



# Projecte Tool:

**Procés de construcció  
d'un Eye Tracker DIY i  
ús d'aquest per a l'estudi de  
la hipòtesi ull - ment.**

**Aquesta pàgina ha estat deixada en blanc intencionadament**

# PROJECTE :

## Procés de construcció d'un Eye tracker DIY i ús d'aquest per a l'estudi de la hipòtesi ull - ment.

*Autor:* Joan Vendrell Gallart

*Tutor:* Pere Vendrell Adell

Batxillerat Tecnològic I

Grup A

Any 2014

Curs 2014 / 2015

**Aquesta pàgina ha estat deixada en blanc intencionadament**

## Índex

---

Agraïments.....	6
Introducció.....	7
Motivació.....	8
Objectius.....	8
Part 1.....	12
1. Definició:.....	12
2. Funcionament:.....	12
3. Història:.....	13
3.1. Empreses més importants:.....	19
4. Fonaments teòrics:.....	23
4.1. Funcionament de l'ull:.....	24
4.2. Parts de l'ull:.....	24
4.3. Moviments oculars:.....	26
4.3.1. Fixacions:.....	26
4.3.2. Sortides:.....	27
4.3.3. Nistagme:.....	29
4.3.4. Parpelleig:.....	29
5. Tipus d'Eye Trackers:.....	30
5.1. Eye Tracker invasiu:.....	31
5.2. Eye Tracker no invasiu:.....	31
5.2.1. Tècniques de rastreig ocular :.....	32
5.2.2. Tipus d'Eye Tracker no invasius:.....	33
5.3. Electrooculograma (EOG):.....	36
6. Diferència entre Eye Tracking i Gaze Tracking:.....	36
7. Representació :.....	37
8. Interpretació:.....	38
9. Aplicacions dels sistemes Eye Tracking:.....	40
9.1. Usos passius:.....	40
9.2. Usos actius:.....	42
10. Avantatges i inconvenients:.....	43
Part 2.....	46
1. Tipus d'Eye Tracker construït:.....	46

2.	Procés:	47
2.1.	Idea inicial:	47
2.2.	Hardware:	48
2.2.1.	Fase 1 :	48
2.2.2.	Fase 2 :	51
2.2.3.	Fase 3 :	52
2.2.4.	Fase 4:	55
2.2.5.	Fase 5:	56
2.2.6.	Fase 6:	57
2.3.	Software:	59
2.3.1.	Funcionament dels software dels Eye Trackers:	60
2.3.2.	ITU Gaze Tracker:	63
2.3.3.	OGAMA:	66
2.4.	Possibles millores del projecte:	69
3.	Resum del pressupost:	69
4.	Resultat:	70
Part 3		72
1.	Introducció:	72
2.	Hipòtesi:	72
2.1.	Proves inicials que recolzen la hipòtesi:	72
3.	Objectius:	73
4.	Tipologia de les persones enquestades:	73
5.	Confecció de l'experiment:	73
6.	Mètode usat:	74
7.	Resum dels resultats:	75
8.	Conclusió de l'estudi:	75
Conclusió i valoració		78
Glossari		80
Webgrafia		81
Annexos		83

## Agraïments

---

Abans de començar la redacció del projecte és moment d'agrair l'ajuda que m'han ofert algunes persones i que, en petita o en gran mesura, ha contribuït en la finalització d'aquest treball.

En primer lloc, m'agradaria agrair el suport que m'ha donat la meva família, els meus pares i els meus germans. Sempre m'han ajudat en tot el que he necessitat i, la seva confiança, ha estat molt important per a endinsar-me en el món dels Eye Tracker. De fet, van ser els meus germans els que em van informar sobre aquesta tecnologia per primera vegada.

En segon lloc, vull agrair l'ajuda del meu tutor de trec, en Pere Vendrell, que m'ha aconsellat molt, sobretot, en el camp de l'estructuració del treball i de les idees. També vull donar les gràcies a les persones que han col·laborat en aquest projecte, ja sigui concedint-me entrevistes o participant en l'estudi de la hipòtesi ull – ment.

Per acabar, vull agrair també l'ajuda de diverses persones a través del correu electrònic. No els anomenaré un per un ja que són més de 50 persones de diferents llocs del món; Corea del Sud, EE.UU. , Brasil, Turquia o Alemanya, entre d'altres. Però si que, en especial, m'agradaria agrair l'ajuda del turc Diako Mardanbeigi, de l'americà Mike Ryan, de l'alemany Adrian Vosskuhler i dels suecs Martin Tall i John Paulin Hansen; que des del primer moment no van tenir cap problema per respondre les preguntes que els anava realitzant.

## Introducció

---

Els sistemes Eye Tracking són uns aparells que mesuren els moviments oculars oferint així, una informació útil en diversos aspectes. Bàsicament, aquesta informació, s'usa per dues accions; per una banda, la interacció amb aparells electrònics i, per l'altra, l'estudi d'aquests moviments, ja sigui per exemple, per publicitat o pedagogia. Aquest ús i l'estudi pedagògic d'aquest, va ser el perquè, al 1908, es van construir les primeres màquines de seguiment ocular.

Tot i la seva aparent antiguitat, els Eye Tracker gaudeixen de poca universalitat, segurament, deguda als alts costos d'aquests aparells. Duran els últims anys però, aquesta tendència s'ha invertit gràcies a la reducció dels preus i als projectes DIY <sup>1</sup>. Precisament, aquest serà un dels objectius d'aquest treball: construir un sistema Eye Tracking de baix cost i assequible per a tothom. Aquest projecte no només consta d'un objectiu, també pretén recopilar informació sobre aquesta tecnologia, una informació que es troba molt dispersa per Internet i, també, usar l'Eye Tracker construït per a un estudi que pretén desmentir, si més no, posar en dubte la hipòtesi ull – ment de Just i Carpenter, cosa que serà explicada més endavant.

El treball, es troba dividit en tres parts que coincideixen amb els tres objectius marcats. En la primera, hi trobem la informació teòrica ordenada de forma tal i com he considerat apropiada per a una bona assimilació per tal d'anar aprenent continguts mica en mica, coneixent així aquesta tecnologia. En la segona part podem trobar-hi la construcció de l'Eye Tracker cronològicament amb els seus errors i millores. I en la tercera, podem trobar-hi l'estudi realitzat amb la seva hipòtesi, resultats i conclusions, entre altres aspectes.

En la part final, hi trobem els annexos que es troben una part en el projecte escrit i una altra en un CD al final del treball. En ells hi podem trobar diversa informació interessant de saber relacionada amb el treball: les entrevistes realitzades, el pressupost desglossat o els plànols de *l'EyeTool*, entre d'altres. També, al final, hi trobem un glossari amb certes definicions, tot i que, en mig del treball, anem trobant-nos amb peus de pàgina que, o bé ens aporten informació sobre els annexos, o bé ens aporten aclariments i definicions de diverses paraules.

---

<sup>1</sup> Veure annex F.

## Motivació

---

Sempre havia pensat que els sistemes Eye Tracking formaven part del futur i que encara eren una tecnologia en investigació molt lluny del meu abast. Però vaig descobrir el projecte EyeWriter on un grup d'investigadors i programadors aconseguien crear un Eye Tracker amb objectes quotidians amb un preu molt baix i, llavors, vaig veure que potser no era una quimera intentar realitzar-ne un jo mateix.

Des del primer dia, el fet de poder realitzar un Eye Tracker, se'm va presentar com un repte difícil degut a la inexperiència en aquest camp i vaig decidir aconseguir superar-lo ja que em fascina en gran manera aquesta tecnologia que fins fa uns mesos considerava únicament de ciència – ficció.

## Objectius

---

Aquest projecte té tres objectius principals que s'intentaran assolir en cada part del treball tal i com ja he comentat en la introducció.

El primer objectiu consisteix en recopilar informació sobre els Eye Tracker. Els coneixements sobre aquesta tecnologia es troben molt dispersos per Internet, sobretot, en diversos *Blogs* d'aficionats a les noves tecnologies. Aquest repte, que s'intentarà assolir en la primera part del treball, pretén contrastar les diverses informacions, recopilar-les i resumir-les per aconseguir una entenedora explicació sobre el funcionament d'aquests aparells.

El segon objectiu, segurament el més important, consisteix en la construcció d'un sistema Eye Tracking, el qual anomenarem *EyeTool*, a partir d'elements barats i fàcils d'obtenir. És un repte difícil degut a la inexperiència en aquest tema i, en general, l'escàs coneixement dels llenguatges de programació i el fet de que mai havia intentat realitzar quelcom semblant.

El tercer objectiu consisteix en la realització d'un estudi usant el sistema Eye Tracking construït. L'estudi es basarà en la comprovació de la hipòtesi ull – ment que van formular els psicòlegs Just i Carpenter a la dècada dels 80. La idea d'aquest estudi, la qual es completarà més endavant, és desmentir l'afirmació que feien aquests dos psicòlegs que deia que sense fixació no hi ha interpretació.

**NOTA:** Tots els Eye Tracker acostumen a tenir un nom propi per tal de diferenciar-los de la resta d'aparells. En el meu cas, l'Eye Tracker construït, s'anomenarà *EyeTool* que, traduint-ho, seria quelcom semblant a: "Eina dels ulls". El nom reflexa la meva forma de veure aquesta tecnologia, com una eina d'ajuda a les persones, ja sigui a partir d'un estudi o de la interacció directa amb l'ordinador o altres aparells electrònics.

“ *Motivation is what gets you started, habit is what keeps you going* ”

Jim Ryuh

# **Primera part: informació teòrica**

## Part 1

Aquesta primera part consta de la informació teòrica, important per entendre el funcionament dels Eye Tracker.

### 1. Definició:



Figura 1 : Eye Tracker.

en aquest treball.

Al ser un conjunt de paraules no té entrada al diccionari, tot i que, podríem definir un Eye Tracker com a una eina que permet extreure informació d'un usuari a partir del seguiment del moviment dels seus ulls.

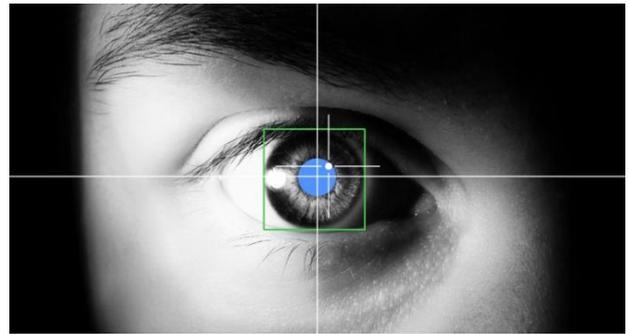


Figura 2: Nineta detectada pel programa d'un Eye Tracker.

### 2. Funcionament:

El seu funcionament s'anirà veient constantment en aquest treball, sobre tot, en la part pràctica, però és interessant fer-ne una petita explicació per anar-ho introduint.

Tot i que hi ha diversos tipus d'Eye Tracker, dels quals ja en parlaré, la gran majoria funcionen seguint un mateix patró.



Figura 3: Noia usant un sistema Eye Tracking.

Un element, ja sigui un monitor o una càmera, llença un raig infraroig a l'ull i, a partir de les direccions que aquest pren, calcula la posició i, conseqüentment, el moviment de la pupil·la, per tant, coneix a on estem mirant. El raig es manté constant sobre la pupil·la un cop la detecta i, d'aquesta forma, crea un reflex a la còrnia. Per fer-ho, es guia pel

contrast de color ja que la pupil·la, tenint en compte una visió en blanc i negre, és la part més fosca de l'ull. Per això, és important una bona il·luminació.

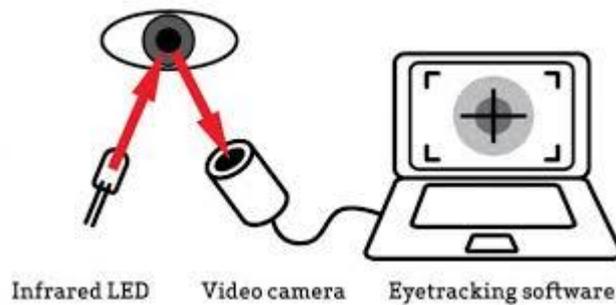


Figura 4: Esquema de funcionament d'un Eye Tracker.

### 3. Història:

Com ja heu sentit a dir, si no coneixem el passat, no entendrem el present, per això, considero important el relat de la història dels Eye Trackers, que no és gaire extensa, doncs podríem dir que és un invent bastant recent entre la societat.



Figura 5: Louis Emile Javal.

El concepte d'Eye Tracker va sorgir al 1800 degut als primers estudis dels moviments oculars. Aquests estudis van ser desenvolupats més endavant, al 1879, pel francès Louis Emile Javal, que va estudiar el procés de lectura. Javal, no va usar cap màquina, ho va fer a partir de l'observació. La primera màquina va sorgir a principis del 1900, concretament, al 1908, a mans d'Edmund Burke Huey, un psicòleg irlandès. Aquesta consistia en una lent de contacte que mitjançant

un cable, es connectava a una espècie de bolígraf d'alumini, que es movia en sintonia amb l'ull degut al cable que els unia. Aquest alumini deixava un rastre al seu pas i així es coneixien els moviments de l'ull de l'usuari. Però aquesta màquina no era capaç de captar tots els moviments de l'ull, doncs sols marcava els moviments sacàdics de regressió, una petita part dels moviments sacàdics dels quals en parlaré més endavant. Aquesta màquina es va construir amb la intenció de seguir amb



Figura 6: Edmund Burke Huey.

els estudis que havia iniciat Javal sobre el procés de lectura i els resultats van ser publicats en un llibre del mateix Huey : La psicologia i la pedagogia en la lectura .

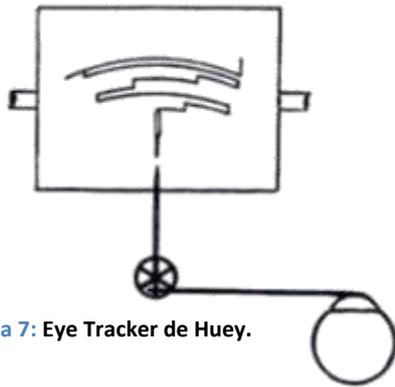
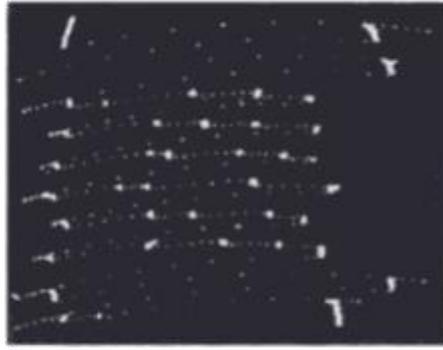


Figura 7: Eye Tracker de Huey.



A mitjans de la dècada del 1920, el psicòleg Guy Thomas Buswell va realitzar un gran avanç en els sistemes de seguiment ocular al crear la primera màquina no intrusiva, és a dir, que no estava en contacte amb l'ull. Gràcies a la Universitat de Chicago, Buswell, va ser capaç de crear un nou mètode de rastreig ocular que consistia en uns feixos de llum que es reflectien a l'ull i s'impressionaven en una pel·lícula fotogràfica.

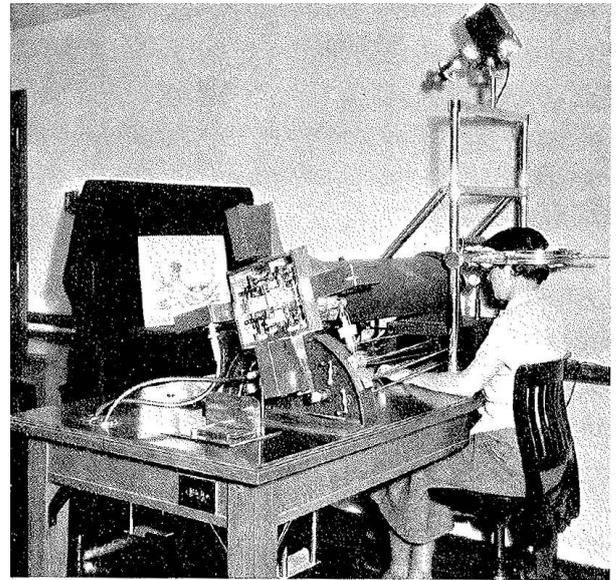


Figura 8: Eye Tracker de Buswell.

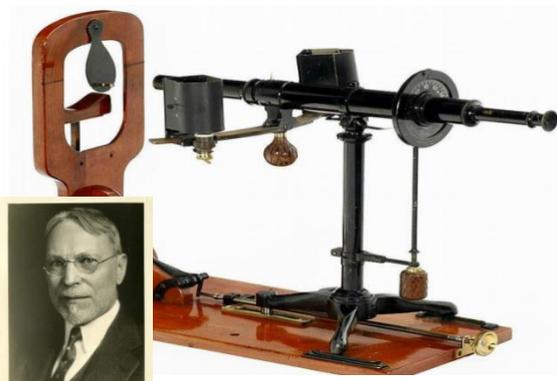


Figura 9: Charles H. Judd i la seva Càmera de moviments oculars.

Charles H. Judd, mentre Buswell feia la seva màquina, va fer quelcom molt semblant anomenat : Càmera de moviments oculars; que era bastant més petita que la màquina de Buswell, però a la vegada, més imprecisa.

Al 1931, tres germans, Earl, James i Carl Taylor van crear dues màquines: l' *Ophthalmograph* i el *Metronoscope*. Aquestes, seguint els ideals de les anteriors, també estaven pensades per l'estudi de la lectura. Tenien un funcionament semblant a la *Càmera de moviments oculars* i van ser molt usats en laboratoris mèdics i en hospitals (normalment privats, doncs eren màquines cares).



Figura 10: *Ophthalmograph*.

L' *Ophthalmograph* mesurava les fixacions del lector al llegir, segons uns estudis previs dels 3 germans; un bon lector, té unes constants a l'hora de llegir, per tant, es podia saber si hom era bon o mal lector i, d'aquesta forma, es podia intentar corregir el seu mètode de lectura. Aquesta pràctica era freqüent amb els fills de les famílies més riques que es podien permetre, en primer lloc, anar a una bona escola, i, en segon lloc, anar a una moderna clínica privada.

Per altra banda, el *Metronoscope* era usat per a la correcció del procés de lectura. Aquest, constava de diapositives amb poques lletres a cada una i, quan detectava que el lector havia llegit, les anava canviant. D'aquesta forma es podia, segons el pacient, accelerar o reduir el ritme per intentar millorar aquestes "constants del bon lector".

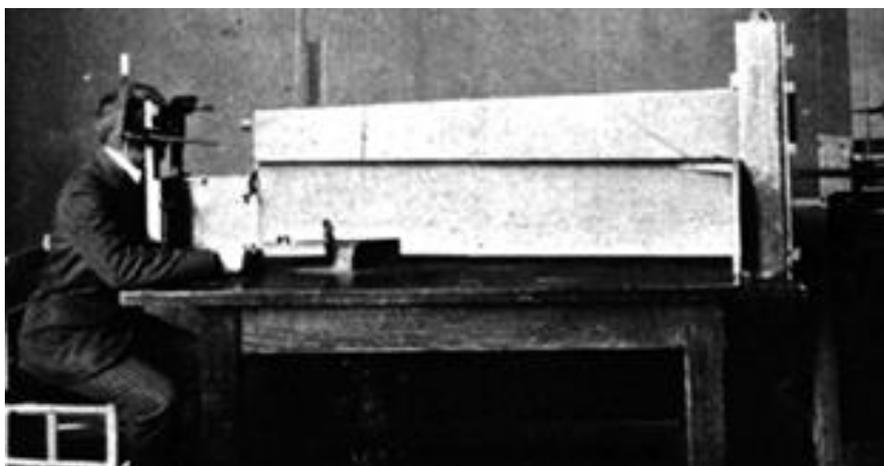


Figura 11: Subjecte usant un *Metronoscope* per a millorar la seva lectura.

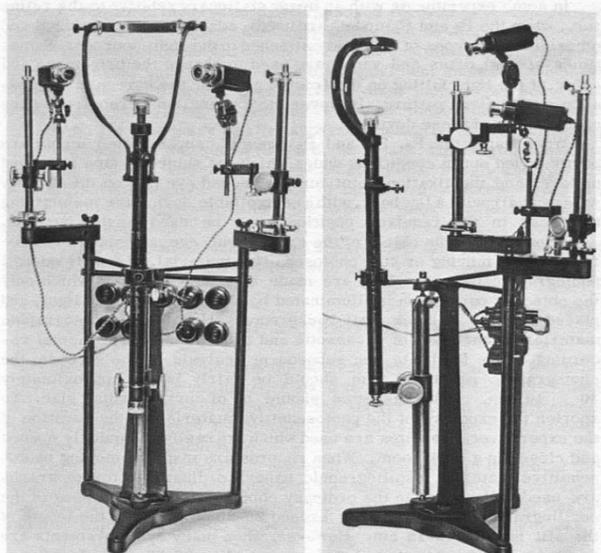


Figura 12: Eye Tracker de Yarbus.

Un altre home important en l'estudi dels moviments oculars va ser el psicòleg rus Alfred Lukyanovich Yarbus, que va fer molts estudis a la dècada dels 50 entre els quals destaquen els citats al seu llibre 1967 en els que demostra que el moviment ocular va en funció dels nostres interessos. Per fer aquest estudis va usar una curiosa màquina que podem veure en la figura 12.

Cap a finals del 1950, entrant ja als anys 60, una empresa anomenada Smith & Warter, va començar a dissenyar aparells per a la mesura dels moviments oculars basats en tècniques fotoelèctriques. La més usada va ser l'amplificació per fotomultiplicador; on la llum que reflecteix l'ull, passa per un tub que la concentra i l'envia a una lent que té una espècie d'esquerda per on la llum arriba al tub fotomultiplicador. En aquest, els fotons que componen la llum, xoquen contra una placa fotosensible, és a dir, que al rebre els fotons, es desprenen electrons. Uns electrons que en el seu transcurs a l'interior del tub, xoquen contra uns dínodes<sup>2</sup> que van alliberaran més electrons, d'aquesta forma, passem la llum a corrent elèctric i, en funció d'aquest, podem mesurar els moviments.

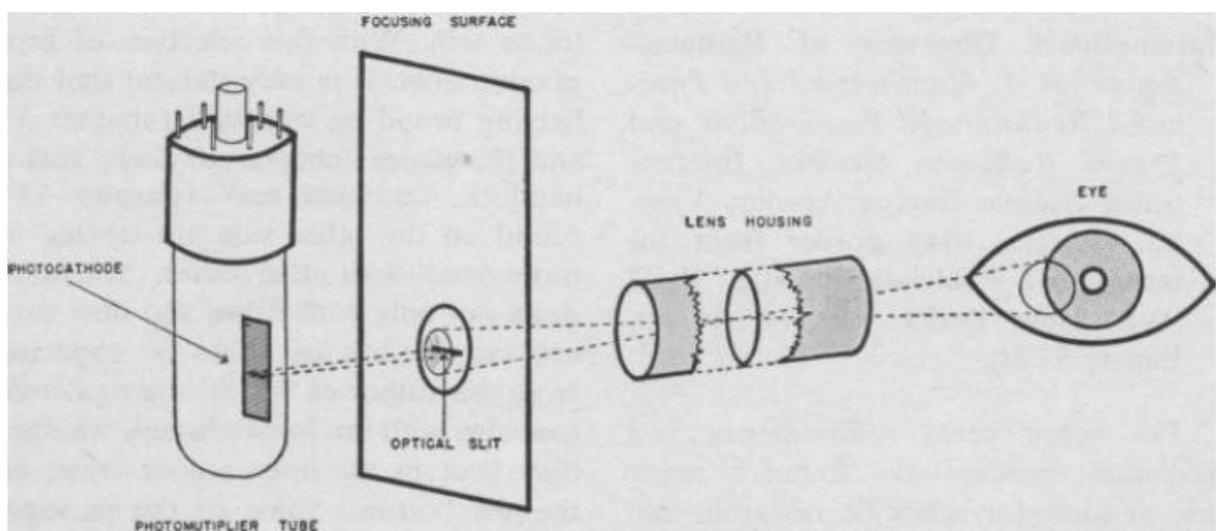


Figura 13: Esquema de funcionament de l'Eye Tracker d' Smith & Warter creat a partir de l'amplificació per fotomultiplicador.

<sup>2</sup> **Dínodes:** Elèctrode de certs tubs electrònics destinat especialment a proveir una emissió secundària.

Duran els anys 70, la tecnologia Eye Tracking va seguir creixent ràpidament i, com en dècades anteriors, destinada a l'estudi del procés de lectura. A més a més, els aparells es van abaratir i es van fer accessibles a més científics i investigadors.

Més endavant, a la dècada dels 80, dos psicòlegs, Just i Carpenter, van estar estudiant la ment humana i van establir la hipòtesi ull – ment, que afirmava que quan un subjecte està mirant a un punt, també està pensant el que veu. Gràcies a això, hi va haver una forta inversió en els sistemes Eye Tracker, ja que, les empreses, podien analitzar la funcionalitat dels seus anuncis. Antigament algunes empreses feien enquestes o, fins i tot, usaven mètodes utilitzats en els “testos de la mentida” per a saber si la seva publicitat era eficient. En els inicis, els Eye Tracker no van servir gaire als publicistes, però es va avançar molt en la comprensió de com funciona el nostre cervell enfront un text o una imatge. A més a més, la hipòtesi de Just i Carpenter va començar a tremolar degut a la idea de l'atenció encoberta, és a dir, el fet que a vegades mirem a un lloc però no li prestem atenció. Cal comentar també, que no sempre que observem una cosa és perquè ens agradi, potser l'observem perquè ens desagrada i, per tant, ens crida l'atenció negativament. Després de tants esforços, a finals de dècada, els publicistes van recollir els primers fruits i van descobrir la importància del disseny de la pàgina i de la impressió ( tipografia, mida, distribució, ... ).

Aquesta gran inversió de la qual hem parlat va permetre els grans avenços d'aquesta tecnologia a partir del 1990. Gràcies als ordinadors, es va començar a investigar en la relació humà – computadora, d'aquesta forma, es van començar a fer estudis a temps real, és a dir, podies saber que estava mirant el subjecte en el mateix moment en què estaves fent la prova. A més a més, els aparells eren més precisos i més eficients al moment de processar les dades. Aquest moviment va ser potenciat per l'empresa Gallup Applied Science que va cedir el seu Eye Tracker a l'analista Joe Theismann. Aquest, inicialment, va fer un estudi de com els aficionats seguien un partit de futbol americà. També va ser molt important, aquest avenç, per al màrqueting. A finals de dècada, la important empresa de publicitat EURO RSCG va començar usar els Eye Trackers per l'estudi dels navegadors i de les pàgines web. D'aquesta forma es van començar a trobar problemes de disseny que es van arreglar, cosa que, encara es fa en l'actualitat. Un dels grans usos dels Eye Tracker en la nostra societat és la publicitat i la distribució de les pàgines web, a més a més, gràcies al neuromàrqueting s'ha incrementat el seu ús en les grans multinacionals.

Tot i això, per a mi, la gran utilitat dels Eye Tracker, que va sorgir en aquesta dècada dels 90, és el fet de poder controlar l'ordinador amb l'ull i, d'aquesta forma, poder ajudar les persones amb discapacitat a millorar la seva qualitat de vida. En aquella època, pot ser no hi havia tanta tecnologia, però actualment, poder fer anar aparells electrònics amb l'ull és molt important. De fet, jo he contactat amb un turc, anomenat Diako Mardanbeigi, que ha fet un projecte de casa domòtica controlada amb els seu propi Eye Tracker.



Figura 14: Jove amb mobilitat reduïda usant un Eye Tracker.

Des de principis del 2000, la tecnologia Eye Tracking ha agafat molta popularitat, més que en qualsevol moment de la seva història. Entre els seus usos dels quals ja en parlaré més endavant i, tal i com ja he comentat, s'utilitza molt per l'estudi del *neuromàrqueting* i la distribució web, a més a més, des del 2006, s'ha començat a utilitzar per la creació de videojocs. Aquesta popularitat també és degut al fet que s'han creat empreses dedicades únicament a la creació i millora dels sistemes Eye Tracking, com per exemple ASL, Tobii o SMI; que habiliten dispositius a discapacitats i/o a multinacionals.

Al principi del segle, els sistemes eren molt cars, actualment, alguns segueixen tenint preus desorbitats, tot i que, ja en comencen a sortir amb preus més assequibles, per exemple, el dispositiu TheEyeTribe que es pot comprar per 99 \$. Això fa que més gent hi tingui accés i, conseqüentment, que sigui una tecnologia més coneguda. A més a més, hi ha grans multinacionals que aposten pel seu ús més quotidià, em refereixo, en especial, a la marca Samsung, ja que, gràcies a ella, la tecnologia Eye Tracking s'ha donat a conèixer a moltes persones, i ha fet que aquestes tècniques deixessin de ser únicament destinades als laboratoris, per apropar-la als ciutadans. Tot això va començar el 29 de maig del 2012 amb el

llançament del dispositiu mòbil Samsung Galaxy S3, que incloïa un sistema, anomenat SmartStay, que evitava el bloqueig de la pantalla si un sensor situat a l'aparell detectava que el subjecte estava mirant-la. Aquesta tecnologia va avançar amb el llançament del Samsung Galaxy S4, un any després, que inclou el sistema anomenat Smart Scroll, que permet interactuar amb la pantalla. Cal dir que no és ben bé una tecnologia Eye Tracking, més aviat seria Head Tracking ja que detecta els moviments del cap.



Figura 15: Exemple d'ús del sistema Smart Scroll del Samsung Galaxy S4.

### 3.1. Empreses més importants:

Un cop explicat el passat, toca parlar del present, un present que es troba reflectit en les nombroses empreses que es dediquen a aquesta tecnologia.



Figura 16: Logotip de l'empresa ASL.

En primer lloc cal destacar ASL Eye Tracking, una empresa nord-americana amb uns 50 anys d'història que ofereix sistemes Eye Tracking complets, tant hardware<sup>3</sup> com software<sup>4</sup>. Actualment distribueix el seu material arreu del món, sobre tot, per Europa i Àsia. El seu material és molt professional i costós. És una empresa molt oberta als clients i, gràcies això, he aconseguit una entrevista amb un dels seus treballadors, que es podrà llegir més endavant, a l'annex L.1. .

Seguidament, destaca la empresa SMI, una companyia que ofereix sistemes semblants als d'ASL i és la productora d'un dels sistemes Eye Tracking més usats per l'estudi del neuomàrqueting, les SMI Eye Tracking glasses que costen 9.900 euros.



Figura 17: Logotip de SMI i dona realitzant un test de màrqueting amb les SMI Eye Tracking glasses.

<sup>3</sup> **Hardware:** és l'equipament mecànic de qualsevol aparell informàtic, és a dir, tot allò visible i palpable.

<sup>4</sup> **Software:** és el conjunt de programes que configuren un aparell informàtic, és a dir, tot allò no palpable.

Aquesta empresa es va fundar fa més de 20 anys a càrrec del doctor Winfried Teiwes, que va començar a treballar en aquestes tecnologies juntament amb alguns alumnes seus el 1991 quan era professor de la Universitat de Berlín. En tota la seva història, l'empresa ha venut més de 6000 sistemes Eye Tracking i s'ha convertit en una de les pioneres al món. L'empresa té una seu a Teltow, prop de Berlín a Alemanya i una altra a Boston als Estats Units.



Figura 18: Logotip gaze point.

Una altra important empresa és Gazepoint, on ja hi han treballat tres generacions, tot i només comptar amb poc més d'una dècada d'història. El seu fundador és en Craig Hennessey que, actualment, dirigeix el negoci amb l'ajuda d'en Johnny Tam i de la Julie Robillard. L'empresa a més a més de vendre, també realitza estudis amb els seus Eye Trackers, que poden costar des de 500\$ fins a 2700\$, tot i que la majoria es venen al voltant dels 1500\$, uns 1100€. Aquesta empresa col·labora amb Windows, cosa que l'ha fet créixer molt des dels seus inicis.



Figura 19: Logotip TheEyeTribe.

També és important mencionar TheEyeTribe, la qual ja hem mencionat anteriorment. Des del meu punt de vista, és una de les millors empreses actuals i, també, la més assequible, doncs el seu producte es ven a 72,5 €. Aquesta empresa danesa va sorgir al 2009 quan l'espanyol Javier San Agustin, Sun Johansen, Martin Tall i Henrik Skovsgaard es van trobar a la Universitat de Copenhaguen en motiu d'una tesis doctoral. D'aquesta en va sorgir el programa ITU Gaze Tracker (del qual se'n parlarà més endavant), una obra mestra que va encoratjar als quatre a presentar-se el 2011 a l' Startup Weekend Mobile de Copenhaguen amb una versió millorada del programa i del hardware, anomenat Senseye. Gràcies aquest van anar aconseguint fama i es van anar presentant a concursos fins que van atrevir-se a fundar TheEyeTribe. El 2012, gràcies al seus mèrits, van reunir un milió de dòlars d'inversors europeus i, a finals d'any, van ingressar 4,4 milions de dòlars de la Fundació Danesa de Tecnologia Avançada per a seguir desenvolupant el seu projecte. Un projecte que va culminar al 2013, tot i que encara segueixen treballant amb ell, i que consisteix en el domini mitjançant els ulls de dispositius portables com ara mòbils i *tablets*.



Figura 20: Eye Tracker de 72,5€ de TheEyeTribe.

Tot i no ser una empresa, és important fer referència a la Universitat de Copenhaguen, pionera en els sistemes Eye Tracking. De fet, TheEyeTribe, tal i com he comentat, surt d'aquesta universitat. A més a més, hi ha hagut altres software que han sorgit d'ella, com ara el Haytham Eye Tracker o el Días Eye Tracker, tots dos obra del ja esmentat Diako Mardanbeigi. Cal dir, que hi ha altres universitats on s'han creat tesis sobre Eye Tracker, com ara la Universitat Autònoma de Barcelona o la Universitat Autònoma de Madrid. Una altra Universitat puntera en aquests tipus de tesis és la de Denver, als EE.UU..

Continuant amb les empreses, cal parlar d'Alea Technologies, una companyia fundada l'octubre del 2006 i que compta amb treballadors amb més de 20 anys d'experiència en el camp dels Eye Tracker. L'empresa té seu a Teltow, Alemanya, el mateix lloc on també hi ha l'empresa SMI que, al ser més antiga, ha comportat que Alea no arribés a créixer tant com ho hauria fet sense aquesta dura competència. Tot i això, Alea Technologies, compta amb un dels sistemes Eye Tracker més famosos, l'IntelliGaze, que consta d'un petit monitor amb un sistema Eye Tracker incorporat a la seva part més baixa.



Figura 21: Logotip d'Alea Technologies.



Figura 22: Logotip de Miramatrix.

Una altra empresa bastant important és Miramatrix, la qual no destaca pels seus aparells Eye Tracking, sinó per l'aplicació que els hi dóna. Va començar treballant en softwares d'anàlisi però, cada vegada més, s'ha anat introduint en el món dels videojocs en el qual, actualment, és una de les millors empreses que hi ha.



Figura 23: Logotip d'EyeTech.

Com a penúltima gran empresa, cal comentar EyeTech. Aquesta companyia, que és la tercera amb més anys d'existència, es va fundar el 1996 a mans de Robert Chappell per una bona causa. Robert, que era enginyer, havia sofert una deformació a les mans degut a un accident laboral, però ell, degut al gust que tenia per la seva feina, no volia deixar de treballar i va decidir buscar solucions. De seguida va trobar la possibilitat de usar l'ull com a mètode per interactuar amb l'ordinador, però als anys 90, degut al poc avanç tecnològic en comparació amb l'actualitat, els sistemes Eye Tracker eren molt costosos i ell no se'ls podia permetre. Per sort, ell era enginyer i, juntament amb alguns amics, va trobar la forma de construir el

seu propi Eye Tracker a un preu més econòmic. Llavors, va pensar que altres persones com ell, necessitarien aquesta tecnologia a un preu més econòmic i va fundar EyeTech Digital Systems. Aquesta empresa va ser la primera en construir un Eye Tracker de llarga distància, un Eye Tracker mini i un Eye Tracker USB, amb el qual, va ser pionera en els avanços d'aquesta tecnologia que han portat als sistemes actuals. Actualment l'empresa té seu a Arizona als EE.UU. i, sobre tot, exporta el seu material per empreses dels Estats Units.



Figura 24: Logotip Tobii.

Per acabar, us parlaré de Tobii Technology, segurament, l'empresa d'Eye Trackers més coneguda al món i, també, una important investigadora. Tot va començar l'agost del 2001 quan tres bons amics; John Elvesjö, Marten Skogö i Henrik Eskilsson, que treballaven al Royal Institute of Technology a Estocolm, van tenir una idea: desenvolupar sistemes Eye Tracking. De seguida van fundar el negoci, i en sis mesos ja estaven venent el seu primer Eye Tracker. Tretze anys després, són pioners en el negoci essent reconeguda com la millor empresa d'Eye Trackers amb nombroses distincions des del seu inici. De fet, l'empresa ha crescut molt i, actualment, compta amb més de 400 treballadors repartits en les diverses seus de l'empresa; a Estocolm, Suècia, hi ha la principal, i després en tenen als EEUU, a Alemanya, al Japó, a la Xina i a Noruega, i els seus productes són venuts arreu del món. Tobii Technology ha sabut créixer i actualment l'empresa es troba repartida en tres divisions:

- 1- *Tobii Solucions OEM*: que es fa càrrec dels productes i de les investigacions relacionades amb la medicina, el màrqueting, els automòbils, ....
- 2- *Tobii Assistencial*: s'encarrega dels productes per ajudar als discapacitats; les persones que tenen problemes de mobilitat, com ara els malalts d'ELA (Esclerosi lateral Atròfica)<sup>5</sup>.
- 3- *Tobii Solucions d'anàlisi*: Aquesta branca amplia els productes d'investigació científica. Últimament s'està començant a implicar en la indústria dels videojocs.



Figura 25: Pantalla amb Eye Tracker incorporat de Tobii.

<sup>5</sup> Malaltia degenerativa neuromuscular que, en una etapa avançada, impossibilita el moviment de la majoria de músculs del cos, permetent només, el moviment dels ulls.

Tot i que té molts tipus d'Eye Trackers, Tobii destaca per la seva pantalla d'ordinador amb l'Eye Tracker incorporat, un sistema molt comú en els posseïdors d'Eye Trackers. Per exemple, a la Universitat Ramon Llull de l'Institut La Salle a Barcelona, en tenen un, el qual vaig poder observar en persona.

També hi ha empreses que només ofereixen software d'anàlisi per a l'estudi del disseny de les pàgines web, per exemple, Crazyyegg o EyeGaze LC Technologies.

### 3.1.1. COGAIN:

COGAIN (Communication by Gaze Interaction) és una associació que intenta introduir la tecnologia Eye Tracking a la societat i, a la vegada, ajudar a les persones amb mobilitat



Figura 26: Logotip de COGAIN.

reduïda. COGAIN va sorgir el 2004 com a un projecte d'investigació sobre els Eye Trackers finançat per la comissió europea. Es van subvencionar estudis de hardware i de software per separat i es van realitzar concursos i campus per a joves estudiants interessats en el tema, inclòs, un doctorat. Però el 2009 es va acabar el finançament i es van deixar de banda totes aquestes activitat, tot i això, no es va aplegar, sinó que va continuar com a associació. Actualment, ofereix informació de qualsevol tipus sobre els Eye Trackers, a més a més, compta amb una llista de tots els sistemes patentats a l'actualitat i classificats en funció del preu. L'associació organitza, també, diversos congressos, debats i converses (a vegades *online*) per donar a conèixer la tecnologia Eye Tracking. Cal dir que COGAIN té una web, a la qual t'has de registrar per accedir-hi, on s'exposen els diversos projectes de recerca en aquest camp, actualment, sobretot, en el camp dels videojocs, i en els quals et pots inscriure-hi i participar-hi. També compta amb un fòrum on els aficionats a aquestes tecnologies poden fer preguntes i respondre'n d'altres. L'actual presidenta de l'associació, Arantxa Villanueva<sup>6</sup>, és espanyola i professora de la Universitat de Navarra.

## 4. Fonaments teòrics:

Per entendre correctament algunes explicacions i, també, com funcionen els Eye Trackers, és important conèixer certa informació sobre els ulls, un element imprescindible en la tecnologia Eye Tracking.

---

<sup>6</sup> Veure entrevista a l'annex L.2.

#### 4.1. Funcionament de l'ull:

La llum procedent d'un objecte, arriba a l'ull on travessa diverses capes transparents fins arribar al cristal·lí, una lent que fa que la imatge s'inverteixi a la retina on unes cèl·lules especials converteixen la llum en impulsos nerviosos que van al cervell a través del nervi òptic.

#### 4.2. Parts de l'ull:

En el conjunt del globus ocular tenim nombroses parts, però només em centraré en les més bàsiques:

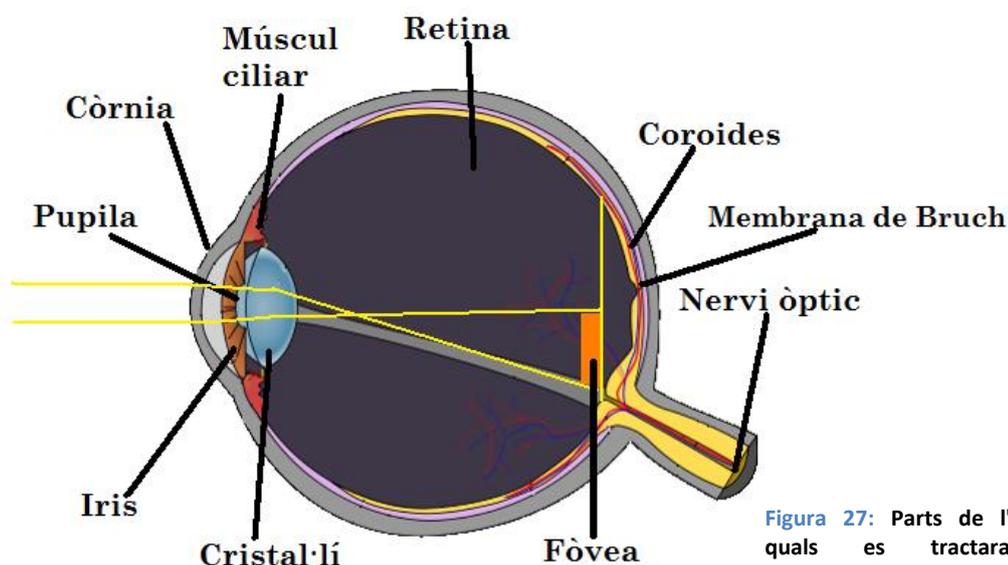


Figura 27: Parts de l'ull les quals es tractaran a continuació.

##### 4.2.1. Còrnia:

La còrnia és una estructura transparent situada a la part més externa de l'ull. Consta de tres capes separades en dues membranes. La seva funció és, per una banda, protegir l'iris i, per l'altra, refractar els raigs cap al cristal·lí.

##### 4.2.2. Iris:

L'iris, és una membrana circular amb capacitat per contraure's situada a la part posterior de la còrnia. Té una pigmentació determinada que, col·loquialment, anomenem com a: "el color dels ulls". La seva funció és regular la quantitat de llum que entra al cristal·lí. Al seu interior posseeix una espècie de circumferència anomenada pupil·la o nineta.

### 4.2.3. Pupila:

La pupila, situada al centre de l'iris, és un orifici, aparentment de color negre, d'uns 3 o 4 mm de diàmetre per on la llum arriba fins al cristal·lí. En sí, també regula la entrada de la llum gràcies a la seva capacitat de dilatació i contracció; es contrau en espais amb molta llum i es dilata en espais amb poca llum.



Figura 28: imatge d'una pupila contraïda a l'esquerra i dilatada a la dreta.

### 4.2.4. Cristal·lí:



Figura 29: Forma d'una lent biconvexa.

El cristal·lí és un aparell, situat darrere la pupila, que projecta la imatge a la retina. Té forma de lent biconvexa i actua com a una d'elles, convergint, és a dir, unint els raigs en un punt de la retina. Està subjecte d'un múscul, anomenat múscul ciliar, que es contrau o es dilata en funció de com li arriben els raigs que ha de convergir. Si es contrau, el cristal·lí es fa més esfèric i, per tant, augmenta la seva capacitat de refracció; això passa quan mirem a objectes a prop nostra. Si volem mirar a objectes llunyans, el cristal·lí es relaxa i passa el contrari.

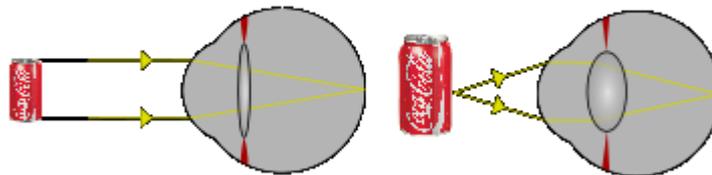


Figura 30: A la vostra esquerra dilatació del múscul ciliar, a la dreta, la seva contracció.

### 4.2.5. Retina:

La retina, és un conjunt de cèl·lules capaces de transformar la llum en impulsos nerviosos. Aquest teixit fotosensible, només distingeix la llum de longituds d'ona entre 400 i 700 nm, amb el qual, la llum infraroja, de longitud d'ona entre 800nm i 1000  $\mu$ m, no es percebuda pels nostres ulls<sup>7</sup>. La retina està recoberta per un epitel·li, una membrana que la recobreix.

<sup>7</sup> Per això col·loquem IR leds a l'EyeTool ja que la llum dels leds normals ens molestaria.

#### **4.2.5.1. Fòvea:**

La fòvea és l'àrea de la retina on s'enfoquen els raigs lluminosos i està capacitada per a la detecció del color. Està formada de dos tipus de cèl·lules; els cons, preparats per la detecció del color i els bastons, dels quals n'hi ha molt pocs, per detectar el color en poca lluminositat. Per això, resulta difícil, per exemple, llegir a la penombra ja que la fòvea no té els suficients bastons.

#### **4.2.6. Coroides:**

És una membrana situada darrera de la retina. Està plena de vasos sanguinis i té la funció de nodrir certes parts de l'ull i mantenir la temperatura del globus ocular. Al final de la coroides es troba la membrana de Bruch.

#### **4.2.7. Nervi òptic:**

El nervi òptic és el nervi encarregat de transportar els impulsos nerviosos al cervell.

### **4.3. Moviments oculars:**

Els nostres ulls estan en constant moviment, fins i tot, mentre dormim. Aquests moviments estan associats al sistema cognitiu, per això, el seu estudi ens aporta informació sobre el cervell i, per això, són estudiats pels psicòlegs i neuròlegs. Per tant, és important conèixer els tipus de moviments oculars ja que, com ja he dit anteriorment, els sistemes Eye Tracking es basen en el seguiment d'aquests.

Abans d'especificar els moviments, és important saber que l'ull es mou, de mitjana, quatre vegades per segon i que ho acostuma a fer mitjançant moviments ràpids semblants a petits salts, també anomenats "sacades".

#### **4.3.1. Fixacions:**

Una fixació és l'acció de mantenir la mirada en un mateix punt durant un temps determinat. Són causats per una acció del sistema cognitiu i, per això, són el punt d'estudi dels psicòlegs. Els publicistes també els estudien ja que normalment prestem atenció, ens fixem, en allò que ens crida la atenció. Ara bé, a vegades, algunes persones, quan pensem,

ens quedem atònits amb la mirada perduda en un punt el qual no rep la nostra atenció. Normalment, una fixació, dura entre 200 i 350 ms.

Però, tot i que, tinguem la mirada fixa en un punt, l'ull no deixa mai de moure's. Són moviments involuntaris causats per un estimulador del cervell per tal d'evitar la saturació dels receptors visuals de la retina, que causaria un esvaïment de la percepció. Aquests moviments però, no afecten als sistemes Eye Tracking degut a la seva extremada rapidesa. Generalment, podem distingir tres tipus de moviments:

#### **4.3.1.1. Vibracions oculars:**

Són tremolors constants de l'ull, naturals i d'una freqüència entre 30 i 80 Hz. Són causats per la activitat constant de l'aparell ocular.

#### **4.3.1.2. Salts lents:**

Són petits salts aleatoris que impedeixen que la imatge visual desaparegui. Aquests salts són produïts per la fòvea quan, la imatge, salta en ella, és a dir, dins de la fòvea, canvia de zona.

#### **4.3.1.3. Moviments de cops (microsacades):**

Són petits moviments ràpids, com estrebades, de fet, són versions petites de les sacades. Són causades per contrarestar els salts lents. Com ja he comentat, la imatge va movent-se per la fòvea, això és degut a què la imatge té tendència a marxar degut a moviments com ara les vibracions. Quan la imatge es mou, instintivament, el globus ocular també és mou, de forma que la imatge es torna a projectar sobre la fòvea. A més a més, tenen la funció d'actualitzar la imatge que arriba a la fòvea per tal que, aquesta, no perdi la seva sensibilitat.

#### **4.3.2. Sortides:**

Com ja he comentat anteriorment, els ulls es mouen de forma ràpida a través de salts. També anomenades *Gaze Gestures* (gestos amb la mirada), les sortides són els moviments de transició entre fixacions, podríem dir que són els vertaders moviments oculars ja que, acostumen, a ser intencionats, voluntaris, al contrari del que succeïa en els moviments durant les fixacions.

En principi, dels moviments de sortida, no se'n poden extreure informació útil sobre l'estudi de la ment, ja que, són simplement un mecanisme per canviar el nostre punt de vista, tot i que, alguns neuròlegs, cada vegada més, pensen que potser tenen relació amb el sistema cognitiu i, per tant, si que reflexionem sobre el que observem durant les sortides. Podem separar les sortides en quatre moviments diferents, cada un, controlat per una zona diferent del cervell:

#### 4.3.2.1. Sacades:

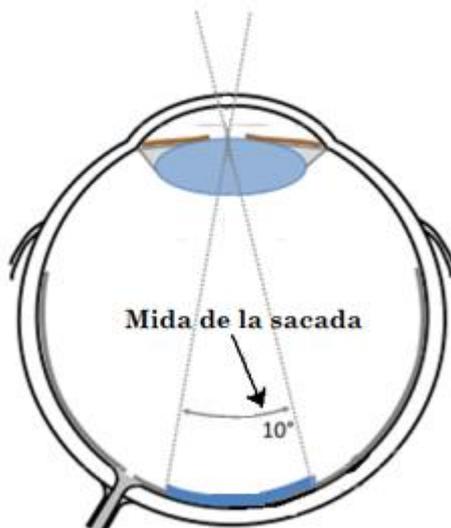


Figura 31: Representació en el globus ocular de la mida d'una sacada.

Són moviments ràpid entre fixacions que ens permeten visualitzar el nostre entorn, és a dir, són el mecanisme que ens permet dirigir la mirada d'un punt, a un altre. Tenen l'objectiu de col·locar la imatge a la fòvea per tal de que la puguem percebre.

Lligat al que explicava de les sortides, algunes persones parlen de supressió sacàdica; és a dir, que durant aquest moviment no captem informació del medi. Com ja he dit, ja han sortit algunes teories desmentint-ho.

De mitjana, en un dia, realitzem 230.000 moviments sacàdics, els quals tenen una duració mitjana entre 30 i 120 ms. Els moviments sacàdics, tenen un període latent des que es produeix l'estímul fins que el nostre ull es fixa en ell, podríem anomenar-ho, el temps de reacció, aquest acostuma a ser entre 180 i 300 ms. A més a més, cada sacada, té una mida determinada, és a dir, et proporciona un camp de visió d'uns graus determinats. El grau d'obertura del camp de visió, van estretament relacionats amb la velocitat (en graus/s) que adquireix l'ull; per exemple, si tenim una sacada de 80°, tindrem una velocitat de 700 °/s. Cal comentar que com més graduació, més velocitat adquireix l'ull. Una sacada normal té aproximadament, una mida de 30°, si vols ampliar el camp de visió i, per tant, la mida de la sacada, és necessari el moviment del cap.

#### **4.3.2.2. De persecució lenta:**

També anomenats; moviments suaus de seguiment o moviments de busca, tenen la funció de projectar la imatge d'un cos en moviment sobre la retina. N'hi ha de voluntaris i d'involuntaris i acostumen a tenir una velocitat entre 1 i 30 °/s.

#### **4.3.2.3. Vestibulars:**

Són uns moviments de resposta al moviment del cap durant una fixació, és a dir, tenen la funció de mantenir la imatge de l'objecte el qual miràvem en la retina tot i el moviment del nostre cap.

#### **4.3.2.4. De vergència:**

Els moviments de vergència són el moviment dels ulls en direccions oposades amb la finalitat de projectar la imatge sobre les dos retines obtenint així, una imatge fusionada. Aquest moviments arriben a una velocitat de 10°/s amb un camp de visió de 15°. N'hi ha de dos tipus:

- De convergència:** succeeix quan els dos ulls s'apropen al nas. Això passa quan l'objecte es troba molt a prop del subjecte.
- De divergència:** succeeix quan els dos ulls es mouen cap a l'exterior. És un moviment poc freqüent i molt difícil de mantenir.

#### **4.3.3. Nistagme:**

Són uns moviments involuntaris i repetitius de l'ull, causats per l'alteració d'una àrea cerebral. Aquests moviments poden ser en qualsevol direcció, tot i que, acostumen a ser horitzontals i dificulten la capacitat de fixació del subjecte. N'hi ha de diversos tipus i, tots, són considerats com una malaltia, que té tractament. Normalment, aquestes alteracions, apareixen abans de l'any de vida i, sovint, van associades a altres alteracions cerebrals. En relació al conjunt d'humans, poques persones sofreixen nistagme.

#### **4.3.4. Parpelleig:**

Tot i que no és un moviment de l'ull i, per tant, no és rastrejat pels Eye Tracker; en estar lligat al sistema ocular, fa que pugui interferir en aquest i que, per tant, sigui interessant d'explicar.

Com tothom sap, parpellejar consisteix en tancar i obrir la parpella, que és un plec de pell capaç de recobrir l'ull. Aquesta acció pot venir lligada a un procés de reacció enfront un estímul extern.

El parpelleig té unes funcions importants en el nostre cos. En primer lloc, serveix per protegir l'ull d'elements externs com ara pols o partícules de brossa. En aquesta acció, les parpelles, reben l'ajuda de les pestanyes, que capturen aquesta pol·lució. En segon lloc, serveix per netejar la superfície de l'ull, com si fos un neteja cristalls d'un cotxe. I, en tercer lloc, serveix per lubricar i hidratar l'ull; en cada parpelleig, s'escampa una llàgrima per la còrnia per tal d'evitar que s'assequi.

Un parpelleig dura, normalment, entre 300 i 400 milisegons, amb un interval que oscil·la entre 2 i 10 segons entre cada parpelleig. De fet, habitualment, els humans, parpellegem amb una freqüència entre 10 i 15 vegades per minut . Aquesta freqüència varia en funció de la dopamina que tenim al cos, per exemple, malalties com ara bé el Parkinson, que fan que el cos redueixi la quantitat de dopamina, la freqüència de parpelleig disminueix. També disminueix quan estem prestant atenció a un subjecte, per exemple, quan llegim, es redueix fins a només 3 o 4 vegades per minut, això, a més a més, produeix assecament a l'ull i fa que se'ns cansi la vista. Llavors, quan estem cansats, l'ull té tendència a parpellejar més. És curiós comentar que, els nadons, gairebé no parpellegen ja que, necessiten menys lubricació a l'ull. Un motiu és perquè dormen molt i, durant aquest període, l'ull està tancat i descansa. Un altre, és el fet de que el recorregut de les parpelles dels nadons, és inferiors al dels adults i, per tant, no necessiten tanta quantitat de llàgrima. Com a anècdota, cal dir que durant el primer mes de vida, els nadons, no ploren amb llàgrimes degut que tenen els conductes lacrimals tancats.

## **5. Tipus d'Eye Trackers:**

Hi ha diverses formes i tècniques de detectar els moviments oculars. També és important diferenciar entre les posicions en què podem col·locar el sistema respecte els ulls.

Hi ha tres formes d'Eye Trackers:

### 5.1. Eye Tracker invasiu:

És un mètode on, el sistema, està en contacte amb l'ull tal i com eren en els seus inicis<sup>8</sup>. Aquest contacte sol ser mitjançant una lentilla especial que porta incorporat un mirall col·locat de forma que, quan l'ull és mou, aquest es mou en concordança. Gràcies aquests sistemes invasius i, degut a la seva proximitat a l'ull, s'han aconseguit detallades gravacions del funcionament ocular molt útils per a la ciència.

El mètode invasiu més usat consisteix en un sensor de camps magnètics i s'anomena: sistema de bobina. En ell, es segueixen els moviments oculars a partir de la detecció d'una bobina situada a l'ull, ja sigui en una lent de contacte, o bé, implantada quirúrgicament. Perquè el sistema sigui eficaç cal que el cap estigui completament rígid, també és pot col·locar una altra bobina per determinar la posició del cap, tot i que, d'aquesta forma, el software necessari es complica una mica. Aquest sistema s'usa per a l'estudi de la dinàmica de la fisiologia del moviment de l'ull. Aquest mètode és lleugerament perillós i, per tant, tot i la seva efectivitat, sol ser usat en els animals.

### 5.2. Eye Tracker no invasiu:

Com ja rebel·la el seu nom, al contrari dels anteriors, aquest mètode no requereix un contacte amb l'ull. Són els més comuns i, per tant, funcionen tal i com ja he explicat anteriorment, llancem un raig infraroig contra l'ull i captem el seu reflex amb una càmera o qualsevol altre sensor òptic per analitzar-los, amb algorismes matemàtics, i determinar així, els moviments.

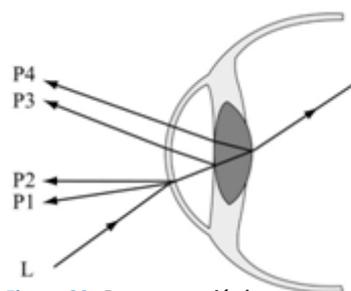


Figura 32: Representació de les imatges de Purkyně.

Per a funcionar, es basen en els estudis de les imatges de Purkyně<sup>9</sup>. Com he explicat anteriorment, quan mirem a un lloc, la nostra vista crea imatges. Segons Purkyně, en el nostre ull, una part dels raigs que ens arriben, reflecteixen en 4 punts: a l'exterior del ull (còrnia), a l'interior de la còrnia, a la pupilla i al cristallí. Cada raig té les seves pròpies coordenades respecte els altres raigs, de forma que, analitzant-les, podem determinar la posició on reflecteixen i, per tant, la posició de l'ull.

<sup>8</sup> Recordem el primer mecanisme d'Edmund Burke Huey.

<sup>9</sup> Més informació a l'annex E.

La majoria d'Eye Trackers que usen càmera de vídeo, capten la primera imatge de Purkynê. Però el mètode més precís és l'anomenat: Dual – Purkynê, que capta la primera i la quarta imatge de Purkynê, de forma que són molt efectius, tot i que, també requereixen de la total immobilitat del cap. Un sistema més precís encara és el que analitza el comportament dels vasos sanguinis de la retina.

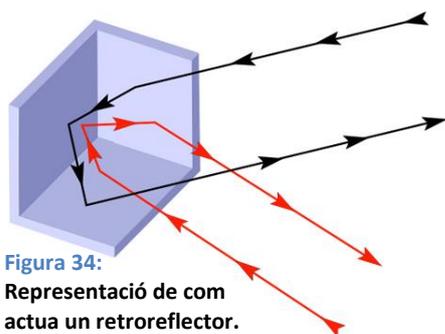


**Figura 33:** Eye Tracker que usa un sistema Dual - Purkynê.

Aquests sistemes, els no invasius, són els més usats i reconeguts pels professionals i, a més a més, també, els més barats, sobretot, els que usen càmeres de vídeo. Entre aquests sistemes amb càmera, cal diferenciar-ne dos tipus en funció de la tècnica que usen:

### 5.2.1. Tècniques de rastreig ocular :

#### 5.2.1.1. Tècnica de la pupil·la clara:



**Figura 34:** Representació de com actua un retroreflector.

En aquest mètode, la il·luminació infraroja, és coaxial, és a dir, es troba en el mateix eix que la mirada i, per tant, va directament a l'ull. D'aquesta forma, els ulls actuen com a retroreflectors, retornant els raigs en la mateixa direcció, però en sentit contrari, a l'emissor. Els raigs reflecteixen a la retina i la còrnia s'il·lumina,

així, la pupil·la destaca per la seva brillantor i, gràcies aquesta, la podem seguir.

És una bona tècnica ja que, gràcies a la diferència de pigmentació entre l'iris i la pupil·la, genera molt de contrast i, per tant, és fàcil de dur a terme el seguiment ocular. A més a més, permet el seguiment ocular des de zones totalment fosques fins a llocs amb alta claredat. Aquest sistema requereix poca mobilitat del cap, tot i que, en els Eye Trackers professionals, s'inclou un sistema per controlar la posició del cap i, així, es soluciona el problema. Cal dir que aquest mètode evita les interferències causades per les pestanyes.

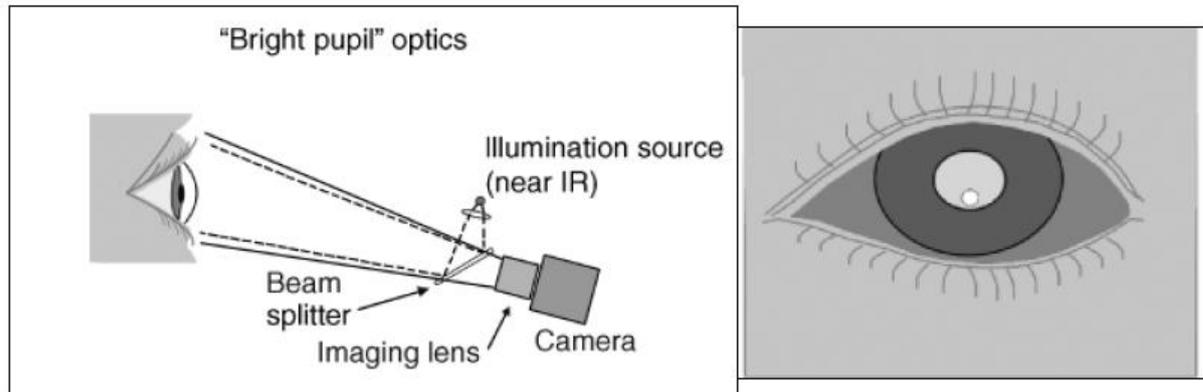


Figura 35: Exemple de la tècnica de la pupil·la clara.

### 5.2.1.2. Tècnica de la pupil·la fosca:

Al contrari que l'anterior, en aquesta tècnica, la il·luminació no és coaxial. D'aquesta forma, els raigs que reflecteixen a la retina, no retornen al punt d'il·luminació, sinó que s'escampen. Així, els ulls i la pell absorbeixen poca llum, mentre que la pupil·la, l'absorbeix gairebé tota quedant més fosca que la resta de l'ull. Per tant, en aquest cas, portem a terme un seguiment ocular a partir de les parts fosques, cosa que, requereix una bona il·luminació ja que qualsevol punt fosc pot fer confondre el software i, per tant, no tindrem un bon seguiment. En sí, és un dels mètodes més usats degut a la facilitat d'ús, ja que no cal col·locar la il·luminació en el mateix eix de la mirada.

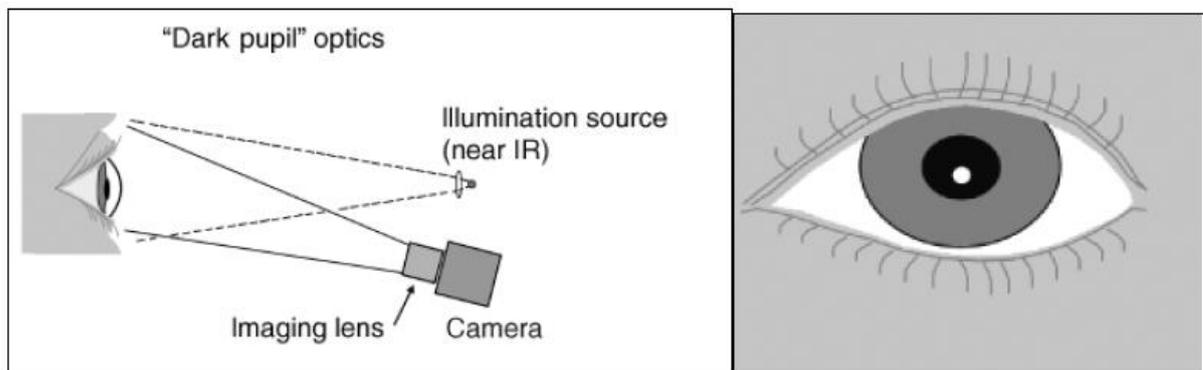


Figura 36: Exemple de la tècnica de la pupil·la fosca.

### 5.2.2. Tipus d'Eye Tracker no invasius:

#### 5.2.2.1. Tipus d'Eye Tracker no invasius en funció de la col·locació de la càmera:

Com ja he comentat anteriorment, la majoria d'Eye Trackers no invasius funcionen amb una càmera, que podem col·locar en diversos punts respecte els nostres ulls. Podríem distingir entre dos grans grups:

#### □ *Headmounted Eye Trackers:*



Figura 37: Headmounted Eye Tracker.

Els Headmounted, són els sistemes Eye Tracking que van subjectats al cap, ja sigui en forma d'ulleres o de cinta. És una forma bastant pràctica ja que, si el sistema és bo, pots moure el cap sense que afecti a l'ús del sistema, tot i que, és millor tenir-lo quiet. A més a més, la càmera i la il·luminació estan més a prop de la vista, per

tant, pots permetre't càmeres i leds menys potents i, conseqüentment, menys cars.

#### □ *Eye Trackers remots:*

Els remots, estan situats a una distància de l'usuari sense estar subjecte a ell. Necessiten sistemes d'il·luminació més potents i una millor càmera. Antigament, anaven subjectes a la pantalla (recordem el Tobii) i per això eren molt costosos, però ara, s'han començat a fer amb un dispositiu USB, cosa que permet que es connectin a qualsevol ordinador (recordem TheEyeTribe) i, alhora, els fa més barats. També és pot col·locar com si fos una Webcam externa. Aquest sistema requereix poca mobilitat del cap, per això, és convenient usar un sistema de recolzament de la barbeta.



Figura 38: Eye Tracker remot.

#### 5.2.2.2. *Tipus d'Eye Trackers no invasius en funció de l'enfocament:*

Per detectar el moviment ocular, hem de seguir els ulls, ara bé, podem seguir-ne només un o els dos a la vegada.

- **Monocular:** consisteix en el seguiment d'un únic ull. És el sistema més fàcil de construir i de calibrar.

- **Binocular:** com rebel·la el nom, consisteix en el seguiment dels dos ulls. És un sistema més precís que l'anterior, però també més difícil de construir. La millor forma és usant dues càmeres, una per cada ull, però és un sistema molt pesat i costós, per això, es prefereix col·locar una sola càmera que enfoqui els dos ulls. La forma més senzilla de construir-lo és amb un sistema remot.

#### **5.2.2.3. Tipus d'Eye Trackers no invasius en funció del nombre de càmeres:**

Els sistemes Eye Tracking poden tenir diverses càmeres en funció de la seva qualitat i de la seva funció. Evidentment, un Eye Tracker sempre tindrà una càmera, dues si és binocular, enfocant el nostre ull, però també pot tenir una càmera externa que enfoqui el paisatge. Acostuma a ser una càmera col·locada entre els dos ulls, al front, on es sincronitza la imatge del paisatge amb la imatge de l'ull veient així on mira el subjecte. Per exemple, s'usa en els estudis de publicitat o estudis de rendiment esportiu on l'element observat no es troba a la pantalla de l'ordinador. També pot haver-hi una càmera que enfoqui el subjecte des de fora, però, aquesta, només té una funció trivial tot i que pugui servir per veure com actua el subjecte.

#### **5.2.2.4. Tipus d'Eye Trackers no invasius en funció de la qualitat:**

Com en moltes coses a la vida, hi ha sistemes Eye Tracking millors que altres. La qualitat dels aparells es mesura en funció de la taxa o freqüència de mostreig, que és el nombre d'imatges per unitat de segons que pot captar la càmera. La taxa mínima és de 30Hz, és a dir, 30 imatges cada segon, cosa que no és molt difícil de superar. Els Eye Tracker més barats, que no busquen molta precisió i d'ús més trivial, tenen una freqüència entre 50 i 60 Hz, mentre que els sistemes que necessiten captar el màxim detall, normalment usats en estudis de neurologia, tenen una taxa que oscil·la entre 1000 i 1250 Hz. Els aparells de qualitat mitjana, normalment usats per l'assistència a pacients amb mobilitat reduïda, tenen una freqüència que va des de 240 Hz, fins a 350 Hz.

Tot això va molt lligat als FPS (Frames Per Second), que són el nombre de marcs que apareixen cada segon, com més marcs per segons, més qualitat.

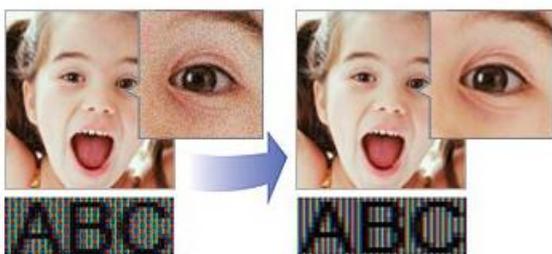


Figura 39: Diferència entre una imatge de 8 megapíxels i una de 12 megapíxels.

Evidentment, també importa la resolució de la càmera, que són el nombre de píxels<sup>10</sup> que pot captar en cada imatge, com més píxels pugui captar, més bé es veurà i, per tant, seguirà millor el moviment i, llavors, el sistema serà de major qualitat.

### 5.3. Electrooculograma (EOG):

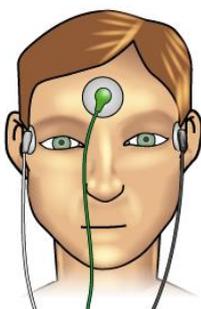


Figura 40: Exemple de col·locació dels elèctrodes en un EOG.

Aquest mètode detecta el moviment a partir de petits elèctrodes situats a la pell del voltant de l'ull.

Normalment, entre la part externa del globus ocular (còrnia) i la part posterior de l'ull, anomenada, membrana de Bruch, hi ha una diferència de potencial entre 0,4 i 5 mV, degut a un teixit que recobreix la retina anomenat epiteli retinal i que és el causant d'un dipol<sup>11</sup> en el globus ocular. D'aquesta forma, els ulls al moure's, canvien la orientació d'aquest dipol, un canvi que és detectat pels elèctrodes i, per tant, podem saber com es mou l'ull. A més a més, aquesta tècnica, no requereix d'il·luminació i detecta el moviment fins i tot quan tenim els ulls tancats, així, és per exemple, un aparell molt útil per l'estudi dels somnis. També és molt útil per mesurar, de forma precisa, els moviments sacàdics i els parpelleigs.

### 6. Diferència entre Eye Tracking i Gaze Tracking:

Generalment, no es distingeix entre aquest dos conceptes i, tal i com jo he fet en aquest treball, s'anomenen Eye Tracker als Gaze Tracker. Un Gaze Tracker, és un seguidor de la mirada, serien els sistemes que he anomenat Eye Trackers no invasius remots. La diferència és que els Eye Tracker mesuren la rotació dels ulls respecte el sistema de mesura, mentre que els Gaze Tracker no; d'aquesta forma, els Eye Tracker mesuren els moviments en base als angles dels ulls, mentre que els Gaze Tracker ho fan amb els de la mirada. Per això, a alguns sistemes s'usaven aparells de recolzament, ja que, si tenim el cap quiet, l'angle de l'ull

<sup>10</sup> **Píxel:** Unitat mínima en què es mostra dividida una imatge en un aparell electrònic (pantalles de TV, ordinador,...).

<sup>11</sup> **Dipol:** Sistema constituït per dues càrregues elèctriques puntuals de signes oposats col·locades a una petita distància l'una de l'altra.

passa a ser el mateix que el de la mirada i, llavors, un Gaze Tracker es converteix en un Eye Tracker.

## 7. Representació :

Com ja he comentat, amb els Eye Tracker, som capaços de recollir informació dels ulls, per exemple, els publicistes o els psicòlegs, analitzen els moviments oculars per determinar quelcom del subjecte o de l'objecte, és a dir, de l'individu al qual li hem col·locat el sistema Eye Tracking, o de l'element el qual era observat per l'individu. Aquesta informació, per a ser analitzada, primer, ha de ser representada.

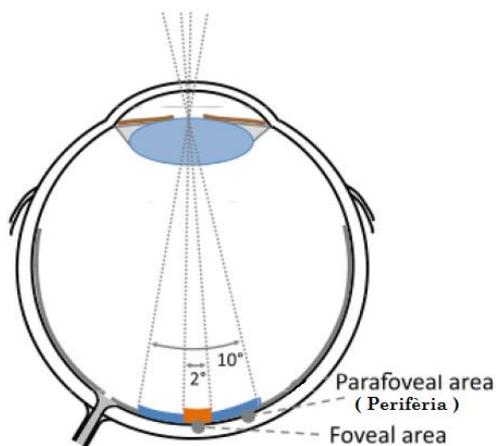


Figura 41: Representació dels Scanpath a la fòvea.

Els software dels sistemes Eye Tracking, representen les sortides i les fixacions, el conjunt dels quals anomenem Scanpath. Els Scanpath més útils per a extreure'n informació, són els que es processen a la part central de la fòvea en un angle d'obertura de 2°. Els que es processen a la seva perifèria, acostumen a ser excentricitats que, sovint, no aporten gaire informació. Aquests anàlisis permeten saber quins estímuls han estat processats pel nostre sistema cognitiu.

Hi ha diverses formes de representació, però n'hi ha quatre de molt freqüents que acostumen a ser més usades pels publicistes que pels psicòlegs:

### 7.1. Representació animada d'un punt:



Figura 42: Captura de pantalla d'una representació animada.

Consisteix en un vídeo on les sortides es marquen amb unes ratlles i, les fixacions, amb cercles o quadrats. Amb ells pots saber els moviments oculars del subjecte i, alhora, el temps, de forma que pots ordenar-los.

### 7.2. Representació estàtica de la ruta sacàdica:

És un sistema semblant a l'anterior, però aquest és en forma d'imatge i, les fixacions i sacades, apareixen totes juntes, de forma que és més difícil interpretar-les.

### 7.3. Heatmaps o mapes de calor:



Figura 43: Representació d'un Heatmap.

Són, també, un mètode de representació estàtic, en forma d'imatge. Aquest, però, és més funcional que l'anterior perquè et mostra les zones de màxima fixació. Aquestes es marquen amb zones de diferent color; el vermell és el més intens i, per tant, simbolitza la major fixació, i el blau, la menor, els altres colors són entremetjos. El negre significa que no hi ha hagut fixació. És un dels mètodes més usats.

### 7.4. Mapes de zones cegues:

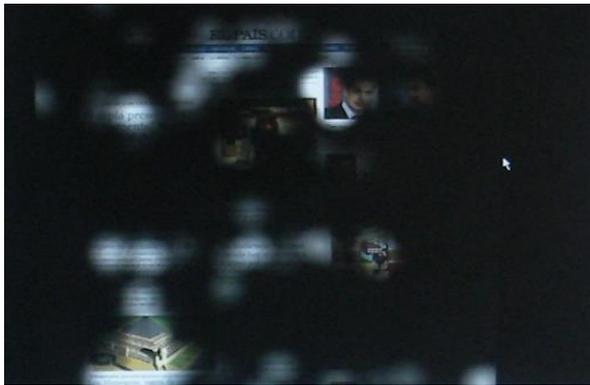


Figura 44: Representació d'un mapa de zones cegues.

Són una forma simplificada i menys precisa dels mapes de calor. En ells, simplement es diferencien les zones vistes pel subjecte, habitualment en blanc, i les zones no vistes, normalment en negre. Tot i la seva simplicitat, són molt útils per l'estudi del màrqueting i, per això, s'usen amb freqüència.

## 8. Interpretació:

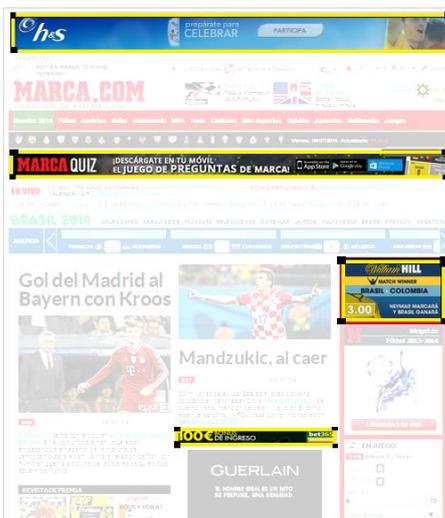


Figura 45: Representació de les àrees d'interès.

Un cop representats els Scanpaths, toca analitzar-los i interpretar-los per extreure'n informació. Normalment, en un estudi amb Eye Trackers, es solen usar les 4 formes de representació anteriors, ja que, cada una, t'aporta un tipus d'informació diferent.

El primer pas necessari per a una interpretació correcta, és definir les àrees d'interès. Per exemple, en aquesta imatge, si féssim un estudi sobre la publicitat de la pàgina web del diari MARCA, ens interessaria saber si els anuncis col·locats en ella, criden l'atenció,

per tant, serien les zones que estudiariem.

Com ja he comentat anteriorment, la part analitzada seran les fixacions les quals es relacionen amb el sistema cognitiu degut a la hipòtesi ull - ment, ja esmentada anteriorment.

Per comprendre aquestes fixacions, és important tenir en compte un certs paràmetres:

- Número total de fixacions:** Un major nombre de fixacions, indica una major eficiència del layout (organització de la informació, en aquest cas, de la web).
- Número de fixacions sobre una zona d'interès:** Com més fixacions hi hagi en una àrea d'interès, significarà que el subjecte l'hi presta major atenció.
- Duració mitjana de les fixacions sobre una àrea d'interès:** Aquest factor pot tenir dues lectures diferents. Per una banda, pot voler dir que la zona d'interès crida molt l'atenció. Per l'altra, pot significar que el seu contingut és de difícil comprensió.
- Densitat espacial de les fixacions:** Aquest factor, que es mesura amb els heatmaps, és molt important per determinar si es processen cognitivament les informacions, és a dir, per determinar si realment les fixacions són afectives. Una concentració de fixacions, significa que el subjecte hi ha prestat atenció, mentre que unes fixacions molt separades significa que el subjecte ha mirat la pàgina superficialment i que res l'hi ha cridat l'atenció.
- Temps transcorregut fins la primera fixació:** si es tarda molt de temps fins que el subjecte es fixa, per primera vegada, en una zona d'interès, significa que aquestes, no criden suficientment l'atenció.

Tot i això, és molt difícil determinar el que succeeix en la ment del subjecte, doncs una fixació no significa que li agradi allò que veu. Per això s'utilitzen mètodes per intentar aclarir el que passa per la ment del subjecte. El més usat és el "Think - aloud" (pensar en veu alta), que consisteix en anar parlant, explicant el que hom pensa, a mesura que es realitza el seguiment ocular. Per això, els hardware, incorporen petits micròfons per capturar la veu. La forma de representació usada per a aplicar aquest mètode és la de representació animada ja que permet coordinar paraula - pensament amb el seguiment ocular. Alguns científics consideren que parlar mentre es realitza la prova, n'altera els resultats, per això, prefereix realitzar una enquesta al final per complementar els resultats.

## 9. Aplicacions dels sistemes Eye Tracking:

Els sistemes Eye Tracking tenen moltes aplicacions, algunes de les quals, ja esmentades anteriorment. En sí, els Eye Trackers, només et permeten realitzar dos tipus d'accions, que, amb imaginació, són molt versàtils i aplicables a diversos camps de la vida:

### 9.1. Usos passius:

Els usos passius dels sistemes Eye Tracking consisteixen en la seva capacitat d'anàlisi. La possibilitat d'estudiar els moviments oculars, tenint en compte la hipòtesi ull – ment, per determinar el comportament psicològic del subjecte, cosa que ha servit de molta utilitat en diversos camps.

Per una banda hi trobem el món de la publicitat. Les tècniques Eye Tracking són usades des de fa temps per a estudiar la viabilitat dels anuncis que ens transmeten un missatge a partir de la nostra vista, per exemple, tanques publicitàries, Internet, productes, TV,... Aquestes tècniques ens permeten conèixer de primera mà quines sensacions causen els anuncis/productes en el consumidor i quina és la resposta d'aquest. Tot parteix d'una idea molt bàsica, tot allò que no veiem<sup>12</sup>, no ho comprem, per tant, si podem seguir la vista a diverses persones, entendrem que és el que falla als anuncis publicitaris o què fa tan poc atractiu alguns productes. Un cop es coneixen les dades dels anàlisis, toca canviar allò que no és adequat i, en aquest punt, hi entren els dissenyadors. El més important per a un anunci/producte és que, aquest, cridi la atenció del client durant els menys de 2 segons que el seu cervell tarda en processar la informació i en decidir si vol comprar-ho o no. Per això, és important un conjunt d'elements: el color, la tipografia, les imatges,... un dels elements més importants, que, a vegades, queda en segon pla, és l'organització de la informació, sobre tot, en les pàgines web. Tot i que sembli estrany, també és molt important la col·locació dels productes en la realitat, una tècnica que anomenem Merchandising, intenta millorar la quantitat de compra del consumidor a partir de la col·locació estratègica dels productes i fent més atractius els mostradors.

L'altre gran ús dels Eye Trackers degut a la seva capacitat de l'anàlisi ocular es troba en el camp de la medicina. Des dels seus inicis, els sistemes Eye Tracking han estat usats com a mitjà de coneixement de la psicologia humana i, també, com a eina pedagògica. En el món

---

<sup>12</sup> Tot allò que no veiem en referència a tot element que no rep una suficient atenció per part nostra.

de la psicologia, s'associen els moviments oculars a diversos comportaments humans i a la presa de decisions, de forma que, es creu, que si s'entenen la relació dels ulls amb la ment, es podrà entendre com funciona aquesta. Per això, per exemple, s'han provat sistemes Eye Tracking a pilots d'avió, militars, docents,... per intentar veure com actuen i entendre perquè ho fan d'una determinada manera. També s'estudien els somnis ja que, en ells, hi actua el subconscient, on s'amaguen els nostres instints més primitius i la nostra actitud més rebel. Aquest estudi és molt important per a la recerca dels psicòlegs i dels neuròlegs, per esbrinar, com ja he comentat, el veritable funcionament de la nostra ment. En neurologia, es creu que el moviment dels ulls també va associat a certes malalties mentals com ara l'autisme<sup>13</sup> i que, entenent els moviments oculars, també podem arribar a entendre aquestes malalties. Pel que fa la pedagogia, els sistemes Eye Tracking són una gran eina per detectar problemes de lectura en els nens i, també, dèficits d'atenció per tal de poder-los corregir a temps i assegurar que, ells, tinguin totes les capacitats adequades per aprendre correctament. De fet, hem de recordar, que en els seus inicis, els Eye Tracker, estaven destinats a l'estudi del procés de lectura.

Ja per acabar els usos passius, cal parlar dels estudis d'ergonomia, és a dir, de com interactuem els homes amb el nostre espai de treball. D'aquesta forma, podem habitar el nostre espai a nosaltres i aprofitar el màxim totes les possibilitats d'aquest millorant-ne la comoditat. Per exemple, això s'ha usat en el disseny de cotxes i, sobretot, en el d'avions per millorar la taula de control, de forma que, en situacions de risc, la bona organització d'aquesta, faciliti la feina als pilots per tal de que puguin actuar ràpid i correctament. També s'ha usat en el disseny d'ordinadors i, en algunes empreses, pel disseny de les oficines.



**Figura 46:** Cristiano Ronaldo usant un Eye Tracker.

Lligat a tot això, alguns esportistes d'elit han usat Eye Trackers per determinar com executen el seu esport i, saber així, quins són els seus errors per poder millorar el seu rendiment. Per exemple, degut a un programa de televisió portuguès, Cristiano Ronaldo va fer ús d'aquesta tecnologia.

---

<sup>13</sup> Recordem el nistagme explicat anteriorment.

## 9.2. Usos actius:

Els usos actius dels sistemes Eye Tracking consisteixen en la relació home – computadora, és a dir, amb la possibilitat de controlar dispositius electrònics amb l'ull. Tot i que, en aquest aspecte, els Eye Trackers, han avançat molt, encara els queda molt de camí per recórrer. Recordem que, aquests sistemes, ja estan disponibles per ordinador, tablets i mòbils. En clau de futur, alguns experts, asseguren que, els Eye Trackers, substituiran el ratolí, doncs amb ells, pots arribar a estalviar-te fins a un 60% de temps, ja que, amb el ratolí has de coordinar la mirada amb la mà, mentre que amb els Eye Trackers no. A més a més, els sistemes Eye Tracking són molt pràctics i molt més nets ja que no requereixen de cap aparell extern, amb una simple pantalla en tens prou (com a teclat s'usa un teclat virtual en la pantalla).

Bàsicament, aquesta utilitat, és aplicada per ajudar a les persones amb mobilitat reduïda, per exemple, els malalts d'ELA ( Esclerosi lateral atròfica ), els paraplègics que no poden moure les extremitats o les persones que pateixen artrosi i els costa molt moure el ratolí. Aquestes persones, poden tornar a usar l'ordinador i, en el cas dels malalts d'ELA per exemple, poden tornar a comunicar-se amb les persones del seu voltant. A més a més, la tecnologia Eye Tracking no s'acaba aquí, gràcies a ella, pots controlar una cadira de rodes o



Figura 47: Temp1 amb l'EyeWriter.

pots controlar braços robots que t'ajudin en el teu dia a dia, fins i tot, com ja he comentat anteriorment, pots controlar una casa domòtica amb els ulls. D'aquesta forma, millores la qualitat de vida d'aquestes persones que, cada vegada més, gràcies als avanços tecnològics en robòtica, podran viure de forma més independent. El principal problema d'aquesta maquinària és que tant el software com el hardware són molt costosos i, per tant, accessibles a una petita quantitat de malalts. Els Eye Trackers econòmics com ara TheEyeTribe, estan destinats a un ús més trivial i recreatiu, i no s'adaptarien a les necessitats dels discapacitats. Per això, han sortit iniciatives DIY (*Do it yourself*) on, a partir d'aparells poc costosos, s'intenten crear sistemes Eye Tracking per a persones amb mobilitat reduïda que no tenen accés a aquests aparells degut al seu elevat cost. La iniciativa més rellevant és l'anomenada EyeWriter on, a partir d'una càmera de PS3<sup>14</sup>, es va intentar fer un Eye Tracking per a un 'graffiter' americà, Tony Quan, anomenat artísticament com a Temp1, malalt d'ELA. Gràcies a un grup de joves

<sup>14</sup> Play Station 3, una vídeoconsola de la marca Sony.

emprenedors liderats per Zach Lieberman, Evan Roth i Theo Watson i gràcies als 18.000\$ invertits en el projecte per part del productor comercial Mick Ebeling i de la fundació Graffiti Research Lab; van aconseguir que Temp1 pogués tornar a fer 'graffities' . Actualment el projecte està penjat a Internet en OpenSource<sup>15</sup> i es pot realitzar per menys de 80€<sup>16</sup>.

Però aquesta aplicació dels Eye Tracker, pot ser útil per a tothom. Per exemple, els músic, si estan practicant a casa una partitura a l'ordinador, poden anar passant la partitura sense que això afecti la continuïtat de la melodia, o si estàs intentant realitzar un procés, per exemple cuinant, a partir de les guies d'un vídeo, pots anar treballant, parant o engegant el vídeo al mateix moment que uses les mans. Degut aquesta utilitat, una de les indústries que últimament està apostant per aquesta tecnologia és la dels videojocs. Gràcies als sensors de

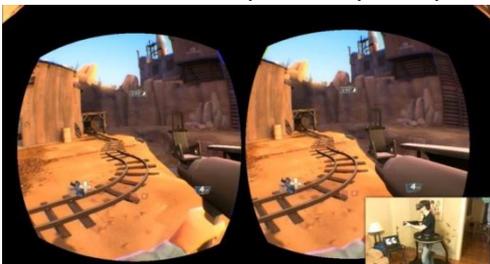


Figura 48: Visió d'un noi jugant amb Oculus Rift.

moviment, els Eye Tracker i la realitat augmentada, s'està intentant introduir el jugador en el joc per tal d'aconseguir increïbles experiències, de fet, tot això s'està fent realitat gràcies a un aparell anomenat Oculus Rift, unes ulleres que et permeten veure en primera persona com si fossis el personatge principal i que detecten els moviments del cap, del cos i dels ulls.

## 10. Avantatges i inconvenients:

Com tot en aquesta vida, els sistemes Eye Tracking tenen avantatges i inconvenients, tot i que cal dir, que encara és una tecnologia en desenvolupament que està treballant per millorar, per tant, els inconvenients són relatius ja que, potser d'aquí un temps, ja no existeixin.

Pel que fa els avantatges, els Eye Tracker són còmodes de fer servir ja que no necessites usar les mans i, per tant, mentre controles un aparell amb la vista, pots dur a terme altres accions. A més a més, et serveixen per realitzar estudis molt importants ja que, per una banda, els metges intenten entendre com funciona la ment i, per l'altra, els publicistes intenten trobar errors en la estètica dels seus anuncis/productes per intentar crear dissenys millors. I, la principal avantatge, des del meu punt de vista, és el fet de poder ajudar a les

---

<sup>15</sup> Veure annex G.

<sup>16</sup> Tot i que es necessita un Mac, el sistema operatiu del programa és OS X.

persones amb mobilitat reduïda ja que, gràcies als Eye tracker, pots millorar la seva qualitat de vida.

Pel que fa els inconvenients, els sistemes Eye Tracking són cars i necessiten molta precisió per a funcionar correctament, cosa que els pot fer inclús difícils de fer servir. A més a més, els ulls es mouen constantment, cosa que fa que el cursor, vagi una mica boig i, això, pot fer posar nerviós. No tots els desavantatges es troben en la relació home – computadora, en el camp dels estudis de publicitat, el neuromàrqueting, ha causat una certa discussió doncs els motius pels quals comprem un producte o no, són personals i si saben que ens fa comprar, poden d'una certa manera, manipular el nostre cervell a partir de dissenys més atractius.

**Segona part:**  
**Memòria del treball**

## Part 2

---

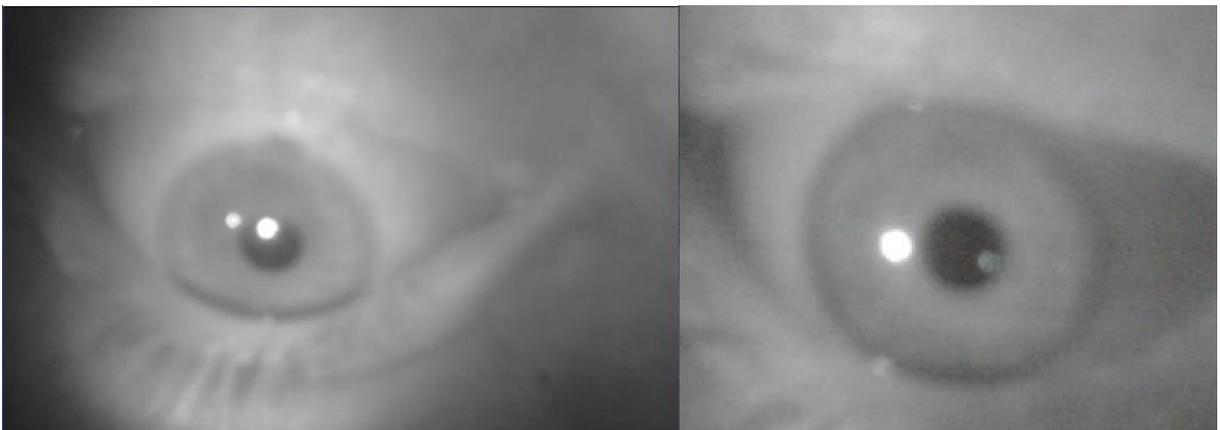
En aquesta part del treball veurem com he desenvolupat el contingut pràctic d'aquesta recerca, és a dir, com he construït el meu propi Eye Tracker, l'*EyeTool*, a partir d'elements barats per tal de fer-lo econòmic.

### 1. Tipus d'Eye Tracker construït:



**Figura 49:** Imatge del meu sistema Eye Tracking, l'*EyeTool*.

L'*EyeTool*, és un sistema no invasiu Headmounted muntat sobre unes ulleres. Té una sola càmera que usa la tècnica de la pupila fosca i, com podem deduir, és un aparell monocular que capta la primera imatge de Purkyně. L'*EyeTool* és de qualitat baixa degut a la seva càmera, la PS3 Eye<sup>17</sup>. Aquesta funciona a 50 / 60 Hz i té una imatge poc nítida amb menys d'un megapíxel i amb una resolució variable que oscil·la entre 640x480 i 320x240 frames a 120 o 60 fps. També pot variar el zoom de la imatge oferint un camp de visió de 56° o un de 75°, cosa que fa que el sistema també pugui arribar a actuar com a binocular, tot i que, en estar pensat per a ser monocular, no actuaria amb gaire precisió com a binocular.



**Figura 50:** A la vostra dreta una imatge amb camp de visió de 56°, a l'esquerra de 75°. Podem veure la qualitat de gravació de la PS3 Eye.

---

<sup>17</sup> Càmera de la Play Station 3.

## 2. Procés:

L'explicació del procés de construcció del meu propi Eye Tracker es dividirà en dues parts, la part del hardware i la part del software. Que les separi no significa que s'hagin de fer a part, sinó tot el contrari, és important realitzar les dues parts a la vegada ja que gràcies al software, pots trobar errors en el hardware.

### 2.1. Idea inicial:

És important saber com va començar tot per entendre el seu desenvolupament. La idea de construir el meu propi Eye Tracker va sorgir quan vaig llegir quelcom sobre l'Eye Writer. De seguida em va cridar l'atenció i vaig començar a investigar descobrint una web on t'explicava com realitzar un Eye Writer DIY. La idea principal va ser seguir els passos que s'explicaven a la web esmentada, però de seguida hi vaig trobar inconvenients.

Pel que fa el software, el programa Eye Writer s'ha d'obtenir a partir del codi ja que és un projecte OpenSource. És a dir, t'has de descarregar uns arxius amb programació i, a partir d'un programa, has de '*compilar-los*'<sup>18</sup>, és a dir, construir-los. El problema és que estaven predestinats per a un programa anomenat Xcode, un programa només disponible pel sistema OS X, el sistema operatiu de l'empresa Apple. Per tant, al no tenir un Mac, ordinador d'Apple, no podia usar Xcode i, conseqüentment, no podia utilitzar el software d'Eye Writer.

Pel que fa el hardware, l'explicació del procés de construcció no és la més correcta. La idea inicial de l'Eye Writer, era fer-lo Headmounted, però de seguida van treure la versió 2.0 que era remot. A Internet s'exposa com fer els dos però amb inconvenients a cada forma. La forma remota requereix la programació d'una placa Arduino<sup>19</sup>, cosa que s'explica, però, destinat al sistema OS X ja que el codi de programació de la placa, s'ha de lligar a unes línies de codi del programa Eye Writer. La forma Headmounted, que és més barata, tampoc està ben explicada. Per exemple, et diuen que usen una càmera de PS3, però en les imatges, podem veure que realment usen una Micro CCD Cam que, a *eBay*<sup>20</sup>, costa entre 79 i 105 €, mentre que, a la mateixa web, la PS3 eye, es ven per menys de 10 €.

---

<sup>18</sup> **Compilar:** És la traducció del codi (escrit en llenguatge de programació) a codi binari (llenguatge dels ordinadors) per tal de que es generi un programa/aplicació.

<sup>19</sup> Veure annex H.

<sup>20</sup> Web on es compren i es venen productes, ja siguin nous o de segona mà, arreu del món.

## 2.2. Hardware:

Aquesta part es dividirà en fases que inclouran les millors fetes al sistema, el material usat en cada una i els errors trobats després de provar-lo; seguint així, el procés que jo he realitzat durant la construcció del meu propi Eye Tracker.

### 2.2.1. Fase 1 :

Com ja he comentat anteriorment, vaig començar el projecte intentant seguir les instruccions de l'Eye Writer. Per fer-ho, en aquesta fase, vaig usar : filferro, unes ulleres de cinema 3D, una pila de botó de 3V, 2 leds infrarojos, la PS3 eye, unes brides i material de bricolatge ( cúter, tisores, alicates, tornavís,... ).



Figura 51: Imatge de la PS3 Eye.



Figura 52: Desmuntant la carcassa de la PS3 Eye.

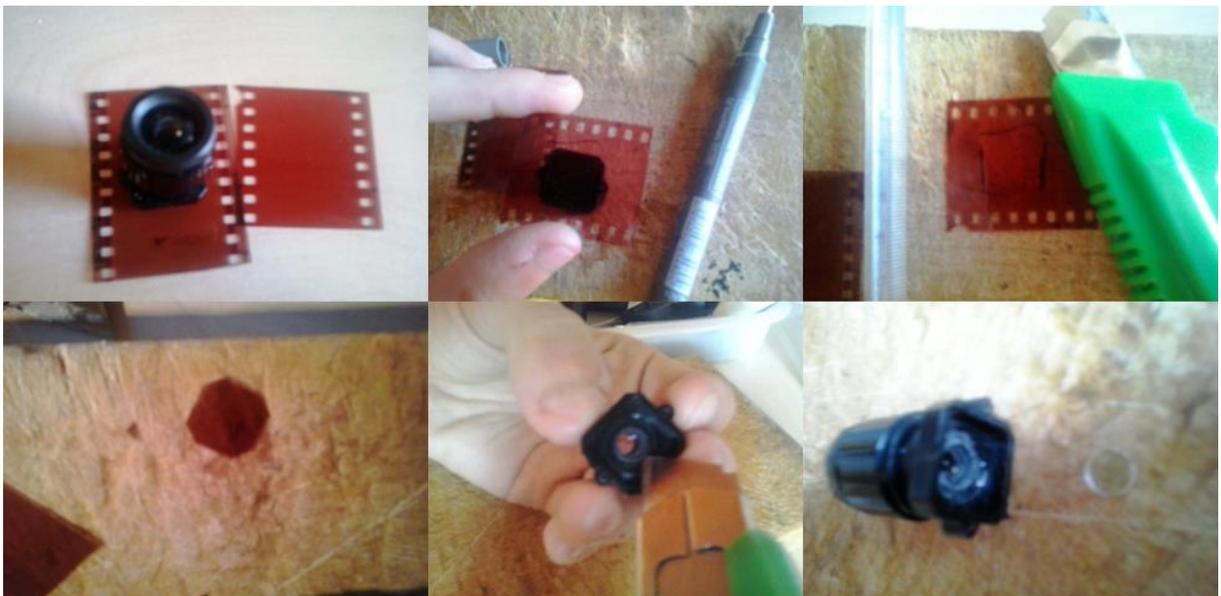
El primer pas consisteix en desmuntar la càmera de la PS3, és a dir, treure'n la carcassa per tal de fer-la més lleugera, reduir-ne la mida i per poder realitzar un altre pas que veurem a continuació. Per desmuntar la càmera només cal que extraguem els visos de la part de darrera de la càmera i, amb el mateix tornavís, fem palanca per treure'n la contracoberta. Un cop extreta, traiem els visos que subjecten la placa a la coberta frontal i, amb compte, apliquem el mètode anterior per a separar-ho. Per realitzar aquest procés, cal anar amb cura per tal de no danyar parts del circuit que impedeixin el bon funcionament de la càmera, ara bé, també s'ha d'aplicar una mica de força per aconseguir separar les parts ja que estan molt ben enganxades entre si.



Figura 53: Extraient la placa de la carcassa.

Seguidament, toca introduir el filtre infraroig a la càmera per tal de què la imatge quedi en escala de grisos i, per contrast, es pugui detectar la pupil·la. El filtre infraroig es pot comprar per exemple a eBay on es venen per més de 10€, aproximadament 13€; i també pots fabricar-lo tu mateix. Per fer-ho, només cal utilitzar qualsevol material translúcid que transformi la imatge en blanc i negre. Per exemple, jo vaig usar un negatiu de foto revelat. És important que aquest no tingui cap imatge, és a dir, que sigui una part clara ja que sinó queden taques fosques i, el software, no detecta correctament la pupil·la. També pots usar la part interior d'un disquet.

Per col·locar-los, primer cal extreure els visos que retenen l'objectiu subjecte a la placa. Llavors tenim dues opcions alhora de introduir el filtre. Per una banda podem adaptar el filtre a la forma interior de la càmera i, per l'altra, podem extreure la lent que sobresurt per tal de introduir-hi el filtre a l'interior. Aquesta última, que és la que jo vaig seguir, és la millor forma de fer-ho ja que garanteix una millor imatge. Per fer-ho, només cal rascar, amb un punxo o un cúter, la pega que enganxa la lent a la càmera. S'ha d'anar amb compte de no ratllar la lent de sota i de no deixar brutícia sobre l'altra lent ja que sinó queden taques. Una vegada extreta la lent i col·locat el filtre, només cal tornar a col·locar l'objectiu sobre la placa amb l'ajuda dels visos.



**Figura 54:** Procés d'extracció de la lent interior de la càmera i introducció del filtre infraroig.



Figura 55: imatge del meu primer Eye Tracker.

Un cop preparada la càmera, toca connectar-la a les ulleres que, prèviament, haurem preparat extraient les lents / plàstics deixant només la muntura. Per fer-ho, vaig agafar un tros de filferro i el vaig tallar a la mida convenient. Després el vaig enganxar a les ulleres amb unes brides i el vaig fer

passar pels orificis de la càmera on antigament hi havia els visos que l'adherien a la seva carcassa.

A continuació cal il·luminar-ho, és a dir, col·locar el leds infrarojos<sup>21</sup> ja que sinó, el contrast entre la pupila i la resta de l'ull no seria tant pronunciat i no hi hauria una correcta detecció d'aquesta. Podríem usar llum natural però, aquesta, és inconstant i seria molt difícil d'ajustar els paràmetres per a un correcte calibratge, per això, és millor treballar en un ambient tancat i amb leds. Els leds han de ser infrarojos ja que hem posat un filtre infraroig; un led normal, il·luminaria molt poc i no aniria bé.

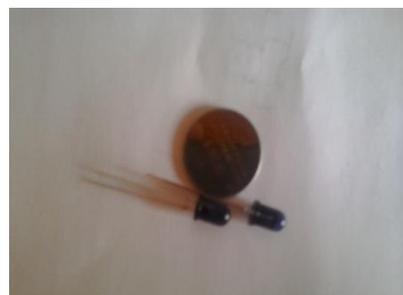


Figura 56: Pila de 3V i 2 leds infrarojos.

En el meu cas, vaig usar dos leds infrarojos TSIL6400 amb una longitud d'ona de 925nm connectats en paral·lel a una pila de botó de 3V<sup>22</sup>. La pila era una CR2016, una pila usada en diversos aparells que no necessiten gaire voltatge com per exemple, en les calculadores. Per col·locar-ho tot sobre la càmera, vaig aprofitar un fragment de filferro que sobresortia per sobre la càmera per col·locar-hi la pila amb els cables que s'unien als



Figura 57: Circuit on col·locar-hi els leds.

leds.

<sup>21</sup> La pota llarga dels leds s'ha de connectar al pol positiu (ànode), la curta al negatiu (càtode).

<sup>22</sup> Veure circuit a l'annex B.2 .

### 2.2.1.1. Errors trobats en la fase 1 :

L'error trobat en el sistema construït en la fase 1 era el fet de què els leds sempre estaven connectats a la pila i, per tant, la pila es gastaria massa ràpid. A més a més, al moure el filferro per calibrar la càmera, feia malbé els seus orificis i, també, era un sistema poc estètic.

### 2.2.2. Fase 2 :

Per solucionar els problemes de la fase 1 se'm va acudir afegir un suport per la càmera de forma que podia implantar un circuit amb un interruptor<sup>23</sup> pels leds a la cara del darrere del suport i, així, podia regular si estaven encesos o apagats per tal de no gastar energia innecessària. Per fer-ho, vaig usar, a part dels elements mencionats anteriorment, uns cables, fusta i un interruptor de carrera.

Primerament, vaig desmuntar tot el sistema de la fase 1 i vaig agafar un nou tros de



Figura 59: Suport de fusta.

filferro i noves brides. Llavors vaig agafar un tros de fusta laminada prima i vaig retallar-ne un quadrat mesurat<sup>24</sup> perquè hi cabessin la càmera i l'interruptor. En ella hi vaig fer uns forats perquè els cables anessin de banda a banda de la fusta per tal que connectessin amb els leds i amb les dues cares de la pila. També vaig fer un forat per l'interruptor, quatre forats perquè pogués enganxar la càmera amb claus a la fusta, un perquè hi passes el cable de la càmera i un altre per tal de què la càmera s'adherís a la fusta. Cal recordar que en la seva part de darrera, la càmera, té protuberàncies. A més a més, vaig rebaixar una zona circular a la cara de darrera per tal de que la pila s'integrés a la fusta.

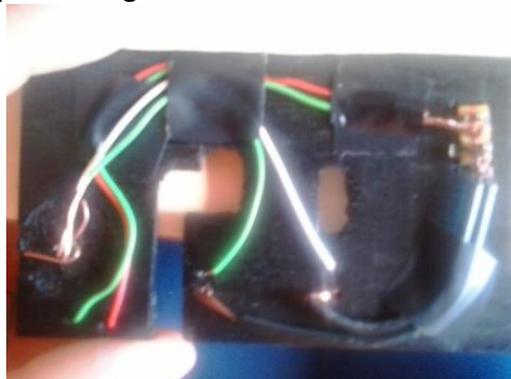


Figura 60: Suport de fusta pintat amb el circuit dels leds.

<sup>23</sup> Veure circuit a l'annex B.2.

<sup>24</sup> Veure plànols a l'annex B.1.



Figura 61: Imatge del meu segon Eye Tracker.

Un cop acabada la fusta, la vaig pintar amb esprai per fer-la més estètica i, després de deixar-la assecar, vaig adherir-hi la càmera i el circuit. Llavors vaig agafar el tros de filferro, lligat amb brides a la càmera, i el vaig fer passar per diversos forats de la fusta.

### 2.2.2.1. Errors trobats a la fase 2 :

En aquesta fase hi vaig trobar molts errors. Primerament, el sistema era inestable ja que, degut a la poca fermesa del filferro, al moure una mica el cap, la càmera no parava de vibrar i el calibratge no era l'adequat. A més a més, el sistema era molt pesat i això feia que la



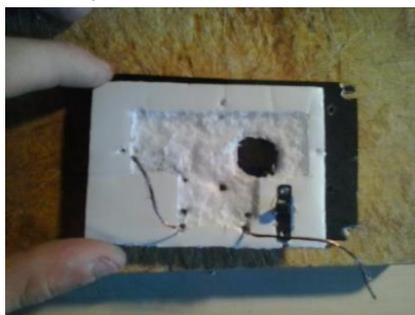
Figura 62: Imatge de com l'Eye Tracker tapava el camp de visió de l'ull esquerre.

càmera es desplaçés cap endavant al posar-tes, és a dir, les ulleres et baixaven fins a mig nas aproximadament. Cal dir que era un sistema poc estètic degut a les grans dimensions de la fusta, que tapaven camp de visió de l'ull esquerre, i, també, degut al seu estat, ja que, a l'introduir-hi el filferro, es va trencar una part de la fusta degut a la seva estructura laminar que la feia molt poc resistent.

### 2.2.3. Fase 3 :

Per solucionar els errors esmentats anteriorment, vaig decidir deixar estar les instruccions de l'Eye Writer i seguir un nou camí a partir de la meua imaginació. D'aquesta forma vaig canviar l'estructura de fusta i el suport que unia la càmera amb les ulleres. Per fer-ho, vaig fer servir, a part d'elements esmentats anteriorment, cartró ploma, pals de gelat, 'palometes', pistola de cola calenta, tubs de silicona i cola líquida (en el meu cas adhesiu de poliuretà).

Pel que fa la estructura de suport<sup>25</sup> de la càmera, vaig canviar la fusta per cartró ploma,



**Figura 63:** Diferència entre el suport de fusta i el de cartró ploma.

un material més ample però molt menys pesat. Degut a la facilitat de tallar i modelar el cartró ploma, vaig poder fer un suport més petit. A més a més, no vaig haver de fer una entrada pel cable tan gran, amb un simple forat al mig de la placa n'hi va haver prou. Tampoc vaig haver de fer forats per acomodar la càmera ja que vaig poder fer una espècie de soc per introduir la càmera al cartró ploma tal i

com vaig fer amb la pila. Això sí, tot i les modificacions en el suport, la forma del circuit dels leds era la mateixa. Després d'arreglar el suport, el vaig pintar amb esprai<sup>26</sup> i hi vaig col·locar la càmera i el circuit.

Pel que fa la connexió entre les ulleres i la càmera, vaig decidir canviar l'íestable filferro per la fusta. Aquesta li donava més estabilitat a la càmera, però tenia un inconvenient, que no tenia la flexibilitat del filferro i era difícil de graduar la càmera. Primerament, em vaig encarregar de buscar la fusta. Després de pensar-hi molt, vaig decidir usar els pals dels gelats Magnum que eren bastant gruixuts i fàcils d'obtenir.



**Figura 64:** Primera alternativa al filferro amb només un pal de gelat.

Al principi vaig pensar en col·locar un pal de gelat fixa que unís la càmera i les ulleres en la mateixa posició permanentment, però, primera, era molt difícil saber la posició exacte alhora d'enganxar-ho i, segona, d'aquesta forma, el sistema només era viable per mi.

Llavors, vaig pensar que podia unir dos pals de gelat amb un cargol<sup>27</sup> de forma que podia afluixar-lo i moure un pal de gelat, l'altre estaria fixa. D'aquesta forma guanyava dinamisme respecte la idea anterior. Més endavant, el meu tutor de trec, Pere Vendrell, em va suggerir una 'palometa' cosa que era més manejable.



**Figura 65:** Una palometa.

<sup>25</sup> Veure plànols a l'annex B.1.

<sup>26</sup> Cal vigilar alhora de pintar el cartó ploma amb l'esprai ja que la part interior d'aquest és molt semblant al *Porexpan* i l'esprai se'l 'menja' una mica.

<sup>27</sup> Per fer els forats als pals de gelat cal usar un punxó i anar rasant suament la superfície on vols fer el forat per tal d'evitar que el pal es parteixi per la meitat.

Tot i això, em vaig adonar que amb un pal mòbil podia moure la càmera amunt i avall, però que també necessitava acostar-la i allunyar-la; necessitava més mobilitat, per això, vaig pensar en un sistema de tres pals de gelat construint una espècie de braç articulat.



Figura 66: Procés d'evolució del braç articulat amb pals de gelat.

Finalment, vaig adonar-me que no podia graduar la inclinació de la càmera, factor vital per a una bona col·locació de la càmera, per això, amb un pal de gelat tallat per la meitat, vaig fer una forma d'"L" que anava al final d'aquest braç articulat fet de pals i que s'enganxava al cartró ploma amb adhesiu de poliuretà. Amb el mateix adhesiu vaig enganxar el braç articulat a les ulleres. El cable, anava lligat a les ulleres amb brides.

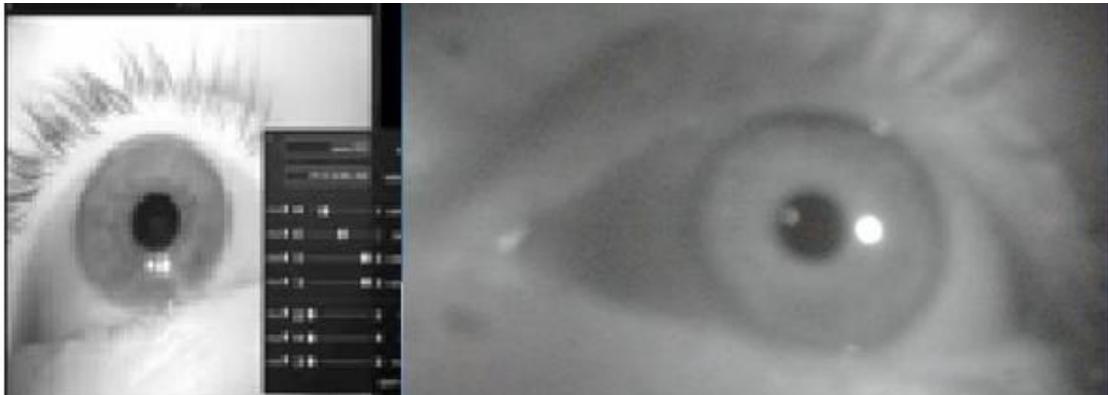


Figura 67: Braç articulat enganxat a les ulleres.

### 2.2.3.1. Errors trobats a la fase 3 :

Després d'haver aconseguit l'estabilitat, em vaig adonar que si lligava el cable a les ulleres amb brides, no podia moure el braç articulat, però per contra, si no el lligava, la càmera tendia a baixar i a desplaçar-se cap a l'esquerra del subjecte, és a dir, cap a l'exterior. A més a més, la càmera, tot i tenir un suport més petit, seguia tapant bastant camp de visió de l'ull

esquerre. Cal afegir que, també, aquest sistema, tenia un problema amb la il·luminació tal i com es pot apreciar en la següent imatge:



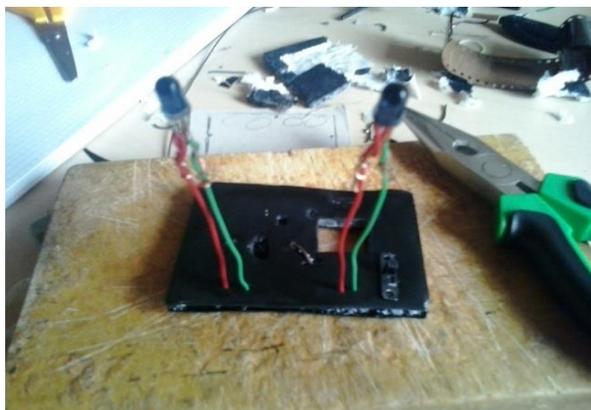
**Figura 68:** A la vostra esquerre la imatge de com havia de ser la il·luminació de l'ull, a la dreta, com era.

#### 2.2.4. Fase 4:



**Figura 69:** una brida metàl·lica.

Per solucionar els errors de la fase tres vaig desmuntar el sistema anterior i el vaig reconstruir<sup>28</sup> fent-lo més polit i millorant els defectes d'aquest. En primer lloc, vaig substituir les brides de plàstic per unes brides metàl·liques, anomenades col·loquialment '*abrazaderas*'. Aquestes em permeten fer més gran o més petita la obertura de la brida gràcies a un vis que fa córrer la cinta. En segon lloc vaig solucionar el problema del suport invertint-lo; d'aquesta forma, la part més voluminosa, queda per sota l'objectiu i, en conseqüència, per sota les ulleres. Finalment, vaig intentar solucionar el problema de la il·luminació. Vaig pensar que si col·locava els leds més a prop de l'ull, la il·luminació seria millor, per això, vaig agafar uns cables més forts i llargs i vaig fer uns leds mòbils. D'aquesta forma podia graduar la posició dels leds i buscar la més adequada pel sistema.



**Figura 70:** Nova forma de col·locar els leds.



**Figura 71:** Imatge de l'EyeTool a la fase 4.

<sup>28</sup> Veure plànols a l'annex B.1.

#### 2.2.4.1. Errors trobats en la fase 4:



Figura 72: Imatge de com tapa el camp de visió la càmera invertida.

En la fase 4, l'error, seguia sent la il·luminació, tot i la nova posició dels leds. Aquesta havia millorat el sistema però no acabava de ser allò que estava buscant.

#### 2.2.5. Fase 5:

Per arreglar els problemes d'il·luminació vaig tenir dues idees; la primera consistia en col·locar dos leds més i, la segona, en buscar dos leds més potents per substituir els anteriors. Finalment em vaig decantar per buscar dos leds més potents per una qüestió d'espai, la plataforma estava muntada per a tenir dos leds, no per a quatre. Els leds més potents es poden buscar en una botiga, però a les que jo vaig anar, o bé no n'hi havia, o bé s'havien d'encarregar; per això, vaig decidir buscar un mètode alternatiu i, que a la vegada, rebaixes el cost total del projecte. Vaig descobrir que ja tenia els leds que buscava a casa meua, es trobaven en els comandaments a distància de televisors, TDT, ...

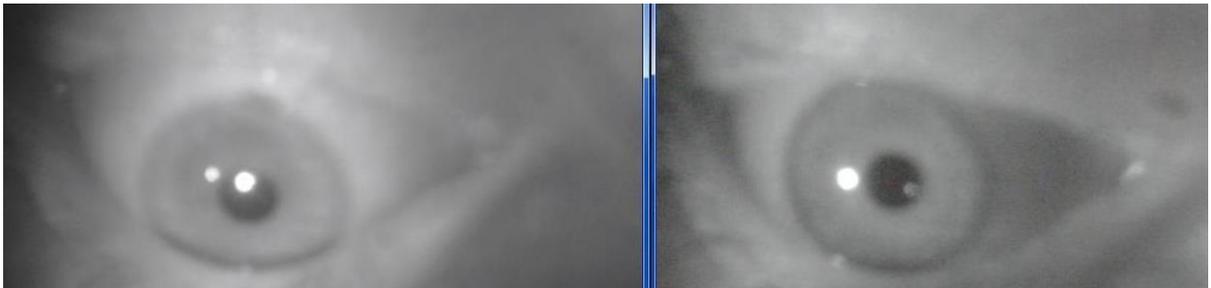


Figura 73: A la vostra esquerra, la imatge de com il·lumina l'ull un led de TV, a la dreta, la il·luminació amb dos leds menys potents.

Per això, vaig anar a buscar comandaments vells (a la deixalleria n'hi ha) per extreure'n els leds. El procés no és gaire difícil; obres la carcassa del comandament per extreure'n la placa on a la seva punta s'hi troba el led soldat per les potes, que cal tallar per obtenir-lo. El principal problema d'aquests leds és que tenen les potes curtes i són més difícils de manipular, per això, vaig buscar diferents comandaments ja que cada marca és diferent; per exemple, els leds dels comandaments *Philips* són més llargs que els de *Sony*.



Figura 74: Procés d'extracció del led d'un comandament a distància de TV.

### 2.2.5.1. Errors trobats en la fase 5:

En aquesta fase, el problema, era el mateix que en l'anterior: la il·luminació. Tot i que, aparentment, els leds trobats eren més potents, a la pràctica, aquests, tenien aproximadament la mateixa potència que els anteriors. A més a més, la càmera, tenia tendència a inclinar-se cap a l'interior, és a dir, cap al nas, de forma que, l'ull quedava gairebé tallat en la imatge de la càmera.

### 2.2.6. Fase 6:

Per arreglar els problemes d'il·luminació, vaig decidir dur a terme la segona alternativa ja mencionada anteriorment, col·locar 4 leds. Però, abans de fer el circuit, vaig decidir informar-me sobre les característiques dels leds ja que, a la botiga on els vaig comprar no em van saber respondre correctament. Segons el *datasheet*<sup>29</sup> dels leds, que vaig trobar a Internet, els leds necessiten un voltatge relatiu entre 1,2 i 1,8 V<sup>30</sup>, una intensitat entre 20 i 30 mA i, cada un, presenta una resistència aproximada de 50 Ω. Per això, vaig decidir realitzar un circuit<sup>31</sup> amb dues piles CR2016 unides per donar 6V, 4 leds TSIL6400 i dues resistències de 33 i 4,7 Ω, que equivaldrien a una de 37,7 Ω. Inicialment, havia pensat en una de 37,5 Ω<sup>32</sup>, però, a la botiga no n'hi havia.

<sup>29</sup> Full de característiques.

<sup>30</sup> Anteriorment, els leds, estaven connectats a 3V cosa que, significa que es podrien haver fos. Per sort, el temps d'exposició al voltatge era relativament curt cosa que impedia que es sobreescalfessin.

<sup>31</sup> Veure dibuix del circuit a l'annex B.2.

<sup>32</sup> Veure càlculs a l'annex C.

Per tal de què la il·luminació fos el millor possible, vaig col·locar els leds al voltant de l'objectiu tal i com es pot veure en la Figura 75.

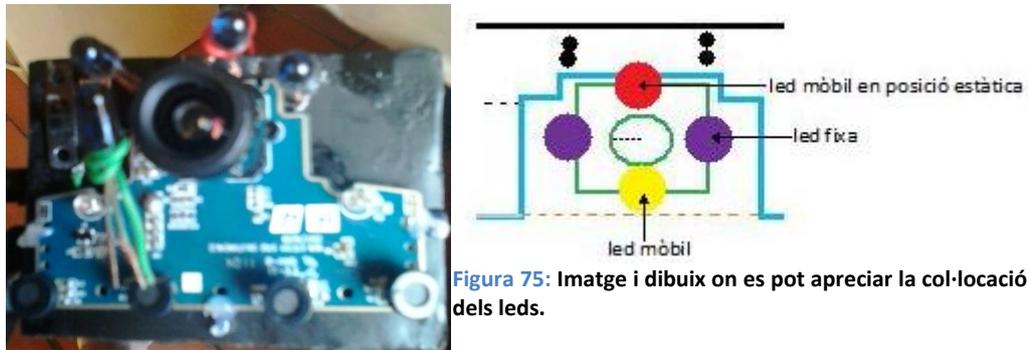


Figura 75: Imatge i dibuix on es pot apreciar la col·locació dels leds.

Seguint amb els problemes d'il·luminació, vaig pensar que potser no era problema dels leds, sinó problema del filtre ja que, potser, era massa fosc. Per això, vaig provar de canviar els negatius de foto per la part interior d'un disquet. Però, els resultats no van ser satisfactoris, tal i com es pot observar en la Figura 76, i de seguida vaig tornar a canviar als negatius.

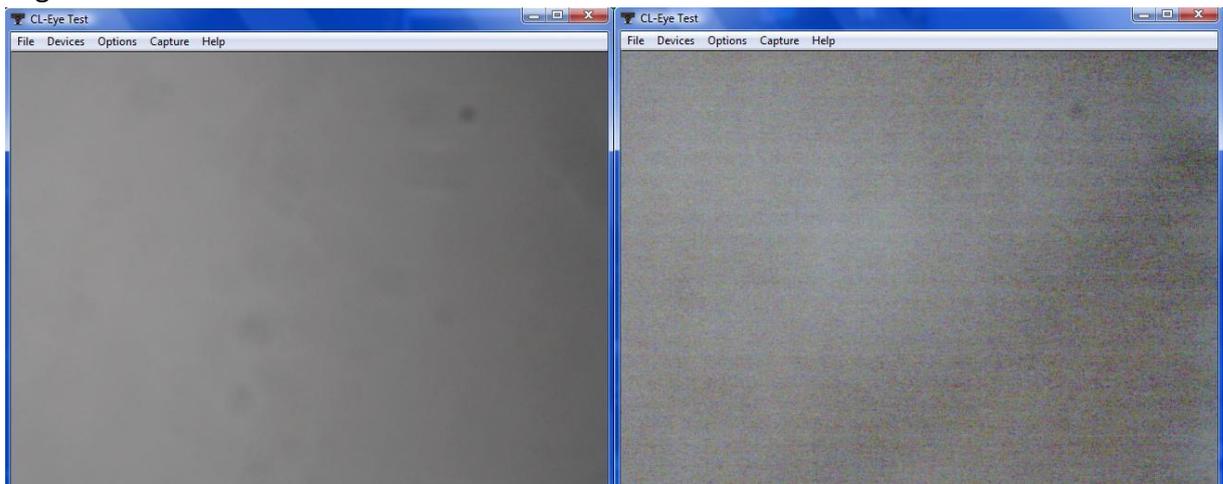


Figura 76: A la vostra esquerra, la imatge de la càmera amb els negatius de foto; a la dreta, la imatge amb la part interior del disquet com a filtre.

Com a solució a l'altre problema i, també, degut al fet de la construcció d'un nou circuit amb 4 leds, vaig realitzar un nou suport i vaig variar una mica el braç articulats<sup>33</sup>.

Pel que fa el suport, vaig reduir-ne la mida i vaig realitzar diversos talls i forats per tal de poder col·locar el nou circuit electrònic a l'interior del suport, aprofitant així, la part gruixuda del cartró ploma. Aquest suport nou, té, aproximadament, 12.3 cm<sup>2</sup> menys de superfície que l'anterior, amb el qual, la càmera, obstaculitza menys camp de visió a l'ull en relació al suport de la fase 5.

<sup>33</sup> Veure plànols a l'annex B.1.



**Figura 77:** Nova peça del braç articulat. aspectes es poden apreciar en la Figura 77.

Després de totes aquestes millores l'Eye Tool ja funcionava correctament amb el qual no va caldre realitzar cap més canvi al hardware.

### **2.3. Software:**

En aquesta part del treball es veuran els programes que he estat usant per a realitzar el meu projecte. Com ja he comentat, inicialment, volia usar el programa EyeWriter, però al descobrir que era per sistema OS X, em vaig veure obligat a buscar nous programes i en vaig trobar 30<sup>34</sup>. Però, evidentment, no els vaig fer servir tots; el que vaig fer va ser anar-los provant, un per un, per determinar quins em servien i quins no. Alguns els vaig excloure perquè no eren compatibles amb el sistema del meu ordinador<sup>35</sup>, d'altres estaven pensats per a sistemes remots o sistemes amb dues càmeres, molts els vaig descartar perquè no eren funcionals i, la gran majoria, vaig haver de deixar-los estar perquè estaven pensats per a ser Head Trackers. Finalment, em vaig quedar amb una reduïda llista de només 5 programes, els quals considero els més adequats pel meu sistema:

- 1- EyeWriter
- 2- EyeCan
- 3- Camera Mouse
- 4- ITU Gaze Tracker
- 5- Ogama

D'aquesta llista, finalment, després d'analitzar-los un per un, vaig decidir que els programes que acompanyarien l'*EyeTool* serien: ITU Gaze Tracker i Ogama, els qual seran explicats més endavant. Els altres 3 programes seran explicats a l'annex J.

---

<sup>34</sup> Veure llista a l'annex I.

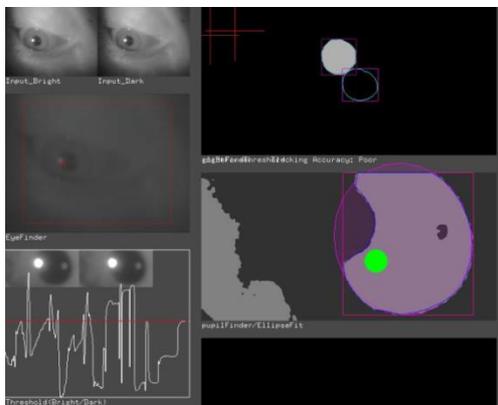
<sup>35</sup> Uso Windows Vista. Veure annex K.

L'elecció dels programes es deu a dos motius principals. En primer lloc, l'ITU Gaze Tracker i l'Ogama estan molt relacionats, de fet, tenen el mateix sistema de calibratge, això fa que, l'Eye Tracker que he construït pugui servir tant per la interacció home – computadora, com en el camp de la recerca. El segon motiu pel qual els he escollit és perquè eren els dos programes en els quals obtenia el millor calibratge i, alhora, amb els que obtenia més estabilitat ja que, amb l'EyeCan, el resultat a l'hora de calibrar era bo, però, el programa era més inestable i això feia que no fos tan funcional com l'ITU Gaze o l'Ogama.

### 2.3.1. Funcionament dels software dels Eye Trackers:

Abans de començar, és important entendre certs elements dels programes Eye Tracker, ja que, la majoria i, en concret, els que comentaré a continuació, funcionen d'una forma semblant.

En primer lloc, tenen una zona anomenada *Screen* (pantalla) on se'ns mostra la gravació del nostre ull. Pot haver-hi només una *Screen* o, també, pot haver-hi diverses: una de la imatge invertida, una amb zoom per les pupil·les, una amb la coloració invertida (pupil·la fosca o pupil·la clara) o, fins i tot, una amb gràfiques de moviment, amb un dibuix semblant als cardiogrames. Una d'aquesta *Screen*, en el cas que ni hagi diverses, inclou un rastrejador, és a dir, un element que detecta la zona de major contrast que, pels nostres interessos, hauria de ser la pupil·la.



**Figura 78:** Captura d'imatge de les *Screens* del programa EyeWriter.

Aquest element acostuma a ser una forma geomètrica: cercle, quadrat, el·lipse, etc. pintada d'un color per destacar-la. També pot ser que el programa pinti directament la zona de contrast adoptant així, la forma de la zona. En sí, hi ha tres tipus de rastrejadors:

- Rastrejador de pupil·la:** és el més important. Segueix, com he comentat, la zona de màxim contrast, que en el nostre sistema és la pupil·la.
- Rastrejador d'ull:** no és molt freqüent. Com ja es veu en el seu nom, detecta la zona de l'ull. Serveix més pels sistemes remots on hi ha més distància entre l'Eye Tracker i l'ull.

- **Rastrejador de glint**<sup>36</sup>: aquest rastrejador detecta el reflex dels leds a l'ull. La llum dels leds il·lumina tot l'ull, però hi ha un punt on es reflexa, aquest acostuma a ser a l'interior de la pupil·la ja que els leds acostumen a enfocar en la seva direcció. És molt útil per millorar la precisió degut a la seva posició. Acostuma a tenir un color diferent al del rastrejador de pupil·la per diferenciar-lo.



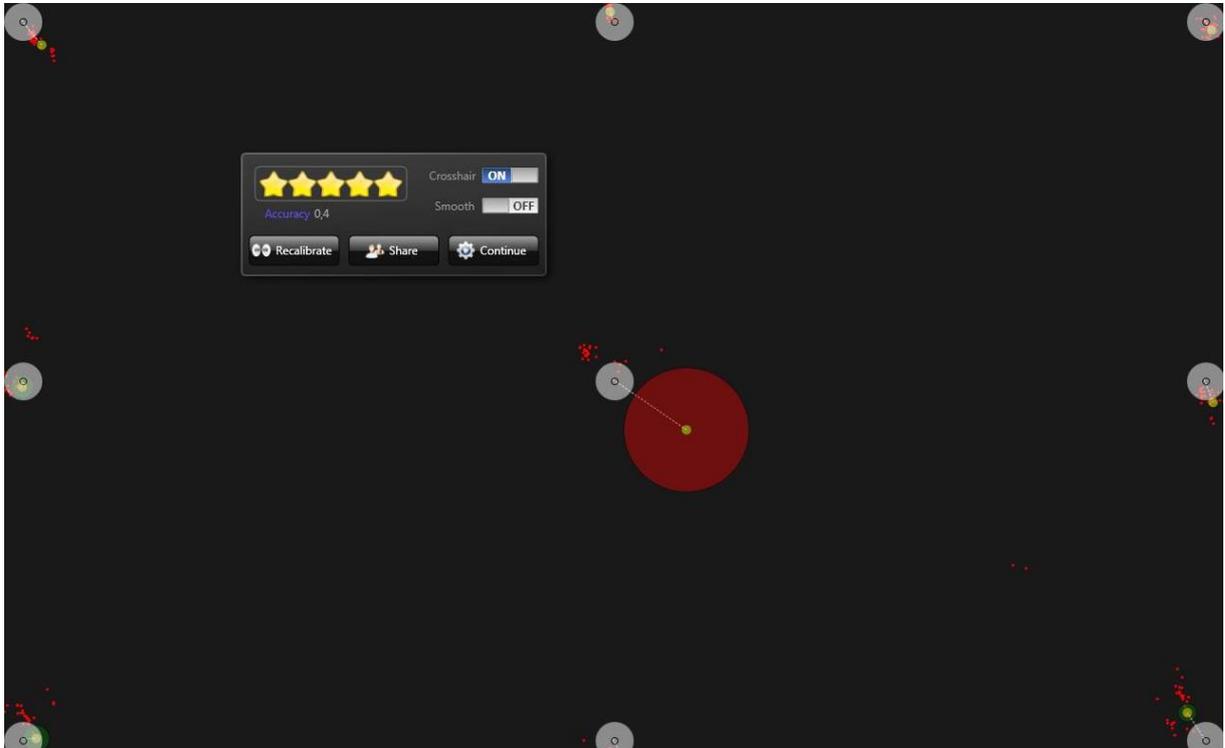
Figura 79: Captura de pantalla dels 3 tipus de rastrejadors en el programa ITU Gaze Tracker.

En segon lloc, existeixen els paràmetres de calibratge. Aquests, són factors dels *Screen* els quals tu pots ajustar. En funció de la complexitat del programa i del nombre d'*Screens* hi hauran més o menys paràmetres per ajustar. Aquests paràmetres són característiques de la imatge, per exemple: la claror, el contrast, la saturació, l'enfocament, el zoom o l'ombra, entre d'altres. També permeten invertir vertical i/o horitzontalment la imatge, cosa que va perfecte pel meu sistema ja que he girat la càmera. Aquests elements són difícils d'ajustar ja que el mínim canvi d'il·luminació de l'*Screen* fa que canviïn tots els paràmetres.

Un cop ajustats tots els elements referents al seguiment ocular, toca activar el programa. Per fer-ho, s'ha de calibrar. El calibratge és com un joc on s'obra una pantalla on hi van apareixent uns punts que tu has de seguir amb els ulls. Abans d'això, s'han d'ajustar alguns elements com ara el nombre de punts, el color o l'ordre (ordenat o aleatori). Un cop acabat el calibratge, apareix una nota, aquesta, que va del 0 al 100, pot simbolitzar l'error o l'encert, és a dir, que en funció del programa un zero simbolitzarà la perfecció i, en un altre, aquesta perfecció serà el 100. A més a més, en funció de la precisió del programa, la nota pot ser un sol número o, ser, un nombre decimal. En el cas de ser un sol número, un marge d'error de 5

<sup>36</sup> En anglès significa 'reflex'.

punts respecte la perfecció, és a dir, 5 o 95, és un resultat acceptable; mentre que si el nombre és decimal, el marge d'error hauria de ser d'1, és a dir, 1 o 99.



**Figura 80:** Captura de pantalla del calibratge del programa ITU Gaze Tracker.

Després del calibratge, si el resultat no és el desitjat, pots tornar-ho a calibrar tantes vegades com faci falta. En principi, si la detecció de la pupil·la és bona i constant, el calibratge, és bo, tot i que, depèn també del moment ja que potser ens despistem en el moment de calibrar o ens passa qualsevol altra cosa. És important estar molt quietes durant el calibratge i, també, intentar no parpellejar per tal d'evitar possibles errors que impedeixin una bona puntuació. La miopia o la hipermetropia són factors que poden afectar al calibratge degut a la possible distorsió dels punts, per això és important apropar-se o allunyar-se de la pantalla per veure els punts clars ja que les ulleres no tenen vidres. La distància també afecta al resultat, per això, és un factor ajustable abans del calibratge.

Un cop calibrat el sistema només toca començar a controlar l'ordinador amb l'ull. La interacció, tot i que es pot canviar, normalment, no és automàtica sinó que s'ha d'activar polsant un botó.

Si el programa i el sistema són de qualitat i de precisió, es pot determinar que tancar l'ull una vegada vulgui dir una cosa, per exemple, un click amb la part esquerra del ratolí; que tancar-lo dues, doble click o que tancar-lo durant un temps o fixar-te en un punt un temps

determinat, vulguin dir alguna altra cosa. Però en general els programes només et permeten moure el ratolí, per això, incorporen una barra d'opcions on pots obrir un teclat de pantalla, seleccionar el botó de doble click,... D'aquesta forma, al triar una opció, aquesta es va realitzant sobre els objectes en els quals et fixes un temps determinat que és ajustable. Abans de tot això, però, és convenient ajustar alguns paràmetres de control:

- **Crosshair:** en anglès simbolitza 'cursor'. Aquesta opció serveix per determinar com vols que sigui el cursor. Pots amagar-lo, deixar-lo visible o, fins i tot, inhabilitar-lo, és a dir, separar el ratolí de la mirada i fer que només actuï la mirada. També pots incloure-li un marge d'error, és a dir, que el cursor no sigui la típica fletxa, sinó una circumferència de forma que, per exemple, al fer doble click, és faci en tota l'àrea i no només en un punt. És molt útil en sistemes poc precisos.
- **Smooth:** en anglès vol dir 'tranquil'. Aquesta opció serveix per suavitzar el moviment del cursor. Com ja he comentat, l'ull, no para de moure's i, en conseqüència, el cursor tampoc, cosa que, el fa anar 'boig' i pot arribar a molestar. Amb l'Smooth, pots ajustar la precisió del sistema fent que el cursor no reaccioni davant dels salts lents, les vibracions oculars i/o moviments de cops.
- **Dwell Time:** en anglès, 'temps de retenció'. Aquest paràmetre permet, per una banda ajustar el temps de fixació suficient per a què el programa realitzi una acció, per exemple, doble click; i, per l'altra banda, serveix per alentir el moviment del cursor i, d'aquesta forma, controlar-lo millor ja que, com ja he explicat, l'ull no para de moure's.



Figura 81: Barra d'opcions del programa EyeCan.

### 2.3.2. ITU Gaze Tracker:

L'ITU Gaze Tracker és un dels programes més professionals que hi ha i, com ja he comentat, que ha esdevingut en un Eye Tracker professional, TheEyeTribe. Aquest programa va sorgir a la Universitat de Copenhaguen degut a la tesis doctoral de l'espanyol Javier San Agustín. Ell va tenir la sort de què, a aquesta universitat, hi havia diverses persones



**Figura 82:** Integrants de *The Gaze Group*. D'esquerra a dreta: Tall, Hansen, Johansen, Skovsgaard i San Agustín.

interessades en aquest camp, com per exemple, el tutor de la seva tesis, John Paulin Hansen, actual vicepresident de COGAIN. De seguida, en Javier i John, es van reunir amb altres coneixedors d'aquesta tecnologia, ja mencionats anteriorment; Sun Johansen, Martin Tall i

Henrik Skovsgaard. Ells van fundar *The Gaze Group* un grup d'investigació sobre els Eye Tracker que es va afiliar a GOGAIN per rebre subvencions. Aquest grup va desenvolupar l'ITU Gaze Tracker i, meravellats pel resultat, van decidir seguir endavant per crear TheEyeTribe.

### **2.3.2.1. Característiques:**

L'ITU Gaze Tracker ofereix només una *Screen* que és variable ja que, per una banda, en pots regular la mida i, per l'altra, pots canviar-la en funció del que vulguis visualitzar:

- *Normal*: és per veure l'ull amb un rastrejador format per un quadrat/rectangle i/o una creu.
- *Raw*: és per veure l'ull sense rastrejador.
- *Processed*: és per veure un rastrejador de color juntament amb el rastrejador format per formes geomètriques.

Aquest programa ofereix els paràmetres de calibratge necessaris i la opció d'usar els tres tipus de rastrejadors; de pupil·la, d'ull i de glint, dels quals pots ajustar-ne la seva precisió. A més a més, pots determinar si el sistema és Headmounted, binocular o monocular; en el meu cas, que el sistema és Headmounted i monocular, pots escollir qualsevol de les dues opcions, tenint amb compte que el monocular és més sensible als moviments del cap. Després de fixar el mode de rastreig, per fer el sistema més precís, pots determinar la posició dels leds respecte la càmera i, en funció dels leds, el sistema serà més precís o menys, ja que, quan hi ha menys il·luminació, si el sistema és molt precís, és fàcil de què detecti zones de contrast de la pupil·la. També pots ajustar el calibratge: color, nombre de punts, ordre, distància a la pantalla, etc. Un cop acabat el calibratge, només cal polsar el botó '*START*' per començar a controlar el cursor amb l'ull. Abans d'això, pots determinar si vols gravar les dades de control del cursor i, determinar, si vols enviar-ho per Internet.

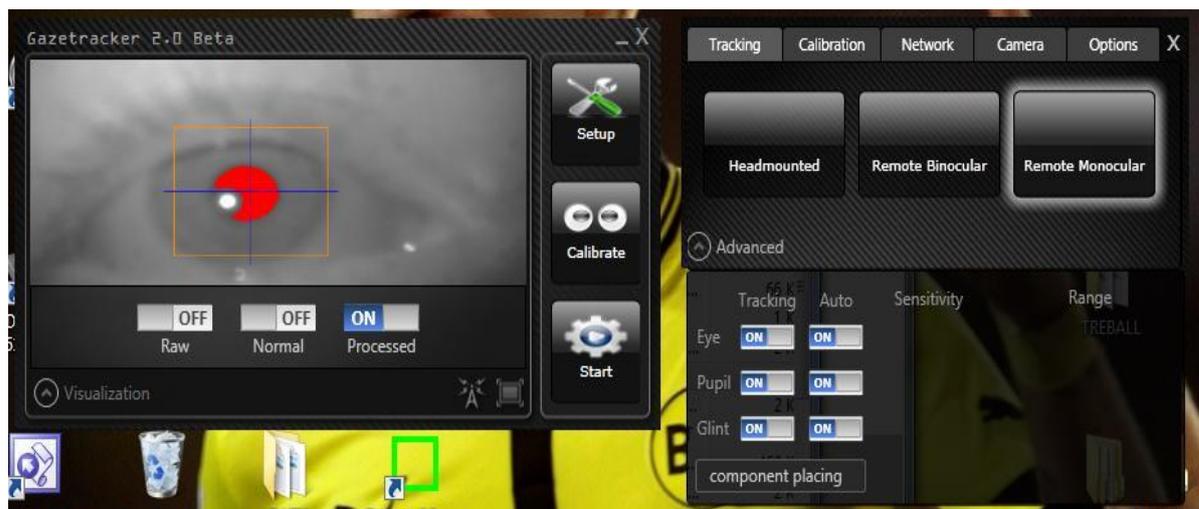


Figura 83: Captura de pantalla on es poden apreciar l'Screen, els rastrejadors i els paràmetres de calibratge de l'ITU Gaze Tracker.

Però l'ITU Gaze Tracker només permet moure el cursor, no permet realitzar accions, per això, *The Gaze Group* va desenvolupar aplicacions externes:

- **GazeTalk:** permet escriure frases perquè una veu artificial ho llegeixi i, a més a més, buscar per Internet, escoltar música, enviar correus electrònics o mirar pel·lícules . És una aplicació que podria ser molt útil però és poc funcional.
- **StartGaze:** permet escriure en un Word. També és poc funcional degut a què les lletres es troben en forma circular.
- **GazeMouse:** permet realitzar diverses accions, és a dir, és una barra d'opcions. Aquesta aplicació si que és funcional, de fet, és, per a mi, la barra d'opcions més completa després de la de l'EyeWriter ja que, tot i incorporar diverses accions com per exemple el zoom, no incorpora teclat de pantalla<sup>37</sup>.

### 2.3.2.2. Avantatges i inconvenients del programa:

Com ja he dit, l'ITU Gaze Tracker, és un dels millors programes que he usat, ja que mescla la complexitat i la professionalitat amb la senzillesa.

Pel que fa els avantatges, el programa ofereix molta precisió i molts ajustos en els rastrejadors cosa que fa que sigui fàcil preparar el programa pel calibratge. A més a més, és molt visual i senzill, per tant, molt útil per les persones amb alguna discapacitat.

<sup>37</sup> És cert que tots els ordinadors tenen teclat de pantalla, però és important, des del meu punt de vista, que la barra la incorpori per defecte.

Pel que fa els inconvenients, per a una interacció total amb l'ordinador és vital usar altres programes que s'han d'obrir a part, per tant, la utilitat que guanyava degut a la seva estructura, la perd en aquest aspecte.

En conclusió, tot i aquest problema, el sistema està molt ben fet i és molt bo, cal recordar que, d'ell, n'esdevé TheEyeTribe, l'empresa que ven l'Eye Tracker més barat del mercat. Segurament, però, el programa seria millor si incorporés per defecte les aplicacions que ens proporciona *The Gaze Group*. En definitiva, és, segons la meva experiència, el segon millor programa Eye Tracker gratuït després de l'EyeWriter, tot i que, el fet de què l'EyeWriter només es trobi en sistema OS X, fa que l'ITU Gaze Tracker pugui arribar a competir-li el primer lloc. De fet, l'ITU Gaze Tracker és el programa més usat per a aficionats als Eye Trackers, que poden compartir opinions en un fòrum a la web de *The Gaze Group*.

### 2.3.3. OGAMA:



Figura 84: Logotip d'OGAMA.

OGAMA és un programa diferent a l'anterior ja que, no està pensat per a la interacció humà – computadora, sinó que ha estat creat per a l'estudi dels moviments oculars.

Ja fa més de mitja dècada, que l'alemany Adrian Vosskuhler, va crear aquest software d'anàlisi com a part de la seva tesi doctoral. Ell, que actualment és doctor, volia fer estudis psicològics a un grup de persones i, per això, va decidir dissenyar el seu propi programa, un programa que encara usa per estudis similars dels quals ja n'ha publicat un llibre. Per realitzar el projecte, Adrian, va agafar com a base l'ITU Gaze Tracker, de fet, el procés de rastreig i calibratge és idèntic; i, a més a més, va ser ajudat per *The Gaze Group* i COGAIN, que van potenciar el software i el van posar a disposició de tothom, essent, OGAMA, un programa de descàrrega gratuïta. El software s'ha anat millorant des de la seva primera versió, l'agost del 2009, fins a l'actualitat. Actualment anem per la 14a actualització: OGAMA 4.5; penjat a Internet el 26 de maig de 2014. A més a més, el software és compatible amb tots els hardwares Eye Trackers exposats en aquest treball, tot i que, com ja he dit, totes les empreses tenen el seus softwares, cosa que fa que no sigui un programa molt usat. Cal dir però, que la nova versió compta amb 415 descàrregues.

### 2.3.3.1. Característiques:

Com ja he comentat anteriorment, els software d'anàlisi poden ser usats tant per publicitat com per medicina. Evidentment, en cada camp són diferents i, com es pot deduir, en medicina són més complexes ja que, en la publicitat només interessa saber si hi ha fixació, és a dir, interès del subjecte, mentre que en medicina, interessen diversos aspectes. Tot i que, OGAMA, pot ser usat pels dos tipus d'estudis, ofereix moltes variables ja que, estava pensat per a l'estudi d'un doctor. Això fa que sigui un programa complexa i difícil de fer servir, jo vaig necessitar bastant més temps per aprendre a fer-lo servir que per aprendre a fer servir els altres. La descàrrega del programa és molt fàcil i la instal·lació també<sup>38</sup>, tot i que, en el meu cas, al no ser compatible amb el meu Windows Installer<sup>39</sup>, vaig haver de buscar un altre ordinador per instal·lar-lo i, després, exportar-lo al meu una altra vegada.

El programa funciona per experiments, que es van dipositant per defecte en una carpeta del programa, tot i que ho pots canviar. El primer que s'ha de fer és programar la diapositiva, és a dir, l'objecte que serà observat, aquest, pot ser una foto, un text, fins i tot, hi pots posar un enllaç per obrir una pàgina web. A més a més, pots determinar factors d'il·luminació, de so i com vols que s'acabi l'experiment (al pulsar una tecla o al cap d'un temps). També pots usar una taula on s'ordenen els enquestats amb, per una banda, els seus resultats en l'experiment i, per l'altra, les seves dades i característiques personals escrites per tu o ell anteriorment (edat, sexe, estudis, .... ). Després d'aquest procés, cal començar ja l'experiment. Primerament, situar el primer subjecte enquestat i determinar-ne el nom per tal de què els resultats es guardin satisfactòriament. A continuació, cal ajustar els paràmetres de calibratge i els del rastrejador per calibrar-ho correctament, és exactament el mateix sistema que l'ITU Gaze Tracker. En tercer lloc, s'activa la diapositiva per tal de que l'usuari la pugui observar. Després de realitzar aquest procediment amb cada persona seleccionada, s'han d'analitzar els resultats un per un. Aquest programa permet seguir totes les pautes d'anàlisi explicades anteriorment, per exemple, marcar zones d'interès, i, també, totes les formes de representació explicades. A més a més, incorpora una sistema de càlcul que permet realitzar gràfiques dels resultats i, també, un sistema que permet especificar els

---

<sup>38</sup> Per instal·lar-se, s'ha de connectar al servidor SQL, que és un sistema de gestió de la base de dades de l'ordinador. Si no s'hi pot connectar cal instal·lar-ne un.

<sup>39</sup> Programa de Windows que serveix per instal·lar altres programes.

resultats, per exemple, en l'Scanpath, només mostrar les fixacions superiors a 4 segons en les àrees d'interès.

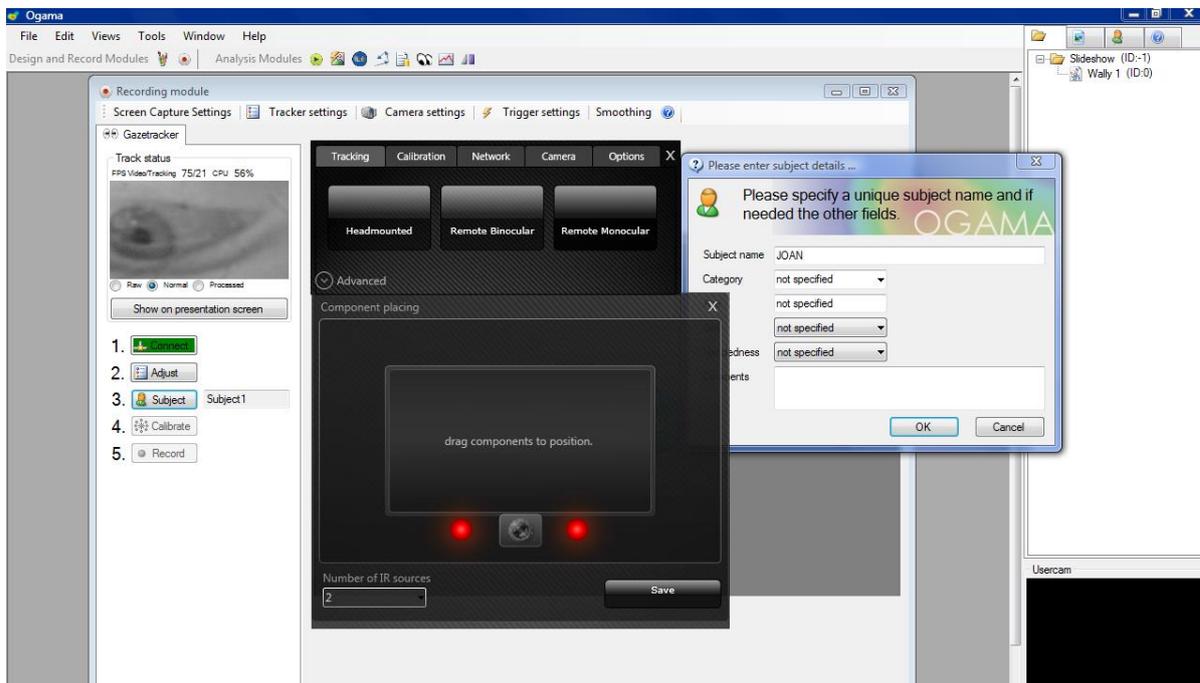


Figura 85: Captura de pantalla del programa OGAMA on es poden apreciar les similituds amb el programa ITU Gaze Tracker.

### 2.3.3.2. Avantatges i inconvenients del programa:

Com ja he comentat, aquest programa no té gaires usuaris, tot i això, la majoria de gent amb la qual he contactat per rebre referències sobre ell, me n'han parlat molt bé.

Pel que fa els avantatges, aquest programa té molta professionalitat cosa que permet fer estudis molt detallats sobre diversos temes. A més a més, un cop el saps fer servir, és molt útil ja que té la capacitat d'ordenar les dades i els resultats de cada experiment. També cal esmentar que, degut a què està basat en l'ITU Gaze Tracker, és molt precís, ja que té els 3 rastreadors, i és molt fàcil de calibrar.

Pel que fa els inconvenients, el fet de ser tant professional, comporta que sigui també molt complex i, per tant, com ja he comentat, difícil d'aprendre a fer servir.

En conclusió, l'OGAMA, és un magnífic programa per a l'anàlisi i l'estudi de la mirada, ja sigui en el camp de la medicina o del màrqueting. A més a més, el problema de la complexitat, es soluciona dedicant-hi temps.

#### **2.4. Possibles millores del projecte:**

Evidentment, com tot en aquesta vida, el meu sistema Eye Tracking pot millorar-se. Per una banda, usant un espai de treball més adequat, és a dir, realitzar-lo en un taller ben equipat ja que jo, a casa, treballava al meu escriptori sense disposar d'algunes eines que m'haguessin facilitat el procés com ho seria un soldador. Per l'altra, tot i encarir el projecte, utilitzant material més bo, com per exemple, una càmera més bona, tot i que, tot depèn del pressupost que un vulgui gastar-se, en el meu cas, buscava gastar-me el menys possible. També, seria recomanable, construir-ne dos i usar el primer com a prova, d'aquesta forma, és podria millorar molt el segon, en el meu cas, cada vegada que canviava el suport, el realitzava amb major pulcritud i eficiència, però, com ja he comentat, això depèn del pressupost de cadascú.

Deixant de banda les millores més superficials, si es volgués l'Eye Tracker per a estudis de la mirada, es podria implantar una segona càmera al front per realitzar un sistema de dues càmeres. Un altre element que es podria usar i que va bastant lligat al tema de millors materials, seria una càmera més petita i amb més resolució i, si pogués ser, seria millor implantar-ne una sense fil que permetria desfer-se del cable i guanyar llibertat al cap.

#### **3. Resum del pressupost:**

El pressupost usat en aquest projecte<sup>40</sup>, tal i com es pot veure en la Figura 86, és molt satisfactori tenint en compte, per una banda, el cost dels Eye Tracker professionals; i, per l'altra, el pressupost que suposava que em gastaria inicialment, uns 70 €. Degut al reciclatge de materials que qualsevol persona pot tenir a casa, el cost del prototip s'ha abaratit molt tot i els nombrosos materials que, finalment, no han servit per a la construcció del sistema Eye Tracking. Concretant, he aconseguit rebaixar, aproximadament, 40 € del preu inicial i, s'hi el tornés a construir, segurament, la diferència encara seria major. Evidentment, la qualitat del meu sistema es inferior a altres aparells més professionals, però amb aquests 40€ que no m'he gastat i millors condicions de treball, l'*EyeTool*, podria millorar bastant. Per tant, crec que, mirant el pressupost, es demostra que la tecnologia Eye Tracking és assequible per a qualsevol persona que tingui ganes de conèixer-la.

---

<sup>40</sup> Veure pressupost desglossat a l'annex A.

Material	Cost (€)
Ulleres	0
Càmera	10
Il·luminació	14.89
Braç articulat	5.4
Suport	0
Software	0
Altres	0
<b>Preu</b>	<b>30,29</b>

Figura 86: Taula general de pressupost.

#### 4. Resultat:

L'*EyeTool* ha resultat un sistema Eye Tracking amb les mateixes característiques que el d'escrit en el primer punt d'aquesta part del treball. És un bon Eye Tracker capaç de dur a terme les dues funcions principals: interacció amb la computadora<sup>41</sup> i estudis.

Tot i que el sistema és millorable funcional i estèticament, estic content amb el que he obtingut que, tenint en compte el baix preu i els materials utilitzats, és molt correcte. També estic content amb el software de l'*EyeTool* ja que són programes molt professionals i alhora gratuïts i a la disposició de tothom.

Després de tot el procés, considero que la tecnologia Eye Tracker és assequible per a tothom i que, d'aquí uns anys, es trobarà en les nostres cases i serà un element tant conegut com ho són, per exemple, el teclat i el ratolí. També crec que he demostrat que qualsevol persona amb ganes de conèixer aquest fascinant món, de la interacció home – computadora mitjançant la vista o dels estudis amb Eye Tracker, pot accedir-hi sense necessitat de gastar-se tants diners en un sistema Eye Tracking professional.

---

<sup>41</sup> Veure annex M.

**Tercera part:**  
**Estudi de la hipòtesi**  
**ull - ment**

## Part 3

---

### 1. Introducció:

Després d'haver construït un Eye Tracker, el vull usar per realitzar un estudi sobre la relació entre l'ull i la ment, entre allò que veiem i allò que interpretem, és a dir, vull tractar la hipòtesi ull – ment de Just i Carpenter ja tractada en la primera part del treball. També anomenada hipòtesi de la interpretació immediata, la idea desenvolupada pels dos psicòlegs als anys 80, ens diu que : “no existeix una diferència apreciable entre la informació que conforma un objecte que rep la nostre fixació i la informació processada pel cervell”, és a dir, que només pensem en aquells elements que reben la nostra atenció mentre que, durant la translació entre fixació i fixació, normalment, no interpretem la informació del medi.

Cal dir que la hipòtesi ull – ment també parla de la relació entre aquestes dues parts del cos, cosa que, considero vàlid i correcte. Per tant, només em proposo desmentir, si més no, posar en dubte, la part de la hipòtesi ja esmentada.

Abans de seguir en l'exposició de la prova, cal dir també que és un experiment molt difícil de realitzar ja que les fixacions són molt curtes i l'ull no para de moure's, amb el qual és complex aconseguir que el subjecte no es fixi, encara que sigui involuntàriament, amb el fons de la imatge. Tot i això, amb només una fixació de 350 ms és difícil captar molta informació per tant, en aquesta part del projecte, també estudiaré com, en poc temps, l'ull pot captar informació.

### 2. Hipòtesi:

Som capaços de processar informació sobre un objecte, el qual no ha rebut la nostre atenció visual, fixació.

#### 2.1. **Proves inicials que recolzen la hipòtesi:**

Per formular la meva hipòtesi m'he basat en tres idees principals. En primer lloc, el neuromàrqueting i la seva ideologia de fer interpretar allò que no veiem. Per exemple, en un cinema americà ja fa temps, es va col·locar una imatge d'una Coca-Cola cada 24

fotogrames<sup>42</sup> en una pel·lícula, de forma que, l'espectador, no va captar la imatge però, a l'acabar la pel·lícula, la majoria d'ells van anar a comprar una Coca-Cola.

En segon lloc, la idea de l'atenció encoberta, és a dir, el fet de fixar la vista sobre un punt però no prestar-li atenció, el que col·loquialment anomenem 'estar als núvols' o 'estar distrets'. Aquesta idea em fa pensar que potser es possible l'acció inversa, processar informació d'un punt sense fixar-s'hi.

En tercer lloc, m'he basat en l'experiència pròpia ja que, moltes vegades, estic observant quelcom i, quan moc els ulls per fixar-me en un altre element, capto informació de l'entorn. Això em passa sobretot amb la televisió i al cotxe on les imatges es troben en continu moviment.

### **3. Objectius:**

Demostrar que una part de la hipòtesi ull – ment no és correcte demostrant que la meua pot ser-ho.

### **4. Tipologia de les persones enquestades:**

La mostra en què s'ha realitzat l'experiment és de 30 persones de diverses edats entre 10 i 67 anys amb un 50 % d'homes i un 50 % de dones. Del total de persones, 13 subjectes tenien problemes visual ja sigui miopia, hipermetropia o estigmatisme. Cal comentar que el 76,67 % de la mostra eren habitants d'Ordal mentre que el 23,33 % restant provenien de Sant Pau d'Ordal, Barcelona, Avinyonet, Sant Sadurní d'Anoia i de Grenoble (França).

### **5. Confecció de l'experiment:**

La idea de l'experiment era que els enquestats miressin una imatge sense fixar-s'hi per tal de comprovar si capten o no informació. D'aquesta forma, la prova, constava de 18 diapositives<sup>43</sup> agrupades en grups de tres on les tres primeres eren d'exemple. Cada pack seguia el mateix patró:

- La primera diapositiva era simple, constava d'un fons de color amb dos punts vermells units per una ratlla blanca. Els punts vermells podien trobar-se en diferents

---

<sup>42</sup> Tenint en compte que l'ull humà funciona a 24-30 fps.

<sup>43</sup> Veure diapositives a l'annex N.

- zones de la pantalla i amb diferents mides. La funció d'aquesta diapositiva era preparar la vista del subjecte per a la segona diapositiva.
- La segona diapositiva constava d'una imatge amb dos punts vermells que coincidien amb els punts de la primera diapositiva. La prova consistia en fixar la vista sobre el punt vermell de la part esquerra i/o superior de la pantalla i desplaçar la fixació cap a l'altre punt sense mirar el fons. Per això, hi havia una primera diapositiva d'adaptació, per tal de que el subjecte no hagués de buscar els punts per la pantalla i, conseqüentment, es fixés en ella.
  - La tercera diapositiva era tota blanca i servia com a descans. Era el moment on formulava la pregunta: "Què has vist?".

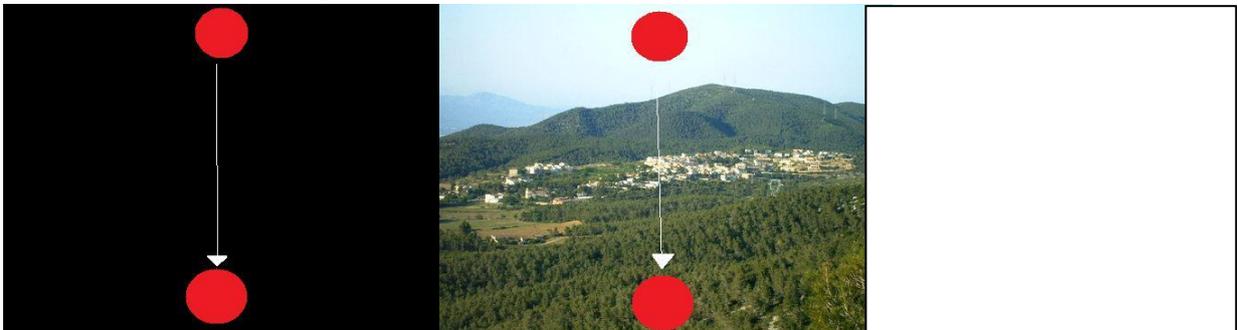


Figura 87: Seqüència de diapositives de l'experiment.

Les imatges tenien diferents característiques les unes amb les altres per tal de poder comprovar en quin moment es pot captar més informació en un moviment de translació punt - punt. N'hi havia en blanc i negre, amb colors apagats, amb colors clars i atractius, etc. També era diferent el recorregut visual, és a dir, la col·locació dels punts, per tal de determinar en quina direcció captaven més informació els ulls.

## 6. Mètode usat:

Per recollir la informació no he usat el mètode 'Think-aloud' perquè al ser una prova molt curta, cada diapositiva uns 6 segons com a molt, el fet de parlar durant el visionament de la imatge seria difícil i podria modificar els resultats. Tampoc he realitzat una enquesta al final, sinó que he realitzat les preguntes a l'acabar cada imatge per tal de que el subjecte no oblidés ni confongués informació de les diverses diapositives.

Els mètodes per representar la informació que he usat són: la representació animada d'un punt i els típics mapes de calor. Els he escollit perquè, des del meu punt de vista, són les dues formes més fàcils d'estudiar i, alhora, les que et concedeixen més detalls.

Les zones d'interès eren els fons de pantalla, és a dir, la imatge situada sota els punts vermells, per tal de saber si realment el subjecte s'havia fixat o no en ella.

#### **7. Resum dels resultats<sup>44</sup>:**

Tenint en compte que només 5 de les 18 diapositives eren vàlides per estudiar, per extreure resultats tenia 150 imatges. D'aquestes, 5 no estaven ben executades, per tant, l'experiment té un 3,33 % d'error.

Les diapositives observades per dones han estat més fàcils d'observar ja que, els homes, han realitzat els moviments més ràpids. Pel que fa les respostes, més o menys, tothom ha vist el mateix. Les dones s'han fixat més amb els colors mentre que la majoria d'homes els han obviat. Les imatges on s'ha captat més informació són la 3 i la 4, segurament, perquè eren imatges que suposadament el subjecte ja havia vist amb anterioritat. En les imatges amb poc contrast i/o colors foscos han captat menys informació i en la última diapositiva, degut a l'abundància de la lletra, tampoc s'han captat gaires detalls.

#### **8. Conclusió de l'estudi:**

Després de realitzar les proves i analitzar els resultats, toca extreure'n les conclusions pertinents.

En funció dels resultats obtinguts i de la precisió del sistema, puc determinar que som capaços de captar bastant informació en 500 ms. Tenint en compte la translació punt – punt i les respostes copsades en els subjectes, puc determinar que aquest experiment corrobora la meua hipòtesi: Som capaços de captar informació sense fixació. Evidentment, no captem tanta quantitat d'informació com en les fixacions i, a més a més, aquesta, no es reté tant en la memòria i obviem certs detalls que no hem pogut captar amb precisió. Tot i això, observant els resultats, es pot veure que en certes diapositives, sobretot, la 11 i la 14, els enquestats han captat bastant informació. Això es deu a la capacitat de deducció de la ment, l'ull veu colors i formes i la ment ho ordena. D'aquesta forma, si la imatge que crea la ment és semblant a una que aquesta ja coneixia, es dedueix que és la mateixa, és a dir, per exemple, la imatge de la diapositiva 14 ha estat molt coneguda ja que els ordalencs han vist

---

<sup>44</sup> Veure els resultats de forma extensa a l'annex D.

un paisatge i l'han associat amb el seu poble. Aquest fet reafirma la connexió ull – ment expressada també en la hipòtesi de Just i Carpenter.

La segona conclusió que podem extreure és que captem més informació en moviments en els eixos, vertical i horitzontal, que en moviments diagonals. En aquesta línia, cal dir que, evidentment, captem més informació en imatges que en lletres. També captem més informació en imatges vistoses amb contrastos i/o colors càlids que en imatges grises o amb colors freds amb poc contrast.

La resta de conclusions que podem extreure fan referència a les diferències entre els enquestats segons les seves característiques.

En primer lloc, podem parlar de la diferència entre sexes. Aparentment, no hi ha gran diferència entre homes i dones, tot i que, hi ha uns matisos que els diferencien. Pel que fa la dona, veu i accentua més els colors dels elements, mentre que els homes es fixen més amb les formes i obvien bastant els colors. Pel que fa l'home, ha realitzat els moviments de translació entre punt i punt amb més velocitat que les dones i, tot i això, han captat la mateixa informació. Aquests fets coincideixen amb els resultats d'uns estudis del National Geographic dirigit pel professor de psicologia del Brooklyn College, Israel Abramov, que conclouen així: *“Les dones són millors diferenciant els colors mentre els homes gaudeixen d'una millor visió pels moviments ràpid i les distàncies degut, segurament, a les funcions primitives de cada un; recol·lectar fruits i caçar respectivament”*.

En segon lloc, toca diferenciar entre edats. Aparentment, segons els resultats obtinguts, no hi ha diferències entre edats.

En tercer i últim lloc, diferenciem segons els problemes visuals (miopia i hipermetropia), ja que, els enquestats només portaven unes ulleres, l'*EyeTool*, per tant, no veien amb claredat la pantalla. Segons els resultats, no hi ha diferència entre persones amb problemes visuals i persones sense. Això es deu, per una banda, a la distància entre el subjecte i la pantalla, cosa que fa que els enquestats amb miopia o hipermetropia veiessin el que hi ha a la pantalla tot i que sigues borrós. Per l'altra banda, també es deu a la capacitat d'interpretació de la ment. Les persones amb defectes visuals, quan no portem ulleres, veiem els elements del nostre entorn distorsionats i borrosos sense un punt de fixació clar,

això fa que en aquestes situacions, ens guiem per la deducció i interpretació. Per exemple, quan vaig pel carrer sense ulleres i no reconec la cara d'una persona, em fixo en la forma de vestir i la constitució per deduir si és algú que conec. Aquesta acció és semblant a la que realitza l'enquestat a l'experiment on capta una informació sense fixació i distorsionada i la ment la ordena. Per això, crec que els defectes visuals no han afectat en la prova.

## Conclusió i valoració

---

Un cop acabat el projecte és el moment de revisar-lo i veure si s'han assolit els objectius proposats en l'inici del treball.

Pel que fa la primera part, l'objectiu era recopilar informació sobre els sistemes "Eye Tracking". Considero el propòsit assolit doncs en 31 pàgines (12-43) s'ha aconseguit encabir les dades sobre aquests aparells les quals es trobaven disperses per la xarxa. Aquesta informació s'engloba en el treball de forma estratègica perquè el lector vagi aprenent els conceptes de mica en mica, tal i com més o menys vaig fer jo; primer un resum de que són, seguidament el seu passat i el seu present, a continuació els tipus de sistemes i el seu funcionament i, finalment, els usos i els seus avantatges i inconvenients. Tal i com ja he dit, la idea és que el qui es llegeixi el treball no trobi elements que no compregui, ans el contrari, que la informació se li vagi donant de forma seqüencial per tal que pugui seguir-ho amb fluïdesa.

Pel que fa la segona, consistia en crear un aparell Eye Tracker amb elements casolans i de forma barata. Després de diversos entrebancs vaig aconseguir construir-ne un que funcionés. A més a més, com a conseqüència del software, l'*EyeTool* serveix tant pels seus usos actius (relació humà-computadora) com pels passius (estudis dels moviments oculars). Si bé és cert però, el preu (30,29€) potser és una mica superior al que en realitat seria, doncs si ens mirem només les peces podrem veure que l'*EyeTool* es pot construir per uns 20 € aproximament, fins i tot menys. Tot i això el preu és molt correcte tenint en compte els costos dels sistemes Eye Tracking en el mercat. També cal comentar que el material usat són elements que qualsevol persona pot comprar o inclús tenir el que necessita a casa seva.

En la tercera part, l'objectiu era fer un estudi usant l'*EyeTool* per a determinar la possible certesa o la falsedat de la meua hipòtesi que contraposava una part de la hipòtesi ull-ment proposada per -Just i Carpenter- el segle passat. Les conclusions d'aquest experiment es poden llegir en aquesta part, per tant, no hi ha gran cosa a dir. Mirant-ho de forma general, s'ha dut a terme un procés científic amb la observació, hipòtesi, experiment i conclusions dels resultats pertinents. Com a breu resum d'aquestes, puc dir que l'experiment consistia en unes diapositives compostes per imatges les quals la persona que realitzava l'experiment no podia mirar, només havia de passar la vista per sobre. Pel que fa els resultats, cal dir que els homes han vist més bé les formes de les imatge mentre que les dones s'han fixat més

amb els colors, segurament degut a les seves funcions primitives, caçar i recol·lectar respectivament. També cal comentar que el sistema Eye Tracking ha funcionat correctament durant el transcurs de l'experiment.

Actualment, si hagués de continuar amb el projecte, intentaria usar material més bo per a l'*EyeTool*, per exemple, una càmera sense cable. Tot i que això encariria el projecte, faria que el sistema fos més precís i més fàcil de calibrar. Pel que fa l'experiment, el continuaria amb més subjectes i ampliant la diferenciació per característiques doncs només m'he fixat amb tres: edat, sexe i salut visual. També intentaria realitzar nous experiments per concretar més les conclusions obtingudes.

Personalment la realització d'aquest treball m'ha comportat un procés d'aprenentatge sobre un camp el qual desconeixia. També m'ha servit per a realitzar el desenvolupament d'un element tecnològic cosa que no havia fet mai, és important sobretot perquè en la teoria tot sembla molt fàcil però en la pràctica t'adones de què no tot sempre funciona i que cal tenir la ment oberta per trobar solucions als problemes.

En resum, s'han aconseguit assolir els objectius proposats de forma bastant satisfactòria, evidentment, sempre hi ha un marge de millora però, valorant la feina feta puc donar per finalitzat el treball satisfactòriament.

## Glossari

---

Les definicions són extretes del diccionari *online* de l'Institut d'Estudis Catalans (DIEC).

- Coaxial:** 2 *adj.* [EI] Que posseeix dos o més elements amb el mateix eix.
- Convergir:** 1 *v. intr.* [LC] [MT] Dues rectes, dirigir-se envers un mateix punt. *Els radis d'un cercle convergeixen envers el seu centre. Els rajos de llum, després de travessar la lent, convergeixen tots devers el focus d'aquesta.*
- Dopamina**<sup>45</sup>: 1 *f. Bioquímica.* Neurotransmissor derivat de la dopa que en els ganglis basals del cervell.
- Epiteli:** *m.* [BI] [LC] [MD] Teixit que recobreix les superfícies internes i externes del cos.
- Fotomultiplicador:** *m.* [EL] Tub de buit electrònic constituït per un fotocàtode i un multiplicador d'electrons.
- Fotosensible:** *adj.* [FIF] [EL] Sensible a la llum. *Element fotosensible.*
- Neurologia:** *f.* [LC] [MD] Branca de la medicina que tracta del sistema nerviós.
- Pedagogia:** 1 *f.* [LC] [PE] Ciència que té per objecte l'estudi de l'educació.
- Refracció:** 1 *f.* [FIF] [LC] Modificació de la trajectòria d'un raig o del front d'una ona quan travessa una superfície que limita dos medis diferents. *La refracció de la llum. L'angle de refracció.*
- Tipografia:** 2 *f.* [AF] Procediment d'impressió amb formes que contenen, en relleu, els tipus i els gravats que després d'entintats són aplicats fent pressió sobre la superfície d'un paper.

---

<sup>45</sup> La definició és una traducció de la definició donada pel diccionari de la Reial Acadèmia Espanyola (RAE), ja que, en el DIEC, no existeix una definició per la paraula.

## Webgrafia<sup>46</sup>

Enllaç web	Data de l'última visita
<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Seguimiento_de_ojos">http://es.wikipedia.org/wiki/Seguimiento_de_ojos</a>	3/7/2014
<a href="http://ca.wikipedia.org/wiki/Seguiment_d%27ulls">http://ca.wikipedia.org/wiki/Seguiment_d%27ulls</a>	5/7/2014
<a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking">http://en.wikipedia.org/wiki/Eye_tracking</a>	3/7/2014
<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Electrooculograma">http://es.wikipedia.org/wiki/Electrooculograma</a>	2/7/2014
<a href="http://es.wikipedia.org/wiki/Movimientos_sac%3%A1dicos">http://es.wikipedia.org/wiki/Movimientos_sac%3%A1dicos</a>	2/7/2014
<a href="http://www.slideshare.net/MarielaClementeMartos/movimientos-oculares-13768329">http://www.slideshare.net/MarielaClementeMartos/movimientos-oculares-13768329</a>	3/7/2014
<a href="http://www.instructables.com/id/The-EyeWriter/">http://www.instructables.com/id/The-EyeWriter/</a>	6/8/2014
<a href="http://eyewriter.org/">http://eyewriter.org/</a>	6/8/2014
<a href="http://ca.wikipedia.org/wiki/Seguiment_d%27ulls#Seguiment_d.27ulls_en_situacions_pr.C3.A0ctiques">http://ca.wikipedia.org/wiki/Seguiment_d%27ulls#Seguiment_d.27ulls_en_situacions_pr.C3.A0ctiques</a>	3/7/2014
<a href="http://www.ergoestudio.com/articulos/articulos/diferentes_aplicaciones_et.php">http://www.ergoestudio.com/articulos/articulos/diferentes_aplicaciones_et.php</a>	5/7/2014
<a href="http://www.entermedia.mx/2011/11/eye-tracking-que-es-cuales-son-sus-usos/">http://www.entermedia.mx/2011/11/eye-tracking-que-es-cuales-son-sus-usos/</a>	5/7/2014
<a href="http://www.eyetracking.com/About-Us/What-Is-Eye-Tracking">http://www.eyetracking.com/About-Us/What-Is-Eye-Tracking</a>	29/7/2014
<a href="http://eyetrackingupdate.com/2012/06/25/8-applications-eye-tracking-technology/">http://eyetrackingupdate.com/2012/06/25/8-applications-eye-tracking-technology/</a>	5/7/2014
<a href="http://whatis.techtarget.com/definition/eye-tracking-gaze-tracking">http://whatis.techtarget.com/definition/eye-tracking-gaze-tracking</a>	30/7/2014
<a href="http://www.oxforddictionaries.com/us/definition/american_english/eye-tracking">http://www.oxforddictionaries.com/us/definition/american_english/eye-tracking</a>	30/7/2014
<a href="http://blog.solucionesc2.com/que-es-el-eye-tracking-y-para-que-nos-sirve-c2-usabilidad-web">http://blog.solucionesc2.com/que-es-el-eye-tracking-y-para-que-nos-sirve-c2-usabilidad-web</a>	30/7/2014
<a href="http://www.uxbooth.com/articles/a-brief-history-of-eye-tracking/">http://www.uxbooth.com/articles/a-brief-history-of-eye-tracking/</a>	29/7/2014
<a href="http://www.slideshare.net/AcuityETS/the-evolution-of-eye-tracking">http://www.slideshare.net/AcuityETS/the-evolution-of-eye-tracking</a>	30/7/2014

<sup>46</sup> La webgrafia completa es troba annexada en el CD situat en la part posterior del treball.

# **Annexos**

## Annexos

En aquest apartat del treball s'exposaran, per una banda, les entrevistes realitzades i, per l'altra, certs conceptes que considero importants de conèixer ja que surten al llarg del projecte. En el projecte imprès, només trobem els annexos A, B, C i D; els altres es troben en format digital en el CD que es troba al final del treball on també hi ha els programes usats.

### Annex A. Pressupost desglossat

Com ja he comentat anteriorment, el pressupost inicial que esperava gastar-m'hi era aproximadament de 70 €, per ser més exactes, tal i com es veu en la Figura 87, de 72'69 €. Aquest preu era, simplement, una suposició meva a partir de la taula de '*material – preu*' que ofereix el projecte EyeWriter. A partir d'aquella taula, vaig excloure alguns materials innecessaris per a mi, confeccionant la taula de pressupost inicial de la figura 87.

Material	Preu aproximat
PS3 Eye	29,37 €
Ulleres de sol barates	3,68 €
Bossa de brides	1,8 €
2 IR leds	1,5 €
Pila	1,5 €
Elements de subjecció de la càmera	5 €
Filtre infraroig	19,84 €
Altres	10 €
<b>Preu total</b>	<b>72,69 €</b>

Figura 88: Taula del pressupost pensada inicialment.

Finalment, el pressupost es va reduir un 41,67 % degut a l'ús d'objectes quotidians de preu nul o molt baix, tot i que, com es pot veure en la Figura 88, la taula de pressupost final és més extensa pel que fa el materials usats. El pressupost final ha estat de 30.29 €; 42,40 € més barat que el preu de confecció de l'EyeWriter, el sistema *Headmounted* més barat que existeix.

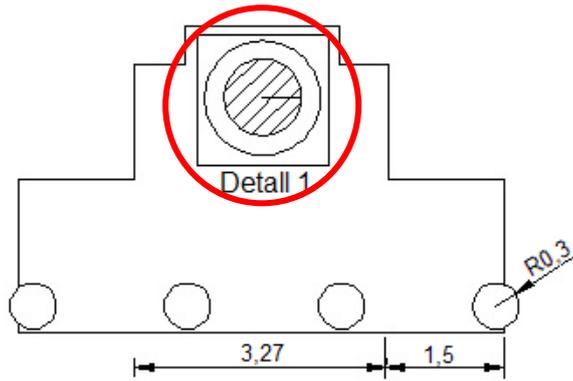
<b>Material</b>	<b>Cost</b>
PS3 Eye	10 €
Ulleres	0 €
Brides	0 €
2 Brides metàl·liques	1,30 €
Filferro	0 €
<i>Palometa d'acer inoxidable</i>	0,80 €
3 Palometa	0,65 €
4 Pals de gelat	2,65 €
Esprai negre	0 €
Fusta	0 €
Cartró ploma	0 €
Negatius de foto (filtre IR)	0 €
4 Pila CR2016	7,84 €
6 IR leds TSIL6400	6 €
Adhesiu de poliuretà	0 €
Pistola de cola calenta	0 €
Tubs de cola calenta	0 €
Comandaments de TV vells	0 €
Cablejat	0 €
Interruptor	0 €
Disquet	0.90€
Resistències	0.15 €
<b>Preu Total</b>	<b>30.29€</b>

Figura 89: Taula de pressupost final.

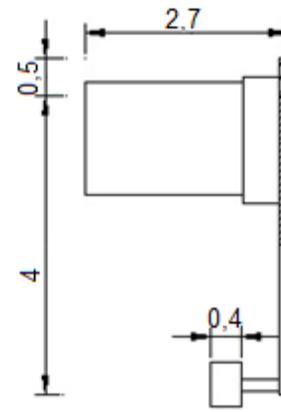
Analitzant la taula de pressupost, veiem que hi ha diversos elements amb un cost nul, evidentment, en funció de cada persona, el cost del projecte pot augmentar o disminuir. En el meu cas, veiem que hi ha elements, com per exemple el disquet, que encareixen el pressupost i que, realment, no han estat útils en el projecte. De fet, si reduíssim aquest elements innecessaris que són: 2 IR leds, 2 piles i el disquet; el projecte seria 4,86 € més barat.

## Annex B. Planells

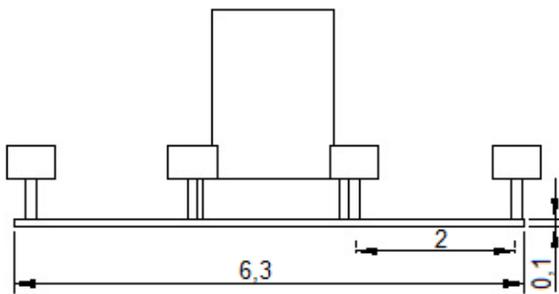
### B.1. Planells mecànics:



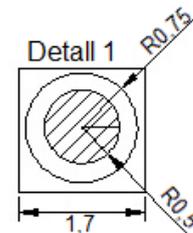
Dibuix 1: Alçat.



Dibuix 2: Perfil.

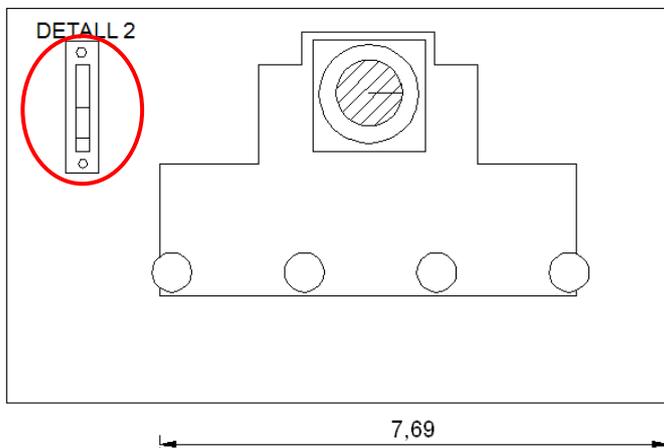


Dibuix 3: Planta.

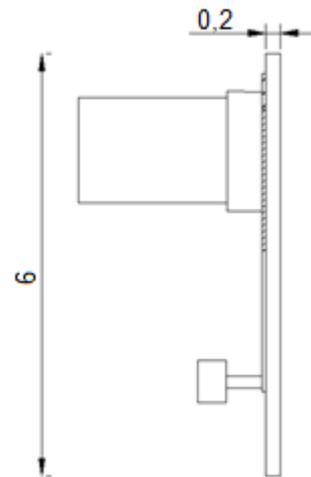


Dibuix 4: Detall 1, l'objectiu.

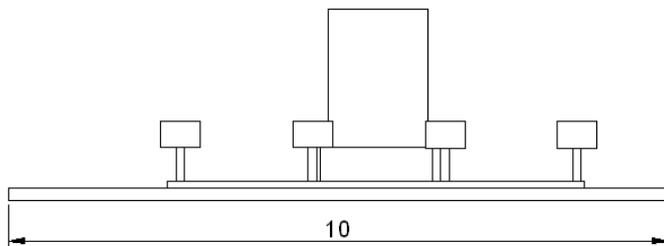
Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 1:1	Càmera	Planell 1/9



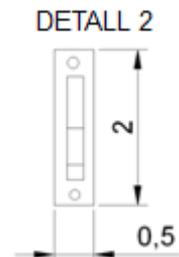
Dibuix 5: Alçat.



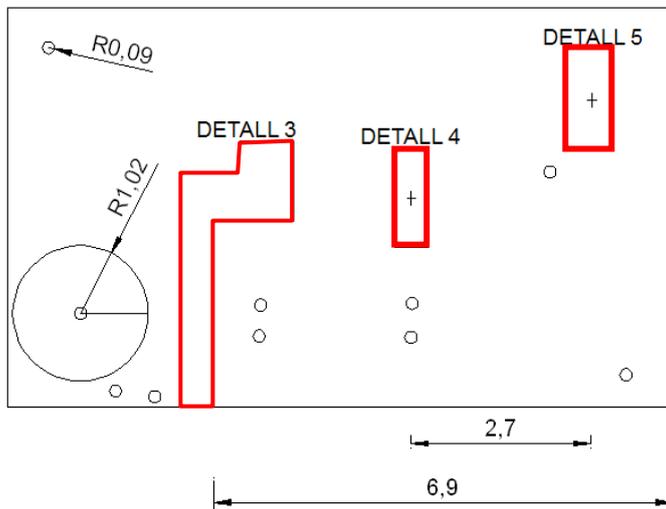
Dibuix 6: Perfil.



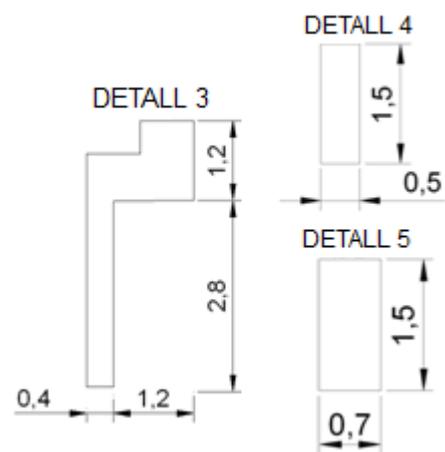
Dibuix 7: Planta.



Dibuix 8: Detall 2, l'interruptor.

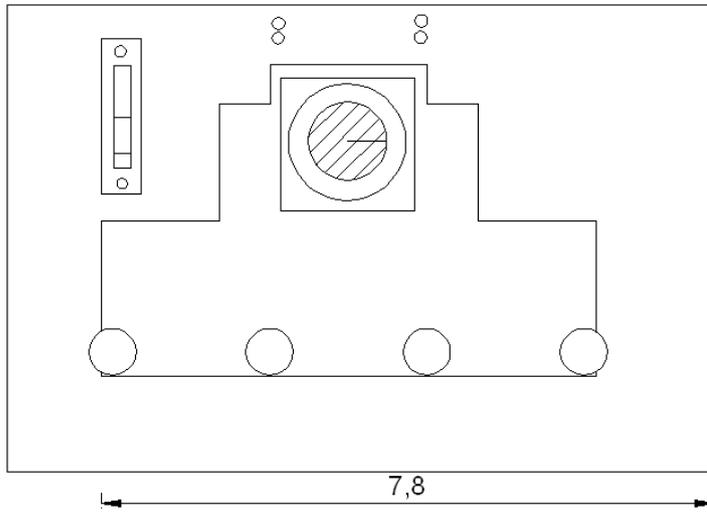


Dibuix 9: Revers del suport.

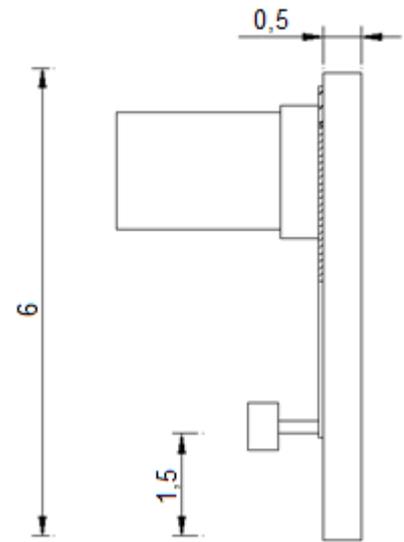


Dibuix 10: Detalls 3, 4 i 5; forats del suport per acomodar la càmera.

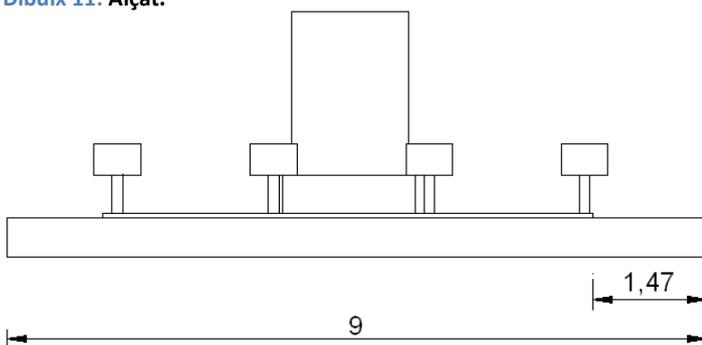
Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 1:1	Suport de fusta	Planell 2/9



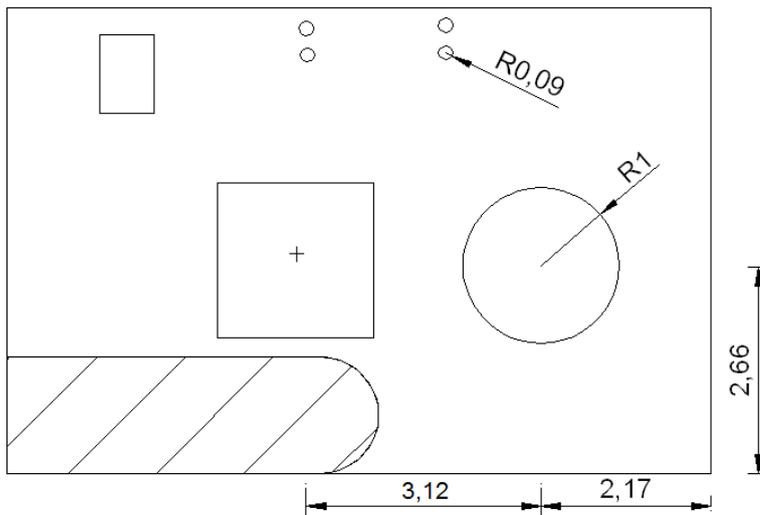
Dibuix 11: Alçat.



Dibuix 12: Perfil.

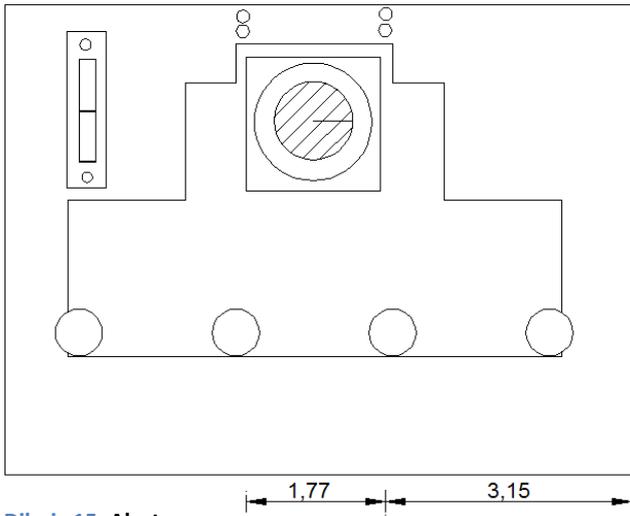


Dibuix 13: Planta.

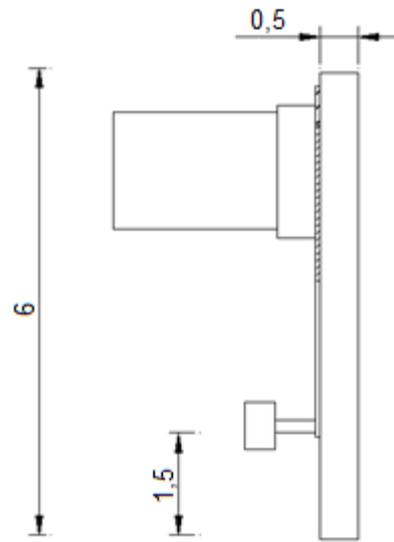


Dibuix 14: Revers del suport.

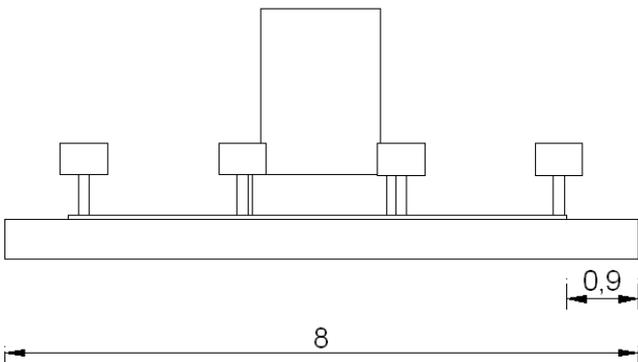
Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 1:1	Primer suport de cartró ploma	Planell 3/9



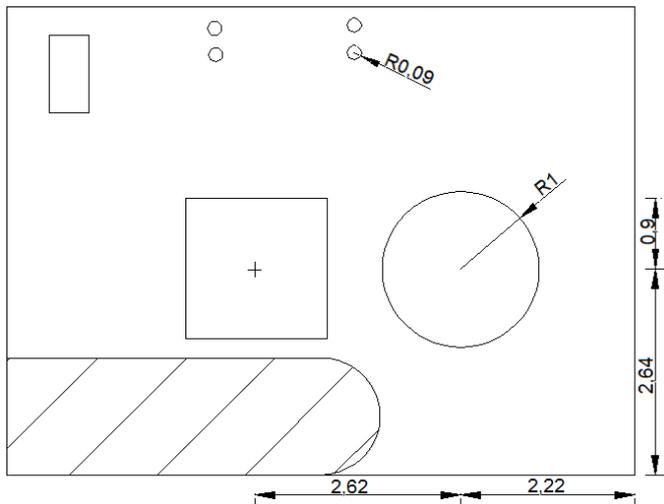
Dibuix 15: Alçat.



Dibuix 16: Perfil.

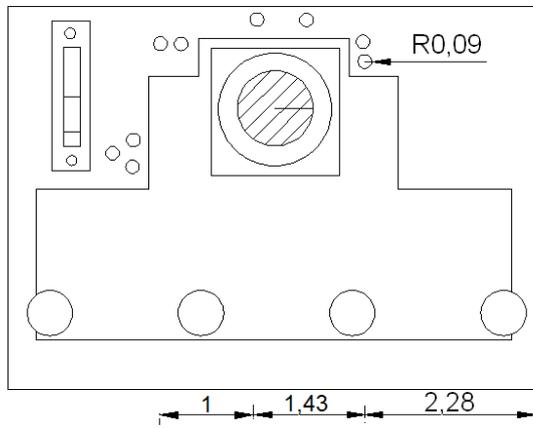


Dibuix 17: Planta.

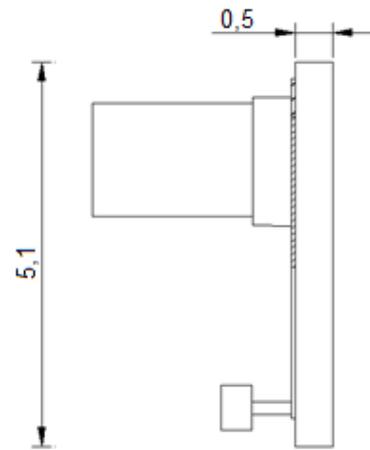


Dibuix 18: Revers del suport.

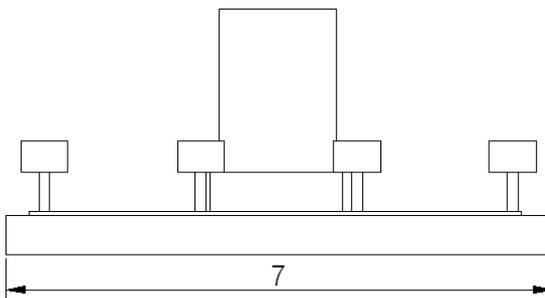
Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 1:1	Segon suport de cartró ploma	Planell 4/9



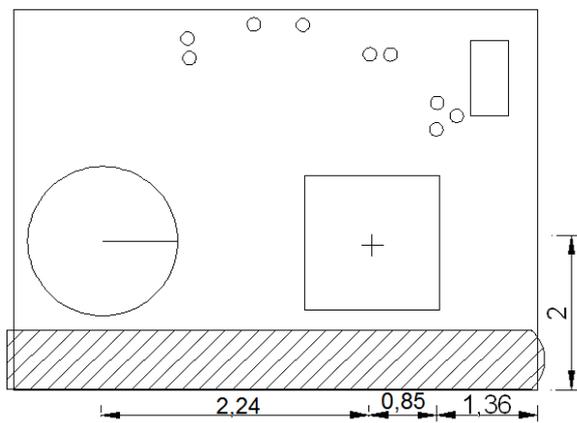
**Dibuix 19: Alçat.**



**Dibuix 20: Perfil.**

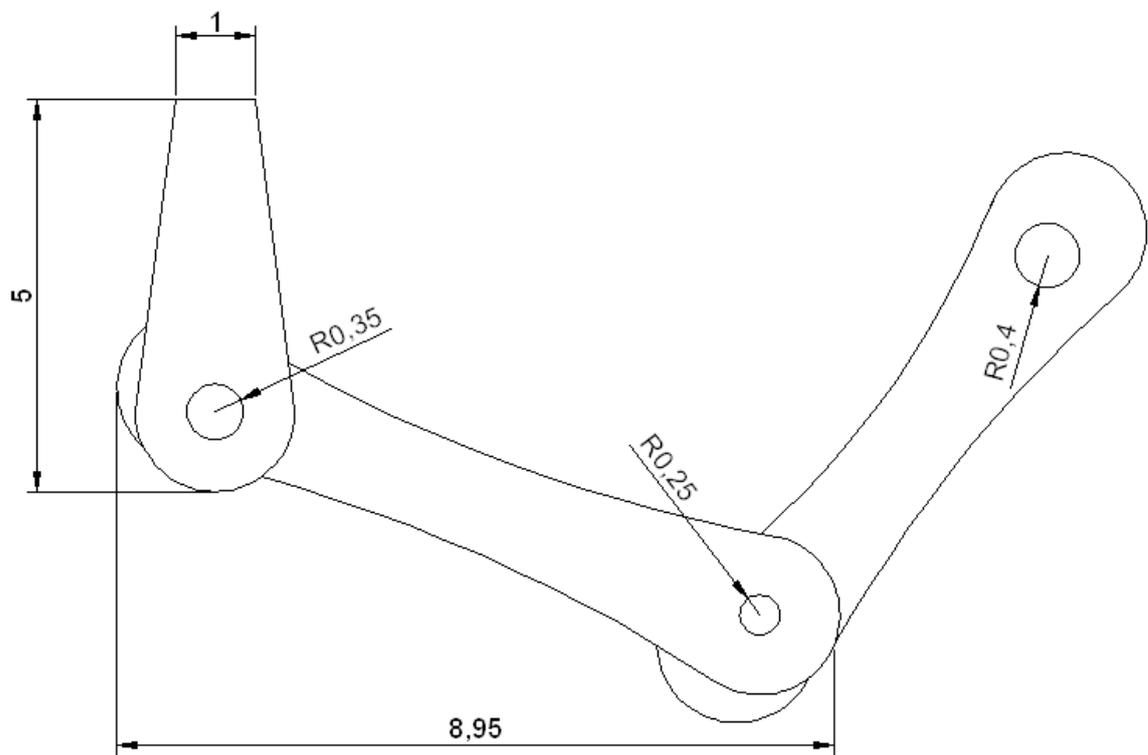


**Dibuix 21: Planta.**



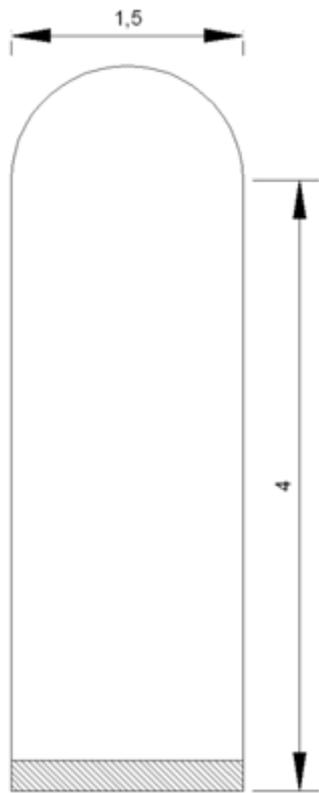
**Dibuix 22: Revers del suport.**

Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 1:1	Tercer suport de cartró ploma	Planell 5/9

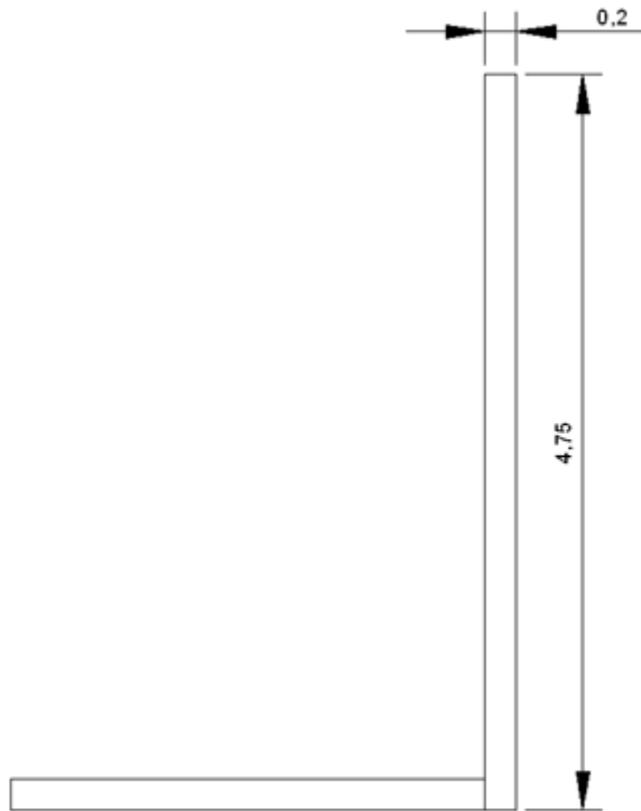


**Dibuix 23:** Braç articulat configurat sense l'extrem que el connecta al suport.

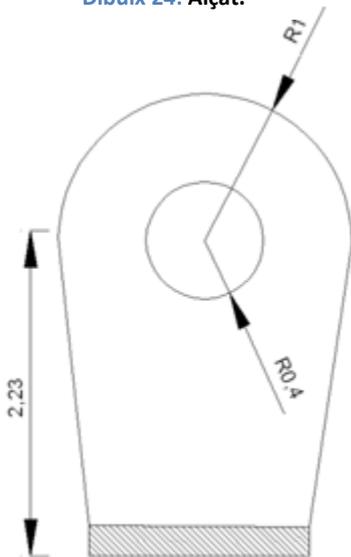
Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 1:1	Braç articulat	Planell 6/9



Dibuix 24: Alçat.



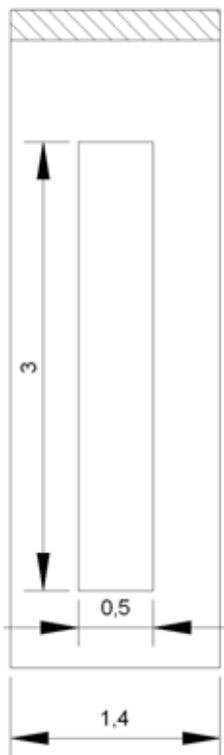
Dibuix 25: Perfil.



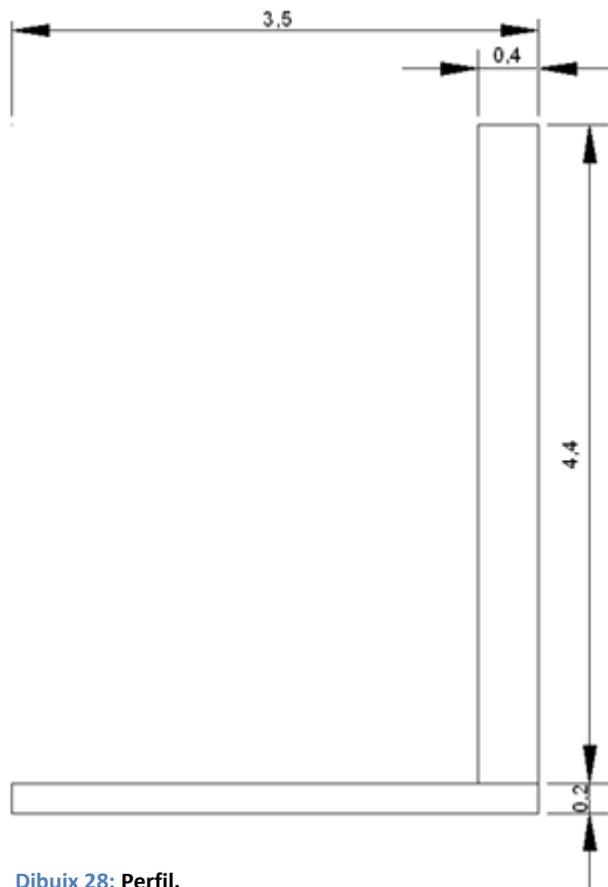
Dibuix 26: Planta.

Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 2:1	Primera peça de connexió suport -braç articular	Planell 7/9

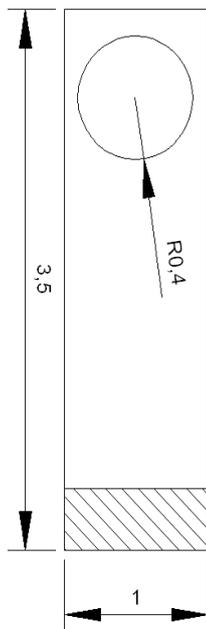
\*La segona peça de connexió suport – braç articular consta de dues peces que s'uneixen mitjançant una palometa.



Dibuix 27: Alçat.

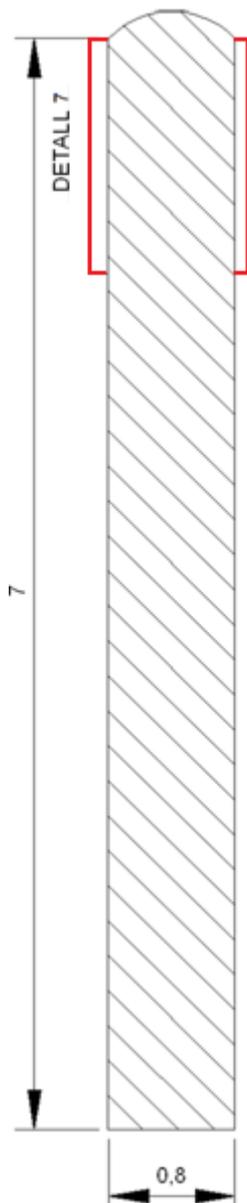


Dibuix 28: Perfil.

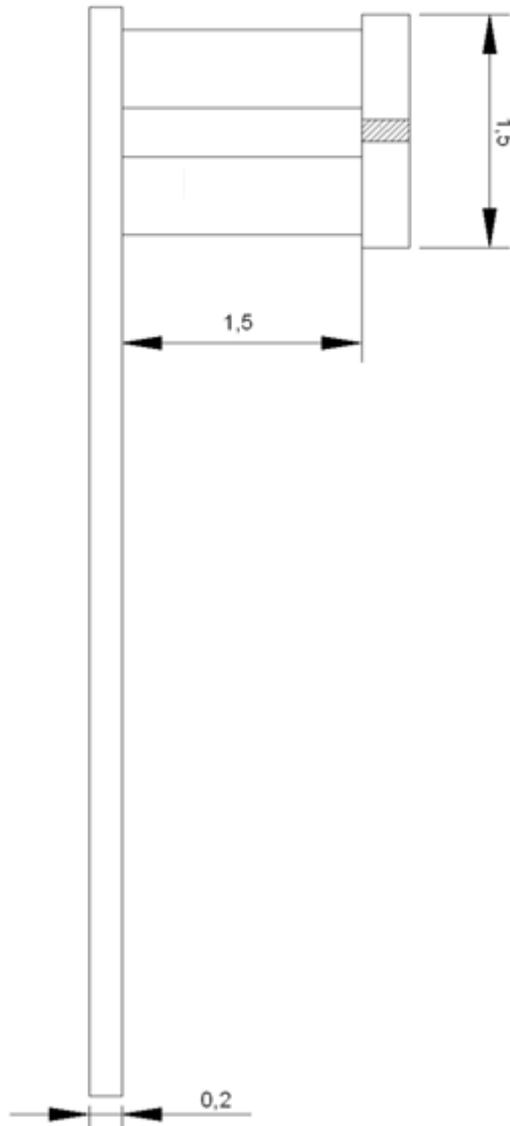


Dibuix 29: Planta.

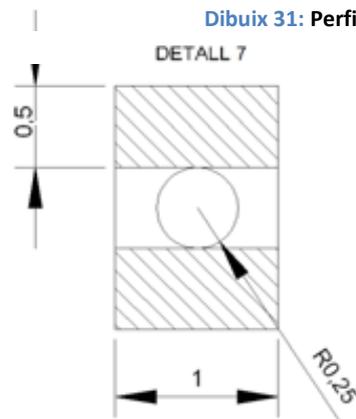
Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 2:1	Primera peça de la segona peça de connexió suport - braç articular	Planell 8/9



Dibuix 30: Alçat.



Dibuix 31: Perfil.



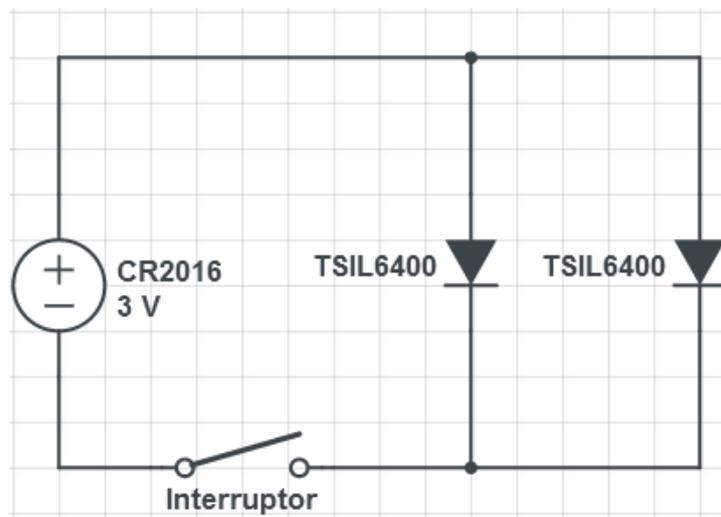
Detall 32: Detall 7.

Joan Vendrell Gallart	Projecte <i>EyeTool</i>	17/8/14
ESCALA 2:1	Segona peça de la segona peça de connexió suport - braç articulat	Planell 9/9

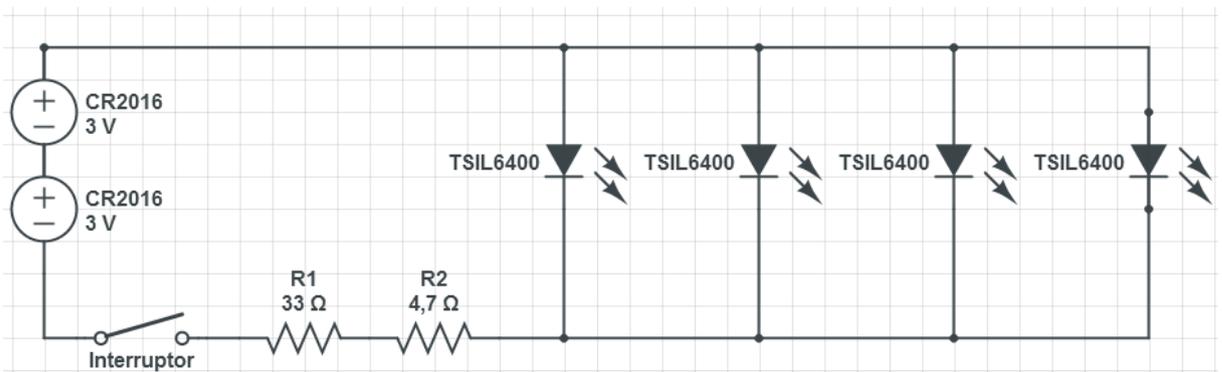
## B.2. Circuits elèctrics:



Circuit 1: Primer circuit sense interruptor.



Circuit 2: Segon circuit amb dos leds.



Circuit 3: Tercer circuit amb 4 leds i dues resistències.

## Annex C. Càlculs

### C.1. Circuit 3:

Segons el *datasheet* dels TSIL6400, en un test de condicions dels leds, a un voltatge de 5V pels leds hi circulaven 100 mA, per tant:

$$\square \text{ Segons la Llei d'Ohm: } R = \frac{V}{I}$$

$$\text{Per tant: } R = \frac{5V}{0,1A} = 50 \Omega$$

Segons el *datasheet*, els leds funcionen correctament a un voltatge que oscil·la entre 1,5 i 1,8 V i a una intensitat variable entre 20 i 30 mA.

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1,5V}{50 \Omega} = 0,03 A$$

Tenint en compte que connectem en paral·lel 4 TSIL6400 a un voltatge de 6 V, la resistència del circuit hauria de ser de :

$$\text{Resistència equivalent del leds: } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$R = \left( \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{50} \right)^{-1} = 12,5 \Omega$$

Tenint en compte que en un paral·lel  $I_t = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$  i  $V_t = V_1 = V_2 = V_n$ , la intensitat i el voltatge del circuit són de:

$$0,03 A \times 4 \text{ leds} = 0,12 A = I_t$$

$$1,5 V = V_t$$

$$\square \text{ Voltatge que arriba a la resistència: } 6 V - 1,5 V = 4,5 V$$

$$\square \text{ En sèrie, } I_t = I_1 = I_2 = I_n, \text{ per tant, } I_R = 0,12 A$$

$$\square \text{ Llei d'Ohm: } R = \frac{V}{I} = \frac{4,5V}{0,12A} = 37,5 \Omega$$

Per raons de mercat, a la botiga on vaig comprar les resistències, no n'hi havia de 37,5  $\Omega$  i vaig haver de combinar dues resistències equivalents a 37,7  $\Omega$ , a partir d'una resistència de 33  $\Omega$  i una altra de 4,7  $\Omega$ .

□ Llei d'Ohm generalitzada:  $I = \frac{\Sigma V}{\Sigma R}$

$$I = \frac{6 \text{ V}}{37,7 \Omega + 12,5 \Omega} = 0,1195 \text{ A}$$

□ Voltatge als leds:

→ Llei d'Ohm:  $V = R \times I$

$$V = 0,1195 \text{ A} \times 12,5 \Omega = 1,4940 \text{ V} \approx 1,5 \text{ V}$$

Podem veure com el petit augment en la resistència, no ha afectat al circuit.

Cal dir que per a realitzar aquests càlculs hem depreciet les imperfeccions del circuit com per exemple; el rendiment de la pila o la resistència del cable; ja que tampoc variarien molt els resultats obtinguts.

## Annex D. Resultats de l'experiment:

En aquest punt desglossaré els resultats de les proves diapositiva per diapositiva per tal d'entendre millor les conclusions extretes. He experimentat amb 30 persones, per tant, tenint en compte que només 5 de les 18 diapositives s'estudiava, en total he comptat amb 150 imatges per extreure conclusions. D'aquestes 150 diapositives, només 5 han estat mal executades pel subjecte estudiat, és a dir, l'experiment té aproximadament un 3,33 % d'error, per tant, tenint en compte la uniformitat dels resultats, puc considerar-lo vàlid. Cal dir que un 4,83 % de les diapositives no compten amb moviments oculars superiors 500 ms amb el qual el programa no pot representar-los, tot i això, degut al les respostes obtingudes d'aquestes diapositives, puc considerar-les vàlides per l'estudi. Aquest moviments tant ràpids han estat realitzats per homes que, en general, han realitzat la prova a més velocitat que les dones.

És important dir que tot i que una fixació només duri 350 ms, en el moviment de translació entre punt i punt, analitzant els resultats, es molt probable que no n'hi hagi agut cap degut al fet de tenir l'ull en moviment, amb la única idea de desplaçar-se cap a l'altre punt vermell. Tot i això, com a molt, podria ser que n'hi hagués hagut una ja que la translació punt – punt s'ha realitzat en 500 ms.

### 1. Imatge 1:

Tal i com es pot visualitzar en la figura 90, la primera imatge estava constituïda per un paisatge simple en escala de grisos i amb una translació diagonal entre punt i punt. La idea pel qual estava dissenyada era analitzar la informació captada en els moviments diagonals i en les imatges en gris.



Figura 90: Heatmap de la diapositiva 5.

8 persones no ha captat cap informació de la diapositiva. De la resta de la mostra, un 56,67 % ha visualitzat només el concepte de paisatge amb el cel i els núvols, i un 33,33 %, constituït només per dones, han destacat el fet de que la imatge era en escala de grisos. Ningú ha captat el poble del fons.

## 2. Imatge 2:

Com podem comprovar a la figura 91, la diapositiva número 8, estava constituïda pe un anunci de la marca automobilística Audi. La imatge comptava amb un cotxe negre que circulava per l'interior d'una ciutat on es podia apreciar dos edificis al fons i un espai verd, segurament, un parc, amb una escultura metàl·lica d'estil modern. La idea pel qual estava dissenyada aquesta imatge era estudiar la informació captada en els moviments horitzontals en zones baixes de la pantalla i en les imatges en color però poc contrast (excepte el verd, la resta passa bastant desapercbut).



Figura 91: Heatmap de la diapositiva 8.

En aquesta diapositiva tothom ha captat quelcom. Només una persona ha obviat el cotxe i un 66,67 % , és a dir, gairebé tothom, han captat els edificis del fons. Pel que fa la resta d'imatge, només 5 persones (tots homes) han comentat l'escultura metàl·lica tot i que, ho han confós amb una espècie d'atracció. Pel que fa el parc, només les dones han comentat la seva existència ressaltant-ne sobretot el verd, un 30 % de la mostra.

## 3. Imatge 3:

La tercera imatge de l'experiment, figura 92, estava constituïda per un altre anunci publicitari, en aquest cas, de la marca de patates de bossa Lay's. En el centre de la imatge hi havia el futbolista Leo Messi amb una samarreta vermella i una bossa Lay's a la seva mà



Figura 92: Heatmap de la diapositiva 11.

esquerra. Messi es trobava en un carrer envoltat de gent. La idea pel qual estava dissenyada aquesta imatge, era analitzar la informació captada en els moviments horitzontals centrats en la pantalla i en una imatge coneguda, amb tons càlids i contrastos.

En aquesta diapositiva, tothom ha captat la imatge d'un noi castany, el qual només un 40 % de la mostra han pogut identificar. Un 63,33 % de la gent han vist la bossa de patates i d'aquest, la majoria l'han reconegut. Només 10 persones han comentat l'ambient, les persones i la claredat de la imatge; i només un 36,67 %, la majoria dones, han accentuat el vermell de la samarreta.

#### 4. Imatge 4:

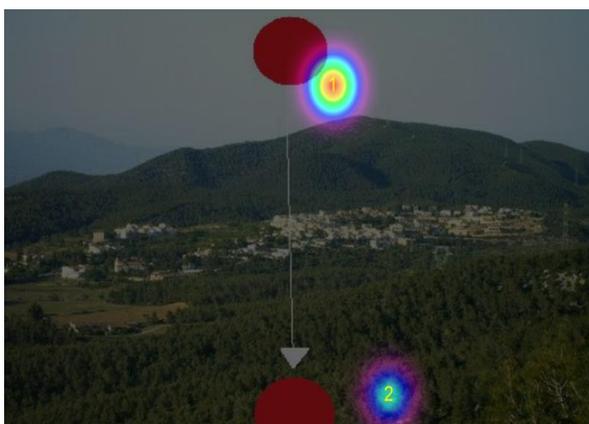


Figura 93: Heatmap de la diapositiva 14. Paisatge en escala de grisos i un en color.

La figura 93 que representa la diapositiva 14 de l'experiment, està configurada per un altre paisatge, concretament, la imatge del poble d'Ordal. La imatge és en color i requereix una translació vertical. La idea pel qual estava dissenyada la diapositiva era estudiar la informació captada en moviments verticals i analitzar el contrast entre un paisatge en escala de grisos i un en color.

Tots els enquestats han vist un paisatge constituït per una muntanya i un poble, el qual el 60 % de la mostra han conegut. Cal tenir en compte que 23 dels 30 enquestats eren ordalencs i, per tant, era una imatge tècnicament coneguda.

#### 5. Imatge 5:

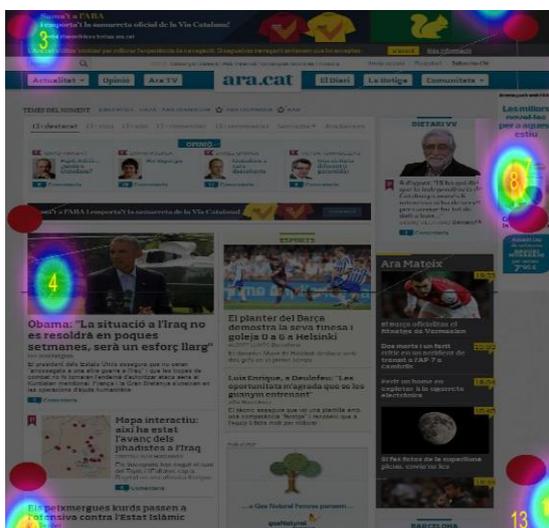


Figura 94: Heatmap de la diapositiva 17.

Tal i com podem veure en la figura 94, la cinquena i última imatge de l'experiment estava configurada per una còpia de pantalla de la web del diari Ara. En aquesta pàgina s'hi combinen lletres, anuncis i fotografies de les que destaquen la fotografia del president dels EEUU Barack Obama, la del periodista Vicenç Villatoro i el futbolista belga Thomas Vermaelen. Aquesta diapositiva requereix translacions vertical, horitzontal i diagonal. La idea per la qual va ser

dissenyada aquesta imatge era analitzar la informació captada en diversos moviments vertical, horitzontal i vertical i en una imatge que combina lletres i imatges, podríem dir que és una diapositiva que recull idees de les altres imatges.

La majoria de subjectes han reconegut l'estructura d'una pàgina web de notícies, però només 2 persones han reconegut que era el diari Ara. Un 36,67 % de la mostra ha vist quelcom més a part de l'estructura web; 4 persones han reconegut l'Obama, 2 han comentat la imatge d'un senyor amb barba sense saber el nom del subjecte i 3 han parlat d'un jugador de futbol que pot ser o bé Thomas Vermaelen o bé Pedro Rodríguez contra el Helsinki FC.