SaccadeDB`.

3. **`Configuration`:** Clase que permite manipular las configuración del hardware a utilizar en la ejecución de un experimento y la ubicación de los archivos de salida de la misma. Para utilizar las funciones de carga/guardado es necesario asignar un objeto de base de datos (`SaccadeDB`).

`Configuration`		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto. Si se le entrega una objeto de base de datos y un nombre (asociado a un perfil de configuración) carga inmediatamente los datos.	
Inputs	db: name:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Por defecto: vacío. (Sin conexión). Nombre de perfil de configuración (`string`). Por defecto: vacío (No buscar).
Return	`void`.	
`get_list`		
Descripción	Método estático. Entrega una lista con los nombres de los perfiles de configuración que se encuentran almacenados en la base de datos.	
Inputs	db:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Por defecto: vacío. (Sin conexión).
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.
`load`		
Descripción	Permite cargar en el objeto las configuraciones almacenadas en la base de datos.	
Inputs	name:	Nombre de perfil de configuración (`string`).
Return	`bool`.	`True` si la acción se realizó correctamente, `False` en caso contrario.
`save`		
Descripción	Permite guardar el perfil de configuración en la base de datos.	
Inputs	`void`.	
Return	`bool`.	`True` si la acción se realizó correctamente, `False` en caso contrario.
`copy`		
Descripción	Permite realizar una copia del objeto siempre que el nombre asignado no exista en la base de datos.	
Inputs	name:	Nombre a ser asignado en la copya del perfil de configuración (`string`).
Return	`object`.	Devuelve una copia si se ingresa un nombre correctamente, `None` en caso contrario.
`remove`		
Descripción	Permite eliminar el perfil de configuración de la base de datos.	
Inputs	`void`.	
Return	`bool`.	`True` si la acción se realizó correctamente, `False` en caso contrario.

get_iohub		
Descripción	Retorna un diccionario con las configuraciones y formatos requeridos por *ioHub* para definir los dispositivos de hardware a ser utilizados en la ejecución de un experimento.	
Inputs	void.	
Return	dict.	Si no existe en la base de datos: None.
get_configuration		
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos del objeto.	
Inputs	void.	
Return	dict.	Si no existe en la base de datos: None.

Cuadro 3.4: Métodos implementados en la clase Configuration.

4. **ItemList:** Clase utilizada para manejar listas de objetos. Su implementación no considera el uso directo por parte de los usuarios del programa.

ItemList		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos de la clase. Permite definir el tipo de objetos a manipular.	
Inputs	item_class:	Tipo de objeto (Test, Frame, Component).
Return	void.	
item_add		
Descripción	Permite agregar un objeto a la lista.	
Inputs	item:	Objeto a añadir (item_class).
Return	bool.	True si el objeto fue añadido, False si el objeto es del tipo definido.
item_copy		
Descripción	Agrega una copia del objeto seleccionado en el último lugar de la lista.	
Inputs	item_id: name:	Posición en lista del objeto a copiar (int). Nombre del nuevo objeto (string).
Return	bool.	True si el índice existe y se realiza la copia, False en caso contrario.
item_remove		
Descripción	Elimina el objeto seleccionado.	
Inputs	item_id:	Posición en lista del objeto a eliminar (int).
Return	bool.	True si el índice existe y es eliminado, False en caso contrario.
item_replace		
Descripción	Remplaza el objeto seleccionado por uno nuevo.	
Inputs	item_id: new_item:	Posición en lista del objeto a reemplazar (int). Objeto reemplazante (item_class).
Return	bool.	True si el índice existe y el objeto es añadido, False en caso contrario.

item_swap		
Descripción	Permite hacer un enroque entre dos elementos de la lista.	
Inputs	item1_id: item2_id:	Posición en lista del primer objeto (`int`). Posición en lista del segundo objeto (`int`).
Return	`bool`.	`True` si los índices existen y se realiza el enroque, `False` en caso contrario.
get_items		
Descripción	Retorna la lista de objetos.	
Inputs	`void`.	
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.
get_item		
Descripción	Retorna un elemento de la lista en base a su índice.	
Inputs	item_id:	Posición en lista del objeto a recuperar (`int`).
Return	`object`.	Si el índice no existe: `None`.
check_item_name		
Descripción	Retorna el índice del objeto que tenga el nombre ingresado.	
Inputs	item_name:	Nombre del objeto a buscar (`string`).
Return	`int`.	Si el nombre no existe: -1.
get_items_str		
Descripción	Retorna una lista con los nombres de los objetos almacenados.	
Inputs	`void`.	
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía
get_items_length		
Descripción	Devuelve el número de elementos de la lista.	
Inputs	`void`.	
Return	`int`.	

Cuadro 3.5: Métodos implementados en la clase `ItemList`.

5. **`ItemListSequence`:** Clase utilizada para extender las capacidades de una lista de objetos (hija de `ItemList`) permitiendo la configuración y manejo de secuencias.

   Para su funcionamiento deben re-implementarse dos métodos: El primero es `item_remove` ya que debe incluirse la eliminacion de los elementos de la secuencia asociados al item. El segundo es `item_replace` ya que deben actualizarse las referencias de los elementos de la secuencia al nuevo ítem.

ItemListSequence		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos de la clase. Permite definir el tipo de objetos a manipular.	
Inputs	item_class:	Tipo de objeto (`Test`, `Frame`, `Component`).
Return	`void`.	

sequence_add		
Descripción	Permite agregar un elemento a la secuencia.	
Inputs	item_id: quantity:	Posición en lista del objeto a agregar (`int`). Cantidad de veces que será ejecutado (`int`).
Return	`bool`.	`True` si el índice existe y la cantidad no es `None`, `False` en caso contrario.
sequence_edit		
Descripción	Permite editar un elemento de la secuencia.	
Inputs	index: item_id: quantity:	Posición del elemento de la secuencia a ser modificado (`int`). Posición en lista del objeto reemplazante (`int`). Cantidad de veces que será ejecutado (`int`).
Return	`bool`.	`True` si los índices existen y la cantidad no es `None`, `False` en caso contrario.
sequence_remove		
Descripción	Elimina el elemento seleccionado.	
Inputs	index:	Posición del elemento de la secuencia a ser eliminado (`int`).
Return	`bool`.	`True` si el índice existe y es eliminado, `False` en caso contrario.
sequence_swap		
Descripción	Permite hacer un enroque entre dos elementos de la secuencia.	
Inputs	index1: index2:	Posición del primer elemento de la secuencia (`int`). Posición del segundo elemento de la secuencia (`int`).
Return	`bool`.	`True` si los índices existen y se realiza el enroque, `False` en caso contrario.
get_sequence		
Descripción	Retorna la secuencia de ejecución.	
Inputs	`void`.	
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.
get_sequence_item		
Descripción	Retorna un elemento de la secuencia en base a su índice.	
Inputs	index:	Posición del elemento de la secuencia (`int`).
Return	`list`.	Si el objeto no existe: `None`.
get_sequence_str		
Descripción	Retorna una lista con los nombres de los objetos en la secuencia y el numero de veces a ser ejecutados.	
Inputs	`void`.	
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía
get_sequence_length		
Descripción	Devuelve el número de elementos de la secuencia.	
Inputs	`void`.	
Return	`int`.	

Cuadro 3.6: Métodos implementados en la clase `ItemListSequence`.

6. **`Component:`** Clase utilizada para manejar la configuración de los componentes que conforman un cuadro.

`Component`		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
`get_list`		
Descripción	Método estático. Retorna una lista con el nombre y tipo de figura de todos los componentes que forman parte de un cuadro específico.	
Inputs	db: exp: tes: fra:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenecen los componentes de interés (`string`). ID de la tarea a la cual pertenecen los componentes de interés (`int`). ID del cuadro al cual pertenecen los componentes de interés (`int`).
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.
`encode_image`		
Descripción	Método privado. Si el componente corresponde a una imagen esta función retorna su contenido codificado en "`base64`".	
Inputs	`void`.	
Return	`unicode`.	
`decode_image`		
Descripción	Método privado. Permite decodificar una imagen almacenada en "`base64`".	
Inputs	enc_img:	Imagen codificada en "`base64`" (`string`).
Return	`void`.	
`load`		
Descripción	Permite cargar en el objeto las configuraciones almacenadas en la base de datos.	
Inputs	db: exp: tes: fra: com:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenece el componente (`string`). ID de la tarea a la cual pertenece el componente (`int`). ID del cuadro al cual pertenece el componente (`int`). ID asignado al componente (`int`).
Return	`bool`.	`True` si la acción se realizó correctamente, `False` en caso contrario.
`save`		
Descripción	Permite guardar la configuración del componente en la base de datos.	
Inputs	db: exp: tes: fra: com:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenecerá el componente (`string`). ID de la tarea a la cual pertenecerá el componente (`int`). ID del cuadro al cual pertenecerá el componente (`int`). ID asignado al componente (`int`).
Return	`bool`.	`True` si el proceso se completó satisfactoriamente, `False` en caso contrario.

copy		
Descripción	Retorna una copia profunda del componete.	
Inputs	`void`.	
Return	`object`.	
`get_execution`		
Descripción	Retorna el componente de foma tal que pueda ser presentado en el monitor (mediante uso de *psychoPy*).	
Inputs	win:	Instancia de clase `Window`, perteneciente al módulo `psychopy.visual`.
Return	`object`.	Objeto de la familia `psychopy.visual`. Actualmente se encuentran implementadas 5 figuras (cruz, cuadrado, círculo, gaussiana y flechas) además de la posibilidad de incluir imágenes. En caso de existir algun error, devuelve `None`.
`get_configuration`		
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos del objeto.	
Inputs	`void`	
Return	`dict`	

Cuadro 3.7: Métodos implementados en la clase `Component`.

7. **`Frame`:** Clase utilizada para manejar la configuración de un cuadro. Ya que los cuadros contienen y muestran componentes, esta clase se define como hija de `ItemList` y se inicializa para objetos de tipo `Component`.

`Frame`		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
`get_list`		
Descripción	Método estático. Retorna una lista con el nombre de todos los cuadros que forman parte de una tarea específica.	
Inputs	db: exp: tes:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenecen los cuadros de interés (`string`). ID de la tarea a la cual pertenecen los cuadros de interés (`int`).
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.
`load`		
Descripción	Permite cargar la configuración del cuadro desde la base de datos. Para cargar los componentes se hace uso del método privado `load_components`.	
Inputs	db: exp: tes: fra:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenece el cuadro (`string`). ID de la tarea a la cual pertenece el cuadro (`int`). ID del cuadro (`int`).
Return	`bool`.	`True` si el proceso se completó satisfactoriamente, `False` en caso contrario.

load_components	
Descripción	Método privado. Permite cargar desde la base de datos todos los componentes del cuadro.
Inputs	db: Instancia de clase (SaccadeDB). exp: Código del experimento al que pertenece el cuadro (string). tes: ID de la tarea a la cual pertenece el cuadro (int). fra: ID del cuadro (int).
Return	void.
save	
Descripción	Permite guardar la configuración del cuadro en la base de datos. Para guardar los componentes se hace uso del método privado save_components.
Inputs	db: Instancia de clase (SaccadeDB). exp: Código del experimento al que pertenecerá el cuadro (string). tes: ID de la tarea a la cual pertenecerá el cuadro (int). fra: ID asignado al cuadro (int).
Return	bool. True si el proceso se completó satisfactoriamente, False en caso contrario.
save_components	
Descripción	Método privado. Permite guardar en la base de datos cada uno de los componentes del cuadro.
Inputs	db: Instancia de clase (SaccadeDB). exp: Código del experimento al que pertenece el cuadro (string). tes: ID de la tarea a la cual pertenece el cuadro (int). fra: ID del cuadro (int).
Return	void.
copy	
Descripción	Retorna una copia profunda del cuadro.
Inputs	void.
Return	object.
get_execution	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los elementos necesarios para la presentación del cuadro: Su nombre (para identifiación), las características asociadas a su presentación (si es temporizado o involucra respuesta de teclado) y un objeto que permita cambiar el color del fondo según sea requerido. Además, este diccionario contiene una lista de los componentes que conforman el cuadro (que se obtiene al llamar el método get_execution para cada uno).
Inputs	win: Instancia de clase Window, perteneciente al módulo psychopy.visual.
Return	dict.
get_configuration	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos del objeto y una lista con la configuración de sus componentes (esta lista se obteniene al llamar el método get_configuration para cada uno).
Inputs	void.
Return	dict.

Cuadro 3.8: Métodos implementados en la clase Frame.

8. **Test:** Clase utilizada para manejar la configuración de una tarea. Ya que las tareas se componen de cuadros, esta clase se define como hija de `ItemList` y se inicializa para objetos de tipo `Frame`.

`Test`		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
`get_list`		
Descripción	Método estático. Retorna una lista con el nombre de todas las tareas que forman parte de un experimento específico.	
Inputs	db: exp:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al cual pertenecen las tareas de interés (`string`).
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.
`load`		
Descripción	Permite cargar la configuración de una tarea desde la base de datos. Para cargar los cuadros se hace uso del método privado `load_frames`.	
Inputs	db: exp: tes:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenece la tarea (`string`). ID de la tarea (`int`).
Return	`bool`.	`True` si el proceso se completó satisfactoriamente, `False` en caso contrario.
`load_frames`		
Descripción	Método privado. Permite cargar desde la base de datos todos los cuadros de la tarea.	
Inputs	db: exp: tes:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenece la tarea (`string`). ID de la tarea (`int`).
Return	`void`.	
`save`		
Descripción	Permite guardar la configuración de la tarea en la base de datos. Para guardar los cuadros se hace uso del método privado `save_frames`.	
Inputs	db: exp: tes:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenecerá la tarea (`string`). ID asignado a la tarea (`int`).
Return	`bool`.	`True` si el proceso se completó satisfactoriamente, `False` en caso contrario.
`save_frames`		
Descripción	Método privado. Permite guardar en la base de datos cada uno de los cuadros de la tarea.	
Inputs	db: exp: tes:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Código del experimento al que pertenece la tarea (`string`). ID de la tarea (`int`).
Return	`void`.	

copy	
Descripción	Retorna una copia profunda del objeto.
Inputs	`void`.
Return	`object`.
`get_execution`	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los elementos necesarios para la ejecución de la tarea: Su nombre (para identificación) y una lista con los cuadros que la conforman (que se obtiene al llamar el método `get_execution` para cada uno).
Inputs	win: Instancia de clase `Window`, perteneciente al módulo `psychopy.visual`.
Return	`dict`.
`get_configuration`	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos del objeto y una lista con la configuración de los cuadros que lo componen (esta lista se obtiene al llamar el método `get_configuration` para cada uno).
Inputs	`void`.
Return	`dict`.

Cuadro 3.9: Métodos implementados en la clase `Test`.

9. **`Experiment`:** Clase utilizada para manejar la coniguración de un experimento. Ya que los experimentos se componen de tareas y estas pueden formar secuencias de ejecución esta clase se define como hija de `ItemLisSequence` y se inicializa para objetos de tipo `Test`. Para utilizar las funciones de carga/guardado es necesario asignar un objeto de base de datos (`SaccadeDB`).

Experiment		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto. Si se le entrega un objeto de base de datos y un código (asociado a un experimento) carga inmediatamente los datos.	
Inputs	db:	Instancia de clase (`SaccadeDB`). Por defecto: vacío. (Sin conexión).
	name:	Nombre de perfil de configuración (`string`). Por defecto: vacío (No buscar).
Return	`void`.	
`get_list`		
Descripción	Método estático. Retorna una lista con el código, nombre, versión y fechas de creación/modificación de todos los experimentos disponibles.	
Inputs	db:	Instancia de clase (`SaccadeDB`).
Return	`list`.	Si no hay elementos: lista vacía.

load		
Descripción	Permite cargar la configuración de un experimento desde la base de datos. Para cargar la configuración de las tareas se hace uso del método privado `load_tests`.	
Inputs	code:	Código del experimento (`string`).
Return	`bool`.	`True` si el proceso se completó satisfactoriamente, `False` en caso contrario.
load_tests		
Descripción	Método privado. Premite cargar desde la base de datos cada una de las tareas asociadas al experimento y su secuencia de ejecución.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
save		
Descripción	Permite guardar la configuración del experimento en la base de datos. Para guardar la configuración de las tareas se hace uso del método privado `save_tests`.	
Inputs	`void`.	
Return	`bool`.	`True` si el proceso se completó satisfactoriamente, `False` en caso contrario.
save_tests		
Descripción	Método privado. Permite guardar en la base de datos cada una de las tareas asociadas al experimento y su secuencia de ejecución.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
copy		
Descripción	Permite realizar una copia del objeto siempre que el código y versión asignados no existan en la base de datos.	
Inputs	code: version:	Código a ser asignado en la copia del experimento (`string`). Versión a ser asignada en la copia del experimento (`string`).
Return	`object`.	Devuelve una copia si el código y versión se ingresan correctamente, `None` en caso contrario.
get_iohub		
Descripción	Retorna un diccionario con las configuraciones y formatos requeridos por *ioHUb* para la configuración de un experimento a ser ejecutado.	
Inputs	`void`.	
Return	`dict`.	
get_execution		
Descripción	Retorna un diccionario que contiene todos los elementos para la ejecución de un experimento: Instrucciones a presentar por pantalla para el paciente, definición de tiempos de descanso, secuencia de ejecución de tareas y una lista con las tareas que lo conforman (esta lista se obtiene al llamar el método `get_execution` para cada una).	
Inputs	win:	Instancia de clase `Window`, perteneciente al módulo `psychopy.visual`.
Return	`dict`.	

get_configuration	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos del experimento y una lista con la configuración de las tareas que lo conforman (esta lista se obtiene al llamar el método `get_configuration` para cada una).
Inputs	`void`.
Return	`dict`.

Cuadro 3.10: Métodos implementados en la clase `Experiment`.

10. **`ExperimentHandler`:** Clase utilizada para generar los archivos y directorios necesarios para la ejecución además de dar partida a la misma.

ExperimentHandler		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.	
Inputs	`void`.	
Return	`void`.	
prepare		
Descripción	Permite verificar que los datos del perfil de configuración y experimento se encuentren alamacenados en la base de datos y generar los archivos de configuración necesarios para realizar el experimento.	
Inputs	db_path: conf_name: exp_code:	Ubicación del archivo de base de datos (`string`). Nombre del perfil de configuración (`string`). Código del experimento a ser ejecutado (`string`).
Return	`string`, `bool`.	Mensaje de estado, estado.
execute		
Descripción	Si `prepare` se ejecutó correctamente (archivos de configuración y directorios disponibles) este método ejecuta el experimento.	
Inputs	save_frame:	Permite escoger si se desea guardar los frames como imagen (`bool`).
Return	`string`, `bool`.	Mensaje de estado, estado.

Cuadro 3.11: Métodos implementados en la clase `ExperimentHandler`.

11. **`ExperimentRuntime`:** Esta clase es utilizada para ejecutar el experimento. Para ello, hereda de `ioHubExperimentRuntime`, perteneciente a *ioHub*, la capacidad de iniciar el servicio por el cual se manejan todos los dispositivos de hardware.

ExperimentRuntime		
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos de la clase y permite entregar la configuración del experimento a la rutina.	
Inputs	parameters:	Parámetros del experimento generados por `ExperimentHandler` (`dict`).
Return	`void`.	

run	
Descripción	Este método tiene por función definir tanto la inicialización de los dispositivos como el script del experimento a ejecutar. Es importante destacar que este método NO se ejecuta directamente, para ello se utiliza la función específica `ExperimentRuntime.start()`.
Inputs	*args: No utilizado.
Return	`void`.

Cuadro 3.12: Métodos implementados en la clase `ExperimentRuntime`.

3.2.3. Tercera parte: Interfaz gráfica

La presentación del proceso de diseño y desarrollo correspondiente a este punto sera presentada en la siguiente entrega de este trabajo de título según lo acordado con el profesor guía.

Capítulo 4

Resultados

```
from saccadeapp.api import SaccadeDB

database = SaccadeDB(path=u"C:/SaccadeApp/")
```

```
from saccadeapp.api import Configuration

config_profile = Configuration(db=database)
config_profile.set_name(name=u"Test Profile (code)")
config_profile.set_events_path(path=u"C:/SaccadeApp/events/")
config_profile.set_tracker(tracker=u"eyetribe")
config_profile.set_monitor(monitor=u"My_Monitor")
config_profile.set_screen(screen=1)
config_profile.save()
```

```
from saccadeapp.api import Experiment, Test, Frame, Component

# Experiment:
experiment = Experiment(db=database)
experiment.set_code(code=u"exp_0001")
experiment.set_info(name=u"Example Experiment", version=u"coded_1.0")
experiment.set_descripton(text=u"This experiment was created with code!")
experiment.set_space_start(status=True)
experiment.set_dialog(status=False)
experiment.set_random(status=False)
experiment.set_rest_conf(status=False)

# Test:
test = Test()
test.set_name(u"Example Test")

# Test - Frame_1:
frame_1 = Frame()
frame_1.set_name(u"Test Start")
frame_1.set_color(u"black")
frame_1.set_as_task(False)
frame_1.set_time(1.0)
test.add_item(frame_1)

# Frame_1 - Component
fp = Component()
fp.set_name(u"FP")
fp.set_shape(u"cross")
fp.set_color(u"white")
```

```
fp.set_position(0.0, 0.0)
frame_1.add_item(fp)

# Test - Frame_2:
frame_2 = Frame()
frame_2.set_name(u"Test Image")
frame_2.set_color(u"black")
frame_2.set_as_task(True)
frame_2.set_keys_allowed(u"space")
frame_2.set_keys_correct(u"space")
test.add_item(frame_2)

# Frame_2 - Component
img = Component()
img.set_name(u"Couple Image")
img.set_position(0.0, 0.0)
img.set_image(u"couple.png")
frame_2.add_item(img)

experiment.add_item(test_1)
experiment.sequence_add(item_id=0, quantity=1)
experiment.save()
```

```
from saccadeapp.app import ExperimentHandler
handler = ExperimentHandler()
handler.prepare(exp_code=u"exp_0001", conf_name=u"Test Profile (code)")
handler.execute(frame_save=True)
```

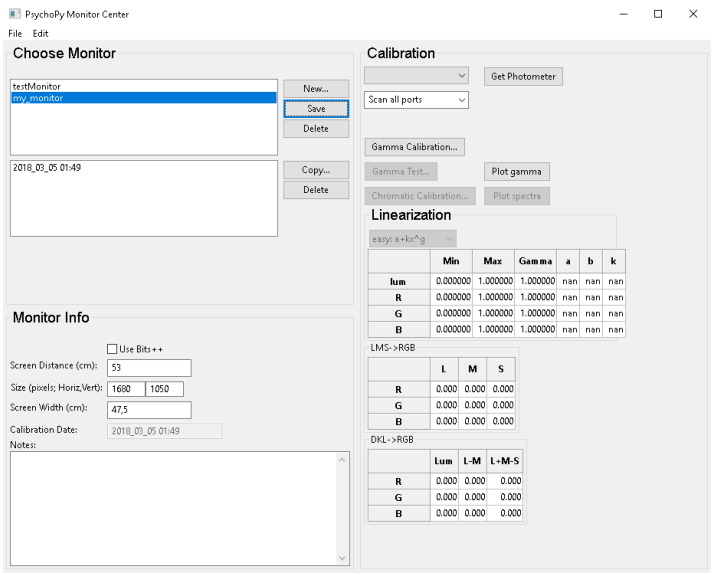
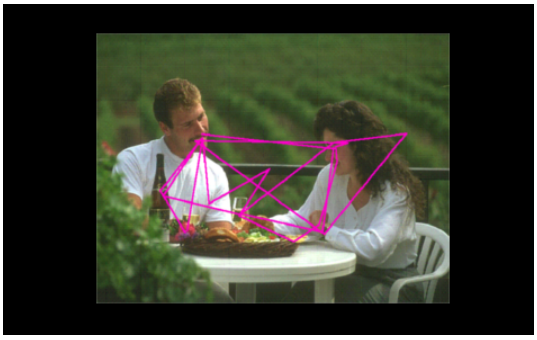


Figura 4.1: Centro de monitores de PsychoPy.

4.1. Comprobación de funcionamiento.

Para comprobar de que los datos estuvieran siendo registrados correctamente se creó un experimento cuya tarea principal solo contenía la imagen presentada en la figura 4.2.a. La tarea consistía en realizar una inspección visual, los resultados se presentan en 4.2.b.

(a) Imagen original.



(b) Movimiento ocular esperado.

(c) Movimiento ocular registrado.

Figura 4.2: Datos registrados.

Es posible apreciar en los datos registrados que el movimiento ocular en esta imagen se realiza principalmente entre los rostros de la pareja y las proyecciones de hacia donde se encuentran dirigidas sus miradas.

Al consultar los registros de los puntos ubicados en la esquina superior izquierda y que parecieran no corresponder al patrón de observación se determina que estos corresponden a los momentos en que el usuario cierra los ojos.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajo futuro

5.1. Conclusiones

En este trabajo de título fue posible construir un sistema de estimulación visual y registro ocular para la realización de experimentos que evalúan tareas sicomotoras que cumple con los objetivos propuestos al ser capaz de:

1. Permitir la configuración de experimentos y su posterior presentación.
2. Permitir sincronizar los eventos de estimulación y registro de movimiento ocular, almacenando los datos obtenidos en un archivo.

No obstante lo anterior y a pesar de que el sistema es capaz de montar y ejecutar los experimentos propuestos (para movimiento pro/anti-sacádico y ejercicios de memoria), presenta limitaciones para la realización de tareas mas complejas o añadir variaciones aleatorias de forma dinámica en el experimento, como cambiar los tiempos en que se presenta un cuadro durante la ejecución, lo que limita cierto tipo de análisis.

5.2. Trabajo futuro

Como trabajo para futuros desarrollos se proponen las siguientes tareas:

1. Añadir la opción de que un cuadro temporizado tenga tiempo variable dentro de un rango definido.
2. Añadir dentro de una tarea conjuntos de cuadros de selección aleatoria con el fin de optimizar el proceso de configuración. Eso quiere decir que tareas que tengan diferencias mínimas pueden ser almacenadas y posteriormente revisadas de forma más eficiente. Por ejemplo: Tarea de movimiento pro-sacádico en distintas direcciones o con distintas distancias al estímulo central.
3. Implementar una mayor variedad de opciones para la configuración de componentes de cuadro, ya sea añadiendo nuevos elementos gráficos como la posibilidad de incluir estímulos sonoros.
4. Agregar nuevos elementos al script para mejorar y complementar el sistema de registro de eventos en el archivo de salida. Algunas opciones son:

    a) Agregar una lista de los componentes añadidos para cada cuadro con el fin de verificar si fueron cargados correctamente.

    b) Modificar la tabla de registro de eventos de teclado para agregar información sobre si las teclas presionadas corresponden a las requeridas para una tarea específica. Una forma de realizar esto es con un flag que indique si la elección fue correcta.

    c) Para el caso en que el usuario detiene una sesión durante la ejecución: Incluir una ventana de diálogo para que pueda ser ingresado el motivo de la detención, agregando esta información al registro.

5. Incluir una mayor variedad de preguntas de usuario para el inicio de sesión de un experimento.
6. Incluir instancias para la previsualización de cuadros individuales y tareas.

Referencias

[1] K. R. Gegenfurtner, "The interaction between vision and eye movements," *Perception*, vol. 45(12), pp. 1333–1357, 2016. 3

[2] J. Findlay and R. Walker, "Human saccadic eye movements," *Scholarpedia*, vol. 7(7):5095, 2012. 3, 4, 5

[3] M. Rucci and M. Poletti, "Control and functions of fixational eye movements," *Annual Review of Vision Science*, vol. 1, pp. 499–518, 2015. 4

[4] H.-k. Ko, M. Poletti, and M. Rucci, "Microsaccades precisely relocate gaze in a high visual acuity task," *Nature Neuroscience*, vol. 13, pp. 1549–1553, 2010. 5

[5] C. J. Luek [et al], "Antisaccades and remembered saccades in parkinson's disease," *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, vol. 53(4), pp. 284–288, 1990. 5, 13

[6] F. Chan [et al], "Deficits in saccadic eye-movement control in parkinson's disease," *Neuropsychologia*, vol. 43(5), pp. 784–796, 2005. 5, 13

[7] S. Amador [et al], "Dissociating cognitive deficits involved in voluntary eye movement dysfunctions in parkinson's disease patients," *Neuropsychologia*, vol. 44(8), pp. 1475–1482, 2006. 5, 13

[8] A. Srivastava [et al], "Saccadic eye movements in parkinson's disease," *Indian Journal of Ophthalmology*, vol. 62(5), pp. 538–544, 2014. 5, 13

[9] T. Eggert, "Eye movement recordings: methods," *Neuro-Ophthalmology*, vol. 40, pp. 15–34, 2007. 5, 6, 9, 10

[10] D. C. Richardson and M. J. Spivet, "Eye tracking: Characteristics and methods," *Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering*, vol. 3, p. 10281042, 2004. 5, 6, 9, 10

[11] E. B. Delabarre, "A method of recording eye movements," *American Journal of Psychology*, vol. 9(4), pp. 572–574, 1898. 5

[12] E. B. Huey, "Preliminary experiments in the physiology and psychology of reading," *American Journal of Psychology*, vol. 9(4), pp. 575–586, 1898. 5

[13] R. Dodge and T. S. Cline, "The angle velocity of eye movements," *Psychological Review*, vol. 8, pp. 145–157, 1901. 6

[14] G. Rakoczi, "Analysis of eye movements in the context of e-learning, recommendations for eye-efficient user interfaces," Ph.D. dissertation, Fakultät für Informatik der Technischen Universität Wien, 2014. 6, 8, 9, 10

[15] B. Bauer, "A timely reminder about stimulus display times and other presentation parameters on crts and newer technologies," *Canadian Journal of Experimental Psychology*, vol. 69, pp. 264–273, 2015. 10

[16] P. Wang, "An lcd monitor with sufficiently precise timing for research in vision," *Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering*, vol. 5, 2011. 11

[17] T. Elze, T. G. Tanner, and B. Krekelberg, "Temporal properties of liquid crystal displays: Implications for vision science experiments," *PLoS ONE*, vol. 7(9), 2012. 11

[18] H. Strasburger, "Software for visual psychophysics: an overview," [consulta: 10 junio 2017]. [Online]. Available: http://www.visionscience.com/documents/strasburger/strasburger.html 12

[19] N. B. Systems, "Presentation software," [consulta: 13 junio 2017]. [Online]. Available: http://www.neurobs.com/ 13

[20] J. Peirce, "Psychopy," [consulta: 13 junio 2017]. [Online]. Available: http://www.psychopy.org/ 13

[21] M. Kleiner, "Psychtoolbox," [consulta: 13 junio 2017]. [Online]. Available: http://psychtoolbox.org/ 13

[22] A. D. Straw, "Vission egg," [consulta: 13 junio 2017]. [Online]. Available: https://visionegg.readthedocs.io/en/latest/index.html 13

[23] U. P. Mosimann [et al], "Saccadic eye movements changes in parkinson's disease dementian and dementia with lewy bodies," *Brain*, vol. 128, pp. 1267–1276, 2005. 13

[24] I. S. MacKenzie, "Evaluating eye tracking systems for computer input," in *Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking: Advances in Assistive Technologies*, P. Majaranta [et al]., Ed. Hershey, PA: IGI Global, 2011, ch. 15, pp. 205–225. 16, 17

[25] J. Pierce, "Generating stimuli for neuroscience using psychopy," *Frontiers in Neuroinformatics*, vol. 2, p. 10, 2009. 18

[26] S. Simpson, "iohub," [consulta: 23 agosto 2017]. [Online]. Available: http://www.isolver-solutions.com/iohubdocs/index.html 23