

Grau en Enginyeria Electrònica Automàtica i Industrial

CONTROL D'UN AUTOMAT MITJANÇANT L'ÚS D'UN EYE TRACKER.

Memòria

ALEIX MORAL VIÑALS
PONENT: MARCOS FAUNDEZ ZANUY

Curs acadèmic 2020/21

Agraïments.

En primer lloc, desitjo agrair al ponent del projecte Dr. Marcos Faundez per acceptar la tutela de la meva proposta de treball final de grau, per la seva dedicació i atenció durant el desenvolupament del projecte aportant idees i recursos sempre que han estat necessaris. També, especial esment al professor Josep Lòpez per guiar-me i aconsellar-me en les àrees més tècniques pertinents al projecte, estant sempre allà quan se'l necessitava i cedir-me total llibertat sobre els equips del centre.

En segon lloc, agrair a tots els companys i professor que m'han acompanyat durant aquests 6 anys amb els quals he compartit penúries i alegries, aportant el seu gra de sorra per aconseguir arribar fins aquí.

Finalment, agrair a la meva família per la seva ajuda i comprensió en moments difícils i haver-me permès cursar la simultaneïtat sense impediments, recolzant-me des de el primer moment.

Resum

En aquest projecte, s'ha realitzat una aplicació de control d'un robot col·laboratiu a partir del moviment ocular d'un usuari respecte el monitor d'un ordinador, mitjançant el dispositiu Tobii Pro X2-30. Per tal de demostrar el correcte funcionament de l'aplicació de control, aquesta s'implementarà en un petit exercici pràctic, on el control de posició del cobot serà únicament amb els ulls y permetrà obtenir diferents dades amb l'objectiu d'analitzar-la, millora-la i expandir la seva funcionalitat. Obrint noves línies de investigació dins del centre en múltiples programes i aplicacions des del punt de vista clínic i assistència personal fins industrial.

Resumen

En este proyecto, se ha realizado una aplicación de control de un robot colaborativo a partir del movimiento ocular de un usuario respecto el monitor de un ordenador, mediante el dispositivo Tobii Pro X2-30. Para demostrar el correcto funcionamiento de la aplicación de control, ésta se implementará en un pequeño ejercicio práctico, donde el control de posición del cobot será únicamente con los ojos y permitirá obtener diferentes datos con el objetivo de analizarla, mejorarla y expandir su funcionalidad. Abriendo nuevas líneas de investigación dentro del centro en múltiples programas y aplicaciones desde el punto de vista clínico y asistencia personal hasta industrial.

Abstract

In this project, a collaborative robot control application has been made from the eye movement of a user concerning a computer monitor, using the Tobii Pro X2-30 device. To demonstrate the correct operation of the control application, it will be implemented in a small practical exercise, where the control of the position of the cobot will be solely with the eyes and will allow obtaining different data to analyze it and improve it and expand its functionality. Opening new lines of research within the center in multiple programs and applications from the clinical point of view and personal assistance to industrial.

Índex

Índex de figures	V
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes	IX
Normatives	XI
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit	1
1.2. Finalitat	1
1.3. Objecte	1
1.4. Abast	2
1.5. Context en las línies de investigació del TecnoCampus.....	2
2. Introducció.....	3
2.1. Objecte	3
2.2. Necessitades de informació	4
2.3. Revisió d'antecedents	4
2.4. Abast	6
2.5. Perspectiva de gènere.....	6
3. Objectius de detall i especificacions tècniques	7
4. Marc conceptual	9

4.1. Seguiment ocular	9
4.1.1. Anatomia de l'ull humà	9
4.1.2. Què és la tecnologia de l'eye tracking?	10
4.1.3. Historia de la tecnologia	11
4.1.4. Tipologia	13
4.1.5. Metodologia dels <i>eye-trackers VOG</i>	15
4.1.6. Representació de la informació.....	16
4.1.7. Aplicacions	19
4.2. Robòtica col·laborativa.....	20
4.2.1. Què és la robòtica col·laborativa?.....	20
4.2.2. Mètodes de interacció amb els humans	21
4.2.3. Aplicacions	22
4.2.4. Models.....	25
4.2.5. Robots tradicionals contra col·laboratius.....	27
4.2.6. Impacte dins la Indústria 4.0	28
5. Anàlisi i selecció d'alternatives de solució	31
5.1. Cobots.....	31
5.2. Software.....	35
5.3. Eye Tracker: Tobii Pro	38
5.4. Selecció de les solucions alternatives.	44
6. Desenvolupament de l'aplicació	47

6.1. Calibratge Tobii	48
6.2. Setup	51
6.3. Arquitectura del software.....	52
6.3.1. Socket-host Python.....	53
6.3.2. TMFLow	58
6.4. Experiment final	60
7. Anàlisi de resultats	63
8. Planificació.....	67
8.1. Planificació del avantprojecte	67
8.2. Descripció de les activitats del avantprojecte.	69
8.3. Diagrama de GANTT avantprojecte.....	71
8.4. Planificació del projecte de detall.....	75
8.5. Descripció de les activitats del projecte de detall	76
8.6. Diagrama de GANTT projecte de detall.....	78
9. Impacte mediambiental	81
10. Conclusions	85
10.1. Inconvenients durant el desenvolupament del projecte	86
10.2. Propostes de millora del projecte.....	87
10.3. Propostes de futures implementacions.....	89
11. Bibliografia.....	91

Índex de figures

Figura 4.1.- Parts de l'ull humà.....	10
Figura 4.2.- Estudi de l'Alfred L. Yardus (1967) evidència de com la tasca a realitzar per un usuari influeix en el moviment ocular.	12
Figura 4.3.- Tobii Pro X2-30.	14
Figura 4.4.- Captura del moviment ocular per un sistema VOG basat en IR.	15
Figura 4.5.- HeatMap del estudi de la freqüència d'observació d' un conductor en marxa. 17	
Figura 4.6.- Graze Plot comparatiu a 5 segons de visualització. A) Graze Plot d'una dona; B) Graze Plot d'un home.	18
Figura 4.7.- YuMi – IRB 14000	25
Figura 4.8.- KUKA – IBR iiwa	25
Figura 4.9.- FANUC – CR-15iA	26
Figura 4.10.- UR3e	26
Figura 5.1.- Dimensions TM5 – 700.	31
Figura 5.2.- Rand de treball del cobot TM5-700.....	32
Figura 5.3.- relació entre carga útil i el desplaçament del centre de gravetat.	33
Figura 5.4.- Especificacions tècniques TM5.	34
Figura 5.5.- Exemple d'interfase del software TMFlow.....	35
Figura 5.6.- Exemple de codi en i logotip Python.....	37
Figura 5.7.- Logotip Matlab.	38
Figura 5.8.- Model Tobii Pro X2-30.....	39

Figura 5.9.- Precisió de la captura de senyal en funció de la distància de l'usuari.....	40
Figura 5.10.- Model Tobii Pro Glasses 3.	41
Figura 6.1.- Diagrama d'arquitectura tècnica del sistema.....	47
Figura 6.2.- Resultat del calibratge del Tobii Pro X2-30 amb el Pro Lab.	48
Figura 6.3.- Espai de treball del eye tracking (Calibration board).....	49
Figura 6.4.- Relació angle-distància d'ús del Tobii Pro X2-30.	49
Figura 6.5.- Principi de funcionament del seguiment ocular.	50
Figura 6.6.- Setup de l'aplicació.	51
Figura 6.7.- Diagrama de flux de la component de captura i tractament de dades de l'aplicació.....	53
Figura 6.8.- Diagrama de flux de la funció <i>ant_nan</i>	56
Figura 6.9.- Diagrama de flux de la component del cobot de l'aplicació.	58
Figura 6.10.- Exemple d'implementació de l'exercici.....	60
Figura 6.11.- Exemple de resultat d'un exercici/prova.	61
Figura 7.1.- Figures geomètriques de referència.....	63
Figura 8.1.- Diagrama de GANTT del avantprojecte.....	73
Figura 8.2.- Diagrama de GANTT del projecte de detall.....	79

Índex de taules

Taula 4.1.- Micro-moviments oculars més típics.	18
Taula 4.2.- Taula comparativa de les característiques bàsiques dels robots.....	27
Taula 4.3.- Taula comparativa dels costos dels robots.	27
Taula 4.4.- Taula comparativa d'altres conceptes pertinents dels robots.....	28
Taula 5.1.- Especificacions tècniques Tobii X2-30 Eye Tracker.	40
Taula 5.2.- Característiques físiques Tobii X2-30 Eye Tracker.	41
Taula 5.3.- Especificacions tècniques eye tracking Tobii Pro Glasses 3	43
Taula 5.4.- Especificacions tècniques unitat principal Tobii Pro Glasses 3.....	44
Taula 5.5.- Valoració de la solució alternativa al eye tracker.	45
Taula 5.6.- Valoració de la solució alternativa al software.	46
Taula 6.1.- Relació Aspect ratio – Mida de visualització.....	50
Taula 6.2.- Compatibilitat amb versions dels respectius SO.....	52
Taula 6.3.- Compatibilitat amb llenguatges de programació.....	52
Taula 6.4.- Taula de llibreries utilitzades.	54
Taula 7.1.- Resultat experiment 1 – Triangle	63
Taula 7.2.- Resultat experiment 2 – Rectangle.....	64
Taula 7.3.- Resultats experiment 3 – Pentàgon.	64
Taula 7.4.- Resultats experiment 4 – Estrella (sobre pentàgon).....	65
Taula 7.5.- Resultats experiment 5 – Pentàgon-Estrella.....	65

Taula 8.1.- Duració en hores dels diferents lliuraments de cada memòria.	67
Taula 8.2.- Duració de les activitats del avantprojecte.	69
Taula 8.3.- Activitats a realitzar al curs del projecte de detall.	76
Taula 9.1.- Accions impactants del projecte.	82
Taula 9.2.- Factors ambientals impactants del projecte.	83

Glossari de termes

AGAUR	Agencia de Gestió de Ajudes Universitàries i Recerca
CNC	Computer Numerical Control
EOG	Electrooculography
E/S	Entrada/Sortida
HMI	Human-Machine Interface
IP	Internet Protocol
IR	Infrared
LOS	Line of Sight
OS	Operating System
PIL	Python Imaging Library.
POO	Programació Orientada a Objectes
POR	Point of Regard
RIA	Robotics Industries Association
SDK	Software Development Kit
VOG	Vídeo-Oculografia

Normatives

Directives

2006/42/CE - Directiva relativa a les màquines amb la finalitat de garantir la seguretat jurídica dels usuaris.

Normatives UNE-EN ISO

UNE-EN ISO/DIS 21260:2018-11 - Seguretat de la maquinària: dades de seguretat mecànica per contactes físics entre maquinària en moviment o parts mòbils de maquinàries y persones.

UNE-EN ISO/IEC 17025:2017 - Requisits generals per la competència dels laboratoris de assajos i calibratge.

UNE-EN ISO 10218-1:2011 - Robots i dispositius robòtics. Requisits de seguretat per robots industrials. Part 1: Robots.

UNE-EN ISO 10218-2:2011 - Robots i dispositius robòtics. Requisits de seguretat per robots industrials. Part 2: Sistema robot i integració.

UNE-EN ISO 9241-9 - Requisits ergonòmics per treballa d'oficines amb pantalles de visualització de dades (PDV). Part 9: Requeriments per a dispositius d'entrada diferents al teclat.

UNE-EN ISO 13482:2014 - Robots i dispositius robòtics. Requeriments de seguretat per a robots no industrials. Robots d'assistència personal no mèdics.

UNE-EN 61508-1:2003 - Seguretat funcional dels sistemes elèctrics/electrònics/electrònics programables relacionats amb la seguretat. Part 1: Requisits generals.

Normatives ISO/TS/TR

ISO/TS 15066:2016 - Especificació dels requisits de seguretat pels sistemes de robots industrials col·laboratius y el entorn de treball.

ISO/TR 9241-810:2020 - Ergonomics of human-system interaction. Part 810: Robotic, intelligent and autonomous Systems.

ISO/TS 150066:2016 - Robots and robòtic devices – Collaborative robots.

ISO/TR 20218-1:2018 - Robotics – Safety design for industrial robots Systems. Part 1: End-effectors.

ISO/TR 23482-1:2020 - Robotics – Application of ISO 13482. Part 1: Safety-related test methods.

1. Objectius

1.1. Propòsit

El propòsit d'aquest projecte és realitzar un estudi sobre l'aplicació del tractament de dades d'un *eye tracker* dins de la branca de la robòtica col·laborativa i les seves principals àrees d'aplicació. Presentant una aplicació de control d'un braç robòtic a partir del moviment ocular d'un usuari.

1.2. Finalitat

La finalitat d'aquesta solució és iniciar una nova línia d'investigació dins del *Grup de Recerca en Tractament de Senyal i Dades* i en l'àrea de la robòtica col·laborativa, de l'*Escola Superior Politècnica, TecnoCampus Mataró*. Aprofundint i optimitzant els sistemes de control del robot es vol contribuir en la millora de la interacció *humà – màquina*, augmentant així el ventall de possibles aplicacions.

1.3. Objecte

L'objecte del projecte en qüestió es pot definir en dos.

En primer lloc, realitzar un estudi del tractament de dades obtingudes d'un dispositiu que enregistri el moviment ocular dels ulls (*eye tracker*). En segon lloc, analitzar les múltiples aplicacions del estudi anterior en la robòtica col·laborativa i els corresponents mètodes de control. Això implica estudiar les diferents línies d'investigació i les marques més significatives del sector.

En funció d'aquest estudi, s'elaborarà un solució pràctica adaptada a les necessitats dels sectors plantejades sobre un escenari relativament senzill. Per tal de desenvolupar l'aplicació de control s'utilitzarà un software col·laboratiu de codi obert.

1.4. Abast

Pel que fa a l'abast de la recerca del projecte, aquest inclou un anàlisi detallat sobre l'àrea de la robòtica col·laborativa, per així definir l'estat actual de l'art, les necessitats que es poden arribar a cobrir i avaluar el seu potencial. També inclou un estudi de la viabilitat tècnica del eye tracker del centre, i d'aquesta manera contextualitzar les capacitats d'aquesta tecnologia i definir la viabilitat del projecte.

Pel que fa a l'abast de la solució al problema, aquesta inclourà la definició detallada de tots els punts rellevants, a més del desenvolupament d'una aplicació de control del robot, codificada sobre un software de codi obert, que permeti resoldre el problema de la forma més òptima i segura, en temps real.

Finalment, s'inclou, en primer lloc, un anàlisi de l'evolució de la planificació inicial del projecte, en segon lloc, un informe mediambiental i, en últim lloc, un anàlisi de la viabilitat econòmica.

1.5. Context en las línies de investigació del TecnoCampus

La línia de investigació dins del context del TecnoCampus es troba sota el grup de recerca consolidat per l'*Agència de Gestió de Ajudes Universitàries i Investigació (AGAUR): Grup de Recerca en Tractament de Senyal i Dades*. Contribuint en la recerca del tractament de dades obtingudes del eye tracker.

Paral·lelament aquest projecte s'emmarca dins l'àrea de recerca de la robòtica col·laborativa del centre, oferint una nova solució pel control dels autòmats del centre.

2. Introducció

2.1. Objecte

L'objecte del projecte consisteix en el desenvolupament d'una aplicació, sobre la plataforma software de codi obert, que permeti el control del braç robòtic col·laboratiu, mitjançant el moviment ocular d'un usuari enregistrat per un eye tracker. Per dur a terme aquesta aplicació ha estat necessari realitzar diferents estudis previs i establir les capacitats tècniques de la solució.

En primer lloc, estudiar l'estat de l'art per definir la situació actual del sector i recollir tota aquella informació potencialment útil per la realització de l'aplicació. Tota aquesta informació es troba en el capítol 3 d'aquest projecte. On, també, es defineix les capacitats tècniques dels components hardware i de la plataforma software utilitzats en el desenvolupament de l'aplicació.

En segon lloc, definir de forma teòrica i pràctica l'exercici o problema a resoldre per l'aplicació en qüestió. Presentant una solució viable tant tècnicament com econòmicament, per qualsevol usuari amb la capacitat d'utilitzar l'eye tracker. On s'estableix un espai segur per treballar i realitzar la solució al problema en qüestió.

Finalment, el desenvolupament pràctic de l'aplicació i posada en marxa d'aquesta sobre el hardware pertinent al projecte. Concloent amb un anàlisi crític de la solució analitzant els pros i contres i definint accions per millorar-la.

La importància d'aquest projecte ressalta sobre la necessitat de poder contribuir en la interacció *màquina – humà* aportant un avanç en el sector de la robòtica col·laborativa i el tractament de dades. Són moltes les potencials aplicacions d'aquesta línia d'estudi, però, entre elles, es ressalta l'aplicació industrial i l'aplicació sanitària. Les quals les dos comparteixen l'objectiu d'ajudar als diferents usuaris a realitzar tasques que per si sols no son impossibles. Ja sigui per la discapacitat motriu d'un pacient o per el perill significatiu que implica la realització de la tasca per un operari.

2.2. Necessitat d'informació

Per el desenvolupament d'aquest projecte ha estat necessari dur a terme un estudi acurat sobre l'estat de l'art pertinent al projecte. En concret, el sector d'investigació i aplicacions dels eye trackers actuals; la metodologia del tractament de dades adquirides per l'eye tracker; el desenvolupament e impacte de la robòtica col·laborativa en els sectors més influents (sanitat, industria manufacturera); finalment, els múltiples llenguatge de programació i plataformes compatibles amb el desenvolupament de l'aplicació.

A més a més, s'ha fet un estudi d'antecedents basats en projecte, estudi i treballs d'anys anteriors altament relacionats amb l'objecte del present projecte.

2.3. Revisió d'antecedents

Tot i que hi han moltes empreses tant en el sector de la robòtica col·laborativa com en el sector del eye tracking, en aquest anàlisi d'antecedents s'ha fet especialment èmfasis a les empreses pertinents als equips de la universitat doncs serviran com a referents i ajudaran a contextualitzar l'àrea de treball del projecte.

Tobii

El grup Tobii, fundat l'any 2001, és líder en el sector de la comunicació basada en l'eye tracking. Aquesta ha expandit constantment des de els seus inicis les seves ofertes de productes i serveis establint una forta presencia a reu del mon. [1]

Actualment, disposa de tres unitats de negoci independents, *Tobii Dynavox*, *Tobii Pro* i *Tobii Tech*, les quals son líders en el seu respectiu sector.

- *Tobii Dynavox*: Ofereix unes solucions d'assistència que donen la oportunitat a persones amb mobilitat reduïda d'alt nivell a comunicar-se i augmentar la seva autonomia. Els productes es basen en la comunicació basada en el tacte i el seguiment ocular, dispositius d'aplicacions de comunicació fins a graduació mèdica. És una unitat finançada en moltes ocasions per entitats públiques o privades. [1]
- *Tobii Pro*: S'encarrega de desenvolupar aplicacions de seguiment ocular per estudiar el comportament humà enfront a múltiples escenaris. La unitat més gran

de la empresa, és utilitzada per empreses i investigadors de tot el món, amb una base de clients que inclou més de 3500 empreses i 2500 institucions acadèmiques, incloent múltiples corporacions de renom, empreses líders en investigació de mercats i totes les 50 universitats més respectables del món. [1]

- *Tobii Tech*: Es basa en el desenvolupament de tecnologia i dispositius destinats a integrar els sensors oculars i d'usuari a altres productes. Aquesta unitat és relativament nova i encara es troba en fase de desenvolupament i inici de comercialització. [1]

OMRON

OMRON, empresa japonesa, té inici al 1933 com a *Tateisi Electric Manufacturing Co.*, quan el senyor Kazuma Tateisi, va convertir una petita fàbrica de relés en *OMRON*, líder en tecnologia. [2]

Des de llavors, l'empresa ha ajudat a la indústria donant suport amb tecnologia d'alt nivell i solucions innovadores. Amb un mercat a nivell global, actualment és una de les empreses líder en sectors com ara:

- *Healthcare*: líder en equips mèdics destinats a teràpies i monitorització de constants vitals, posseeix una gran varietat de productes d'alta gamma amb l'objectiu d'oferir un servei de qualitat. [3]
- *Industrial Automation*: Aquesta unitat s'encarrega de proporcionar productes i serveis relacionats amb l'automatització. Oferint una gamma de productes i solucions personalitzades a les necessitats del client en qualsevol sector industrial. Incloent sensors, seguretat, automatització, digitalització de la infraestructura, etc. [3]
- *Inspection System*: cobreix la creixent demanda de reducció de costos al temps que es manté la màxima qualitat i velocitat del sistema de producció, establint sistemes d'automatització integrats i personalitzats. [3]
- *Componentes electrònics*: destinat a dissenyar i confeccionar components electrònics, utilitza un disseny de productes d'última generació i disposa d'una àmplia cartera de productes destinats a múltiples disciplines i aplicacions. D'aquesta manera es proporciona un servei multidisciplinari a múltiples sectors industrials. [3]

2.4. Abast

En el present projecte es desenvolupa una aplicació per controlar el braç robòtic col·laboratiu del Tecnocampus mitjançant el moviment ocular d'un usuari. Això inclou, acord amb l'objecte del projecte definit anteriorment, els següents punts:

- Estudi dels antecedents i de l'estat de l'art pertinent.
- Establiment d'una zona de treball segura per el correcte calibratge dels dispositius.
- Definició del exercici o problema a resoldre i del seu espai de treball requerit.
- Solució presentada al problema:
 - o Definició genèrica de la solució.
 - o Configuració i establiment del set-up pertinent a cada dispositiu en funció del exercici.
 - o *Codi Obert* de l'aplicació presentada per la resolució del problema plantejat.
- Anàlisi crític de la solució i conclusions.
- Impacte mediambiental del projecte.
- Informe econòmic del projecte.

2.5. Perspectiva de gènere

Aquest projecte, tot i dissenyar un servei de control del robot col·laboratiu del Tecnocampus en forma d'aplicació, es limita a dissenyar una sistema de control bàsic a partir de la posició dels ulls d'un usuari sobre el monitor d'un ordinador, independentment del gènere d'aquest. És a dir, el gènere de l'usuari no influeix de forma pertinent sobre el desenvolupament de l'aplicació ni la seva implementació, ja que no es tracta d'un estudi de comportament humà o de patrons ni tendències de visualització.

De fet, l'única característica discriminatòria és de caire biològica, independent al gènere, i consisteix en si es té la capacitat per utilitzar el dispositiu de captura ocular.

El resultat, per tant, serà una prototip o demo d'aplicació de control de posició exemplificada amb un exercici pràctic. No obstant, s'han tingut en compte usuaris d'ambdós generes per tal de posar en pràctica l'aplicació, tot i que no representi cap anomalia ni afecti al resultats obtinguts.

3. Objectius de detall i especificacions tècniques

En aquest punt del projecte s'han identificat els objectius de detall rellevants i s'han establert les seves especificacions tècniques.

Tot seguit es numeren els objectius y especificacions tècniques:

Objectiu 1: Identificar un entorn de treball combinant *hardware* i *software* per el desenvolupament d'una aplicació de control d'un autòmat programable.

- Realitzar un estudi dels dispositius disponibles per la creació de l'aplicació desitjada.
- Elaboració d'un mòdul amb *hardware* i *software* adaptat en els sector y àrees de recerca més significatius.

Objectiu 2: Control d'un autòmat programable mitjançant el moviment ocular d'un usuari.

- Identificar una plataforma de codi obert per el control del autòmat.
- Elaboració d'una aplicació de control basada en *software* de codi obert.
- Lliure comunicació entre dispositius (*hardware*).

Objectiu 3: Aplicar l'aplicació sobre la plataforma per resoldre un problema senzill de característiques físiques.

- Disseny del exercici senzill, característiques físiques a resoldre.
- Muntatge de la plataforma o conjunt de *hardware* per la resolució del problema.
- Adaptació del *software* segons l'exercici a resoldre (si s'escau).

Objectiu 4: Valoració de la plataforma i l'aplicació dissenyades per obtenir unes conclusions solides i possibles accions de millora del sistema.

- Anàlisis i tractament de senyal i dades enregistrats durant la resolució del problema.
- Oferir una aplicació funcional en un escenari estandarditzats.

4. Marc conceptual

4.1. Seguiment ocular

4.1.1. Anatomia de l'ull humà

L'ull humà és un dels òrgans més complexos del cos humà, el qual té la capacitat de percebre cert rang de les longituds d'ona de l'espectre electromagnètic, anomenat espectre visible. Aquesta capacitat permet a l'ésser humà visualitzar el que hi ha al seu entorn, distingint les diferents parts de l'espectre visible.

Considerat la base del sentit de la vista del sistema sensorial, l'ull té com a funció transformar l'energia lumínica del nostre entorn en senyals elèctrics. Finalment, aquests senyals són enviats al cervell mitjançant el nervi òptic, els quals són processats per formar una imatge dins d'aquest. [4]

La forma geomètrica de l'ull és pràcticament esfèrica i es troba protegit per una membrana, la qual es torna translúcida per formar la còrnia, anomenada escleròtica. A continuació, de la còrnia es troba l'humor aquós, un medi líquid en el qual es troben l'iris i la pupil·la. [4] L'iris, apart d'atorgar-li color a l'ull, determina, automàticament, el diàmetre de la pupil·la, permetent regular la quantitat de llum a captar. Aquest diàmetre varia entre uns 2 i 8 mil·límetres. [4] Darrera de la pupil·la, es troba el cristal·lí, el qual, a través de la distensió i contracció del múscle ciliar aconsegueix regular la seva potència. El cristal·lí, doncs, és bàsicament una lent biològica de potència regulable. Tot seguit del cristal·lí, es troba un altre medi aquós conegut com humor vitri. [4]

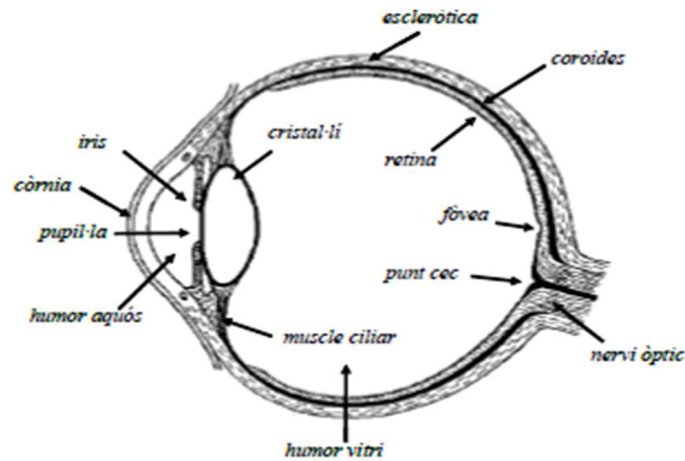


Figura 4.1.- Parts de l'ull humà.

Font: [4]

El cristallí i la còrnia s'encarreguen de generar la imatge sobre la retina, aquesta és un teixit estructurat per petites formacions anomenades, cons (sensibles als canvis de temperatura) i bastons (fotosensibles a llum feble). S'anomena fòvea a la petita regió de 0,3 mil·límetres de diàmetre on hi ha la més alta resolució de l'ull, formada únicament per cons. Progressivament que s'acosta la retina a la fòvea el nombre de cons augmenta i el de bastons disminueix. [4]

Finalment, entre la retina i l'escleròtica es troba la coroides, una membra amb la funció de mantenir una temperatura constant a la càmera ocular i nodrir el globus ocular. [4]

El senyal nerviós arriba al cervell des de l'ull a través del nervi òptic. S'anomena punt cec a la zona de la retina d'on surt el nervi òptic, el qual no consta de cèl·lules receptores. Per tant, quan la imatge és projectada sobre aquesta zona de la retina aquesta no es veu. [4]

4.1.2. Què és la tecnologia de l'eye tracking?

L'*eye tracker* és un sensor elèctric el qual enregistra un senyals biològic tal com el moviment ocular del usuari. [5] D'aquesta manera, s'obté molta informació rellevant sobre el comportament humà i ajuda en la interacció natural del usuari en un alt ventall de dispositius i aplicacions. Actualment, la variant més globalitzada realitza la captura del seguiment ocular mitjançant imatges en vídeo a alta velocitat (60 imatges per segon) [5] a partir de les quals s'obté la posició dels glòbuls oculars, la dilatació de la pupil·la

(pupil·lòmetre) i el parpelleig del usuari a temps real, entre altres. Creant així un mapatge del recorregut visual del usuari, el qual indica les ubicacions o freqüència on la vista s'ha aturat durant més temps. [5]

En funció de la tècnica d'estimació de la mirada utilitzada, hi ha 2 tipus de sortida dels *eye trackers*: el *point of regard* (POR) en un pla 2D [5] (pantalla d'ordinador o paper) o *line of sight* (LOS) en espai 3D [5]. Bàsicament, actualment les tècniques es divideixen en tres categories, en funció de la tipologia del funcionament del dispositiu.

Cal aclarir que hi ha projectes o dispositius que no proporcionen informació sobre la mirada del usuari, sinó simplement de l'ull. L'objectiu es obtenir mesures de la posició del glòbul ocular en funció d'un sistema de coordenades arbitrari. Estrictament parlant, aquest tipus de dispositius s'haurien d'anomenar *gaze-trackers*. Tot i així, hi ha dispositius que compleixen les dues funcions anomenats *eye-gaze-tracker*. Malauradament, s'ha generalitzat l'expressió *eye-tracker* per a qualsevol dels tres dispositius, encara que terminològicament parlant no seria correcte. [5]

4.1.3. Historia de la tecnologia

La idea del estudi del moviment dels ulls i el seguiment dels globus oculars no es pròpia del segle XXI, fou pròpia del segle XIX, quant es va iniciar la investigació dins aquesta àrea, principalment analitzant el moviment dels ulls a l'hora de llegir un llibre o document. No obstant, no vas ser fins el segle XX, amb l'aparició de la càmera de vídeo, que van sortir noves possibilitats i es va desenvolupar el concepte tal com el coneixem actualment. [6]

Al 1950, *Alfred L. Yarbus* va realitzar una investigació sobre el seguiment ocular molt important que ha influït en el concepte del *eye tracking*. [7] En aquesta investigació demostra que el moviment ocular té una gran influència sobre qualsevol tasca encarregada a qualsevol usuari.

El patró cíclic en l'examen de les imatges "*Depending on the task in which a person is engaged, depending on the character of the information which he must obtain, the distribution of the points of fixation on an object will vary correspondingly, because different items of information are usually localized in different parts of an object*". [7]

A continuació, es presenta un dels experiments més famosos realitzats per l'Alfred L. Yarbus on demostra que la tasca a realitzar per l'usuari afecta al moviment ocular de forma directa:

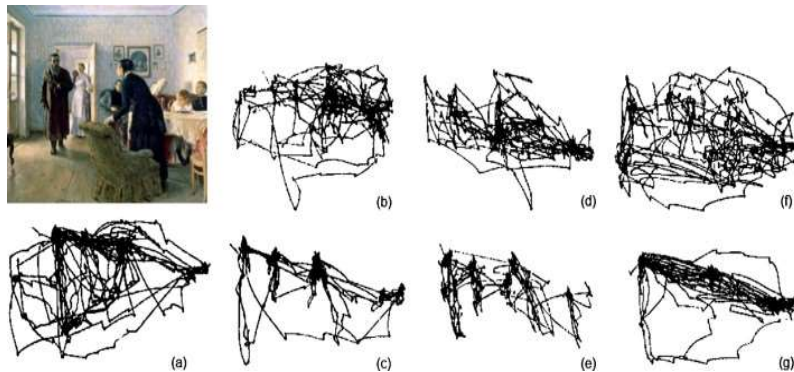


Figura 4.2.- Estudi de l'Alfred L. Yarbus (1967) evidència de com la tasca a realitzar per un usuari influeix en el moviment ocular.

Font: [7]

L'experiment mostrat en la *figura 1* consta de 7 examinacions diferents d'un quadro anomenat "*The Unexpected Visitor*". El cas *a*) Lliure examinació; *b*) Estimació de les circumstàncies materials de la família; *c*) Estimació de l'edat de les persones; *d*) Suposició del que estava fent la família abans de que arribes el "visitant inesperat"; *e*) Memoritzar la roba que porta cada individu; *g*) Càlcul aproximat del temps que el visitant portava allunyat de la família. [7]

Així doncs, Yarbus va arribar a la conclusió que es pot seguir l'observador, en certa manera, a través del registre del moviment dels ulls.

Des de la dècada del 1970 s'han emprat diferents metodologies per tal de realitzar el seguiment ocular de l'usuari, que es diferencien entre elles pel fet d'analitzar els moviments de la ratina o la còrnia de l'ull mitjançant lents de contacte o accessoris especials.

Actualment, una de les empreses referent centrada en desenvolupar d'aquesta tecnologia és: Tobii, fundada l'any 2001 per John Elvesjo, Mårten Skogö i Henrik Eskilsson. Anteriorment coneguda com Tobii Technology AB és una empresa d'origen suec d'alt nivell tecnològic que desenvolupa i comercialitza productes per al control i seguiment ocular. [8]

4.1.4. Tipologia

La immensa majoria dels dissenys actuals dels dispositius es basen en un seguiment ocular mitjançant vídeos d'imatges. Bàsicament una càmera enfoca a l'usuari i captura, en temps real, els estímuls del ulls mentre l'usuari reacciona a un seguit d'imatges o escenaris. Tot i això, no és ni la única manera d'enregistrar el moviment ocular ni tampoc té perquè ser la més precisa.

Actualment, existeixen diverses tipologies d'*eye tracker*, algunes de més invasives que d'altres. Però, en general es poden dividir en tres grans famílies, de més a menys invasives: *electré-oculografia* (EOG), *lents de contacte* i *video-oculografia* (VOG). [5]

A continuació s'expliquen les principals diferències entre un mètode invasiu i un no invasiu i les conseqüències que això sol portar, incloent els avantatges e inconvenients de cada una:

Mètode invasiu.

Aquest mètode implica l'ús d'un dispositiu adjunt al ull o rostre del usuari, com unes lents de contacte o *EOG*. Al ser els ulls uns òrgans delicats, aquesta tècnica sol ser rebutjada per l'usuari doncs li acaba generant molèstia. Tot i això, al estar en contacte amb l'ull i moure's acord amb aquest, proporciona un registre amb bastanta precisió del moviment. Les gravacions que s'obtenen utilitzant aquest mètode són molt detallades. Un exemple clar és el mostrat més endavant a la *figura 2*. [9]

Mètode no invasiu.

Al contrari que el mètode invasiu, en aquest no és necessari el contacte directe amb l'ull per enregistrar el moviment d'aquest. Mitjançant una llum infraroja i el reflex d'un feix de llum visible, captats per una càmera de vídeo o un sensor, es pot conèixer el moviment realitzat per l'ull humà [9]. En general, en el camp de la investigació, aquests mètodes tenen una alta estima doncs son relativament barats en comparació a els altres i no son invasius, és a dir, son més còmodes i fàcils d'utilitzar, un cop configurats. Tot i això, aquests poden fallar a la hora del registre del moviment a causa d'una mala detecció de la pupil·la, la còrnia o qualsevol element ocular necessari. Per altre banda, la il·luminació

de l'entorn és molt influent, de tal manera que una mala il·luminació pot afectar negativament al registre del moviment. [9]

A continuació es prossegueix amb l'explicació i la diferenciació dels dos mètodes que s'han considerat més pertinents per la recerca, amb principal èmfasis a la tècnica de vídeo-oculogràfica o VOG, la qual serà la utilitzada per a la realització pràctica del treball final de grau.

Tècnica de vídeo-oculografia o VOG

Aquesta és una tècnica de seguiment ocular passiva de caràcter no invasiu la qual utilitza una càmera remota per extreure la informació de l'usuari realitzant una anàlisi del moviment ocular. [9] El valor afegit d'aquest sistema per capturar el moviment ocular és el seu baix preu, actualment es més freqüent veure dispositius que utilitzen aquesta tècnica. En concret, el 2011 es va realitzar una investigació, amb l'objectiu de substituir el control per ratolí de l'ordinador per un control ocular. La intenció era la d'ajudar a les persones amb mobilitat reduïda o discapacitats greus a utilitzar computadores especials. [9]

A continuació un exemple de dispositiu remot VOG:



Figura 4.3.- Tobii Pro X2-30.

Font: [10]

Tècnica de electró-oculografia o EOG

Aquesta tècnica es basa en la captura dels moviments oculars basats en les variacions del potencial entre la còrnia (*pol positiu*) i la retina (*pol negatiu*) [11]. Normalment, hi ha

canvis en el potencial elèctric de l'ull quan l'ull es mou a causa d'un canvi de direcció del vector del dipol. Mitjançant elèctrodes situats al voltant de l'ull es pot registrar o capturar la diferència de potencial i en conseqüència el moviment ocular de l'usuari. Aquesta tècnica permet detectar el moviment ocular de l'usuari fins i tot amb els ulls tancats, ja que registra el del camp magnètic dels ulls. [11]

4.1.5. Metodologia dels *eye-trackers VOG*

En aquest treball s'utilitzarà un sistema remot basat en *VOG* no invasiu. Entre els dispositius de caire remot, existeixen dues classes en funció de la font de llum: en base a il·luminació infraroja (*IR*); en base a l'anàlisi de vídeo-gravacions sota llum natural. [11]

Tot i això, l'ús d'aquesta tècnica requereix una càmera especial amb la capacitat de captar la llum *IR*. Aquest tipus de llum proporciona una estabilitat lumínica i es pot utilitzar per generar reflexions sobre la superfície corneal, coneguts com reflexos corneals (*glints*). [11]

S'utilitzen, generalment, dues tècniques de seguiment ocular per identificar la pupil·la mitjançant *IR*: *pupil·la brillant* i *pupil·la fosca*. [11] Bàsicament, la diferència entre elles se centra en la localització de la font d'il·luminació respecte els ulls. En comparativa, la tècnica de pupil·la brillant és millor que la de pupil·la fosca, ja que s'aconsegueix un millor contrast del iris – pupil·la del usuari, ergo un millor seguiment dels ulls i una reducció significativa de les possibles interferències produïdes per les característiques oculars i agents exteriors. Aquestes tècniques no són del tot efectives a l'exterior a causa de la poca intolerància dels *IR* a la llum solar. [12]

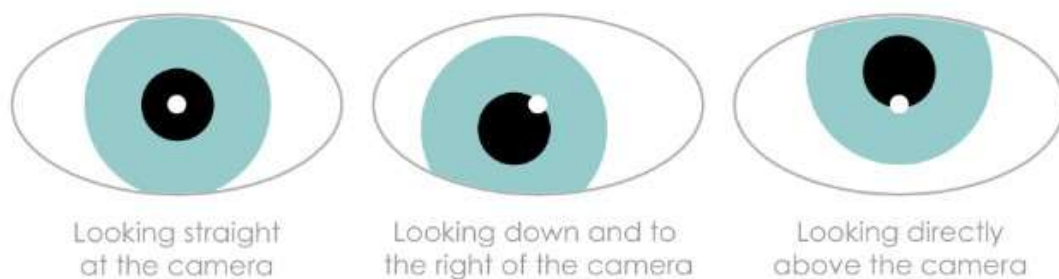


Figura 4.4.- Captura del moviment ocular per un sistema VOG basat en IR.

Les configuracions dels dispositius de seguiment ocular apart de varia molt en funció de l'objecte o escenari al qual s'enfronta l'usuari, acostumen a ser complexos.

La freqüència de mostreig dels dispositius varia segons el model i en funció de la sensibilitat i eficiència que es vulgui aconseguir, avui en dia els dispositius basats en captura per imatges de vídeo funcionen entre uns 240 i 350 Hz. [12] Tanmateix, hi ha dispositius d'alta gamma, destinats a estudis neurològics, que arriben als 1000/1250 Hz, freqüència essencial per captar amb exactitud els moviments de l'ull en qualsevol escenari possible. [11]

Altres investigacions estan buscant altres formes de detectar l'ull humà mitjançant un dispositiu d'ús quotidià (portàtil o smartphone), mitjançant l'anàlisi de la llum natural captada per la càmera. Tenint en compte que els sistemes actuals de detecció de pupil·la costen milers d'euros, tenen configuracions complicades i no estan a l'abast de tothom, aquesta avanç tecnològic podria augmentar considerablement les possibles aplicacions i facilitar l'accés a aquesta tecnologia.

Les tècniques basades en llum natural graven el moviment ocular per, posteriorment, processar la informació obtinguda i extreure la informació de la configuració ocular. Com és deduïble aquest tipus de metodologia requereix un capacitat superior de processament de dades en comparació a les tècniques de *IR*, per tal d'obtenir les característiques facials i oculars. [9]

En general, els *eye tracking* necessiten d'un calibratge previ per calcular la relació entre la direcció de la mirada de cada usuari i el pla d'interès. Aquest procés és necessari per diversos motius, principalment, perquè cada usuari té unes característiques visuals diferents i la posició relativa del dispositiu respecte el pla d'interès pot estar fora del rang de visió de la càmera. [10]

4.1.6. Representació de la informació

A partir de totes les dades que recullen els sensors s'utilitzen diferents softwares, normalment en funció del dispositiu utilitzat, per interpretar la informació de forma animada i representativa. D'aquesta manera es resumeix de forma gràfica el comportament ocular del usuari. Les metodologies de representació més quotidianes són les següents:

Mapatges de calor:

Es tracta d'una alternativa de representació estàtica. Principalment pensada per analitzar l'aglomeració dels patrons de visualització del usuari o d'un conjunt. En concret, s'obté un mapa on les zones "calentes" o d'un color més roig indiquen quines zones han estat visualitzades amb més freqüència. Tal com es pot veure a la següent figura: [11]

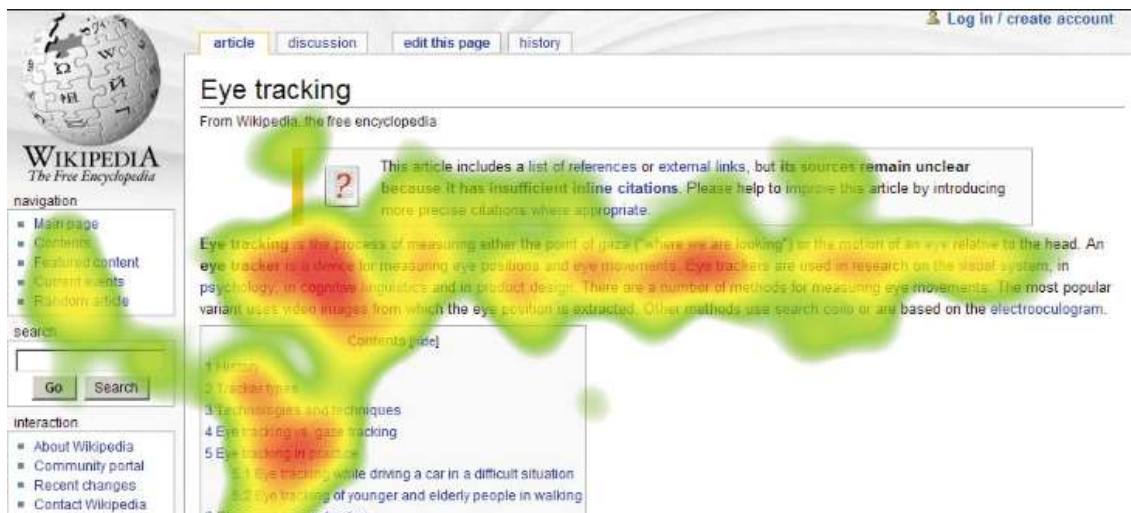


Figura 4.5.- HeatMap del estudi de la freqüència d'observació d'un conductor en marxa.

Font: [11]

Mapes de zones cegues:

És una variant molt més simple dels mapes de calor. En aquest cas mostra amb claredat les zones que han estat menys freqüentades per l'usuari. Millora la comprensió de les zones més rellevants mostrant les úniques zones que no s'han visualitzat. [11]

Representació animada d'un punt sobre la interfície:

Utilitzada normalment quan s'estudia en quin punt s'ha fixat l'ull en cada moment sobre una imatge o superfície. Resulta com un petit rastre lineal que mostra la cronologia dels moviments oculars. Tal com es pot veure a la següent figura: [11]

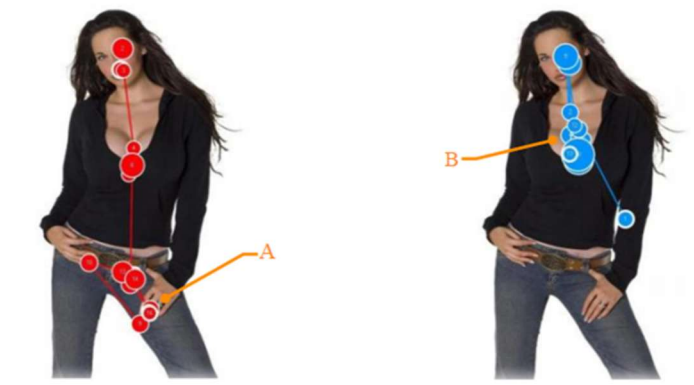


Figura 4.6.- Graze Plot comparatiu a 5 segons de visualització. A) Graze Plot d'una dona; B) Graze Plot d'un home.

Font: [13]

Representació estàtica de la ruta sacàdica:

Molt semblant a la representació anterior amb la diferència que la representació es estàtica, només es reflecteix els nodes d'observació, fent més difícil la interpretació.

El resultat de qualsevol de les quatre representacions anteriorment explicades permeten analitzar fàcilment els resultats de forma gràfica. Gràcies a això s'ha pogut demostrar que un usuari no interactua amb una imatge de forma ordenada com es tendeix a pensar sinó que alterna en funció de les preferències de cada individu. [11]

Micro-moviments associades a la fixació ocular	
Derives o fluctuacions	Irregulars, lents ($0,1^\circ/s$), centrífugs y de 2-5 minuts d'arc d'amplitud
Micro-sacades	Molt ràpids ($< 1^\circ$), per corregir la posició o quant la posició en un punt estacionari excedeix los 300-500 ms.
Tremolor	Oscil·lacions d'alta freqüència (30-150 Hz) i molt baixa amplitud (24 s) que se superposen a els anteriors.

Taula 4.1.- Micro-moviments oculars més típics.

Font: [11]

4.1.7. Aplicacions

Tot i que la tecnologia es remunta a segles enrere les veritables aplicacions útils no han sorgit fins els últims 10 anys amb els recents avanços tecnològics que han permès la generalització del seu ús i la implementació d'aquest en aplicacions i sistemes reals. Actualment, son molts els dispositius que disposen d'una aplicació o de la funcionalitat de captura ocular, en funció de la tecnologia i/o de l'ús es poden classificar en dos categories, de *diagnòstic* y de *interacció*. En el primer cas, la funcionalitat és diagnosticar proporcionant dades y evidències del comportament humà. En el segon cas, el dispositiu serveix com a element d'interacció entre l'usuari i la màquina en qüestió, normalment un ordinador. [11]

A continuació, exemples de les aplicacions més implementades en el mercat: [11]

Investigació científica: És basa en l'estudi del comportament humà enfront escenaris de tot tipus, amb aplicacions en estudis de psicologia cognitiva, interacció humà-màquina, processos cognitius, entre altres.

Estudi de mercat: Sector amb més creixement i implementació dels últims anys, permet a les empreses fer estudis d'interès del consumidor i de comportament d'usuari. D'aquesta manera les empreses poden adaptar la millor estratègia de mercat enfront a les tendències de consum dels seus potencials clients.

Eina interactiva humà-maquina per persones de mobilitat reduïda: Una de les aplicacions amb més valor del seguiment ocular, dins de l'àrea HCI, s'està desenvolupant diferents aplicacions de control de maquinària mitjançant el moviment dels ulls, des de robots fins el ratolí d'un ordinador.

Àrea clínica: Dins l'àrea clínica el seu us principal es el diagnòstic clínic i la correcció de defectes relacionats amb múltiples tipus de patologies derivades de trastorns oculars entre altres.

Disseny i desenvolupament de videojocs: Un altre exemple d'ampliació interactiva enfocada al entreteniment. Els eye trackers són eines molt útils per afegir interacció i integrar al jugar dins del joc.

Dins el context global, la tecnologia de seguiment ocular té un futur immens per davant.

4.2. Robòtica col·laborativa

4.2.1. Què és la robòtica col·laborativa?

La robòtica col·laborativa implica molts factors, però, bàsicament consisteix en el desenvolupament de tasques per part d'un robot interactuant directament amb un operari humà amb total seguretat.

Una de les primeres implementacions d'aquest concepte tecnològic fou, el desembre del 2008, quan una empresa danesa proveïdora de plàstic va comprar un robot model UR5 de la casa Universal Robots, amb l'objectiu d'automatitzar la màquina CNC de la qual disposava. En lloc de situar el robot amb la seva pertinent cèl·lula de seguretat, aquest es va situar al costat dels operaris treballant conjuntament. A més a més, enlloc de contractar programadors experts per configurar el robot es va impulsar als propis operaris a fer-ho mitjançant una pantalla tàctil. [14]

És un fet que els robots col·laboratius, o cobots, són una evolució dels clàssics robots industrials, els quals la RIA (Robotics Industries Association) defineix com:

“Un manipulador multifuncional reprogramable amb múltiples graus de llibertat, capaç de manipular cargues, peces, eines o dispositius especials segons trajectòries variables programables per realitzar múltiples tasques”. [14]

L'ús de cobots respecte els robots tradicionals representen una millora sobre la: [15]

- **Sensibilitat:** Gràcies als sensors de pressió que posseeixen, els cobots, son capaços de limitar la força que exerceixen amb lo que poden compensar moviment, manipular peces fràgils amb precisió i evitar causar d'anys al operari.
- **Economia:** La instal·lació és econòmica i ràpida, no requereixen de grans inversions per la seva instal·lació i, tot i això, poden realitzar múltiples tasques diferents.
- **Flexibilitat:** La programació requerida pels cobots esta molt simplificada, no requereix d'un especialista per dur-la a terme, podent inclús aprendre dels moviment del operari amb un guiat manual o ocular.

- **Seguretat:** Gràcies als sensors de detecció de proximitat i col·lisió que porten incorporats evitant provocar danys greus a la infraestructura que els rodeja o als operaris que els acompanyen. Evitant també la necessitat de balles o cèl·lules de seguretat.

4.2.2. Mètodes de interacció amb els humans

Existeixen múltiples maneres de interactuar amb un robot, a continuació, s'exposen les més implementades actualment:

Parada i RESET Automàtic:

Aquesta interacció és clàssica d'una situació en la que el robot detecta una presència o moviment no programat dins del seu entorn de treball, com la presència d'una persona inesperada o un moviment fora de lo normal, els sensors de moviment provocaran que el robot s'aturi en la seva totalitat evitant un possible laboral. Un cop corregida la situació el robot es reiniciarà, tornant al treball automàticament. [14]

Guiat Manual:

Aquesta interacció és clàssica d'una situació on es requereixi de precisió humana per dur a terme la tasca plantejada. El robot i l'operari treballen conjuntament de forma segura, en aquest cas, és l'operari qui guia manualment el moviment del robot fins la posició desitjada. D'aquesta manera, també s'evita la necessitat d'instal·lació i programació enfront noves necessitats o requeriments. [14]

Cal comentar que el control per guiat ocular podria ser una bona alternativa al guiat manual tradicional o una bona actualització d'aquest.

Monitorització:

Aquesta interacció consisteix en monitoritzar la força i posició del robot en tot moment, establint uns límits i especificacions. En cas que un operari redueixi la distància que el separa del robot, aquest anirà disminuint la força que aplica a les articulacions, tant bon punt els sensors li indiquin que l'operari s'està apropant. Fins el punt de congelar-se momentàniament (*parada de seguretat momentània*) si fos necessari. [14]

Limitació:

Aquesta interacció consisteix en limitar per defecte la velocitat i potència del robot en funció de les característiques que siguin necessàries segons la tasca. El robot té la capacitat d'adaptar la força i potència que aplica sobre el producte per aconseguir el desenvolupament de la tasca amb la millor qualitat possible. Paral·lelament, augmenta la eficiència al adaptar la força y la potència exercides en funció del consum. [14]

4.2.3. Aplicacions

Com ja s'ha comentat anteriorment, una de les principals característiques dels cobots és la seva versatilitat y flexibilitat per dur a terme diferents tasques de múltiples disciplines treballant conjuntament amb persones al seu voltant.

A continuació, s'anomenen i defineixen àrees alternatives d'aplicació dels cobots:

Fabricació (Indústria 4.0):

Dins del sector de la Indústria 4.0 les aplicacions dels cobots son il·limitades. Aquests poden realitzar pràcticament qualsevol tasca manual y repetitiva amb la màxima efectivitat en totes les seves iteracions. A més a més, com a valor afegit, els fabricants de cobots, s'han centrat en simplificar al màxim la interfase de control del cobot per a que qualsevol operari pugui configurar-la per controlar el treball o si fos necessari realitzar algun canvi en la programació sense coneixement específics de programació i/o robòtica. [16]

Algunes de les tasques més pertinents que poden dur a terme els cobots: [16]

- **Empaquetat y paletització:** Els cobots, en concret els braços robòtics, poden configurar-se per empaquetar i paletitzar de forma automàtica, constant, sense necessitat de supervisió ni interrupcions.
- **Alimentador de CNC:** Els cobots que alimenten de peces les màquines de CNC, també conegut com a *CNC feed*, poden programar-se per millorar l'eficiència de la màquina que abasteixen i accelerar el ritme de producció significativament.
- **Pick&Place:** Els cobots tenen una gran capacitat de gestió de l'inventari d'una empresa amb aplicacions com la de *Pick&Place*. Aquets poden dur a terme la tasca durant un alt número d'hores, sense disminuir la seva precisió.

- **Muntatge:** Els cobots son capaços de treballar en línies de producció amb múltiples materials i realitzant diferents tasques, optimitzant la producció i reduint els possibles riscos laborals a l'automatitzar línies de muntatge. A més a més, aporten una alta flexibilitat a l'hora de realitzar canvis puntuals en la línia de producció.
- **Control de qualitat:** Els cobots tenen la capacitat de seguir processos molt exhaustius de forma exacta i volums de treball, ja definits, de forma continua amb el mínim marge d'error possible. Aquests poden identificar peces defectuoses abans del seu corresponent empaquetatge i col·laboren en mantenir un al nivell de qualitat.

Sanitat: [17]

Dins del sector de la sanitat i/o l'atenció mèdica els cobots tenen una gran oportunitat d'implementació.

En el servei d'atenció mèdica, aquests cobots poden tractar i oferir un molt bon tracte a pacients els quals son altament contagiosos, oferint el suport que necessiten els doctors/es, infermers/es i/o altres cuidadors/es en els sistemes d'atenció mèdica més castigats i saturats del mon.

En les cirurgies o la patologia, els cobots UR donen un suport augmentant la flexibilitat de la operació i la precisió de les actuacions o operacions a realitzar. Ajudant al personal mèdic a realitzar l'operació de la forma més ràpida i neta possible.

En el servei de rehabilitació, els cobots donen suport i ajuden a incorporar pacients, realitzar massatges esportius i acompanyar les persones durant les sessions, vetllant per ells i la seva rehabilitació.

Finalment, un altre cas molt actual és la tasca de desinfecció i neteja de infraestructures i materials realitzades durant l'estat de pandèmia covid-19.

Agricultura: [17]

Avui en dia, el sector agroalimentari és un dels quals ha obtingut més inversions en automatitzacions i actualitzacions. Son moltes les tasques relacionades amb la agricultura que requereixen de precisió, en especial èmfasi la ramaderia.

Una implementació clara dels cobots en aquest sector és en la indústria làctia, extreien la llet dels animals de forma òptima i amb un competitivitat més elevada. En aquest cas, els cobots automatitzant, per exemple, el procés laboriosos de desinfectar manualment les mamelles de les vaques abans i després de munyir-les.

Restauració: [17]

En el sector de la restauració hi ha moltes possibles aplicacions pels cobots, des de cambrer i/o barman o cuiner.

Com a cambrer/barman, existeix el cas de la destil·leria y restaurant de *Mofongo a Groningen, Països Baixos*, la qual disposa d'un robot UR10 ubicat a 7 metres d'altura per damunt de la barra, el qual s'encarrega d'omplir els gots amb els licors, prèviament seleccionats pel cambrer, per a posteriori servir-los al client. Aquest mètode ha estat tant innovador en el sector que Mofongo va guanyar el premia "*Best Looking Bar in Holland*".

Com a cuiner, l'empresa Moley Robotics va presentar un sistema de cuina autònoma que utilitza dos robots UR5 de Universal Robots per reproduir els moviments d'un cuiner professional. En el temps de 25 minuts, aquest sistema és capaç de preparar un plat de sopa de cranc a partir d'una recepta elaborada per Tim Anderson, guanyador de Masterchef.

4.2.4. Models

Actualment hi ha moltes empreses que s'han decantat pel disseny i confecció de robots col·laboratius per l'automatització dels sistemes productius de les empreses. A continuació, s'exposen un seguit de marques i models de robots col·laboratius implementats actualment en les empreses més automatitzades del moment:

ABB



Figura 4.7.- YuMi – IRB 14000

Font: [18]

KUKA



Figura 4.8.- KUKA – IBR iiwa

Font: [19]

ABB va presentar al 2015 el primer robot veritablement col·laboratiu del món, YuMi.

YuMi va canviar les regles de l'automatització i la robòtica anunciant una nova era on les persones i els robots poden treballar conjuntament de forma segura i productiva, sense barreres. És un robot de dos braços dissenyat per treballs industrials com el muntatge.

El IBR iiwa va ser el primer robot de la casa KUKA fabricat amb capacitat sensitiva, preparant el terreny per la col·laboració definitiva de robots i persones.

IBR és l'abreviatura utilitzada per "*robot de estructura lleugera*", en canvi, iiwa és l'abreviatura de "*intel·ligent industrial work assistant*".

FANUC



Figura 4.9.- FANUC – CR-15iA

Font: [20]

El model CR-15iA de la FANUC, és un model més desenvolupat del sector i la pròpia casa. Amb 6 graus de llibertat, una càrrega útil de 15 kg i un abast de 1441 mm, té la capacitat de realitzar una alta gama d'aplicacions de manipulació.

A la base (negre) disposa del resultat de la inversió i investigació en sensors d'alta sensibilitat els quals permeten el desenvolupament dels cobots com a tal.

UNIVERSAL ROBOTS

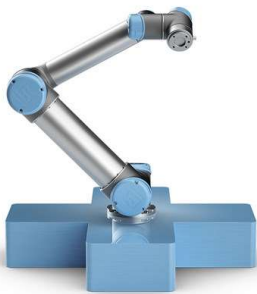


Figura 4.10.- UR3e

Font: [21]

El robot col·laboratiu UR3e és un robot de taula de característiques petites perfecte per tasques lleugeres de muntatges a petita escala. Posseeix un factor de forma compacte que el permet treballar àrees d'espai reduït.

Aquest robot està pensat per instal·lar-se dintre de la maquinària si és necessari per augmentar l'eficiència i/o la seguretat, gràcies a la seva base de mínima superfície.

S'han exclòs moltes altres cases de robots especialitzades en automatització, les quals podrien haver-se afegit perfectament. Tot i això, amb els exemples anteriors queda demostrat la versatilitat i les grans possibilitats de disseny dintre del sector de robots col·laboratius.

Tot i que s'han exemplificat només braços robòtics, existeixen altres tipologies de robots. No obstant, la familiaritat dels robots del centre amb els mostrats anteriorment simplifica el potencial d'aplicacions a desenvolupar.

4.2.5. Robots tradicionals contra col·laboratius

Per acabar de definir les característiques dels cobots es plantegen unes taules comparatives entre els robots tradicionals i els col·laboratius:

Característiques bàsiques	Tradicional	Col·laboratiu
Capacitat [kg]	100 a 900	3 a 9
Abast [m]	2,55 a 3,1	0,5 a 1
Velocitat	Alta	Limitada
Implementació	Requeriment de cèl·lules de seguretat.	No requereix d'elements de separació.
Ocupació	Alta ocupació de la planta i necessitat de barreres. Requereixen més superfície de treball.	Poca ocupació sense necessitat de barreres. Requereixen menys superfície de treball.
Versatilitat	Sistemes fixos i aplicacions específiques.	Sistemes mòbils adaptables a diferents operacions.
Repetibilitat	Alta	Mitja

Taula 4.2.- Taula comparativa de les característiques bàsiques dels robots

Font: [14]

Cost	Tradicional	Col·laboratiu
Manteniment	Alt	Baix
Implementació	≈ 100.000 €	≈ 25.000 €
Valor residual	Recuperació del cost del robot. No recuperació del cost de la instal·lació.	Recuperació del 90% del cost total (instal·lació a baix cost).

Taula 4.3.- Taula comparativa dels costos dels robots.

Font: [14]

Conceptes	Tradicional	Col·laboratiu
Formació i programació	Programació complexa (fora de la línia).	Programació senzilla.
Fiabilitat	Tecnologia madura. Alta implementació.	Tecnologia en fase de desenvolupament.
Ergonomia i salut	Sistemes sorollosos. Necessària separació física de seguretat amb els operaris.	Sistemes silenciosos. Milloren les tasques col·laboratives amb l'operari.

Taula 4.4.- Taula comparativa d'altres conceptes pertinents dels robots

Font: [14]

4.2.6. Impacte dins la Indústria 4.0

Finalment per acabar de situar els cobots en la indústria moderna, a continuació s'argumenta el impacte que tenen sobre aquesta.

Com s'ha argumentat amb anterioritat, avui en dia, la indústria esta immersa en plena revolució, aquest procés, promulgat per la digitalització constatat de l'empresa, es basa de la implementació de les noves tecnologies en els processos industrials connectant els mètodes tradicionals de les fabricues amb tota la cadena de valor de l'empresa. D'aquesta manera s'aconsegueix integrar els dos eixos, horitzontal (Smart Factory) i vertical (proveïdors i clients). [22]

L'automatització és una característica essencial de la Smart Factory per adquirir un gran valor competitiu respecte la resta d'empreses del sector. La robòtica col·laborativa, al permetre treballar conjuntament un robot amb un operari, sense la necessitat d'una cèl·lula de seguretat, obre un gran ventall d'aplicacions per millorar la flexibilitat de la indústria i la seva producció. Tot i això no és l'únic motiu, altres motius pels quals s'inverteix en automatització flexible d'una fàbrica son: [14]

- **Optimitzar tasques de poc valor afegit:** Aconseguir una productivitat més alta i estalviar recursos juntament amb un augment de l'eficiència productiva de la fabrica.
- **Augment de la qualitat dels medis de producció:** En un procés repetitiu, la automatització assegura la correcta realització de totes les repeticions reduint significativament el numero d'errors produïts en les activitats susceptibles a produir-se alguna errada per part d'un operari humà.

- **Alliberar els operaris de tasques no ergonòmiques:** Totes aquelles activitats més monòtones i que poden significar un perill per l'operari són les que es tendeixen a automatitzar primer. D'aquesta manera es millora la prevenció de riscos i les xifres d'absentisme de l'empresa, evitant baixes i accidents per causes laborals.

No obstant, aquets robots són altament complexos i requereixen un grau de seguretat molt més elevat que els robots clàssics industrials, ja que una petita incidència o falla pot significar un sinistre laboral. Per la qual cosa, tot i que no requereixin de ninguna cèl·lula o valla de seguretat, per normativa, s'estipula una àrea de seguretat mínima en el pitjor des casos. Els operaris per la seva banda, han de ser conscients dels riscos que comporta operar conjuntament amb un robot i han d'estar qualificats per fer-ho.

Actualment, la robòtica col·laborativa s'ha convertit en un dels elements essencials en sectors de la indústria manufacturera o del sector de la logística, gràcies al seu gran espectre d'aplicacions d'automatització. Tot i això, avui en dia, només s'ha rosat la superfície, aquesta tecnologia o besant de la robòtica pràcticament acaba de néixer, obrint múltiples línies de investigació a reu del món, com les pròtesis humanes intel·ligents, exoesquelets, robots mèdics, entre altres. El fabricant de cobots *Universal Robots* estima, segons un estudi de *Markets & Markets*, que el mercat d'aquesta tipologia de robots augmentarà fins els 4 mil milions de dòlars en 2023. [14]

5. Anàlisi i selecció d'alternatives de solució

A continuació, s'exposen breument les alternatives de selecció plantejades pel desenvolupament de l'aplicació desitjada. Finalment s'elabora una taula de selecció la qual puntua cada solució alternativa, segons els criteris definits en la rubrica de selecció, annexada al final de la memòria.

5.1. Cobots

OMRON TM5 – 700 [23]

Els robots TM son una sèrie de cobots de la casa OMRON de sis eixos, amb limitació de pressió i potència, una programació simple basada en estructura de nodes i capacitat de visió artificial integrada. El hardware disponible del robot TM es basa en el braç robòtic, representat en la següent figura, i la seva controladora, incloent un *robot stick* pel cas de control remot.

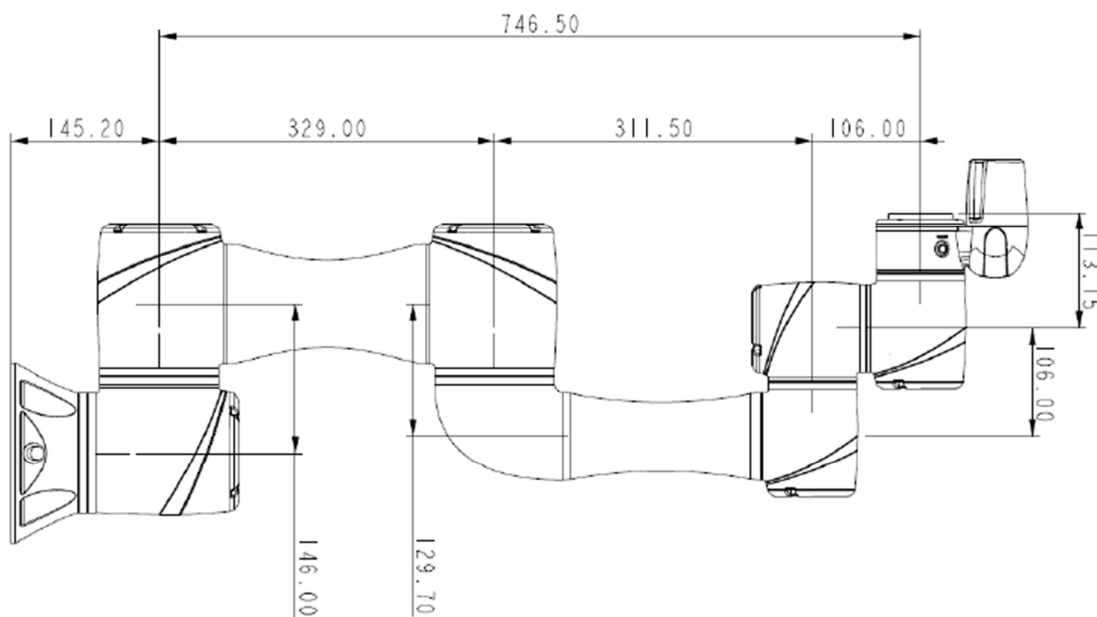


Figura 5.1.- Dimensions TM5 – 700.

Font: [23]

En la figura anterior es poden apreciar les dimensions i les tres vistes del robot en qüestió. Un cop conegudes les dimensions del model *TM5-700*, a continuació, es defineix el rang esfèric de treball des de la base, radi 700 mm. [23]

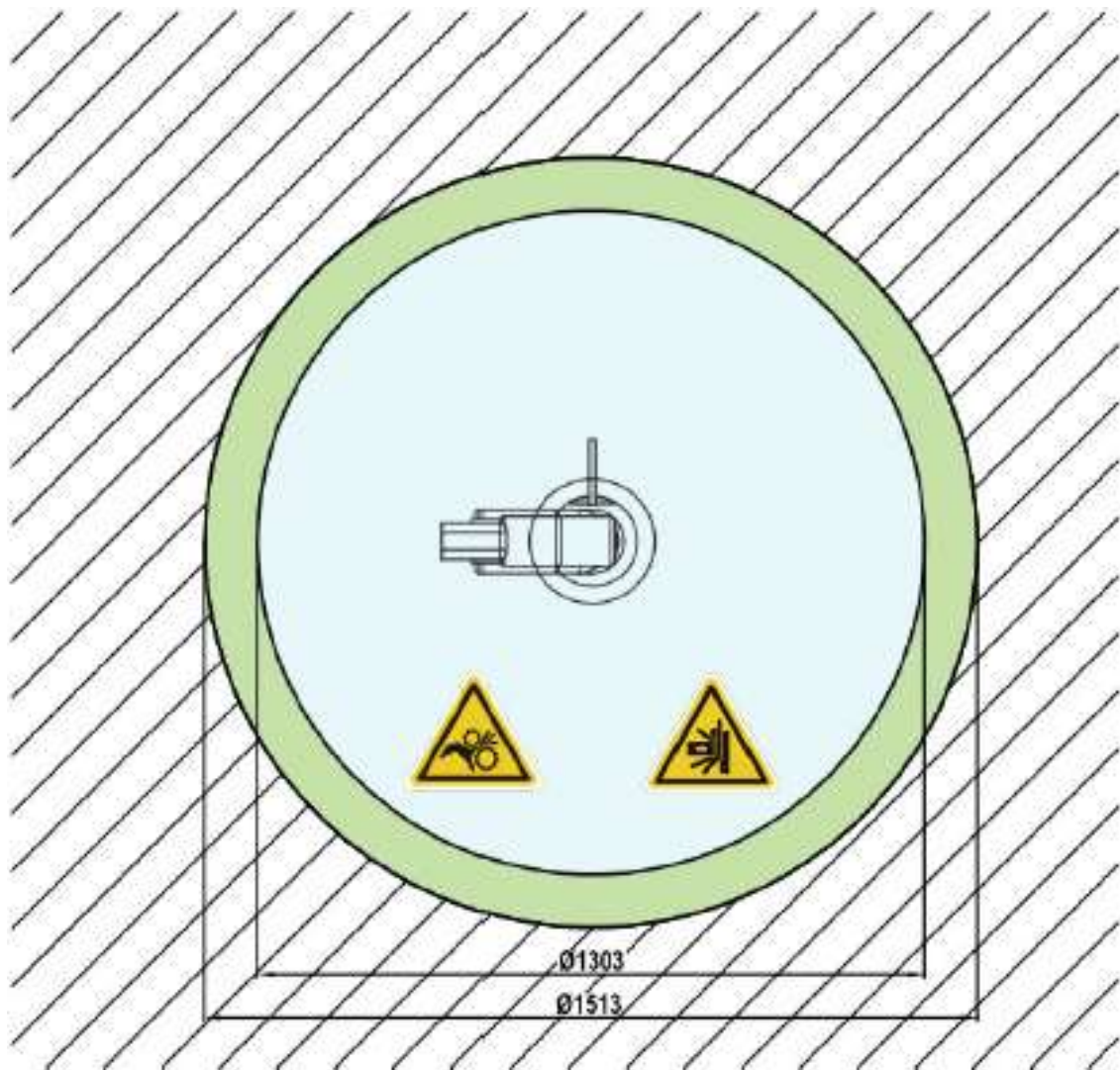


Figura 5.2.- Rang de treball del cobot TM5-700.

Font: [23]

Pel que fa a la càrrega útil (màxima) permissible pel cobot en qüestió, aquesta està relacionada amb el desplaçament del centre de gravetat, definit com la distància des del punt central de la brida de l'eina (mà) fins el centre de gravetat de la càrrega útil. La següent figura mostra la relació entre carga útil i el desplaçament del centre de gravetat:

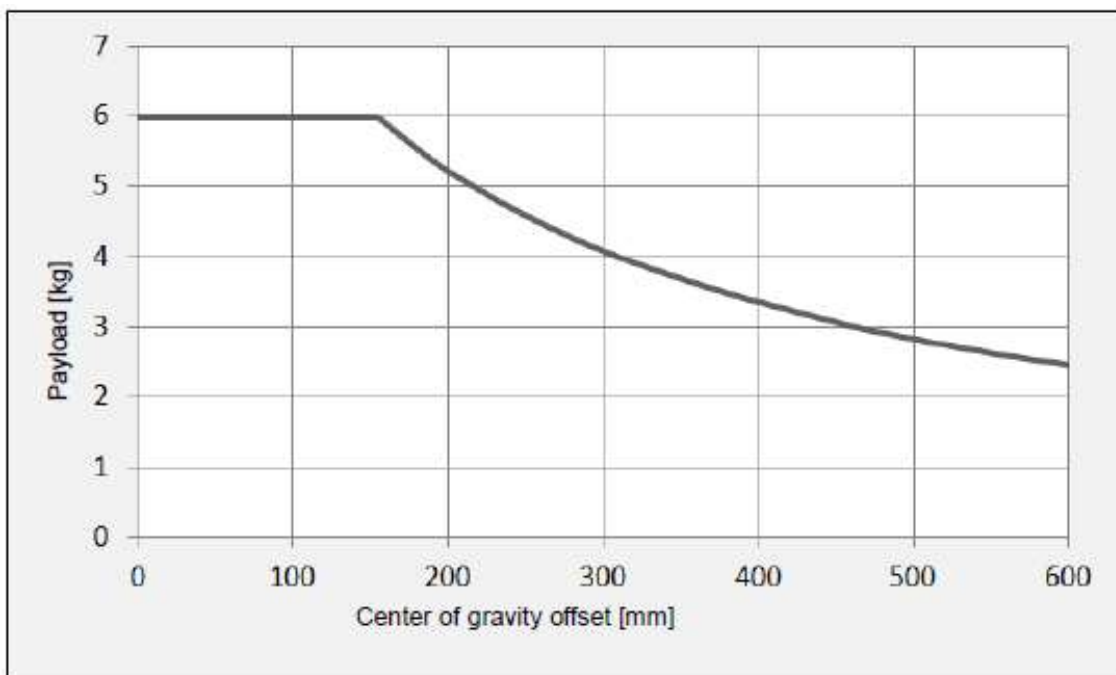


Figura 5.3.- relació entre càrrega útil i el desplaçament del centre de gravetat.

Font: [23]

Finalment, sobre les especificacions tècniques, a la taula següent es mostren totes aquelles pertinents als robots de la sèrie TM5:

BRAÇ ROBÒTIC		
Model	TM5-700	TM5-900
Pes [kg]	22,1	22,6
Càrrega útil [kg]	6	4
Abast [mm]	700	900
Velocitat típica [m/s]	1.1	1.4
Rang de gir dels eixos	J1 , J6	+/- 270°
	J2, J4, J5	+/- 180°
	J3	+/- 155°
Velocitat dels eixos	J1~J3	180°/s

	J4~J6	225°/s	
Repetibilitat		+/- 0.05 mm	
Graus de llibertat		6	
Ports E/S		Controladora	Eina conn.
	E Digitals	16	4
	S Digitals	16	4
	E Analog	2	1
	S Analog	1	0
Font d'alimentació de E/S		24V 1.5A controladora i 24V 1.5A eina	
Classificació IP		Braç robòtic: IP54; Controladora: IP32	
Consum		220W	
Temperatura		El robot pot treballa a un rang de temp. 0-50°C	
Font d'alimentació		100-240 VAC, 50-60 Hz	DC22~60VDC
Interface E/S		3×COM, 1×HDMI, 3×LAN, 4×USB2.0, 2×USB3.0	
Certificació		CE, SEMI S2 (opcional)	
VISIÓ ARTIFICIAL			
Eye in Hand (integrat)		1.2M/5M píxels, càmera a color	
Eye to Hand (opcional)		Support Maximum 2 GigE cameras	

Figura 5.4.- Especificacions tècniques TM5.

Font: [23]

5.2. Software

OMRON TMFlow

TMFlow és un programari de robots col·laboratius de la casa OMRON. La funcionalitat integrada en aquest programari, de la línia de cobots OMRON TM, proporciona una flexibilitat i senzillesa líder en l'automatització de la indústria moderna. En el cas que es requereixin, OMRON ofereix varies opcions addicionals que augmenten la funcionalitat respecte la estàndard. [14]



Figura 5.5.- Exemple d'interfase del software TMFlow.

Font: [24]

TMFlow és un *Human-Machine Interface* (HMI) gràfic. El seu principal propòsit es proporcionar als usuaris un canal complet, simple i convenient per realitzar programacions lògiques i d'automatització. Mitjançant aquest HMI gràfic els usuaris poden administrar i configurar ràpidament el robot i amb la simplicitat del seu diagrama de flux gràfic poden gestionar el moviment i la lògica del procés del robot. [24]

Com es pot apreciar en la figura anterior, el programari es basa en una organització per diagrama de flux, on cada bloc correspon a un funció diferent. La llegenda de l'esquerra de les corresponents pantalles mostren les diferents funcions que es poden arribar a

utilitzar en el programari estàndard. Aquesta interfase gràfica és utilitzable en dispositius portàtils tàctils agilitzant i augmentant la flexibilitat del seu ús, permeten la gestió de múltiples cobots des d'una sola tauleta Windows. [24]

Els experts en programari de l'empresa OMRON han desenvolupat una extensa biblioteca de codis de mostra per ajudar als recent iniciats a accelerar el desenvolupament dels projectes en tot l'àmbit de tecnologies d'automatització. Paral·lelament, aquest es compatible amb múltiples llenguatges de programació com el Python, el qual s'explicarà a continuació. [24]

Python

Python és un dels llenguatges de programació d'alt nivell i propòsit general més utilitzats en el món de la enginyeria. Fou creat per Guido van Rossum l'any 1991, amb l'objectiu de desenvolupar un llenguatge fàcil de llegir i que la seva sintaxi permetés als programadors desenvolupar les seves aplicacions amb el mínim de línies de codi possibles. Tot i això és un llenguatge que ha evolucionat molt al llarg dels anys i el que existeix avui en dia es troba molt per sobre de l'inicial. [25]

Python treballa amb múltiples paradigmes de programació, *programació orientada a objectes* (POO), funcionalitat i inclòs imperativa. Com la resta de llenguatges dinàmics és sovint utilitzat com un llenguatge script, tot i que també s'utilitza en una alta gamma de contextos no-script. Per tant, Python és un llenguatge multi-paradigmàtic que no força als programadors a utilitzar un estil de programació en particular, permeten l'adaptació dels anteriors paradigmes de programació esmentats entre molts altres. [25]

Python fa ús de la mecanografia dinàmica, és a dir, la combinació d'un recompte de referències i d'un recol·lector de brossa identificador de cicles per l'optimització de la memòria. A més a més, també fa ús de l'enllaç dinàmic de mètodes, és a dir, el lligament dels conceptes del mètode i les variables durant l'execució del programa.



Figura 5.6.- Exemple de codi en i logotip Python.

Font: [26]

CPython, la implementació referent de Python, és un programari lliure i de codi obert amb un model de creixement basat en la comunitat, la qual ha desenvolupat un sistema altament dinàmic i una gestió de memòria automàtica, a més, d'una exhaustiva biblioteca estàndard i gran part de les aplicacions actualment més utilitzades. “*Python Software Foundation*” és l'organització sense ànim de lucre, creada el 6 març del 2001, que controla i promou el desenvolupament de tota la comunitat. [26]

Actualment, s'està desenvolupant una versió preliminar de Python 4.0 la qual s'ha advertit que serà menys compatible respecte la seva predecessora Python 3.0. La versió disponible per el desenvolupament d'aplicacions, com és el cas, corresponent a la versió Python 3.9. [25]

MATLAB

MATLAB és un llenguatge de programació i entorn de computació numèric. Fou creat per la companya MathWorks, el qual permet operar i desenvolupar aplicacions fàcilment amb matrius, gràfiques de funcions, dades i senyals, aplicar algorismes, desenvolupar interfícies d'usuari, i sobretot, comunicar-se amb altres programes desenvolupats amb altres llenguatges de programació. Tot i això, la seva especialització és la computació numèrica d'alt nivell.



Figura 5.7.- Logotip Matlab.

Font: [27]

MATLAB, durant el 2004, era l'aplicació més utilitzada em la indústria i l'àmbit acadèmic, però degut al seu cos i l'impuls de nous llenguatges de programació dinàmics i oberts com ara Python, poc a poc ha anat perdent presència en el món de l'enginyeria. Tot i això segueix sent dels millors llenguatges i entorns del sector, creant un mercat estable i fidel gràcies a les seves aplicacions. [28]

En un inici, MATLAB, va ser implementat pels enginyers de disseny de sistemes de control, però ràpidament es va expandir a altres àrees. Actualment, també s'utilitza en l'educació, en concret en l'estudi de l'àlgebra lineal i numèrica, i popularitzat pels científics del sector de processament d'imatge. [27]

5.3. Eye Tracker: Tobii Pro

Tobii Pro és una divisió de Tobii Group, fundada al 2001, la qual s'encarrega de desenvolupar tecnologia de seguiment ocular d'última generació. La missió principal de l'empresa és l'estudi del comportament humà, la atenció visual i les funcions cognitives per promoure la investigació científica i desenvolupar aplicacions de tot tipus. [8]

Les innovacions que ofereixen es centren en la realització de dispositius amb un alt nivell de versatilitat i precisió. Realitzant grans inversions en el sector fins al punt de convertir-se en líder en el mercat europeu i un referent a nivell mundial. [8]

Els productes i serveis que ofereixen se centren, en primer lloc, en ajudar en la investigació científica realitzant noves aplicacions, obrint noves línies de investigació i, en segon lloc, millorar les empreses augmentant la productivitat, la eficiència i la

seguretat dels processos o desenvolupant una millor sobre el producte o servei que ofereixin.

Els dos eye trackers proposats a continuació per la realització de l'aplicació, formen part de la cartellera de productes de la casa Tobii Pro:

X2-30

El dispositiu Tobii Pro X2-30 és un eye tracking fixe sobre pantalla amb un cost de 15.000€. És un sistema compacte i assequible per recerques d'investigació o estudis del comportament humà sobre plataformes digitals en ordinadors portàtils o seguiment ocular d'objectes físics. Aquest dispositiu basat en pantalla esta descatalogat, és a dir, no està en venda ni està en comercialització, però encara és integrable en múltiples aplicacions. [10]

Requereix un muntatge específic segons l'escenari que es plantegi abans d'utilitzar-lo per primera vegada i després de reubicar-lo. La seva aplicació bàsica és la captura de dades de seguiment ocular per el seu posterior anàlisi. Per fer-ho, es requereix un programari o software que proporcioni la precisió que requereix l'estudi desitjat.



Figura 5.8.- Model Tobii Pro X2-30

Font: [10]

El model X2-30 en concret, és un petit rastrejador ocular de 184mm en un angle de mirada de fins a 36° que rastreja qualsevol tipus d'objectes a distàncies pròximes a una freqüència de 30Hz o 60Hz. La seva precisió i/o marge d'error va en funció de la distància de l'usuari respecte el dispositiu. La gràfica següent mostra la precisió de la captura de senyal en funció de la distància de l'usuari, sent 55cm o 60cm la distància òptima. [10]

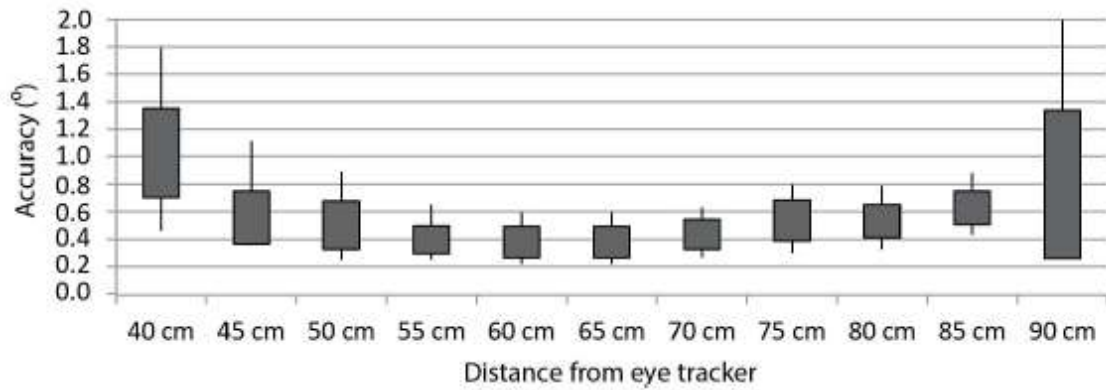


Figura 5.9.- Precisió de la captura de senyal en funció de la distància de l'usuari.

Font: [10]

A continuació, en format taula, s'exposen en primer lloc les especificacions tècniques del dispositiu i en segon lloc les característiques físiques del dispositiu:

Tobii X2-30 Eye Tracker		
Especificacions tècniques		
Freqüència de mostreig	30 Hz	
Latència total del sistema	50 – 70 ms	
Temps de recuperació	Immediat (parpelleig)	
Moviment de cap	Libertat de moviment del cap a 70 cm (altura x amplada)	50 x 36 cm
	Distància de funcionament	40 – 90 cm
Dimensions de pantalla recomanades	16:9	
Sortida de dades	Timestamp, posició de l'ull, gaze point, etc.	

Taula 5.1.- Especificacions tècniques Tobii X2-30 Eye Tracker.

Font: [10]

Tobii X2-30 Eye Tracker	
Característiques físiques	
Unitat de processament	Embedded, sense necessitat de host extern
Connexions	USB 2.0
Pes	200 g
Dimensions	184x28x23 mm
Solucions de muntatge	Suport de muntatge amb adhesiu. Suport d'escriptori o trípode.

Taula 5.2.- Característiques físiques Tobii X2-30 Eye Tracker.

Font: [10]

Glasses 3

El dispositiu Glasses 3 és la tercera generació del model Glasses llençat al mercat per la empresa Tobii Pro amb un preu de 14.410€. És un rastrejador ocular portàtil el qual permet realitzar l'anàlisi de comportament humà davant de múltiples escenaris. Aquestes aporten un seguiment ocular fixe i robust a més de dades d'observació precises oferint al usuari una llibertat de moviment i interactuar amb l'entorn amb total naturalitat. [29]



Figura 5.10.- Model Tobii Pro Glasses 3.

Font: [29]

Posseeix una càmera d'escena que ofereix un ampli camp de visió i il·luminació dins del propi vidre, permeten un excel·lent rendiment del seguiment ocular en entorns dinàmics i llum variable. La tecnologia de seguiment ocular integrada en les ulleres no implica cap impediment visual per l'usuari, permeten un seguiment ocular amb més angles de visió i una entrega de dades més reals del comportament humà. [29]

Les lents de seguretat de bloqueig IR, incloses en el kit accessori, tenen la capacitat de bloquejar la llum infraroja gràcies, permeten la realització d'estudis fora del laboratori en escenaris en el món real. A més a més, el seu disseny permet ser utilitzat conjuntament amb elements de seguretat (cascos, etc.).

Aquest dispositiu recopila dades de seguiment ocular en temps real a 50Hz o 100Hz, sobre el patró del comportament de visualització del usuari i paral·lelament pot gravar un vídeo de l'escena amb so gràcies al micròfon integrat. [29]

El dispositiu compta amb un software de control i de tractament de dades propi, el qual és compatible amb el sistema operatiu de Android OS versió 9 o Windows 10 64-bits. Aquest permet el control sense fils de les gravacions i les dades recollides, facilitant la flexibilitat i l'ús del dispositiu. [29]

A continuació, s'exposen en 3 taules les especificacions tècniques del dispositiu en qüestió:

Tobii Pro Glasses 3	
Especificacions tècniques eye tracking	
Tècnica de captura ocular	Reflex de còrnia, pupil·la fosca, estèreo geometria.
Binocular eye tracking	SI
Freqüència de mostreig	50 Hz o 100 Hz
Calibratge	Punt únic
Temps de recuperació de la mirada	Immediat (1 frame)
Compensació	Si, model de seguiment ocular 3D
Dimensionament de la pupil·la	Si, mesura absoluta

Taula 5.3.- Especificacions tècniques eye tracking Tobii Pro Glasses 3

Font: [29]

Tobii Pro Glasses 3	
Especificacions tècniques unitat principal	
Material	Plàstic grilamid, acer inoxidable i plàstic de qualitat òptica
Material (suport nasal)	Plàstic grilamid
Pes	76,5 g
Dimensions	153x168x51 mm
Longitud del cable	1200 mm
Àudio	16 bit mono (micròfon integrat)
Numero de sensors oculars	4 sensors (2 per ull)
Geometria fixa	Si

Sensors	Sensors ST™ LSM9DS1
Càmera d'escena	
Resolució del vídeo	1920x1080 a 25 fps
Format del vídeo	H.264
Camp de visió diagonal	106 deg. (16:9)
Camp de visió horitzontal i vertical	95 deg. horitzontal / 63 deg. vertical

Taula 5.4.- Especificacions tècniques unitat principal Tobii Pro Glasses 3.

Font: [29]

5.4. Selecció de les solucions alternatives.

En la següent taula s'exposa la ponderació relativa obtinguda de la puntuació segons la rúbrica de selecció. Cal comentar que s'han avaluat totes les solucions alternatives anteriorment proposades exceptuant del robot *OMRON TM5 – 700* el qual era una condició del treball ja que és l'únic robot col·laboratiu del centre.

Finalment, tal com es mostra a la següent taula, les solucions finals escollides per a desenvolupar l'aplicació són (eye tracker i software):

- Tobii Pro X2-30
- Python

Solució alternativa a l'eye tracker		
Marca	Tobii Pro	Tobii Pro
Dispositiu	X2-30	Glasses 3
Cost [€]	2	2
Freq. Mostreig [Hz]	2	3
Temps de comunicació	2	3
Flexibilitat	1	3

Invasiu	3	2
Sortida de dades	2	2
Unitat de processament	2	2
Connexions	1	1
Pes [g]	3	3
Dimensions	3	3
Muntatge	2	3
Metodologia de calibratge	1	2
Micròfon	1	3
Proteccions IR	2	3
Càmera	1	3
Resolució del vídeo	1	3
Camp de visió	1	3
Software integrat	2	2
Alimentació (VDC)	2	2
Compatibilitat	2	3
Material	3	3
Ponderació absoluta	39	54
Ponderació relativa [%]	41,9%	58,1%

Taula 5.5.- Valoració de la solució alternativa al eye tracker.

Font: Elaboració pròpia.

Tot i que el model Tobii Glasses 3 obtingui la ponderació més alta, no ha estat possible la seva adquisició per part de la universitat amb temps per lo que el projecte s'ha desenvolupat amb el dispositiu Tobii Pro X2-30 finalment.

Solució alternativa: software			
Marca	Python	Matlab	TMFlow
Cost [€]	3	2	3
Paradigmes	3	2	1
Compatibilitat	3	3	3
Flexibilitat	3	2	1
Simplicitat	2	1	3
Biblioteques	3	3	2
Comunitat	3	3	2
Dinamisme	3	2	2
Sistema Operatiu	3	3	3
Ponderació absoluta	26	21	20
Ponderació relativa [%]	39%	31%	30%

Taula 5.6.- Valoració de la solució alternativa al software.

Font: Elaboració pròpia.

PyCharm serà l'entorn de desenvolupament integrat (IDE) de codi que s'utilitzarà per l'elaboració de la part de l'aplicació en llenguatge Python. El motiu és la ja familiarització del projectista amb aquest IDE, doncs és el recomanat pel professorat corresponent en les diferents matèries de programació i modelització.

6. Desenvolupament de l'aplicació

En aquest punt es descriuran les accions realitzades per dur a terme l'aplicació de control del autòmat mitjançant el control ocular. A continuació, es definirà el setup establert per dur a terme tan el pertinent calibratge dels dispositius com les proves i l'experiment final. Després, es definirà i s'explicarà l'arquitectura del software desenvolupada amb els seus diagrames de flux pertinents i, finalment, es descriurà l'exercici proposat per la posada en pràctica de l'aplicació desenvolupada.

El sistema establert està basat en un sistema *websocket* el qual proporciona una comunicació bidireccional i *full-duplex* sobre un socket TCP. Per una banda, s'estableix el sistema intern del cobot com a client i, per l'altre banda, el servidor.py com a host. La comunicació es durà a terme entre el controlador del cobot i el servidor.py mitjançant un cable Ethernet. Per tant, l'arquitectura tècnica del sistema quedarà definit segons la figura següent:

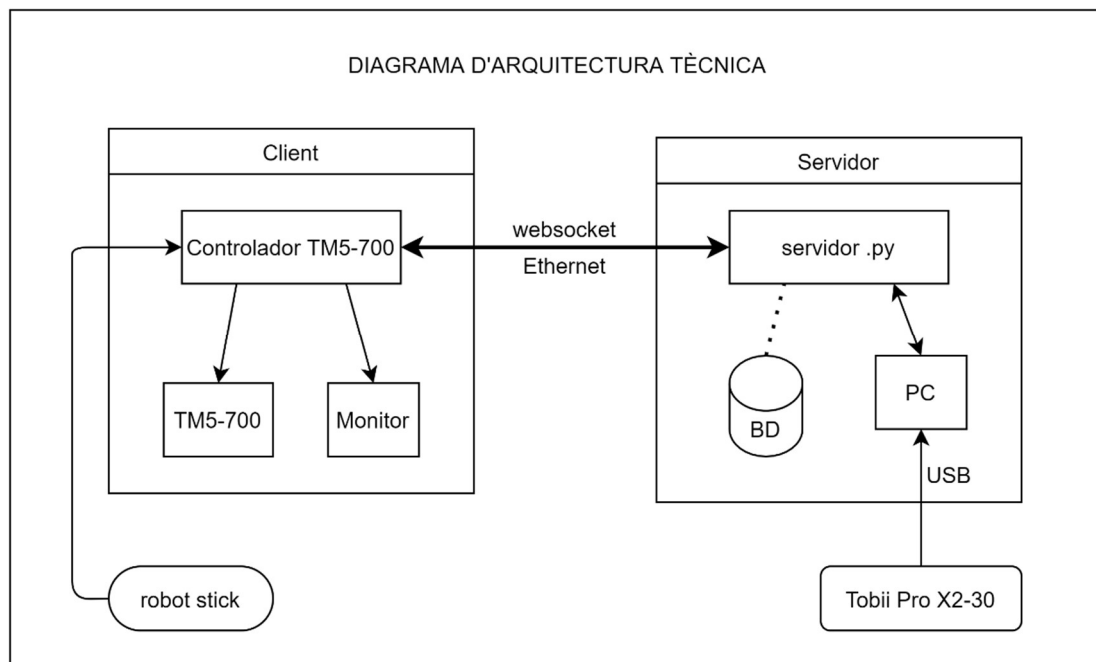


Figura 6.1.- Diagrama d'arquitectura tècnica del sistema.

Font: Elaboració pròpia.

6.1. Calibratge Tobii

Abans de començar amb el disseny de l'aplicació s'han de configurar i definir certs paràmetres i bases del Tobii Pro X2-30 per que aquest pugui treballar correctament en l'escenari proposat. Aquesta posada a punt es farà segons el *Tobii Pro X2-30 User's manual* [10], referenciat al final del document.

Tot i que el Tobii Pro X2-30 ja té un sistema de calibratge automàtic, s'ha considerat pertinent realitzar una comprovació de captura i resultats i un segon calibratge, amb el software Tobii Pro Lab. Aquest programari, està pensat inicialment per treballar amb aquests dispositius i dur a terme estudis de comportament i anàlisi de resultats de múltiples tipus. El calibratge s'ha dut a terme tal com indica el *Pro Lab User's manual* [30], referenciat al final del document.

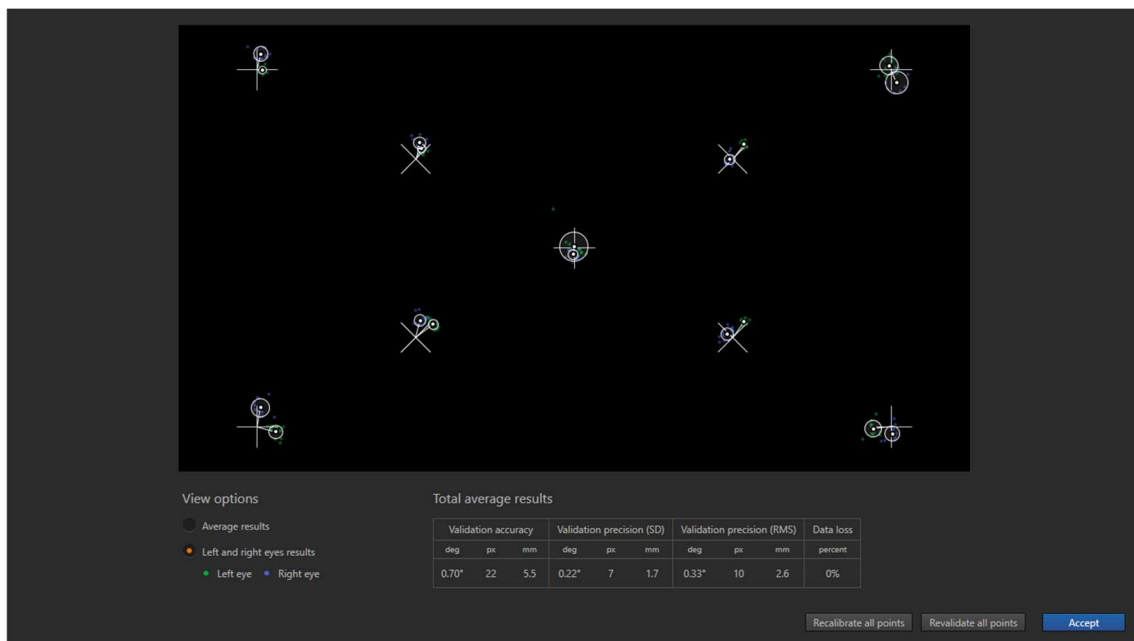


Figura 6.2.- Resultat del calibratge del Tobii Pro X2-30 amb el Pro Lab.

Font: Elaboració pròpia.

La anterior figura valida el funcionament del Tobii Pro X2-30 juntament amb la seva precisió de captura. A més a més, es determina l'espai de treball de l'eye tracking, tal com es mostra a la figura següent.

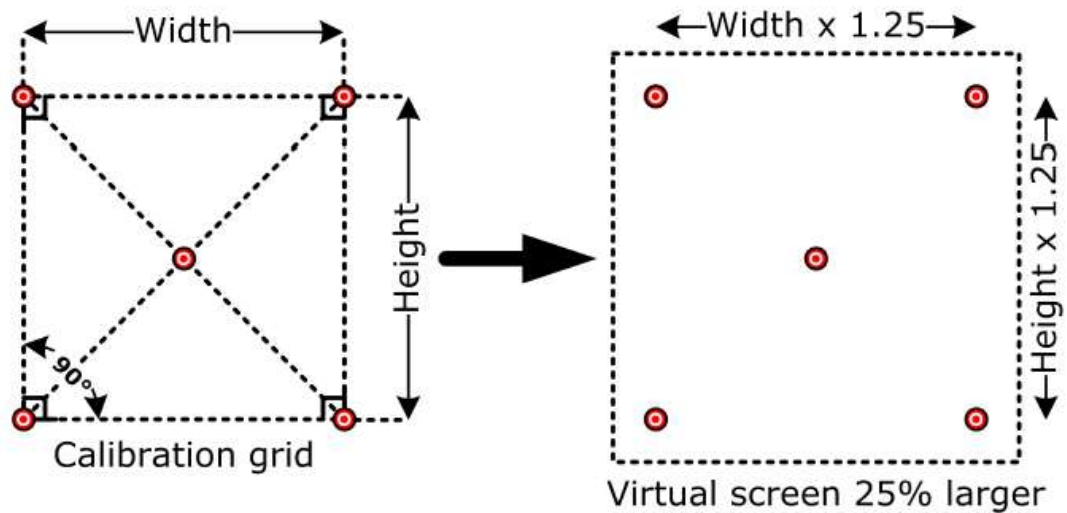


Figura 6.3.- Espai de treball del eye tracking (Calibration board)

Font: [30]

El rang de distància òptim de treball de l'usuari respecte el dispositiu, segons l'annex B del *Tobii Pro X2-30 User's manual*, queda definit de la següent manera, segon les dimensions del monitor:

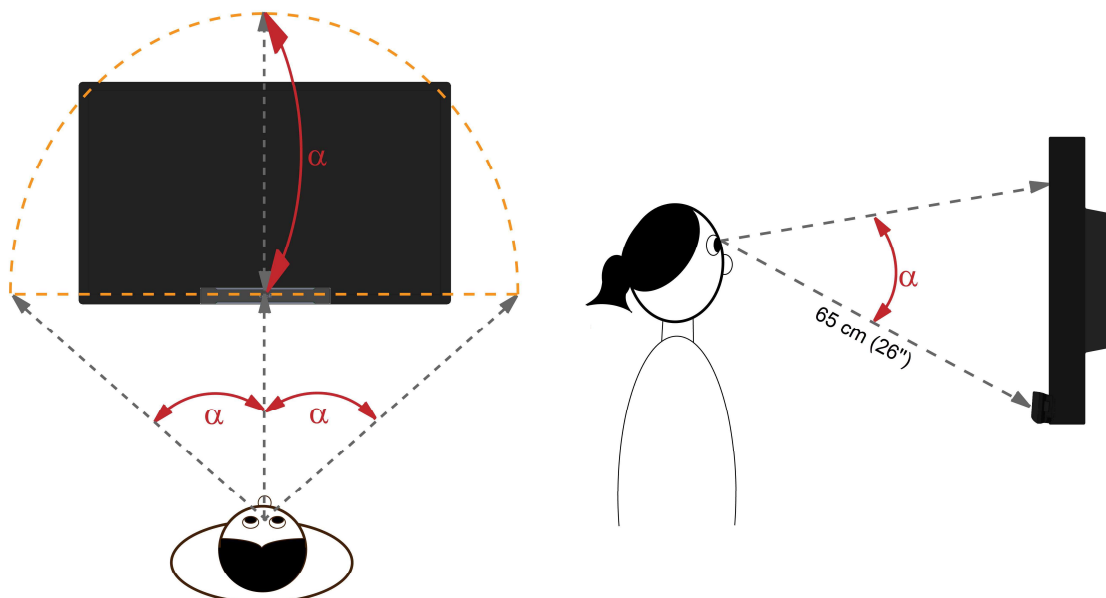


Figura 6.4.- Relació angle-distància d'ús del Tobii Pro X2-30.

Font: [10]

A continuació, s'exposa la taula de distàncies màximes de captura calculades dins d'un angle d'observació de 36° i, per tant, són adequades pel registre amb el Tobii X2-30.

Aspect ratio	Mida màxima de visualització	
	Inch ["]	Centímetre [cm]
16:9	25"	63.5 cm
16:10	24"	60.96 cm
4:3	22"	55.88 cm
5:4	22"	55.88 cm

Taula 6.1.- Relació Aspect ratio – Mida de visualització.

Font: [10]

Aquests resultats de visualització estan basats en un seguit d'experiments realitzats amb participants sense accessoris de suport visual, amb una il·luminació estàndard d'oficina i sense interferència lumínica per elements externs. [10]

Finalment, s'estableix la cantonada superior esquerra com el punt $[0, 0]$ i la cantonada inferior dreta com el punt $[1, 1]$, ergo, les dades capturades del Tobii, van de 0 a 1, definint així l'espai de treball del Tobii Pro X2-30, tal com s'indica a la següent figura, on també s'exemplifica l'espai de treball i el principi de funcionament del Tobii Pro X2-30:

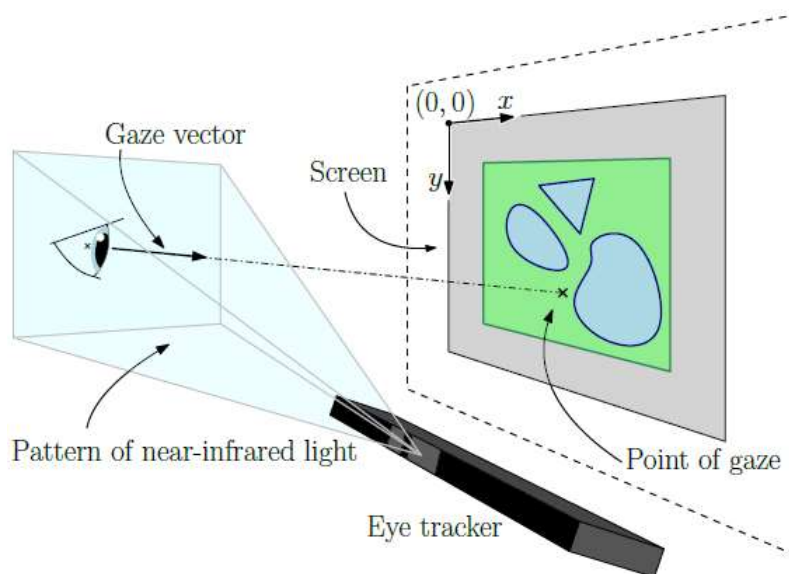


Figura 6.5.- Principi de funcionament del seguiment ocular.

Font: [31]

6.2. Setup

Un cop calibrats els dispositius pertinents a l'aplicació, es prossegueix a organitzar la distribució dels equips i dispositius. Aquesta queda definida segons la següent imatge, on a continuació d'aquesta es definirà cada component o dispositiu pertinent a l'aplicació.

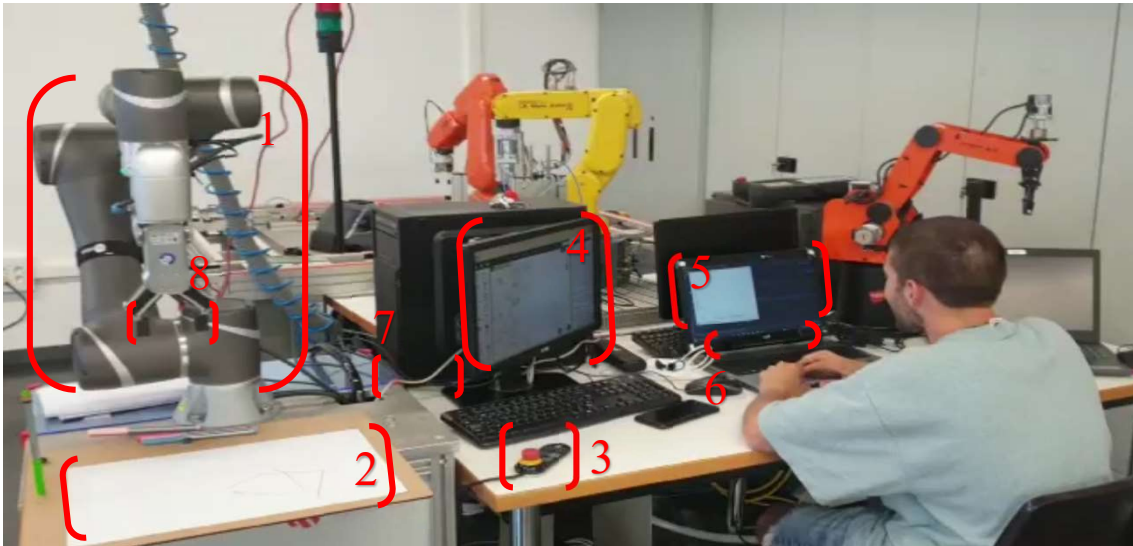


Figura 6.6.- Setup de l'aplicació.

Font: Elaboració pròpia.

Components i dispositius:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Cobot-arm: TM5-700. | 5. Ordinador portàtil (servidor). |
| 2. Espai treball cobot (DIN A3). | 6. Tobii Pro X2-30. |
| 3. Robot stick (control remot). | 7. Cable Ethernet. |
| 4. Monitor controladora cobot. | 8. Pinça 3D |

La distribució establerta permet al projectista tenir un accés fàcil i ràpid a qualsevol dispositiu en cas de algun tipus de problema o averia, per tal d'executar la parada d'emergència del sistema.

L'espai de treball del cobot ve definit per un taulell de fusta dissenyat pel projectista, plànol de la qual es podrà trobar en el document de planós pertinent a la memòria, i tallat amb la impressora làser del centre. Els seus límits o punts de referència són variables segons la configuració del programari establert pel projectista.

6.3. Arquitectura del software

Un cop definida la configuració i distribució dels pertinents components de l'aplicació, a continuació es prossegueix a definir i explicar el programari de l'aplicació. Per fer-ho, s'ha dividit en dos capítols, en el primer s'explicarà el programari propi del host.py i el segon s'explicarà el programari del robot.

Per tal de desenvolupar l'aplicació s'han utilitzat un conjunt de llibreries que han ajudat a agilitzar la realització del programari, la més pertinent, Tobii Pro SDK (*tobii_research*) gràcies a la qual s'ha aconseguit el funcionament del Tobii, per tant, obtenir captures fiables del seguiment ocular. Cal comentar que aquesta llibreria té algunes restriccions de compatibilitat tant amb sistemes operatius com amb llenguatges de programació:

	Windows 32 bit	Windows 64 bit	Linux 64 bit	MAC OS X 64 bit
Supported version	7, 8, 10	7, 8, 10	Ubuntu 16.04 and 18.04	10.13 and 10.14

Taula 6.2.- Compatibilitat amb versions dels respectius SO.

Font: [32]

	.NET 4.5	Python 2.7, 3.6	Matlab 2016 A & B, 2015 B Octave 4.2.2	C
Windows	Yes	Yes	Yes	Yes
Mac	No	Yes	Yes	Yes
Linux	No	Yes	Yes	Yes

Taula 6.3.- Compatibilitat amb llenguatges de programació.

Font: [32]

Tenint en compte les taules anteriors, el programari s'ha desenvolupat amb un ordinador portàtil amb Windows 10 com a SO i amb la versió de Python 3.6.

A continuació, es prossegueix a definir els dos programaris pertinents, *Socket-host Python* i *Cobot TMFlow*.

6.3.1. Socket-host Python

Pel que fa al programari pertinent a la component de captura de dades de l'aplicació de control desenvolupada, aquest ve definit pel següent diagrama de flux:

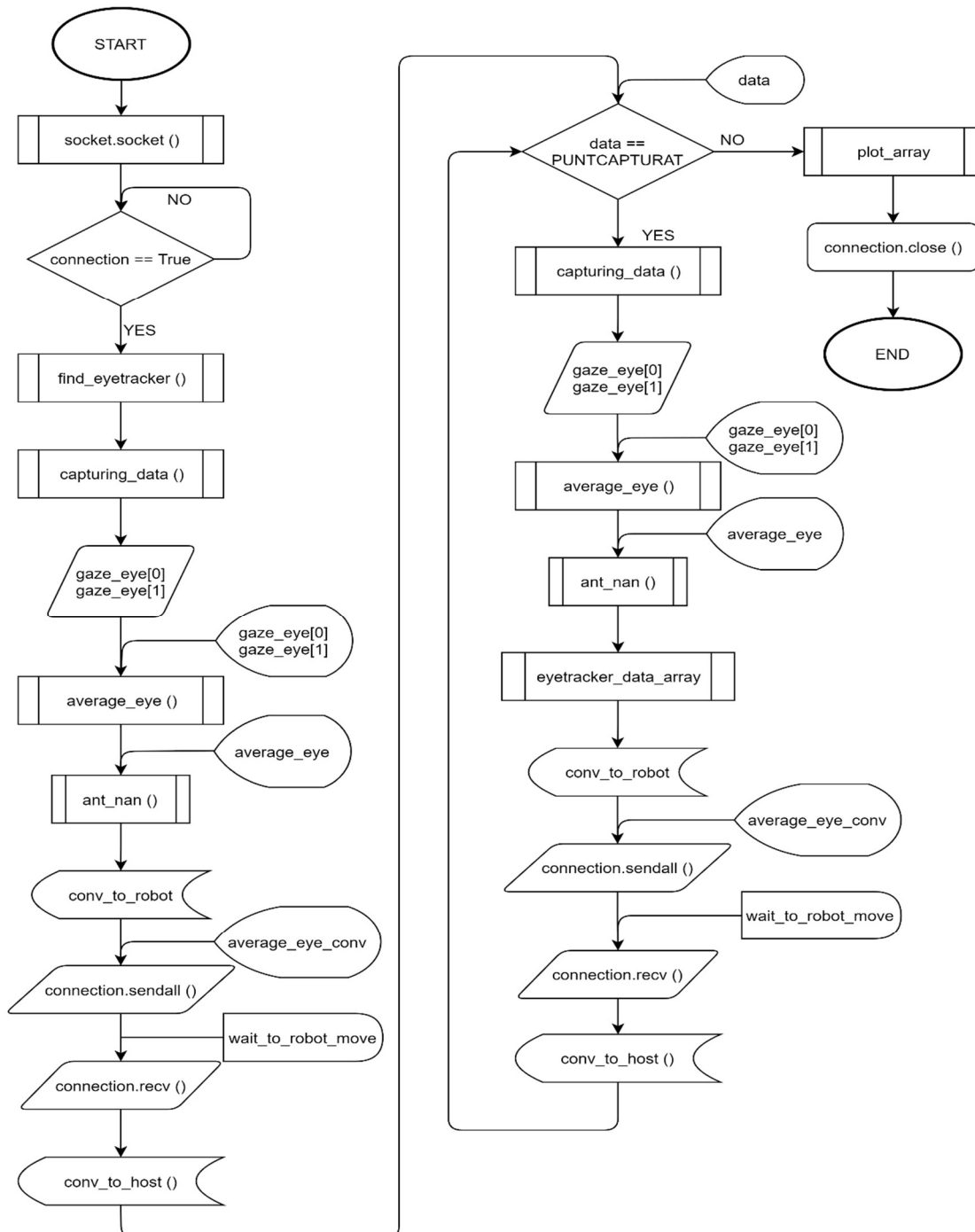


Figura 6.7.- Diagrama de flux de la component de captura i tractament de dades de l'aplicació.

Font: Elaboració pròpia.

Bàsicament, l'aplicació es pot dividir en dos parts, la primera part, la branca de l'esquerra, correspondria a la inicialització, establiment del servidor, connexió amb el client i el Tobii Pro X2-30 i, finalment la captura del primer punt, anomenat punt de referència a partir d'ara.

Un cop finalitzada la primera part, s'inicia la segona, la branca de la dreta, aquesta fa referència al bucle de captura. Aquest bucle es constant fins que el missatge del robot no correspon a l'esperat, en aquest cas s'extreu la gràfica de punts resultants i es finalitza desconnectant el servidor.

Per una banda, la rúbrica de interpretació dels blocs del diagrama de flux es pot trobar annexada en el document d'annexos.

Per altre banda, les llibreries utilitzades per l'elaboració de l'aplicació són les següents:

Llibreries Python.		
Codi	Nom	Definició
1	tobii_research	Mòdul de Tobii Pro SDK, disposa de totes les funcions pertinents al funcionament del Tobii.
2	time	Mòdul que aporta múltiples funcions relacionades amb la variable temps.
3	socket	Mòdul que aporta accés al BSD socket. Permet l'establiment de la connexió websocket.
4	pylab	Interfície de procediment de la llibreria de traçat orientat a objectes Matplotlib.
5	numpy	Mòdul essencial per a la informàtica científica amb Python.
6	PIL	Python Imaging Library.
7	winsound	Mòdul que aporta accés a la reproducció de so bàsica de la plataforma Windows.
8	func_aplicacion_CRAWE	Llibreria de funcions desenvolupades per la implementació de l'aplicació.

Taula 6.4.- Taula de llibreries utilitzades.

Font: Elaboració pròpia.

El codi de l'aplicació es troba annexat al document d'annexos de la memòria, allà trobareu el codi degudament comentat en cas de voler saber específicament el format del codi i de les funcions desenvolupades.

A continuació, s'expliquen els blocs més pertinents, en especial els referents a les funcions del programari, ubicades a la llibreria *func_aplicacion_CRAWE*:

socket.socket ():

En aquesta funció inicialitza el servidor i s'estableix la connexió amb el client (cobot), en cas que no hi hagi s'estableixi el servidor queda obert a la espera. La connexió s'estableix via TCP/IP assignant la IP i el port de connexió pertinents.

find_eyetracker ():

Funció resultant de l'aplicació de la llibreria *tobii_research*, s'utilitza per buscar algun dispositiu Tobii connectat a la maquinària i establir connexió amb ella un cop localitzada. Aquesta s'ha modificat lleugerament per adaptar-se a les necessitats de programació i per a que expulsi dades rellevants del dispositiu.

capturing_data ():

Funció de captura del Tobii, resultat de l'aplicació de la llibreria *tobii_research*. Bàsicament, el que es realitza aquí és una subscripció al Tobii Pro X2-30 per a que inici la captura de dades (ubicació ull esquerra i ubicació ull dret), donant un cert temps de marge per a que l'usuari tingui temps per centrar-se i localitzar el punt desitjat a capturar.

Un cop finalitzat el temps de captura s'emmagatzemen les últimes captures, de cada ull, per després poder treballar amb elles i enviar-les al cobot. Per últim, comentar que, per avisar l'usuari de l'inici de l'estat de captura de dades, s'emet un soroll d'avis gràcies a l'aplicació de la llibreria *winsound*.

Cal comentar que les dades obtingudes amb aquesta funció (ubicació ull esquerra i ubicació ull dret) tenen dos components (x, y). Aquestes tindran el nom de *gaze_left_eye* i *gaze_rigth_eye*.

average_eye ():

En aquesta funció es realitza la mitjana de les components (x, y) dels punts capturats (ubicació ull esquerra i ubicació ull dret), per obtenir el punt de mirada final capturat pel Tobii.

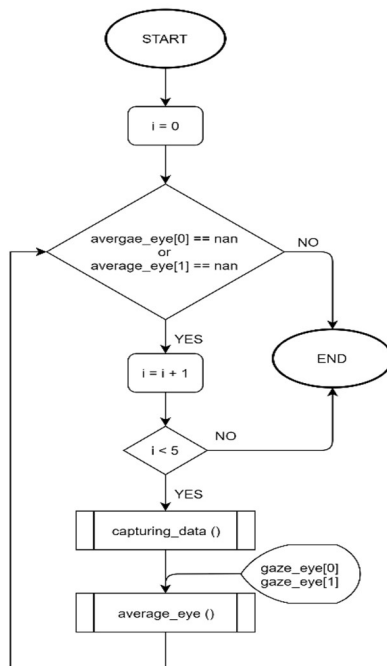
ant_nan ():

Figura 6.8.- Diagrama de flux de la funció *ant_nan*.

Font: Elaboració pròpia

Funció de verificació de les dades obtingudes, aquesta ve definida pel diagrama de flux de la *figura 6.8*.

Quan el Tobii directament no enregistra un valor acceptable o bàsicament no detecta els ulls de l'usuari, en el temps establert en la funció de *capturing_data ()*, la dada que extreu es *nan* (not a number). Aquesta funció serveix per detectar aquestes situacions i reitera la captura, és a dir, tornar a executar la funció *capturing_data ()*, fins que, o s'obtingui una captura acceptable o s'hagin realitzat 5 intents de captura i no s'hagi realitzat cap captura acceptable.

Per fer-ho, s'ha establert el bucle de la figura, al finalitzar-se el programari prossegueix segons s'estableix al diagrama de flux de l'aplicació (*figura 6.7*).

eyetracking_data_array ():

Funció encarregada d'emmagatzemar cada captura realitzada durant la sessió en una matriu bidimensional. Aquesta matriu inicialment serà una [2 x 2] de zeros i s'aniran afegint columnes amb cada captura, per tant, les files (1, 2) de la matriu corresponen a les coordenades (x, y) de les captures, respectivament, i les columnes al numero de captura realitzades, resultant una matriu [2 x n], on n es el numero de captures realitzades.

conv_to_robot ():

Aquesta funció serveix per realitzar dues accions:

La primera, convertir els punts capturats en el pla del monitor/Tobii, anteriorment definit, al pla de treball establert pel robot el qual és a criteri del projectista i es variable segons l'aplicació.

La segona, adaptar el format de les dades obtingudes per enviar-les a través del protocol websocket. Per fer-ho, aquestes dades s'han de convertir en format byte, tal com exigeix el protocol.

conv_to_host ():

Aquesta funció, al igual que l'anterior, serveix per modificar el format de les dades, en concret, en aquest cas les dades enviades pel robot amb destinació al servidor.

plot_array ():

Finalment, la última funció executada del programari, serveix per extrapolar en forma de gràfic la matriu de dades resultant del experiment realitzat. Per fer-ho, s'estableix com l'eix x del gràfic les components x de la matriu i el mateix amb l'eix y i les components y de la matriu. Obtenint un gràfic com el que es pot veure més endavant a la *figura 6.11*.

6.3.2. TMFlow

Pel que fa a el programari relatiu al funcionament del Cobot, TMFlow, aquest ve definit pel següent diagrama de flux:

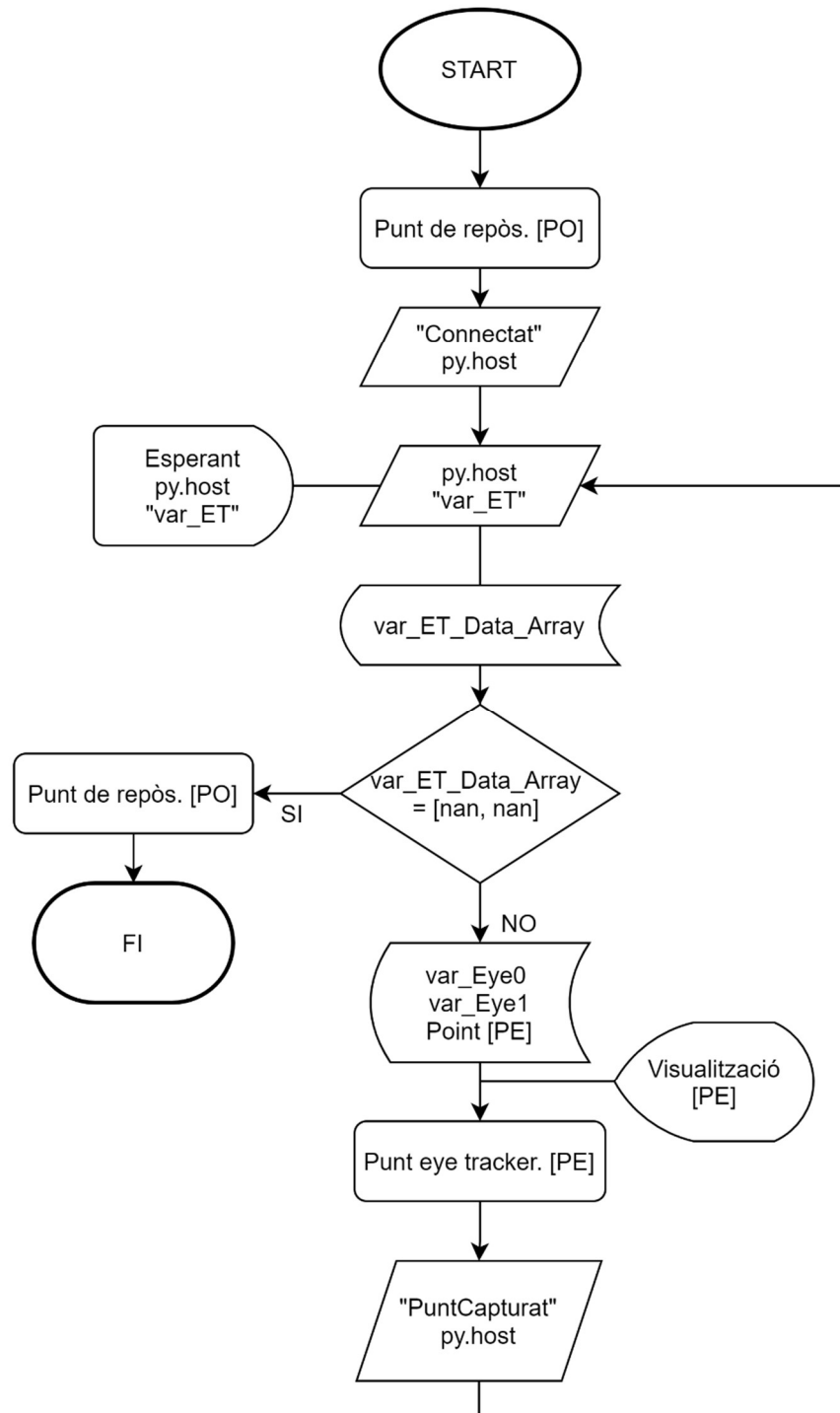


Figura 6.9.- Diagrama de flux de la component del cobot de l'aplicació.

Font: Elaboració pròpia.

La component del robot de l'aplicació de control dissenyada, en primera lloc, partint del punt de repòs [PO], espera l'entrada de la variable enviada per l'aplicació, un cop obtinguda la converteix en una *array* o matriu de dades en format *string*.

En segon lloc, comprova si aquesta variable són coordenades o [nan], en el primer cas segueix amb el programari, en el segon cas, finalitza el programari tornant al punt de repòs [PO].

En tercer lloc, extreu la component (x, y) de la variable anterior, obtenint dos variables independents, per després, assignar aquestes variables a la component (x, y) del punt objectiu [PE], equivalent a la ubicació capturada pel Tobii però en el pla de treball del robot.

La configuració dels punts son en funció de les necessitats o desitjos de l'aplicació i del programador. Les components són, en primer lloc, les coordenades (x, y, z) respecte la base del robot, i, en segon lloc, la rotació en (x, y, z) també respecte la base. Per exemple, per l'aplicació desenvolupada el punt [PE] s'ha definit de la següent manera:

$$[PE] = [var_Eye0, va_Eye1, z, Rx, Ry, Rz]$$

On, *var_Eye0* i *var_Eye1*, són les variables on s'assignen les components (x, y) capturades pel Tobii. Z, la qual es fixe i *Rx*, *Ry* i *Rz* que corresponen a la rotació dels eixos del robot en funció de la base d'aquest.

Finalment, un cop ha arribat a la posició determinada pel punt [PE], s'envia un missatge de "PUNTCAPTURAT" al servidor indicant que el robot ha aconseguit el seu objectiu i que es troba a la espera d'un altre input. En aquest moment torna a entre en acció el programari de captura de dades i el robot queda a l'espera.

Cal comentar, a més a més, que també s'ha dissenyat un segon programari amb el TMFlow per tal de calibrar les variables dels punts i l'espai de treball del robot de forma ràpida i precisa, però aquest no s'ha expressat en diagrama de flux a causa de la seva simplicitat i falta d'impacte sobre l'aplicació, ja que en un inici els punts es van calibrar manualment amb igual precisió.

6.4. Experiment final

Finalment, l'experiment escollit per validar el funcionament de l'aplicació consisteix en fer dibuixar el robot 4 figures geomètriques bàsiques. A continuació, es resumeix breument el funcionament de l'experiment tenint en compte l'aplicació de control exposada anteriorment. Les figures geomètriques pertinents són:

1. Triangle.
2. Rectangle.
3. Pentàgon.
4. Estrella de 5 puntes.

Un cop establerta la connexió host – client el cobot es prepara per realitzar l'experiment, agafant l'eina pertinent (retolador de colors) i el programari establirà connexió amb el Tobii Pro X2-30. Seguidament, se li deixarà escollir a l'usuari la figura que es desitgi dibuixar d'entre les opcions anteriors. Un cop escollida, aquesta apareixerà en pantalla en una nova finestra. Llavors, s'inicialitzarà el procés de captura, i l'aplicació de control dissenyada i anteriorment explicada. En aquest moment, és quan l'usuari haurà d'observar els vèrtex de les figures per tal que l'eye tracker capturi les coordenades pertinents i el programari les envii al cobot per a que realitzi el moviment, ergo el dibuix.

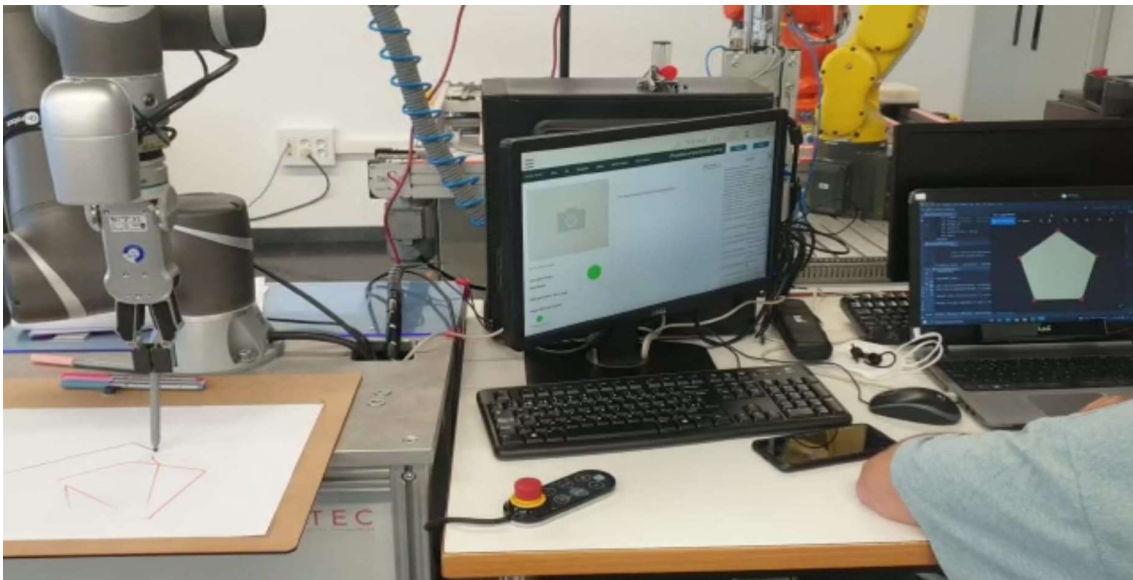


Figura 6.10.- Exemple d'implementació de l'exercici.

Font: Elaboració pròpia.

És pertinent comentar que el primer punt escollit es considera el punt de referència o d'inici i no compta com a punt de la figura, per la qual cosa l'usuari haurà de capturar tots els punts pertanyents a la figura sense tenir en compte el d'inicialització.

Un cop finalitzada la figura, si no es desitja seguir dibuixant, l'usuari només ha d'apartar la mirada del monitor fins que el programari acabi el seu cicle "ant_nan". En aquest cas, l'aplicació entendre que no hi ha usuari, que l'exercici ha finalitzat i per tant el cobot deixarà l'eina al seu suport i tornarà a la posició de repòs per defecte, finalitzant l'exercici completament.

Aturat el cobot i arribat a la posició de repòs, el programari obrirà una nova finestra amb un gràfic de punts que representarà els punts capturats per l'usuari amb el Tobii Pro X2-30 durant l'experiment, i així poder comparar els diferents resultats obtinguts durant l'exercici.

Es pertinent comentar que per l'aplicació desenvolupada les variables z , R_x , R_y i R_z referents als punts del robot, s'han deixat fixes. Principalment, perquè el Tobii només captura en el pla (x, y), però també per simplificar l'aplicació desenvolupada.

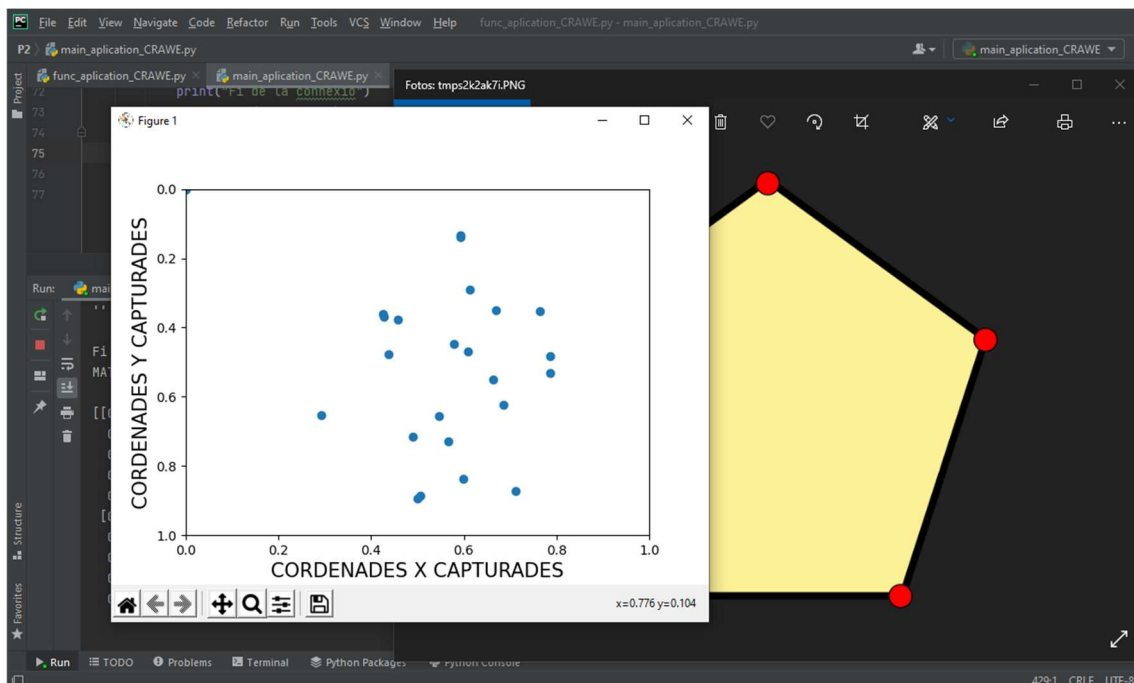


Figura 6.11.- Exemple de resultat d'un exercici/prova.

Font: Elaboració pròpia.

7. Anàlisi de resultats

A continuació, s'exposen els resultats dels experiments realitzats per, més endavant, dur a terme un anàlisi qualitatiu del funcionament de l'aplicació i identificar possibles millores.

Imatges de les figures de mostra/referència proporcionades per tal de realitzar l'exercici:

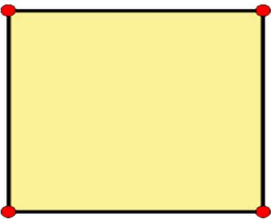
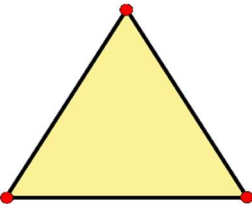
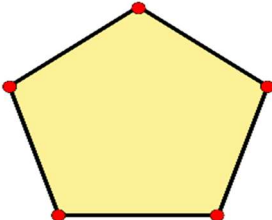
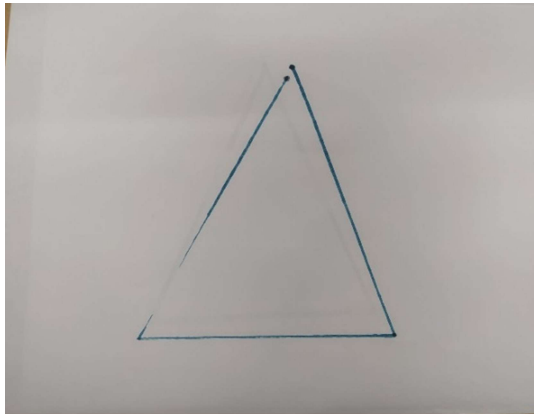
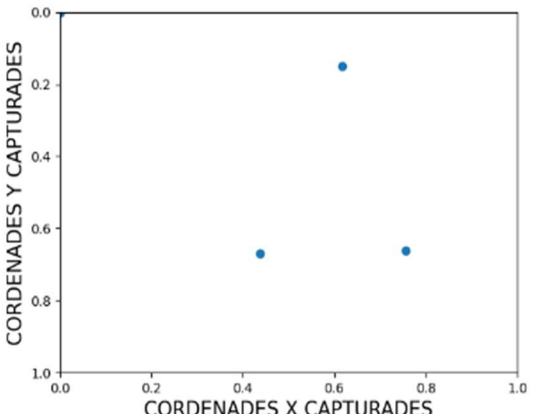
Figures geomètriques de referència per l'experiment.		
Figura 1. Rectangle [33]	Figura 2. Triangle [34]	Figura 3. Pentàgon [35]
		

Figura 7.1.- Figures geomètriques de referència.

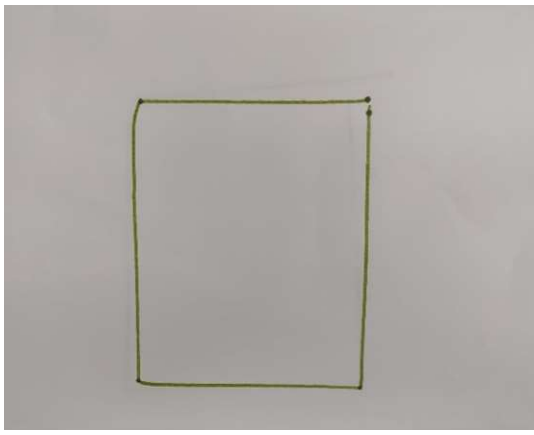
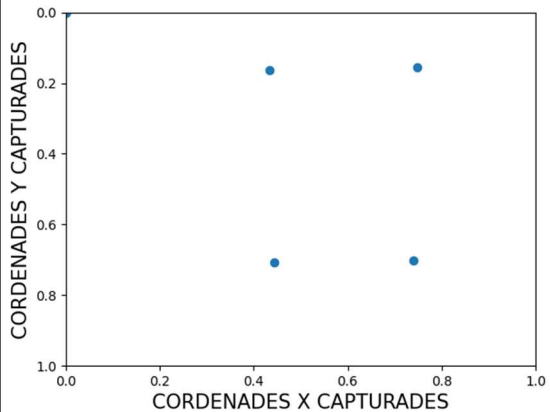
Font: Elaboració pròpia.

A continuació, els resultats dels experiments realitzats:

Núm. experiment:	1	Tipus:	Triangle	Usuari/a:	1
Dibuix resultat Cobot:			Gràfic resultat Tobii:		
					

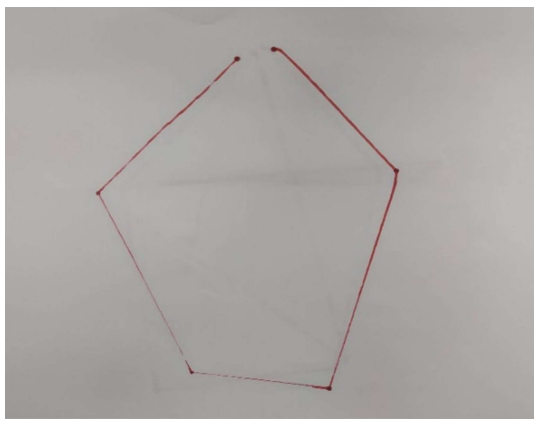
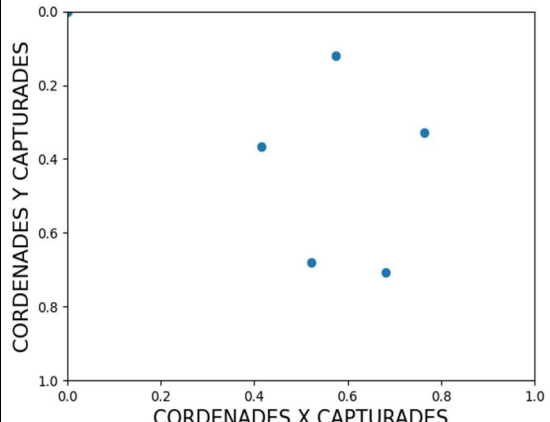
Taula 7.1.- Resultat experiment 1 – Triangle

Font: Elaboració pròpia.

Núm. experiment:	2	Tipus:	Rectangle	Usuari/a:	1
Dibuix resultat Cobot:			Gràfic resultat Tobii:		
					

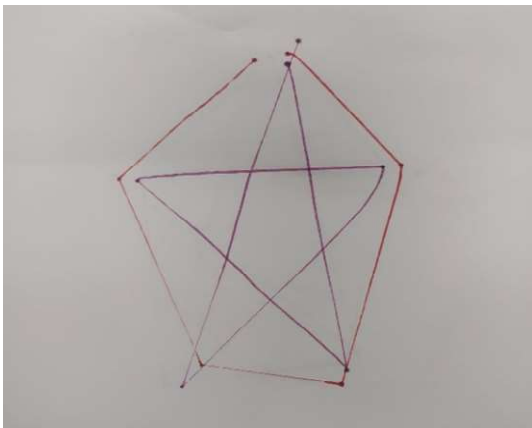
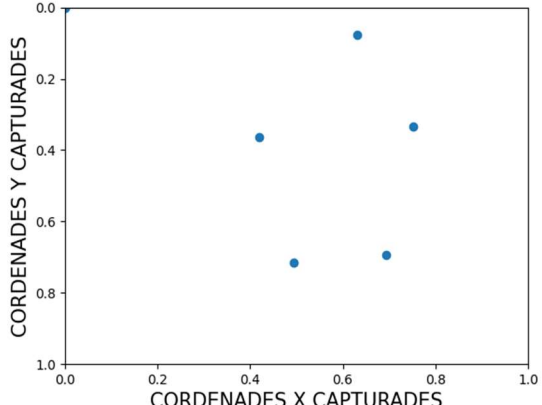
Taula 7.2.- Resultat experiment 2 – Rectangle.

Font: Elaboració pròpia.

Núm. experiment:	3	Tipus:	Pentàgon	Usuari/a:	1
Dibuix resultat Cobot:			Gràfic resultat Tobii:		
					

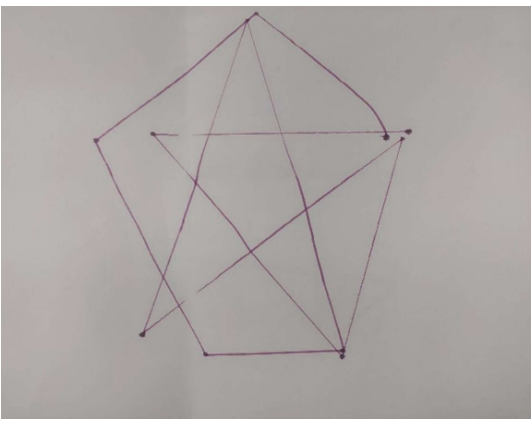
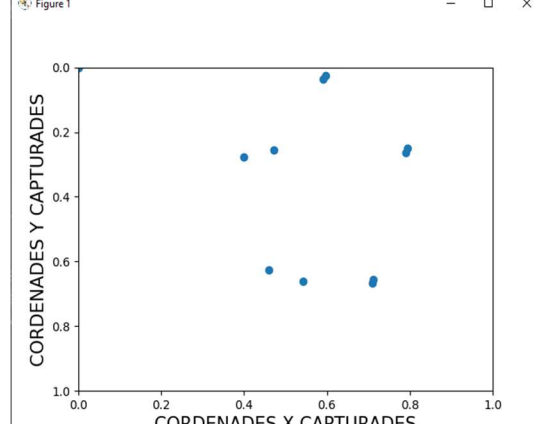
Taula 7.3.- Resultats experiment 3 – Pentàgon.

Font: Elaboració pròpia.

Núm. experiment:	4	Tipus:	Estrella	Usuari/a:	1
Dibuix resultat Cobot:			Gràfic resultat Tobii:		
					

Taula 7.4.- Resultats experiment 4 – Estrella (sobre pentàgon).

Font: Elaboració pròpia.

Núm. experiment:	5	Tipus:	Pentàgon-Estrella	Usuari/a:	2
Dibuix resultat Cobot:			Gràfic resultat Tobii:		
					

Taula 7.5.- Resultats experiment 5 – Pentàgon-Estrella.

Font: Elaboració pròpia.

A continuació, un cop mostrat els resultats es prossegueix amb l’anàlisi qualitatiu, aquest es farà mitjançant 3 anàlisis comparatius:

Anàlisi comparatiu 1: experiment 1 – 2 – 3.

Si es comparen els 3 resultats produïts pel cobot respecte les imatges de referència de la *taula 7.1*, s'observa que l'experiment 1 (triangle) i 2 (rectangle) han sorgit amb un bon acabat, en canvi, en l'experiment 3 (pentàgon) s'hi pot trobar alguna mancança.

Ara bé, si es comparen els 3 resultats produïts pel cobot respecte els gràfics extrets dels punts capturats pel Tobii es veu clarament, sobretot en l'experiment 3 (pentàgon), la relació de distribució dels punts en els dos plans de treball, verificant en primera instància la funcionalitat de l'aplicació.

Anàlisi comparatiu 2: experiment 3 – 4.

Aquests dos experiments han estat realitzats sobre la mateixa fulla de paper per facilitar la comparativa.

Si es comparen els resultats produïts pel cobot de la *taula 7.4* s'observa una relació entre l'experiment 3 (pentàgon) i el 4 (estrella) exceptuant per una petita desviació en el punt inferior esquerre, l'únic punt de l'estrella que no queda inclòs dintre del perímetre del pentàgon.

Si ara es comparen els resultats dels gràfics produïts per les captures del Tobii, s'aprecia la mateixa relació i distorsió que en el cas anterior, verificant en segona instància la funcionalitat de l'aplicació.

Anàlisi comparatiu 3: experiment 5.

En aquest experiment s'ha enllaçat la realització del pentàgon amb el de la estrella. En aquest cas la comparativa es realitza entre els dos resultats produïts, principalment amb la desviació de distribució dels punts entre l'estrella i el triangle.

Com es pot veure clarament en la *taula 7.5*, els 3 punts coincidents entre l'estrella i el triangle concorden amb un petit marge en ambdós resultats. El mateix passa amb la relació de posició dels 2 punts restants, en els quals s'aprecia la mateixa desviació entre ells tant en el gràfic extret dels punts capturats pel Tobii, com pel dibuix produït pel robot.

Aquest fet, finalment, verifica en tercera i última instància la correcta funcionalitat de l'aplicació dissenyada.

8. Planificació

En aquest capítol es detalla la planificació de l'avantprojecte i del projecte de detall utilitzant l'eina de gestió de projectes, MS Project. El projecte en qüestió té una durada total de 426 hores, les corresponents als 16 crèdits destinats al treball final de grau. El calendari base del projecte consta de 2 hores diàries de treball, principalment de 15:00h a 17:00h de la tarda, de dilluns a divendres. El canvi de trimestres no afecta a la planificació del projecte de detall, ja que des de el principi es va establir aquest horari coneixent la seva disponibilitat durant tot el curs.

Per realitzar la correcta planificació del projecte de detall, s'han repartit les hores en funció de les respectives activitats del projecte, optimitzant d'aquesta manera la planificació i facilitant el seu seguiment. Per tant, els recursos del projecte seran les hores invertides i assignades de forma independent en cada activitat del projecte. A la taula següent es poden veure les diferents memòries a lliurar, les hores invertides en la seva realització i la respectives dates d'entrega.

Memòria	Lliurament	Duració [hores]	Data d'entrega
Avantprojecte	Memòria 1: Avantprojecte	166	12/2/2021
Projecte de detall	Memòria 2: Memòria Intermèdia	260	22/4/2021
	Memòria Final		18/6/2021
	Total:	426	

Taula 8.1.- Duració en hores dels diferents lliuraments de cada memòria.

Font: Elaboració pròpia.

8.1. Planificació del avantprojecte

L'avantprojecte té una durada total de 166 hores, iniciant-se el 18 de novembre de 2020 y finalitzant el 11 de febrer del 2021, corresponent a tot el primer trimestre de l'últim curs. Tot i això, per tal d'assegurar el compliment de la planificació s'ha estipulat un marge general del 10 % a totes les activitats y un extra del 5 % per aquelles activitats de més risc.

Tot seguit es mostra una taula amb totes les activitats corresponents al avantprojecte, la seva respectiva duració, un cop aplicats els marges de seguretat, i les seves activitat predecessora. Posteriorment es descriu breument la feina realitzada en cada activitat.

En cada tasca s'inclou el temps de documentació i estudi pertinent a no ser que prèviament s'indiqui el contrari.

Núm.	Nom de l'activitat	Duració (h)	Activitat predecessora
1.1.1	Definició d'objectius.	7	--
1.2.1	Recerca en tractament de senyal i dades.	17	1.1.1
1.2.2	Estudi sobre la tecnologia d'eye tracking.	17	1.1.1
1.2.3	Recerca sobre la Indústria 4.0.	17	1.1.1
1.2.4	Estat de la robòtica col·laborativa.	17	1.1.1
1.2.5	Estudi d'aplicacions mèdiques.	14	1.1.1
1.3.1	Definició de l'abast.	5	1.2.1; 1.2.2; 1.2.3;1.2.4; 1.2.5;
1.4.1	Objectius i les especificacions tècniques.	12	1.3.1
1.C.1	Primera correcció.	6	1.4.1
1.5.1	Proposta de solucions alternatives.	10	1.C.1
1.6.1	Viabilitat tècnica.	17	1.5.1
1.6.2	Viabilitat econòmica.	5	1.5.1
1.6.3	Viabilitat mediambiental.	7	1.5.1
1.7.1	Proposta de solució final.	7	1.6.1; 1.6.2; 1.6.3
1.8.1	Planificació del avantprojecte.	7	1.7.1
1.8.2	Planificació del projecte de detall.	10	1.8.1
1.9.1	Elaboració del pressupost.	5	1.8.1; 1.8.2
1.10.1	Documentació i redacció del avantprojecte.	12	1.9.1

1.C.2	Segona correcció.	6	1.10.1
1.11.1	Lliurament del avantprojecte.	3	1.C.2
Total hores del avantprojecte.		192	

Taula 8.2.- Duració de les activitats del avantprojecte.

Font: Elaboració pròpia.

La taula completa amb tots els càlculs realitzats es pot trobar a l'annex de la memòria.

8.2. Descripció de les activitats del avantprojecte.

En aquest punt del capítol es definirà de forma breu i concreta el treball desenvolupat en cada una de les activitats exposades en la taula anterior.

Objectius (1.1):

Es concreta l'objectiu d l'objecte del projecte en qüestió, responent a les preguntes clàssiques com: *Que?*; *Com?*; *Quan?*; *On?*; *Per què?*; *Perquè?* i *Per qui?*

Antecedents i necessitats d'informació (1.2):

Es realitza una estudi detallat de totes les àrees i conceptes relacionats amb la matèria i l'objectiu del projecte per tal d'establir les bases teòriques d'aquest i poder generar diferents solucions alternatives.

En concret:

- 1.2.1 – Tractament de senyal i dades.
- 1.2.2 – Tecnologia de l'eye tracking.
- 1.2.3 – Indústria 4.0
- 1.2.4 – Robòtica col·laborativa.

Abast (1.3):

Es defineix l'abast i els límits del projecte de forma general, en altres paraules, s'ha determinat el que inclou i el que no inclou el projecte en qüestió.

Objectius i especificacions tècniques (1.4):

S'especifica i es descriu en detall els objectius tècnics que persegueix el projecte i les seves especificacions. És a dir, es resolen els QUÈs i els COMs per aconseguir els objectius del projecte.

Proposta de solucions alternatives (1.5):

Es descriu i valora de forma crítica les diferents possibilitats per resoldre els objectius plantejats del projecte.

Anàlisi de viabilitat (1.6):

Es realitza un anàlisi a tres nivells (tècnic, econòmic i mediambiental) per tal de seleccionar la solució que finalment s'utilitzarà en el projecte, explicant les seves característiques i el seu funcionament.

Solució final (1.7):

S'exposa i es descriu com es desenvoluparà la solució final seleccionada, mitjançant l'anàlisi de viabilitat, detallant les seves característiques i explicant el seu funcionament.

Planificació (1.8):

Es desenvolupa la planificació, per una banda, de l'avantprojecte i per l'altra banda, del projecte de detall. Utilitzant l'eina de gestió de projectes MS Project s'ha realitzat l'execució de la planificació del projecte de detall, tal com es pot veure en aquest capítol.

Pressupost (1.9):

Es dur a terme la elaboració d'un pressupost aproximat del projecte de detall, en el qual s'ha estimat numèricament els costos i inversions necessàries per dur a terme l'aplicació o solució proposada amb anterioritat.

Redacció del avantprojecte (1.10):

Es realitza l'últim redactat i es tanquen els punts restants o inacabats de la memòria de l'avantprojecte per finalment adjuntar-ho tot en un mateix document. També s'inclou la realització dels Annexos i documentacions secundàries a la memòria.

Lliurament (1.11):

Es finalitza totalment la elaboració del avantprojecte i es lliura la documentació pertinent al tutor ponent del projecte en qüestió.

8.3. Diagrama de GANTT avantprojecte

El diagrama de GANNT representa gràficament la organització de la planificació del avantprojecte. En aquest, es pot identificar les activitats pertanyents al camí crític (en vermell), a més, a esquerra i dreta de cada activitat es mostra l'inici i el final d'aquestes respectivament, també, a la part inferior, s'indica el nom de l'activitat.

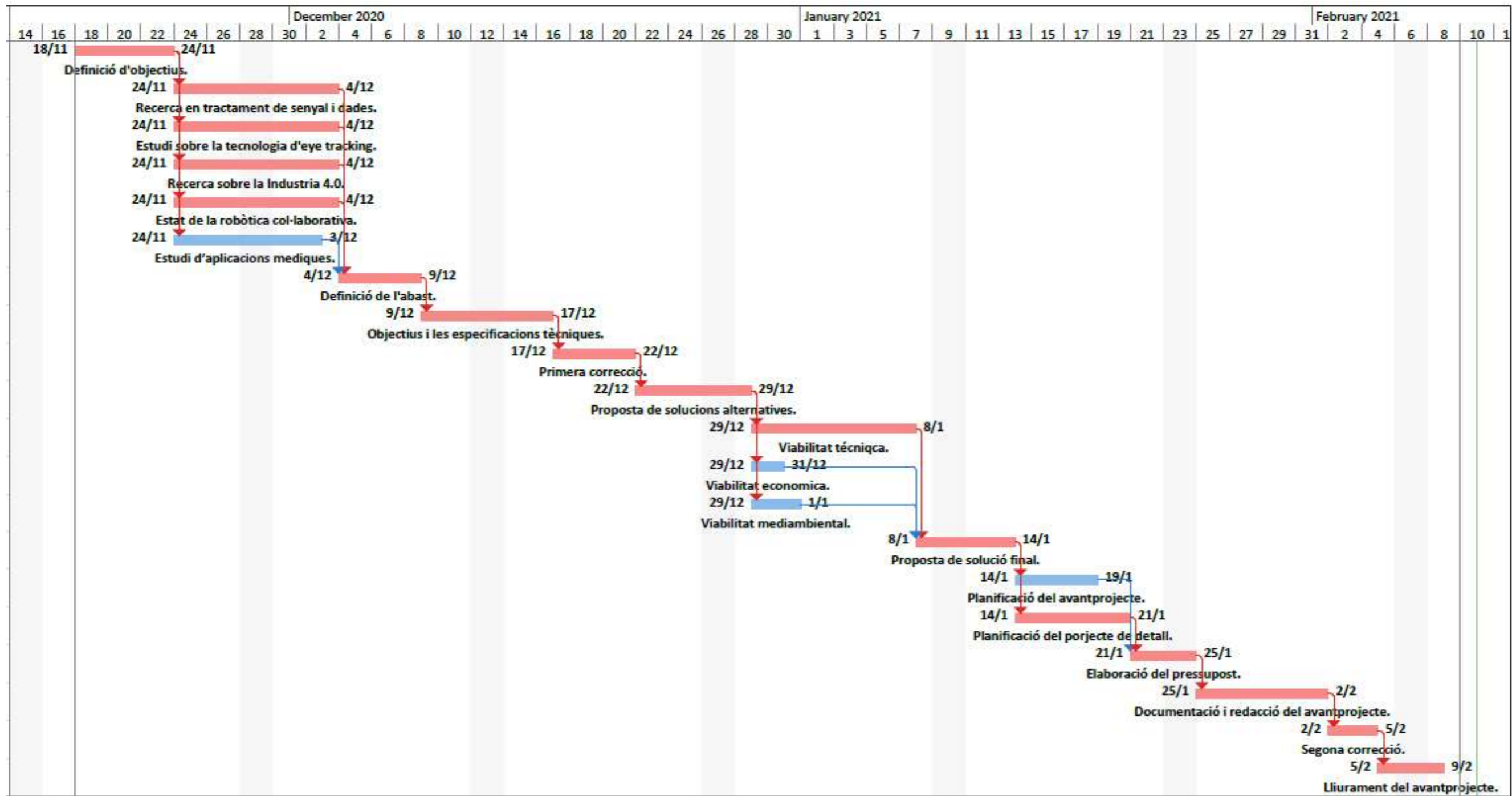


Figura 8.1.- Diagrama de GANTT del avantprojecte.

Font: Elaboració pròpia.

8.4. Planificació del projecte de detall

El projecte de detall s'inicia, un cop ja entregada la memòria de l'avantprojecte, el 22 de febrer del 2021 i es finalitza el 18 de juny, entregant la memòria final del projecte de detall. La durada del projecte de detall és d'un total de 260 hores, repartides entre el segon i tercer trimestre, equitativament. Tot i això, per tal d'assegurar el compliment de la planificació s'ha estipulat un marge general del 10 % a totes les activitats i un extra del 5 % per aquelles activitats de més risc.

Cal comentar que el projecte de detall s'inicia el dia 22 de febrer de 2021 per establir un temps de correcció, per part del ponent, del avantprojecte entregat el dia 12 del mateix mes, com a data límit.

Tot seguit es mostra una taula amb totes les activitats corresponents al projecte de detall, la seva respectiva duració en hores i la seva activitat predecessora. Posteriorment es descriu breument la feina realitzada en cada activitat.

A cada activitat s'inclou el temps de documentació i organització de la informació corresponent, a no ser que s'indiqui el contrari.

Núm.	Nom de la tasca	Duració (h)	Tasca predecessora
2.1.1	Correcció avantprojecte.	20	--
2.2.1	Estudi del funcionament i set-up del <i>Tobii Pro X2-30</i> .	16	--
2.2.2	Estudi del funcionament i set-up del <i>TM5 – 700</i> .	16	--
2.2.3	Estudi de l'arquitectura del software (<i>Python</i>).	16	--
2.2.4	Estudi del sistema de connectivitat entre dispositius.	16	--
2.2.5	Estudi de l'arquitectura del software en base Python.	16	--
2.2.6	Estudi i descripció de la realització del software segons l'aplicació desenvolupada.	16	2.2.1; 2.2.2; 2.2.3; 2.2.4; 2.2.5
2.3.1	Recopilació dels equips i dispositius necessaris per desenvolupar l'aplicació.	4	2.2.6
2.3.2	Muntatge i configuració dels dispositius.	16	2.3.1

2.3.3	Realització del l'aplicació.	45	2.3.2
2.3.4	Disseny i elaboració del espai de treball.	2	2.3.2
2.3.5	Documentació general del muntatge i elaboració de l'aplicació.	15	2.3.4; 2.3.3
2.4.1	Conclusions i anàlisi del funcionament de l'aplicació.	4	2.3.5
2.4.2	Documentació de desviacions i contingències del projecte.	16	2.4.1
2.4.3	Proposta d'accions de futur i millora de l'aplicació.	4	2.4.1
2.4.4	Correcció finals de la memòria del projecte.	16	2.4.3
2.5.1	Lliurament de la memòria final del projecte.	2	2.4.4
2.6.1	Elaboració de la presentació i defensa del projecte.	10	2.4.4
2.6.2	Preparació de la defensa del projecte.	10	2.6.1
Total hores del avantprojecte.		260	

Taula 8.3.- Activitats a realitzar al curs del projecte de detall.

Font: Elaboració pròpia.

La taula completa amb tots els càlculs realitzats es pot trobar l'annex de la memòria.

8.5. Descripció de les activitats del projecte de detall

En aquest punt del capítol es definirà de forma breu i concreta el treball desenvolupat en cada una de les activitats exposades en la taula anterior.

Correcció avantprojecte (2.1):

Es procedeix a millorar i canviar l'avantprojecte en funció de les directrius proposades pel ponent del treball en la seva correcció.

Estudi del set-up dels dispositius i del algorisme de l'aplicació (2.2):

Es dur a terme un estudi del entorn de treball dels dispositius i de l'arquitectura òptima del algorisme per desenvolupar l'aplicació desitjada. Les activitats que s'inclouen son:

- Estudi de la configuració del *Tobii Pro X2-30*.
- Estudi del funcionament i set-up del *TM5 – 700*.
- Estudi d'arquitectura del software (*Python*).
- Estudi dels canals de comunicació pels dispositius.
- Documentació de les conclusions i configuracions obtingudes dels estudis realitzats.
- Definició del desenvolupament del software segons l'aplicació desitjada.

Muntatge i elaboració de l'aplicació (2.3):

Es reuneixen tots els dispositius pertinents per a posteriorment realitzar el muntatge del hardware i el seu corresponent entorn de treball i set-up. Tanmateix, també es desenvoluparà la programació del software mitjançant l'editor de codi en base *Python*. Les activitats que s'inclouen son:

- Recopilació dels equips i dispositius necessaris per desenvolupar l'aplicació.
- Muntatge i configuració dels dispositius.
- Realització del l'aplicació.
- Disseny i elaboració del espai de treball.
- Documentació general del muntatge i elaboració de l'aplicació.

Anàlisi i conclusions final (2.4):

Es realitzarà un anàlisi crític dels resultats de l'aplicació dissenyada amb la finalitat de proposar millores alternatives i extreure unes conclusions de valor. També es realitzarà la documentació de les desviacions que poden haver alterat el projecte o la seva planificació i quines accions de contingència s'han dut a terme. A més a més, s'elaboren propostes de futur i millora per augmentar el valor de l'aplicació en futures línies de investigació del centre. Les activitats que s'inclouen son:

- Conclusió i anàlisi del funcionament de l'aplicació.
- Documentació de les desviacions i contingències del projecte.
- Proposta d'accions de futur i millora de l'aplicació.
- Correcció final de la memòria del projecte.

Lliurament del projecte de detall (2.5):

Es realitzarà la correcta impressió i enquadernació tant de la memòria final com de la documentació secundària. Finalment, es lliurarà tota la documentació pertinent al ponent del treball. Les activitats que s'inclouen son:

- Lliurament de la memòria final del projecte.

Defensa del projecte de detall (2.6):

Es prepararà tot el material pertinent per la presentació i defensa del projecte i de l'aplicació dissenyada enfront el tribunal d'avaluació. Les activitats que s'inclouen son:

- Elaboració de la presentació i defensa del projecte.
- Preparació general de la defensa del projecte.

8.6. Diagrama de GANTT projecte de detall

El diagrama de GANNT representa gràficament la organització de la planificació del projecte de detall. En aquest, es pot identificar les activitats pertanyents al camí crític (en vermell), a més, a esquerra i dreta de cada activitat es mostra l'inici i el final d'aquestes respectivament, també, a la part inferior, s'indica el nom de l'activitat.

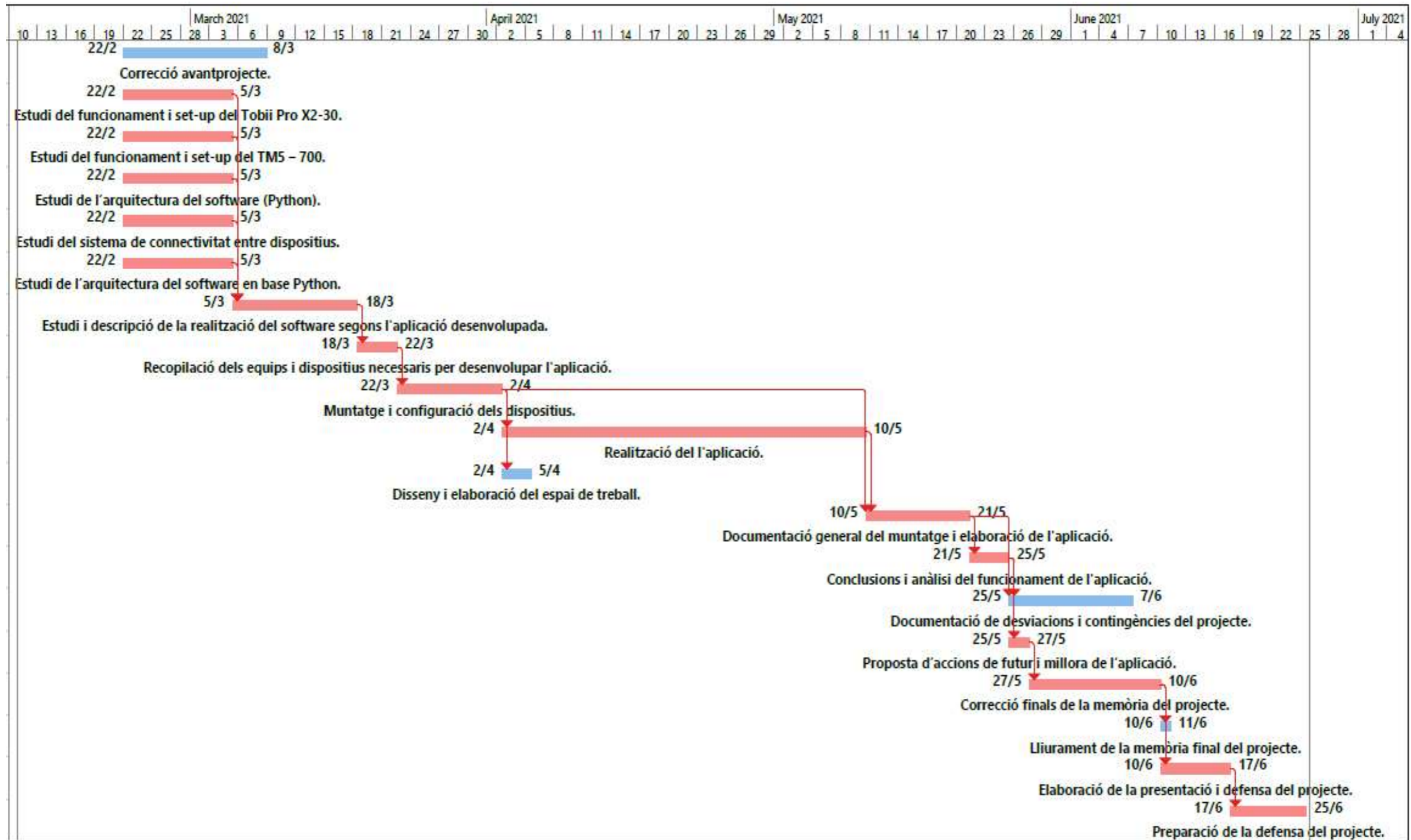


Figura 8.2.- Diagrama de GANTT del projecte de detall.

Font: Elaboració pròpia.

9. Impacte mediambiental

Aquest projecte consisteix en l'estudi del tractament de senyal i dades obtingudes d'un eye tracker i el desenvolupament d'una aplicació de control de moviment d'un braç robòtic, mitjançant les dades del sensor ocular.

Avui en dia, la consciència mediambiental ha adquirit tanta força que és un dels punts claus en la indústria 4.0. De fet, un dels requisits d'un producte intel·ligent, entre ells, és que sigui respectuós amb el medi ambient, tant en la fase de fabricació com en la fase d'ús. A més a més, tant la fase de reciclatge del producte com els possibles residus que generi han de tenir el mínim impacte possible.

El projecte en qüestió no té com objectiu crear un producte executable a fi de comercialitzar-lo, sinó de realitzar un estudi de tractament de senyal. Per tant, l'impacte mediambiental del projecte es considera nul, ja que no hi ha cap possible conseqüència o perjudici al medi ambient que requereixi de regulació. Tot i això, l'únic que es podria arribar a considerar seria:

- L'impacte conseqüent de l'elaboració i reciclatge dels dispositius electrònics utilitzats (hardware).
- Els residus derivats del material d'oficina.
- El consum energètic requerit per realitzar totes les tasques pertinents al projecte (proves, calibratge, redacció, etc).

No obstant, s'ha realitzat un estudi mediambiental per corroborar el mínim impacte mediambiental del projecte. A continuació, en format taula, es presenten les principals **accions y factors ambientals impactats**, relacionades amb les activitats intrínseques al projecte que pugui afectar negativament al medi.

Accions impactants

FASE	ACCIONS IMPACTANTS	OBSERVACIONS
Fase de construcció o execució.	Obtenció de matèria prima	Aquesta és la fase que més s'hauria de tenir en consideració, ja que és la que implica més impacte mediambiental en general, en un projecte centrat en el disseny d'un producte. No obstant, aquest projecte no implica la construcció o execució de cap producte, per tant, es considera nul·la aquesta fase.
	Generació d'aigües residuals	
	Emissions de gasos y/o pols	
	Contaminació acústica	
	Residus sòlids	
Fase de funcionament o explotació	Residus sòlids	No genera cap residu sòlid durant aquesta fase.
	Sorolls i vibracions	Les vibracions i sorolls que generen els diferents dispositius són interns de molt poca amplitud que no afectant al medi ni als usuaris de forma directa.
	Transport	No ha estat necessari transport algun.
Fase de uso	Residus sòlids	No genera cap residu sòlid durant aquesta fase.
	Tractament reciclatge de residus	El tractament de residus dels dispositius queda a càrrec de l'empresa proveïdora en cas de finalitzar la vida útil del dispositiu.

Taula 9.1.- Accions impactants del projecte.

Font: Elaboració pròpia

Com es pot veure a la taula anterior les accions impactants del projecte són negligibles. Cap de les activitats necessàries pel desenvolupament del projecte perjudica a gran escala el medi o entorn, corroborant el nul·l impacte mediambiental del projecte.

Factors ambientals impactants

MEDIS	FACTORS AMBIENTALS	IMPACTE SOBRE...
Medi Natural	Atmosfera	Al no generar cap mena de residu durant la elaboració i ús de l'aplicació, ni cap perjudici, es considera nul el impacte sobre el medi natural.
	Sòl	
	Aigua	
	Flora	
	Fauna	
	Medi percentual	
Medi Socioeconòmic	Usos del territori	No té cap efecte pertinent sobre els usos del territori.
	Cultural	Potencia el ús de dispositius basats en el control per eye tracking.
	Infraestructura	No té cap efecte sobre la infraestructura del centre.
	Humà	Salud, seguretat, millora de la interacció <i>màquina-humà</i> , estudi del entorn mitjançant el tractament de dades a temps real, etc.
	Econòmic i poblacional	Creixement del ús dels dispositius basats en eye trackers, tant en el sector industrial com sanitat. Implicant l'aparició de nous llocs de treballs.

Taula 9.2.- Factors ambientals impactants del projecte.

Font: Elaboració pròpia

Com es pot apreciar a la taula anterior, el projecte, dins del seu abast, no té cap efecte negatiu sobre el medi natural i, en canvi, contribueix positivament sobre el medi socioeconòmic. El projecte té un impacte positiu sobretot en les àrees culturals, humanes i econòmiques, intentant incentivar i augmentar el coneixement sobre l'aplicació del eye tracker com a sistema de recollida i tractament de senyal i dades i sistema de control de dispositius electromecànics.

10. Conclusions

En aquest capítol final de la memòria de detall s'exposen les conclusions del projecte. Per fer-ho, en primera instància, es realitzarà una avaluació del compliment dels objectius de detall establerts a l'inici del projecte. En segon lloc, s'exposaran els inconvenients sorgits durant l'execució del projecte i com aquests s'han solucionat. Finalment, per una banda, es proposarà un llistat de possibles accions de millora del projecte i, per l'altre banda, un llistat de propostes de futures implementacions d'aquest.

A continuació, s'exposa l'avaluació del compliment dels objectius de detall del projecte:

L'objectiu 1, "*Identificar un entorn de treball combinant hardware i software pel desenvolupament d'una aplicació de control d'un autòmat programable*", es pot veure exposat en el *capítol 5* de la memòria de detall, on queden identificades les possibles solucions i finalment la solució escollida per tal de desenvolupar l'aplicació pertinent.

L'objectiu 2, "*Control d'un autòmat programable mitjançant en moviment ocular d'un usuari*", queda verificat el seu compliment amb el *capítol 6* de la memòria, on s'exposa l'aplicació de control dissenyada amb detall, a més a més, a l'annex s'adjunta el codi corresponent a aquesta.

L'objectiu 3, "*Implementar l'aplicació sobre la plataforma per resoldre un problema senzill de característiques físiques*", al igual que l'objectiu anterior, també queda verificat el seu compliment en el *capítol 6*, concretament en l'*apartat 6.4*, on s'exposa l'experiment final per verificar el correcte funcionament de l'aplicació dissenyada.

L'objectiu 4, "*Valoració de la plataforma i l'aplicació dissenyades per obtenir unes conclusions solides i possibles accions de millora del sistema*", finalment, queda reflectit en el *capítol 7* de la memòria. Verificant, paral·lelament, el correcte funcionament de l'aplicació dissenyada i aportant la informació per establir unes accions de millora i possibles implementacions d'aquesta.

10.1. Inconvenients durant el desenvolupament del projecte

A continuació, s'exposen els inconvenients sorgits al llarg del projecte i com aquest s'han solucionat:

1. Adquisició dels dispositius i lliure accés a l'espai de treball:

En primer lloc, a l'inici del projecte el procés burocràtic d'adquisició dels dispositius, en especial el Tobii, va endarrerir les proves de compatibilitat i funcionament bàsic. En segon lloc, a causa de la situació actual es van establir restriccions d'accés al laboratori de treball del robot, implicant un lliure accés a aquest limitant les hores de feina del projectista.

La solució ve donada de mà dels professors, Marcos Faundez, per agilitzar l'adquisició del dispositiu Tobii Pro X2-30 i, Josep López, per facilitar l'accés al laboratori sempre que ha estat necessari, exclouent el procediment estàndard de reserva del laboratori.

2. Limitacions físiques del Tobii Pro X2-30:

Tot i ser una eina molt potent, el dispositiu Tobii Pro X2-30, apart d'estar descatalogat i fora de circulació, és una eina destinada a l'estudi de comportament humà sobre un monitor d'ordinador, limitant les seves possibilitats a l'hora de dissenyar l'aplicació.

La solució ve donada amb l'adaptació de l'aplicació en funció de les capacitats del Tobii i el coneixement que s'ha adquirit d'aquest.

3. Compatibilitat i format de dades:

Durant el procés de disseny de l'aplicació, l'inconvenient més gran fou l'adaptació del format de les dades capturades per enviar-les dels host al client. Fent que el temps de programació s'allargués més del estipulat però tot i així complint amb els requisits de la planificació establerta en un principi.

La solució ve donada per una forta implicació del projectista i estudi constant del sistema de comunicació i llenguatge de programació per poder enviar dades i rebre-les de la forma més fàcil i ràpida possible.

4. Espai de treball limitat del robot:

En primera instància, l'espai de treball del robot no estava ben definit, i es treballava sobre la base d'aquest mateix, limitant el moviment i les possibilitats de l'aplicació a dissenyar.

La solució ve donada a través de l'augment de la superfície de treball del robot amb el disseny d'una planxa de fusta collada a la base del robot, el plànol de la qual es troba al document de planós del pertinent projecte.

5. Falta de coneixement de programació per part del projectista:

Al inici del projecte, els coneixements del projectista en quant a programació en llenguatge Python eren molt bàsiques i en quant al software TMFlow del cobot TM5-700, pràcticament nul·les.

La solució ve donada, per una banda, gràcies al estudi realitzat i a la gran comunitat i informació pública que hi ha sobre Python i, per l'altra banda, gràcies a l'estudi realitzat i suport del professor, Josep López, en quant a la programació del cobot TM5-700.

10.2. Propostes de millora del projecte

A continuació, s'exposa el llistat de les propostes de millora del projecte:

1. Implementació en paral·lel del software *Tobii Pro Lab*:

El software Tobii Pro Lab és una eina de gran capacitat i potencia analítica, seria ideal per realitzar els exercicis i analitzar el comportament humà dels usuaris, extraient un gran quantitat de dades que permetin millorar l'aplicació i augmentar el ventall de possibles aplicacions d'aquesta.

2. Optimització i augment de la flexibilitat del codi:

L'objectiu és millorar la flexibilitat del codi per poder-lo implementar en altres aplicacions de la forma més fàcil i òptima possible.

3. Implementació del control sobre les 4 variables restants del robot [z, Rx, Ry, Rz].

4. Canvi de dispositiu Tobii Pro X2-30 al Tobii Pro Glasses 3:

El dispositiu Tobii Pro X2-30 tot i ser una eina molt potent, actualment es troba limitada per l'aplicació desitjada, a causa de la seva finalitat, infraestructura i capacitat analítica. Al ser un dispositiu fixat en un monitor, limita les seves aplicacions a la captura davant del mateix monitor.

En canvi, el dispositiu Tobii Pro Glasses 3, permet un anàlisi d'entorn en 3D, una flexibilitat i capacitat de moviment superior del usuari i, també, disposa d'una càmera i micròfons integrats cosa que augmenta el nivell de possibles inputs de l'aplicació, augmentant exponencialment les capacitats i flexibilitat d'aquesta a més de les seves possibles aplicacions, com per exemple el control de les 4 variables restants del robot (*punt 3*).

5. Definició d'un espai de treball superior i més estable del robot:

Actualment, l'espai de treball del robot és molt poc estable i limitat, per poder realitzar experiments de més qualitat sense problemes de posició o restriccions de moviment, s'hauria d'establir un espai de treball extern a la base del robot, on aquest pogués treballar amb facilitat i fiabilitat.

6. Implementació de la càmera del robot:

Una possibilitat és sincronitzar la visualització de la càmera del robot amb el monitor del ordinador en temps real, per dur a terme exercicis i accions conjuntament amb el robot i treballar d'una forma més concreta i dinàmica.

10.3. Propostes de futures implementacions

Finalment, a continuació, s'exposen les futures implementacions de l'aplicació de control:

1. Implementacions industrials:

Implementacions de caire industrial de tot tipus, en especial èmfasi en l'alimentació de CNCs o altres màquines industrials d'aquest caire, a la tasca de Pick&Place, entre altres.

2. Implementació d'assistència clínica:

Implementar l'aplicació per atendre a persones que per certs motius han d'estar aïllades o no disposen de la capacitat per realitzar accions per si mateixes.

3. Implementació del “tercer braç”:

El terme del tercer braç és un concepte que esta agafant força en les ultimes dècades, i el control d'aquest amb el moviment ocular, es una fase essencial per la seva implementació en escenaris reals.

4. Suport per a persones de mobilitat reduïda.

Les persones que pateixen de mobilitat reduïda, actualment, necessiten l'ajuda de tercers per dur a terme accions que per la resta de individus no tenen importància. Actualment, hi ha moltes línies de investigació destinades a millorar les seves condicions de vida. El control de un autòmat mitjançant els ulls, els hi permetria augmentar la seva autonomia i millorar la seva qualitat de vida significativament.

11. Bibliografía.

- [1] Tobii, «Business Units & Fields of Use,» [En línea]. Available: <https://www.tobii.com/group/about/business-units-and-fields-of-use/>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [2] OMRON, «History,» [En línea]. Available: <https://www.omron.com/global/en/about/corporate/history/>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [3] OMRON, «OMRON España,» OMRON, [En línea]. Available: <https://omron.es/es/home>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [4] J. Escofet, L'ull, Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.
- [5] S. M. M. Moreno, «Análisis del comportamiento de la mirada frente a un ordenador,» *Universidad Politécnica de Madrid*, pp. 1-3, 2018.
- [6] Raymond Colle De S., La revolución de la "fonofotografía", Santiago de Chile: Revista Mediterránea de Comunicación, 2013.
- [7] B. W. Tatler, N. J. Wade, H. Kwan i J. M. F. & B. M. Volichkovsky, «Yarbus, eye movements, and vision,» vol. 1, núm. ISSN 2041-6695, pp. 7-14, 2010.
- [8] Tobii, «The History of Tobii,» Tobii, [En línea]. Available: <https://www.tobii.com/group/about/history-of-tobii/>. [Últim accés: 2020 10 20].
- [9] M. G. Lorenzo, INTEGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑAL OCULAR PARA SU USO EN APLICACIONES BIOMÉDICAS, Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2018.
- [10] Tobii Technology AB, Tobii X2-30 Eye Tracker User's manual, 06/2014.

- [11] M. R. Gentil, REGISTRO DE PATRONES DE LECTURA CON DISPOSITIVOS DE EYE TRACKER DE BAJO COSTE Y ESTUDIO DE SU APLICACIÓN PARA LA RECOMENDACIÓN DE DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍAS, Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2017.
- [12] J. C. M. Gonzalez, Implementación de un sistema de guiado visual., Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [13] S. Preibusch, «Privacy user interfaces for eye-tracking,» de *W3C Workshop on Privacy and User-Centric Controls*, 20 Nov. 2014.
- [14] Trecinka Automation&Robotation, «Robótica Colaborativa,» [En línia]. Available: Trevinka.com. [Últim accés: 21 02 12].
- [15] CADECOBOTS, «¿QUÉ ES UN COBOT Y CUÁLES SON SUS VENTAJAS?,» UNIVERSAL ROBOTS, [En línia]. Available: <https://cadecobots.com/que-es-un-cobot/>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [16] CADE COBOTS, «APLICACIONES CON ROBOTS COLABORATIVOS,» UNIVERSAL ROBOTS, [En línia]. Available: <https://cadecobots.com/aplicaciones-robots-colaborativos/>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [17] CADE COBOTS, «7 usos alternativos de la robotica colaborativa,» UNIVERSAL ROBOTS, [En línia]. Available: <https://cadecobots.com/7-usos-alternativos-de-la-robotica-colaborativa/>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [18] ABB, «Technical data IRB 14000 YuMi,» [En línia]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/irb-14000-yumi/irb-14000-yumi-data>.
- [19] KUKA, «LBR iiwa,» [En línia]. Available: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>.

- [20] FANUC, «CR-15iA Collaborative Robot,» [En línia]. Available: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/collaborative-robot/cr-15ia-cobot>.
- [21] UNIVERSAL ROBOTS, « UNIVERSAL ROBOT UR3e,» [En línia]. Available: <https://www.universal-robots.com/products/ur3-robot/>.
- [22] M. C. & M. COTTELEER, Forces of change: Industry 4.0, Deloitte Insights, 2017.
- [23] OMRON, Hardware Installation Manual: Corresponding models: TM5 Regular Payload Series, Kyoto, Japan.
- [24] OMRON, «Omron TMFlow Collaborative Robot Software,» OMRON, [En línia]. Available: <https://automation.omron.com/en/mx/products/family/omron%20tm%20software>.
- [25] Wikipedia, «Python (programming language),» WikiMedia, [En línia]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Python_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Python_(programming_language)). [Últim accés: 2021 04 14].
- [26] Python, [En línia]. Available: <https://www.python.org/>.
- [27] «Matlab,» [En línia]. Available: <https://es.mathworks.com/mwaccount/profiles/incomplete?uri=https%3A%2F%2Fs.mathworks.com%2Flogin>.
- [28] Wikipedia, «MATLAB,» Wikimedia, [En línia]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [29] Tobii, Pro Glasses 3 Product Description, 3/2021.
- [30] Tobii, Pro Lab User's Manual, Tobii, 10/2020.
- [31] S. S. , P. G. M. L. a. A. G. Lorenzo Scalera, Human–Robot Interaction through Eye Tracking for Artistic Drawing, MDPI, 22 March 2021.

- [32] Tobii Pro, «Tobii Pro SDK,» Tobii, [En línia]. Available: <https://www.tobii.com/product-listing/tobii-pro-sdk/>. [Últim accés: 21 04 14].
- [33] Wikipedia, «Cuadrado,» [En línia]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cuadrado>. [Últim accés: 2021 04 14].
- [34] Wikipedia, «Triangulo Equilatero,» [En línia]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Tri%C3%A1ngulo_equil%C3%A1tero. [Últim accés: 2021 04 14].
- [35] Wikipedia, «Pentágono,» [En línia]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Pent%C3%A1gono>. [Últim accés: 21 04 14].