

Grau en Enginyeria Electrònica Automàtica i Industrial

ESCRITURA AMB ROBOT COL·LABORATIU (COBOT)

Memòria

RUBÉN NOYA SORIANO
PONENT: MARCOS FAUNDEZ ZANUY

Curs acadèmic 2023-2024

Índex

Índex de figures.....	V
Índex de taules.....	VII
Glossari de termes.....	IX
1. Introducció.....	1
2. Objectius.....	3
2.1. Propòsit.....	3
2.2. Finalitat.....	3
2.3. Objecte.....	3
2.4. Abast.....	4
3. Marc teòric.....	5
3.1. Robòtica col·laborativa.....	5
3.1.1. Definició.....	5
3.1.2. Història.....	6
3.1.3. Aplicacions.....	7
3.1.4. Models dels cobots.....	9
3.1.5. Mercat dels cobots.....	12
3.1.6. Impacte en la indústria 4.0.....	15
3.2. Robòtica per la rèplica d'escriptura.....	16

II

3.2.1. Braç robòtic LongPen	16
3.2.2. AxiDraw V3.....	17
3.2.3. Algoritme en Machine Learning per imitar l'escriptura humana	17
4. Objectius de detall i especificacions tècniques.....	21
5. Anàlisi i selecció d'alternatives de solució.....	23
5.1. Cobots.....	23
5.1.1. OMRON TM5-900	23
5.2. Programari	26
5.2.1. Primera alternativa: OMRON TMFlow.....	26
5.2.2. Segona alternativa: MATLAB.....	29
5.2.3. Tercera alternativa: Python.....	30
5.3. Selecció de la solució	31
6. Desenvolupament de l'aplicació.....	33
6.1. Arquitectura tècnica.....	33
6.2. Distribució (setup)	35
6.3. Adquisició de dades prèvies	36
6.3.1. Base de dades (BBDD.).....	37
6.4. Arquitectura del software	38
6.4.1. Primera part de l'aplicació (Python).....	39
6.4.2. Segona part de l'aplicació (TMFlow).....	43
6.5. Experiments.....	45

6.5.1. Primer experiment.....	45
6.5.2. Segon experiment	46
7. Anàlisi de resultats.....	49
8. Planificació.	59
8.1. Avantprojecte.....	59
8.1.1. Definició i planificació de les tasques/activitats.....	59
8.1.2. Diagrama de Grantt.....	60
8.2. Projecte	61
8.2.1. Definició i planificació de les tasques/activitats.....	61
8.2.2. Diagrama de Grantt.....	62
9. Impacte mediambiental.....	65
10. Perspectiva de gènere.....	67
11. Conclusions	69
11.1. Compliment dels objectius	69
11.2. Propostes de millora	70
12. Referències	73

Índex de figures.

Fig. 3.1: Primer cobot UR5 de Universal Robots.	7
Fig. 3.2: Cobot UR5e de Universal Robots.....	9
Fig. 3.3: Cobot Sawyer de Rethink Robotics.	10
Fig. 3.4: Cobot CR-15iA de Fanuc.	10
Fig. 3.5: Cobot YuMI – IRB14000 de ABB.	11
Fig. 3.6: Cobot Panda de Franka Emika. Fig. 3.7: Cobot LBR iiwa de KUKA.....	11
Fig. 3.8: Previsió de l’augment del mercat de cobots fins al 2026. (E= estimació, A= actual)12	
Fig. 3.9: Logotips dels principals actors en la robòtica col·laborativa.	13
Fig. 3.10: Creixement en el mercat dels cobots per regió.	14
Fig. 5.1: Cobot OMRON TM5-900.	23
Fig. 5.2: Dimensions del hardware, braç TM5-900 i control box.....	24
Fig. 5.3: Relació entre la capacitat de càrrega i l’abast del cobot TM5-900.....	25
Fig. 5.4: Interfície del programari TMFlow.....	27
Fig. 5.5: Interfície de la càmera del programari TMFlow.....	28
Fig. 5.6: Punt d’accés físic per la connexió del programari i cobot.	28
Fig. 5.7: Simulació i disseny en models amb Simulink – MATLAB.	29
Fig. 5.8: Logotip i interfície de Python.	30
Fig. 6.1: Diagrama d’arquitectura tècnica del sistema.	34
Fig. 6.2: Distribució física dels dispositius utilitzats.	35

Fig. 6.3: Esquema simple de l'extret de dades d'una tauleta digitalitzadora.	36
Fig. 6.4: Distribució dels dispositius d'adquisició de dades.	36
Fig. 6.5: Interfície de l'adquisició de dades amb la tauleta.	37
Fig. 6.6: Mostra de les firmes que es disposen en la base de dades.	38
Fig. 6.7: Diagrama de flux de l'aplicació principal en Python.	39
Fig. 6.8: Diagrama de flux de la aplicació de control TMFlow.	43
Fig. 6.9 i Fig. 6.10: Implementació del primer experiment.	45
Fig. 6.11: Execució del primer experiment.	46
Fig. 6.12: Exemple de la divisió entre firma i firma.	46
Fig. 6.13 i Fig. 6.14: Implementació del segon experiment.	47
Fig. 7.1: Comparació firmes centrades.	52
Fig. 7.2: Comparació de les firmes amb l'eix x.	53
Fig. 7.3: Comparació de les firmes amb l'eix y.	53
Fig. 7.4: Escalat firma original en l'eix x.	54
Fig. 7.5: Escalat firma original en l'eix y.	55
Fig. 7.6: Escalat firma del robot en l'eix x.	56
Fig. 7.7: Escalat firma del robot en l'eix y.	56
Fig. 7.8: Distància DTW en cada firma respecte a l'original.	57
Fig. 7.9: Comparació de la velocitat de la firma.	58
Fig. 8.1: Diagrama de Gantt de l'avantprojecte.	60
Fig. 8.2: Diagrama de Gantt del projecte.	62

Índex de taules.

Taula 5.1: Característiques tècniques del cobot TM5-900.....	26
Taula 5.2: Valoració dels programaris alternatius de solució.	31
Taula 6.1: Llibreries utilitzades, descripció i ús en el codi.	40
Taula 7.1: Resultat de l'experiment 1, firma 1.....	49
Taula 7.2: Resultat de l'experiment 1, firma 2.....	49
Taula 7.3: Resultat de l'experiment 2, firma 1.....	50
Taula 7.4: Resultat de l'experiment 2, firma 2.....	51
Taula 7.5: Resultat de l'experiment 2, firma 3.....	51
Taula 8.1: Taula descriptiva de les tasques/activitats de l'avantprojecte.....	59
Taula 8.2: Taula descriptiva de les tasques/activitats del projecte.....	61
Taula 9.1: Taula d'accions impactants inherents al nostre projecte.....	66
Taula 9.2: Factors ambientals impactats inherents al projecte.....	66

Glossari de termes.

HRC	Human-Robot Collaboration.
ISO	Organització Internacional de Normalització.
IA	Intel·ligència artificial.
IDE	Entorn de desenvolupament integrat.
Cobot	Contracció de robot col·laboratiu.
TCP	Protocol de Control de Transmissió.
AP	Access Point (Punt d'accés).
BB.DD	Base/s de dades.

1. Introducció.

Actualment i cada cop més, un gran nombre d'empreses en aquest món utilitzen robots per optimitzar els seus processos i millorar l'eficiència operativa. Aquests, mitjançant la seva capacitat per realitzar tasques repetitives i laborioses de manera ràpida i precisa, contribueixen a reduir els errors humans i augmentar la velocitat de producció. A més a més, la integració de càmeres (visió), sensors, intel·ligència artificial i altres tecnologies ha permès als robots adaptar-se a canvis en el flux de treball i prendre decisions en temps real, millorant així la flexibilitat i la capacitat d'adaptació a les condicions variables de l'entorn operatiu.

Aquest projecte pretén l'estudi d'aquest sector i la creació d'una aplicació d'escriptura per a un robot col·laboratiu, el qual facilitarà la generació de contingut escrit de manera eficient, permetent una col·laboració més efectiva entre humans i cobots.

El projecte entra dins la línia de recerca del grup de tractament de senyal i dades del TecnoCampus. Busca el desenvolupament d'una aplicació que, mitjançant les dades escrites en una tableta digitalitzadora, els usuaris puguin fer servir l'aplicació per a que el cobot repliqui aquesta tasca d'escriptura. És a dir, l'usuari podrà utilitzar aquesta aplicació per a que un cobot escrigui el mateix que s'ha escrit en la tauleta, tantes vegades com vulgui.

2. Objectius.

2.1. Propòsit

El propòsit del treball està enfocat a realitzar un estudi en el sector de la robòtica col·laborativa i el tractament de les dades per aquest. Es busca desenvolupar i presentar una aplicació per a l'escriptura automàtica utilitzant un cobot a partir d'escrits digitals o reals recopilats anteriorment.

2.2. Finalitat

La finalitat d'aquest projecte és dur a terme una investigació exhaustiva en el sector de la robòtica col·laborativa, un estudi per millorar la productivitat i l'eficiència en els processos d'escriptura. Aquesta investigació pretén no només augmentar la velocitat i la precisió de les tasques repetitives, sinó també fomentar una col·laboració més efectiva entre humans i cobots. Així, es busca integrar aquestes tecnologies avançades en diversos entorns professionals o creatius per optimitzar les operacions i reduir els errors humans.

2.3. Objecte

L'objecte del projecte inclou diverses fases importants. En primer lloc, es desenvolupa un marc teòric que proporciona una base sòlida per a l'estudi. A continuació, es procedeix a analitzar múltiples aplicacions i alternatives per escollir el programari més adequat per a la realització de l'aplicació. Aquest procés implica una revisió exhaustiva de les opcions disponibles i la seva viabilitat tècnica, mediambiental i econòmica. Després es desenvolupa la solució pràctica a les necessitats plantejades i finalment, es realitza una anàlisi detallat dels resultats obtinguts amb l'aplicació desenvolupada, avaluant la seva efectivitat i proposant millores futures.

2.4. Abast

El projecte tracta en desenvolupar una aplicació per controlar un braç robòtic col·laboratiu mitjançant les dades escrites en una tauleta digitalitzadora.

L'abast del projecte es basa en realitzar els pertinents estudis per saber utilitzar el programari i hardware que es seleccionarà i realitzar una aplicació que tracti les dades provinents de l'escrit d'una tauleta digitalitzadora per tal que el cobot repliqui la tasca d'escriptura.

A continuació es deixaran clars els límits dins els quals es mourà el nostre projecte:

Límits del projecte

1. Sector de la robòtica col·laborativa: El projecte se centra específicament en el món dels cobots, ja que aquests són els indicats per interactuar, crear i utilitzar per al tipus d'aplicació que volem crear.
2. Dades utilitzades: Ja disposem de les dades que s'utilitzaran, provinents de la tauleta digitalitzadora. Aquest projecte no estudia una recopilació de dades exhaustiva.
3. Costos d'inactivitat mínims: L'objectiu del projecte és minimitzar els costos d'inactivitat. No s'abordaran altres aspectes econòmics o financers que estiguin fora d'aquest objectiu.
4. Aplicació: El projecte contempla la creació d'una aplicació que pugui tractar dades i enviar informació per al funcionament del cobot. També s'utilitzaran diagrames de fluxos per al disseny de l'aplicació. No s'abordaran altres aspectes relacionats amb l'aplicació fora d'aquest objectiu.

3. Marc teòric.

Per al desenvolupament d'aquest present avantprojecte, s'ha realitzat un estudi acurat sobre l'estat de l'art. Per aquest, es concreta sobre el sector de la robòtica col·laborativa, estudiant la història, les aplicacions i models dels robots col·laboratius actuals. També es repassen les tendències del mercat d'aquesta tecnologia, així com la implementació d'aquests robots i l'impacte en la indústria 4.0.

Aquest estudi es fonamenta en una àmplia recopilació d'informació procedent de diverses fonts de coneixement:

- **Articles acadèmics:** S'han consultat diversos articles acadèmics que aborden els principis de la robòtica col·laborativa, així com la història i les aplicacions d'aquesta.
- **Pàgines web de fabricants:** Addicionalment, s'ha realitzat una recerca en pàgines web de fabricants especialitzats en cobots. Aquestes fonts han aportat informació rellevant sobre les característiques tècniques de les màquines i les seves utilitats.
- **Portals especialitzats:** També s'han consultat portals especialitzats en el camp per a l'obtenció d'informació actualitzada.
- **Altres treballs:** Finalment, s'ha revisat també informació d'altres treballs similars o relacionats. [1] [2] [3]

3.1. Robòtica col·laborativa

3.1.1. Definició

La robòtica col·laborativa o HRC (Human-Robot Collaboration) [4] és una disciplina de la robòtica que es centra en permetre que els robots i humans treballin conjuntament per completar tasques de col·laboració.

Per aquest objectiu s'utilitzen cobots (robots col·laboratius). Aquests, segons la norma ISO/TC 299 [5], són robots dissenyats per interactuar físicament amb persones en un entorn

col·laboratiu de treball, a diferència dels robots industrials tradicionals, que solen funcionar de manera separada i aïllada de les persones.

Els cobots es caracteritzen per la seva capacitat de treball en estreta proximitat amb els humans de manera segura i eficient. Això s'aconsegueix mitjançant una limitació de força que poden exercir, a més a més, hi han cobots que disposen de sensors avançats i sistemes de visió que permeten detectar la presència humana i ajustar el seu comportament en conseqüència.

Finalment, és important aclarir una confusió comuna relacionada amb la robòtica col·laborativa. Sovint, es confonen aparells que utilitzem a casa (com assistents de veu) amb cobots. Així mateix, els robots que podem trobar actualment en alguns aeroports i restaurants tampoc són necessàriament considerats cobots. Segons la definició específica d'aquesta disciplina, aquests robots no estan dissenyats per treballar en un equip amb humans de la mateixa manera que amb els cobots, que estan destinats a compartir espais i tasques.

3.1.2. Història

La robòtica industrial és una tecnologia que ha revolucionat la indústria durant els últims vuitanta anys. On les fites històriques en aquest sector inclouen al primer robot *Gargantua* en 1937, fins als robots de soldadura, pintura, assemblatge i transferència programable, desenvolupats per empreses com Unimation, Kawasaki, ABB o KUKA. Tot i així, no va ser fins a 2008 on es van dissenyar i comercialitzar els primers cobots. [6]

El primer ús dels cobots actuals es va originar el desembre de 2008, quan Linatex, proveïdor de material, va adquirir el cobot UR5 [7] per automatitzar el funcionament d'una màquina de control numèric. Aquests van fer una cosa impensable en aquell temps. En cop d'instal·lar el robot en els habituals resguards de seguretat tal com demanava la normativa, van optar per instal·lar-lo en el mateix espai on treballaven els operaris, i els mateixos operaris programaven i configuraven el robot des d'una pantalla tàctil. Aquesta va ser la primera venda del primer robot col·laboratiu, que va ser el cobot UR5 d'Universal Robots, en aquell moment una petita empresa. [8]

Actualment, hi ha una tendència en alça en l'ús dels cobots, amb un nombre cada vegada més gran d'empreses que opten per la utilització d'aquests.

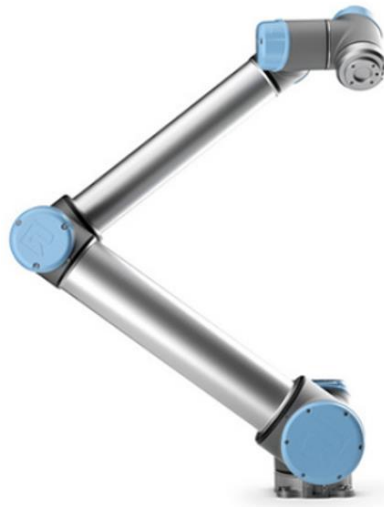


Fig. 3.1: Primer cobot UR5 de Universal Robots.

Font: [7]

3.1.3. Aplicacions

Avui dia, els cobots s'han convertit en una eina essencial que va més enllà de la simple automatització. Aquest apartat explora les diverses aplicacions en què els cobots s'implementen amb èxit per millorar i optimitzar una àmplia gamma de tasques i processos.

Primerament, convé destacar que els cobots que disposen de braços robòtics tenen la capacitat d'executar una àmplia varietat d'aplicacions amb el seu braç, reproduint les tasques que podríem realitzar nosaltres mateixos, amb una alta precisió, com ara la manipulació d'objectes i l'ús d'eines. En aquest sentit, aquesta versatilitat es tradueix en la seva aplicabilitat en diversos sectors. A continuació es detallen els àmbits on els cobots aprofiten aquestes capacitats.

Fabricació

En la fabricació, tenint en compte que els cobots poden utilitzar eines, les aplicacions són il·limitades. Aquests poden executar qualsevol tasca manual amb la mateixa velocitat i precisió, facilitant així les tasques dels operaris i oferint una major productivitat.

A continuació s'exposen les aplicacions més utilitzades que poden realitzar els cobots en aquest sector: [9]

- **Collament o moviment:** Pot millorar la qualitat i consistència dels productes, repetint el mateix moviment amb la mateixa velocitat i precisió.
- **Escatat i poliment:** Poleix superfícies corbades i irregulars, amb una força regulable per obtenir el resultat desitjat.
- **Modelar per injecció:** S'utilitza en la producció de plàstics i polímers, supervisant les premses amb gran precisió.
- **Pintura:** Aplica capes uniformes en superfícies amb precisió, la qual cosa contribueix a millorar l'estètica del producte i garantir resultar consistents.
- **Proves i anàlisis:** Augmenta el grau d'objectivitat en aquestes tasques, realitzant les mesures i els càlculs necessaris en mesures concretes.
- **Dosificació i soldadura:** Aporta qualitat a aquests processos, mitjançant una dosificació constant i la injecció d'una quantitat específica de material, així com per la realització de soldadures de gran precisió.
- **Supervisió de maquinària:** Pot dur a terme de forma autònoma la major part de les aplicacions de supervisió de maquinària, també, depenent de la programació es pot adaptar amb facilitat als nous productes de la línia de producció.
- **Muntatge:** S'encarrega del muntatge de plàstics, fustes, metalls i altres materials.
- **Pick&Place:** Executa de forma autònoma la major part de les aplicacions de pick&place, reduint la durada dels cicles i els materials de rebuig.
- **Control de qualitat:** Revisa i identifica peces defectuoses abans de l'embalatge o l'enviament, mantenint un alt nivell de qualitat del producte.

La realització de totes aquestes aplicacions dependran de la seva programació i eina assignada, així com les característiques bàsiques del cobot (abast, capacitat de càrrega, visió, etc.).

Agricultura

Sobre el sector agroalimentari, els cobots han contribuït a la introducció de la indústria 4.0, millorant la productivitat, la seguretat i la qualitat dels processos. Els cobots poden acomplir diferents tasques com l'envasament, el paletitzat i despaletitzat o la recollida de fruita, adaptant-se a les necessitats de cada empresa. Alguns exemples d'empreses que han comptat amb aquests cobots són *El Cantero de Letur* i la *Universitat de Sydney*. [10]

3.1.4. Models dels cobots

Dins del panorama creixent de la robòtica col·laborativa, els cobots es presenten com a eines fonamentals per a la millora dels processos industrials. A continuació, s'explora una selecció de models destacats dels cobots que reflecteixen la diversitat i innovació en aquest àmbit, aquesta recopilació representa només una petita mostra de la gran varietat de cobots disponibles al mercat:

- **e-Series** de Universal Robots: Aquesta sèrie de cobots disposen d'un braç robòtic, són compactes i ideals per tasques de precisió i muntatge, com soldadura i escatat. La sèrie inclou els models **UR3e**, **UR5e**, **UR10e** i **UR16e**, tenint cada model el seu abast i càrrega útil diferents. [11]



Fig. 3.2: Cobot UR5e de Universal Robots.

Font: [11]

- **Sawyer** de Rethink Robotics: Cobot intel·ligent i assequible que es capacita amb demostració, canvia de tasques i treballa de manera segura amb els humans. Aquest cobot és ideal per tasques d'assemblatge i manipulació de peces, disposa d'un braç robòtic amb 7 graus de llibertat, abast de 1,26 m i un sistema de visió amb dues càmeres integrades. També és fàcil de programar i té una gran capacitat de càrrega. [12]



Fig. 3.3: Cobot Sawyer de Rethink Robotics.

Font: [12]

- **Gamma CR** de Fanuc: Sèrie de cobots amb braç robòtic capaços de manipular càrregues de fins 35 Kg depenent el model. Aquests tenen la capacitat de realitzar una alta gamma d'aplicacions i es poden fixar a una paret o sostre. [13]



Fig. 3.4: Cobot CR-15iA de Fanuc.

Font: [13]

- **YuMi** de ABB: Aquest és un dels cobots més populars, presentat en 2015 com el primer robot verdaderament col·laboratiu. Disposa de doble braç robòtic i es caracteritza per ser petit i detallat, s'ha dissenyat per l'assemblatge de peces petites i per treballar mà a mà amb els humans en les mateixes tasques. [14].



Fig. 3.5: Cobot YuMI – IRB14000 de ABB.

Font: [14].

- **Altres:** Finalment, a més dels models anteriorment esmentats, cal destacar que la indústria ofereix una àmplia gamma de cobots amb diferents característiques i aplicacions. Hi ha moltes altres empreses innovadores que desenvolupen models específics per a tasques diverses, com els cobots LBR de KUKA, Panda de Franka Emika, la sèrie SIA de Yaskawa Motoman i altres.



Fig. 3.6: Cobot Panda de Franka Emika.

Font: [15]



Fig. 3.7: Cobot LBR iiwa de KUKA.

Font: [16]

Finalment cal comentar que només s'han exemplificat braços robòtics, tot i que existeixen altres tipologies de robots. No obstant, els braços robòtics són els més populars, i seran els que s'utilitzin en el present projecte.

3.1.5. Mercat dels cobots

Tendència

En l'actualitat, estem observant un fort increment d'ús de cobots en els àmbits de la medicina, educació, logística i restauració. En el futur, és probable que veiem una major acceptació en el sector de la fabricació industrial, on els cobots estan ajudant a cobrir les mancances causades per l'actual escassetat de mà d'obra.

Es preveu que aquest mercat creixi una taxa mitjana del 21,62% entre 2023 i 2026. En l'any 2022 va assolir un valor de 1046,1 milions de dòlars i s'espera que assoleixi un valor de més de 2000 milions l'any 2026. Aquest és un increment molt gros. [17]

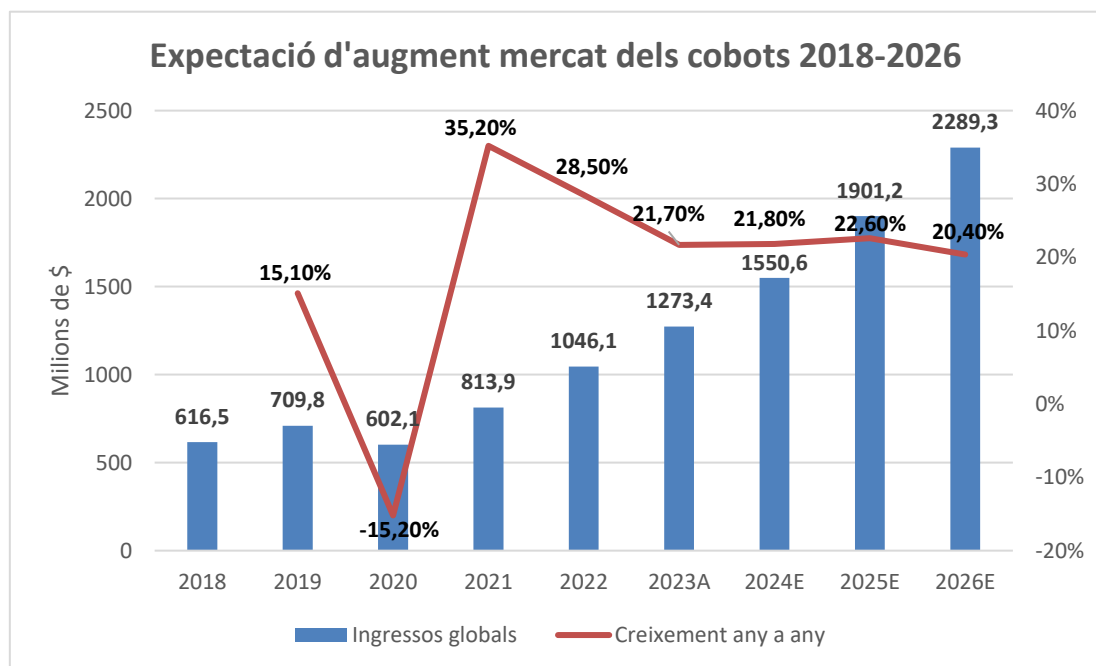


Fig. 3.8: Previsió de l'augment del mercat de cobots fins al 2026. (E= estimació, A= actual)

Font: Font pròpia a partir de [17].

En aquesta Figura 2.8, podem observar com la tendència d'aquest sector és positiva, es pot apreciar un increment molt gran en els últims anys i una expectació molt elevada. Cal mencionar que la baixada l'any 2020 és provocada per la covid i la recuperació ha sigut ràpida.

Competència

La indústria dels robots col·laboratius és un sector amb alta demanda i competitivitat, on les empreses més grans i destacades son Universal Robots AS, Fanuc Corp., TechMan Robot Inc., Rethink Robotics GmbH i AUTO Robotics USA. Tot i així, aquest mercat està molt fragmentat, és a dir, hi ha molta competitivitat sense un dominant clar. [18]

Els diferents competidors en el mercat utilitzen associacions, fusions, innovacions, inversions i adquisicions per millorar els seus productes i obtenir un avantatge competitiu durador.

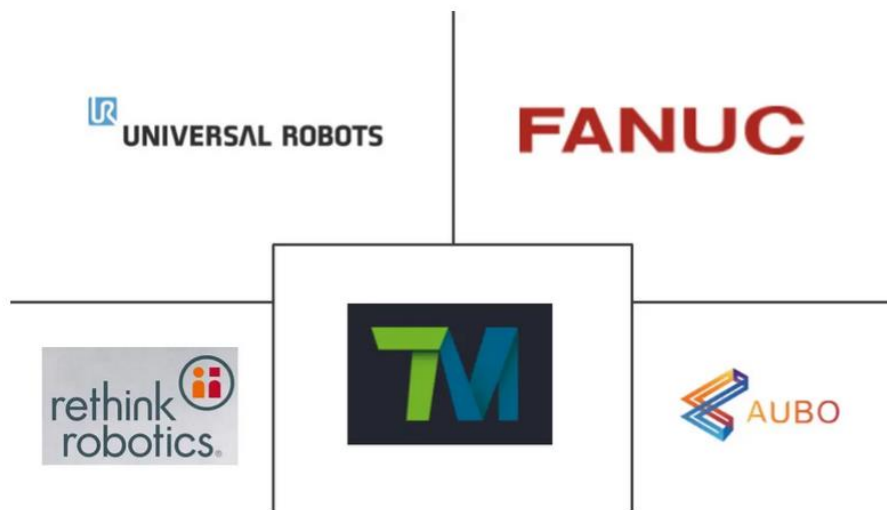


Fig. 3.9: Logotips dels principals actors en la robòtica col·laborativa.

Font: [18]

Mercat per regions

Actualment s'espera que Àsia Pacífic sigui el mercat que més creixi. Aquest mercat actualment s'està expandint significativament degut a diversos factors:

- Creixent número d'indústries en la regió.
- Integració de l'automatització per augmentar la rendibilitat.
- Sector manufacturer en expansió.

També es vol destacar que la Xina lidera amb els seus cobots mundialment, tenint la taxa de creixement anual més alta (29%), i que l'Índia és un dels mercats més prometedors per aquesta tecnologia degut al gran nombre d'empreses que treballen de forma no estructurada amb nivells més baixos de digitalització comparant altres mercats [17] [18].

La resta de la regió d'Àsia i el Pacífic inclou països com Corea del Sud, Austràlia, Japó i tots els països del sud-est asiàtic, que estan evolucionant com importants centres de fabricació per a múltiples indústries.

Finalment, falta mencionar que en Europa i Amèrica del Nord el creixement també serà notable, per a les indústries existents en els països desenvolupats.

En la següent figura es pot veure el creixement per regió.

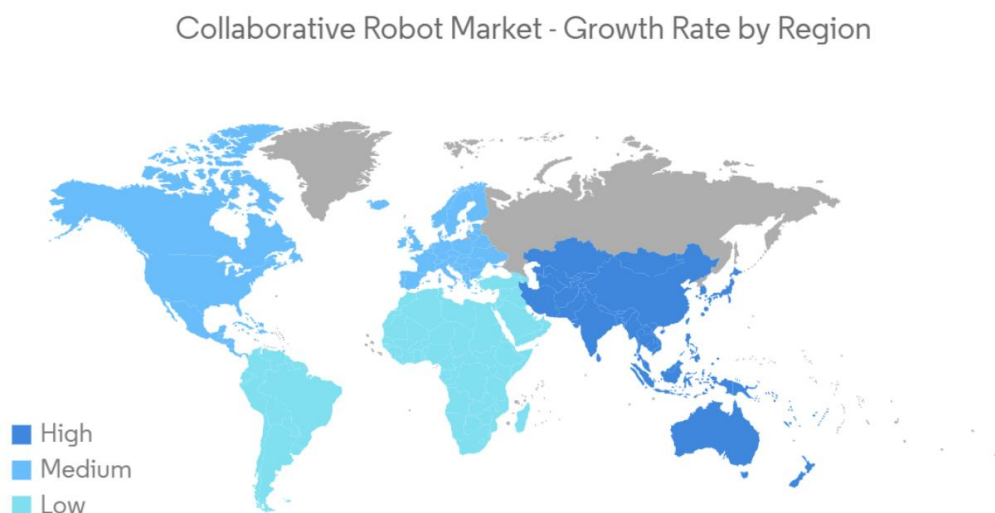


Fig. 3.10: Creixement en el mercat dels cobots per regió.

Font: [18]

3.1.6. Impacte en la indústria 4.0

Per acabar amb l'estat de l'art, es situa la robòtica col·laborativa en l'actual indústria 4.0, un paradigma industrial caracteritzat per la digitalització, l'automatització avançada i la interconnexió dels processos i màquines, que redefineix la forma en què les empreses planifiquen, gestionen i executen les seves operacions.

En aquest context transformador, la integració de la robòtica col·laborativa amb els cobots, han esdevingut un factor important per l'avanç continuat de les operacions industrials. Aquesta convergència de tecnologies està redefinint les dinàmiques de producció, optimitzant la producció i millorant els nivells de seguretat en els entorns laborals. A continuació es destaquen alguns dels impactes clau que la robòtica col·laborativa està generant en el marc de la indústria 4.0.

- **Millora en l'optimització i la producció:** La integració dels cobots incrementa substancialment l'eficiència operativa. A més, es poden programar i aplicar tecnologies d'aprenentatge automàtic i intel·ligència artificial per assegurar que l'optimització sigui contínua en els processos de producció.
- **Increment en la qualitat del producte:** Mitjançant la realització de tasques necessàriament repetitives i amb precisió, els cobots redueixen els errors humans, garantint una disminució significativa de defectes i una consistència i qualitat superiors en la fabricació. També, la integració de sensors i sistemes de control de qualitat en línia pot assegurar la producció de productes de primera qualitat.
- **Flexibilitat operativa:** La flexibilitat operativa es destaca en la seva capacitat d'adaptació ràpida als canvis de producció. Aquesta agilitat que proporcionen els cobots, facilita una personalització eficient dels productes i una reconfiguració àgil de línies de producció per satisfer les dinàmiques i les demandes variables del mercat.
- **Millora en la seguretat:** Els cobots garanteixen una col·laboració segura amb els humans, mitjançant l'aplicació de sensors avançats o sistemes de visió. A més, la limitació en la força i pressió que poden exercir ofereix una capa addicional de seguretat,

assegurant una interacció segura i fiable en l'entorn laboral. La implementació d'aquests mecanismes contribueix de manera significativa a la reducció d'accidents laborals.

La incorporació dels cobots a la indústria 4.0 ha millorat significativament la producció, seguretat i qualitat dels processos actuals, situant-se com a elements clau per afrontar reptes futurs. La seva adaptabilitat, capacitat de treball segur amb els humans i flexibilitat operativa els converteixen en agents essencials per liderar la propera fase de la revolució industrial i respondre amb eficàcia i innovació els canvis del mercat.

3.2. Robòtica per la rèplica d'escriptura

En aquest apartat es revisen distintes aplicacions i recerques d'interès que s'han trobat i tenen certa relació amb el projecte actual d'escriptura.

3.2.1. Braç robòtic LongPen

LongPen es un braç robòtic petit capaç de replicar firmes amb distància i precisió. Va ser desenvolupat inicialment per l'autora Margaret Atwood i Matthew Gibson, i és utilitzat pel govern d'Ontario, Estats Units per signar documents oficials sense necessitat d'enviar-los per correu. [19]



Fig. 3.11: Control i robot LongPen.

Font: [19]

Les signatures realitzades amb el LongPen són legalment reconegudes als Estats Units i Canadà, i el dispositiu permet que els documents físics romanguin a l'oficina del gabinet a Queen's Park, Toronto, mentre es signen des d'altres ubicacions.

3.2.2. AxiDraw V3

Amb la mateixa base de funcionament d'una impressora 3D, el robot AxiDraw pot agafar bolígrafs, marcadors, llapis de colors o altres instruments d'escriptura per dibuixar o imitar qualsevol tipus de lletra que li indiquem, de forma precisa i perfecta. [20]

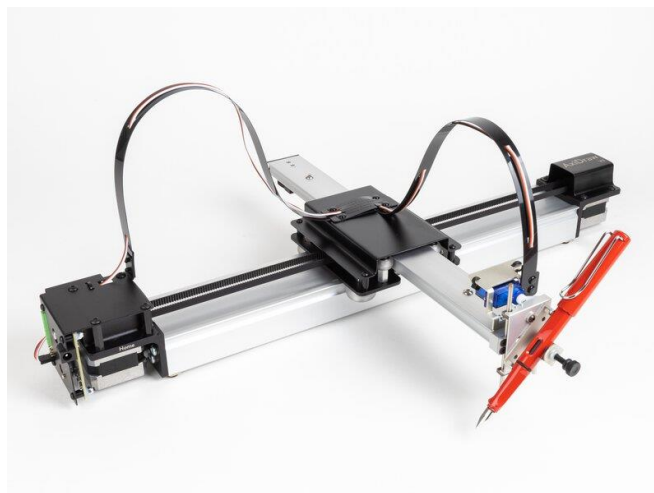


Fig. 3.12: AxiDraw V3.

Font: [20]

Hi han diversos tipus de model a la venda (que abasten diversos espais) i van ser dissenyats per Evil Mad Scientist en els Estats Units.

3.2.3. Algoritme en Machine Learning per imitar l'escriptura humana

Atsunobu Kotani, estudiant de la Universitat de Brown, Estats Units, va desenvolupar un algoritme de Machine Learning per analitzar imatges d'escriptura i deduir la successió de traçats que els va originar, per tal de replicar aquesta tasca. Aquest algoritme es va utilitzar en un robot propi creat per Stefanie Tallex en la mateixa universitat per aquest propòsit. [21]

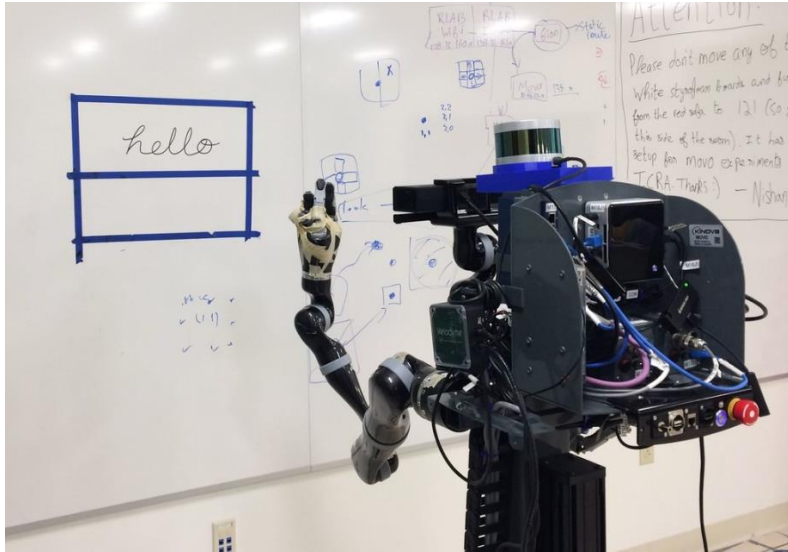


Fig. 3.13: Robot per l'espectura de Stafanie Tallex.

Font: [21]

El robot va ser entrenat amb caràcters japonesos, on va ser capaç de reproduir aquests amb un 93% de precisió, però va desenvolupar la capacitat de fer-ho també amb altres tipus de caràcters, com lletres llatines, àrabs, ciríl·lic, etc.

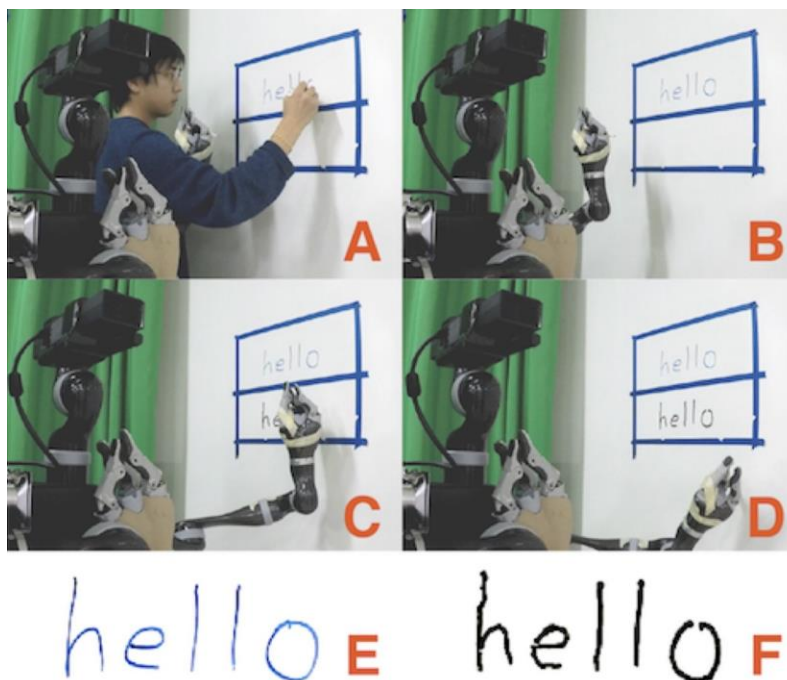


Fig. 3.14: Procediment de la replica, experiment.

Font: [21]

Aquest és un extracte dels resultats obtinguts en aquest treball, en blau el text fet per la persona i en negre la rèplica pel robot.

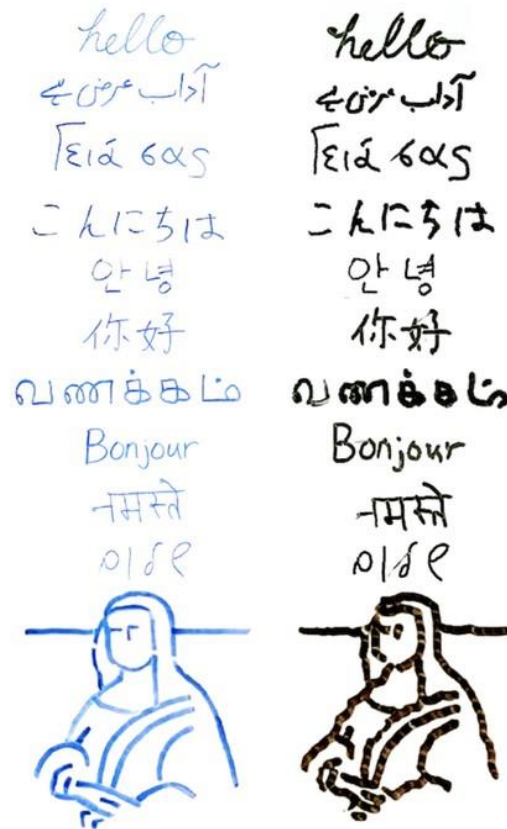


Fig. 3.15: Resultats experiments de la rèplica.

Font: [21]

4. Objectius de detall i especificacions tècniques.

La finalitat d'aquest projecte és proporcionar una eina versàtil i accessible que millori la productivitat, permetent una col·laboració més efectiva entre humans i cobots, tant en contextos professionals com creatius. Amb aquesta aplicació, s'espera optimitzar els processos d'escriptura i oferir una solució adaptativa a diverses necessitats i escenaris d'ús. Aquest capítol està dedicat als objectius i les especificacions tècniques que els relacionen.

A continuació es presenten els objectius i les especificacions tècniques per al disseny de l'aplicació:

- Identificació de l'entorn de treball: material disponible i estudi de les viabilitats per al desenvolupament de l'aplicació.
 - Estudi del robot col·laboratiu.
 - Només disposem del robot col·laboratiu del Tecnocampus, considerant aquest una condició de treball. Per tant, es farà una anàlisi d'aquest, s'esmentarà les seves especificacions i capacitats per concretar la seva viabilitat.
 - Anàlisi de les plataformes de software.
 - Es requereix una anàlisi dels diferents programaris que podem utilitzar en aquest projecte, determinar la seva capacitat i les seves limitacions per garantir un bon funcionament de l'aplicació.
- Disseny del sistema de comunicació, per comunicar el cobot amb la nostra aplicació (que es troba al PC).
 - Arquitectura tècnica del sistema.
 - Ubicació i connexions dels dispositius per establir la comunicació, es requereix un estudi exhaustiu per fer-ho correctament.
- Disseny d'una aplicació que permeti l'escriptura col·laborativa amb el cobot a partir de les dades proporcionades d'una tauleta digitalitzadora.
 - Selecció d'una plataforma de software
 - A partir de l'anàlisi dels diferents programaris fets anteriorment, escollir la millor alternativa de solució.

- Arquitectura del software.
 - Amb el respectiu codi i diagrames de flux, per tal de fer funcionar l'aplicació i complir l'objectiu proposat.
- Valoració de l'aplicació dissenyada i anàlisi dels resultats.
 - Anàlisi del funcionament
 - Comprovar si l'aplicació i el sistema funciona correctament, en aquest cas fer una valoració final i buscar millores per aquest.
 - Comparació de resultats
 - Si l'aplicació funciona, veure la precisió del cobot comparant el resultat amb l'escriptura realitzada en la tauleta digitalitzadora.

5. Anàlisi i selecció d'alternatives de solució.

A través d'una anàlisi general del projecte i considerant els objectius proposats, s'arriba a una conclusió: les alternatives de solució principals es basen en el tipus/model de cobot que s'utilitzarà i el programari per desenvolupar l'aplicació.

Per tant, a continuació es defineixen les alternatives de solució plantejades pel desenvolupament de l'aplicació d'escriptura i s'elabora una taula de selecció.

5.1. Cobots

5.1.1. OMRON TM5-900

OMRON TM5-900 és un robot col·laboratiu compacte dissenyat per treballar conjuntament amb els humans i màquines. És ideal per tasques repetitives com la càrrega i descàrrega de màquines, assemblatge i manipulació de peces petites. Aquest disposa de visió integrada, té un abast de 900 mm i una càrrega útil de 4 kg, també, la programació del cobot es senzilla i és pot realitzar fàcilment amb el seu software basat en fluxos (OMRON TMFlow). [22]



Fig. 5.1: Cobot OMRON TM5-900.

Font: [22]

OMRON TM5-900 consta d'un braç robòtic de sis eixos amb visió artificial integrada, que limita la seva força i pressió per al treball en col·laboració d'una manera totalment segura. El hardware del cobot es basa en l'estructura (braç) i un controlador (control box), també inclou un comandament remot *robot stick*.

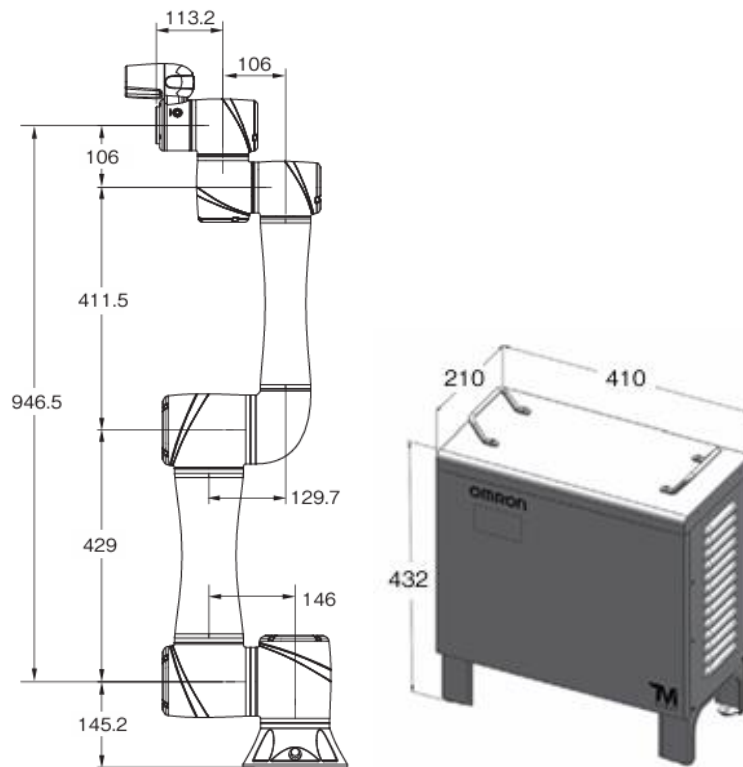


Fig. 5.2: Dimensions del hardware, braç TM5-900 i control box.

Font: [23]

La capacitat de càrrega màxima que pot suportar el cobot és de 4 kg. Aquesta capacitat depèn de l'abast, amb un màxim de 900 mm. A continuació podem veure la relació de la capacitat de càrrega i l'abast.

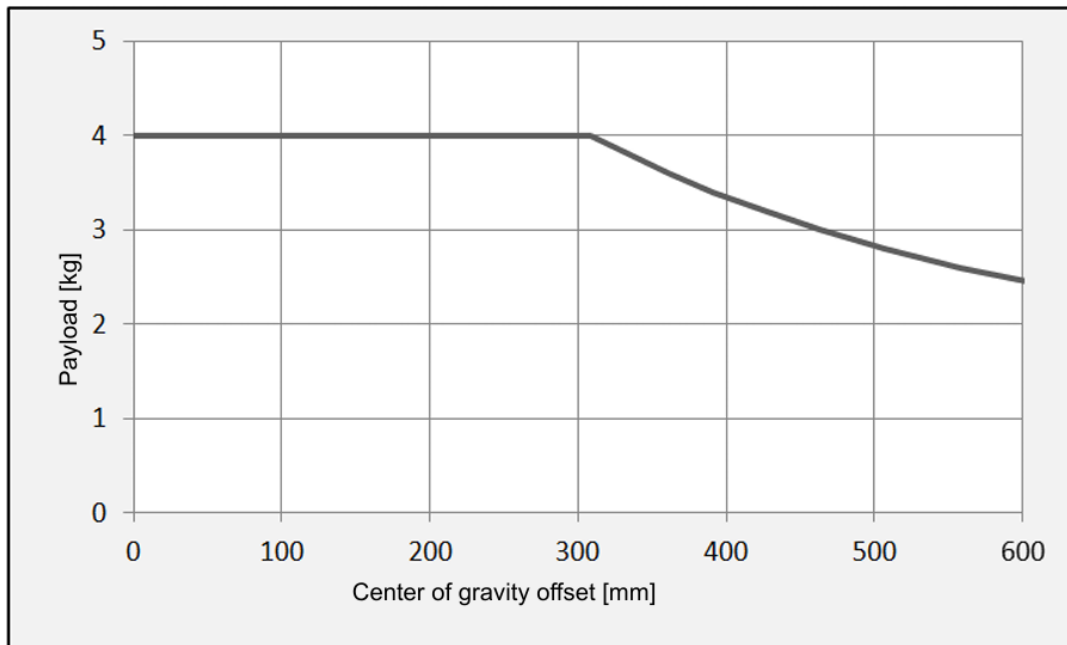


Fig. 5.3: Relació entre la capacitat de càrrega i l'abast del cobot TM5-900.

Font: [24]

Podem observar com el cobot pot suportar un mínim de 2,5 kg en tot el seu abast, el suficient per suportar el pes de la pinça amb el bolígraf que es farà servir en el projecte.

Finalment es mostren les especificacions tècniques més rellevants del cobot:

MODEL	TM5-900	
Pes (kg)	22,6	
Pes del controlador (kg)	13,5	
Càrrega màxima (kg)	4	
Abast (mm)	900	
Velocitat típica (m/s)	1,4	
Rang de gir	Joint 1, 6	$\pm 270^\circ$
	Joint 2, 4, 5	$\pm 180^\circ$
	Joint 3	$\pm 155^\circ$
Velocitat de gir	Joint 1, 2, 3	180°/s
	Joint 4, 5, 6	225°/s
Repetibilitat (mm)	$\pm 0,05$	
Graus de llibertat	6	
Font d'alimentació	100-240 VAC, 50-60 Hz	

Ports E/S	Controladora	16 E/S DIG. – 2 E/1 S ANA.
	Eina	4 E/S DIG. – 1 E/0 S ANA.
Font d'alimentació E/S		24V 1,5A (controla. i eina)
Temperatura (°C)		0-50
IP		IP54 (braç) IP32 (controla.)
Comunicació		RS232, Ethernet (master), Modbus TCP/RTU, Ethernet/IP o PROFINET opcional
Càmera		5M píxels, a color

Taula 5.1: Característiques tècniques del cobot TM5-900.

Font: [23]

La llista d'especificacions dona una idea més realista de les capacitats del cobot. En aquesta llista no es troba cap impediment per a la realització del projecte. A més a més, el funcionament en altres treballs del campus ha sigut correcte i no s'espera cap impediment o problema que pugui afectar negativament aquest projecte.

Sobre el plantejament de la solució, l'OMRON TM5-900 és una condició de treball, ja que és l'únic robot col·laboratiu del centre.

5.2. Programari

5.2.1. Primera alternativa: OMRON TMFlow

TMFlow és el programari bàsic que ha dissenyat OMRON per als seus cobots. Està basat en fluxos que permeten una programació senzilla i ràpida. En lloc d'escriure codi, els usuaris poden crear fluxos de treball arrossegant i deixant anar blocs de programació. Això ho fa més accessible pels usuaris sense experiència i redueix el temps necessari per programar el cobot [25].

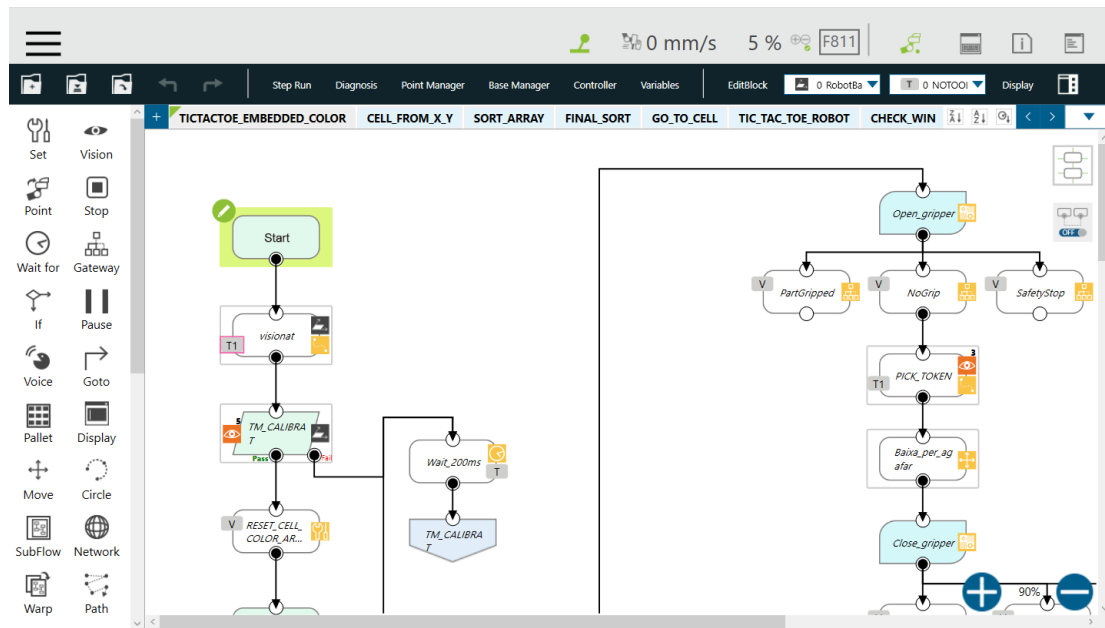


Fig. 5.4: Interfície del programari TMFlow.

Font: [Elaboració pròpia]

Disposa de blocs movibles que es poden utilitzar per marcar punts, comprovar estats, esperar condicions, parar el moviment, obrir i tancar la pinça automàticament, entre d'altres. També pot importar, exportar i tractar dades, requisit necessari per a la realització del projecte.

El programari, al estar completament adaptat al cobot i a diferència de les altres alternatives, ens permet fer coses com: aplicar punts automàticament prenent els botons corresponents del hardware *TM5-900*, veure una àmplia informació del cobot en temps real com la temperatura, potència consumida, corrent del cobot entre altres. I fins i tot, podem utilitzar la càmera molt fàcilment amb les etiquetes *Landmark* proporcionades per OMRON [26]

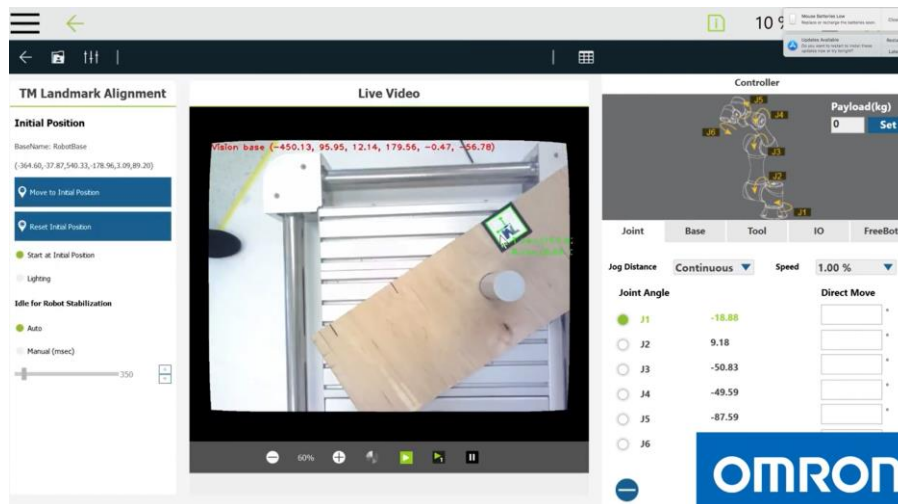


Fig. 5.5: Interfície de la càmera del programari TMFlow.

Font: [27]

Sobre la connectivitat del cobot amb el programari, aquest es pot connectar fàcilment amb o sense fil a través d'un punt d'accés físic fins al dispositiu on es troba. També hi ha una versió offline que permet treballar sense el cobot connectat, aquest és l'*editor sense connexió per al TMFlow* [26].

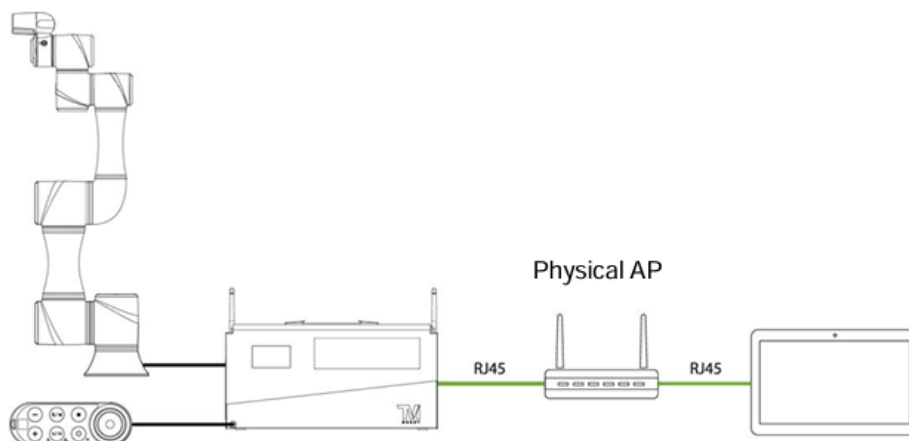


Fig. 5.6: Punt d'accés físic per la connexió del programari i cobot.

Font: [26]

Finalment, com a desavantatge, és un software no molt conegut i no disposa de molta informació i contingut en internet. Això dificulta l'aprenentatge, tot i que té manual i tutorials propis de OMRON.

5.2.2. Segona alternativa: MATLAB

MATLAB és un programari de MathWorks de desenvolupament i llenguatge de programació àmpliament utilitzat, especialment en àrees com la computació numèrica i el tractament de senyals. Aquest entorn proporciona eines potents per a la manipulació de dades i la resolució de problemes. També destaca per al seu llenguatge de programació propi, la capacitat de processar les dades en forma de matrius i la creació de gràfics i visualitzacions. A més el paquet MATLAB disposa d'una eina addicional que amplia la seva funcionalitat, concretament Simulink (plataforma de simulació multidomini) [28].

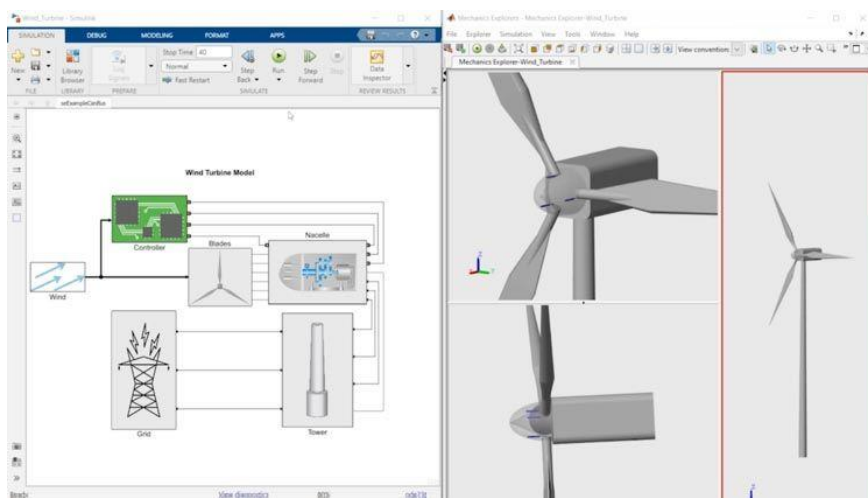


Fig. 5.7: Simulació i disseny en models amb Simulink – MATLAB.

Font: [28]

Simulink és una eina molt potent per a la simulació i modelització de sistemes dinàmics, el processament de senyals i imatges, i la implementació d'algoritmes.

Amb això, Matlab i Simulink proporcionen un conjunt d'eines que permeten una gran varietat d'accions per al desenvolupament d'aquest projecte, com [29]:

- Utilitzar models de sensors com càmeres, per analitzar com un cobot detecta l'entorn.
- Percebre l'entorn per aplicacions amb Deep Learning i visió artificial.
- Dissenyar, realitzar interaccions i optimitzar controladors de trajectòries.
- L'aplicació pot ajudar a augmentar l'eficiència i optimització, i així reduir l'empremta ecològica.

- Connectar i controlar cobots amb MATLAB.

5.2.3. Tercera alternativa: Python

Python és un llenguatge de programació de propòsit general que destaca per la seva llegibilitat i facilitat d'ús. Aquest s'utilitza per crear pàgines web, software, automatització, anàlisis i més. No està especialitzat en cap problema específic, més a més, Python s'ha convertit en uns dels llenguatges de programació més populars del món, per tant disposa de moltes guies i material en la web. [30]

La seva flexibilitat facilita el desenvolupament d'aplicacions per al tractament de dades i el control de sistemes, com és el cas amb el control d'un cobot. També, la comunitat àmplia i activa de Python, ofereix una àmplia gamma de llibreries i recursos que poden ser utilitzats per abordar de manera eficaç les necessitats específiques d'aquest projecte.



Fig. 5.8: Logotip i interfície de Python.

Font: [31]

5.3. Selecció de la solució

Per la selecció de les alternatives de solució, s'exposa una rúbrica de selecció que té en compte els apartats considerats més importants per la realització del projecte, on es puntua de l'1 al 3 per escollir la solució més adient.

PROGRAMARIS ALTERNATIVES DE SOLUCIÓ			
Marca	TMFlow	MATLAB	Python
Compatibilitat	3	2	2
Accessibilitat	2	3	3
Informació	2	3	3
Simplicitat	3	2	2
Possibilitats	1	3	3
Comunitat	1	2	3
TOTAL	12	15	16

Taula 5.2: Valoració dels programaris alternatius de solució.

Font: [Elaboració pròpia]

S'ha decidit que el programari principal que s'utilitzarà serà Python. Per fer ús d'aquest, es necessita un entorn de desenvolupament integrat (IDE), en aquest cas PyCharm.

6. Desenvolupament de l'aplicació.

Aquest apartat detalla tot el procés que s'ha dut a terme per al desenvolupament de l'aplicació de l'escriptura col·laborativa, des de la concepció inicial fins al resultat final. En primer lloc, s'explorarà amb detall l'arquitectura tècnica del sistema que descriu la comunicació entre dispositius. Després, es presenta la configuració física (setup) que s'utilitzarà per als experiments i l'anàlisi de resultats, també s'exposarà la metodologia i els procediments emprats per a l'adquisició de les dades prèvies. Finalment, es presentarà l'enunciat de l'experiment proposat que guiarà l'anàlisi de resultats.

6.1. Arquitectura tècnica

La comunicació entre els dispositius està basada en un sistema WebSocket que utilitza el protocol de comunicació TCP (Protocol de Control de Transmissió). Aquest té un paper fonamental en proporcionar una connexió fiable i ordenada entre el servidor i el client, també assegura que les dades enviades siguin rebudes en l'ordre correcte i sense pèrdues. D'altra banda, el WebSocket permet una comunicació bidireccional sobre aquesta connexió TCP, el que significa que tant l'ordinador (servidor on es trobarà l'aplicació) i el cobot (client) poden enviar i rebre dades simultàniament, facilitant una interacció fluida i eficient.

A continuació en la següent figura, es pot veure l'arquitectura tècnica del sistema, on es pot observar la comunicació entre els dispositius que fan de client i servidor.

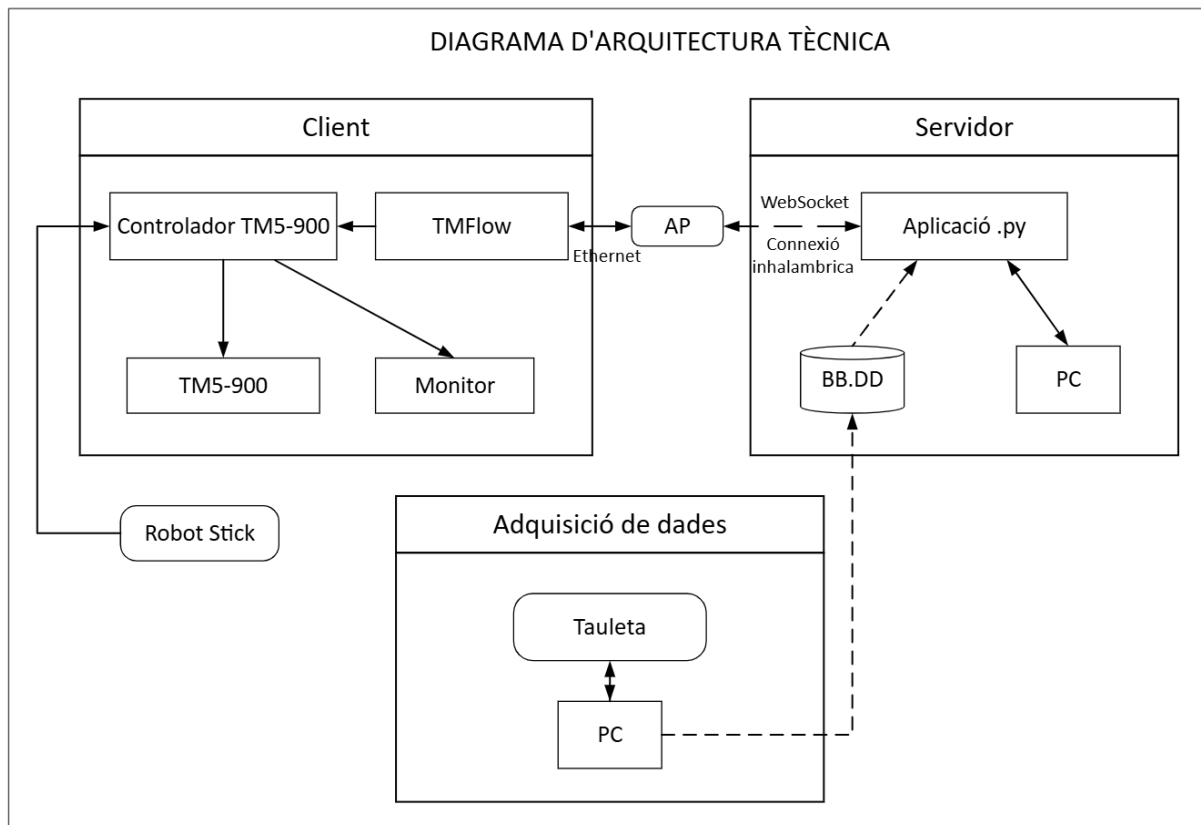


Fig. 6.1: Diagrama d'arquitectura tècnica del sistema.

Font: [Elaboració pròpia]

L'aplicació agafa les dades que indiquen el recorregut que ha de seguir el cobot des de la base de dades (BB.DD), les tracta i les envia mitjançant WebSocket a la aplicació de control del cobot, TMFlow, que ordena al cobot seguir el recorregut especificat.

Per una major facilitat d'ús, s'utilitza un Access Point (AP) TP-Link, que es fa servir com un punt d'accés sense fil, aquest està connectat al cobot via Ethernet i s'utilitza per a una connexió sense fil des del servidor.

Finalment, com es pot veure, en aquest cas s'utilitzen dos ordinadors per al sistema complet, un executa l'aplicació i fa de servidor, i l'altre s'utilitza en cas de voler adquirir dades amb la tauleta digitalitzadora.

6.2. Distribució (setup)

A continuació es mostra la distribució i l'espai de treball dels dispositius utilitzats per tal de desenvolupar l'aplicació, fer els experiments i els tests que es necessitin per a que tot funcioni correctament.

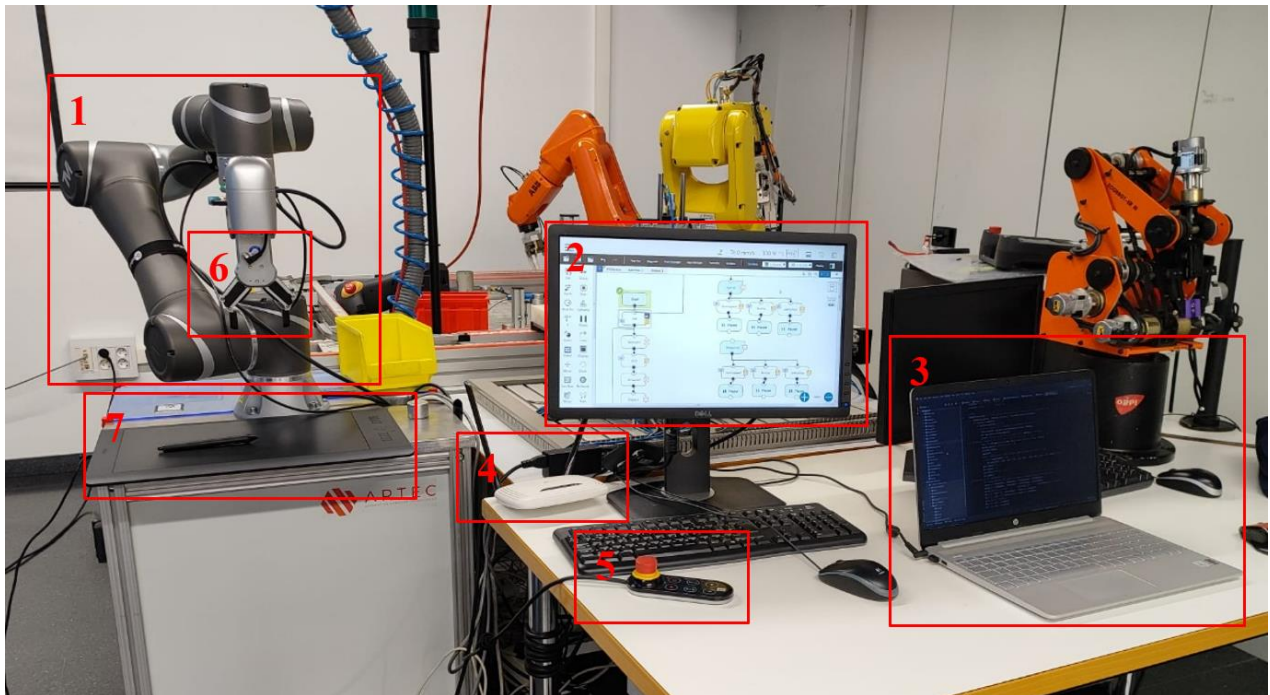


Fig. 6.2: Distribució física dels dispositius utilitzats.

Font: [Elaboració pròpia]

Dispositius utilitzats:

- | | |
|----------------------------------|-------------------------------------------|
| 1. Cobot TM5-900 | 5. Robot Stick |
| 2. Monitor controladora TMFlow | 6. Pinça 3D |
| 3. Ordinador portàtil (servidor) | 7. Espai de treball (tauleta, foli, etc.) |
| 4. Access Point (AP) | |

6.3. Adquisició de dades prèvies

Sobre les dades que s'utilitzen en el present projecte i que farà servir l'aplicació, aquestes són extretes d'una tauleta digitalitzadora Wacom. La tauleta genera arxius .svc de dibuixos, firmes, escriptures, etc., on cada arxiu disposa de les coordenades (x,y), el temps (t), si hi ha pressió o no (0/1), els angles d'azimut (azi), altitud (alt) i finalment la pressió (p) de la representació.



Fig. 6.3: Esquema simple de l'extret de dades d'una tauleta digitalitzadora.

Font: [Elaboració pròpia a partir de [31]]

D'aquestes dades, en aquest treball només agafem les coordenades x i y, que corresponen a 2000 unitats/cm, el temps t que són 1000 unitats/s i la pressió en binari que ens indica si hi ha pressió o no.

A continuació es mostra la distribució dels dispositius i la interfície per l'adquisició de dades:

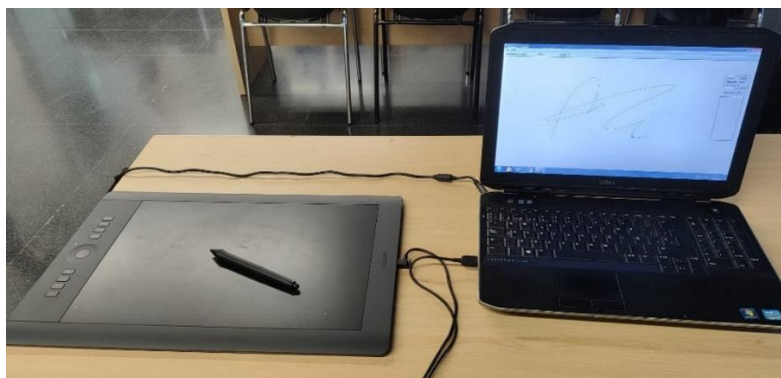


Fig. 6.4: Distribució dels dispositius d'adquisició de dades.

Font: [Elaboració pròpia]

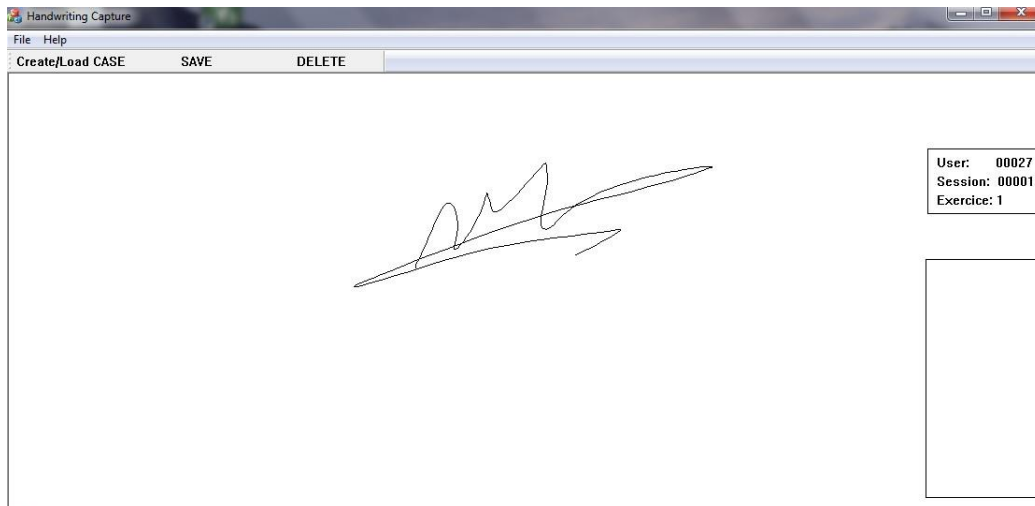


Fig. 6.5: Interfície de l'adquisició de dades amb la tauleta.

Font: [Elaboració pròpia]

On es pot veure la tauleta, el bolígraf que registra el moviment i l'ordinador amb l'aplicació de captura de dades que ens permetrà generar els arxius.

6.3.1. Base de dades (BBDD.)

Tot i que disposem de la tauleta per adquirir dades, s'utilitzarà una base de dades biomètrica de la MCYT (Madrid Ciencia Y Tecnología) amb més de 400 firmes per fer els experiments (aquesta amb una escala de 1000u/cm en els eixos i en format FPG) [32]. La tauleta s'utilitzarà per l'anàlisi de resultats, com es comentarà posteriorment, en l'enunciat de l'experiment.

Per tal de dividir correctament les firmes que s'utilitzaran i convertir-les en un format llegible i fàcil d'interpretar per l'aplicació Python (CSV), es col·labora amb Sergio Sánchez González, que ens proporciona un script Matlab per aconseguir-ho. Ara mateix Sergio es troba cursant doble grau d'enginyeria informàtica i producció de videojocs i està realitzant un treball de marques d'aigua (watermarking) en firmes manuscrites online.

Un cop tenim les firmes en format CSV, ja podem utilitzar-les i visualitzar-les amb molta més facilitat:

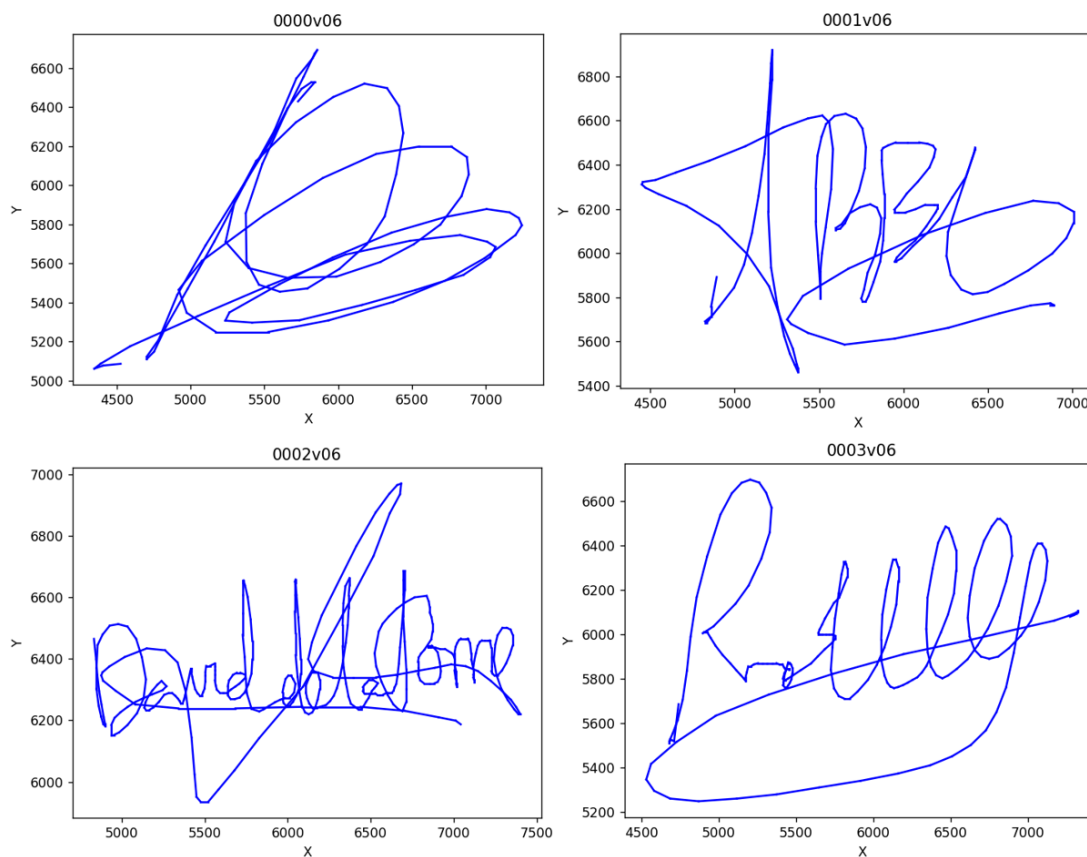


Fig. 6.6: Mostra de les firmes que es disposen en la base de dades.

Font: [Elaboració pròpia]

El script complet es troba annexat en la documentació d'annexos (Annex V: Script Matlab conversió CSV).

6.4. Arquitectura del software

Un cop s'ha definit la configuració, distribució i s'han detallat les dades que es disposen, s'explicarà l'aplicació que s'ha realitzat per fer funcionar tota la tasca d'escriptura. Per això, aquest apartat es divideix en dues parts, el primer defineix i explica el programari desenvolupat en Python que tracta i envia les dades i el segon explicarà el programari del cobot desenvolupat en TMFlow, que rebrà les dades i donarà instruccions de moviment.

6.4.1. Primera part de l'aplicació (Python)

Pel que fa al programari que tracta les dades i les envia a l'aplicació de control TMFlow, aquest és el diagrama de flux:

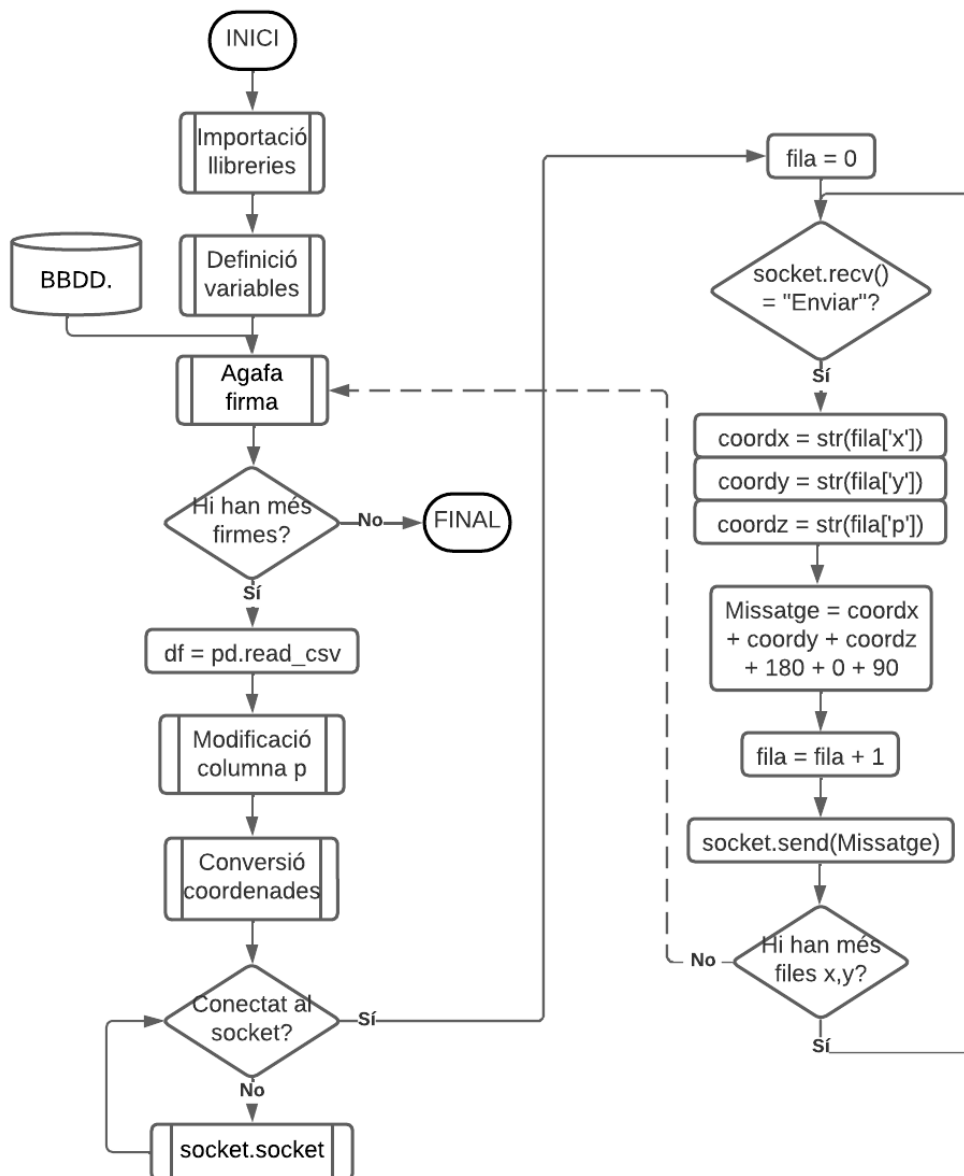


Fig. 6.7: Diagrama de flux de l'aplicació principal en Python.

Font: [Elaboració pròpia]

A continuació s'explica detalladament cada part del diagrama de flux:

Importació llibreries:

Primer de tot s'importen les llibreries necessàries que s'utilitzaran en l'aplicació, aquestes són les següents:

Llibreries utilitzades Python		
Llibreria	Descripció	Ús en el codi
os	S'utilitza per utilitzar funcionalitats del sistema operatiu com la manipulació d'arxius i directoris.	S'utilitza per recórrer el directori especificat i trobar els arxius CSV que contenen l'escriptura.
pandas	Ofereix eines d'anàlisi de dades d'alt rendiment. S'utilitza principalment per a la manipulació i anàlisi de dades tabulars.	S'utilitza per llegir els arxius CSV anteriorment mencionats i processar les dades dins d'un DataFrame (df).
matplotlib.pyplot	Amb aquest es pot crear visualitzacions estàtiques, animades i interactives en Python. S'utilitza comunament per generar gràfics i visualitzacions de dades.	Genera gràfics de l'escriptura que realitza (coordenada x i y).
socket	Permet la comunicació entre màquines a través de xarxes mitjançant la creació i gestió de connexions de xarxa (sockets).	S'utilitza per establir un servidor TCP/IP que escolta i accepta connexions per enviar i rebre dades.
time	Proporciona funcions relacionades amb la gestió de temps, com l'obtenció del temps actual, la pausa del programa, etc.	S'utilitza per aturar durant un temps específic l'execució del programa entre escriptura i escriptura.

Taula 6.1: Llibreries utilitzades, descripció i ús en el codi.

Font: [Elaboració pròpia]

Definició de les variables:

Seguidament, es defineixen les variables que s'utilitzen en els pròxims blocs, aquestes són les següents:

- ts: Temps entre escrit i escrit (només aplica si hi han dos o més arxius que es vulguin utilitzar), per l'experiment del treball li assignem 3s.
- zp i znp: La coordenada z del cobot quan hi ha pressió i quan no hi ha pressió, en aquest cas 362 quan hi ha pressió i 363 quan no hi ha pressió (puja 1 mm).

- *xinimin*, *xinimax*, *yinimin* i *yinimax*: El rang d'espai en *x* i *y* on es troba la escriptura inicial, en aquest cas de 0 a 12700 per la coordenada *x* i de 0 a 9700 per la coordenada *y*.
- *xfinmin*, *xfinmax*, *yfinmin* i *yfinmax*: El rang d'espai en *x* i *y* del cobot on es vol que es repliqui l'escriptura, en aquest cas de 50 a 113,5 per la coordenada *x* i de 230 a 278,5 per la coordenada *y*.

BBDD.:

En aquest punt, es defineix una carpeta de destí on es troben els arxius que es volen utilitzar, i amb la llibreria *os* es selecciona el primer arxiu, seguidament amb ajut de la llibreria *pandas* es col·loquen les dades tabulars en el DataFrame "df", on poden ser tractades. Les dades que utilitzarem d'aquest son principalment les columnes *x*, *y* i *p/z*.

Modificació columna p:

Després, s'agafa la columna *p* i si hi ha pressió $p > 0$ es converteix en la variable *zp* definida anteriorment, i si no hi ha pressió $p = 0$ es converteix en la variable *znp* també definida. Tot això amb ajut de la llibreria *pandas*.

Conversió de les coordenades:

En aquest punt es converteixen les coordenades inicials de la firma a les coordenades del cobot, per això s'utilitzen les variables que defineixen la longitud de *x* i *y* de les firmes i es converteix a la longitud de *x* i *y* del cobot establertes. Amb això, també es pot seleccionar l'escala i la zona concreta on es vol representar.

A continuació s'explica perquè hem escollit aquestes variables:

- *xinimin*: 0 - *yinimin*: 0 - *xfinmin*: 50 - *yfinmin*: 230
- *xinimax*: 12700 - *yinimax*: 9700 - *xfinmax*: 113,5 - *yfinmax*: 278,5

En la base de dades que disposem, les firmes es troben en un rang entre 0 i 12700 en *x* i entre 0 i 9700 en *y*. Com ja s'ha mencionat en l'apartat de l'adquisició de dades, 2000 unitats equival a 1 cm, nosaltres busquem una escala 1:1, per tant calculem que l'eix *x* ocuparà 6,35 cm i l'eix *y* ocuparà 4,85 cm, que equival a 127 i 97 unitats en el cobot. La *x* i *y* mínima del cobot depèn de la zona física on es vol realitzar l'escriptura

Socket.socket:

Quan el tractament de dades està llest, es procedeix a obrir el servidor, per això es selecciona la IP i el port on es connectarà TMFlow, si el servidor ja està obert (obert anteriorment amb altres escriptures), aquest pas es salta.

Comunicació amb TMFlow:

Una vegada el servidor és obert i s'ha establert la comunicació, s'espera que el programa de TMFlow sigui iniciat, quan aquest està preparat, envia un missatge "Enviar". Quan l'aplicació rep el missatge, envia la primera fila de coordenades, espera que el cobot vagi al punt (esperant un altre missatge "Enviar") i envia la següent fila, fins que l'escriptura sigui completa.

Si hi ha una altre escriptura, espera 5s (variable ts) i agafa el següent arxiu de la BBDD. (la següent escriptura) tornant a aquell apartat.

El codi complet es troba annexat en la documentació d'annexos (Annex III: Codi de l'aplicació en Python), així com el significat dels blocs (Annex II: Definició de blocs).

6.4.2. Segona part de l'aplicació (TMFlow)

Pel que fa al TMFlow, que és el responsable de rebre les dades i l'aplicació de control del cobot, aquest és el diagrama de flux:

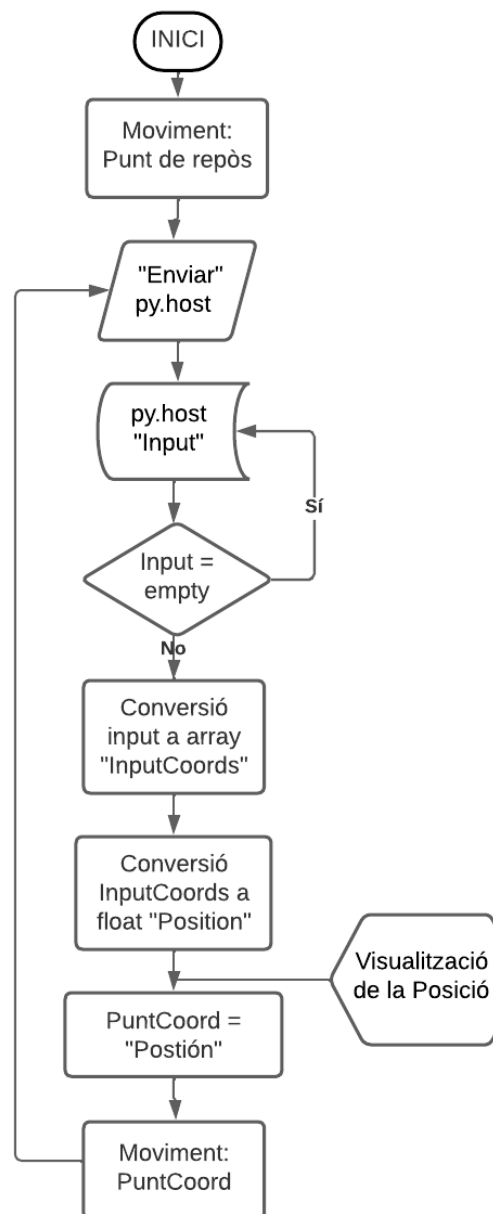


Fig. 6.8: Diagrama de flux de la aplicació de control TMFlow.

Font: [Elaboració pròpia]

Primer de tot, s'ha seleccionat un punt de repòs "PO" de seguretat on volem que s'iniciï el programa, el primer pas serà anar a aquest punt.

Una vegada el cobot a arribat ha aquest punt, li envia un missatge "Enviar" per comunicar de què està llest per rebre les coordenades, això provoca que l'aplicació en Python li envii les coordenades, que arriben a la variable string "Input". Si no rep les coordenades en 5s, torna a enviar un missatge de recepció.

Una vegada tenim la informació en format string, aquesta la col·loca en un array, i la transforma en float en la variable "Position", a continuació tenim el següent:

```
var_Position (float) = [x,y,z,Rx,Ry,Rz]
```

Finalment assignem aquestes coordenades a punt, i fem que el cobot vagi al punt, un cop ha completat el recorregut, torna a enviar el missatge de recepció i espera la següent coordenada. Això ho fa fins que acabin les files de coordenades, on es quedarà esperant un altre firma o a l'aturada del sistema.

El diagrama en el programari TMFlow es troba annexat en la documentació d'annexos (Annex III: Aplicació en TMFlow).

6.5. Experiments

Un cop s'ha definit tot el context amb relació al funcionament de l'aplicació i les dades que s'utilitzaran, es faran dos experiments:

1. Es replicaran dues firmes sobre paper a una escala major, per tal de veure el resultat percebut de l'aplicació, per tal de fer una anàlisi més superficial.
2. S'intentarà replicar les màximes firmes possibles escala 1:1 sobre la tauleta, per tal d'analitzar un resultat més exhaustiu i precís de l'escriptura, així com la qualitat.

6.5.1. Primer experiment.

Per l'experiment més bàsic i superficial, s'utilitza un retolador amb punta gruixuda i un paper ben centrat en l'escala x, y.

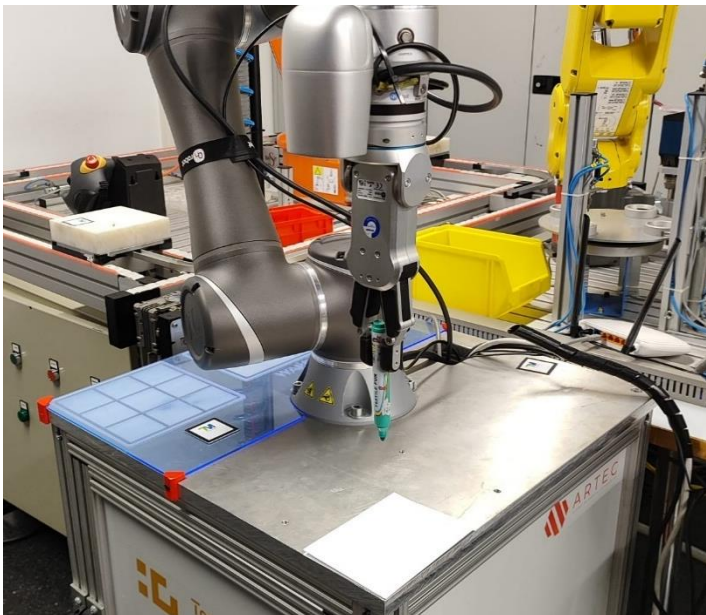


Fig. 6.9 i Fig. 6.10: Implementació del primer experiment.

Font: [Elaboració pròpia]

A continuació, es seleccionen les firmes i s'inicia l'aplicació:

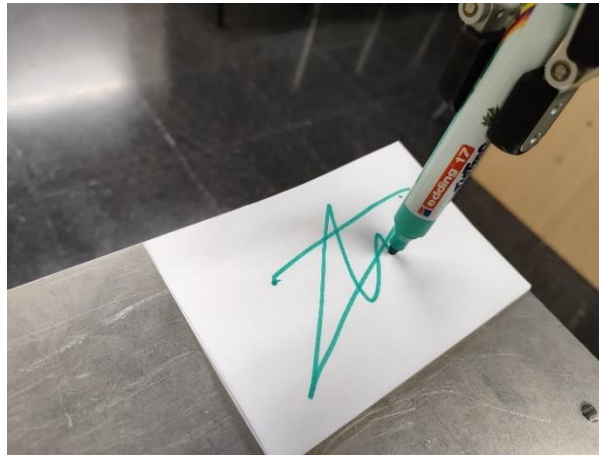


Fig. 6.11: Execució del primer experiment.

Font: [Elaboració pròpia]

6.5.2. Segon experiment

Per l'experiment més exhaustiu i precís, es busca observar i estudiar si el robot pot arribar a falsificar les firmes i duplicar-les com si fos una persona real. Per això s'utilitza la tauleta digitalitzadora com a receptora de dades, que ens proporciona una mesura exacta i altres variables per analitzar, com el temps.

S'utilitzaran principalment 10 firmes per l'anàlisi, però com el robot les escriu una darrere l'altra, la tauleta només generarà un únic arxiu SVC amb totes les firmes replicades. Per això, Sergio Sánchez ens proporciona un script Matlab per tal de dividir les firmes, tenint en compte que passen més de 5 segons entre firma i firma, tal com es veu en la següent figura. (Script complet en Annex IV: Script Matlab divisió de firmes).

38047	23645	5599206	0	1350	870	0	Firma X
38047	23645	5599214	0	1350	870	0	
38047	23645	5599221	0	1350	870	0	
38047	23645	5599229	0	1350	870	0	
37027	23497	5608162	0	2700	860	0	Firma X+1
37027	23487	5608169	0	2700	860	0	
37027	23487	5608177	0	2700	860	0	

Fig. 6.12: Exemple de la divisió entre firma i firma.

Font: [Elaboració pròpia]

Sobre l'execució, com només es disposa de la pinça 3D com a mètode de subjecció, s'intenta que la subjecció sigui el més estable possible, dins de les nostres capacitats.

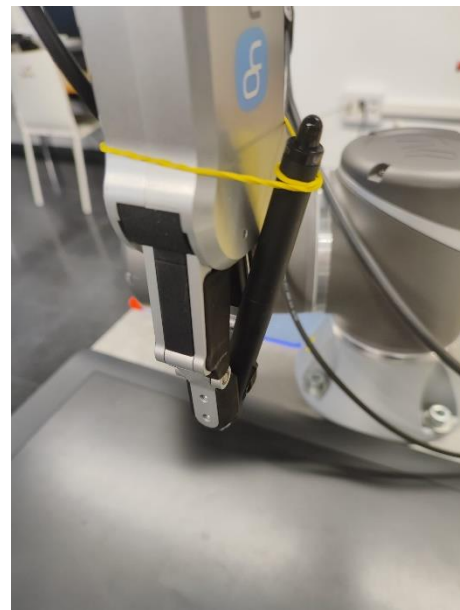
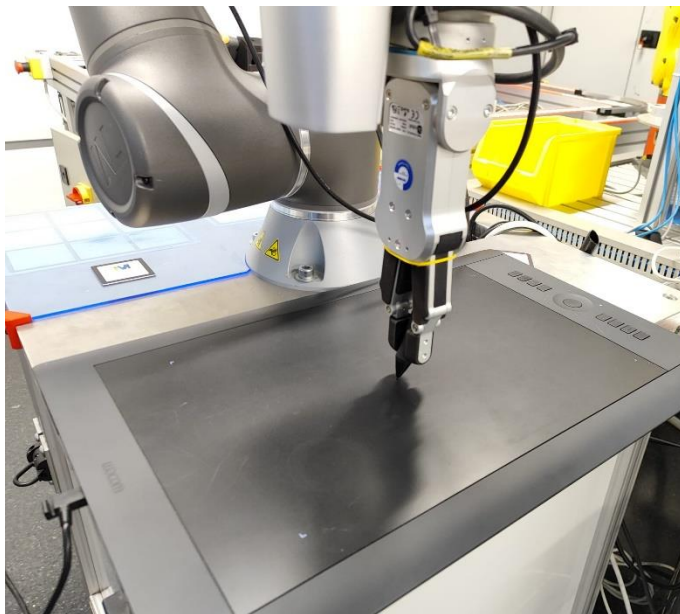
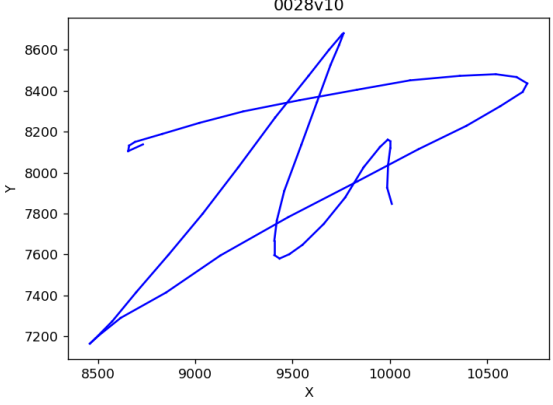
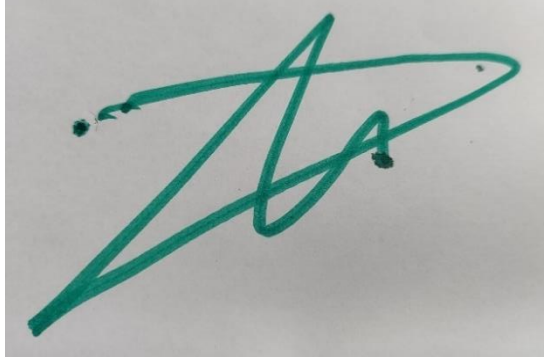


Fig. 6.13 i Fig. 6.14: Implementació del segon experiment.

Font: [Elaboració pròpia]

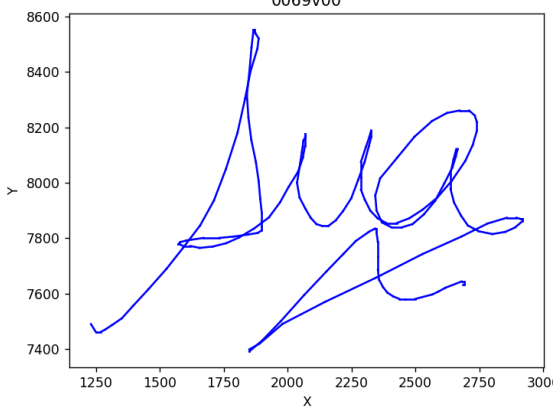
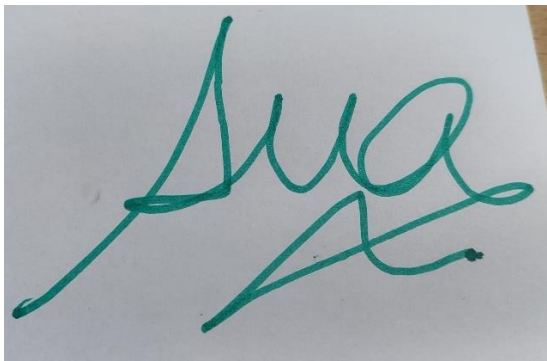
7. Anàlisi de resultats.

A continuació s'exposa el resultat i anàlisi del primer experiment:

Experiment 1. Firma 1	
Referència (firma original)	Dibuix resultat (robot)
	

Taula 7.1: Resultat de l'experiment 1, firma 1.

Font: [Elaboració pròpia]

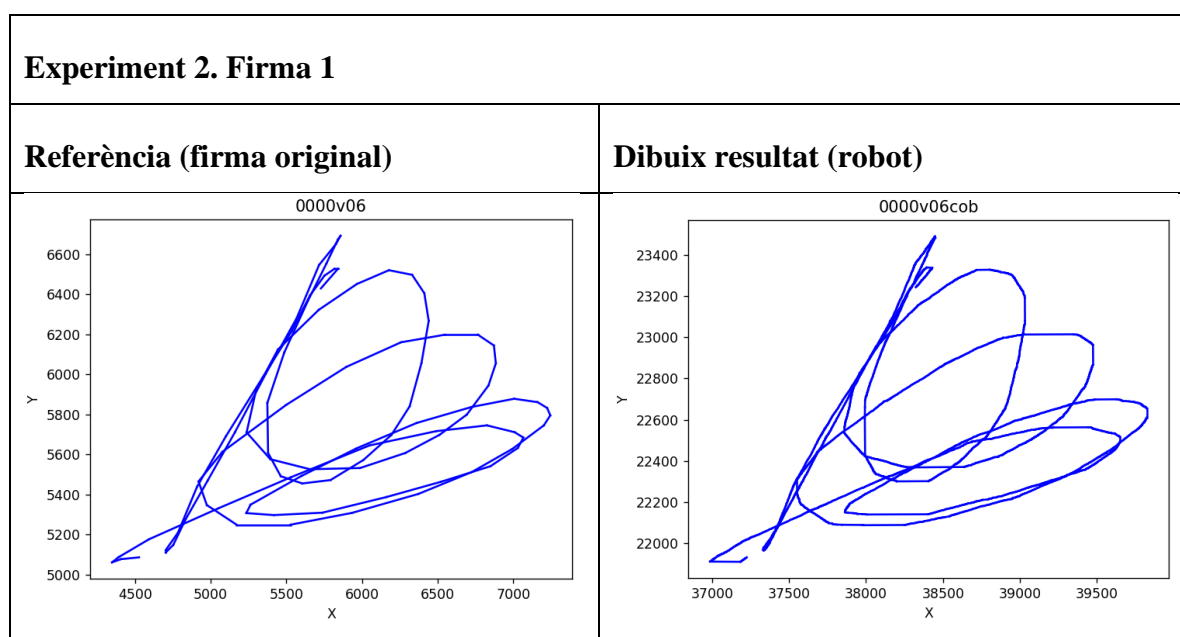
Experiment 1. Firma 2	
Referència (firma original)	Dibuix resultat (robot)
	

Taula 7.2: Resultat de l'experiment 1, firma 2.

Font: [Elaboració pròpia]

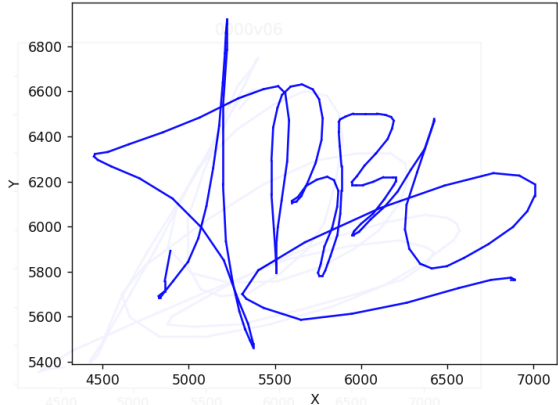
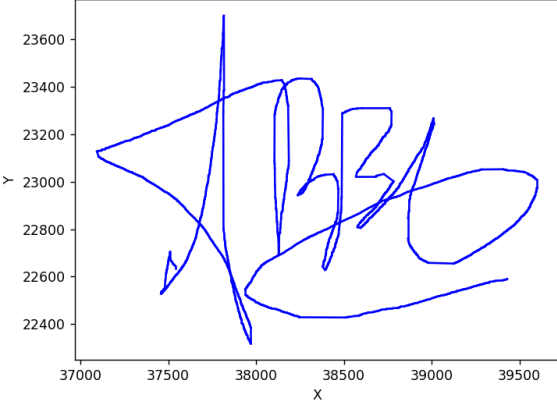
Com podem veure en els resultats del primer experiment (Figura 7.1 i 7.2), el robot ha sigut capaç de replicar les firmes originals correctament. Aquest experiment demostra la funcionalitat correcta de l'aplicació de manera superficial. L'únic problema que s'ha pogut percebre a simple vista és que el robot anava lent, aturant-se en cada punt.

Un cop es sap que l'aplicació funciona, es valora la precisió i altres variables amb 10 firmes en el segon experiment, a continuació en les següents figures es mostren els resultats comparatius de les tres primeres.



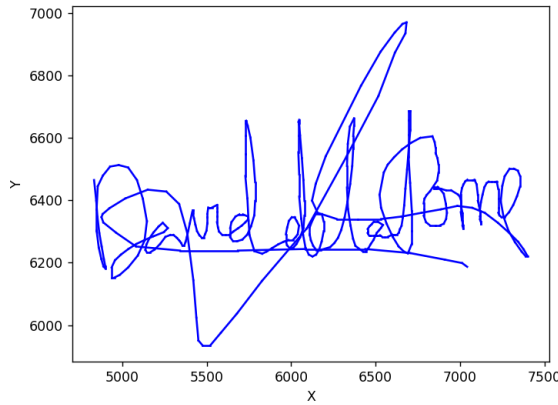
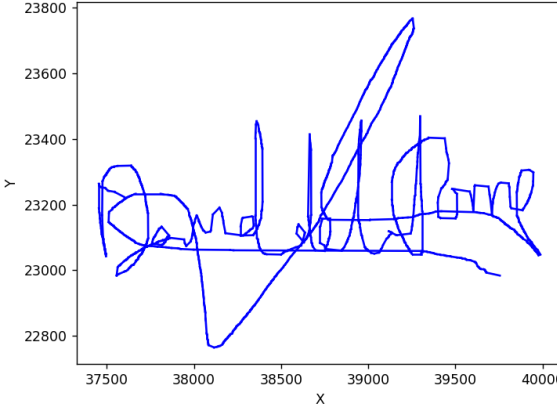
Taula 7.3: Resultat de l'experiment 2, firma 1.

Font: [Elaboració pròpia]

Experiment 1. Firma 2	
Referència (firma original)	Dibuix resultat (robot)
<p>0001v06</p> 	<p>0001v06cob</p> 

Taula 7.4: Resultat de l'experiment 2, firma 2.

Font: [Elaboració pròpia]

Experiment 3. Firma 1	
Referència (firma original)	Dibuix resultat (robot)
<p>0002v06</p> 	<p>0002v06cob</p> 

Taula 7.5: Resultat de l'experiment 2, firma 3.

Font: [Elaboració pròpia]

En els resultats del segon experiment (Figura 7.3, 7.4 i 7.5) podem veure que, tot i que semblen iguals, hi han petits defectes en el traçat de la firma. S'ha conclòs que aquests poden ser deguts a les vibracions del robot o la subjecció del bolígraf.

Per avaluar quantitativament la similitud entre les firmes del robot i les firmes humanes, Sergio Sánchez ens proporciona un script en Matlab que centra les firmes i utilitza un algorisme Dynamic Time Warping (DTW) per comparar-les. Aquest algorisme permet comparar seqüències temporals de dades, en aquest cas, les coordenades de les firmes, trobant la millor alineació possible entre elles tot i amb les diferències en la velocitat de traçat.

A continuació es mostra l'anàlisi en detall obtinguda en l'última firma adquirida, enumerant els passos que s'han seguit per generar el resultat de la comparació:

- Primer de tot, es centren les firmes (1):

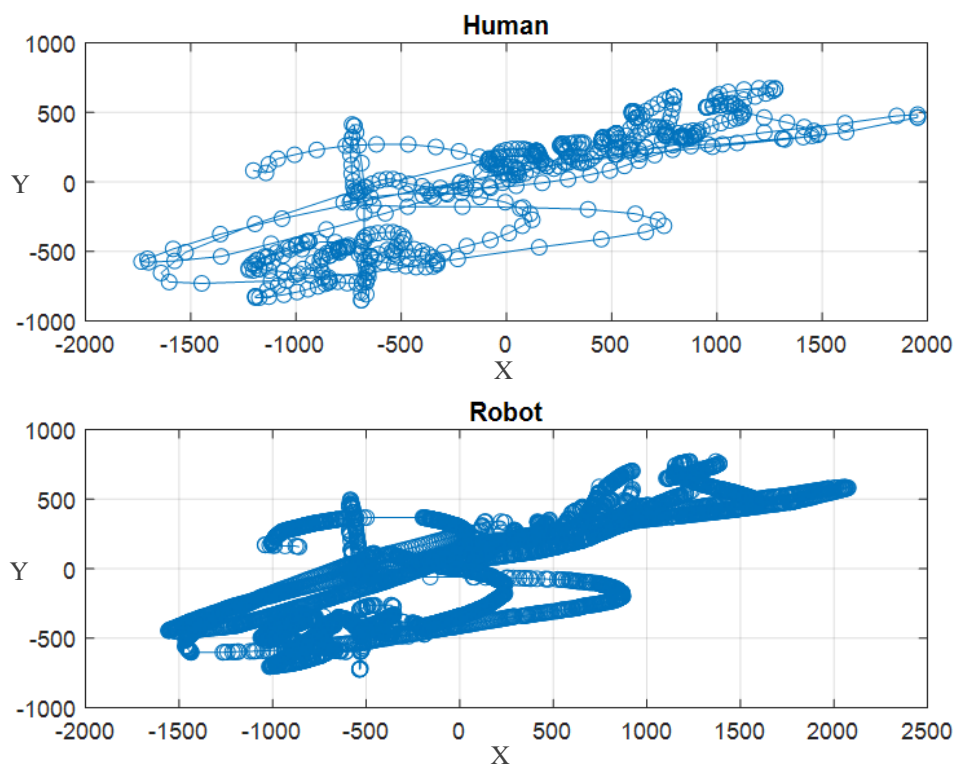


Fig. 7.1: Comparació firmes centrades.

Font: [Elaboració pròpia]

Ja en aquest punt es pot observar que les firmes no són exactament idèntiques, a més que es pot veure que la firma adquirida del robot té més punts per què ha tardat més.

- A continuació es compara les dues firmes amb les coordenades principals x i y (2):

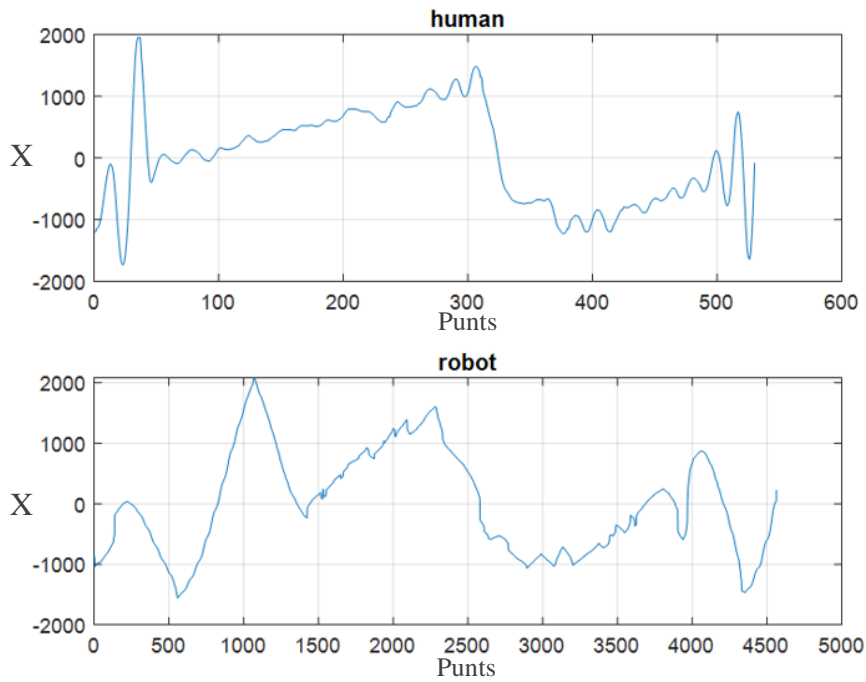


Fig. 7.2: Comparació de les firmes amb l'eix x.

Font: [Elaboració pròpia]

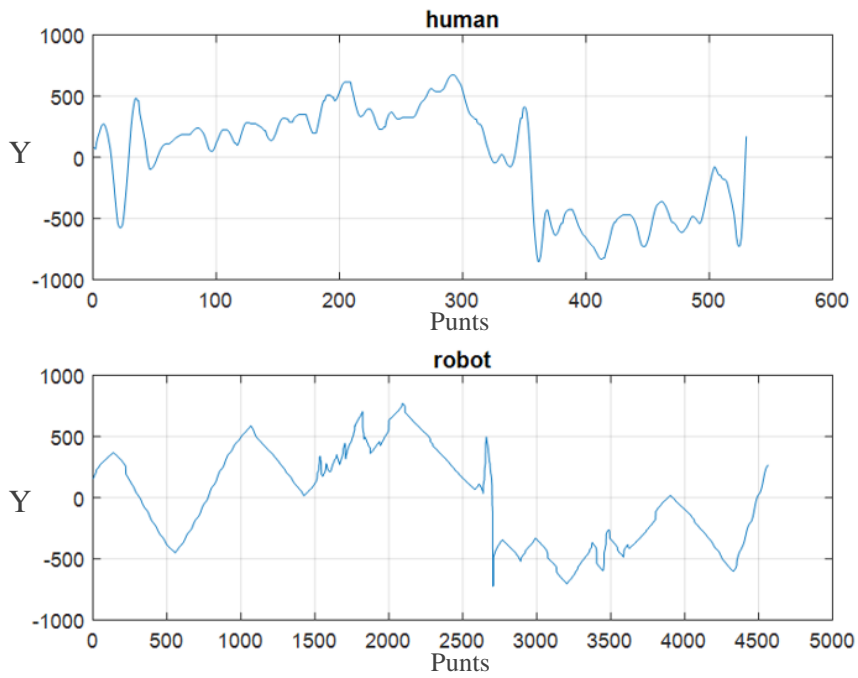


Fig. 7.3: Comparació de les firmes amb l'eix y.

Font: [Elaboració pròpia]

Es pot observar en l'eix vertical la variació de les coordenades x en la Figura 7.2 i y en la Figura 7.3 i en l'eix horitzontal es mostra el número de mostra, la firma original té aproximadament 540 punts i la firma del robot 4600 punts. Sabent que 100 punts són 1s, s'observa que el robot va molt més lent generant la firma.

- Per tal de fer una comparació, s'agafa la firma original i s'escala perquè coincideixi amb la del robot, utilitzant aquests 4600 punts (3):

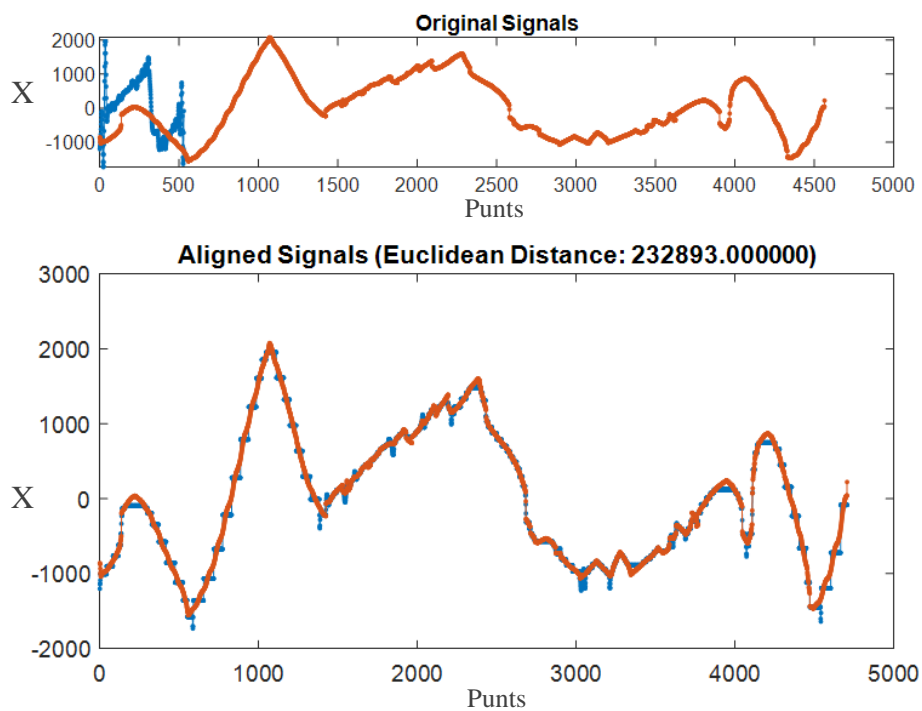


Fig. 7.4: Escalat firma original en l'eix x.

Font: [Elaboració pròpia]

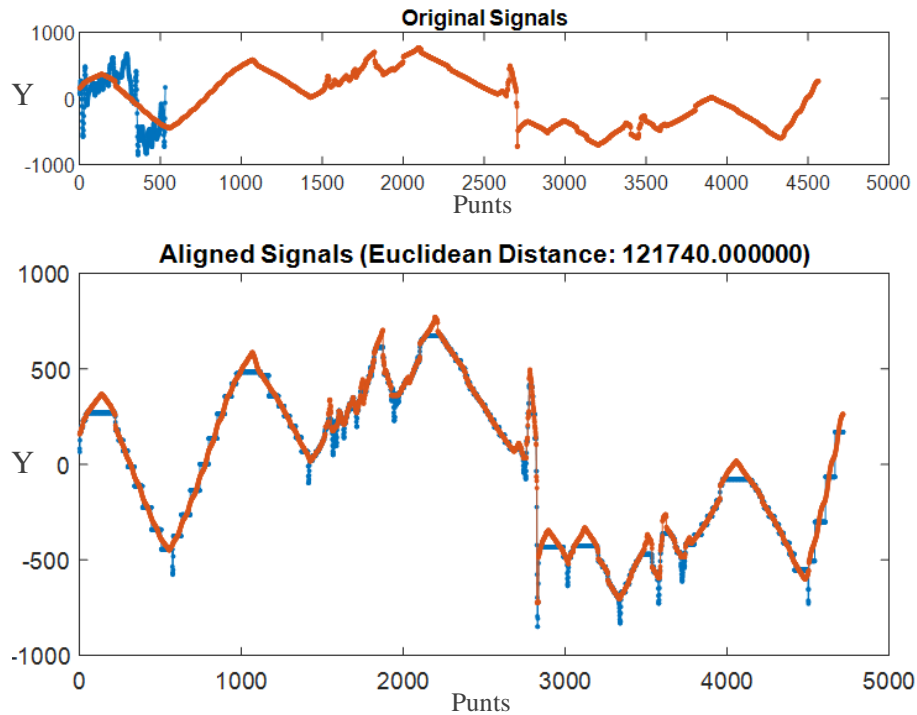


Fig. 7.5: Escalat firma original en l'eix y.

Font: [Elaboració pròpia]

Podem veure en color blau el que seria la firma original i en color taronja la firma final del robot. A l'escalar la firma original, com aquesta té molts menys punts, es pot veure els esglaons d'aquesta, generant un error més gran del que deuria.

Per mesurar l'error en la comparació (a part de la DTW, més endavant) s'utilitza la distància euclidiana, que és la distància geomètrica directa entre dos punts en un espai euclidià. Així doncs, escalant la firma original s'obté una distància euclidiana de 232.893 en l'eix x i 121.740 en l'eix y.

- Per tal de fer la millor comparació, ara s'agafa la firma del robot i s'escala perquè coincideixi amb l'original, utilitzant aquests punts (4):

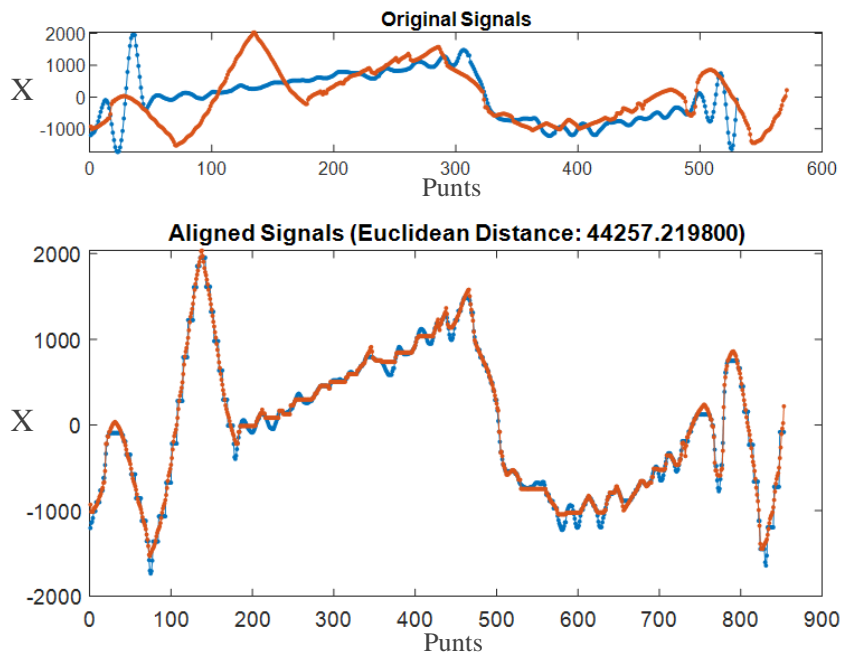


Fig. 7.6: Escalat firma del robot en l'eix x.

Font: [Elaboració pròpia]

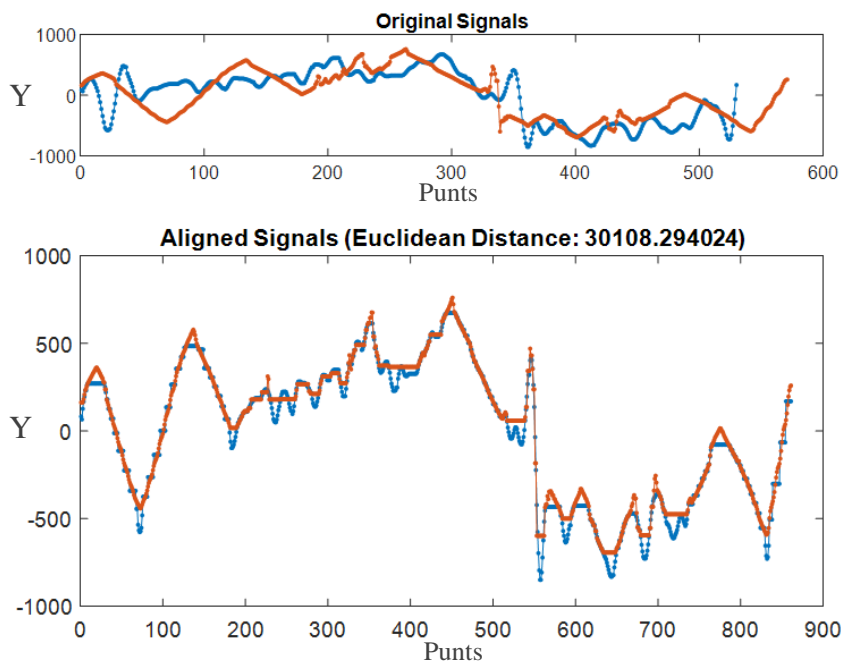


Fig. 7.7: Escalat firma del robot en l'eix y.

Font: [Elaboració pròpia]

En aquesta comparació no es veuen els esglaons, ja que ha sigut la firma del robot, que era la que més punts tenia, la que s'ha escalat. També la distància euclidiana és menor, amb 44.257 en l'eix x i 30.108 en l'eix y.

- Aquesta és la comparació en DTW resultat (5):

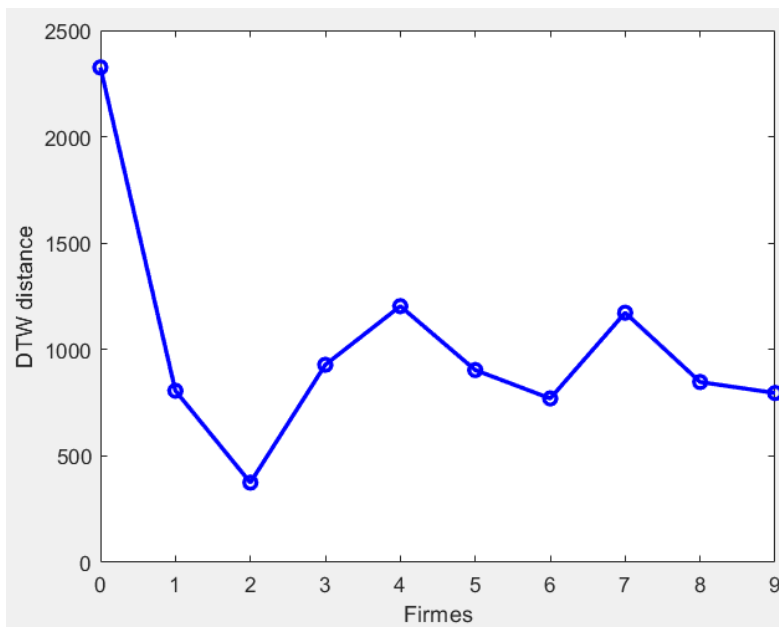


Fig. 7.8: Distància DTW en cada firma respecte a l'original.

Font: [Elaboració pròpia]

Aquesta és la distància resultat DTW, comparant les firmes del robot respecte a les originals. A continuació s'ha desenvolupat una eina per la identificació de les firmes (comparant les firmes del robot entre totes les originals i observant quina té una DTW més petita en cada firma original), aquesta identificació ha resultat en un 70% d'encert.

- Finalment, es compara la velocitat del robot en moments específics de la firma (6):

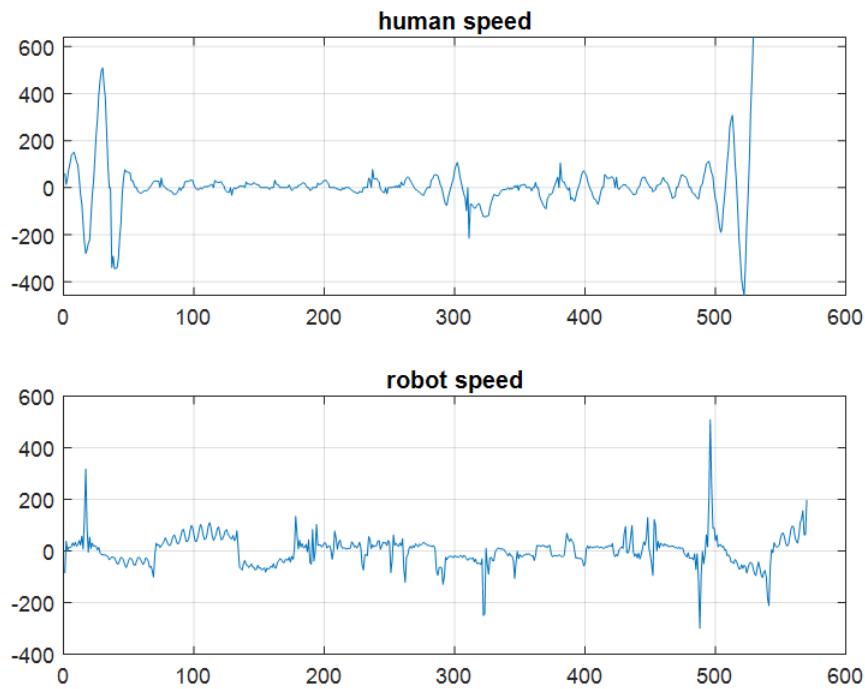


Fig. 7.9: Comparació de la velocitat de la firma.

Font: [Elaboració pròpia]

Per fer la comparació, s'ha escalat la velocitat de la firma del robot per veure la velocitat que ha adquirit en moments específics de la firma. En la comparació d'aquesta firma específica, es pot veure semblances en alguns moments específics, però també es poden observar pics estranys de velocitat per part del robot.

8. Planificació.

8.1. Avantprojecte

8.1.1. Definició i planificació de les tasques/activitats

L'avantprojecte es comença el dia 23 de Novembre i s'ha realitzat un treball de 3h per dia (10:00 a 13:00), de dilluns a divendres, acabant el dia 12 de Gener.

A continuació es descriuen les tasques acomplides en l'elaboració de l'avantprojecte, aquestes tasques inclouen la documentació i redacció del contingut de l'avantprojecte en tots els apartats.

Codi	Tasca	Duració (h)	Prelacions
1.1	Definició de l'objecte, abast i objectius	10	-
1.2	Recerca d'informació del tractament de dades	12	1.1
1.3	Estudi de la robòtica col·laborativa	15	1.1
1.4	Definició i estudi de les alternatives de solució	15	1.1
1.5	Viabilitat tècnica + Annex I	15	1.4
1.6	Viabilitat mediambiental + Annex II	10	1.4
1.7	Viabilitat econòmica	5	1.4
1.8	Selecció de l'alternativa	8	1.5, 1.6, 1.7
1.9	Desenvolupament de la solució	15	1.8
1.10	Planificació	10	1.9
1.11	Pressupost	10	1.10
1.12	Correcció i revisió del document	12	1.11
1.13	Millora de la presentació del document i últims detalls	5	1.12
TOTAL		144	

Taula 8.1: Taula descriptiva de les tasques/activitats de l'avantprojecte.

Font: [Elaboració pròpia]

8.1.2. Diagrama de Grantt

Amb ajut de Microsoft Project, s'ha realitzat el diagrama de Gantt corresponent:



Fig. 8.1: Diagrama de Gantt de l'avantprojecte.

Font: [Elaboració pròpia]

8.2. Projecte

8.2.1. Definició i planificació de les tasques/activitats

Per a la realització del projecte, aquest va començar dia 15 de Gener, amb un termini com a molt tard el 1 de Juny. Per aquest, es dedicaran 3h al dia (10:00 a 13:00), de dilluns a divendres. S'han enumerat les següents tasques que es consideren necessàries per a la realització del projecte:

Codi	Tasca	Duració (h)	Prelacions
2.1	Correcció i millora de l'avantprojecte	(15)	-
2.2	Hores de reunió i planificació amb el tutor	3	-
2.3	Estudi del funcionament del programari	24	-
2.4	Estudi del funcionament del cobot TM5-700	24	-
2.5	Estudi del set-up, connectivitat entre els dispositius	24	2.2, 2.3
2.6	Realització de l'aplicació	42	2.4
2.7	Muntatge i configuració	10	2.5
2.8	Elaboració de l'espai de treball	7	2.5
2.9	Anàlisi del funcionament de l'aplicació i millores	20	2.6, 2.7
2.10	Conclusions i anàlisi dels resultats	15	2.8
2.11	Correcció i revisió del document final	20	2.9
2.12	Millora de la presentació del document i últims detalls	12	2.10
2.13	Continguts en la defensa del projecte	15	2.11
2.14	Preparació per la presentació del projecte	25	2.12
TOTAL		256	

Taula 8.2: Taula descriptiva de les tasques/activitats del projecte.

Font: [Elaboració pròpia]

8.2.2. Diagrama de Grantt

Amb ajut de Microsoft Project, s'ha realitzat el diagrama de Gantt corresponent:

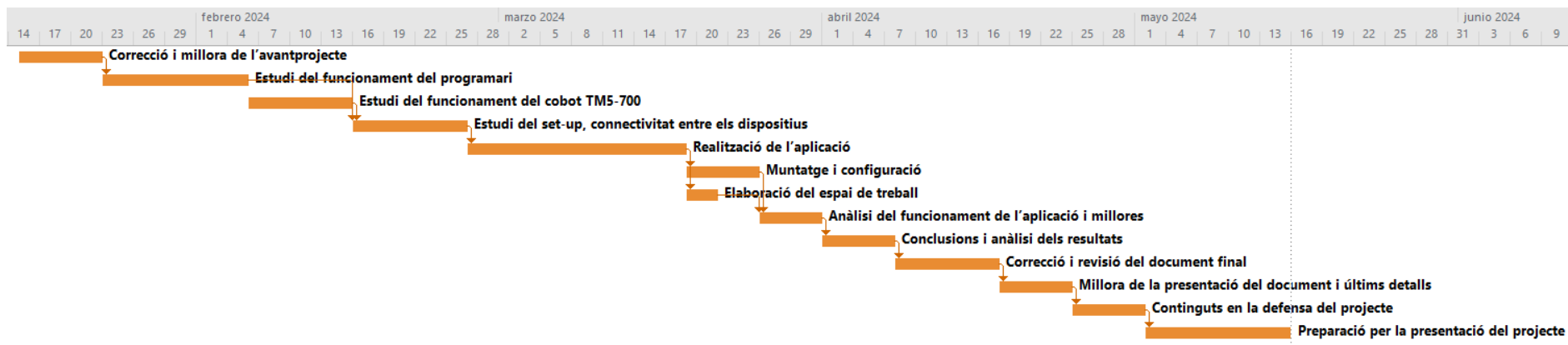


Fig. 8.2: Diagrama de Gantt del projecte.

Font: [Elaboració pròpia]

S'han repartit les hores en funció de les activitats que s'han de dur a terme per a una bona realització del projecte, també s'ha afegit un 10% de temps en totes les activitats com a marge i un altre 10% a les més importants o amb més riscos. Amb això, la durada final de l'avantprojecte i projecte és d'unes 400 hores, que encaixen amb els corresponents 16 crèdits del treball final de grau (25h de dedicació per cada ECTS).

Finalment, hi han hagut alguns imprevistos, però s'han recuperat dedicant més temps del corresponent.

9. Impacte mediambiental.

L'impacte mediambiental avalua si el projecte s'ha implementat de manera sostenible i respectuosa amb el medi ambient, examinant detalladament totes les alternatives disponibles i amb un enfocament especial en la gestió de recursos naturals, l'impacte sobre els ecosistemes i la reducció de l'empremta ecològica.

Per fer aquesta anàlisi, s'ha utilitzat unes rúbriques proporcionades pel centre per fer l'informe mediambiental. Aquest es troba en l'*Annex II – Informe mediambiental* de l'avantprojecte i fa un repàs a tots els sectors vulnerables i que poden afectar el projecte. Cal aclarir que l'informe va ser el mateix per les tres alternatives de solució, ja que aquests tenen el mateix impacte (programari).

Un cop realitzat l'informe, s'ha arribat a les següents conclusions per les tres alternatives de solució plantejades:

- El projecte no és contaminant ni afecta el medi ambient.
- Les emissions produïdes seran en baixa mesura, a escala inapreciable.
- No es preveu residus, però en el cas s'abocaran en els seus respectius contenidors.
- El projecte no preveu canvis econòmics i socials importants.
- L'aplicació pot ajudar a augmentar l'eficiència i optimització, i així reduir l'empremta ecològica.

Finalment, es recull en forma de taula, les principals accions i factors que s'han de prendre en consideració. Es disposa d'un poc nombre d'impactes, ja que es tracta d'un projecte amb un impacte pràcticament nul.

Accions impactants

FASE	ACCIONS IMPACTANTS	OBSERVACIONS
Fase de construcció o execució	Obtenció de matèria primera	L'impacte de la fase d'execució del projecte, és a dir, programari
	Generació d'aigües residuals	
	Emissions de gasos i/o pols	

	Contaminació acústica	l'aplicació i fer el muntatge corresponent, es considera nul.
	Residus sòlids	
Fase de funcionament o explotació	Residus sòlids	En la fase de funcionament, només podem destacar els sorolls i vibracions interns dels dispositius que seran utilitzats. Aquests són inapreciables i no afecten el medi ni als usuaris de forma directa.
	Sorolls i vibracions	
	Transport	
Fase d'ús	Residus sòlids	No es preveu cap residu.
	Tractament del reciclatge de residus	

Taula 9.1: Taula d'accions impactants inherents al nostre projecte.

Font: [Annex II: Informe de viabilitat mediambiental (avantprojecte)]

Factors ambientals impactats

Medi	Factor Ambiental	Impacte sobre ...
Medi Natural	Atmosfera	Al no generar cap tipus de residus, l'impacte al medi natural es considera nul.
	Sòl	
	Aigua	
	Flora	
	Fauna	
	Medi percentual	
Medi Socioeconòmic	Usos del territori	En l'àmbit socioeconòmic, el projecte no té cap impacte negatiu, tot el contrari. Aquest millora la interacció amb els cobots i pot augmentar l'eficiència i optimització en la producció i altres.
	Culturals	
	Infraestructura	
	Humans	
	Economia i població	

Taula 9.2: Factors ambientals impactats inherents al projecte.

Font: [Annex II: Informe de viabilitat mediambiental (avantprojecte)]

Amb això, el projecte es considera mediambientalment viable, amb un impacte en els medis nul.

10. Perspectiva de gènere.

La consideració de la perspectiva de gènere emergeix com un element fonamental en tots els àmbits de la societat, incloent-hi el sector industrial. Al llarg de la realització del projecte, s'ha prestat una atenció especial a la perspectiva de gènere en totes les seves fases, tant en les d'enginyeria bàsica com en les de detall. Totes les especificacions han estat formulades de manera equitativa per a homes i dones, reflectint un enfocament proporcional.

Pel que fa a les operacions i accions executades al llarg de tot el projecte, s'han dut a terme de manera objectiva per a tots dos gèneres, evitant qualsevol tipus de discriminació.

11. Conclusions

En aquest últim apartat de la memòria, s'exposen les conclusions del treball. Per fer-ho, es realitza una avaluació dels objectius inicials establerts i es proposen un llistat de millores per l'aplicació i l'execució realitzada.

11.1. Compliment dels objectius

Així doncs, aquesta es la avaluació del compliment dels objectius inicials:

Objectiu 1 “*Identificació de l’entorn de treball: material disponible i estudi de les viabilitats per al desenvolupament de l’aplicació*”: Aquest objectiu ha sigut acomplert realitzant un estudi exhaustiu del robot col·laboratiu que s’ha utilitzat i les distintes opcions de plataformes de software (capítol 5: Anàlisi i selecció d’alternatives de solució). També, mitjançant l’ús, la pràctica del robot i software, s’ha anat aprenent a com utilitzar-los.

Objectiu 2 “*Disseny del sistema de comunicació, per comunicar el cobot amb la nostra aplicació (que es troba al PC)*”: Aquest objectiu va ser resolt en una etapa inicial del desenvolupament de l’aplicació, el sistema de comunicació i l’arquitectura tècnica ha quedat ben definida (capítol 6.1: Arquitectura tècnica).

Objectiu 3 “*Disseny d’una aplicació que permeti l’escriptura col·laborativa amb el cobot a partir de les dades proporcionades d’una tauleta digitalitzadora*”: Aquest és l’objectiu principal del treball, ha quedat tot el funcionament establert en el capítol 6 (Desenvolupament de l’aplicació), amb els diagrames de flux corresponents i s’ha confirmat el seu funcionament en el capítol 7 (Anàlisi de resultats).

Objectiu 4 “*Valoració de l’aplicació dissenyada i anàlisi dels resultats*”: S’ha comprovat el funcionament de l’aplicació, s’han comparat els resultats i s’ha fet un anàlisi de l’exactitud de l’aplicació (capítol 7: Anàlisi de resultats).

11.2. Propostes de millora

A continuació s'exposen propostes de millora per l'aplicació i l'execució del projecte:

1. Major velocitat del robot i aplicació: Durant tot el desenvolupament del projecte, l'aplicació sempre ha tingut el problema de que és molt lenta, ja que envia les coordenades punt a punt, es a dir, envia una coordenada cada vegada que el robot arriba al punt anterior. Això fa que s'aturi en cada punt. Per solucionar-ho, s'ha intentat enviar totes les coordenades de cop, tot i així ens hem trobat el mateix problema, en el TMFlow i havia una opció en la configuració dels punt per a que no s'aturés, però disminuïa la exactitud dels punts.

2. Substitució pinça del robot: En aquest projecte s'ha utilitzat la pinça 3D per agafar el bolígraf, això ha generat errors de precisió en l'escrit resultant del robot. Per solucionar això, es poden fer motlles especials per al bolígraf, i de fet finalment es va trobar una d'aquestes, però no es va poder utilitzar per falta de temps.



Fig. 11.1: Motlle especial per al bolígraf.

Font: [Elaboració pròpia]

3. Procés compacte: Actualment per veure i fer una comparació de les firmes s'utilitzen aplicacions diferents en programaris diferents (Python i Matlab). Una possible proposta de millora seria intentar compactar tots aquests processos de transformació de fitxers, anàlisi de resultats i comparacions en el mateix codi, per a una millor facilitat d'ús.

4. Càmera del robot: Les coordenades que s'utilitzen per l'escriptura es basa en la base del robot, es a dir, es necessari centrar el paper/tauleta on es vol que faci la escriptura per tal de que les coordenades quadrin (més informació annexat en l'Annex III.2: Aplicació de calibratge). Això es pot millorar utilitzant la càmera amb una etiqueta *Landmark* enganxada a la tauleta o paper per no tenir que centrar l'espai de treball cada cop.

12. Referències

- [1] A. M. Viñals, «Treball final de grau Enginyeria electrònica industrial i automàtica Tecnocampus “Control d’un autòmat mitjançant un eye-tracker”,» 2021. [En línia]. Available: <http://hdl.handle.net/20.500.12367/494>.
- [2] A. M.-V. J. L.-X. Marcos Faundez-Zanuy, «OMRON TM5-700 ROBOT MOVEMENT CONTROL BY MEANS OF TOBII PRO X2-30 EYE-TRACKER,» 2021. [En línia]. Available: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/206/38216>.
- [3] M. F.-Z. A. M.-V. J. L.-X. Anna Faura, «Eye-tracking calibration to control a cobot,» 2022. [En línia]. Available: <https://www.witpress.com/journals/cmем>.
- [4] M. M. W. L. i. Z. U. Shirine El Zaatari, «Cobot programming for collaborative industrial tasks,» 2019. [En línia]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092188901830602X?via%3Dihub>.
- [5] alfonsoalfonsi, «[ENG/SPA] ROBOTICS: standards, definitions and more. // ROBÓTICA: normas, definiciones y más.,» 2020. [En línia]. Available: <https://hive.blog/hive-196387/@alfonsoalfonsi/eng-spa-robotics-standards-definitions-and-more-robotica-normas-definiciones-y-mas#:~:text=La%20ISO%20FTC%20299%20tiene,juguetes%20y%20las%20aplicaciones%20militares..>
- [6] EDS Robotics, «Evolución de la robótica industrial,» 2021. [En línia]. Available: <https://www.edsrobotics.com/blog/evolucion-robotica-industrial/>.
- [7] J. Pelegri, «Universal robots UR5: Características y aplicaciones,» 2022. [En línia]. Available: <https://www.universal-robots.com/es/blog/universal-robots-ur5/>.

- [8] Interempresas, «Universal Robots celebra el 10^o aniversario de la venta del primer cobot comercialmente viable,» 2018. [En línia]. Available: <https://www.interempresas.net/Robotica-industrial/Articulos/230619-Universal-Robots-celebra-10-aniversario-de-venta-del-primer-cobot-comercialmente-viable.html>.
- [9] CFZ Cobots, «10 aplicaciones que pueden desarrollar los Cobots en tu empresa.,» 2023. [En línia]. Available: <https://cfzcobots.com/10-aplicaciones-que-pueden-desarrollar-los-cobots-en-tu-empresa/#>.
- [10] CADE Cobots, «Robots colaborativos en el sector agroalimentario,» 2021. [En línia]. Available: <https://cadecobots.com/robots-colaborativos-en-el-sector-agroalimentario/>.
- [11] Universal Robots, «Estamos orgullosos de presentar e-Series,» 2023. [En línia]. Available: <https://www.universal-robots.com/es/e-series/>.
- [12] Ge, «Meet Sawyer, the One-Armed Collaborative Robot,» 2015. [En línia]. Available: <https://www.ge.com/news/reports/meet-sawyer-the-one-armed-collaborative-robot>.
- [13] Fanuc, «Robot colaborativo CR-15iA,» 2023. [En línia]. Available: <https://www.fanuc.eu/es/es/robots/p%c3%a1gina-filtro-robots/%d1%80obots-colaborativos/collaborative-cr15ia>.
- [14] ABB, «YuMi® - IRB 14000 | Robot Colaborativo,» 2023. [En línia]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/es/robots/robots-colaborativos/yumi-portal/yumi---irb-14000-robot-colaborativo>.
- [15] Franka Robotics, «How will you enter the world of Franka Robotics?,» [En línia]. Available: <https://franka.de/>.
- [16] KUKA, «LBR iiwa,» 2023. [En línia]. Available: <https://www.kuka.com/es-es/productos-servicios/sistemas-de-robot/robot-industrial/lbr-iiwa>.
- [17] Interempresas, «El mercado de los cobots superará los 2.000 millones de dólares en 2026,» 2022. [En línia]. Available: <https://www.interempresas.net/Robotica->

- industrial/Articulos/391703-El-mercado-de-los-cobots-superara-los-2000-millones-de-dolares-en-2026.html.
- [18] Mordor Intelligence, «Robots colaborativos, tamaño del mercado y análisis de acciones. Tendencias de crecimiento y pronósticos (2023-2028),» 2023. [En línea]. Available: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/collaborative-robot-market>.
- [19] Design Engineering, «Robotic arm extend authors' signatures over cyberspace,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.design-engineering.com/robotic-arm-extend-authors-signatures-over-cyberspace-10411/>.
- [20] Evil Mad Scientist, «AxiDraw V3,» 2016. [En línea]. Available: <https://shop.evilmadscientist.com/productsmenu/846>.
- [21] S. T. Atsunobu Kotani, «Teaching Robots To Draw,» 2019. [En línea]. Available: <https://h2r.cs.brown.edu/wp-content/uploads/kotani19.pdf>.
- [22] OMRON, «Los Robots Colaborativos TM de OMRON,» 2021. [En línea]. Available: <https://industrial.omron.es/es/misc/dm/collaborative-robots-flexible-production>.
- [23] OMRON, «Collaborative Robots TM5,» 2023. [En línea]. Available: <https://assets.omron.com/m/51e5aefd34c8f75e/original/TM-Series-Collaborative-Robot-Datasheet.pdf>.
- [24] OMRON, «Hardware Installation Manual,» 2020. [En línea]. Available: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v9/i623_tm5_series_installation_manual_en.pdf.
- [25] OMRON, «Software de robot colaborativo Omron TMFlow,» 2023. [En línea]. Available: <https://automation.omron.com/es/mx/products/family/Omron%20TM%20Software>.
- [26] OMRON, «Software Manual TMflow,» 2018. [En línea]. Available: https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v1/tm_flow_software_manual_installation_manual_en.pdf.

- [27] Omron Industrial Automation EMEA, «YouTube: TM Collaborative Robots Tutorial 6 – Pick and Place Using Vision,» 2018. [En línia]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=b3cMp1r8skw>.
- [28] MathWorks, «Diseñado para su forma de pensar y trabajar.,» [En línia]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [29] MathWorks, «¿Qué son los Cobots?,» 2023. [En línia]. Available: <https://es.mathworks.com/discovery/cobots.html>.
- [30] Coursera, «¿Qué es Python y para qué se usa? Guía para principiantes,» 2023. [En línia]. Available: <https://www.coursera.org/mx/articles/what-is-python-used-for-a-beginners-guide-to-using-python>.
- [31] M. Jiménez, «Curso profesional de Python,» 2023. [En línia]. Available: <https://asociacionaepi.es/curso-profesional-de-python/>.
- [32] J. F. D. S. i. J. G. J. Ortega-Garcia, «MCYT baseline corpus: a bimodal biometric database. IEE Proc Vis Image Signal Process Spec Issue Biom Internet,» 2003. [En línia]. Available: https://www.researchgate.net/publication/3359339_MCYT_baseline_corpus_a_bimodal_biometric_database_IEE_Proc_Vis_Image_Signal_Process_Spec_Issue_Biom_Internet#fullTextFileContent.

