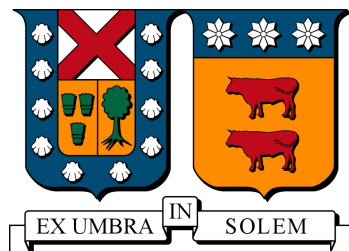


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO - CHILE



**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

?? - 2018

Resumen

En el presente trabajo de título se implementará un sistema de estimulación visual y registro de movimiento ocular para ser utilizado en experimentos que involucren tareas sico-motoras.

En la primera parte del escrito se presenta en líneas generales los principios del movimiento ocular y algunas de las tecnologías utilizadas en la actualidad tanto para estimular como registrar dichos movimientos.

La segunda parte del escrito consiste en mostrar como, en base a los requerimientos de los experimentos a implementar, se plantea y construye el sistema.

Finalmente se presenta, a modo de manual de usuario, los pasos a seguir para montar un experimento tipo y algunos de los resultados obtenidos con el fin de mostrar su funcionamiento.

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
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

Resumen	I
Glosario	I
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. Comparación 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. <i>Setup</i> 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	22
3.2.3. Tercera parte: Interfaz gráfica	37
4. Resultados	38
5. Conclusiones y trabajo futuro	39
5.1. Conclusiones	39
5.2. Trabajo futuro	39
Referencias	41
A. Configuración del entorno de programación	43

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 <i>eye trackers</i> 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. <i>Setup</i> 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. Diagrama de clases del sistema (no considera GUI).	24

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 la clase Utils.	26
3.3. Métodos implementados en la clase SaccadeDB.	26
3.4. Métodos implementados en la clase Master.	28
3.5. Métodos implementados en la clase ItemList.	29
3.6. Métodos implementados en la clase Component.	31
3.7. Métodos implementados en la clase Frame.	33
3.8. Métodos implementados en la clase Test.	34
3.9. Métodos implementados en la clase Experiment.	36
3.10. Métodos implementados en la clase ExperimentHandler.	37
3.11. Métodos implementados en la clase ExperimentRuntime.	37

Lista de Algoritmos

A.1. hola!	43
----------------------	----

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 discapacidad, 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 precisión 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 etapas 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 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].

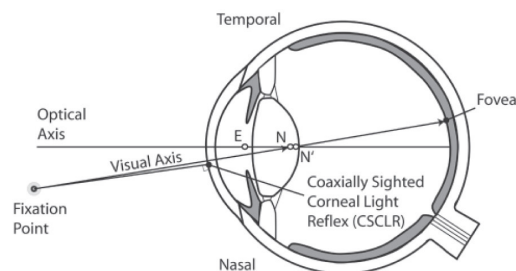


Figura 2.1: Estructura del ojo¹.

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 y visual del ojo, que corresponden a líneas imaginarias que van desde el centro de la retina y fóvea

¹Fuente 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.

respectivamente, 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 constantamente 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 sacadas² aumenta de forma no lineal en la medida que aumenta la amplitud de movimiento y puede alcanzar magnitudes de hasta $600 - 700[\frac{\text{grados}}{\text{s}}]$. 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

²Forma de referirse a un movimiento sacádico.

de calibración denominados micro-sacadas, que permiten además realizar tareas que requieren de gran precisión 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 traduzcan en alteraciones de las capacidades motrices. 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 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 construcción, dichos dispositivos permitían observar el comportamiento espacial, mas no el temporal.

A principios del siglo XX comenzaron a desarrollarse sistemas más parecidos a las tec-

nologías 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 esclerótica 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 [14, 9, 10]. 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.

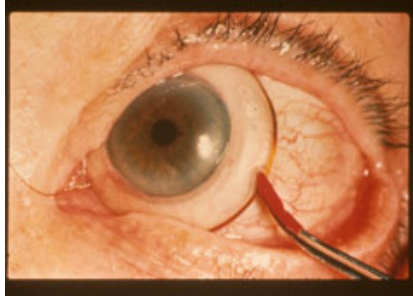


Figura 2.2: Ejemplo de uso de SSG³.

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 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*.

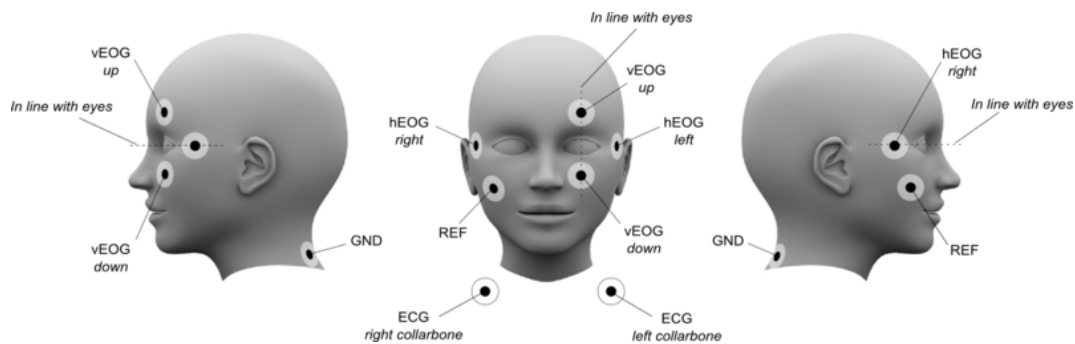


Figura 2.3: Ejemplo de posicionamiento de electrodos para EOG⁴.

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 ac-

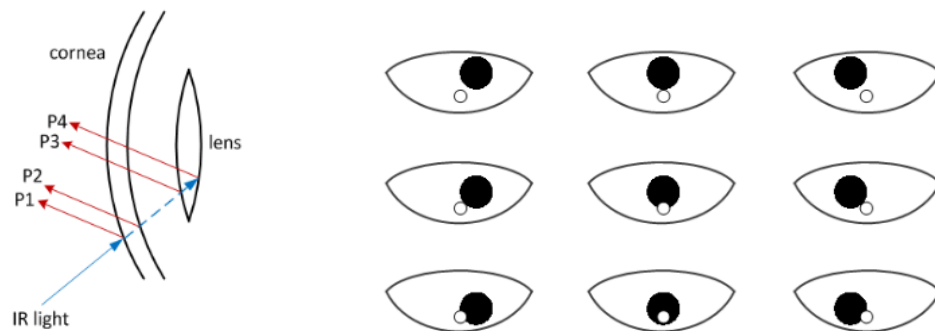
³Fuente imagen: <http://www.dizziness-and-balance.com/practice/default.htm>

⁴Fuente imagen: http://sbiwiki.cns.ki.se/mediawiki/index.php/Natmeg/checklist_MEG_preparation

tividad ocular y mediante procesamiento de imágenes determinar en que dirección se 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 el direccionamiento 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.



Figura 2.5: Muestra de *eye trackers* disponibles en el mercado con tecnología VOG basados en reflexión de luz IR⁵.

2.2.3. Comparación entre tecnologías

En la literatura consultada [14, 9, 10] 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 usabilidad⁶ 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.

⁵Fuente imagen: <https://www.tobii.com/> y <https://www.microway.com.au/> respectivamente.

⁶Estudios 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 <i>setup</i>	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 [14, 9, 10].

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].

⁷Frecuencia 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 imágenes 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 asegurar 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 página⁸.

⁸Esta 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	<i>Dec/2017</i>	<i>Sep/2014</i>	<i>Oct/2017</i>	<i>Abr/2017</i>
Citaciones en Google Scholar	2220	427	6310	3520
Programable	Si			
Imágenes y Video	Si			
Sonido	Si			
Soporte para <i>Eye trackers</i> 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 mecanismos 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], 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:** Cociente entre la amplitud de la sacada y la distancia desde el punto de partida al objetivo.
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.

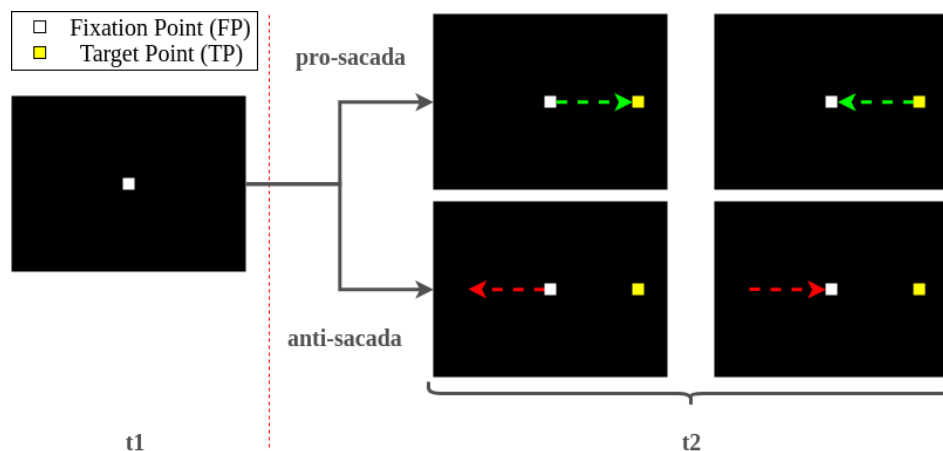


Figura 2.6: Tarea pro/anti sacádica.

Los tipos de movimientos descritos se estudian mediante estímulos 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.

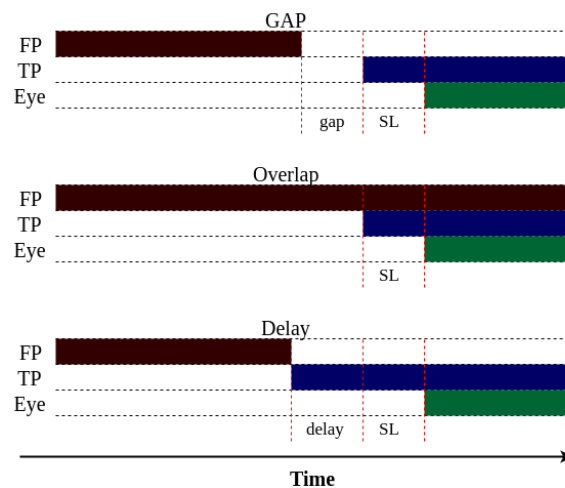


Figura 2.7: Paradigmas de experimentación.

Donde *FP* es el Fixation Point, *TP* el Target Point, *Eye* representa si existe o no movimiento ocular (o más bien, cuando se espera que ocurra) y *SL* corresponde a la latencia sacádica.

Movimientos guiados por memoria

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

En la figura 2.8 es posible observar un diseño simple para este tipo de experimentos.

Después de mantener FP por un lapso t_1 en pantalla se muestra una serie de objetivos T_n 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.

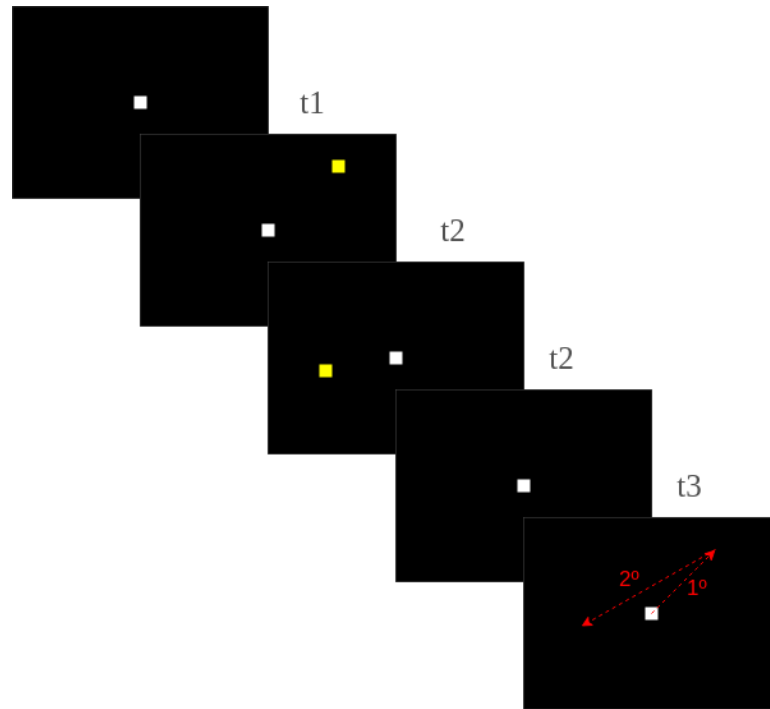


Figura 2.8: Tarea guiada por memoria.

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 [23].

En la figura 2.9 se presenta a modo de ejemplo un *setup* típico en estudios de movimiento ocular. Su configuración 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 [23].

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.

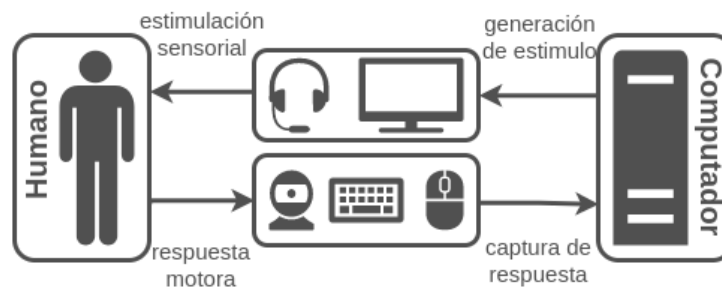


Figura 2.10: Diagrama general de la interfaz hombre-máquina [23].

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 × 1050[px], 60[Hz] Secundario: Samsung SyncMaster, 1680 × 1050[px], 60[Hz]
	Adquisición	<i>Eye tracker</i> : EyeTribe
Software	Entorno	SO: Windows 10 Pro x64 Base: Python 2.7 x86, Anaconda
	Módulos	Principal: PsychoPy 1.84.2[24] Requeridos: Ver anexo A

Cuadro 3.1: Hardware y software utilizado en el desarrollo.

La elección de software se encuentra influenciada 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 encuentra 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 sujeto de prueba debe llevar a cabo. 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.

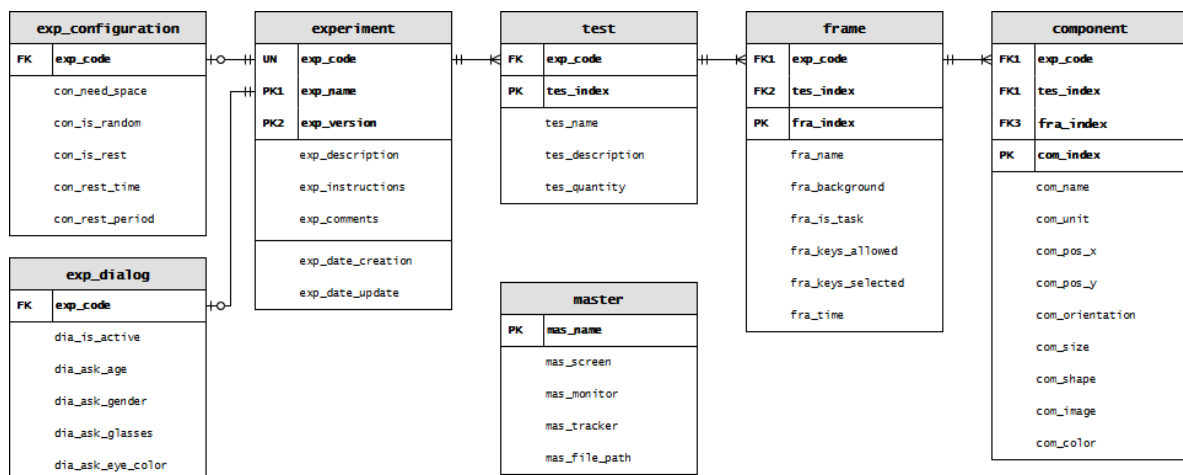


Figura 3.1: Diagrama de base de datos a implementar.

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 y su función:

1. **master:** Almacena la información asociada a un perfil de configuración del hardware a utilizar. Cada perfil es identificado con un nombre e indica qué pantalla será utilizada (screen), cuál es la configuración de dicha pantalla (monitor, se define en un aplicativo de PsychoPy), qué *eye tracker* se utilizará (tracker) y en qué directorio se almacenará

el archivo resultante.

2. **experiment:** Almacena la información de identificación de un experimento. Cada experimento se identifica por un código único (code) y un par nombre/versión (name/-version), que tiene como objetivo identificar a una aplicación específica de una familia del mismo tipo, por ejemplo: "antisaccade"/"v1.0_gap". Además, se incluye un campo para la descripción, instrucciones para el usuario (instructions) y comentarios para quien tome el experimento (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? (need_space), ¿El orden de las tareas es aleatorio o secuencial? (is_random), ¿Se incluyen en el experimento tiempos de descanso? (is_rest), ¿Cada cuántas tareas? (rest_period), ¿Con qué duración? (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. ¿Se incluirá información complementaria? (is_active), ¿Qué edad tiene el paciente? (ask_age), ¿Cuál es su sexo? (ask_gender), ¿Utiliza gafas o lentes de contacto? (ask_glasses), ¿Cuál es su color de ojos? (ask_eye_color).
5. **test:** Esta tabla contiene, para cada experimento, la identificación de las tareas a utilizar. Cada tarea se identifica por su nombre (name) y debe especificar el número de repeticiones a ser ejecutadas (quantity). Incluye un campo para añadir una descripción de la tarea (description).
6. **frame:** Esta tabla contiene, para cada tarea, el conjunto de cuadros que la conforman. Cada cuadro se identifica por un nombre (name) y permite la configuración de su comportamiento y características de forma general: color de fondo (color), si el cuadro corresponde a una tarea que requiere respuesta de teclado o es temporizada

(is_task), las teclas habilitadas (keys_allowed), las teclas que se espera sean presionadas (keys_selected) y el tiempo por el cual debe ser presentada (time).

7. **component:** Esta tabla contiene, para cada cuadro, el conjunto de componentes o elementos que la conforman. Cada componente se identifica por un nombre (name) y las configuraciones asociadas a las unidades de medida consideradas (units), su posición en la pantalla (pos_x, pos_y), su tamaño (size), si se encuentra rotada o no (orientation), si es una figura, su forma (shape) y color (color) o si es una imagen el binario correspondiente (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 para ajustarse a necesidades específicas de un experimento afecte el funcionamiento del resto.
2. No puede existir una tarea que no se encuentre asociada a algún experimento, esto aplica también a cuadros y componentes.
3. Tener toda la información y configuraciones contenidas 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 del programa principal.

Cabe destacar que, para asegurar la limpieza de la base de datos se tomo la decisión de generar tanto updates como deletes en cascada a todas las tablas asociadas a un experimento, de esta forma, al eliminar un experimento particular se eliminan también todas sus tareas y configuraciones, evitando data residual. Esto se repite en niveles más bajos también: 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, el teclado y el *eye tracker* se hará uso de ioHub [25]. IoHub es un módulo que

forma actualmente parte de PsychoPy y que fue desarrollado originalmente por Sol Simpson. Su funcionalidad principal consiste en montar un servicio por el cual se hace una revisión constante de los dispositivos de entrada/salida seleccionados, almacenando la información recopilada de forma ordenada en un archivo con formato hdf5, que corresponde a un tipo de diccionario donde se ordenan los datos. Para construir la aplicación en base a esta utilidad se debe generar un conjunto de métodos que permita lograr las funcionalidades presentadas en la figura 3.2.

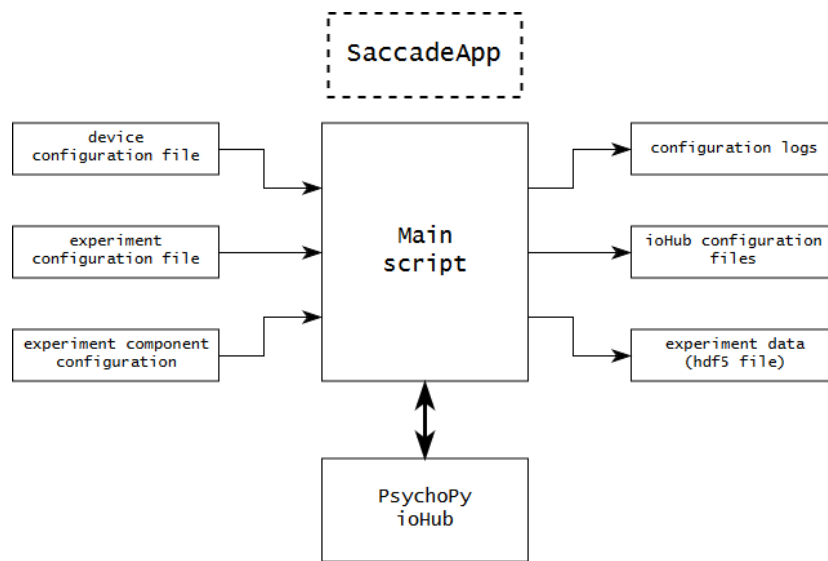


Figura 3.2: Diagrama de funcionamiento general.

Para esto, es necesario entregar tres insumos: la configuración de los dispositivos que serán monitorizados por ioHub, la configuración general del experimento (identificadores, descripción y los elementos que conforman las ventanas de diálogo) y la configuración de los elementos asociados a la presentación de estímulo (que se conforman por otras rutinas de PsychoPy).

En la figura 3.3 se presenta la estructura de clases implementada en este trabajo de título. Las clases Master, Experiment, Test, Frame y Component representan el conjunto de funciones que permiten manejar la configuración almacenada en las respectivas tablas de la base de datos además de otorgar otras funcionalidades que se enfocan en la ejecución del experimento propiamente tal. Debido a que Experiment, Test y Frame implican el manejo de una lista de componentes, estas son creadas como clases que heredan las funcionalidades básicas para

el manejo de listas como el agregar, copiar o eliminar elementos, cambiar su posición en la lista, etc. La clase `utils` implementa métodos de formateo de datos, tales como la conversión de strings a formato unicode o el formateo de fechas. `SaccadeDB` otorga funcionalidades que permiten comunicarse con el archivo de base de datos. Finalmente, la clase `ExperimentHandler` es la encargada de generar crear las carpetas de almacenamiento, los archivos de respaldo, los logs de configuración y la inicialización de la ejecución del experimento, que es implementado en la clase `ExperimentRuntime` (que hereda de `ioHub` e inicia el servicio asociado). La clase `Switch` implementa una estructura similar a un switch-case con el fin de utilizar una máquina de estados que regule la carga de frames durante la ejecución.

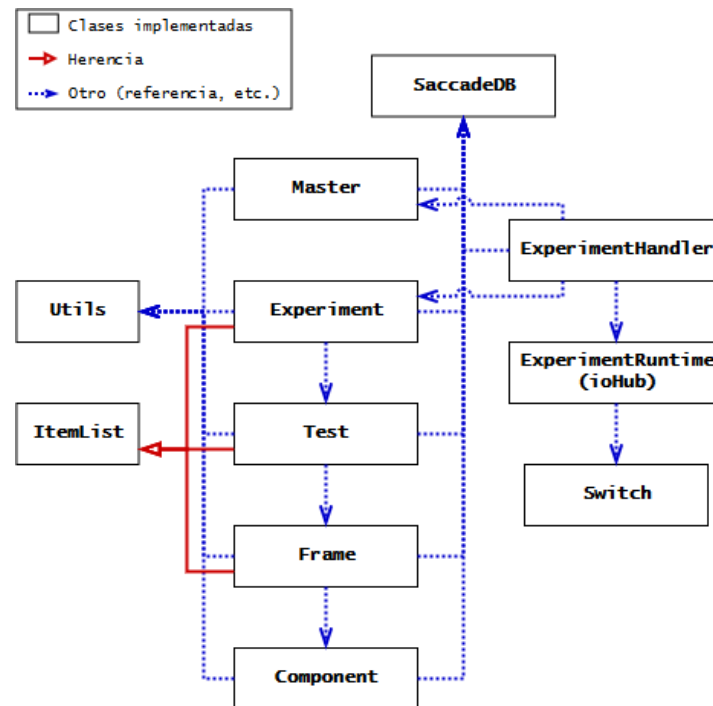


Figura 3.3: Diagrama de clases del sistema (no considera GUI).

A continuación se describe con un mayor grado de detalle cada clase. Por simplicidad se obvian las funciones asociadas al get-set de los atributos (que corresponden a los datos almacenados en la base de datos):

1. **Utils:** Clase utilizada para implementar funcionalidades de formateo de datos.

format_text	
Descripción	Método estático. Convierte un string o similar a formato unicode. Si el dato ingresado no cumple con las condiciones de formato se devuelve un elemento vacío.
Inputs	word: String o dato a ser formateado. lmin: Largo mínimo de la palabra. lmax: Largo máximo de la palabra.
Return	unicode.
format_int	
Descripción	Método estático. Convierte un valor en entero. Si el valor no cumple con las condiciones dadas se devuelve un valor por defecto, especificado por el usuario.
Inputs	value: Valor a ser formateado. vmin: Valor mínimo permitido. default: Valor por defecto.
Return	int.
format_float	
Descripción	Método estático. Convierte un valor en flotante. Si el valor no cumple con las condiciones dadas se devuelve un valor por defecto, especificado por el usuario.
Inputs	value: Valor a ser formateado. vmin: Valor mínimo permitido. default: Valor por defecto.
Return	float.
format_bool	
Descripción	Método estático. Convierte el valor entregado en un booleano. Si el valor no puede ser convertido se devuelve algún valor por defecto especificado por el usuario.
Inputs	state: Estado a ser formateado. default: Valor por defecto.
Return	bool.
format_path	
Descripción	Método estático. Formatea la dirección entregada dependiendo del sistema operativo.
Inputs	path: Dirección a ser formateada.
Return	unicode.

get_time	
Descripción	Método estático. Permite convertir un string asociado a una fecha desde el formato de tiempo GTM a el horario de Chile continental. Esta función se agrega debido a la configuración horaria de la base de datos.
Inputs	date: String que representa una fecha en formato Y-m-d H:M:S.
Return	unicode.

Cuadro 3.2: Métodos implementados en la clase Utils.

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

SaccadeDB	
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.
Inputs	filepath: Ubicación (string o unicode) del archivo de base de datos.
Return	void.
connect	
Descripción	Método que inicia una conexión con el archivo de base de datos. Si el archivo de base de datos especificado en el constructor no existe, crea uno nuevo utilizando las configuraciones por defecto.
Inputs	void.
Return	void.
close	
Descripción	Método que finaliza, de ser posible, la conexión con la base de datos.
Inputs	void.
Return	bool. Verdadero si la conexión se cierra apropiadamente, falso en caso contrario.
push_query	
Descripción	Método que permite realizar queries que involucren modificar los contenidos de la base de datos (insert, update, delete, etc.).
Inputs	query. Instrucción SQL (string o unicode).
Return	bool. Verdadero si la query se ejecuta correctamente, falso en caso contrario.
pull_query	
Descripción	Método que permite realizar queries que involucren obtener datos de la base de datos (select).
Inputs	query. Instrucción SQL (string o unicode).
Return	objeto. numpy_array en caso de existir datos, None en caso contrario.

Cuadro 3.3: Métodos implementados en la clase SaccadeDB.

3. **Master:** Clase que permite manipular las configuraciones de hardware asociado a los experimentos y la ruta de los archivos de salida de los mismos. Para utilizar las funciones de carga/guardado es necesario configurar el objeto de base de datos mediante la función set_database.

Master	
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.
Inputs	void.
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: Objeto de base de datos saccadeDB.
Return	objeto. list en caso de existir registros, None en caso contrario.
get_available_trackers	
Descripción	Método estático. Entrega una lista de las configuraciones disponibles para los <i>eye trackers</i> . Dichas configuraciones pueden ser encontradas en la carpeta 'saccadeApp/resources/eyetrackers' del proyecto.
Inputs	void.
Return	list.
get_available_screens	
Descripción	Método estático. Entrega una lista de los monitores (hardware) disponibles para realizar el experimento con sus respectivas resoluciones e identificadores. La pantalla principal tendrá el indicador 0.
Inputs	void.
Return	list.
get_available_monitors	
Descripción	Método estático. Entrega una lista de las configuraciones de monitor disponibles. Estas deben ser añadidas en la aplicación Monitor Center de PsychoPy y permiten setear características como la resolución de pantalla, tamaño físico de la misma, distancia del usuario, etc.
Inputs	void.
Return	list.
load	
Descripción	Método que permite cargar en el objeto las configuraciones almacenadas en la base de datos.
Inputs	name: Nombre del perfil de configuración que se desea cargar.
Return	bool. Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
save	
Descripción	Método que permite guardar la configuración del objeto en la base de datos.
Inputs	void.
Return	bool. Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.

copy		
Descripción	Método que permite realizar una copia de la configuración en otro objeto (copia profunda). Esto permite tener distintos perfiles de forma rápida variando pequeños elementos de cada uno.	
Inputs	name:	Nombre del nuevo perfil de configuración. Este no debe haber sido usado antes.
Return	objeto.	Devuelve una copia del objeto actual si se ingresa un nombre correctamente o None en caso contrario.
remove		
Descripción	Método que permite eliminar una configuración de la base de datos.	
Inputs	void.	
Return	bool.	Verdadero si la acción se realizó correctamente, falso en caso contrario.
get_iohub		
Descripción	En base a los atributos de la clase, correspondientes a la tabla master de la base de datos, esta función genera y retorna un diccionario con las configuraciones de los dispositivos requeridos por ioHub.	
Inputs	void.	
Return	dict.	
get_configuration		
Descripción	Retorna un diccionario con los atributos contenidos en la clase. Estos datos se almacenarán en un archivo a modo de log para respaldar e indicar cual fue la configuración utilizada al ejecutar un experimento específico.	
Inputs	void.	
Return	dict.	

Cuadro 3.4: Métodos implementados en la clase Master.

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 y permite definir el tipo de datos que contendrá la lista.	
Inputs	itemclass.	Tipo de dato/clase de los objetos.
Return	void.	
item_add		
Descripción	Método protegido. Permite agregar un objeto a la lista siempre y cuando sea del tipo especificado en el constructor.	
Inputs	item:	Objeto a añadir.
Return	bool.	Verdadero si la acción se realizó correctamente, falso en caso contrario.

item_copy	
Descripción	Método protegido. Agrega una copia profunda del objeto seleccionado en el último lugar de la lista.
Inputs	index: Posición en la lista del objeto a copiar.
Return	bool. Verdadero si el índice existe y se realiza la copia, falso en caso contrario.
item_delete	
Descripción	Método protegido. Elimina el objeto seleccionado.
Inputs	index: Posición en la lista del objeto a eliminar.
Return	bool. Verdadero si el índice existe y es eliminado, falso en caso contrario.
item_move_up	
Descripción	Método protegido. Si es posible, mueve el objeto en un espacio hacia la parte superior de la lista (índices más pequeños).
Inputs	index: Posición en la lista del objeto a mover.
Return	bool. Verdadero si la acción se realizó correctamente (fue posible mover el objeto), falso en caso contrario (no hay lugar o el índice no existe).
item_move_down	
Descripción	Método protegido. Si es posible, mueve el objeto en un espacio hacia la parte inferior de la lista (índices más altos).
Inputs	index: Posición en la lista del objeto a mover.
Return	bool. Verdadero si la acción se realizó correctamente (fue posible mover el objeto), falso en caso contrario (no hay lugar o el índice no existe).
item_get_all	
Descripción	Método protegido. Retorna la lista de objetos.
Inputs	void.
Return	objeto. list en caso de existir objetos, None en caso contrario.
item_get_by_index	
Descripción	Método protegido. Si es posible, devuelve el objeto asociado al índice.
Inputs	index: Posición en la lista del objeto seleccionado.
Return	objeto. Objeto de tipo itemclass si el índice existe o None en caso contrario.
item_number	
Descripción	Método protegido. Devuelve el número de elementos de la lista.
Inputs	void.
Return	objeto. int si existen objetos en la lista o None en caso contrario.

Cuadro 3.5: Métodos implementados en la clase ItemList.

5. **Component:** Clase utilizada para manejar la configuración de los elementos 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 todos los componentes que forman parte de un cuadro específico.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información. exp: Código del experimento al que pertenecen los componentes de interés. tes: ID de la tarea a la cual pertenecen los componentes de interés. fra: ID del cuadro al cual pertenecen los componentes de interés.
Return	objeto. list si existen elementos en la base de datos, None en caso contrario.
encode_image	
Descripción	Método privado. En caso de que el componente corresponda a una imagen, esta función la codifica para almacenar los datos en la base de datos en un campo de tipo BLOB.
Inputs	void.
Return	objeto. Unicode que contiene la imagen codificada en 'base64' en caso de existir imagen, None en caso contrario.
decode_image	
Descripción	Método privado. Permite decodificar una imagen almacenada en 'base64'.
Inputs	encimg: unicode que contiene la imagen codificada en 'base64'.
Return	objeto. Imagen PIL en caso de lograr decodificar, None en caso contrario.
load	
Descripción	Método que permite cargar en el objeto las configuraciones almacenadas en la base de datos.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información. exp: Código del experimento al que pertenece el componente. tes: ID de la tarea a la cual pertenece el componente. fra: ID del cuadro al cual pertenece el componente. com: ID del componente.
Return	bool. Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
save	
Descripción	Método que permite guardar los datos de un componente en la base de datos.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se guardará la información. exp: Código del experimento al que pertenecerá el componente. tes: ID de la tarea a la cual pertenecerá el componente. fra: ID del cuadro al cual pertenecerá el componente.

	com:	ID que se le otorgará al componente.
Return	bool.	Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
copy		
Descripción	Método que entrega una copia profunda del objeto.	
Inputs	void.	
Return	objeto.	Objeto de tipo Component con los mismos atributos.
get_execution		
Descripción	Método a ser utilizado durante la ejecución de un experimento. Retorna un objeto que puede ser presentado en el monitor mediante una ventana de PsychoPy.	
Inputs	win:	Objeto de tipo Window perteneciente a PsychoPy que permite mostrar los estímulos por pantalla.
Return	objeto.	Estímulo de la familia 'psychopy.visual'. Actualmente se encuentran implementadas 5 figuras (cruz, cuadrado, círculo, gaussiana y flechas) además de la posibilidad de incluir imágenes.
get_configuration		
Descripción	Retorna un diccionario con los atributos contenidos en la clase.	
Inputs	void:	
Return	dict.	

Cuadro 3.6: Métodos implementados en la clase Component.

6. **Frame:** Clase utilizada para configurar el comportamiento de un cuadro específico de una tarea. Ya que los cuadros contienen y muestran componentes, esta clase se define como hija de ItemList inicializada 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 todos los cuadros que forman parte de una tarea específica.	
Inputs	db:	Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información.
	exp:	Código del experimento al que pertenecen los cuadros de interés.
	tes:	ID de la tarea a la cual pertenecen los cuadros de interés.
Return	objeto.	list si existen elementos en la base de datos, None en caso contrario.
load		
Descripción	Método que permite cargar el cuadro y sus componentes desde la base de datos. Para cargar los componentes se hace uso del método privado load_components.	
Inputs	db:	Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información.
	exp:	Código del experimento al que pertenece el cuadro.

	tes: ID de la tarea a la cual pertenece el cuadro. fra: ID del cuadro.
Return	bool. Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
load_components	
Descripción	Método privado. Busca en la base de datos todos los componentes asociados al cuadro de interés, lo carga de forma iterativa y los agrega a la lista.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información. exp: Código del experimento al que pertenece el cuadro. tes: ID de la tarea a la cual pertenece el cuadro. fra: ID del cuadro.
Return	void.
save	
Descripción	Método que permite guardar los datos de un cuadro y sus componentes en la base de datos. Para guardar los componentes se hace uso del método privado save_components.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se guardará la información. exp: Código del experimento al que pertenecerá el cuadro. tes: ID de la tarea a la cual pertenecerá el cuadro. fra: ID que se le otorgará al cuadro.
Return	bool. Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
save_components	
Descripción	Método privado. Guarda en la base de datos cada uno de los componentes de la lista.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se guardará la información. exp: Código del experimento al que pertenece el cuadro. tes: ID de la tarea a la cual pertenece el cuadro. fra: ID del cuadro.
Return	void.
copy	
Descripción	Método que entrega una copia profunda del objeto.
Inputs	void.
Return	objeto. Objeto de tipo Frame con los mismos atributos.
get_execution	
Descripción	Método a ser utilizado durante la ejecución de un experimento. Retorna un diccionario que contiene las configuraciones del cuadro y una lista con sus componentes. Para esto se hace uso de forma iterativa de la función get_execution de cada componente que forma parte del cuadro.
Inputs	win: Objeto de tipo Window perteneciente a PsychoPy que permite mostrar los estímulos por pantalla.
Return	dict.

get_configuration	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos del cuadro y una lista con los atributos de sus componentes. Para esto se hace uso de forma iterativa de la función get_configuration de cada componente que forma parte del cuadro.
Inputs	void.
Return	dict.

Cuadro 3.7: Métodos implementados en la clase Frame.

7. **Test:** Clase utilizada para configurar una tarea específica en un experimento. Ya que las tareas se componen de cuadros, esta clase se define como hija de ItemList inicializada 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 todas las tareas que forman parte de un experimento específico.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información. exp: Código del experimento al cual pertenecen las tareas de interés.
Return	objeto. list si existen elementos en la base de datos, None en caso contrario.
load	
Descripción	Método que permite cargar la tarea y sus cuadros desde la base de datos. Para cargar los cuadros se hace uso del método privado load_frames.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información. exp: Código del experimento al que pertenece la tarea de interés. tes: ID de la tarea.
Return	bool. Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
load_frames	
Descripción	Método privado. Busca en la base de datos todos los cuadros asociados a la tarea de interés, los carga de forma iterativa y los agrega a la lista.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información. exp: Código del experimento al que pertenece la tarea de interés. tes: ID de la tarea.
Return	void.
save	
Descripción	Método que permite guardar los datos de una tarea y sus cuadros en la base de datos. Para guardar los cuadros se hace uso del método privado save_frames.

Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se guardará la información. exp: Código del experimento al que pertenecerá la tarea. tes: ID que se le otorgará a la tarea.
Return	bool. Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
save_frames	
Descripción	Método privado. Guarda en la base de datos cada uno de los cuadros de la lista.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se guardará la información. exp: Código del experimento al que pertenece la tarea. tes: ID de la tarea a la cual pertenecerá el cuadro.
Return	void.
copy	
Descripción	Método que entrega una copia profunda del objeto.
Inputs	void.
Return	objeto. Objeto de tipo Test con los mismos atributos.
get_execution	
Descripción	Método a ser utilizado durante la ejecución de un experimento. Retorna un diccionario que contiene las configuraciones de la tarea y una lista con sus cuadros. Para esto se hace uso de forma iterativa de la función get_execution de cada cuadro que forma parte de la tarea.
Inputs	win: Objeto de tipo Window perteneciente a PsychoPy que permite mostrar los estímulos por pantalla.
Return	dict.
get_configuration	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos de la tarea y una lista con los atributos de sus cuadros. Para esto se hace uso de forma iterativa de la función get_configuration de cada cuadro que forma parte de la tarea.
Inputs	void.
Return	dict.

Cuadro 3.8: Métodos implementados en la clase Test.

8. **Experiment:** Clase utilizada para configurar un experimento específico. Ya que los experimentos se componen de tareas, esta clase se define como hija de ItemList inicializada para objetos de tipo Test. Para utilizar las funciones de carga/guardado es necesario configurar el objeto de base de datos mediante la función set_database.

Experiment	
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.
Inputs	void.
Return	void.

get_list		
Descripción	Método estático. Retorna una lista con todas las tareas que forman parte de un experimento específico.	
Inputs	db:	Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información.
Return	objeto.	list si existen elementos en la base de datos, None en caso contrario.
load		
Descripción	Método que permite cargar el experimento y sus tareas desde la base de datos. Para cargar las tareas se hace uso del método privado load_tests.	
Inputs	code:	Código que identifica al experimento de interés.
Return	bool.	Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
load_tests		
Descripción	Método privado. Busca en la base de datos todos las tareas asociados al experimento de interés, las carga de forma iterativa y los agrega a la lista.	
Inputs	void.	
Return	void.	
save		
Descripción	Método que permite guardar los datos de un experimento y sus tareas en la base de datos. Para guardar las tareas se hace uso del método privado save_tests.	
Inputs	void.	
Return	bool.	Verdadero si el proceso se completó satisfactoriamente, falso en caso contrario.
save_tests		
Descripción	Método privado. Guarda en la base de datos cada una de las tareas de la lista.	
Inputs	void.	
Return	void.	
copy		
Descripción	Método que permite realizar una copia de la configuración en otro objeto (copia profunda).	
Inputs	code:	Código del nuevo experimento. Debido a que este es un campo único, no puede ser igual a alguno ya almacenado en la base de datos.
	version:	Versión del nuevo experimento. no pueden existir dos experimentos con el mismo nombre y versión en la base de datos.
Return	objeto.	Objeto de tipo Experiment si ingresa correctamente el nuevo código y versión, None en caso contrario.

get_iohub	
Descripción	En base a los atributos de la clase, correspondientes a las tablas de la base de datos experiment y exp_dialog, esta función genera y retorna un diccionario con las configuraciones del experimento requeridas por ioHub.
Inputs	void.
Return	dict.
get_execution	
Descripción	Método a ser utilizado durante la ejecución de un experimento. Retorna un diccionario que contiene las configuraciones asociadas a la ejecución del experimento y una lista con sus tareas. Para esto se hace uso de forma iterativa de la función get_execution de cada tarea que forma parte del experimento.
Inputs	win: Objeto de tipo Window perteneciente a PsychoPy que permite mostrar los estímulos por pantalla.
Return	dict.
get_configuration	
Descripción	Retorna un diccionario que contiene los atributos del experimento y una lista con los atributos de sus tareas. Para esto se hace uso de forma iterativa de la función get_configuration de cada tarea que forma parte del experimento.
Inputs	void:
Return	dict.

Cuadro 3.9: Métodos implementados en la clase Experiment.

9. **ExperimentHandler:** Clase utilizada para efectuar las configuraciones previas que permiten ejecutar un experimento.

ExperimentHandler	
Descripción	Constructor. Inicializa los atributos del objeto.
Inputs	void.
Return	void.
load_experiment	
Descripción	Método que verifica la existencia del perfil de configuración (Master) y el experimento (Experiment) a ser utilizados. Si todo está correcto habilita la ejecución del experimento.
Inputs	db: Objeto de base de datos (SaccadeDB) mediante el cual se extraerá la información. mas: Nombre dle perfil de configuración a utilizar. exp: Código del experimento a utilizar.
Return	bool. Verdadero si esta habilitada la ejecución, falso en caso contrario.
save_execution_parameters	
Descripción	Si el experimento se encuentra habilitado, este método verifica la existencia de las carpetas en donde se almacenarán los resultados y guarda en ellas respaldos de los archivos de configuración acompañados del timestamp en que fueron generados.
Inputs	void:
Return	bool. Verdadero si el experimento esta habilitado y se guardaron los archivos, falso en caso contrario.

execute_experiment		
Descripción	Si el experimento se encuentra habilitado y los archivos de configuración están disponibles se ejecuta el experimento. Para esto, se inicializa una instancia de la clase ExperimentRuntime.	
Inputs	void.	
Return	bool.	Verdadero si el experimento pudo ser ejecutado, falso en caso contrario.

Cuadro 3.10: Métodos implementados en la clase ExperimentHandler.

10. **ExperimentRuntime:** Clase que ejecuta el experimento. Hereda de ioHubExperimentRuntime, clase de ioHub encargada 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	exp_cfg_dict.	Diccionario que almacena el experimento a ejecutar y la ubicación de los archivos de configuración necesarios para correr el servicio.
Return	void.	
run		
Descripción	Método reimplementado de la clase padre y que 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 3.11: 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

respecto del objetivo: 1) Es posible configurar y almacenar [referencia a código de ejemplo de configuración y screenshot de los datos almacenados en la tabla]: - Configuración del sistema en donde se ejecutará el experimento : * Eye tracker a ser utilizado. * Qué monitor será utilizado y cuál es su perfil de configuración. * Directorio donde se almacenarán los resultados del experimento. - Configuración de los experimentos: * Configurar sus tareas, cuadros y componentes. * Opciones de ejecución: + Tiempos de descanso. + Tipo de ejecución de las tareas: aleatoria o secuencial. + Si se requiere alguna acción del usuario para comenzar cada tarea o la ejecución será ininterrumpida. * Opciones asociadas al diálogo previo a cada ejecución (sesión). Esto dice relación con la información que interesa rescatar del paciente que realizará el experimento.

2) Es posible ejecutar el experimento de forma tal que se almacene tanto la información del estímulo presentado como de las respuestas producidas por el usuario [screenshot del árbol de carpetas producido dado la configuración anterior junto a imágenes del archivo de resultados y el contenido de los diccionarios generados]. * Se almacena un respaldo de la configuración utilizada en cada sesión en un archivo de diccionario de formato yaml, lo que facilita su lectura por parte de los investigadores. * Se almacena un registro de los eventos ocurridos durante el laboratorio en un archivo de formato estándar (hdf5) para: + Eye tracker. + Acciones de teclado. + Eventos en el monitor dependientes de los estímulos presentados.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajo futuro

5.1. Conclusiones

- Se ha logrado implementar en sistema que permite configurar, almacenar y ejecutar experimentos como los propuestos en el estado de arte, lo que implica el cumplimiento de los objetivos 1 y 2.

- La implementación fue posible gracias a los niveles de abstracción proporcionados por la programación orientada a objetos: - ioHub y psychoPy fueron programados en base a este paradigma. - La implementación de los distintos elementos como objetos que dependen/usan a otros permite plantear de forma más simple problemas de este tipo.

5.2. Trabajo futuro

A corto plazo, es necesario desarrollar e implementar la GUI a modo de completar los objetivos propuestos a este trabajo de título. Para esto, se cuenta con todas las funcionalidades implementadas y lineamientos generales de diseño. Se espera completar este punto en un plazo no superior a un mes desde la entrega de este informe.

Como trabajo para futuros desarrollos se proponen las siguientes tareas, que escapan a los alcances de este trabajo de título:

1. 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.

2. 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.
3. Incluir una mayor variedad de preguntas de usuario para el inicio de sesión de un experimento.

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] 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
- [24] J. Pierce, “Generating stimuli for neuroscience using psychopy,” *Frontiers in Neuroinformatics*, vol. 2, p. 10, 2009. 18
- [25] S. Simpson, “iohub,” [consulta: 23 agosto 2017]. [Online]. Available: <http://www.isolver-solutions.com/iohubdocs/index.html> 22

Apéndice A

Configuración del entorno de programación

Script para crear la base de datos.

```
1  =====
2  -- SQLite Script generated manually
3  -- Date      : 29/01/2018
4  -- model     : saccadedb
5  -- author    : Christian Wiche
6  =====
7  pragma recursive_triggers=1;
8  pragma foreign_keys=1;
9
10
11 =====
12 -- MAIN CONFIG TABLE
13 =====
14 create table if not exists master (
15     mas_name          varchar(50)      not null,
16     mas_screen        int              not null    default 0,
17     mas_tracker       varchar(20)      not null    default 'None',
18     mas_monitor       varchar(50)      not null    default 'default',
19     mas_path          varchar(200)     not null    default './events',
20     primary key (mas_name)
21 );
22
23 =====
24 -- EXPERIMENT-RELATED TABLES
25 =====
26 -- Experiment: base table -----
27 create table if not exists experiment (
28     exp_code          varchar(10)      not null,
29     exp_name          varchar(50)      not null,
30     exp_version       varchar(10)      not null,
31     exp_description   text             null        default '',
32     exp_instructions  text             null        default '',
33     exp_comments      text             null        default '',
34     exp_date_creation timestamp        null        default current_timestamp,
35     exp_date_update   timestamp        null        default current_timestamp,
36     primary key (
37         exp_name,
38         exp_version
```

```

39     )
40 );
41 -- date update
42 create trigger if not exists trg_exp
43     after update of
44         exp_code,
45         exp_name,
46         exp_version,
47         exp_description,
48         exp_instructions,
49         exp_comments
50     on experiment
51     begin
52         update experiment
53         set exp_date_update = current_timestamp
54         where exp_code = new.exp_code;
55     end;
56 -- index
57 create unique index if not exists unq_exp on experiment (exp_code);
58
59 -----
60 -- Experiment: exp_dia -----
61 create table if not exists exp_dia (
62     exp_code          varchar(10)      not null,
63     dia_is_active     tinyint          not null    default 1,
64     dia_ask_age       tinyint          not null    default 1,
65     dia_ask_gender    tinyint          not null    default 1,
66     dia_ask_glasses   tinyint          not null    default 1,
67     dia_ask_eye_color tinyint          not null    default 1,
68     primary key (exp_code)
69     constraint fk_exp_dia
70         foreign key (exp_code)
71         references experiment (exp_code)
72         on delete cascade
73         on update cascade
74 );
75 -- index
76 create index if not exists idx_exp_dia on exp_dia (exp_code asc);
77
78 -----
79 -- Experiment: exp_con -----
80 create table if not exists exp_con (
81     exp_code          varchar(10)      not null,
82     con_need_space    tinyint          not null    default 0,
83     con_is_random     tinyint          not null    default 0,
84     con_is_rest       tinyint          not null    default 0,
85     con_rest_period   int              not null    default 0,
86     con_rest_time     float            not null    default 0.0,
87     primary key (exp_code)
88     constraint fk_exp_con
89         foreign key (exp_code)
90         references experiment (exp_code)
91         on delete cascade
92         on update cascade
93 );
94 -- index
95 create index if not exists idx_exp_con on exp_con (exp_code asc);
96
97 -----
98 -- TEST-RELATED TABLES (EXPERIMENT CHILD)
99 -----
100 -- Test: base table -----
101 create table if not exists test (
102     exp_code          varchar(10)      not null,
103     tes_index         int              not null    default 1,
104     tes_name          varchar(50)      not null    default 'Unnamed',
105     tes_description    text            null       default '',
106     tes_quantity      int              not null    default 1,

```

```

107     primary key (
108         exp_code,
109         tes_index
110     )
111     constraint fk_tes
112         foreign key (exp_code)
113         references experiment (exp_code)
114         on delete cascade
115         on update cascade
116 );
117 -- index
118 create index if not exists idx_tes on test (exp_code asc, tes_index asc);
119
120 -----
121 -- Test: tes_frame -----
122 create table if not exists frame (
123     exp_code          varchar(10)      not null,
124     tes_index         int              not null    default 1,
125     fra_index         int              not null    default 1,
126     fra_name          varchar(50)      not null    default 'Unnamed',
127     fra_color         varchar(20)      not null    default 'black',
128     fra_is_task       tinyint          not null    default 0,
129     fra_keys_allowed  text,
130     fra_keys_selected text,
131     fra_time         float            not null    default 0.0,
132     primary key (
133         exp_code,
134         tes_index,
135         fra_index
136     )
137     constraint fk_fra
138         foreign key (exp_code, tes_index)
139         references test (exp_code, tes_index)
140         on delete cascade
141         on update cascade
142 );
143 -- index
144 create index if not exists idx_fra on frame (exp_code asc, tes_index asc, fra_index asc);
145
146 -----
147 -- Test: tes_fra_object -----
148 create table if not exists component (
149     exp_code          varchar(10)      not null,
150     tes_index         int              not null    default 1,
151     fra_index         int              not null    default 1,
152     com_index         int              not null    default 1,
153     com_name          varchar(50)      not null    default 'Unnamed',
154     com_units         varchar(10)      not null    default 'deg',
155     com_pos_x         float            not null    default 0.0,
156     com_pos_y         float            not null    default 0.0,
157     com_orientation   float            not null    default 0.0,
158     com_size          float            not null    default 1.0,
159     com_shape         varchar(20)      not null    default 'square',
160     com_image         blob             null,
161     com_color         varchar(20)      not null    default 'white',
162     primary key (
163         exp_code,
164         tes_index,
165         fra_index,
166         com_index
167     )
168     constraint fk_obj
169         foreign key (exp_code, tes_index, fra_index)
170         references frame (exp_code, tes_index, fra_index)
171         on delete cascade
172         on update cascade
173 );
174 -- index

```

```
174 create index if not exists idx_obj on component (exp_code asc, tes_index asc, fra_index asc,  
com_index asc);
```

Algoritmo A.1: hola!