

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



GRAU EN ENGINYERIA INFORMÀTICA DE GESTIÓ I SISTEMES D'INFORMACIÓ

APLICACIÓ DE SUPORT AL DIAGNÒSTIC DE LA MALALTIA DE
PÀRKINSON AMB TRACTAMENT DEL SENYAL I CLASSIFICACIÓ
AUTOMÀTICA

Memòria Final

Alumna:

Núria Faura Pujol

Ponent:

Marcos Faundez Zanuy

ESTIU 2023

Agraïments

En primer lloc, vull agrair al ponent del projecte, Marcos Faundez Zanuy, la tutela del treball. La seva dedicació i atenció durant el desenvolupament del projecte, a més de les idees i recursos necessaris que ha posat a meua disposició quan ha fet falta, han estat elements clau per a l'èxit i culminació del mateix.

En segon lloc, m'agradaria mencionar de manera especial al professor Pere Barberan Agut. Gràcies per l'ajuda i el temps invertits per a resoldre els problemes sorgits amb l'Arduino Due, del qual no en tenia domini.

En tercer lloc, a la meua germana i projectista del treball que es parteix Anna Faura Pujol. Gràcies per la paciència que has tingut davant tots els meus dubtes i per tota l'atenció que m'has dedicat, especialment en la fase d'avaluació de l'aplicació.

En quart lloc al meu cosí Ramon Cacciaglia Pujol, per totes les hores invertides i per transmetre'm part del teu coneixement.

En cinquè lloc, desitjo agrair a la meua família i amics el gran recolzament inclús en els moments més difícils. En especial als meus pares, pel seu suport i acompanyament en la lluita i l'assoliment dels meus objectius. Sense ells no hagués aconseguit arribar fins aquí.

En sisè lloc, a la Dra. Pilar Sanz Cartagena, que ha estat des del primer dia abocada al projecte. La seva disponibilitat i ajuda ha permès desenvolupar-lo de la millor manera possible.

Finalment, a tots els meus companys i professors que m'han acompanyat aquests quatre anys per totes les experiències i els coneixements adquirits.

Per tot això i molt més, gràcies.

Resum

L'objectiu d'aquest treball final de grau és dissenyar i implementar una aplicació per aconseguir automatitzar i unificar la solució proposada per la projectista del treball del qual es parteix: Anna Faura. La seva actuació es basa en facilitar l'anàlisi i diagnòstic de l'evolució de pacients que pateixen la malaltia de Pàrkinson. D'aquesta manera s'aconsegueix augmentar l'eficiència en la presa de decisions per part dels doctors. En concret, el projecte se centra en tres exercicis diferents: d'una banda, s'analitzen exercicis que els pacients realitzen amb les mans (obrint i tancant els dits en forma de pinça), i d'altra banda, exercicis amb els peus (aixecant i baixant un peu donant cops a terra). Específicament, es pretén facilitar la lectura i anàlisi de les dades recollides, de manera que el personal mèdic pugui prendre decisions de diagnòstic de manera més eficient.

La solució final proposada en aquest projecte, s'ha desenvolupat d'acord amb les necessitats de la doctora Pilar Sanz, neuròloga de l'Hospital de Mataró. En aquesta memòria es posa de manifest que és possible automatitzar i unificar la parametrització dels exercicis esmentats.

Resumen

El objetivo de este trabajo final de grado es diseñar e implementar una aplicación para conseguir automatizar y unificar la solución propuesta por la projectista del trabajo del que se parte: Anna Faura. Su actuación se basa en facilitar el análisis y diagnóstico de la evolución de pacientes que padecen la enfermedad de Pàrkinson. De este modo se consigue aumentar la eficiencia en la toma de decisiones por parte de los doctores. En concreto, el proyecto se centra en tres ejercicios diferentes: por un lado, se analizan los ejercicios que los pacientes realizan con las manos (abriendo y cerrando los dedos en forma de pinza), y por otro lado, ejercicios con los pies (levantando y bajando un pie dando golpes en el suelo). Específicamente, se pretende facilitar la lectura y análisis de los datos recogidos, de modo que el personal médico pueda tomar decisiones de diagnóstico de un modo más eficiente.

La solución final propuesta en este ejercicio, se ha llevado a cabo de acuerdo con las necesidades de la doctora Pilar Sanz, neuróloga del Hospital de Mataró. En esta memoria se pone de manifiesto que es posible automatizar y unificar la parametrización de los ejercicios comentados.

Abstract

The aim of this Bachelor degree is to design and implement a web application to automatize and unify the solution proposed by the project manager of the work from which this project starts: Anna Faura. It's actuation is based on facilitating the analysis and diagnostic of the Parkinson's patients evolution. This way, the process of decision-making made by the doctors is improved. Specifically, this project focuses on three different exercises: on the one hand, the application analyses the exercises made by the patients with their hands (by opening and closing their fingers, simulating a clip). On the other hand, the App also analyses the exercises made by the patients with their foot by rising and lowering it, tapping the floor. Specifically, the aim is to read and analyse the data collected, so that the medical professionals can make diagnostic decisions in a more efficient way.

The final solution that is proposed in this project has been developed according to the needs declared by the doctor Pilar Sanz, neurologist in Mataró's Hospital. This report demonstrates the possibility of automating and unifying the parameterization of the exercises commented.

Índex de continguts

| | |
|---|----|
| Resum | 3 |
| Resumen | 3 |
| Abstract..... | 4 |
| Índex d'il·lustracions | 9 |
| Índex de taules..... | 19 |
| Glossari de termes..... | 19 |
| 1. Objectius | 19 |
| 1.1. Propòsit | 19 |
| 1.2. Finalitat | 19 |
| 1.3. Objecte | 19 |
| 2. Abast..... | 21 |
| 3. Estudi previ..... | 23 |
| 3.1. La malaltia del Pàrkinson..... | 23 |
| 3.1.1. La malaltia | 23 |
| 3.1.2. Síntomes | 23 |
| 3.1.3. Fases | 24 |
| 3.1.4. Tractament | 26 |
| 3.2. Mesura i quantificació de diferents paràmetres de diagnosi | 27 |
| 3.2.1. Exercici A | 28 |
| 3.2.2. Exercici B | 28 |
| 3.2.3. Exercici C | 29 |
| 3.2.4. Solucions elaborades | 29 |
| 3.3. Mercat actual..... | 32 |
| 3.3.1. Aplicacions mòbils | 32 |
| 3.3.2. Eines de tractament de dades..... | 39 |

VIII

| | |
|---|-----|
| 3.3.3. Dispositius mèdics..... | 43 |
| 3.3.2. Sensors d'anàlisi de moviment..... | 44 |
| 4. Metodologia..... | 49 |
| 5. Requeriments..... | 51 |
| 5.1. Requeriments funcionals..... | 51 |
| 5.2. Requeriments tecnològics..... | 52 |
| 6. Proposta de solucions..... | 53 |
| 6.1. Solució A..... | 53 |
| 6.2. Solució B..... | 54 |
| 6.3. Solució C..... | 54 |
| 7. Valoració i elecció de la solució final..... | 57 |
| 8. Disseny i prototipatge..... | 59 |
| 8.1. Pàgina d'inici..... | 60 |
| 8.2. Pàgina de visualització de gràfics..... | 61 |
| 8.3. Pàgina de visualització de l'històric..... | 63 |
| 8.4. Comentari final..... | 63 |
| 9. Desenvolupament de l'aplicació..... | 65 |
| 9.1. Introducció..... | 65 |
| 9.2. Flask..... | 66 |
| 9.3. Pàgina d'inici..... | 67 |
| 9.4. Pàgina principal..... | 69 |
| 9.5. Pàgina d'exercicis..... | 70 |
| 9.5.1. Secció Leap Motion..... | 71 |
| 9.5.2. Secció Arduino..... | 76 |
| 10. Avaluació de l'aplicació..... | 97 |
| 11. Refactorització..... | 99 |
| 12. Conclusions..... | 101 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 13. | Futures ampliacions | 105 |
| 14. | Aspectes legals..... | 107 |
| 14.1. | Normativa europea | 107 |
| 14.2. | Normativa estatal | 107 |
| 14.4. | Drets i deures | 108 |
| 15. | Pressupost | 111 |
| 16. | Planificació | 113 |
| 16.1.1. | Avantprojecte | 114 |
| 16.1.2. | Memòria Intermitèdia | 115 |
| 16.1.3. | Memòria Final | 115 |
| 17. | Gestió de la diversitat i perspectiva de gènere..... | 119 |

Índex d'il·lustracions

| | |
|--|----|
| Il·lustració 1: Exercici A | 28 |
| Il·lustració 2: Exercici B..... | 28 |
| Il·lustració 3: . Exercici C..... | 29 |
| Il·lustració 4: Presentació de la informació obtinguda a partir de les dades recollides a l'Exercici A..... | 30 |
| Il·lustració 5: Interior del prototip elaborat. Components electrònics convenientment connectats. | 30 |
| Il·lustració 6: Prototip elaborat a punt per a realitzar l'Exercici B..... | 31 |
| Il·lustració 7: Prototip a punt per a la realització de l'Exercici C. | 31 |
| Il·lustració 8: Presentació de la informació obtinguda a partir de les dades recollides a l'Exercici B i C. | 32 |
| Il·lustració 9: Logotip de l'aplicació Beats Medical. | 33 |
| Il·lustració 10: Exercici de mobilitat de l'aplicació Beats Medical. | 33 |
| Il·lustració 11: Exercicis de veu de l'aplicació Beats Medical..... | 34 |
| Il·lustració 12: Exercicis de destresa de l'aplicació Beats Medical. | 34 |
| Il·lustració 13: Logotip de l'aplicació StudyMyTremor | 35 |
| Il·lustració 14: Pantalles de l'aplicació StudyMyTremor..... | 35 |
| Il·lustració 15: . Logotip de l'aplicació cloudUPDRS..... | 36 |
| Il·lustració 16: Taulell de l'aplicació cloudUPDRS on l'usuari pot consultar l'evolució de la seva capacitat motora, diferenciant els dies. Es pot veure també en quins moments el pacient s'ha pres la medecina receptada pel doctor..... | 37 |
| Il·lustració 17: Pàgina principal de l'aplicació Android..... | 38 |
| Il·lustració 18: Gràfic generat per l'aplicació Android. | 39 |
| Il·lustració 19: Logotip de l'eina infoCaptor. | 39 |
| Il·lustració 20: Interfície de l'eina infoCaptor. Es mostra informació sobre les dades recollides referents a les ventes realitzades en una pàgina web. | 40 |
| Il·lustració 21: Logotip de l'eina Kyligence..... | 40 |
| Il·lustració 22: . Interfície de l'eina Kyligence. Es mostra informació sobre les dades recollides referents a les comandes realitzades en un negoci..... | 41 |
| Il·lustració 23: Logotip de l'eina Dataviz Studio. | 41 |

| | |
|--|----|
| Il·lustració 24: Interfície de l'eina Dataviz Studio. Es mostra informació sobre les dades recollides referents a l'ús que es dona a diferents dispositius electrònics. | 42 |
| Il·lustració 25: Dispositiu Kinesiau. | 43 |
| Il·lustració 26: . Guant Steadi-Two. A la part superior porta adherit un dispositiu que absorbeix les tremolors. | 44 |
| Il·lustració 27: Muntatge del microchip DV102014. | 45 |
| Il·lustració 28: Interfície del software Aurea..... | 45 |
| Il·lustració 29: Esquema intern del Leap Motion. | 46 |
| Il·lustració 30: Guants de Noitom Perception Neuron. | 47 |
| Il·lustració 31: Prototip de l'aplicació de la solució final..... | 59 |
| Il·lustració 32: Pàgina d'inici del prototip desenvolupat..... | 60 |
| Il·lustració 33: Pàgina de visualització de gràfics del prototip desenvolupat. | 61 |
| Il·lustració 34: Pàgina de visualització de l'històric del prototip desenvolupat..... | 63 |
| Il·lustració 35: Exemple d'utilització de Flask..... | 66 |
| Il·lustració 36: Visualització de la pàgina d'inici | 67 |
| Il·lustració 37: Comprovació de l'addició de contingut als camps d'entrada de dades. . | 68 |
| Il·lustració 38: Missatge d'error al codi HTML..... | 68 |
| Il·lustració 39: Visualització de la pàgina principal. | 69 |
| Il·lustració 40: Visualització de la pàgina d'exercicis. | 70 |
| Il·lustració 41: Visualització de la primera secció de la pàgina d'exercicis. | 72 |
| Il·lustració 42: Codi HTML per a declarar el selector de fitxers Excel | 72 |
| Il·lustració 43: Visualització del desplegable de la pàgina d'exercicis..... | 73 |
| Il·lustració 44: Codi HTML que habilita la icona de càrrega..... | 74 |
| Il·lustració 45: Aplicació d'estils a la icona de càrrega mitjançant el codi HTML. | 74 |
| Il·lustració 46: Visualització de la icona de càrrega a l'aplicació..... | 75 |
| Il·lustració 47: Gràfics generats per l'aplicació. Corresponen als resultats obtinguts a l'enregistrament de dades de l'Exercici A (mà esquerra i mà dreta). | 75 |
| Il·lustració 48: Les imatges generades a l'aplicació s'han emmagatzemat automàticament al directori especificat per l'usuari. | 76 |
| Il·lustració 49: Visualització de la segona secció de la pàgina d'exercicis..... | 77 |
| Il·lustració 50: Codi Arduino, funció "setup()". | 79 |
| Il·lustració 51: Codi Arduino, funció "loop()". | 80 |
| Il·lustració 52: Codi Arduino, funció "myHandler()". | 81 |

| | |
|--|----|
| Il·lustració 53: Ús de Threads en el programa Python. | 81 |
| Il·lustració 54: Lògica seguida durant l'execució del Thread. | 82 |
| Il·lustració 55: Connexió del programa Python amb Arduino. | 82 |
| Il·lustració 56: Neteja de les dades recollides pel sensor d'Arduino. | 84 |
| Il·lustració 57: Càlcul de la velocitat a l'exercici del pedal Arduino. | 85 |
| Il·lustració 58: Càlcul del ritme a l'exercici del pedal Arduino. | 86 |
| Il·lustració 59: Càlcul del de pujades a l'exercici del pedal Arduino. | 87 |
| Il·lustració 60: Definició de l'interval de la numeració a l'eix "Y" del gràfic generat. | 88 |
| Il·lustració 61: Comanda que mostra del gràfic generat a l'usuari de l'aplicació. | 88 |
| Il·lustració 62: Generació d'un dataframe en el procés de generació d'un fitxer Excel. | 89 |
| Il·lustració 63: Inserció de la informació addicional al fitxer Excel generat. | 90 |
| Il·lustració 64: Canvi d'estil de les cel·les del fitxer Excel. | 90 |
| Il·lustració 65: Fixer Excel generat automàticament per l'aplicació desenvolupada. | 91 |
| Il·lustració 66: Inserció d'informació addicional al fitxer Excel generat per l'aplicació. | 91 |
| Il·lustració 67: Excel generat pel programa amb la informació addicional afegida. | 92 |
| Il·lustració 68: Codi Python del programa que genera un fitxer CSV | 92 |
| Il·lustració 69: Visualització dels resultats obtinguts a partir de les dades recollides pel pedal Arduino. | 94 |
| Il·lustració 70: Definició dels camps d'informació addicionals que es mostren a l'aplicació desenvolupada. | 95 |

Índex de taules

| | |
|--------------------------------------|-----|
| Taula 1: Dedicació al projecte. | 114 |
|--------------------------------------|-----|

Glossari de termes

A continuació s'exposen paraules de vocabulari i acrònims utilitzats en la redacció de l'informe, per a tal de poder entendre el seu significat.

- UPDRS** *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*
- Dopamina** Substància química que funciona com a neurotransmissor que activa a cinc tipus de receptors i les seves variants.
- Bradicinèsia** S'entén amb aquest nom la <<lentitud anormal dels moviments que es manifesta com a símptoma característic de la malaltia de Pàrkinson>>. La seva afectació pot fer-se present en un sol costat del cos (**bradicinèsia unilateral**) o a ambdós (**bradicinèsia bilateral**).

1. Objectius

1.1. Propòsit

Desenvolupament d'una aplicació de suport a la malaltia de Pàrkinson mitjançant el mostreig de les dades recollides en diferents exercicis realitzats pels pacients, que es mostren de manera amigable i coherent.

1.2. Finalitat

Mitjançant l'aplicació dissenyada es facilita l'anàlisi de les dades recollides a través dels exercicis que fan els pacients de Pàrkinson i s'augmenta l'eficiència en la presa de decisions per part dels doctors.

1.3. Objecte

Amb aquest treball de final de grau es pretén desenvolupar una aplicació de suport al seguiment de la malaltia de Pàrkinson. Amb aquesta aplicació es pretén facilitar la lectura i anàlisi de les dades recollides, de manera que la neuròloga pugui prendre decisions de diagnosi de manera més eficient.

Les dades recollides per l'aplicació s'obtenen de tres exercicis diferents. En funció de l'objectiu que es persegueix amb cada activitat, la informació que es mostra per pantalla pot variar (es prioritza tota aquella informació que els doctors consideren determinant en el seguiment de l'estat del pacient). A més a més, cal destacar que són aquestes dades les que ajudaran als neuròlegs a determinar el grau d'evolució de la malaltia en la qual es troba el pacient i poder actuar en conseqüència.

D'aquesta manera, es pretén el següent:

1. Oferir als doctors l'eina que necessiten per a visualitzar de manera amigable les dades recollides en els exercicis realitzats pels pacients.
2. Facilitar el tractament i anàlisi de les dades recollides.
3. Optimitzar la presa de decisions mèdiques.
4. Facilitar la determinació de la fase de la malaltia en la qual es troba cada pacient.

2. Abast

A continuació es determinen els aspectes que es treballaran al llarg del projecte per tal de poder donar resposta als objectius enumerats anteriorment:

- Anàlisi de les tecnologies existents al mercat actual que ajudin al seguiment de l'evolució de la malaltia de Pàrkinson
- Anàlisi de la normativa vigent referent al tractament de dades de pacients (redisseny de l'aplicació si s'escau)
- Realització de proves de diferents exercicis als pacients per a l'obtenció de noves dades que seran utilitzades a l'aplicació desenvolupada
- Prototipatge de l'aplicació
- Validació del prototip generat
- Desenvolupament de l'aplicació
- Testeig d'usabilitat realitzat pels professionals de la salut per a validar el correcte funcionament de l'aplicació
- No s'inclou la funcionalitat del manteniment de l'històric dels pacients, tot i que és una possible ampliació a llarg termini
- L'aplicació desenvolupada no inclourà característiques per a millorar directament la qualitat de vida del pacient, ja que l'usuari final seran els doctors i neuròlegs

3. Estudi previ

3.1. La malaltia del Pàrkinson

Per a poder assolir els objectius d'aquest projecte de manera satisfactòria, cal entendre bé el context d'aquest estudi. És per això que s'ha considerat adequat explicar alguns conceptes per tal que el lector tingui unes nocions bàsiques sobre el Pàrkinson: malaltia que pateixen els pacients que es tractaran en el transcurs d'aquest Treball Final de Grau.

3.1.1. La malaltia

El Pàrkinson és trastorn progressiu neurodegeneratiu que afecta al sistema nerviós. Aquesta patologia es presenta quan les neurones produeixen una quantitat insuficient d'una substància química anomenada dopamina.

Alguns dels factors que poden propiciar l'aparició d'aquesta patologia poden ser:

- Edat: el Pàrkinson és més comú en pacients a partir de 60 anys.
- Herència: tot i que no és molt comú, la genètica augmenta les possibilitats que aquesta malaltia es presenti.
- Sexe: és més comú en homes que en dones.
- Exposició a toxines: l'exposició contínua a certes toxines (per exemple, herbicides) augmenta les possibilitats de patir aquesta malaltia a llarg termini.

3.1.2. Síntomes

Aquesta malaltia sol afectar amb diferent intensitat a cada costat del cos del pacient. D'aquesta manera, es pot donar la situació on el començament de la presentació de símptomes s'aprecii només en una part del malalt.

A més a més, cal tenir en compte que no hi ha un patró definit amb les diferents senyals que mostra la patologia, però sí que es pot veure una evolució a mesura que la malaltia va progressant.

Alguns dels símptomes que es presenten en pacients de Pàrkinson inclouen els següents:

- Tremolors tant a les extremitats superiors com a les inferiors. La intensitat i freqüència amb la que es presenta va augmentant durant el transcurs de la patologia.
- Bradicinèsia: és el terme mèdic per anomenar a aquest segon símptoma. Consisteix en una disminució notòria en la velocitat amb la qual es realitzen diferents moviments. Un exemple és el desplaçament, ja que les passes realitzades són de distància més curta i el temps intermedi entre cada passa augmenta significativament.
- Rigidesa muscular, provocant sensació de dolor i limitant l'amplitud de moviment
- Deteriorament de la postura i equilibri: a mesura que la malaltia evoluciona, els seus pacients adopten postures poc erigides i presenten més dificultat per a mantenir l'equilibri.
- Pèrdua de moviments automàtics com moure els braços mentre es camina o parpellejar.
- Afectacions en la parla: els pacients d'aquesta patologia presenten dificultats (que cada cop resulten més evidents) per a vocalitzar o parlar amb una tonalitat de veu adequada. A més a més, l'entonació també empitjora.

3.1.3. Fases

Tot i que actualment aquesta patologia presenta molts aspectes desconeguts, s'ha aconseguit diferenciar les diferents fases de l'evolució de la malaltia.

D'aquesta manera es podrà assignar una fase a un estat del pacient, en funció de l'evolució del seu estat i dels símptomes que presenta.

En total s'han distingit 5 fases diferents:

Fase 1

Presentació de símptomes de forma lleugera (no afecten a les activitats diàries). Alguns d'aquests inclouen tremolors, rigidesa i bradicinèsia unilaterals (això vol dir que es manifesten únicament a un costat del cos).

A més a més els pacients poden experimentar problemes amb el balanceig o dificultat per a desplaçar-se.

Fase 2

En aquesta fase els símptomes tenen més afectació. Tot i que dificulten una mica les activitats diàries d'aquells que pateixen la malaltia, els pacients no necessiten atenció especial. En aquest sentit, gaudeixen d'una independència total.

Algunes dels símptomes d'aquesta fase són les tremolors bilaterals (ara afecten a ambdós costats del pacients), reducció d'expressions facials i mala postura. A més a més, segueixen amb els símptomes expressats a la fase anterior.

Fase 3

En aquesta etapa el pacient segueix gaudint d'independència en certs aspectes, però els símptomes es presenten amb molta més severitat que a les fases anteriors.

Els símptomes que caracteritzen aquesta fase són la pèrdua d'equilibri i la bradicinèsia (lentitud en la realització de moviments).

En aquest estat de l'evolució de la malaltia, els pacients no poden banyar-se, vestir-se o menjar sense ajuda.

Fase 4

Arribats a aquest grau d'evolució de la malaltia, resulta gairebé impossible que el pacient visqui de manera independent. En aquest estat les limitacions afecten totalment a les activitats que es realitzen diàriament com ara caminar, menjar, banyar-se, vestir-se i, fins i tot, dormir.

Tot i que potser el pacient té la capacitat d'aixecar-se sense ajuda, és necessari assistir-lo mentre camina, ja que pot perdre l'equilibri i caure.

Fase 5

Aquesta és la última fase de tota la malaltia. En aquesta etapa el pacient és incapaç d'aixecar-se per si mateix. Per a poder desplaçar-se necessita una cadira de rodes. La resta d'activitats diàries requereixen l'ajuda indispensable d'un cuidador o infermer per a poder realitzar-se.

Alguns dels símptomes d'aquest període de temps inclouen al·lucinacions, pèrdua del sentit de l'olfacte, refredats persistents i prolongats en el temps, pèrdua de pes, dificultat per a dormir, empitjorament de memòria i problemes de visió.

3.1.4. Tractament

Tot i que el Pàrkinson és una patologia sense cura, existeixen mesures i exercicis que mitiguen la intensitat amb la que es presenten els símptomes explicats anteriorment. Gràcies a aquestes mesures s'aconsegueix millorar la qualitat de vida dels pacients i allargar el màxim possible la durada de les primeres fases d'aquesta malaltia.

Les actuacions que es poden prendre envers el diagnòstic de Pàrkinson s'expliquen a continuació.

Medicació

Millora la qualitat de vida dels pacients i retarda l'evolució de la patologia el màxim temps possible mitjançant el control del moviment involuntari de les extremitats i l'augment del nivell de certes substàncies químiques a l'organisme (com per exemple la dopamina).

Exercicis físics i cognitius

Ajuden a mantenir actius els músculs. Amb l'activitat diària s'aconsegueix establir unes bases gràcies a les quals es maximitza el temps d'evolució de la patologia del Pàrkinson. A mesura que el pacient va passant per les diferents fases de la malaltia, les activitats realitzades poden variar per a treballar els músculs més afectats. D'aquesta manera s'evita la precipitació en l'evolució de les fases del Pàrkinson.

Teràpia de parla

Amb això s'aconsegueix maximitzar el temps abans que resulti difícil entendre els pacients de Pàrkinson. Amb els exercicis que es proposen, es tracten aspectes com el volum amb el qual es parla, la vocalització i l'entonació a l'hora de comunicar-se.

Teràpia ocupacional

Tots els pacients que tenen ocupacions diàries mostren una millor resposta davant el tractament pel Pàrkinson. D'aquesta manera, s'intenta que tots els malalts tinguin tasques i activitats per a realitzar durant el dia.

Cirurgia

En pacients que es troben en fase avançada de la malaltia, es pot arribar a recomanar el tractament mitjançant una intervenció quirúrgica. Aquest procediment consisteix en la inserció d'elèctrodes al cervell, mitjançant els quals un generador hi envia impulsos elèctrics.

3.2. Mesura i quantificació de diferents paràmetres de diagnosi

Aquest projecte es planteja com la continuació d'un Treball Final de Grau realitzat per una alumna d'Enginyeria Mecànica del Tecnocampus, Universitat Pompeu Fabra. Aquest treball s'anomena *Disseny i implementació de dispositius per a la mesura i quantificació de diferents paràmetres en el diagnòstic de malalts de Pàrkinson*.

A continuació s'explica breument el desenvolupament d'aquest projecte, per tal de poder entendre el punt de partida de l'estudi que s'està realitzant.

L'objectiu d'aquest Treball Final de Grau consisteix en dissenyar i implementar una solució que quantifiqui diferents paràmetres que es tenen en compte en el diagnòstic del Pàrkinson i la seva evolució. (Cal destacar que fins al moment els neuròlegs fan un seguiment de la patologia de forma qualitativa, ja que no es disposa de gaires eines que ajudin a quantificar l'evolució i l'estat actual del pacient).

El personal mèdic ha dissenyat una sèrie d'exercicis pels pacients de Pàrkinson que ajuden a veure la seva evolució. S'expliquen a continuació.

3.2.1. Exercici A

En aquesta tasca es demana al pacient realitzar una activitat que consisteix en obrir i tancar el dit índex i el polze en forma de pinça durant un període de temps definit.



Il·lustració 1: Exercici A

Font: Treball Final de Grau del qual es parteix

3.2.2. Exercici B

En aquest cas, es demana al pacient que segui a una cadira. A continuació, el subjecte ha d'aixecar el peu (de forma perpendicular al terra) i tornar a baixar-lo, durant un temps definit. Aquesta tasca, que només s'ha fet amb un peu, es pot repetir amb l'altre si el metge ho considera adient.



Il·lustració 2: Exercici B.

Font: Treball Final de Grau del qual es parteix

3.2.3. Exercici C

El pacient segueix assegut a la cadira. Es demana aixecar la punta del peu (mantenint el taló en contacte amb el terra) i baixar-la, diverses vegades durant un temps definit. Un cop s'ha finalitzat l'exercici, si el metge ho considera adient es repeteix amb l'altre peu.



Il·lustració 3: . Exercici C.

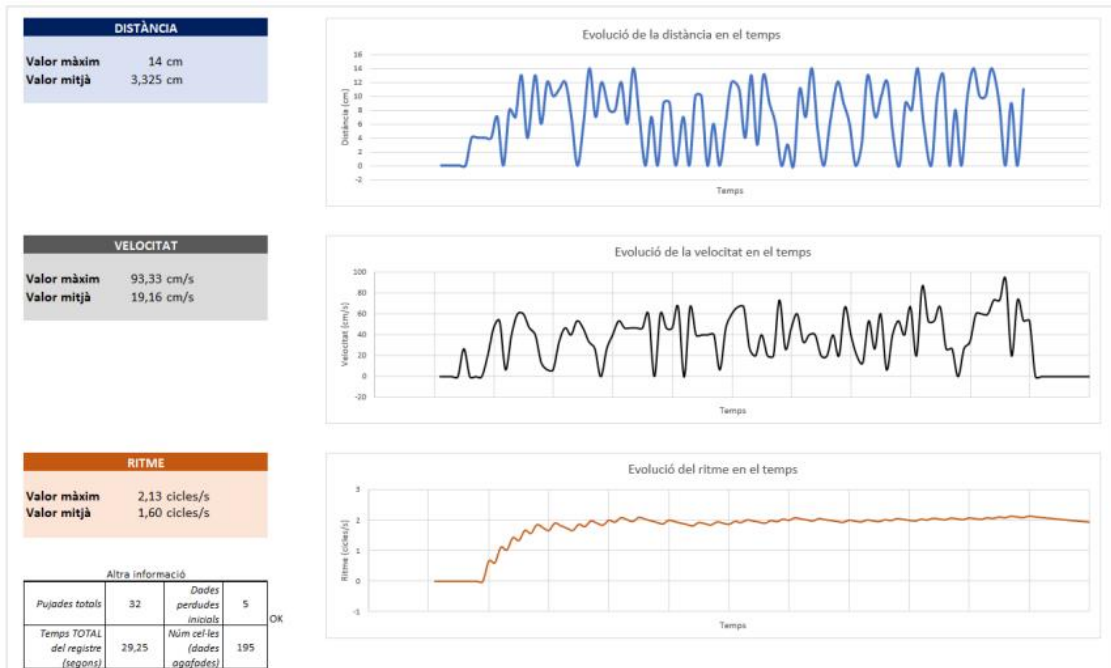
Font: Treball Final de Grau del qual es parteix

La solució dissenyada al Treball Final de Grau exposat mesura tres aspectes diferents en tots els exercicis: amplitud, velocitat i freqüència (denominat “ritme” pel personal mèdic). El concepte d'aquestes mesures s'explica a continuació.

- Amplitud: en l'exercici A fa referència a la distància màxima entre els dos dits. En canvi, als exercicis B i C es refereix a la distància entre el peu, o la punta del peu, i el terra.
- Velocitat: distància recorreguda en un interval de temps determinat
- Freqüència: al primer exercici és la quantitat de vegades que el pacient pot obrir i tancar la mà en un segon. Al segon i tercer exercici, aquest concepte fa referència a la quantitat de pujades i baixades de cama o peu que es realitzen per segon.

3.2.4. Solucions elaborades

S'aconsegueix quantificar el primer exercici (Exercici A) mitjançant l'ús del dispositiu Leap Motion. D'aquesta manera, situant el controlador sota la mà dels malalts s'aconsegueix detectar la distància entre el dit índex i el polze. Les dades recollides són inserides a un full d'Excel. Al fitxer s'aconsegueix calcular la velocitat i ritme de cada pacient, mostrant els resultats en diferents taules i gràfics.



Il·lustració 4: Presentació de la informació obtinguda a partir de les dades recollides a l'Exercici A.

Font: Treball Final de Grau del qual es parteix

La solució pels exercicis B i C s'obté mitjançant el desenvolupament d'un programa carregat a un microcontrolador Arduino DUE. D'aquesta manera, amb aquest dispositiu i un sensor d'ultrasò HC-SR04 s'aconsegueix obtenir les dades desitjades. Per assegurar que les eines es poden utilitzar sense risc pel malalt, s'ha dissenyat una caixa tapada amb una base on a dins es col·loca tot el muntatge que enregistra les diferents dades. Aquesta disposa d'una cinta de velcro que facilita d'adhesió de la tapa al peu del pacient.



Il·lustració 5: Interior del prototip elaborat. Components electrònics convenientment connectats.

Font: Treball Final de Grau del qual es parteix



Il·lustració 6: Prototip elaborat a punt per a realitzar l'Exercici B.

Font: Treball Final de Grau del qual es parteix



Il·lustració 7: Prototip a punt per a la realització de l'Exercici C.

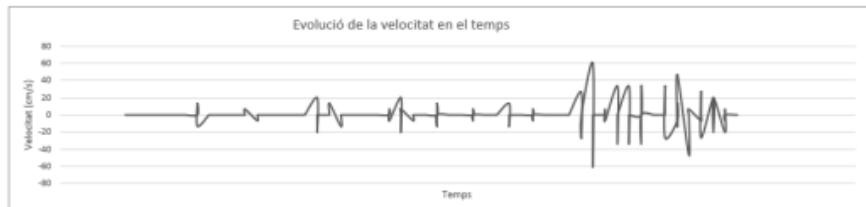
Font: Treball Final de Grau del qual es parteix

Els resultats obtinguts s'insereixen al mateix Excel que conté la informació referent a l'Exercici A. D'aquesta manera s'aconsegueix tenir totes les dades centralitzades. La visualització de les dades té el mateix aspecte i disseny que s'ha utilitzat per l'Exercici A.

| DISTÀNCIA | |
|-------------|----------|
| Valor màxim | 9 cm |
| Valor mitjà | 0,395 cm |



| VELOCITAT | |
|-------------|------------|
| Valor màxim | 60,00 cm/s |
| Valor mitjà | 5,16 cm/s |



| RITME | |
|-------------|---------------|
| Valor màxim | 0,88 cicles/s |
| Valor mitjà | 0,42 cicles/s |



| Altra informació | | | |
|-----------------------------------|-------|------------------------------|-----|
| Pujades totals | 26 | Dades perdudes inicials | 7 |
| Temps TOTAL del registre (segons) | 27,90 | Núm cel·les (dades agafades) | 185 |

OK

Il·lustració 8: Presentació de la informació obtinguda a partir de les dades recollides a l'Exercici B i C.

Font: Treball Final de Grau del qual es parteix

3.3. Mercat actual

A continuació s'expliquen algunes de les eines existents en el mercat actual que ajuden a la diagnosi, tractament i seguiment de la malaltia del Pàrkinson. Algunes de les opcions desenvolupades no s'apliquen en el camp d'aquest estudi (això és el Pàrkinson), però s'ha considerat que la seva funcionalitat pot tenir un impacte molt positiu si s'enfoqués en aquest àmbit.

3.3.1. Aplicacions mòbils

Actualment, existeixen aplicacions que ajuden a la monitorització de la malaltia del Pàrkinson mitjançant l'enregistrament de dades obtingudes amb la realització de diferents exercicis. Algunes de les més destacades s'expliquen a continuació.

Beats Medical

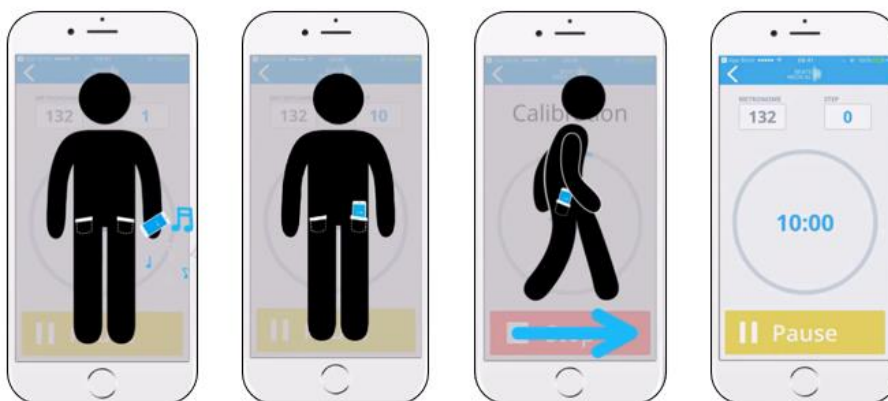
Il·lustració 9: Logotip de l'aplicació Beats Medical.

Font: [4]

Aplicació que es pot descarregar de manera gratuïta des de la plataforma App Store i Google Play. Un cop instal·lada es disposa de 14 dies per a provar el seu funcionament sense restriccions ni cost, però a partir de llavors cal pagar un preu de 27,49€ mensuals per a utilitzar-la. Beats Medical no limita les seves descàrregues a usuaris que pateixen la malaltia de Pàrkinson, tot i que és el públic objectiu de l'aplicació.

Beats Medical quantifica l'evolució del Pàrkinson dels seus usuaris mitjançant la realització d'exercicis enfocats en tres àmbits diferents: mobilitat, veu i destresa. El funcionament és el següent: un cop s'accedeix a la pàgina principal es selecciona l'àmbit que es vol avaluar i a continuació s'explica la dinàmica que cal seguir. A continuació es procedeix a la realització de l'exercici, que enregistrarà diferents dades en funció de la tasca realitzada.

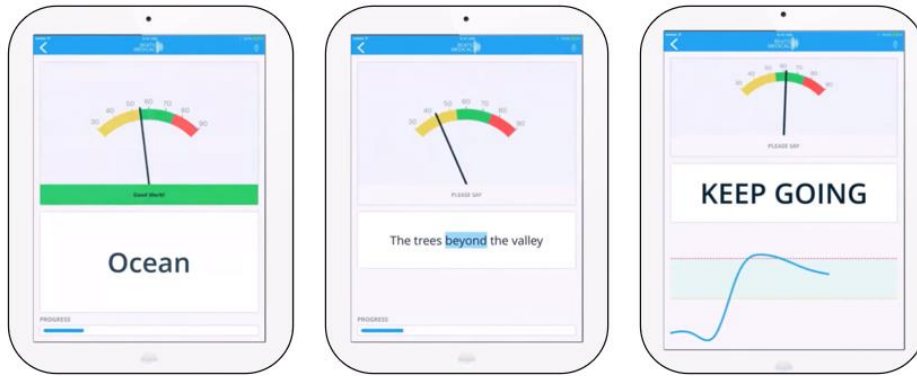
En el cas d'escollir exercicis de l'àmbit de la mobilitat s'avaluen aspectes com el ritme cardíac del pacient mentre camina, la distància recorreguda i la velocitat de moviment (relacionat amb un so intermitent que pauta el temps amb el que es realitza cada passa).



Il·lustració 10: Exercici de mobilitat de l'aplicació Beats Medical.

Font: [4]

Les dades recollides en la realització de tasques enfocades en la veu se centren en aspectes com la intensitat de la veu, mostrant a l'usuari *feedback* immediat mitjançant un gràfic semicircular i un altre lineal. En acabar cada apartat, es mostra una qualificació basada en l'anàlisi de dades obtingudes.



Il·lustració 11: Exercicis de veu de l'aplicació Beats Medical.

Font: [4]

Les activitats realitzades en l'apartat de destresa recullen les diferents dades segons els exercicis proposats. Amb la primera s'avalua la capacitat d'arrossegar imatges i destresa d'encaixar-les en espais definits amb ambdues mans. El resultat que es mostra a l'usuari és el temps que ha trigat aquest en realitzar l'exercici amb cadascuna de les mans. La segona controla l'habilitat d'escriptura del pacient i la seva rapidesa i capacitat de dibuixar cercles dins un espai determinat. En finalitzar-lo es mostra una puntuació (basada en la quantitat de cercles que s'ha pogut dibuixar en un temps determinat -sense sortir del camí definit-). L'última activitat avalua la destresa de les dues mans que té l'usuari per unir objectes que es troben en costats oposats. Es mostra a l'usuari el temps que ha trigat en finalitzar l'exercici i la quantitat de parelles d'objectes que ha unit.



Il·lustració 12: Exercicis de destresa de l'aplicació Beats Medical.

Font: [4]

StudyMyTremor

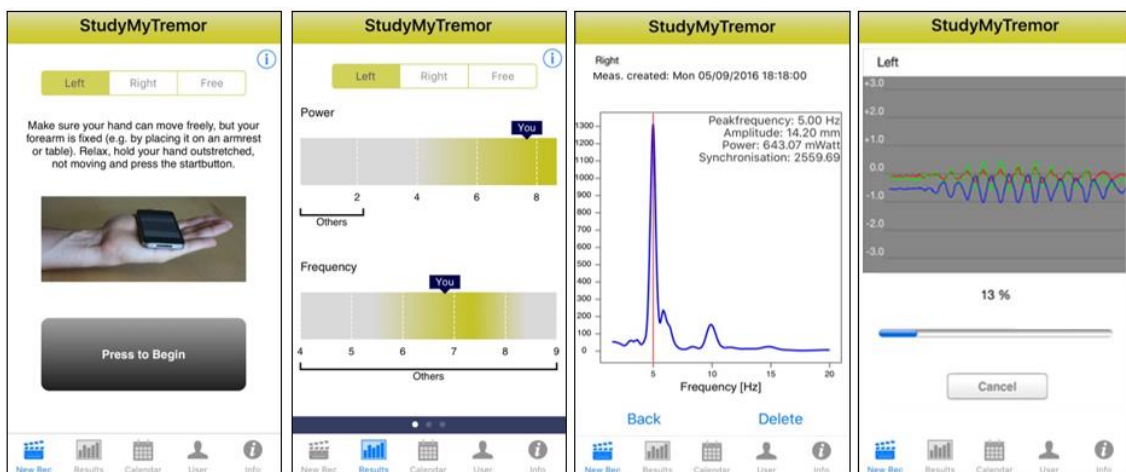
És una aplicació que es pot descarregar des de App Store, per un preu de 3,67€. Està dissenyada només per a dispositius IOS i la seva funció és enregistrar, mesurar i mantenir un històric dels tremolors que pateixen els malalts de Pàrkinson a les mans. Això ho fa analitzant quatre aspectes diferents: freqüència, potència, amplitud i sincronització (utilitzat per a determinar si la naturalesa dels tremolors són patològics).



Il·lustració 13: Logotip de l'aplicació StudyMyTremor

Font: [5]

El funcionament de StudyMyTremor és el següent: l'usuari s'ha de col·locar el mòbil sobre la mà o la cama (en funció de la zona d'on es vol estudiar els tremolors) i seleccionar el botó d'inici d'enregistrament. El pacient haurà d'intentar moure's el mínim possible durant un temps d'enregistrament (que pot variar en funció del que s'analitza). Un cop el període de recollida de dades finalitza, es mostra a l'usuari un gràfic de barres amb els resultats analitzats i una comparativa amb el seu històric. També es mostra informació addicional molt útil per al seguiment mèdic del pacient. Totes aquestes dades es poden emmagatzemar al núvol (iCloud), de manera que l'usuari de l'aplicació pot ensenyar al metge l'evolució dels seus tremolors de manera quantitativa.



Il·lustració 14: Pantalles de l'aplicació StudyMyTremor.

Font: [5]

cloudUPDRS



Il·lustració 15: . Logotip de l'aplicació cloudUPDRS.

Font: [6]

cloudUPDRS és una aplicació mòbil on només hi tenen accés pacients específics, recomanats pels doctors i disposats a formar part de l'estudi del Pàrkinson que es duu a terme mitjançant l'anàlisi de dades recollides en diferents exercicis proposats. Està desenvolupat per a dispositius Android i es pot descarregar des de Google Play. Com el seu accés està restringit, per a poder fer ús de l'aplicació es necessiten unes credencials que prèviament s'han donat d'alta al sistema.

Aquesta aplicació analitza mitjançant una sèrie d'exercicis diferents aspectes físics que indiquen el grau de desenvolupament de la malaltia. En funció del que es vulgui conèixer, l'usuari pot triar entre els següents:

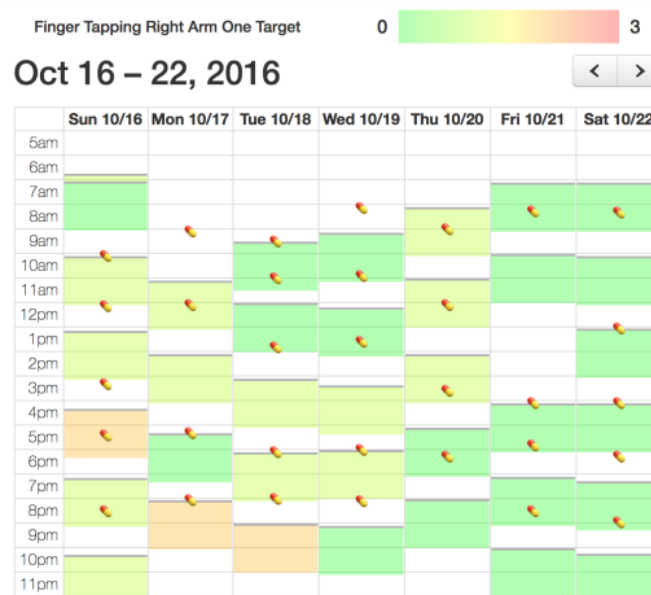
- Test motor: per a estudiar l'estat físic del pacient
- Test complet: conjunt d'activitats pensades per a situacions com la preparació de l'usuari per a la seva visita mèdica.
- Test de reacció: activitats de durada molt curta que estudien únicament si el temps de reacció del pacients ha augmentat tenint en compte el seu històric
- Test de tremolor: on s'avalua el nivell de tremolor que pateix l'usuari
- Test de passejada: on s'avaluen aspectes com la capacitat de desplaçament en línia recta del pacient, i la velocitat amb la que recorre una distància determinada.

Totes les activitats proposades es poden realitzar de quatre maneres diferents: amb la mà esquerra, mà dreta, cama esquerra i cama dreta. D'aquesta manera es tenen en compte totes les extremitats del pacient, oferint una visió més global del seu estat.

Les dades analitzades varien segons l'exercici que es realitza. Un cop s'acaba la tasca triada, aquestes són comparades amb l'històric del pacient, de manera que es facilita als doctors el seguiment i l'estudi de l'estat i evolució de l'usuari.

Per una banda, el pacient pot veure la puntuació obtinguda després de la realització de cada exercici. Per altra banda, els professionals mèdics poden estudiar l'històric del pacient mitjançant els gràfics generats per l'aplicació a partir de les dades recollides.

Per exemple, si es vol analitzar la capacitat motora de l'usuari i la seva evolució, es pot consultar un taulell generat per l'aplicació que combina les dades analitzades per a mostrar aquesta informació.



Il·lustració 16: Taulell de l'aplicació cloudUPDRS on l'usuari pot consultar l'evolució de la seva capacitat motora, diferenciant els dies. Es pot veure també en quins moments el pacient s'ha pres la medecina receptada pel doctor.

Font: [6]

Tal i com s'ha explicat anteriorment, aquestes aplicacions es centren en l'obtenció de dades per a una posterior extracció d'informació. Tot i així, aquest no és l'objectiu del projecte, ja que el camp que es vol estudiar comprèn el tractament de les dades, i no pas el seu enregistrament. En altres paraules, la finalitat del projecte és desenvolupar una eina software que proporcioni una bona interfície d'usuari. Aquesta complementarà la solució hardware que es va desenvolupar en el projecte del qual es parteix, ja que l'aspecte d'interfície d'usuari treballat a l'estudi resulta molt bàsic i limitat.

Aplicació per a l'anàlisi dels tocs amb els dits

Aquesta aplicació és el producte final obtingut amb la realització del projecte del Treball Final de Grau d'una antiga alumna de la Universitat de Tecnocampus, Mataró (Alexia Losada).

L'objectiu d'aquest recurs és aconseguir mesurar la freqüència amb la qual un malalt de Pàrkinson és capaç de tocar la pantalla del seu mòbil.

El funcionament de l'aplicació és el següent: en primer lloc, es demanen les credencials d'accés (Log In). D'aquesta manera s'aconsegueix vincular les dades recollides amb el pacient que realitza els exercicis indicats pel doctor.

Un cop s'ha finalitzat el procés d'inici de sessió, es mostra la següent pantalla:

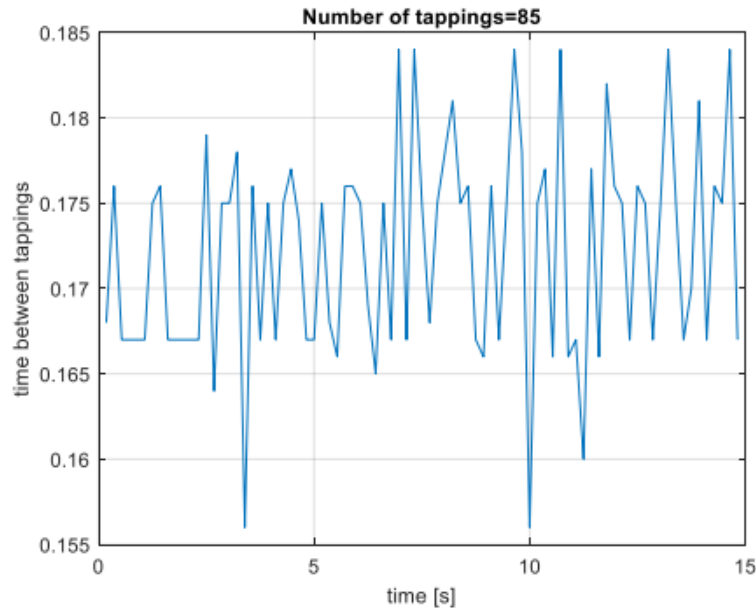


Il·lustració 17: Pàgina principal de l'aplicació Android.

Font: [38]

El funcionament és el següent: el pacient ha de realitzar tants tocs com li sigui possible dins el cercle dibuixat al mig de la pantalla, en un temps determinat. Cada toc s'enregistra, augmentant un comptador que es mostra a la part superior dreta de la pantalla. Els resultats obtinguts s'envien per, de manera que la informació obtinguda és accessible i fàcil d'analitzar. A més a més, es realitza un enregistrament del senyal que es mostra en un gràfic generat per la mateixa aplicació.

A continuació es mostra un exemple del gràfic generat. Com es pot veure, es mostra la quantitat total de tocs que s'han realitzat i el temps que ha transcorregut entre cada toc:



Il·lustració 18: Gràfic generat per l'aplicació Android.

Font: [38]

D'aquesta manera s'aconsegueix optimitzar el procés d'anàlisi de l'estat del pacient. També facilita fer-ne un seguiment habitual, ja que aquesta enina pot ser instal·lada en qualsevol dispositiu Android, de manera que els pacients poden realitzar aquest exercici des de qualsevol lloc.

3.3.2. Eines de tractament de dades

S'han estudiat eines especialitzades en la visualització de dades. A continuació s'expliquen algunes d'elles.

infoCaptor



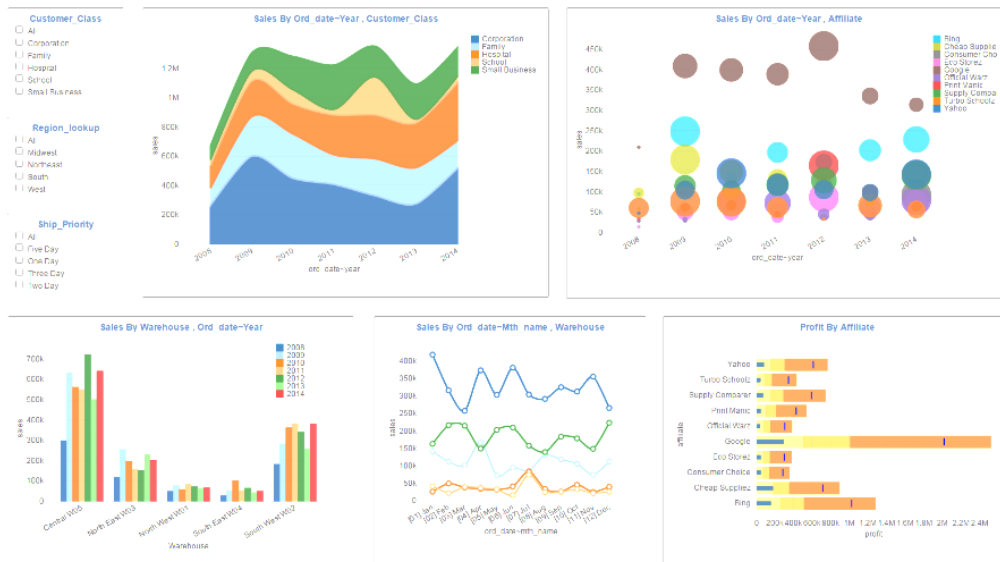
Il·lustració 19: Logotip de l'eina infoCaptor.

Font: [7]

Infocaptor és un software que es presenta com a una solució de tractament de dades on Premise i en Cloud. Per a fer-ho, cal importar-les mitjançant fitxers de format CSV. També reconeix dades obtingudes provinents de bases de dades com Oracle, Microsoft SQL Server i PostgreSQL, entre altres. A més a més, té integrats recursos d'eines com Google Analytics o Salesforce.

El cost base de Infocaptor és de 26,64€ mensuals per usuari i dispositiu (aquest preu pot variar en funció de les necessitats del negoci que utilitzi el software).

El funcionament és molt senzill: en primer lloc cal importar el fitxer que conté les dades que es volen analitzar. Un cop fet això, només cal triar com es vol mostrar la informació obtinguda: mitjançant gràfics de barres, circulars, lineals, etc.



Il·lustració 20: Interfície de l'eina infoCaptor. Es mostra informació sobre les dades recollides referents a les vendes realitzades en una pàgina web.

Font: [7]

D'aquesta manera s'aconsegueix extreure conclusions a partir de volums de dades considerables d'una manera molt intuïtiva i eficient.

Kyligence

És una plataforma intel·ligent d'anàlisi de dades que presenta el format on-Premise i en Cloud.

Kyligence es troba disponible a entorns com Azure, AWS, Google Cloud Platform i Huawei Cloud.

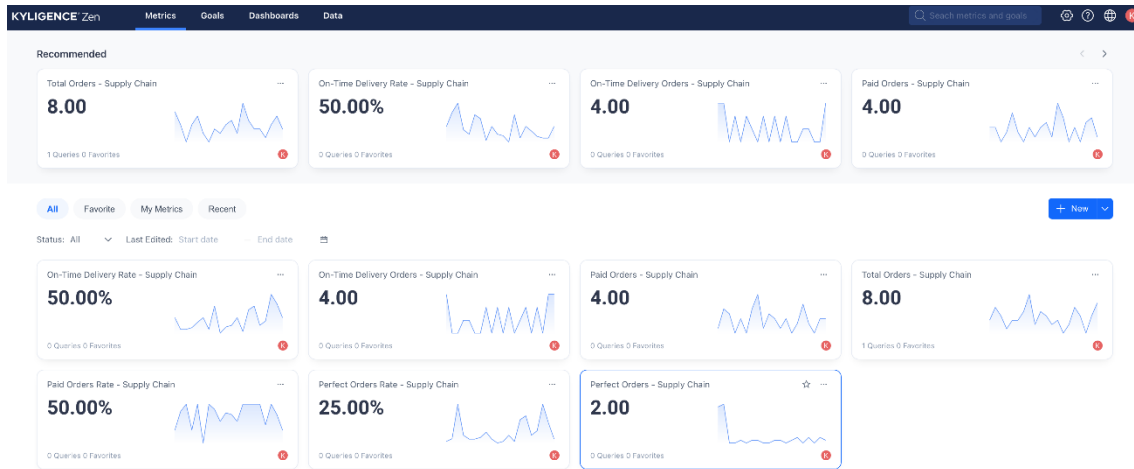


Il·lustració 21: Logotip de l'eina Kyligence.

Font: [8]

El seu funcionament es basa en dues fases: en primer lloc la importació de dades (a partir de bases de dades o fitxers de format CSV). Un cop les dades s'han carregat, es selecciona quin tipus de visualització es vol (gràfic lineal, circular, de barres, etc.). També es permet

la combinació de dades de diferents proves, de manera que es facilita als doctors l'extracció de conclusions.



Il·lustració 22: . Interfície de l'eina Kylligence. Es mostra informació sobre les dades recollides referents a les comandes realitzades en un negoci.

Font: [8]

Aquesta plataforma presenta un avantatge respecte les altres eines estudiades perquè ja s'ha implementat i actualment està sent utilitzada en el sector sanitari.

Dataviz Studio



Il·lustració 23: Logotip de l'eina Dataviz Studio.

Font: [9]

Dataviz Studio és un programa software especialitzat en la visualització de dades. El seu cost pot variar entre 17,48€/mes fins a 91,08€ mensuals. El seu funcionament és molt senzill, ja que l'obtenció de dades es fa mitjançant la importació d'un fitxer CSV. Un cop s'ha afegit el document, es generen diferents elements (gràfics, mapes interactius, etc.), en funció de les dades analitzades. L'usuari (en aquest cas el metge), pot personalitzar la informació que es mostra per pantalla, de manera que es destiqui exactament el que pot aportar valor al diagnosi i seguiment de la malaltia del Pàrkinson

Tot i la flexibilitat que presenta Dataviz Studio cal tenir en compte que s'utilitza sobretot en el sector d'anàlisi de dades en temps real per a pàgines web.

L'aplicació presenta diferents configuracions de panell, en funció de les preferències de l'usuari. A continuació, es mostra un exemple on es pot apreciar la combinació de gràfics respecte diferents aspectes del negoci. Un cop s'ha acabat de personalitzar el panell, aquest es pot desar, de manera que tota la informació analitzada queda enregistrada.



Il·lustració 24: Interfície de l'eina Dataviz Studio. Es mostra informació sobre les dades recollides referents a l'ús que es dona a diferents dispositius electrònics.

Font: [9]

Amb el disseny del panell de Dataviz Studio, s'aconsegueix mostrar molta informació a partir de les dades recollides de manera fàcil i amigable. La flexibilitat que presenta de canviar la disposició de les gràfiques i el seu disseny assegura l'adaptació del producte a l'usuari en funció de les seves necessitats.

3.3.3. Dispositius mèdics

Fins ara, s'han explicat eines que tenen l'objectiu de realitzar un seguiment de l'evolució de la malaltia del Pàrkinson en pacients. A continuació, es mostren alguns dels dispositius mèdics del mercat actual. Estan destinats a l'enregistrament de paràmetres característics d'aquesta patologia.

Kinesiau

És una eina semblant a un Smartwatch que analitza les tremolors, lentitud i discinèsia (això són els moviments involuntaris) dels malalts de Pàrkinson. A més a més, aquest dispositiu està vinculat a una aplicació mòbil, on s'emmagatzemen les dades enregistrades i els informes generats a partir d'aquestes. Així, tan el personal sanitari com els pacients poden consultar de manera ràpida i senzilla l'evolució de la patologia.

L'aplicació de Kinesiau es pot obtenir mitjançant Google Play o l'App Store. La seva descàrrega és gratuïta, tot i que per accedir a totes les funcionalitats de l'aplicació cal pagar. En total, el cost d'utilització d'aquesta eina és de 59€ mensuals, aproximadament.



Il·lustració 25: Dispositiu Kinesiau.

Font: [13]

Stedi Two

Es tracta d'un guant que redueix significativament la intensitat dels tremolors de les mans dels pacients. Això s'aconsegueix mitjançant un dispositiu que porta adherit i té la funció d'absorbir els tremolors després de les extremitats del malalt. Presenta dos modes de

funcionament, de manera que el pacient es pot calibrar i ajustar l'actuació d'aquesta eina. Cada guant té un cost aproximat de 605€.



Il·lustració 26: . Guant Steadi-Two. A la part superior porta adherit un dispositiu que absorbeix les tremolors.

Font: [10]

3.3.2. Sensors d'anàlisi de moviment

Actualment en el mercat existeixen diferents sensors que analitzen el moviment de les extremitats. No només això, sinó que també s'han adaptat eines i dispositius ja existents per a donar-los un propòsit d'anàlisi de moviment. A continuació s'expliquen alguns dispositius analitzats.

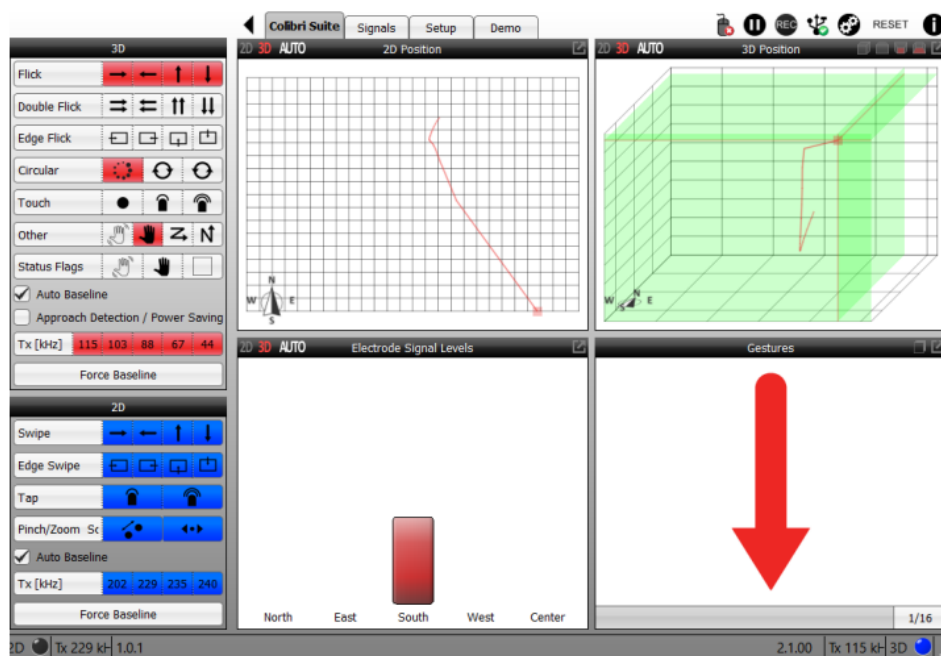
Microchip DV102014

Es tracta d'un dispositiu basat en una tecnologia de microchip anomenada "GestIC". El seu objectiu és analitzar el moviment de les mans gràcies a les dades recollides mitjançant l'enregistrament de moviments 3 a través d'un software anomenat Aurea.. Aquesta eina presenta la possibilitat d'utilitzar un SDK per a la programació d'aplicacions específiques.



Il·lustració 27: Muntatge del microchip DV102014.

Font: [38]



Il·lustració 28: Interfície del software Aurea.

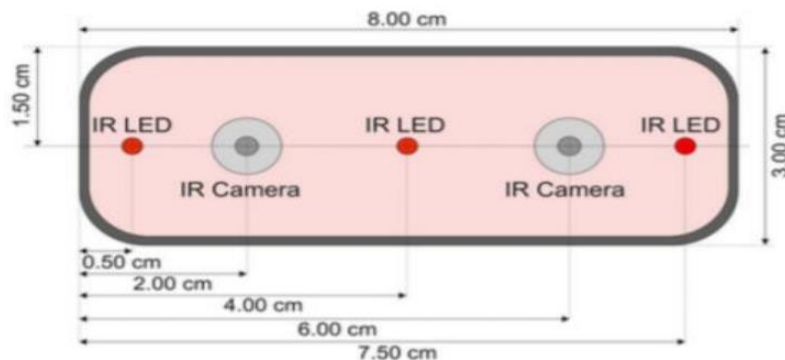
Font: [38]

Un dels inconvenients que presenta aquesta eina és el següent: el sensor detecta els moviments de la mà que es fan per sobre del muntatge i també els moviments que hi ha per sota de la caixa que conté el sensor. D'aquesta manera, els resultats es veuen alterats, ja que el moviment de les cames que pot realitzar un pacient en fer un exercici de mans proposat pel doctor altera els resultats de manera directa.

Leap Motion

Aquest dispositiu permet enregistrar de manera molt completa el moviment de les mans col·locades a sobre seu. Per a poder aconseguir-ho, conté dues càmeres i tres LEDs infrarrojos,

Tot i que inicialment es va desenvolupar com a eina per als videojocs i altres activitats d'oci, la seva funcionalitat es presenta molt útil per a l'anàlisi de l'evolució del Pàrkinson en malalts.



Il·lustració 29: Esquema intern del Leap Motion.

Font: [38]

Tot i que aquest sensor és molt més complet que el microchip DV102014 presenta un problema: a vegades pot presentar dificultat per a detectar els cinc dits de la mà.

Noitom perception mocap

Aquesta eina nsisteix d'un conjunt de sensors connectats a un Hub. Aquests sensors es reparteixen per tot el cos, però per a l'anàlisi de les tremolors dels malalts de Pàrkinson només cal fer-ne ús dels guants.

El Hub es connecta mitjançant WIFI o per cable (connexió USB) a un ordinador. D'aquesta manera, s'aconsegueix una exportació de dades molt eficient (així, tot i que s'ofereix un SDK no és necessari, ja que la connexió amb el portàtil és una opció molt més òptima i eficient).

Tot i que aquesta eina és molt eficient, pot resultar complicat la col·locació dels múltiples sensors a les mans.



Il·lustració 30: Guants de Noitom Perception Neuron.

Font: [38]

4. Metodologia

Per a poder assolir els objectius enumerats anteriorment, cal tenir molt ben definides les passes que caldrà seguir en les diferents fases del projecte. A continuació, es mostren les diferents fases del procés de desenvolupament de l'aplicació que es vol realitzar:

- Definició dels requeriments

Aquesta és la primera tasca que cal realitzar. En aquesta fase, serà necessari determinar una reunió amb el client de l'aplicació (en aquest cas, la Doctora) per a especificar exactament quines són les necessitats que es vol que l'aplicació cobreixi (quin serà l'abast de l'aplicació). És necessari que tots els requeriments definits siguin redactats i acordats per ambdues parts

- Disseny i validació del prototip

En aquesta etapa caldrà utilitzar una eina especialitzada en el prototipatge d'aplicacions. D'aquesta manera, es podrà ensenyar al client l'aspecte de l'aplicació, els diferents apartats i la seva estructura. Així, es reafirma com ha de ser el producte final abans del seu desenvolupament. Un cop el client es mostra satisfet amb el prototip, es pot procedir al desenvolupament de l'aplicació.

- Desenvolupament de l'aplicació

El desenvolupament de l'aplicació es realitzarà tenint en compte dos factors: els requeriments definits i el prototip validat. És molt important no perdre el contacte amb el client en cap fase, però en aquesta especialment. Per aquest motiu, caldrà convocar reunions de seguiment per assegurar que la tasca s'està realitzant tal i com s'espera.

- Testeig de l'aplicació

En aquesta etapa es desplega l'aplicació desenvolupada. Es realitza als usuaris finals de l'aplicació un testeig d'usabilitat (per estudiar si l'entorn és amigable i cobreix les necessitats definides. Pot passar que en aquesta fase es detecti la necessitat de modificar certs aspectes: caldrà fer-ho sempre i quan es respecti el que es va acordar abans d'iniciar el projecte.

En aquest estudi es farà el test d'usabilitat a diferents experts que podrien arribar a ser usuaris finals de l'aplicació, entre ells la doctora i fisioterapeutes.

- Refactorització

En aquesta etapa es solucionen els problemes sorgits durant la fase de desplegament. No sempre cal modificar l'aplicació desenvolupada, però si és necessari realitzar canvis, cal repetir el test d'usabilitat per assegurar que el producte final compleix amb les expectatives de l'usuari final.

5. Requeriments

5.1. Requeriments funcionals

Els requeriments funcionals estableixen el comportament que s'espera de l'aplicació. Gràcies a la seva definició, es coneix exactament els aspectes que ha de cobrir el software desenvolupat. Amb tot això, s'aconsegueix definir exactament quin és l'abast del projecte, quin cost tindrà i quan temps es necessitarà per a poder finalitzar-lo exitosament.

Tot i que el desenvolupador pot conèixer alguns del requeriments funcionals, l'usuari final és qui els defineix. Això es fa a través d'una reunió, de manera consensuada entre les dues parts (tant el programador com l'usuari final).

A continuació es mostren els requeriments definits i que, per tant, seran la guia del desenvolupador de l'aplicació:

- El sistema ha de presentar-se com una eina funcional i fàcil d'utilitzar.
- El sistema ha de permetre visualitzar les dades recollides del pacient referents a tres aspectes: velocitat, amplitud i freqüència (denominat com a "ritme" pel personal sanitari).
- El sistema ha de permetre l'anàlisi de les dades de manera clara i concisa (per exemple, mitjançant gràfics).
- El sistema ha de permetre controlar l'inici d'enregistrament de dades des de la seva interfície.
- El sistema ha d'extreure les dades més rellevants dels fitxers que contenen els resultats dels exercicis realitzats pels pacients.
- El sistema ha de facilitar a l'usuari final la determinació de l'estat del pacient.
- El sistema ha de permetre emmagatzemar les dades mostrades per pantalla.
- El sistema ha de permetre consultar les dades quan l'usuari final ho necessiti.
- El sistema ha de permetre a l'usuari final l'avaluació de l'estat del pacient segons el seu històric.
- El sistema ha d'establir un sistema d'anonimització de dades per a permetre el seu emmagatzematge al núvol.

5.2. Requeriments tecnològics

Els requeriments tecnològics defineixen els recursos dels quals cal disposar per a poder assolir els objectius del projecte. Aquests són:

- Dispositius propis del treball de final de grau del qual es parteix:
 - Arduino DUE
 - Sensor Arduino HC-SR04
 - Protoboard
 - Cables Dupont AWG26 mascle-mascle
 - Cable connexió Arduino - PC
 - Codi Arduino que captura les dades de l'exercici i les emmagatzema a un Excel
 - Eina d'Excel
 - Complement COM d'Excel (Excel Data Streamer)
 - Caixa tancada que conté al seu interior l'Arduino i el sensor d'ultrasò (adherit a la protoboard)
 - Leap Motion
 - Cable connexió Leap Motion – PC

- Ordinador portàtil o dispositiu mòbil (en funció de la solució que es decideixi desenvolupar)
- Entorn de comunicació (com Gmail, Slack, Teams...)
- Entorn de desenvolupament de codi (en funció del llenguatge de desenvolupament es triarà IntelliJ, VisualStudio o similar)
- Eina de generació i disseny de prototips (com Figma o MarvelApp)
- GitLab (compte Github per a pujar codi desenvolupat)
- Accés al cloud per emmagatzemar les dades enregistrades (si ho permet l'aspecte legal)

6. Proposta de solucions

Un cop s'han avaluat els aspectes que cal cobrir per a solucionar la problemàtica explicada, s'han plantejat tres solucions diferents. Totes elles tenen l'objectiu de facilitar la visualització i tractament de les dades recollides d'exercicis realitzats pels pacients de Pàrkinson mitjançant el desenvolupament d'una aplicació. La divergència de les diferents propostes radica en les funcionalitats implementades en cada escenari proposat.

Cal tenir en compte que totes les solucions exposades sorgeixen arran de les necessitats no cobertes del Treball Final de Grau del qual es parteix.

A continuació, s'exposen les diferents solucions amb l'actuació i l'abast que comprenen per tal de poder avaluar posteriorment quina s'adapta millor a les necessitats de l'usuari final. Cada solució té un nivell de complexitat més elevat respecte l'anterior.

6.1. Solució A

Amb aquesta proposta s'aconsegueix optimitzar la visualització de les dades recollides pels pacients en els diferents exercicis que realitzen. També es facilita a l'usuari final el seguiment de l'evolució de la malaltia de Pàrkinson en els seus pacients.

El funcionament elemental que s'espera de l'aplicació que es necessita que s'implementi és el següent: es parteix d'un fitxer de format Excel, generat de manera automàtica durant la recollida de dades que realitza l'Arduino. A continuació, es realitza una conversió del fitxer per a obtenir-ne un de format CSV. Un cop s'ha aconseguit això, a partir del CSV generat s'inicia el procés de disseny i mostreig de dades. D'aquesta manera, al final de tot el procés, l'usuari final serà capaç de veure les dades del pacient analitzades i mitjançant gràfics.

En resum, la primera proposta de solució funcionaria de manera que a partir d'un fitxer Excel, es realitza una conversió a fitxer de format CSV que serà utilitzat per a poder fer una lectura i anàlisi de les dades recollides. Aquestes dades es mostraran a l'usuari final de forma amigable, fins i tot amb imatges i gràfics, si s'escau.

6.2. Solució B

En aquest cas es desenvolupa una aplicació amb un camp d'actuació que no només afecta a la visualització de les dades dels pacients, sinó que també té l'objectiu de controlar l'inici del procés de la seva recollida.

Actualment, el començament de l'enregistrament de les dades (que realitza l'Arduino DUE) es controla mitjançant el fitxer Excel amb el qual està vinculat. Per tal d'aconseguir que les dades detectades per l'Arduino DUE s'enregistren a l'Excel, és necessari que ho faci l'usuari final de l'aplicació mitjançant la selecció d'una opció d'inici d'enregistrament que hi ha a l'arxiu on s'emmagatzemen les dades.

El primer objectiu de l'aplicació desenvolupada en aquesta proposta és aconseguir controlar l'inici d'enregistrament de dades des de la mateixa interfície que posteriorment mostrarà la informació obtinguda a partir dels exercicis realitzats pels pacients de Pàrkinson.

El segon objectiu coincideix amb el de la primera proposta: facilitar la visualització de les dades recollides a partir del tractament dels fitxers que contenen els resultats dels exercicis dels pacients de Pàrkinson. Per aconseguir-ho, caldrà fer ús de llistats, gràfics i altres eines que optimitzin als doctors el seguiment de l'evolució de la malaltia en els seus pacients.

6.3. Solució C

Aquesta proposta pretén substituir l'actuació de l'Arduino. El seu funcionament comprèn totes les fases del procés de seguiment de l'estat del pacient.

Cal destacar que per a poder assolir els objectius d'aquesta solució, el dispositiu amb el qual es realitza l'enregistrament de les dades és un dispositiu mòbil. A més a més, en aquesta proposta hi ha un canvi de paradigma: l'usuari final no és el doctor, sinó el pacient que pateix la malaltia del Pàrkinson.

El funcionament que s'espera és el següent: en primer lloc, l'aplicació implementada proposa una sèrie d'exercicis al pacient. Un cop fet això, explica com s'han de realitzar i comença la fase d'enregistrament de dades. Quan el pacient ja ha finalitzat la tasca proposada, es mostra per pantalla els resultats obtinguts de forma amigable. A més a més,

s'ofereix l'opció d'enviar la informació mostrada per pantalla al doctor, de manera que pugui veure l'evolució del pacient

7. Valoració i elecció de la solució final

Un cop s'ha avaluat totes les solucions proposades, s'ha decidit escollir la Solució B. A continuació s'exposen els motius pels quals s'ha pres aquesta decisió.

Per una banda, s'ha considerat que l'abast de la proposta A és insuficient per a cobrir totes les necessitats exposades per la doctora. L'aplicació desenvolupada treballa només l'aspecte de la visualització de les dades, i no té en compte el moment d'inici de la captura de les dades recollides en els diferents exercicis realitzats pels pacients de Pàrkinson.

Per altra banda, tot i que la Solució C és molt completa no respecta l'entorn amb el que es desenvolupa el projecte: el seu objectiu no és facilitar als doctors la lectura i anàlisi de les dades recollides dels pacients, sinó aconseguir un mètode d'autoavaluació on els malalts realitzen els exercicis i els resultats es fan arribar als experts mèdics.

Són aquestes raons les que han portat al projectista a decantar-se per la solució B: no només presenta l'abast necessari per a poder cobrir les necessitats dels metges, sinó que també assegura estar alineat amb la seva visió del producte final.

8. Disseny i prototipatge

Un cop ja s'han definit els requeriments funcionals amb la col·laboració de la doctora Pilar Sanz, la projectista del Treball Final de Grau del qual es parteix (Anna Faura) i el tutor del projecte Marcos Faundez, es procedeix al disseny del prototip de l'aplicació que es desenvoluparà.

Aquest procés comprèn la primera fase del desenvolupament de la solució i és de vital importància per assegurar que es compleixen dos aspectes crucials per a l'èxit d'aquest treball: senzillesa i funcionalitat.

El prototip desenvolupat ajuda a visualitzar l'aspecte que tindrà l'aplicació final. Com es pot veure, les dades recollides es mostraran a l'especialista a través de tres pàgines diferents:



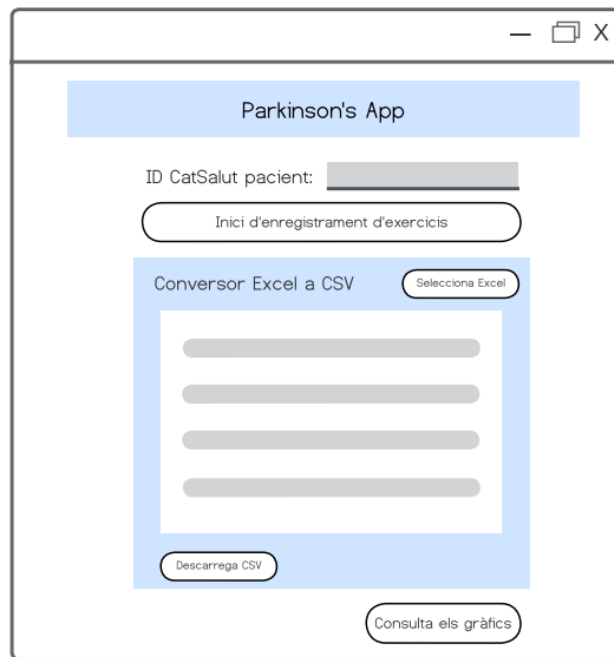
Il·lustració 31: Prototip de l'aplicació de la solució final.

Font: Elaboració pròpia

A continuació s'explica en detall el funcionament que tindrà la solució treballada.

8.1. Pàgina d'inici

En iniciar l'aplicació, s'obrirà la següent pàgina d'inici:



Il·lustració 32: Pàgina d'inici del prototip desenvolupat.

Font: Elaboració pròpia

Com es pot veure, en aquesta pantalla hi haurà un camp on l'usuari haurà d'entrar el número del CatSalut del pacient que realitzarà els exercicis.

Aquest camp s'ha d'omplir abans de començar l'enregistrament de dades. És per això que es configurarà una alerta (*alert*) que controlarà que el flux d'execució es dugui a terme correctament mitjançant la comprovació d'aquest camp (no pot tenir un valor nul o incorrecte).

Seguidament, mitjançant el botó anomenat "*Inici d'enregistrament d'exercicis*" es podrà procedir a la recollida de dades obtingudes mitjançant els exercicis realitzats pel pacient. Això s'aconseguirà gràcies a la vinculació de l'aplicació amb els sensors utilitzats en els diferents exercicis que capturen les dades .

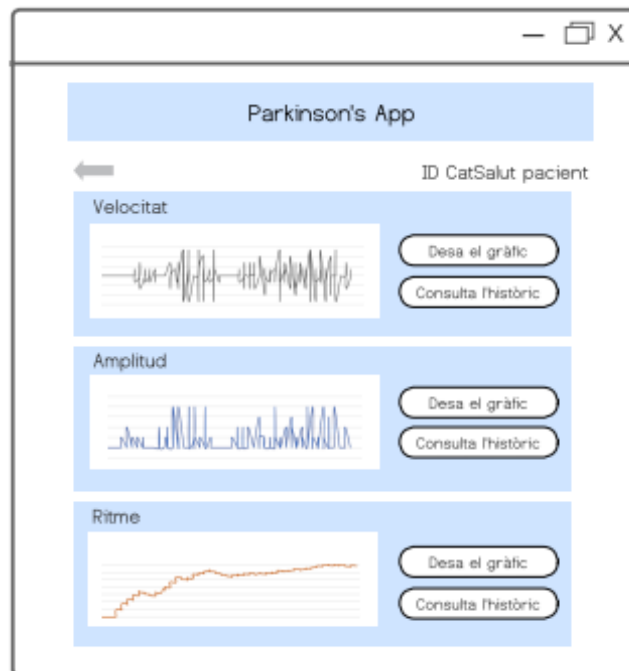
Un cop es finalitzi l'enregistrament de la tasca proposada al pacient, es mostrarà a sota del botó les dades recollides (aquestes dades provenen dels exercicis realitzats pel pacient). Com el sensor utilitzat en l'enregistrament està configurat per a emmagatzemar

les dades en un fitxer de format Excel, hi haurà un botó a la part inferior de la secció que permetrà la descàrrega de la informació mostrada en format d'un fitxer CSV.

Finalment, a la part inferior de la pantalla hi haurà un botó amb el nom “*Consulta els gràfics*”. En seleccionar-lo, s'obrirà una nova finestra des d'on es mostraran els gràfics generats a partir de la informació recollida als exercicis realitzats pel pacient.

8.2. Pàgina de visualització de gràfics

S'accedeix a aquesta pàgina mitjançant la selecció del botó “*Consulta els gràfics*” de la pantalla anterior. En obrir-la es veu el següent:



Il·lustració 33: Pàgina de visualització de gràfics del prototip desenvolupat.

Font: Elaboració pròpia

La part superior de la pantalla està dividida en dues seccions diferents: l'esquerra i la dreta. A la part esquerra s'ofereix a l'usuari final la possibilitat de navegar entre les diferents finestres de l'aplicació. Així, en seleccionar el botó amb la forma d'una fletxa, es podrà retornar a la pàgina d'inici de l'aplicació. A la part superior dreta es podrà veure el número identificador del pacient (això és el seu CatSalut). D'aquesta manera,

s'aconsegueix que el doctor sàpiga en tot moment a qui pertanyen els gràfics mostrats a la pàgina.

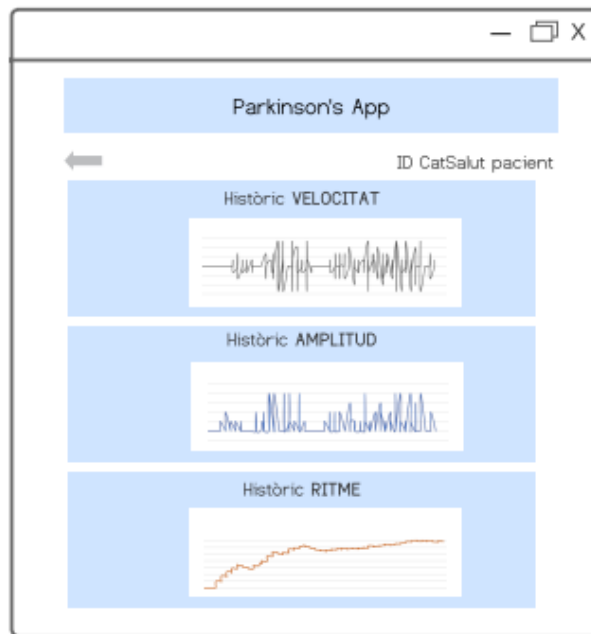
La resta de la pantalla està dividida en tres seccions horitzontals. Cada secció mostra un gràfic que avalua un dels següents aspectes:

- Velocitat amb la qual el pacient ha finalitzat la tasca proposada
- Amplitud dels moviments que s'han realitzat en el transcurs de la prova
- Ritme (també entès com a “freqüència”)

Per a cada gràfic, l'usuari final podrà desar-ne una còpia en format imatge (botó “*Desa el gràfic*”) o bé, realitzar una comparativa dels resultats obtinguts amb l'històric del pacient (botó “*Consulta l'històric*”). Amb això, s'aconsegueix mostrar d'una manera molt visual els resultats obtinguts en les tasques realitzades. D'aquesta manera, s'optimitza el procés de presa de decisions, minimitzant el temps de resposta necessari per oferir als pacients la millor qualitat de servei.

8.3. Pàgina de visualització de l'històric

Aquesta és la darrera pantalla de l'aplicació. S'hi accedeix mitjançant la selecció del botó “Consulta l'històric” de la pantalla anterior. En obrir-la es veu el següent:



Il·lustració 34: Pàgina de visualització de l'històric del prototip desenvolupat.

Font: Elaboració pròpia

Tal i com es pot apreciar, el format d'aquesta pantalla és molt similar al de la finestra anterior. La diferència radica en el fet que els gràfics que es mostren no s'han realitzat únicament amb les dades obtingudes a partir de l'exercici realitzat pel pacient, sinó que són el resultat de combinar la informació extreta en totes les avaluacions realitzades pel malalt des de la primera fase de tractament de Pàkinson.

8.4. Comentari final

Amb el disseny del prototip i l'explicació de les funcionalitats que tindrà l'aplicació desenvolupada, es facilita a l'usuari final materialitzar la idea del producte que cobrirà les seves necessitats.

Per aquest motiu és necessari contactar amb la Doctora Pilar Sanz abans de continuar amb el transcurs del treball: cal confirmar que la solució plantejada dona resposta a totes les qüestions plantejades. A més a més, gràcies a aquesta eina es pot assegurar que l'aplicació desenvolupada compleix amb les expectatives de l'usuari final.

9. Desenvolupament de l'aplicació

L'aplicació desenvolupada en aquest projecte s'ha desat a un repositori GitHub privat. S'ha facilitat una còpia del programa adjunta al lliurament del treball.

9.1. Introducció

Després de validar el model del prototip elaborat s'ha procedit a la realització de la següent fase: el desenvolupament de l'aplicació.

Abans de començar a desenvolupar el codi necessari per obtenir el resultat final, és necessari establir unes bases. Per això, en primer lloc s'ha decidit que l'entorn amb el qual es treballarà és Visual Studio Code. Aquesta decisió radica en el fet que ja es coneixen les funcionalitats i eines que s'ofereix des de l'entorn, de manera que s'aconseguirà extreure'n el màxim potencial.

A més a més, s'ha decidit programar l'aplicació en llenguatge Python. Tot i que el domini d'aquest llenguatge no és de nivell expert, sinó que més aviat es té unes nocions bàsiques, s'ha considerat que aquest projecte és una oportunitat per adquirir més destresa i coneixement amb Python.

Per últim, s'ha dividit el procés de desenvolupament de l'aplicació web en dues fases principals: la primera fase treballa totes aquelles funcionalitats que possibiliten l'enregistrament dels Exercicis B i C mitjançant el pedal Arduino. Per contra, en la segona fase es treballa tot allò que fa referència a l'Exercici A (aquest exercici utilitza el dispositiu Leap Motion).

Cal destacar que s'ha comprovat el correcte funcionament de totes les funcionalitats definides a l'aplicació. Per a fer-ho, s'han comparat els resultats obtinguts amb la solució desenvolupada, respecte els resultats obtinguts al treball del qual es parteix en el cas que les dades d'entrada siguin exactament les mateixes.

A continuació, s'explica en detall els aspectes més rellevants de la fase de desenvolupament de l'aplicació.

9.2. Flask

Per tal de poder aconseguir donar resposta als requeriments plantejats per la doctora Pilar, s'ha decidit utilitzar Flask, un framework de Python especialitzat en el desenvolupament d'aplicacions web. Tot i que no s'ha tingut contacte amb aquesta eina prèviament, s'ha arribat a la conclusió que és la millor opció per aconseguir una solució senzilla i funcional. Aquest framework es basa en Jinja 2, un motor de plantilla desenvolupat en llenguatge Python.

Mitjançant la combinació d'aquestes eines s'aconsegueix generar l'aplicació que es vol obtenir gràcies a la creació de rutes web d'una forma molt fàcil i llegible.

L'aplicació de Pàrkinson que es treballa en aquest projecte té les següents rutes:

- <http://localhost:5000/>
- <http://localhost:5000/home>
- <http://localhost:5000/inici>
- <http://localhost:5000/arduino>
- <http://localhost:5000/exercicis>
- <http://localhost:5000/principal>

Cadascuna d'aquestes rutes executa una funció que s'ha desenvolupat amb l'objectiu de respondre als requeriments plantejats per la doctora.

A mode explicatiu, es mostra a continuació un exemple d'utilització de Flask. Il·lustració [35].

```
from flask import Flask, render_template, request, redirect, url_for
#Inicialització variable app (crida constructor Flask)
app = Flask(__name__)
@app.route("/", methods=['POST', "GET"])
def login():...
    <output omitted>
if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True, port=5000)
```

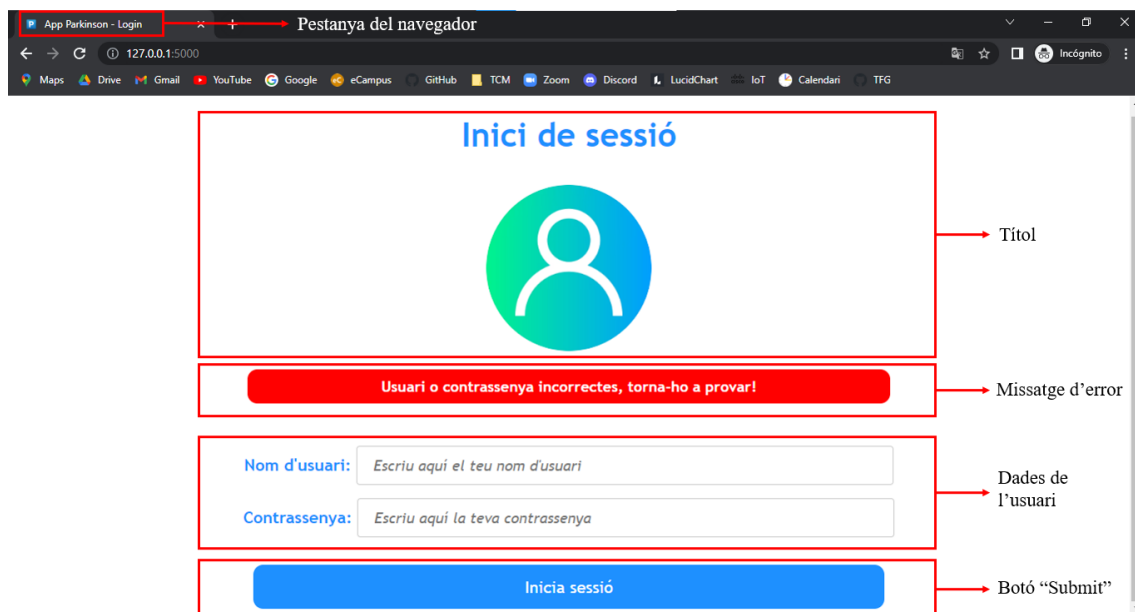
Il·lustració 35: Exemple d'utilització de Flask

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot veure, en primer lloc cal realitzar una importació. Després d'inicialitzar la variable “app”, es pot procedir a la definició d'una ruta. En aquest exemple, la ruta definida és la <http://localhost:5000/> i executa la funció “login()”. El resultat del codi definit a les funcions de les rutes declarades s'executarà allà on s'indiqui al condicional que es pot veure a la part inferior de la captura facilitada. En aquest cas, es realitzarà a la l'adreça IP “localhost” i el port “5000”.

9.3. Pàgina d'inici

Aquesta pàgina és la primera que es presenta a l'usuari en executar l'aplicació. Es pot veure la visualització de la pàgina d'inici a la il·lustració [36]



Il·lustració 36: Visualització de la pàgina d'inici

Font: elaboració pròpia.

En aquesta finestra es poden distingir diferents elements, indicats amb requadres de color vermell.

El procés de validació es realitza un cop l'usuari ha omplert els camps demanats i ha seleccionat el botó “submit”. En cas que no s'hagi emplenat el nom d'usuari i la contrassenya, es mostra un missatge a l'usuari on s'indica que no es pot deixar en blanc la informació demanada. Això s'aconsegueix mitjançant el tag “required” a l'element

HTML corresponent. Es pot veure la comprovació de l'addició de contingut als camps d'entrada de dades. Il·lustració [37].



Il·lustració 37: Comprovació de l'addició de contingut als camps d'entrada de dades.

Font: elaboració pròpia.

Cal destacar la definició i configuració del missatge d'error. Aquest es mostra únicament després de la validació dels camps introduïts per l'usuari en cas que no siguin correctes. Per aconseguir això s'ha utilitzat Jinja. Es pot veure el Missatge d'error al codi HTML Il·lustració [38]

```
<center>
  <div class="error-div">
    {% if error_msg %}
    | <p class="error">Usuari o contrassenya incorrectes, torna-ho a provar!</p>
    {% endif %}
  </div>
</center>
```

Il·lustració 38: Missatge d'error al codi HTML.

Font: elaboració pròpia.

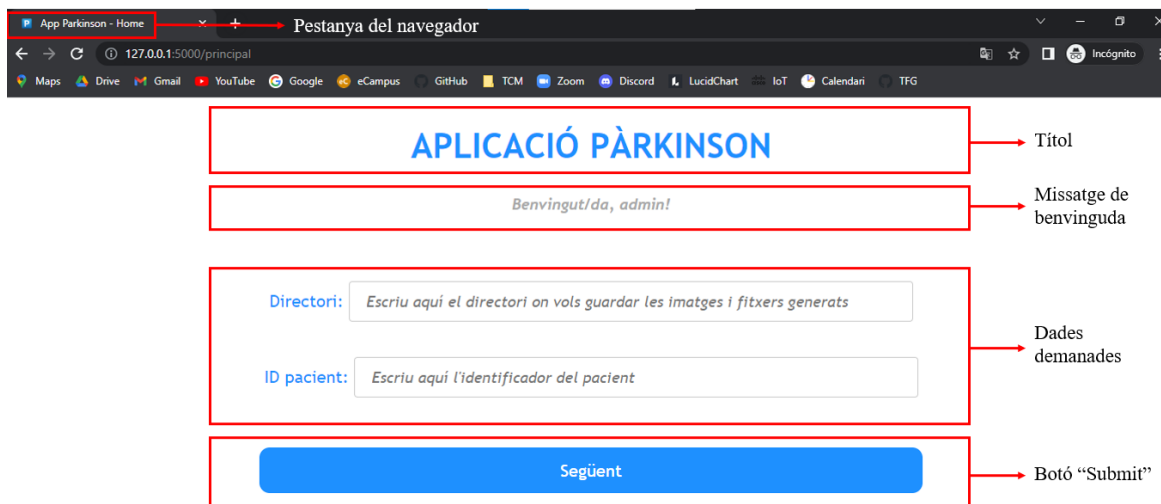
Tal i com es pot veure, la definició es troba dins una condició {% if-endif %} (aquesta programació és pròpia de Jinja). Amb aquesta condició s'estableix una comunicació entre el back-end i el front-end, de manera que si el back-end envia una variable anomenada "error_msg" es mostrarà tot allò que es trobi dins el condicional.

Per aquest projecte s'han definit dos perfils diferents. El primer perfil s'ha destinat a la autora del treball, per a poder realitzar diferents comprovacions de les funcionalitats desenvolupades en aquesta fase del projecte, sota l'usuari "admin" i la contrasenya "123". El segon perfil s'ha definit per la Doctora Pilar Sanz i el seu nom d'usuari és "pilar".

Per últim, cal comentar la imatge i el títol que es poden distingir a la pestanya superior del navegador. Tal i com es pot veure, s'han editat per tal d'unificar tots els elements presents a la pantalla i oferir una millor experiència a l'usuari.

9.4. Pàgina principal

Un cop s'ha validat el nom i la contrasenya de l'usuari de l'aplicació, s'arriba a la pàgina principal. El seu disseny és molt simple, ja que l'objectiu d'aquesta finestra és aconseguir l'identificador del pacient i el directori on el doctor vol que es guardin tots els fitxers i gràfics generats a l'aplicació. A continuació es mostra la visualització de la pàgina principal. Il·lustració [39].



Il·lustració 39: Visualització de la pàgina principal.

Font: elaboració pròpia.

Cal destacar que en arribar a aquesta pestanya, es mostra un missatge de benvinguda personalitzat per a cada usuari. Això s'aconsegueix mitjançant l'ús de variables globals. En aquest cas es pot veure que s'ha utilitzat l'usuari amb nom "admin".

Inicialment no s'havia dissenyat aquesta pestanya, sinó que s'ha hagut de modificar el prototip inicial. D'acord amb la normativa consultada [42] [43] [45], no es pot configurar un selector de directoris per raons de seguretat. Tot i que sí que és possible emmagatzemar l'arbre de contingut d'una carpeta de l'escriptori, no es pot consultar el directori complet d'un fitxer o arxivador perquè es realitza una modificació automàtica de la ruta. Per

exemple, si des d'un programa Python es vol accedir a un arxiu que es troba a la ubicació C:\Users\usuari\Desktop\fitxer.docx no es pot fer perquè aquesta ruta que modificada de manera que el seu contingut es substitueix per C:\fakepath\fitxer.docx

Com es necessita disposar d'un directori per emmagatzemar tots els arxius generats a l'aplicació, l'única opció viable que s'ha aconseguit implementar és la definició manual d'un directori mitjançant la inserció de la ruta on es troba aquest.

En aquesta finestra també s'ha establert un control per assegurar que el directori introduït a un usuari correspon a una carpeta de fitxers. En cas contrari, salta un error amb un missatge explicatiu i es demana que es tornin a entrar els camps demanats. A més a més, s'assegura que tota la informació demanada no quedi sense emplenar.

9.5. Pàgina d'exercicis

Aquesta és la pantalla més completa i més complexa de configurar. A continuació es mostra la visualització de la pàgina d'exercicis. Il·lustració [40].



Il·lustració 40: Visualització de la pàgina d'exercicis.

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot veure, a la part superior dreta de la pàgina es mostra l'identificador del pacient, perquè l'usuari (en aquest cas la doctora) vegi en tot moment a qui pertany la informació recollida.

A continuació, s'ha configurat un botó per a navegar a la pàgina anterior (això és la pàgina principal).

Tot seguit, es poden distingir dues zones diferents: a la part superior es troben tots els elements que donen resposta a les funcionalitats que fan referència a l'exercici A (realitzat amb el dispositiu Leap Motion). A la part inferior s'ha configurat tot allò necessari per a cobrir els requeriments de l'exercici B i C (realitzats amb el pedal d'Arduino).

A continuació, s'expliquen amb més detall aquestes dues seccions.

9.5.1. Secció Leap Motion

L'objectiu inicial d'aquesta secció consistia en aconseguir monitoritzar i controlar la realització de l'exercici A mitjançant l'aplicació desenvolupada. Tot i així, això no s'ha pogut realitzar en la seva totalitat perquè s'han trobat moltes incidències i contratemps en el desenvolupament de la secció Arduino (veure secció 9.5.2).

Tot i els contratemps, s'ha treballat un dels aspectes comentats amb la doctora Pilar Sanz respecte l'exercici A. Com ja s'ha redactat al principi de la memòria, els pacients que pateixen la malaltia de Pàrkinson realitzen tres exercicis diferents (aquests són l'Exercici A, l'Exercici B i l'Exercici C). El projecte del qual es parteix aconsegueix quantificar els tres exercicis, enregistrant numèricament l'evolució dels pacients de Pàrkinson d'acord amb tres paràmetres estudiats: distància, velocitat i freqüència (o ritme). Per a poder quantificar els resultats del primer exercici (Exercici A), s'utilitza el dispositiu Leap Motion. Com a resultat, s'obté un fitxer de format Excel que conté les dades enregistrades durant la realització de l'exercici i uns gràfics que visualitzen els resultats obtinguts.

En aquesta primera secció, s'ha automatitzat la realització del gràfic de l'Exercici A corresponent a la mesura de la distància, de manera que a partir de la pujada d'un fitxer obtingut mitjançant el procés establert per l'Anna Faura en el treball anterior, s'obtenen dos gràfics que es guarden al dispositiu de l'usuari. Els gràfics corresponen a les mesures de distància recollides per la mà esquerra i la mà dreta. Il·lustració [41]

Visualment, aquesta secció té l'aspecte que es mostra a continuació:

Títol de la secció

Exercici A: Generació de gràfic a partir d'un Excel amb dades obtingudes mitjançant el dispositiu Leap Motion

Selecciona el fitxer Excel del qual vols generar el gràfic:

Seleccionar archivo Ninguno archivo selec.

Selecció del fitxer

Si ja has seleccionat un fitxer...

Confirma la selecció

Fitxer carregat exitosament!

Confirmació de la selecció

Selecciona de quina mesura vols que es generi el gràfic: Position X Start[mm] ▾

Selecció de mesura

Genera el gràfic!

Botó "Submit"

Il·lustració 41: Visualització de la primera secció de la pàgina d'exercicis.

Font: elaboració pròpia.

Per sota del títol de la secció, s'ha configurat la secció de pujada de l'arxiu generat pel programa definit en el treball del qual es parteix. Per assegurar que el fitxer pujat és del tipus que es vol (en aquesta cas, de tipus Excel), s'ha limitat la selecció de fitxers del dispositiu, de manera que només es puguin seleccionar aquells que tinguin l'extensió de tipus Excel. A continuació es pot veure el codi HTML per a declarar el selector de fitxers Excel. Il·lustració [42].

```
<div class="excel-selector-div" name="excel-select">
|   <input type="file" class="txt-upload" name="xlfile" accept=".xlsx" id="">
</div>
```

Il·lustració 42: Codi HTML per a declarar el selector de fitxers Excel

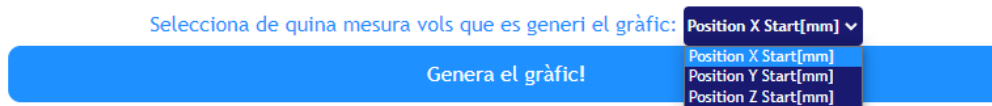
Font: elaboració pròpia.

Com es pot veure, només es permet la pujada de fitxers amb l'extensió “.xlsx”. A més a més, s'han aplicat estils per a millorar l'aspecte configurat per defecte del selector d'arxius.

Un cop s'ha seleccionat el fitxer generat pel dispositiu Leap Motion, cal clicar el botó “Confirma la selecció”. Amb això es realitza una lectura del fitxer pujat. En cas que el fitxer presenti un format adequat (això vol dir, que es correspongui amb el format dels

fitxers generats pel programa definit per l'Anna Faura), es mostra un missatge d'èxit a l'usuari juntament amb un desplegable.

Les opcions que es mostren en el desplegable es corresponen amb el nom de les columnes del fitxer Excel que fan referència a la posició del sensor que enregistra dades durant l'exercici. Tot i que per realitzar aquest exercici el pacient disposa de més sensors, s'ha decidit limitar les opcions de tria, d'acord amb el criteri i les necessitats concretes de la doctora Pilar. La visualització del desplegable de la pàgina d'exercici es pot consultar a la il·lustració [43]



Il·lustració 43: Visualització del desplegable de la pàgina d'exercicis.

Font: elaboració pròpia.

Un cop l'usuari tria una de les opcions, pot clicar el botó inferior per a iniciar la generació del gràfic. El fitxer que es tracta en aquest apartat presenta unes dimensions considerables, degut a la gran quantitat de dades que emmagatzema. Tot això provoca que el temps de generació del gràfic sigui relativament més elevat que altres funcionalitats de l'aplicació (pot arribar a trigat 1 minut). Per assegurar una bona experiència d'usuari (*user experience*), s'ha configurat una icona que indica que s'estan processant les dades del fitxer. Tot i que s'ha intentat definir aquesta funcionalitat en llenguatge Python, no s'ha aconseguit èxit perquè la seva implementació provocava la interrupció de la tasca de lectura del fitxer Excel. Per això, aquesta funcionalitat s'ha configurat amb llenguatge Javascript. Aquesta solució és relativament senzilla i resol els problemes sorgits de la definició de la funcionalitat mitjançant Python. El codi escrit en Javascript s'ha afegit al fitxer HTML on es troben la resta d'elements de la pàgina d'exercicis mitjançant la utilització del tag `<script>` perquè és poc extens (la seva totalitat comprèn només la definició d'una única funció).

A continuació, es mostra el codi HTML que habilita la icona de càrrega. Il·lustració [44].

```
<script>
  function move(id) {
    button1 = document.getElementById("spin"+String(id));
    button1.style.display = 'block';
  }
</script>
```

Il·lustració 44: Codi HTML que habilita la icona de càrrega.

Font: elaboració pròpia.

A continuació, es mostra l'aplicació d'estils a la icona de càrrega mitjançant el codi HTML. Il·lustració [45].

```
<div name="upload-btn">
  <button type="submit" class="btn btn-primary" onclick="move(2);">
    <i style="display: none;" class="fa fa-spinner fa-spin" id="spin2"></i>
    Confirma la selecció
  </button>
</div>
```

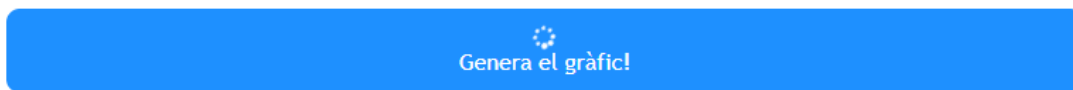
Il·lustració 45: Aplicació d'estils a la icona de càrrega mitjançant el codi HTML.

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot veure, l'icona de càrrega pertany a la classe "fa fa-spinner fa-spin". Per evitar que es mostri des de la càrrega de la pàgina, s'ha definit un estil gràcies al qual s'amaga la icona. Al codi Javascript s'ha definit una funció "move(id)". Tots els botons definits a l'aplicació que utilitzen aquest element de càrrega segueixen el mateix patró d'identificació: spinX, on "X" és un número enter. D'aquesta manera, l'actuació de la funció definida es redueix a mostrar de l'estil aplicat a l'element HTML que tingui l'identificador corresponent.

Com la funció es crida un cop l'usuari ha seleccionat el botó, el comportament final és el següent: en carregar la pàgina s'observa un botó on hi ha escrit el text "Confirma la selecció" (s'ha definit des del codi HTML). Un cop l'usuari l'ha seleccionat, es mostra una icona de càrrega mentre es generen els gràfics resultants de la lectura de dades del fitxer pujat a l'aplicació.

Visualització de la icona de càrrega a l'aplicació. Il·lustració [46].

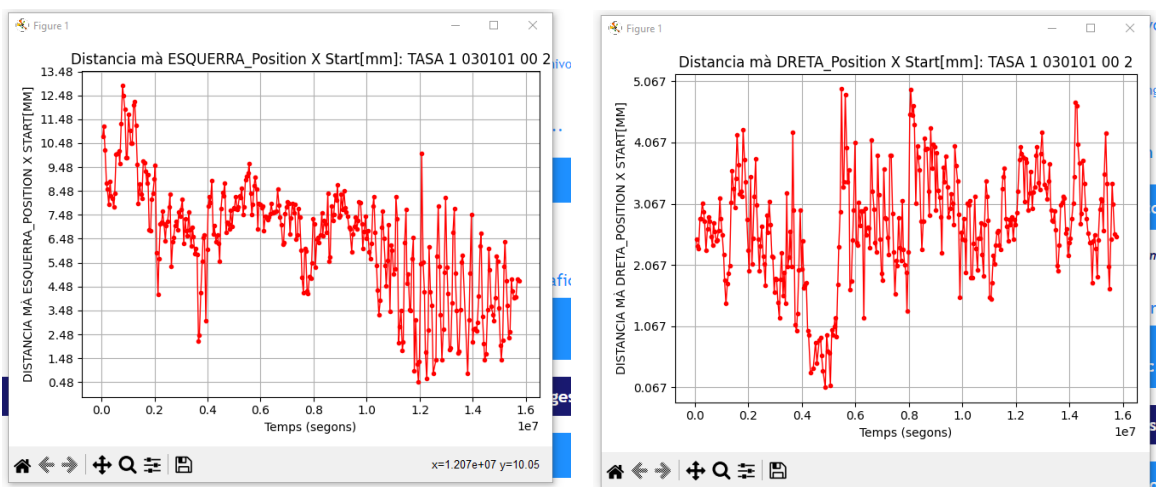


Il·lustració 46: Visualització de la icona de càrrega a l'aplicació.

Font: elaboració pròpia.

Tal i com s'ha comentat anteriorment, s'obtenen dos gràfics diferents: un correspon a l'enregistrament realitzat pel sensor seleccionat a la mà esquerra del pacient i l'altre a la mà dreta.

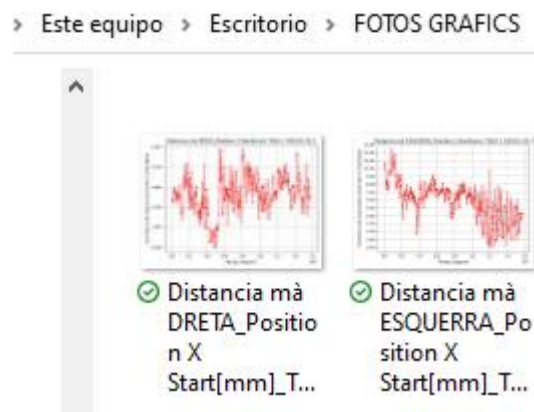
Un cop s'ha generat el gràfic, aquest es mostra en una finestra emergent. En passar el ratolí per sobre, s'indica de forma dinàmica el valor de cadascun dels eixos en el lloc on es troba el punter. A més a més, a la part inferior de la finestra es mostra un menú, des d'on l'usuari pot realitzar diferents funcions: en primer lloc, es permet l'edició de la mida del gràfic i la separació entre els valors dels eixos. A més a més, es pot ampliar el gràfic per a facilitar-ne la seva visualització. Els gràfics s'emmagatzemen automàticament al directori especificat per l'usuari a la Pàgina principal de l'aplicació. Tot i així, al menú inferior es permet l'emmagatzematge addicional del gràfic mostrat en un altre directori del dispositiu. A continuació es poden veure els Gràfics generats per l'aplicació. Corresponen als resultats obtinguts a l'enregistrament de dades de l'Exercici A (mà esquerra i mà dreta). Il·lustració [47].



Il·lustració 47: Gràfics generats per l'aplicació. Corresponen als resultats obtinguts a l'enregistrament de dades de l'Exercici A (mà esquerra i mà dreta).

Font: elaboració pròpia.

Les imatges generades a l'aplicació s'han emmagatzemat automàticament al directori especificat per l'usuari. Il·lustració [48]



Il·lustració 48: Les imatges generades a l'aplicació s'han emmagatzemat automàticament al directori especificat per l'usuari.

Font: elaboració pròpia.

Un cop ja s'han visitat i analitzat els gràfics emergents a la pàgina web, automàticament es redirecciona a l'usuari a la pàgina d'exercicis.

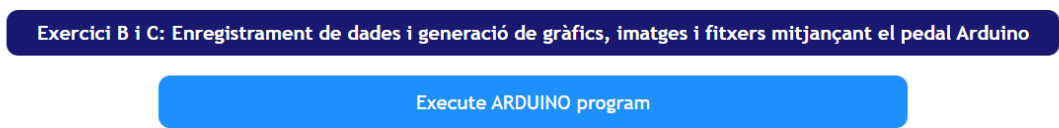
9.5.2. Secció Arduino

9.5.2.1. Introducció

Aquesta secció és la que ha ocupat la primera fase de desenvolupament del projecte. S'ha decidit d'aquesta manera perquè el pedal d'Arduino s'utilitza en dos dels tres exercicis realitzats pels pacients de Parkinson (això són l'Exercici B i l'Exercici C).

El disseny d'aquest apartat és molt senzill tal i com es va indicar als requeriments realitzats per la doctora Pilar Sanz. En el treball del qual es parteix, l'automatització d'aquests exercicis requeria l'atenció constant de l'usuari en el procés d'enregistrament de les dades i realització de l'exercici: en primer lloc, calia activar el sensor connectat a la placa Arduino. A més a més, el professional mèdic havia d'estar tota l'estona davant l'ordinador, per a poder indicar exactament al pacient en quin moment començar a moure el peu lligat al pedal.

L'objectiu aconseguit respon a les necessitats de la doctora. En primer lloc, el disseny de la secció és molt senzill i intuïtiu, de manera que la seva utilització no resulta complicada. Visualització de la segona secció de la pàgina d'exercicis. Il·lustració [49].



Il·lustració 49: Visualització de la segona secció de la pàgina d'exercicis.

Font: elaboració pròpia.

A la part superior es pot veure un títol que indica l'exercici al qual pertany la part inferior de la pantalla. A sota s'ha configurat un botó que inicia l'execució del programa Arduino.

9.5.2.2. Adversitats i contratemps

Aquesta funcionalitat ha presentat diverses adversitats. En primer lloc, per tal d'assegurar que el temps d'execució respecta els límits establerts en el treball del qual es parteix, s'ha hagut de modificar el programa Arduino.

Prèviament, el funcionament que es definia al codi era el següent: mitjançant un seguit d'interrupcions periòdiques (realitzades exactament cada 150 ms) s'emmagatzemava a un array la distància detectada pel sensor en el moment de la interrupció. Mitjançant un càlcul es va establir que per aconseguir un temps d'execució de l'exercici de 30 segons aproximats, calia recollir 200 mesures. Per aquest motiu, quan l'array disposava de 200 valors es realitzava un enviament de les dades contingudes a l'array. D'aquesta manera s'assegurava que el temps de mostreig era exactament igual entre les mostres obtingudes.

Aquesta lògica no s'ha pogut aplicar al projecte actual. Degut a la comunicació que s'ha d'establir entre el programa Python i el dispositiu Arduino, els temps limitats en el programa del projecte anterior no es corresponien, ja que les dades obtingudes eren incorrectes (no es respectava el temps de mostreig ni el temps total de realització de l'exercici total). Per a solucionar aquest problema, s'ha mantingut el control del temps de captura de cadascuna de les mesures recollides pel sensor (es realitza cada 150 ms), però el control del temps de l'exercici s'ha extret i es realitza des del programa Python. Per aconseguir això, l'Arduino executa el seu programa indefinidament fins a omplir la capacitat total de l'array. Quan llegeix el caràcter '1' al Serial, comença a enregistrar les

dades que posteriorment enviarà al programa de l'aplicació. Un cop s'han omplert totes les posicions de l'array, el temps de realització d'exercici ha finalitzat de manera que s'atura la de recollida de mesures detectades pel sensor i es procedeix a l'enviament d'aquestes mitjançant el Serial. Cal destacar que el temps d'execució del programa és més complex, de manera que per tal de mantenir que el temps total d'enregistrament de dades l'exercici sigui de 30 segons, ha sigut necessari augmentar la capacitat de l'array. D'aquesta manera es recullen més mesures, però els resultats obtinguts coincideixen exactament amb els resultats obtinguts per l'Anna Faura al seu projecte anterior.

A més a més, un altre problema que s'ha hagut de resoldre és la comunicació entre el programa Python i l'Arduino. S'ha decidit que l'enviament i la rebuda de dades es farà mitjançant l'escriptura i la lectura del Serial perquè és una manera senzilla i ràpida d'aconseguir l'objectiu proposat. Tot i així, cal destacar que aquest aspecte ha resultat més complex del que inicialment es va plantejar. Durant tot el procés d'aprenentatge al centre universitari Tecnocampus de Mataró, s'ha treballat principalment amb la placa d'Arduino UNO i el pedal dissenyat al projecte del qual es parteix utilitza una placa d'Arduino Due. Tot i que les diferències entre les dues plaques no són excessives, s'han hagut d'aprendre i conèixer-les per aconseguir els objectius definits. Això es tradueix en el fet que la placa d'Arduino Due treballa amb dos Serials (a diferència de l'Arduino UNO, que treballa només amb un). Per aconseguir l'enviament de les dades enregistrades, ha sigut necessari configurar el Serial utilitzat per l'Arduino Due, perquè sigui el mateix que l'utilitzat pel programa Python. D'aquesta manera, des de Python es llegeixen i s'envien les dades per "Serial" i des d'Arduino des de "SerialUSB".

Per últim, s'ha hagut de resoldre un altre problema relacionat amb la lectura del Serial per part de l'Arduino. Tot i que l'error s'ha pogut resoldre d'una manera relativament senzilla, s'ha tingut dificultats per a entendre el motiu pel qual es donava la següent situació: en executar el programa Arduino per segon cop consecutiu, es genera un error que indica que el port "COM" utilitzat ja està en ús. Inicialment, es va intentar codificar un reseteig intern de la placa, per simular un desconexió i connexió al port corresponent, però això provocava una interrupció de la funcionalitat de l'aplicació. Finalment, s'ha aconseguit solucionar aquest problema mitjançant el canvi en la condició que comprova si s'ha escrit quelcom al serial.

9.5.2.3. Comunicació entre l'aplicació i el pedal Arduino

A continuació, es mostra el codi Arduino que recull les dades de mesura detectades pel sensor i el programa Python que estableix la connexió amb la placa Arduino i controla el temps d'execució de l'exercici.

Després de declarar les variables necessàries per aquest codi, cal inicialitzar-les. Això es fa des de la funció `setup()`. A continuació es pot consultar el Codi Arduino, funció "`setup()`". Il·lustració [50].

```
void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT); //vull que aquest pin sigui output (Transmitter)
  pinMode(echoPin, INPUT); // vull que aquest pin sigui input (Receiver)
  k=0;
  memset(myArray, 0, sizeof(myArray));
  SerialUSB.begin(115200);

  //freq del moviment màxima = 8 Hz
  // freq mostreig >= 16 Hz. Puc agafar 20 Hz --> Ts = 0.05 segons
  //però el Timer em dona errors amb Ts tan petits. No em deixa.

  // El mínim que puc agafar: Ts = 150000 us = 150 ms --> Estic fent freqüència = 6,67 Hz:
  Timer3.attachInterrupt(myHandler).start(150000); //temps està en microsegons
  SerialUSB.flush();
}
```

Il·lustració 50: Codi Arduino, funció "`setup()`".

Font: elaboració pròpia.

Com es pot veure, primer es configuren els pins on es troba connectat el sensor del pedal. A continuació, s'estableix el valor "0" a una variable "k". Aquesta variable serveix per a mantenir un control de la última posició de l'array (al programa anomenat "myArray") a la qual se li ha afegit una mesura detectada pel sensor. Tot seguit, es reseteja la variable myArray i el comptador (Timer3). Amb això s'aconsegueixen dos objectius: en primer lloc, s'assegura que l'array myArray no disposa de cap valor abans de començar l'execució del programa. També s'aconsegueix establir el moment d'inici del comptador Timer3, ja que des d'aquest moment començarà a realitzar interrupcions cada 150 ms.

Un cop ja s'ha inicialitzat les variables, es procedeix a la definició de la lògica del programa Arduino. Es pot consultar el Codi Arduino, funció "`loop()`". Il·lustració [51].

```

void loop() {
  // cada 150 ms estem agafant una dada
  if (SerialUSB.available()){
    //Comencem a agafar dades
    if (SerialUSB.readString().toInt() == 1){
      setup();//Cal resetejar el comptador i l'array amb les mesures obtingudes pel sensor
      //A partir d'ara les dades enregistrades s'enviaran al Programa Python
    }
  }
  if (k >= 600){
    Timer3.stop();
    int i = 0;
    SerialUSB.println("--");
    for (i=0;i<600;i++){
      SerialUSB.println(myArray[i]);
    }
    SerialUSB.println("_");
    k=0;
  }
}

```

Il·lustració 51: Codi Arduino, funció "loop()".

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot apreciar, el programa comença amb la comprovació del Serial: si s'ha escrit quelcom, es mira el seu contingut. En cas que el seu valor coincideixi amb "1", es tornen a iniciar les variables del programa, ja que des del moment en el qual s'ha escrit aquell valor al Serial, el programa Python a començat a comptar el 30 segons que ha de durar l'exercici. Un cop l'array hagi omplert totes les seves posicions, envia les dades escrivint al Serial el valor emmagatzemat. Per indicar que ja s'ha finalitzat l'enviament de mesures, s'escriu al serial el caràcter "_" i es reseteja la variable "k".

S'ha definit una funció myHandler() que té l'objectiu d'emmagatzemar el valor llegit pel sensor a l'array myArray. Aquesta funció es crida cada cop que es genera una interrupció, de manera que el temps de mostreig és exactament el mateix entre cada mostra recollida. Es pot consultar el codi Arduino, funció "myHandler()". Il·lustració [52].


```
void myHandler(){ //interrupció
  digitalWrite(trigPin, LOW); //per generar un pols net posem a LOW 4us
  delayMicroseconds(4);
  digitalWrite(trigPin, HIGH); //generem Trigger (disparo) de 10us
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  distanciaCm = pulseIn(echoPin, HIGH)*0.01712; //medim el temps entre polsos, en microsegons

  myArray[k] = distanciaCm; // primer agafem totes les dades i les anem emmagatzemant en un vector
  k=k+1;
}
```

Il·lustració 52: Codi Arduino, funció "myHandler()".

Font: elaboració pròpia.

Des del programa Python també s'ha codificat una funció per a poder establir una comunicació amb l'Arduino. Tot això s'ha codificat en un Thread per evitar el bloqueig de l'aplicació durant el procés de lectura de dades enviades pel programa Arduino. Es pot comprovar l'ús de Threads en el programa Python. Il·lustració [53].

```
ard = Thread(target=thread_ard)
ard.start()
ard.join()
```

Il·lustració 53: Ús de Threads en el programa Python.

Font: elaboració pròpia.

A continuació, s'ha definit la lògica seguida durant l'execució del Thread. Il·lustració [54].

```

def thread_ard():
    var.array.clear()

    #Establiment de la connexió
    ser = setup()
    if ser.is_open == False:
        | ser.open()

    bip() # Avis amb so d'inici d'enregistrament de dades
    ser.write(b'1') # Inici execució Arduino tan aviat com es llegeixi valor '1' al serial
    time.sleep(30) #Temps que dura l'exercici
    ser.write(b'0')
    bip() # Avis amb so de fi d'enregistrament de dades

    #Lectura de les dades recollides pel pedal Arduino
    while True:
        val=ser.readline().decode()
        val = re.sub('[\n\r]', '', val)
        if val != "_":
            | var.array.append(val)
        else:
            | break
    ser.close()

```

Il·lustració 54: Lògica seguida durant l'execució del Thread.

Font: elaboració pròpia.

S'ha definit una variable global “var” pertanyent a la classe “Variables” que conté un conjunt d'atributs, entre ells l'atribut “array” que emmagatzema les mesures enviades pel programa Arduino.

Abans d'indicar l'inici de recollida de dades per part del programa Arduino és necessari establir la connexió amb el serial. Per a fer-ho, s'ha definit una funció “setup()” gràcies a la qual es detecta el port USB on s'ha connectat el pedal i es connecta el programa Python al mateix serial que l'Arduino Due. A continuació es pot veure la connexió del programa Python amb Arduino. Il·lustració [55].

```

#Setup serial
def setup() -> serial.Serial:

    #Per trobar el port on esta connectat ARDUINO
    arduino_ports = [p.device for p in serial.tools.list_ports.comports() if 'Arduino Due' in p.description]
    if not arduino_ports:
        | raise IOError("No s'ha trobat cap Arduino")
    if len(arduino_ports) > 1:
        | print("S'han trobat molts Arduinos. S'utilitzarà el primer.")
    print(f"Connexió al port: {arduino_ports[0]}")

    ser = serial.Serial(
    port = arduino_ports[0],
    baudrate = 115200,
    timeout=3
    )

    return ser

```

Il·lustració 55: Connexió del programa Python amb Arduino.

Font: elaboració pròpia.

Un cop s'ha realitzat la connexió s'executa la funció "bip()". Tot i que aquesta funcionalitat no es va especificar als requeriments inicials de la doctora, s'ha afegit per a millorar la seva qualitat de treball. L'objectiu d'aquesta funció és molt senzilla, ja que consisteix en l'emissió d'un so. Com la crida a la funció "bip()" es realitza abans de l'escriptura del valor "1" al Serial i després de 30 segons (això és la durada de l'exercici), la doctora pot estar amb el pacient durant la realització de l'exercici. D'aquesta manera no es requereix la seva presència per a controlar el procés d'enregistrament del dispositiu i es permet alhora augmentar la qualitat d'atenció al pacient que realitza la tasca proposada, assegurant la validesa dels resultats obtinguts.

Un cop ha finalitzat el temps d'exercici es procedeix a la lectura del Serial. Això es durà a terme fins que es llegeixi el caràcter "_", enviat pel programa Arduino per indicar que ja s'han enviat totes les mesures emmagatzemades.

9.5.2.4. Generació de gràfics

La generació de gràfics a partir de les dades recollides és una funcionalitat que s'ha implementat i que permet a la doctora Pilar Sanz optimitzar l'anàlisi de l'evolució dels pacients.

Per aconseguir aquests objectius s'ha decidit utilitzar la llibreria "matplotlib.pyplot", ja que s'ha treballat amb aquesta anteriorment i la seva utilització és intuïtiva i fàcil de gestionar. Cal tenir en compte que com a resultat d'aquesta funcionalitat cal obtenir tres gràfics diferents. Per a poder fer-ho, cal establir prèviament un procés de filtratge i depuració de les dades obtingudes pel programa Arduino i calcular el valor de cadascun dels paràmetres analitzats per la doctora. Tot això es fa mitjançant la definició de diferents funcions.

En primer lloc, és necessari filtrar les dades llegides al Serial. A més a més, és necessari calcular el temps en el qual s'ha realitzat cada mesura i la informació addicional que necessita la doctora per a extreure conclusions.

A continuació es pot consultar la neteja de les dades recollides pel sensor d'Arduino. Il·lustració [56].

```
#Filter data from Arduino
def dades_exercici (array):
    #Netegem les dades per agafar només les que coincideixin amb el regex
    mesures_filtrades = [i for i in array if re.match('-?\d+\.{0,1}\d?', i)]
    #Calculem el temps en el qual s'ha recollit cada mesura
    resultat = []
    temps=0.15 #Indica l'interval de temps de generació d'interrupcions al codi Arduino
    for idx in range(len(mesures_filtrades)):
        resultat.append(round(temps, 2))
        temps += 0.15
    #Netegem les dades per assegurar que tots els mesuraments són correctes
    dades_correctes = neteja_dades (mesures_filtrades, resultat)
    #Informació addicional
    var.dades_perdudes = len(mesures_filtrades) - len(dades_correctes[0]) #Dades perdudes en el procés de neteja de dades
    var.dades_totals = len(dades_correctes[0]) #Dades totals enregistrades pel programa Arduino
    var.temps_total = dades_correctes[1][len(dades_correctes[1])-1] #Temps d'enregistrament del programa

    return [dades_correctes[0], dades_correctes[1]]

def neteja_dades (mesures_per_comprovar, temps_per_comprovar):
    mesures = []
    temps = []
    #We save only the correct values (measurements MUST be <10!!)
    for idx in range(len(mesures_per_comprovar)):
        if float(mesures_per_comprovar[idx])<=15 and float(mesures_per_comprovar[idx])>=3:
            #Control de qualitat de dades: una dada no pot tenir un valor>15 o <3
            valor= float(mesures_per_comprovar[idx])-3
            mesures.append(valor)
            temps.append(float(temps_per_comprovar[idx]))
    print("MESURES: ", mesures)
    return [mesures, temps]
```

Il·lustració 56: Neteja de les dades recollides pel sensor d'Arduino.

Font: elaboració pròpia.

Com es pot veure, la funció “dades_exercici” té com a paràmetre un array que conté les dades enviades per l'Arduino. Per a poder establir una relació entre les mesures i el seu temps de mostreig, s'ha definit un segon array anomenat “resultat”. Entre l'array de les mesures i el de temps existeix una relació d'índex, de manera que el primer valor de l'array enviat com a paràmetre s'ha enregistrat en el moment que es troba a la primera posició de l'array “resultat”.

Un cop ja es disposa de la relació entre les mesures i el temps, s'executa la funció “neteja_dades”. S'ha pogut comprovar que el sensor Arduino parteix d'un offset equivalent a 3 unitats, de manera que les mesures inferiors a 3 unitats són incorrectes i, per tant s'han de descartar. Aquest offset, tal com es demostra al treball final de grau de l'Anna Faura [65], és el que mesura l'Arduino quan el pacient té el peu recolzat sobre el pedal en repòs, derivat del gruix de la tapa superior i el posicionament del peu respecte l'ultrasò. A més a més, totes les dades recollides que tinguin un valor superior a 15 no es

poden considerar vàlids, ja que no es pot arribar a aquesta distància aixecant el peu d'acord amb les premisses dels exercicis establerts per la doctora. Per a mantenir la relació entre l'array de distància i de temps, cada cop que es desestima una mesura cal esborrar també el valor que hi ha a la posició corresponent de l'array de temps. Com a resultat, es retornen l'array de mesuraments i temps d'enregistrament filtrats.

Un cop finalitza l'execució de la funció “neteja_dades”, es pot calcular informació addicional demanada per la doctora. Aquesta informació comprèn la quantitat de dades perdudes en el procés de filtratge, la quantitat de mesuraments enregistrats pel pedal d'Arduino i el temps total d'enregistrament de dades.

Quan es finalitza l'execució d'aquesta part del programa, es disposa de dos arrays diferents: el primer s'anomena “distancia”, ja que els valors que conté corresponen a les mesures enregistrades pel sensor del pedal d'Arduino. El segon s'anomena “temps”, ja en cadascuna de les seves posicions hi consta el moment de l'exercici en el qual s'ha obtingut el mesurament de l'array “distancia” de la mateixa posició.

Amb aquestes dades cal calcular dos paràmetres més que s'analitzen per a poder quantificar l'evolució del pacient: la velocitat i el ritme de realització de l'exercici.

Per a poder calcular la velocitat s'ha definit una funció anomenada “calcul_velocitat” que rep com a paràmetre un l'array “temps”. El càlcul de la velocitat a l'exercici del pedal Arduino es pot veure a la il·lustració [57].

```
def calcul_velocitat (array):
    velocitats = list() #conté totes les velocitats calculades
    #Per evitar decalatges, per defecte velocitats[0] == velocitats[1]
    primer_val = (float(array[1]) - float(array[0])) / (150*0.001)
    velocitats.append(primer_val)

    for index in range(1, len(array)):
        #velocitat = increment distancia / temps
        val_antic = array[index-1]
        val_actual = array[index]
        resultat = float(val_actual) - float(val_antic)
        resultat = resultat/(150*0.001) #temps mostreig: 150 ms
        velocitats.append(float(resultat))

    return velocitats
```

Il·lustració 57: Càlcul de la velocitat a l'exercici del pedal Arduino.

Font: elaboració pròpia.

Cal destacar el següent: existeix una relació entre l'array de distància i l'array de temps, de manera que tots dos han de tenir exactament les mateixes dimensions. Per a poder calcular la velocitat és necessari aplicar una fórmula matemàtica mitjançant la qual s'estableix que és necessari calcular l'increment de la distància realitzat entre dues mesures diferents. Posteriorment la velocitat s'utilitza per a calcular el ritme, paràmetre analitzat per la doctora. Deguda a aquesta relació, tots els arrays (el de distància, temps, velocitat i ritme) han de tenir exactament les mateixes dimensions. Per aquest motiu, el primer i el segon valor de l'array de velocitat és el mateix.

A continuació, es pot veure el càlcul del ritme a l'exercici del pedal Arduino. Il·lustració [58].

```
def calcul_ritme (temps, distancia):
    pujades = get_pujades(distancia)
    cicles_acumulats = get_cicles_acumulats(pujades)
    ritme = list()

    #Calcul de ritme
    for index in range(len(cicles_acumulats)):
        temps_actual = float(temps[index])
        cicles_actuais = float(cicles_acumulats[index])
        resultat = cicles_actuais/temps_actual
        ritme.append(float(resultat))

    return ritme
```

Il·lustració 58: Càlcul del ritme a l'exercici del pedal Arduino.

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot veure, cal conèixer les pujades i els cicles acumulats que s'ha realitzat durant la realització de l'exercici. Es considera que s'ha realitzat una pujada quan es produeix un pic entre la posició anterior i posterior a l'actual. D'aquesta manera, es defineix un array on s'emmagatzema el valor "0" si no es compleix la condició explicada o el valor "1" en cas contrari. Es pot veure el càlcul de pujades a l'exercici del pedal Arduino. Il·lustració [59].

```
def get_pujades (distancia):
    pujades = list() #Valor "1" si es realitza una pujada, "0" en cas contrari

    #Calcul de pujades
    for index in range(len(distancia)):
        anterior = int(distancia[index-1]) #distància anterior a l'actual
        #distància posterior a l'actual
        try:
            posterior = int(distancia[index+1])
        except IndexError:
            #Si és la última posició, la distancia posterior es considera l'actual
            posterior = int(distancia[index])

        #Si es detecta un pic, s'ha realitzat una pujada
        if anterior < int(distancia[index]) and int(distancia[index]) > posterior:
            pujades.append(1)
            var.pujades_totals+=1
        else: #No s'ha realitzat una pujada
            pujades.append(0)

    return pujades
```

Il·lustració 59: Càlcul del de pujades a l'exercici del pedal Arduino.

Font: elaboració pròpia.

També és necessari calcular els cicles acumulats que s'han realitzat durant l'execució de l'exercici. Els cicles acumulats són el resultat de comptabilitzar la quantitat de pujades realitzades durant l'enregistrament de mesures.

Quan ja es disposa d'aquestes dades es pot procedir al càlcul del ritme (o freqüència). Per a fer-ho només cal dividir els cicles acumulats respecte el temps de la posició avaluada.

Un cop s'han executat les funcionalitats explicades, es pot procedir a l'elaboració del gràfics. S'ha definit una funció anomenada "genera_grafic" que té tres paràmetres d'entrada: el primer correspon a l'array "temps" (es mostrarà a l'eix de coordenades "X"), el segon a l'array propi del paràmetre estudiat de manera que pot ser distància, velocitat o ritme (es mostrarà a l'eix de coordenades "Y"), i per últim un String que s'utilitzarà com a títol del gràfic, ja que indica el nom del paràmetre representat.

Inicialment es defineixen aspectes sobre el format del gràfic: color del gràfic, text que es mostra a l'usuari, gruix de les línies representades, etc. A continuació, cal definir el salt entre unitats que hi haurà a la representació del gràfic. Com l'escala de valors varia segons

el tipus de mesuraments representats, cal tenir en compte quin paràmetre es representa. Per això s'ha establert una definició de l'interval de la numeració a l'eix "Y" del gràfic generat. Il·lustració [60].

```
#Escala de valors de l'eix Y segons la mesura que es pren:
if tipus == "velocitat":
|   plt.yticks(np.arange(min(mesura), max(mesura)+1, 10))
elif tipus == "ritme":
|   plt.yticks(np.arange(min(mesura), max(mesura)+1, 0.2))
else:
|   plt.yticks(np.arange(min(mesura), max(mesura)+1, 1.0))
```

Il·lustració 60: Definició de l'interval de la numeració a l'eix "Y" del gràfic generat.

Font: elaboració pròpia.

A continuació cal definir el nom que es posarà a la imatge generada a partir del gràfic mostrat a l'usuari. S'ha definit un patró per a poder anomenar tots els fitxers generats de manera similar. Aquest format és el següent:

Tipus de mesura_ID Pacient_dia-mes-any_hores.minuts.segons.png

D'aquesta manera s'evita un problema que s'ha pogut detectar durant la fase de desenvolupament: la sobreescritura de dos fitxers amb el mateix nom.

Un cop s'ha definit el nom de la imatge generada, es descarrega indicant el directori concret on es vol emmagatzemar.

Per aconseguir que l'usuari pugui consultar el gràfic generat a una finestra emergent, s'ha afegit al final de la funció la comanda. A continuació es pot veure la comanda que mostra del gràfic generat a l'usuari de l'aplicació. Il·lustració [61].

```
#Es mostra el grafic a l'usuari final
plt.show()
```

Il·lustració 61: Comanda que mostra del gràfic generat a l'usuari de l'aplicació.

Font: elaboració pròpia.

9.5.2.5. Generació de fitxers

Aquesta funcionalitat s'ha pogut implementar sense gaires contratemps. Cal tenir en compte que en els requeriments especificats inicialment, es demana la generació de dos fitxers diferents: per una banda un fitxer Excel amb tota la informació recollida per a generar el gràfic mostrat a l'usuari i amb la informació addicional comentada anteriorment (veure apartat 9.5.2.4). Per altra banda, cal generar un fitxer de format CSV amb la mateixa informació que el fitxer Excel.

En primer lloc es procedeix a l'explicació de la generació del fitxer Excel. Per aconseguir aquest objectiu, s'ha definit una funcionalitat anomenada "genera_fitxer_excel". Aquesta, té diversos paràmetres d'entrada: per una banda els arrays amb els quals s'ha treballat per a la generació dels gràfics (temps, distància, velocitat i ritme - o freqüència-). A més a més, cal afegir el directori on es guardarà el fitxer Excel generat i l'identificador del pacient que realitza l'exercici proposat per la doctora.

Abans d'omplir l'excel amb la informació corresponent, cal canviar-ne el format per unir-ho tot en un Dataframe. D'aquesta manera, s'aconsegueix organitzar la informació dels diferents paràmetres d'entrada en files i columnes, amb una disposició similar a l'Excel. A continuació es mostra la generació d'un dataframe en el procés de generació d'un fitxer Excel. Il·lustració [62].

```
array = list(zip(temps, distancia, velocitat, ritme))
df = pd.DataFrame(array) #Dataframe amb la informació de tots els arrays
```

Il·lustració 62: Generació d'un dataframe en el procés de generació d'un fitxer Excel.

Font: elaboració pròpia.

A continuació, cal afegir la informació addicional demanada per la doctora Pilar Sanz. Per aquest motiu, cal afegir dues files a la part superior de l'Excel, on s'indiqui el valor màxim i la mitjana de cadascun dels paràmetres estudiats.

A continuació es mostra la inserció de la informació addicional al fitxer Excel generat.

Il·lustració [63].

```
#INFORMACIÓ ADDICIONAL DEMANADA PER LA DOCTORA: màxim i mitjana
#Afegim al principi de l'excel el valor maxím enregístrat i la mitjana
df_complet = pd.concat([df.apply(['mean', 'max']), df]).reset_index(drop = True)
#Canviem el nom de l'índex de les files amb la informació addicional
df_complet.index += -2
df_final = df_complet.rename(index={-2: 'Mitjana', -1: 'Valor maxím'})
```

Il·lustració 63: Inserció de la informació addicional al fitxer Excel generat.

Font: elaboració pròpia.

Per facilitar la visualització d'aquesta informació, s'ha decidit modificar l'estil d'aquestes cel·les al fitxer Excel, de manera que s'ha afegit el color groc al fons de les cel·les de tots aquells valors corresponents al valor màxim o a la mitjana d'un dels paràmetres estudiats. Aquest canvi d'estil de les cel·les del fitxer Excel s'aconsegueix tal i com es mostra a la il·lustració [64].

```
#MILLORA VISUAL
wb = openpyxl.load_workbook(path+"\\fitxer_"+usuari+"_data+.xlsx") #directori on es troba el fitxer Excel
ws = wb["Ex B i C_"+usuari] #Nom del full on es treballa

color_fons = PatternFill(patternType='solid', fgColor='FFFF00') #Color de fons de les cel·les especificades
per_pintar = ['A2','B2','C2','D2','E2', 'A3','B3','C3','D3','E3'] #Cel·les on s'aplicarà el color de fons

#Pintar les cel·les de la fila "Valor maxím" i "Mitjana"
for i in range(len(per_pintar)):
    ws[per_pintar[i]].fill = color_fons

#Guardem els canvis aplicats
wb.save(path+"\\fitxer_"+usuari+"_data+.xlsx")
```

Il·lustració 64: Canvi d'estil de les cel·les del fitxer Excel.

Font: elaboració pròpia.

En primer lloc, s'accedeix al fitxer generat i es selecciona el full de l'arxiu Excel on es troben les cel·les a les quals es vol aplicar el canvi d'estil. Tot seguit, s'indica el color de fons que es vol aplicar a cada cel·la i es defineix una llista on cada element és un identificador de la cel·la a la qual se li vol canviar el color de fons. L'aplicació de l'estil es realitza a les cel·les gràcies a la funció "fill". Finalment es guarden els canvis realitzats.

Es pot comprovar la finalització exitosa d'aquesta funcionalitat consultant el fitxer Excel generat pel programa Python. El fixer Excel generat automàticament per l'aplicació desenvolupada es pot consultar a la il·lustració [65].

| | A | B | C | D | E | F |
|---|--------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---|
| 1 | | Temps (seg) | Distància (cm) | Velocitat (m/s) | Ritme (cicle/s) | |
| 2 | Mitjana | 14,47460733 | 0,413612565 | 1,62755E-16 | 0,468040237 | |
| 3 | Valor màxim | 28,95 | 9 | 60 | 0,907504363 | |
| 4 | 0 | 0,15 | 0 | 0 | 0 | |
| 5 | 1 | 0,3 | 0 | 0 | 0 | |
| 6 | 2 | 0,45 | 0 | 0 | 0 | |
| 7 | 3 | 0,6 | 0 | 0 | 0 | |

Il·lustració 65: Fixer Excel generat automàticament per l'aplicació desenvolupada.

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot veure, les dades recollides es troben organitzades en files i columnes. S'ha aplicat el canvi d'estil a les files que contenen la informació addicional demanada per la doctora Pilar Sanz.

A més a més, s'ha demanat el càlcul de diferents paràmetres: les pujades totals realitzades pel pacient durant la realització de l'exercici, la durada total de l'enregistrament de dades, els mesures totals recollides i les dades perdudes durant el procés de neteja de les dades. Aquesta informació s'ha afegit a un nou full del fitxer Excel, anomenat "Info Addicional". La inserció d'informació addicional al fitxer Excel generat per l'aplicació s'ha aconseguit tal i com es mostra a la il·lustració [66].

```
#INFORMACIÓ ADDICIONAL
titol_addicional = ['Pujades totals', 'Temps total (seg)', 'Dades totals', 'Dades perdudes']
info_addicional = [var.pujades_totals, var.temps_total, var.dades_totals, var.dades_perdudes]
df_addicional = pd.DataFrame([info_addicional], columns=titol_addicional)

#Addició d'un nou full amb tota la informació addicional especificada per la doctora
with pd.ExcelWriter(path+"\\fitxer_"+usuari+"_data.xlsx", engine="openpyxl", mode="a") as writer:
    df_addicional.to_excel(writer, sheet_name='Info Addicional')
```

Il·lustració 66: Inserció d'informació addicional al fitxer Excel generat per l'aplicació.

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot veure, el valor dels camps demanats per la doctora s'han emmagatzemat als atributs corresponents de la classe declarada "Variable".

Visualment es pot comprovar l'excel generat pel programa amb la informació addicional afegida. Il·lustració [67].

| | A | B | C | D | E | F |
|---|----------|-----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|---|
| 1 | | Pujades totals | Temps total (cm) | Dades totals | Dades perdudes | |
| 2 | 0 | 26 | 28,95 | 191 | 2 | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| 6 | | | | | | |

Ex B i C_ TASA 1 030101 00 2 Info Addicional

Il·lustració 67: Excel generat pel programa amb la informació addicional afegida.

Font: elaboració pròpia.

La generació del fitxer de format CSV s'ha pogut optimitzar, de manera que s'evita tornar a realitzar totes les operacions explicades anteriorment. Tot i així, combinar les dades dels diferents fulls del fitxer Excel ha resultat més complicat del que inicialment s'esperava. Finalment, la lògica aplicada resulta entenedora i senzilla. Es pot veure el codi Python del programa que genera un fitxer CSV a la il·lustració [68].

```
def genera_fitxer_csv(path):

    #Generació de 2 dataframes independents, cadascun amb la informació d'un full de l'excel
    sheet1 = pd.DataFrame(pd.read_excel (path, sheet_name ="Ex B i C_ "+ user_id))
    sheet2 = pd.DataFrame(pd.read_excel (path, sheet_name ="Info Addicional"))

    #Unió dels dataframes
    final=pd.concat([sheet1,sheet2])

    #Canvi del nom del directori: només és necessari canviar l'excelsió del fotxer excel ".xlsx"
    path_csv_temp = path[:-5]
    path_csv = path_csv_temp+".csv"

    #Realitzem la conversió i guardem el fitxer CSV generat
    final.to_csv (path_csv, index = None, header=True)

    return path_csv
```

Il·lustració 68: Codi Python del programa que genera un fitxer CSV

Font: elaboració pròpia.

Inicialment, cal emmagatzemar les dades en diferents *dataframes*, de manera que n'hi ha tants com fulls al fitxer Excel. A continuació, s'uneixen i es defineix el directori on es guardarà el fitxer CSV generat. Per a motius de coherència s'ha decidit que el nom del fitxer CSV serà el mateix que el del fitxer Excel; l'única diferència radica en l'extensió del fitxer. Per aquest motiu cal substituir els cinc últims caràcters del directori (corresponents a l'extensió “.xlsx”) per la cadena “.csv”.

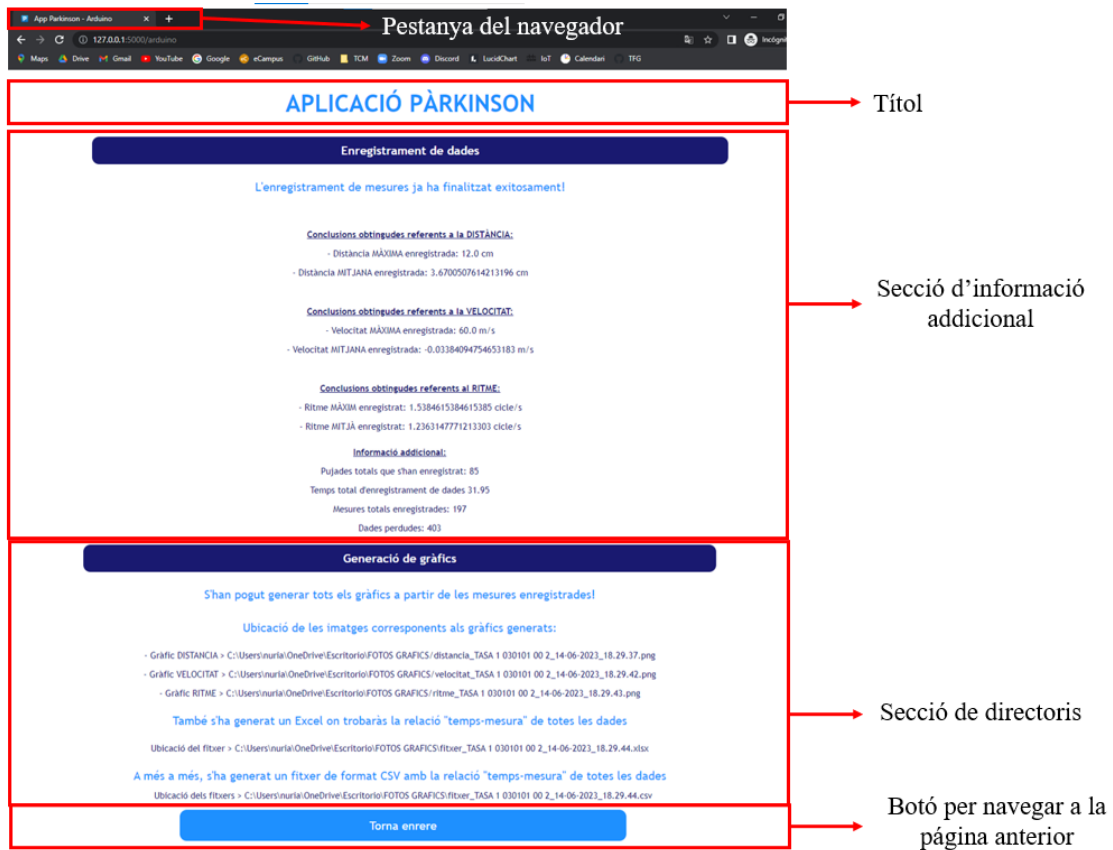
9.5.2.6. Visualització de la informació rellevant des de l'aplicació

Tal i com s'ha comentat, s'ha hagut d'afegir informació demanada per la doctora Pilar Sanz als fitxers generats. Aquesta addició s'ha realitzat als fitxers Excel i CSV generats (veure secció 9.5.2.5), però també s'ha decidit afegir aquesta informació a l'aplicació, de manera que es pugui consultar immediatament els camps següents: les pujades totals realitzades pel pacient durant la realització de l'exercici, la durada total de l'enregistrament de dades, les mesures totals recollides i les dades perdudes durant el procés de neteja de les dades.

A més a més, s'ha decidit recordar a l'usuari el directori on es troben les imatges generades per l'aplicació un cop finalitza l'enregistrament de dades de l'Arduino.

Per aquest motiu s'ha decidit dissenyar una pàgina que es mostrarà a l'usuari un cop s'hagi finalitzat el tractament i processament de les mesures obtingudes durant la realització de l'exercici B i C dels pacients de Pàrkinson.

La visualització dels resultats obtinguts a partir de les dades recollides pel pedal Arduino es pot veure a la il·lustració [69].



Il·lustració 69: Visualització dels resultats obtinguts a partir de les dades recollides pel pedal Arduino.

Font: elaboració pròpia.

Tal i com es pot apreciar, la pàgina es troba dividida en dues seccions diferents, essencialment: a la part superior es mostren les dades demanades per la doctora Pilar Sanz demanades addicionalment. A la part inferior es mostra el directori on s'ha emmagatzemat de forma automàtica cadascun dels gràfics i fitxers generats. Al final de la pàgina es pot veure un botó que torna a l'usuari a la pàgina anterior (pàgina d'exercicis).

La informació mostrada en aquesta pàgina s'ha definit al fitxer HTML mitjançant Jinja, de manera que si no es disposa de tots els camps mostrats, la visualització de la informació s'adapta automàticament. A mode exemplar, es mostra la definició dels camps d'informació addicionals que es mostren a l'aplicació desenvolupada a la il·lustració [70].

```
{% if maxim_dist is defined or mitjana_dist is defined -%}
|   <p class="conclusio">Conclusions obtingudes referents a la DISTÀNCIA:</p>
{% endif %}

{% if maxim_dist is defined%}
|   <div name="enregistrament-maxim_dist">
|     <p class="txt-grafics"> - Distància MÀXIMA enregistrada: {{ maxim_dist }} cm</p>
|   </div>
{% endif %}

{% if mitjana_dist is defined%}
|   <div name="enregistrament-mitjana_dist">
|     <p class="txt-grafics"> - Distància MITJANA enregistrada: {{ mitjana_dist }} cm</p>
|   </div>
{% endif %}
```

Il·lustració 70: Definició dels camps d'informació addicionals que es mostren a l'aplicació desenvolupada.

Font: elaboració pròpia.

9.5.2.7. Històric del pacient

Aquest últim requeriment respon a la necessitat que té la doctora Pilar Sanz per a poder comparar els resultats obtinguts d'un mateix pacient en el transcurs del temps.

Degut a les limitacions de temps per a la realització del projecte, es va parlar amb el tutor Marcos Faundez i amb la doctora Pilar Sanz per a proposar una solució respecte aquesta demanda: realitzar la comparativa de forma manual, navegant entre els fitxers i les imatges generades per l'aplicació.

Com aquesta proposta va ser acceptada pel tutor i la doctora, s'ha decidit mencionar-ho a la memòria tot i que no s'hagi hagut de resoldre mitjançant la implementació de codi addicional a l'aplicació.

10. Avaluació de l'aplicació

El testeig de l'aplicació consisteix en la comprovació de la funcionalitat i eficiència del producte final.

En el cas d'aquest projecte, s'han realitzat dos controls diferents: en primer lloc s'ha avaluat el disseny del producte final. Per a fer-ho, s'ha demanat a professionals del camp sanitari que naveguin per l'aplicació desenvolupada. D'aquesta manera s'ha pogut comprovar que el disseny implementat és intuïtiu i el flux de navegació entre les diferents seccions segueix un ordre lògic i ordenat, tot i que el temps de resposta de l'aplicació es pot millorar. Per a poder quantificar els resultats observats i extreure les conclusions comentades, s'ha observat el comportament adoptat pels usuaris durant el període de navegació per l'aplicació en tot moment.

Adicionalment, s'ha considerat necessària la realització d'una avaluació addicional, referent al contingut de l'aplicació. Idealment, aquesta prova l'hauria de realitzar la doctora Pilar Sanz, però degut a motius de disponibilitat de la professional això no ha estat possible.

Tot i així, s'ha acordat provar l'aplicació desenvolupada i avaluar la seva actuació en dates posteriors a l'entrega d'aquesta memòria. Tot i que actualment no és possible comentar les conclusions extretes de la posada en marxa de la solució amb la metgessa, es comentarà en detall a l'exposició del Treball Final de Grau, que es durà a terme el proper dimecres dia 5 de juny.

Encara que no s'ha pogut acordar un dia de trobada amb la doctora Pilar Sanz durant el període de desenvolupament de l'aplicació, s'ha demanat a la projectista del treball del qual es parteix Anna Faura que analitzés la informació mostrada a l'aplicació. Com ella va poder trobar-se amb la doctora i provar el seu producte final del treball amb els malalts de Pàrkinson, ha pogut col·laborar en aquesta fase d'avaluació de l'aplicació elaborada. Gràcies als comentaris que la doctora Pilar Sanz li va fer durant el desenvolupament del seu projecte, l'Anna ha pogut aportar coneixement tenint en compte el criteri de la professional.

11. Refactorització

Per assegurar la bona qualitat del producte final obtingut, s'han realitzat millores respecte el disseny inicial que es va proposar a la doctora Pilar Sanz.

Gràcies als comentaris de l'antiga projectista Anna Faura, s'ha pogut adaptar de forma més acurada les funcionalitats de l'aplicació. A més a més, els comentaris obtinguts durant el procés d'avaluació del disseny de l'aplicació han ajudat a optimitzar-ne la funcionalitat, aconseguint una bona experiència d'usuari (*user experience*).

Les millores aplicades en l'aplicació final són les següents: en primer lloc, s'ha definit un control a la pàgina d'inici per assegurar que el directori introduït pel pacient és, efectivament, un directori i no pas un fitxer. Aquesta millora s'ha pogut apreciar gràcies a les proves realitzades amb els experts sanitaris.

A més a més, s'han afegit canvis a la pàgina que es mostra en finalitzar el temps d'exercici B i C. Gràcies als comentaris de l'Anna Faura referents a l'avaluació del contingut de l'aplicació, s'ha considerat necessari afegir un apartat des del qual la doctora pot veure de forma immediata la informació addicional demanada.

Addicionalment, a la pàgina d'exercicis s'ha afegit una breu explicació inicial per indicar el funcionament de visualització de gràfics a l'aplicació. D'aquesta manera s'aconsegueix explicar a l'usuari que aquesta visualització es realitza de manera independent per cadascun dels gràfics generats.

També s'ha modificat el contingut dels fitxers generats per aconseguir dos objectius diferents: en primer lloc, mostrar per cada paràmetre analitzat el seu valor màxim durant el període d'enregistrament de dades i la mitjana de les dades obtingudes per cada paràmetre. Addicionalment, s'ha afegit un full a l'Excel des del qual s'emmagatzema la informació addicional demanada per la doctora Pilar que fa referència a dades globals de l'exercici com per exemple el temps d'execució de la prova realitzada pel pacient i les dades recollides.

12. Conclusions

El projecte que s'ha dut a terme s'ha presentat com una oportunitat per aplicar els coneixements teòrics adquirits durant els 4 anys de docència rebuda. S'ha tingut certes dificultats en el procés de desenvolupament de l'aplicació final, ja que aquest treball és la continuació d'un projecte realitzat anteriorment. Això ha implicat la necessitat de trobar alternatives davant la solució inicialment plantejada, per a respectar la metodologia i les bases establertes per la projectista Anna Faura.

Gràcies a aquest projecte s'ha millorat el coneixement del llenguatge Python. Amb comentaris i les avaluacions dels professionals voluntaris, s'ha pogut comprovar que l'aplicació desenvolupada en aquest projecte és una bona eina que aconsegueix l'objectiu principal definit a l'inici d'aquest projecte: facilitar l'anàlisi de les dades recollides a través dels exercicis que fan els pacients de Pàrkinson i augmentar l'eficiència de la presa de decisions per part dels doctors.

Cal destacar que les fases de desenvolupament definides en la planificació del projecte han afectat directament en l'obtenció i compliment dels requeriments definits per la doctora Pilar Sanz. A mode descriptiu, es pot destacar el següent: inicialment es va decidir desenvolupar les funcionalitats de l'apartat de Leap Motion un cop s'hagués finalitzat la secció Arduino, perquè aquesta comprèn 2 dels 3 exercicis realitzats amb pacients de Pàrkinson. D'aquesta manera, les funcionalitats implementades en aquesta secció no coincideixen amb la totalitat dels objectius inicials.

Tot i així, els resultats obtinguts i els comentaris de les rebuts demostren una gran satisfacció pel producte desenvolupat.

A continuació, s'exposen les conclusions extretes del desenvolupament del projecte. Per a fer-ho, s'ha decidit contrastar el llistat de requeriments funcionals desenvolupat per la doctora Pilar Sanz amb les funcionalitats que presenta el producte final.

Requeriment 1: *El sistema ha de presentar-se com una eina funcional i fàcil d'utilitzar.* Amb l'aplicació desenvolupada i les diferents avaluacions a les quals s'ha sotmès en la fase d'avaluació i refactorització, s'arriba a la conclusió que el producte final d'aquest projecte es presenta com una eina funcional i intuïtiva. Tot i que el temps de resposta de certes funcionalitats és millorable (degut a les dimensions de les dades tractades i els

fitxers generats), s'ha pogut comprovar que s'ofereix una solució fàcil d'utilitzar que provoca una bona experiència d'usuari.

Requeriment 2 i 3: *El sistema ha de permetre visualitzar les dades recollides del pacient referents a tres aspectes: velocitat, amplitud i freqüència (denominat com a "ritme" pel personal sanitari). El sistema ha de permetre l'anàlisi de les dades de manera clara i concisa (per exemple, mitjançant gràfics).* Una de les funcionalitats desenvolupades en el projecte treballat es centra en aquest aspecte concret. D'aquesta manera, no només s'aconsegueix calcular els paràmetres demanats i representar-los a un gràfic, sinó que també s'ha programat la generació de fitxers de diferents formats per emmagatzemar les dades recollides. A més a més, s'ha afegit de manera addicional el càlcul d'informació addicional referent a la realització de l'exercici i el tractament de les dades extretes. Aquesta informació comprèn el següent: durada de l'exercici realitzat pel pacient, quantitat de dades recollides, pujades totals enregistrades i quantitat de dades perdudes en el procés de neteja i tractament de les mesures recollides.

Requeriment 4: *El sistema ha de permetre controlar l'inici d'enregistrament de dades des de la seva interfície.* S'ha configurat un botó a la solució final que inici el procés d'enregistrament de les dades del sensor connectat al pedal d'Arduino. A més a més, s'ha afegit una nova funcionalitat: l'addició d'un so que indica el moment d'inici i de fi de l'enregistrament de les dades tractades a l'aplicació.

Requeriment 5: *El sistema ha d'extreure les dades més rellevants dels fitxers que contenen els resultats dels exercicis realitzats pels pacients.* Com a resultat del tractament de les dades recollides pel pacient es generen tres gràfics diferents (un per a cada paràmetre estudiat per la doctora) i dos fitxers (de format Excel i CSV). Els arxius generats contenen les mesures utilitzades en la generació dels gràfics però mostren de manera addicional alguns paràmetres que són d'interès per la doctora en el procés d'anàlisi de l'evolució del pacient. Aquests paràmetres comprenen el valor màxim i la mitjana de cadascun dels paràmetres avaluats i la informació addicional referent a l'execució del programa Arduino.

Requeriment 6: *El sistema ha de facilitar a l'usuari final la determinació de l'estat del pacient.* Amb totes les funcionalitats desenvolupades a l'aplicació final es pot concloure que s'ha millorat i facilitat el procés d'anàlisi i determinació de l'estat d'un pacient amb Pàrkinson.

Requeriment 7: *El sistema ha de permetre emmagatzemar les dades mostrades per pantalla.* Tota la informació mostrada a l'aplicació s'emmagatzema a les imatges i fitxers generats durant la seva execució.

Requeriment 8: *El sistema ha de permetre consultar les dades quan l'usuari final ho necessiti.* Tots els fitxers i les imatges generades durant l'execució de l'aplicació s'emmagatzemen al directori especificat per l'usuari a la pàgina principal. D'aquesta manera, es permet la seva consulta en qualsevol moment.

Requeriment 9: *El sistema ha de permetre a l'usuari final l'avaluació de l'estat del pacient segons el seu històric.* Mitjançant la comparació manual dels arxius i els fitxers generats per l'aplicació, es permet a l'usuari l'avaluació de l'estat del pacient d'acord amb el seu històric i la seva evolució.

Requeriment 10: *El sistema ha d'establir un sistema d'anonimització de dades per a permetre el seu emmagatzematge al núvol.* Totes les dades tractades a l'aplicació s'identifiquen amb el codi CAT-SALUT (aquest és un identificador del pacient tractat). D'aquesta manera s'aconsegueix anonimitzar les dades sense perdre la seva relació amb el pacient.

13. Futures ampliacions

Tot i que s'ha aconseguit donar resposta a la majoria de requeriments especificats per la doctora Pilar Sanz a l'inici del desenvolupament del projecte, n'hi ha hagut alguns pels quals no s'ha pogut elaborar una funcionalitat concreta.

A més a més, durant el procés de desenvolupament i avaluació de l'aplicació, s'han detectat noves necessitats a les quals es podria donar resposta en una segona fase de desenvolupament.

A continuació s'enumeren els diferents requeriments que s'han detectat durant el procés de desenvolupament de l'aplicació i pels quals no s'ha pogut definir una solució pròpia:

- Definició d'una Base de Dades des de la qual es pot accedir a totes les imatges i fitxers de cada pacient de Pàrkinson. En aquesta Base de Dades també s'enregistren les credencials de cada doctor que utilitza l'aplicació desenvolupada. Om a conseqüència, s'aconsegueix millorar la seguretat de l'aplicació.
- Sistema d'anàlisi d'evolució del pacient, mitjançant el qual es genera de manera automàtica un gràfic on es pot apreciar visualment aquest aspecte.
- Automatització total de l'Exercici A (realitzat amb el dispositiu Leap Motion). D'aquesta manera s'aconsegueix un funcionament molt similar al que s'ha definit pels Exercicis B i C (realitzats amb el pedal d'Arduino)
- Sistema d'emmagatzematge dels fitxers i les imatges generades a l'aplicació a l'entorn Cloud. D'aquesta manera, s'aconsegueixen evitar problemes que poden sorgir a llarg termini com per exemple la insuficiència d'espai al dispositiu o pèrdua de dades obtingudes mitjançant l'aplicació (degut a un problema amb el dispositiu que té l'aplicació implementada, per exemple).
- Integració de l'aplicació realitzada per l'exalumna Alexia Losada [66], aconseguint d'aquesta manera més diversitat en els exercicis realitzats en l'àmbit d'actuació d'avaluació i seguiment dels malalts de Pàrkinson.
- Optimització del temps de resposta de l'aplicació ja que s'ha pogut apreciar un marge de millora en aquest aspecte.

14. Aspectes legals

Aquest projecte presenta dues fases: en primer lloc, el procés de recollida i emmagatzematge de dades. En segon lloc, mostres i visualització de totes les dades recollides a l'usuari final (en aquest cas, personal mèdic).

Cal tenir en compte la normativa que regeix tots els aspectes contemplats al llarg del transcurs del projecte. En aquest treball s'ha considerat només la segona fase, ja que correspon pròpiament a l'estudi realitzat per la projectista.

L'aplicació desenvolupada té afectació en diferents àmbits. És per aquest motiu que cal tenir en compte totes les lleis que s'expliquen a continuació.

14.1. Normativa europea

- D'acord amb el *Reglament (UE) 2016/679 del Parlament Europeu i del Consell del 27 d'abril de 2016*, és d'obligat compliment tenir en compte la protecció que han de tenir totes les persones físiques de les quals s'obtenen les dades que analitzarà l'aplicació desenvolupada. L'ús que es doni a aquesta informació estarà <<limitat per garantir l'honor i la intimitat personal i familiar dels ciutadans i el ple exercici dels seus drets>>.
- Els pacients podran exercir en qualsevol moment del desenvolupament del projecte els seus drets ARSOPOL, amb els quals el *Reglament Europeu 2016/679 del 27 d'abril* estableix que <<qualsevol persona que facilita dades de caràcter personal pot exercir els seus drets d'accés, rectificació, supressió, oposició, portabilitat, a l'oblit i el dret de limitació al tractament (ARSOPOL)>> pte totes les lleis que s'expliquen a continuació.

14.2. Normativa estatal

- La *Llei Orgànica 3/2018 de La Protecció de Dades Personals i garantia dels Drets digitals* aprovada el 5 de desembre, estableix que <<el tractament de dades personals és un dret fonamental protegit per l'article 18.4 de la Constitució espanyola>>.

- Cal complit també la *Llei 41/2002*, del 14 de novembre, que es presenta com la <<bàsica reguladora de l'autonomia del pacient i de drets i obligacions en matèria d'informació i documentació clínica>> regula l'autonomia del pacient i els drets i obligacions en matèria d'informació i documentació clínica.
- *Llei 14/1986*, General de Sanitat estableix les reformes legals que ha experimentat la Sanitat.
- *Llei 16/2003, de Cohesió i Qualitat del Sistema Nacional de Salut* reconeix el <<dret a la protecció de la salut, encomanant als poders públics l'organització i tutela de la Salut Pública mitjançant mesures preventives i prestacions dels serveis necessaris>>.
- *Llei 33/2011, General de Salut Pública* amb la qual es vol aconseguir <<obtenir i mantenir el màxim nivell de salut possible a la població>>.
- *RD legislatiu 1/2013*, del 29 de novembre, estableix els drets de les persones amb discapacitat, vetllant per la seva inclusió social.
- *Llei 51/2003* estableix que s'ha d'exercir la igualtat d'oportunitats de tot ciutadà, la no discriminació i l'accessibilitat universal de les persones amb discapacitat

14.3. Normativa catalana

- *Llei 15/1990, d'Ordenació Sanitària a Catalunya*. Aprovada el 9 de juliol, es basa en la <<racionalització i coordinació dels recursos existents que permeti una major i més eficaç atenció a la salut dels ciutadans>>.

14.4. Drets i deures

D'acord amb la *Carta del Drets i Deures de la ciutadania en relació amb la Salut i l'Atenció Sanitària*, existeixen també una sèrie de drets i deures que s'han de tenir en compte i respectar per a poder desenvolupar el projecte. S'esmenen a continuació, classificats segons el seu àmbit d'aplicació.

- Equitat i no-discriminació de les persones
 - Dret a rebre un tracte respectuós
 - Dret a l'atenció sanitària i als serveis de la salut
 - Deure de respecte i no-discriminació vers els professionals
 - Deure de respecte i no-discriminació vers altres persones

- Intimitat i confidencialitat
 - Dret a preservar la privacitat i la intimitat de la persona
 - Dret a la confidencialitat de la informació
- Informació sanitària, documentació clínica i tecnologies de la informació i la comunicació
 - Dret a la gestió de les dades referents a la seva persona obtingudes
 - Dret a l'anonimització de les dades de salut
 - Dret a la utilització de tecnologies de la informació i la comunicació
 - Dret a disposar d'informació escrita sobre el procés assistencial i l'estat de salut
- Qualitat i seguretat del sistema
 - Dret a rebre una atenció sanitària de qualitat
 - Dret que es garanteixi la seva seguretat personal
 - Dret que es garanteixi la seva seguretat clínica
 - Dret a rebre un tractament adequat
- Participació
 - Dret a participar com a agent actiu en el sistema sanitari
 - Deure d'estar informat i de conèixer el sistema sanitari per a la participació responsable
 - Deure d'exercir la representació col·lectiva

15. Pressupost

S'ha realitzat un pressupost del cost que tindrà el desenvolupament d'aquest projecte. La quantitat és de 23852,87 €. Es pot consultar el càlcul al detall a l'annex d'aquest document.

Cal destacar que s'ha tingut en compte el perfil de 4 professionals. Aquests rols són:

- Enginyer Sènior: Marcos Faundez, tutor del projecte
- Informàtic júnior: projectista
- Project Manager: projectista
- Expert mèdic: Doctora Pilar Sanz, neuròloga de l'Hospital de Mataró

16. Planificació

A continuació es mostra la planificació realitzada per a tal de poder determinar el cost i l'abast del projecte.

Per a poder-ho fer, s'ha tingut en compte les diferents tasques que caldrà dur a terme durant l'evolució del treball.

A més a més, es deixa constància de la persona encarregada de realitzar la feina descrita. Tot seguit, es mostra un llistat amb els rols que s'han considerat necessaris per a la correcta finalització de l'estudi realitzat:

- Enginyer Sènior: Marcos Faundez, tutor del projecte
- Informàtic júnior: projectista
- Project Manager: projectista
- Expert mèdic: Doctora Pilar Sanz, neuròloga de l'Hospital de Mataró

Amb tot això ha sigut possible quantificar la durada del projecte i enumerar les tasques que caldrà realitzar per a finalitzar-lo amb èxit:

| TASQUES DEL PROJECTE | PROFESSIONALS IMPLICATS | HORES ESTIMADES |
|---|-------------------------|-----------------|
| Definició del projecte | ES, PM, EM | 10 |
| Redacció de requeriments funcionals i tecnològics | ES, PM, EM | 10 |
| Documentació | PM, IJ | 80 |
| Investigació | PM, IJ | 50 |
| Estudi de viabilitat | PM, IJ | 20 |
| Planificació | PM | 15 |
| Disseny prototip | IJ | 30 |
| Validació prototip | IJ, ES, PM | 20 |

Taula 1. Dedicació al projecte.

Font: Elaboració pròpia

| TASQUES DEL PROJECTE | PROFESSIONALS IMPLICATS | HORES ESTIMADES |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| Desenvolupament de l'aplicació | IJ | 300 |
| Reunions de seguiment | ES, IJ | 10 |
| Reunions amb el personal mèdic | IJ, EM | 8 |
| Testeig d'usabilitat | IJ, EM | 25 |
| Refactorització | IJ | 100 |
| Posada en marxa | IJ | 25 |
| Estudi del marc legal | IJ, PM | 7 |
| Conclusions | IJ | 10 |
| Altres | IJ | 15 |
| TOTAL HORES TREBALLADES | | 735 |

Taula 1: Dedicació al projecte.

Font: Elaboració pròpia

16.1. Fases

No només s'ha dividit el projecte en funció de les tasques que caldrà dur a terme, sinó que també s'ha tingut en compte els lliuraments que caldrà realitzar. D'aquesta manera, es pot dir que aquest estudi està comprès per tres fases diferents que s'expliquen subsegüentment.

16.1.1. Avantprojecte

Aquesta és la primera fase del projecte. La seva finalització ve marcada per l'entrega d'un informe, on es tracten diferents aspectes. S'expliquen a continuació.

En primer lloc, s'exposa amb el màxim detall l'abast i el propòsit del treball (això ve definit pels objectius de l'estudi). A més a més, es proposen diverses solucions per a resoldre el problema plantejat. Es valoren totes elles mitjançant un conjunt de criteris, entre els quals cal destacar l'estudi de viabilitat tècnica, econòmica i mediambiental.

Per últim, es realitza una planificació del projecte, definint les tasques que caldrà realitzar. També es té en compte el temps dedicat a cada tasca i la persona que la durà a terme (segons el seu perfil professional).

D'aquesta manera s'aconsegueix definir els objectius, l'abast, el temps i el cost que suposarà desenvolupar el projecte presentat.

16.1.2. Memòria Intermèdia

En aquesta segona etapa es treballa la solució triada a l'Avantprojecte. S'entrega un informe on es podrà veure la investigació realitzada envers al desenvolupament del producte que soluciona la problemàtica plantejada.

En aquest lliurament es pot consultar com és el producte desenvolupat i quins són els primers resultats que s'han recollit. A més a més, es mostren les conclusions obtingudes fins al moment.

Per últim, es pot veure si el producte final ha patit reformulacions per part del propi desenvolupador.

En conclusió, amb aquest segon informe es pot veure el desenvolupament de la solució plantejada a la fase anterior i el seu primer testeig.

16.1.3. Memòria Final

En aquesta última fase s'entrega un informe on es pot veure la posada en marxa del producte final.

Es mostra el feedback obtingut per part dels usuaris i les diferents proves de funcionament que han servit per a mesurar l'eficiència de la solució implementada.

Per últim, s'avalua que el producte final assoleixi tots els objectius definits a la fase de l'Avantprojecte.

16.2. Dedicació

Amb l'objectiu d'aconseguir desenvolupar un bon producte final, s'ha realitzat un horari per a mantenir constància i seguiment del temps dedicat a cada fase del projecte.

Cal tenir en compte les dates d'entrega de cada fase:

- Avantprojecte: 10 de febrer 2023
- Memòria Intermèdia: 22 d'abril 2023
- Entrega Final: 15 de juny 2023

D'aquesta manera, s'ha definit un calendari on hi consten les hores de feina realitzades cada dia, en funció del trimestre:

- Primer trimestre (6 hores setmanals):
 - Divendres: 2h
 - Dissabte: 2h
 - Diumenge: 2h

- Segon trimestre (25 hores setmanals):
 - Dimarts: 4h
 - Dimecres: 4h
 - Divendres: 6h
 - Dissabte: 5h
 - Diumenge: 6h

- Tercer trimestre (45 hores setmanals):
 - Dilluns: 8h
 - Dimarts: 8h
 - Dimecres: 4h
 - Dijous: 6h
 - Divendres: 6h
 - Dissabte: 5h
 - Diumenge: 8h

16.3. Pla de contingència

No s'ha tingut en compte el canvi horari en la planificació exposada. Això s'ha fet expressament, com a pla de contingència. D'aquesta manera, s'ha pogut fer front a les dificultats i adversitats que s'han presentat durant el desenvolupament del projecte.

Gràcies a aquest marge temporal, s'han pogut superar els contratemps i obstacles amb les mínimes repercussions a la resta de fases de desenvolupament.

17. Gestió de la diversitat i perspectiva de gènere

Per a poder realitzar aquest projecte és de suma importància tenir en compte una mostra significativa de pacients de Pàrkinson, que representi aquesta comunitat de la població. És per aquest motiu que cal combinar malalts de sexe masculí i de sexe femení, tenint en compte les recomanacions de l'Agència de Qualitat del sistema Universitari de Catalunya (AQU) [1].

És possible que amb la diferenciació de sexe s'observin patrons en l'evolució de la malaltia de Pàrkinson que abans no s'havien detectat. També es pot donar el cas de la detecció de similituds amb dades de pacients del mateix sexe. Tot això s'analitzarà amb deteniment en l'avaluació del producte final que es realitzarà amb la doctora Pilar Sanz, quan ja es disposi de totes les dades i gràfics que mostrin informació de cada malalt de Pàrkinson.

Cal destacar que també s'ha tingut en l'edat dels pacients i dels usuaris finals de l'aplicació, ja que és un factor que determina indiscutiblement l'èxit del producte final.

A més a més, en el procés d'avaluació del disseny de l'aplicació, s'han tingut en compte aquests aspectes del procés de testeig d'usabilitat: es vol que l'aplicació desenvolupada sigui útil tant per homes com per dones de qualsevol edat. Per això, s'ha considerat de suma importància tenir en compte aquest factor.

18. Referències

- [1] «Marc general per a la INCORPORACIÓ DE LA PERSPECTIVA DE GÈNERE EN LA DOCÈNCIA UNIVERSITÀRIA,» 2018. [En línia]. Available: <https://www.aqu.cat/doc/Universitats/Metodologia/Marc-general-per-a-la-incorporacio-de-la-perspectiva-de-genera-en-la-docencia-universitaria>. [Últim accés: 2 febrer 2023].
- [2] N. F. Pujol, «Git Hub: TFG,» [En línia]. Available: <https://github.com/nuriafp/TFG.git>.
- [3] A. F. Pujol, «DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DE DISPOSITIUS PER A LA MESURA I QUANTIFICACIÓ DE DIFERENTS PARÀMETRES EN EL DIAGNÒSTIC DE MALALTS DE PARKINSON,» 2022.
- [4] «Parkinson's UK,» [En línia]. Available: <https://www.parkinsons.org.uk/information-and-support/beats-medical>. [Últim accés: 15 gener 2023].
- [5] «Study My Health,» [En línia]. Available: <http://studymyhealth.com/user-manuals/user-manual-studymytremor/>. [Últim accés: 21 gener 2023].
- [6] «CloudUPDRS Project,» [En línia]. Available: <http://www.updrs.net/>. [Últim accés: 17 gener 2023].
- [7] «info Captor,» [En línia]. Available: <https://www.infocaptor.com/>. [Últim accés: 25 gener 2023].
- [8] «Kyligence,» [En línia]. Available: <https://kyligence.io/>. [Últim accés: 31 gener 2023].
- [9] «Dataviz Studio,» [En línia]. Available: <https://www.datavizstudio.com/>. [Últim accés: 22 desembre 2022].
- [10] «Steady wear,» [En línia]. Available: <https://steadewear.com/>. [Últim accés: 18 12 2022].
- [11] «YouTube,» Beats Medical, 21 agost 2017. [En línia]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=uj5SbSCUzIE&list=PLMrjQjQYt7rE1dM799TXVJhetlz1J9EXl>. [Últim accés: 28 12 2022].
- [12] «Cogni Fit,» [En línia]. Available: <https://www.cognifit.com/>. [Últim accés: 11 gener 2023].
- [13] «Great Lakes Neurotechnologies,» [En línia]. Available: <https://www.glneurotech.com/products/kinesiau/>. [Últim accés: 15 12 2022].

- [14] J. Kulisevsky, J. Pagonabarraga, G. Llebaria, B. Hernández i J. Arranz, «Evaluación de la satisfacción médico/paciente con el uso del “Parkinson's Disease Dementia-Short-Screen” (PDD-SS): un test de cribado para la demencia en la enfermedad de Parkinson (estudio DIFUSION),» Barcelona, 2011.
- [15] «mPower,» [En línia]. Available: <https://parkinsonmpower.org/about>. [Últim accés: 30 desembre 2022].
- [16] «Cordis,» [En línia]. Available: <https://cordis.europa.eu/article/id/123426-smart-app-may-help-doctors-diagnose-parkinsons-disease/es>. [Últim accés: 13 gener 2023].
- [17] «Google Play,» [En línia]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=uk.ac.bbk.dcs.cloudupdrs&hl=en&gl=US>. [Últim accés: 14 gener 2023].
- [18] «Strate bi,» [En línia]. Available: <https://www.stratebi.com/open-business-intelligence>. [Últim accés: 16 gener 2023].
- [19] «Stat On,» [En línia]. Available: <https://www.statonholter.com/es/>. [Últim accés: 14 gener 2023].
- [20] «Pkg,» [En línia]. Available: <https://pkgcare.com/>. [Últim accés: 22 gener 2023].
- [21] “Open Access Government,” 14 desembre 2022. [Online]. Available: <https://www.openaccessgovernment.org/pkg-personal-kinetigraph-helping-my-parkinsons-disease-patients/149244/>. [Accessed 23 gener 2023].
- [22] «Ultraleap,» [En línia]. Available: <https://www.ultraleap.com/product/leap-motion-controller/>. [Últim accés: 1 febrer 2023].
- [23] «Perception Neuron,» [En línia]. Available: <https://neuronmocap.com/>. [Últim accés: 28 gener 2023].
- [24] «Cala Trio,» [En línia]. Available: <https://calatrio.com/>. [Últim accés: 16 gener 2023].
- [25] «App Store,» [En línia]. Available: <https://apps.apple.com/ie/app/beats-medical-dyspraxia-app/id1194965395>. [Últim accés: 20 gener 2023].
- [26] «Amplitude,» [En línia]. Available: <https://amplitude.com/>. [Últim accés: 10 gener 2023].
- [27] «Smartlook,» [En línia]. Available: <https://www.smartlook.com/>. [Últim accés: 9 gener 2023].
- [28] «Good Data,» [En línia]. Available: https://www.gooddata.com/platform/data-analytics/?utm_term=data%20analytics%20tools&utm_campaign=Search_EUR%2BASIA_platform_desktop_042022&utm_source=adwords&utm_medium=pp

- c&hsa_acc=1867640229&hsa_cam=19241683410&hsa_grp=150116718611&hsa_ad=641302347278&hs. [Últim accés: 8 gener 2023].
- [29] «Devices for remote continuous monitoring of people with - Erratum to the EAG Diagnostic Assessment Report,» Nova York, 2022. [Últim accés: 15 gener 2023].
- [30] «Capterra,» [En línia]. Available: <https://www.capterra.es/software/123828/gooddata>. [Últim accés: 19 gener 2023].
- [31] «RHB Neuromad,» [En línia]. Available: <https://rhbneuromad.com/2017/03/10/cloudupdrs-nueva-app-para-pacientes-con-parkinson/>. [Últim accés: 3 gener 2023].
- [32] «Good Data,» [En línia]. Available: <https://www.gooddata.com/resources/medispend-case-study/>. [Últim accés: 1 gener 2023].
- [33] «HUB,» [En línia]. Available: <https://hub.jhu.edu/2018/04/06/parkinsons-disease-severity-smartphone-app/>. [Últim accés: 19 gener 2023].
- [34] «Ability Net,» [En línia]. Available: <https://abilitynet.org.uk/news-blogs/apps-people-living-parkinsons>. [Últim accés: 2 gener 2023].
- [35] «Parkinson's UK,» [En línia]. Available: <https://www.parkinsons.org.uk/information-and-support/apps-and-devices-parkinsons>. [Últim accés: 19 gener 2023].
- [36] «Parkinson's Life,» [En línia]. Available: <https://parkinsonslife.eu/five-of-our-favourite-apps-for-people-with-parkinsons/>. [Últim accés: 12 gener 2023].
- [37] «Dementech Neurosciences Clinical Academic Centre,» [En línia]. Available: <https://dementech.com/parkinsons-kinetigraph-pkg/>. [Últim accés: 16 gener 2023].
- [38] M. Faundez-Zanuy, «Analysis of sensors for movement analysis,» 2022. [Últim accés: 14 gener 2023].
- [39] SouthBridge, «How to Convert Excel to JSON in Javascript». [Últim accés: 13 febrer 2023].
- [40] J. D. Muñoz, «PLEDIN 3.0,» [En línia]. Available: <https://plataforma.josedomingo.org/pledin/>. [Últim accés: 11 febrer 2023].
- [41] M. Web, «Introducción al Flask,» [En línia]. Available: <https://www.manualweb.net/flask/introduccion-flask/>. [Últim accés: 13 febrer 2023].
- [42] Mohammad Farukh Hashmi, Nookala Venu, D. Yuvaraj, J. Barnabas Paul Gladly, Omkar Pattnaik, Gurpreet Singh, Mahesh Singh and Amsalu Gosu Adigo,

- «Execution of Multitarget Node Selection Scheme for Target Position Alteration Monitoring in MANET,» 2022. [Últim accés: 20 febrer 2023].
- [43] Zhiqiang Wu, Rui Li, «OBI: a multi-path oblivious RAM for forward-and-backward-secure searchable encryption». [Últim accés: 23 febrer 2023].
- [44] L. Chung, «Delighted: Encuestas sobre aplicaciones móviles: Mejores prácticas y ejemplos de preguntas,» [En línia]. Available: <https://delighted.com/es/blog/mobile-app-survey-best-practices>. [Últim accés: 8 maig 2023].
- [45] M. W. Docs, «HTMLInputElement: webkitdirectory property,» [En línia]. Available: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/HTMLInputElement/webkitdirectory#specifications>. [Últim accés: 11 juny 2023].
- [46] «Geeks for Geeks,» [En línia]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/>. [Últim accés: 8 gener 2023]. [Últim accés: 14 juny 2023].
- [47] «Stack overflow,» [En línia]. Available: <https://stackoverflow.com/>. [Últim accés: 15 juny 2023].
- [48] «W3Schools,» [En línia]. Available: <https://www.w3schools.com/>. [Últim accés: 11 juny 2023].
- [49] «Python,» [En línia]. Available: <https://www.python.org/doc/>. [Últim accés: 26 maig 2023].
- [50] «Docs Arduino,» [En línia]. Available: <https://docs.arduino.cc/>. [Últim accés: 13 març 2023].
- [51] «GitHub Community,» [En línia]. Available: <https://github.com/community>. [Últim accés: 7 juny 2023].
- [52] «Flask Documentation,» [En línia]. Available: <https://flask.palletsprojects.com/en/2.3.x/>. [Últim accés: 21 maig 2023].
- [53] «Jinja Documentation,» [En línia]. Available: <https://jinja.palletsprojects.com/en/3.1.x/>. [Últim accés: 17 abril 2023].
- [54] «Stack Abuse,» [En línia]. Available: <https://stackabuse.com/>. [Últim accés: 3 juny 2023].
- [55] SoundEffects, Compositor, *BEEP (Beep Sound Effect)*. [Enregistrament]. 2018. [Últim accés: 29 maig 2023].
- [56] «You Tube,» [En línia]. Available: <https://www.youtube.com/>. [Últim accés: 29 maig 2023].

- [57] «Icosn,» [En línia]. Available: <https://iconos8.es/icons/set/p>. [Últim accés: 1 juny 2023].
- [58] Naveen, «Spark By Examples,» 23 Gener 2023. [En línia]. Available: <https://sparkbyexamples.com/pandas/pandas-read-excel-multiple-sheets-in-pandas/>. [Últim accés: 21 maig 2023].
- [59] «Programiz,» [En línia]. Available: <https://www.programiz.com/>. [Últim accés: 12 juny 2023].
- [60] «MDN,» [En línia]. Available: <https://developer.mozilla.org/en-US/>. [Últim accés: 13 juny 2023].
- [61] «Code Pen,» [En línia]. Available: <https://codepen.io/>. [Últim accés: 7 juny 2023].
- [62] «DEV,» [En línia]. Available: <https://dev.to/>. [Últim accés: 9 juny 2023].
- [63] «Free Code Camp: How to Substring a String in Python,» 3 Gener 2020. [En línia]. Available: <https://www.freecodecamp.org/news/how-to-substring-a-string-in-python/>. [Últim accés: 20 maig 2023].
- [64] «Tutorials Point,» [En línia]. Available: <https://www.tutorialspoint.com/How-to-use-an-image-as-a-link-in-HTML>. [Últim accés: 14 maig 2023].
- [65] Pujol, A. F. (2022). DISSENY I IMPLEMENTACIÓ DE DISPOSITIUS PER A LA MESURA I QUANTIFICACIÓ DE DIFERENTS PARÀMETRES EN EL DIAGNÒSTIC DE MALALTS DE PARKINSON. [Últim accés: 16 juny 2023].
- [66] Losada, A. (2022). Treball Final de Grau. [Últim accés: 13 març 2023].