

**Desarrollo e implementación de la interfaz para el control y configuración
del exoesqueleto de miembro inferior AGoRA**

Elizabeth Sánchez Rodríguez

Trabajo Dirigido

Tutor

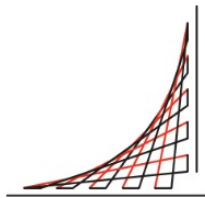
PhD Marcela Munera Ramirez

Co-Tutor

PhD Carlos Cifuentes



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2022**

Resumen

Las personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), tiene grandes dificultades para realizar las diferentes actividades de la vida diaria, lo cual afecta su calidad de vida.

Actualmente se han desarrollado nuevas tecnologías para el apoyo y rehabilitación de estas personas, entre estas los exoesqueletos de miembro inferior que han sido desarrollados teniendo en cuenta la estructura biomecánica del cuerpo para no restringir los movimientos del paciente. Teniendo en cuenta que estos dispositivos trabajan en entornos clínicos, se hace necesaria la interacción del mismo con el personal de la salud. Este estudio evalúa una interfaz gráfica para el control y configuración del exoesqueleto AGoRA con el fin de facilitar la interacción con el personal de la salud.

La metodología del estudio se divide en: diseño, validación, verificación e integración de la interfaz gráfica para el control y configuración del exoesqueleto. Para el diseño se utilizó un software para el boceto inicial, en cuanto a la validación se realizó mediante encuestas al personal de la salud, para la verificación se tuvieron en cuenta los resultados de las encuestas y se aplicaron los cambios correspondientes. Finalmente para la integración se ensamblaron los comandos de control del dispositivo con los botones de la interfaz.

Los resultados obtenidos fueron que la interfaz es interactiva, el lenguaje es apropiado, las variables que se observan y su uso es el apropiado y necesario para el personal de la salud. Además que el tiempo de respuesta en promedio de los comandos fue de 4 segundos, lo cuál es relativamente rápido y permite un fácil y efectivo manejo para el personal de la salud.

Índice general

Resumen	I
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación	1
1.2. Proyecto relacionado	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Contribuciones	3
1.5. Organización del documento	3
2. ESTADO DEL ARTE	4
2.1. Estrategia de búsqueda	4
2.2. Interfaces gráficas para control y configuración de exoesqueletos de rehabilitación	4
2.2.1. Interfaces de exoesqueletos de miembro superior	4
2.2.2. Interfaces de exoesqueletos de miembro inferior	5
3. METODOLOGÍA	9
3.1. Pre-diseño interfaz visual	9
3.2. Interfaz visual con python	15
3.3. Encuesta de validación interfaz	15
3.4. Integración interfaz con sistema operativo del dispositivo	16
4. RESULTADOS	18
4.1. Interfaz visual con Python	18
4.2. Encuesta de validación interfaz	24
4.3. Integración de la interfaz con sistema operativo del dispositivo	26
5. CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXO	31

Índice de figuras

3.1. Diagrama de metodología	9
3.2. Pestaña Inicial Interfaz	10
3.3. Pestaña para registro de paciente nuevo	11
3.6. Pestaña de control del exoesqueleto en modo terapia estacionaria	11
3.4. Pestaña Historial Clínico de los pacientes	12
3.7. Pestaña de selección de nivel de rigidez y asistencia del exoesqueleto	12
3.8. Pestaña de integración del exoesqueleto en modo terapia estacionaria	12
3.5. Pestaña para modo de operación del exoesqueleto	13
3.9. Pestaña de realimentación del exoesqueleto en modo terapia estacionaria	13
3.10. Pestaña de control del exoesqueleto en modo de asistencia en marcha	14
3.11. Pestaña de integración del exoesqueleto en modo de asistencia en marcha	14
3.12. Pestaña de evaluación de diferentes parametros del exoesqueleto al terminar la terapia	15
4.1. Pestaña de inicio de la interfaz visual	18
4.2. Pestaña de registro de paciente nuevo	19
4.3. Pestaña de registro de personal de la salud	19
4.4. Pestaña de selección de operación del exoesqueleto	20
4.5. Pestaña de configuración de parametros del exoesqueleto	20
4.6. Pestaña de etapa de aprendizaje del exoesqueleto	21
4.7. Pestaña de terapia estacionaria	21
4.8. Pestaña de asistencia en marcha	22
4.9. Pestaña de Informe General	22
4.10. Rango de Movimiento en el informe general	23
4.11. Velocidad angular en el informe general	23
4.12. Rigidez, asistencia e intensidad de movimiento en el Informe General	23
4.13. Parámetros Temporo-Espaciales en el Informe General	23
4.14. Pestaña de Informe por sesión	24
4.15. Pestaña de Informe de pacientes	24

Índice de tablas

2.1. Interfaces de miembro superior encontradas en la revisión bibliográfica	7
2.2. Interfaces exoesqueletos de miembro inferior encontradas en la revisión bibliográfica	8
3.1. Preguntas realizadas	16
4.1. Promedios de respuesta por pregunta realizada	25
4.2. Preguntas realizadas con respuesta escala Likert (1 Totalmente en desacuerdo, 2 En desacuerdo, 3 Parcialmente de acuerdo, 4 De acuerdo y 5 Totalmente de acuerdo)	25
4.3. Preguntas realizadas con respuesta escala nivel de importancia (1 Muy bajo y 5 Muy alto)	26
4.4. Preguntas abiertas de respuesta a la pregunta:¿Qué cambiaría o mejoraría en cada una de las siguientes pestañas de la interfaz (Organización, cantidad de información, opciones o botones)?	26
4.5. Promedios de respuesta por comando integrado	27

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Este capítulo presenta la motivación general del proyecto presentado. Esta motivación incluye, las estadísticas de la enfermedad cerebrovascular, sus principales características, las terapias convencionales, las dificultades de los profesionales de la salud al interactuar con estas tecnologías, los objetivos del estudio, el aporte generado y, por último, la organización del documento.

1.1 Motivación

En Colombia alrededor del 3% de la población sufre algún tipo de discapacidad [1]. Las alteraciones más frecuentes en esta población son disminución en el movimiento de brazos, piernas, cuerpo, manos (37,7%) y alteraciones en el sistema nervioso (22,4%). Estas alteraciones coinciden con las principales dificultades que presentan las personas con discapacidades en sus actividades diarias, algunas de ellas son; caminar, correr, saltar (50.2%) y cambiar o mantener las posiciones del cuerpo (17%)[2]. Debido a estas dificultades las personas pierden autonomía e independencia, por lo cual el 94% de ellas viven con otras personas y solo el 6% viven solos[2]. Aproximadamente el 13% de limitaciones son consecuencias del conflicto armado; el 64% de personas con discapacidad en Colombia son desescolarizadas debido a su condición, ya que la mayoría de instituciones educativas no están adecuadas para personas con este tipo de limitaciones [1], [2]. Teniendo en cuenta que una población bastante amplia sufre de discapacidad a nivel mundial, se han creado dispositivos que ayuden a estas personas a realizar sus actividades diarias de una manera más eficiente [3]. Los dispositivos de asistencia sirven para ayudar a la persona en condición de discapacidad a mantener su autonomía en actividades de la vida diaria, a ser más participativo en mercados laborales, en educación y alivianar la carga del cuidador [4]. Una de las causas por las que la persona puede quedar en este estado se denomina accidente cerebrovascular que es la interrupción del suministro de sangre hacia el cerebro lo cual impide que los tejidos al interior del cerebro reciban nutrientes y oxígeno por esto las células cerebrales pueden morir y causar daños permanentes en las funciones corporales del individuo y alterar sus actividades cotidianas [5], [6]. Entre los dispositivos de asistencia más utilizados para personas que han sufrido este tipo de accidentes y han quedado con secuelas permanentes en sus miembros inferiores se encuentran las sillas de ruedas. Estas sillas tienen como limitación su uso en personas que tienen debilidad en sus miembros superiores, por esto necesitan de una persona que los ayude, generando una dependencia al sujeto. Otra limitación es la adecuación de los sitios por donde pasen dichos

dispositivos ya que huecos o desniveles pueden ocasionar un salto de la silla de ruedas y desgaste de la cadera del paciente. Otra desventaja de estas es que el espaldar y el asiento se van hundiendo con el largo del tiempo, lo que genera dolor [7]. Por otro lado, otro dispositivo de asistencia usado es el baston que requiere de un previo entrenamiento y modifican la marcha en adultos mayores desmejorando su calidad de vida y provocando lesiones en los hombros [8]. Teniendo en cuenta las dificultades expresadas se hace necesaria la creación de un nuevo dispositivo como el exoesqueleto de miembros inferiores. Los exoesqueletos de miembro inferior, han sido desarrollados teniendo en cuenta la estructura biomecánica del cuerpo, con el fin de no restringir los movimientos del paciente [9]. Para esto, diversas actividades de la vida diaria han sido replicadas bajo estos principios con exoesqueletos de miembro inferior, con el propósito principal de validar la eficiencia de estos dispositivos aplicando diferentes estrategias de control [10]. Los resultados obtenidos incentivaron el desarrollo de este tipo de tecnologías, haciendo uso de diversas señales obtenidas desde el paciente (electroencefalografía o EEG), electromiografía o EMG) u otro tipo de alternativas, que permiten medir la interacción entre el ser humano y los dispositivos robóticos [11]. Debido a que el entorno de aplicación de estos dispositivos es clínico, este tendrá interacción con el personal de la salud al momento de realizar las terapias correspondientes en marcha u otras actividades de la vida diaria al paciente. Por esto, se concluye que el personal encargado del control y configuración del dispositivo corresponde al de la salud. Dado estas circunstancias surge la necesidad de crear un sistema que permita el control y configuración del exoesqueleto de manera interactiva y con el fin de mejorar la interacción usuario-dispositivo se plantea el desarrollo de una interfaz gráfica para el control y configuración del exoesqueleto de miembro inferior AGoRA.

1.2 Proyecto relacionado

El proyecto AGoRA financiado por el Ministerio de Ciencia Tecnología e innovación (Min-ciencias) contrato(801-2017) y desarrollado en conjunto por la Red REASISTE del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) y la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Su objetivo principal es el desarrollo de una plataforma robótica adaptable para rehabilitación y asistencia de la marcha. Este proyecto se encuentra dirigido por el Prof Dr. Carlos Andres Cifuentes García y la Prof Dr. Marcela Cristina Múnera (Profesores del programa de ingeniería Biomédica, en convenio con la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito y la Universidad del Rosario). Así mismo, este proyecto se ha trabajado en colaboración con instituciones como la Clínica Universidad de la Sabana, el Group of Neural and Cognitive Engineering del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España (CSIC), el Instituto de Automática de San Juan (Argentina) y Group of Robotics and Industrial Automation de la Universidad Federal do Espírito Santo (Brasil).

La plataforma AGoRA se encuentra conformada por un caminador robótico, un exoesqueleto de miembro inferior para la cadera y la rodilla y una órtesis de tobillo diseñadas para la rehabilitación y asistencia de la marcha de personas que han sufrido enfermedades neurológicas. Con este objetivo principal, cada uno de estos dispositivos cumple con tareas elementales para el desarrollo de actividades de la vida diaria, como brindar soporte y balance (caminador robótico) y brindar los torques requeridos para la movilidad de los miembros inferiores (exoesqueleto para la cadera, la rodilla y una órtesis de tobillo). De esta manera, cada uno de estos dispositivos se encuentra equipado por actuadores (motores eléctricos, cajas reductoras), sensores (sensores de fuerza, sensores IMU (*Inertial Measurement Unit* o IMU, por sus siglas

en inglés), video cámara, sensor de telemetría y unidades de procesamiento de información (Raspberrypi) que permiten crear un puente de comunicación bidireccional basado en la interacción física entre el humano y el robot (*physical Human-Robot Interaction* o pHRI, por sus siglas en inglés). Finalmente, este tipo de plataformas incentivan el desarrollo de dispositivos robóticos enfocados a la rehabilitación y asistencia a pacientes con enfermedades neurológicas, desarrollo para el cual este proyecto se encuentra direccionado.

1.3 Objetivos

Teniendo en cuenta el contexto planteado, este trabajo cuenta con los siguientes objetivos.

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar e implementar una interfaz gráfica que permita el control y configuración del exoesqueleto de miembro inferior AGoRA.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Desarrollar una interfaz que permita la interacción entre el usuario y el dispositivo.
2. Implementar un sistema que permita dar una realimentación en tiempo real al personal de la salud.

1.4 Contribuciones

En este proyecto se evaluó el uso de la interfaz para control y configuración del exoesqueleto de miembro inferior AGoRA para facilitar su uso en entornos clínicos.

Esta interfaz se evalúa principalmente mediante los tiempos de respuesta que se obtienen al ejecutar los diferentes comandos de control y configuración del exoesqueleto.

Estos resultados obtenidos proporcionan una base para futuros trabajos y cambios en el control del exoesqueleto.

1.5 Organización del documento

Este documento presenta 5 capítulos que incluyen, Introducción, Metodología, Resultados y Discusión y por último Conclusiones.

- Capítulo 2 presenta el estado del arte del presente trabajo. Presenta la revisión de la literatura de las diferentes interfaces para control y configuración de dispositivos de rehabilitación.
- Capítulo 3 se observa la metodología del trabajo, la descripción de cada paso realizado para llegar a la interfaz final.
- Capítulo 4 presenta los resultados obtenidos a partir de las diferentes pruebas y encuestas realizadas por la validación de la interfaz propuesta.
- Capítulo 5 describe las conclusiones y observaciones finales de este trabajo.

Capítulo 2

ESTADO DEL ARTE

2.1 Estrategia de búsqueda

Para la búsqueda bibliografica que se llevo a cabo se usaron diferentes bases de datos, como: PubMed, Scopus y Google Scholar con las siguientes palabras clave: interfaz, sistema de control, interfaz usuario-dispositivo, interfaz robótica y exoesqueleto. Adicionalmente se realizó la combinacion de estas palabras clave con las siguientes ecuaciones de búsqueda:

En pubmed se usaron dos: (((((((((((((interface) OR (design interface)) OR (control system)) OR (user interface)) OR (Human-computer interface)) OR (Human interface)) OR (Human-Machine Interface)) OR (architectural interface)) OR (architectural interface)) OR (exoskeleton interface))AND (lower limb exoskeleton)) que dio como resultado 171 artículos y ((user interface) OR (user-friendly interface)) AND ((exoskeletons) OR (lower limb exoskeleton)) NOT ((brain-computer interface) OR (brain-machine interfaces)) dio como resultado 57 artículos, en Scopus se uso la siguiente: ((User interface) OR ("Graphical user interface") AND (lower limb exoskeleton) OR (exoskeleton)) y dió como resultado 72 artículos. Por último, en Google Scholar se uso esta: (User interface) OR (Graphical user interface) AND (lower limb exoskeleton) OR (exoskeleton)) y se obtuvieron 10 artículos. Teniendo en cuenta que se obtuvieron más de 300 artículos en toda la búsqueda bibliografica, se escogieron 17 mediante ciertos criterios de inclusión (año de publicación, contenido del resumen, evidencia de la interfaz desarrollada, objetivos del artículo y parámetros observados en las interfaces).

2.2 Interfaces gráficas para control y configuración de exoesqueletos de rehabilitación

2.2.1. Interfaces de exoesqueletos de miembro superior

Se encontraron 9 interfaces para exoesqueletos de miembro superior en la literatura y estas se observan en la tabla 2.1 En estas interfaces se encuentran principalmente parámetros como: coordenadas de la extremidad, potencia EMG de los músculos relacionados, la amplitud de movimiento de las articulaciones [15], el movimiento en tiempo real de las extremidades, la fuerza realizada a través del EMG [16], el rango de movimiento de la articulación [13], la velocidad de esta, la aceleración y desaceleración [20]. Estos parámetros mencionados anteriormente sirven para conocer la actividad de la articulación asistida por el dispositivo y también para dar a conocer al personal de la salud un informe de esta actividad en tiempo

real y así conocer el progreso del paciente.

La terapia en estos dispositivos se realiza principalmente mediante juegos interactivos en los cuales el objeto o jugador virtual ejerce los movimientos que le son asignados a partir del movimiento de la extremidad superior (principalmente la mano), exactamente de la señal EMG, la fuerza del músculo y movimiento angular de la articulación [15], [13],[14]. Algunas de las interfaces únicamente proporcionan la configuración y control del dispositivo para que el personal de la salud sea libre de desarrollar el tipo de ejercicio que requiera y recibir los parámetros que desee [20],[19], [18],[17].

Ahora se tiene en cuenta los métodos similares a una historia clínica encontrados, tales como: tablas con el progreso de los pacientes, valores relevantes de las articulaciones comprometidas que se adquieren a través de los diferentes sensores del dispositivo [13], datos de las terapias como, tiempo de duración, número de repeticiones, intensidad del ejercicio y evolución del paciente a lo largo de las terapias. Estos parámetros ayudan al personal de la salud a escoger los ejercicios adecuados para la ejecución de las terapias a largo plazo, además de llevar un control más personalizado de cada paciente que hace uso del dispositivo.

Por último se observa las diferentes divisiones que contiene una interfaz para proporcionar el control, configuración y realimentación del dispositivo al personal de la salud. Normalmente tienen pestañas para: control, supervisión, almacenamiento de datos [15], diseño en 3D del dispositivo, barras de progresión [16], área de mensajes (comunicación con el paciente), progreso, juegos, condición (diagnóstico del paciente) [13], transferencia y adquisición de datos (sensórica), manejo de los comandos de programación [14], comunicación con el dispositivo [17],[18], indicadores del estado de los actuadores (motores) [20].

2.2.2. Interfaces de exoesqueletos de miembro inferior

Se encontraron 8 interfaces para exoesqueleto inferior y estas se observan en la tabla 2.2. En estas interfaces se encuentran principalmente parámetros como: ángulo de las articulaciones, velocidad del actuador [21], trayectoria de las articulaciones de la extremidad inferior [22], activación muscular [24], ondas de estimulación eléctrica [26], fuerzas de interacción humano-robot [27] y nivel de soporte de peso[28]. Estos parámetros mencionados anteriormente sirven para conocer la actividad de la extremidad asistida por el exoesqueleto de miembro inferior (rodilla, cadera y tobillo), además de que el personal de la salud pueda conocer el progreso del paciente.

La terapia en estos dispositivos se realiza mediante la configuración y control del dispositivo con el fin de que el personal de la salud desarrolle la terapia de la manera en que el paciente lo necesite teniendo en cuenta los resultados de las variables que se mencionan anteriormente, para evaluar así el progreso del paciente y llevar un registro de este para la terapia a largo plazo.

Existen diferentes métodos utilizados por cada interfaz para el almacenamiento de los datos del paciente, tales como: sección exclusiva para almacenamiento de datos e información personal del paciente [24], gráficas de los valores relevantes de las articulaciones comprometidas[25], históricos del paciente (desplazamientos y traslados durante la terapia en marcha) [23], resumen del rendimiento del paciente [12] y almacenamiento de fuerzas ejercidas por el paciente [28]. Estas estrategias apoyan al personal de la salud en cuanto al progreso a largo plazo del paciente, para verificar la ayuda y funcionalidad del dispositivo en la terapia y para ajustar los valores de asistencia, rigidez y demás parámetros del dispositivo para mejorar la

terapia del paciente.

Por último, se observa las diferentes divisiones que contiene una interfaz para proporcionar el control, configuración y realimentación del dispositivo al personal de la salud. Cuenta con pestañas para: modos de entrenamiento del exoesqueleto [21], simulación y verificación de parámetros [22], en algunas ocasiones se cuenta con una pestaña para sujetos sanos que es usada para calcular los patrones normales de marcha, secciones para los pacientes [24], conexión con el hardware del dispositivo, configuración de la rehabilitación, monitoreo de sensorica [25], calibración del dispositivo, realimentación visual y auditiva para el personal de la salud y el paciente respectivamente [23].



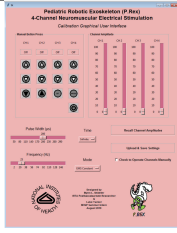

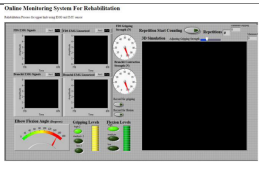


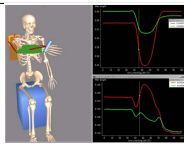

Título	Interfaz
A wearable exoskeleton suit for motion assistance to paralysed patients [12]	
Design, development and deployment of a hand/wrist exoskeleton for home-based rehabilitation after stroke - SCRIPT project [13]	
Development of an Upper Limb Exoskeleton for Rehabilitation with Feedback from EMG and IMU Sensor [14]	
Training of Hand Rehabilitation Using Low Cost Exoskeleton and Vision-Based Game Interface [15]	
3D GUI System for Upper Limb Rehabilitation using Electromyography and Inertia Measurement Unit Sensor Feedback [16]	
A Bioinspired 10 DOF Wearable Powered Arm Exoskeleton for Rehabilitation [17]	
Shoulder-elbow exoskeleton as rehabilitation exerciser [18]	
RUPERT: a device for robotic upper extremity repetitive therapy [19]	
Robotic Mirror Therapy System for Functional Recovery of Hemiplegic Arms [20]	

Tabla 2.1: Interfaces de miembro superior encontradas en la revisión bibliográfica

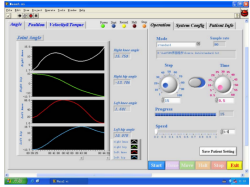
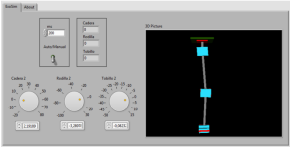


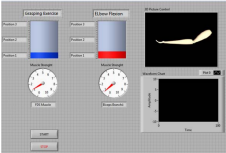
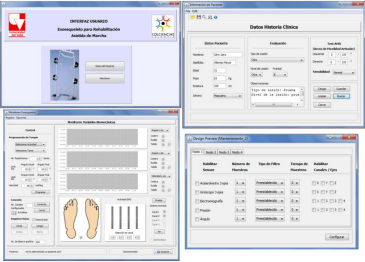
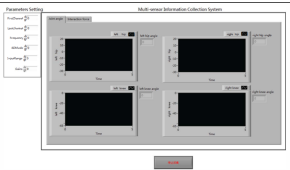

Título	Interfaz
The design and implementation of lower limb rehabilitation Robot Based on BWSTT [21]	
Wearable human lower limb prototype exoskeleton: an operative approach [22]	
Sistema de biofeedback para rehabilitación de marcha asistida por un exoesqueleto [23]	
Automatic Setting Procedure for Exoskeleton-Assisted Overground Gait: Proof of Concept on Stroke Population [24]	
Exoskeleton for gait rehabilitation of children: Conceptual design [25]	
Toward a hybrid exoskeleton for crouch gait in children with cerebral palsy: neuromuscular electrical stimulation for improved knee extension [26]	
Design on Intelligent Perception System for Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robot [27]	
HYBRID: Ambulatory Robotic Gait Trainer with Movement Induction and Partial Weight Support [28]	

Tabla 2.2: Interfaces exoesqueletos de miembro inferior encontradas en la revisión bibliográfica

Capítulo 3

METODOLOGÍA

En esta sección se describe la metodología para lograr el objetivo de implementar y desarrollar una interfaz que permita el control y configuración del exoesqueleto de miembro inferior AGoRA (Figura 3.1).

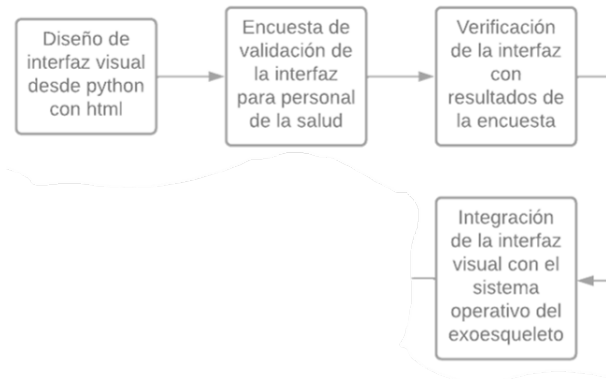


Figura 3.1: Diagrama de metodología

3.1 Pre-diseño interfaz visual

Para comenzar con el diseño de la interfaz, lo primero que se realizó fue un boceto de esta mediante el software balsamiq (Balsamiq Studios, USA), ya que nos permite un diseño sencillo, interactivo y rápido. El boceto se observa en las figuras 3.2- 3.12.

En la figura 3.2 se observa la pantalla de inicio donde se observa una imagen del dispositivo, 3 botones diferentes; Paciente nuevo: Al hacer clic allí nos redirige a una pestaña donde se ingresan los datos del paciente a registrar. Para darle en Log in, primero debemos completar los campos de usuario y contraseña con el que el personal de la salud a cargo se registró.

En la figura 3.3 se realiza el registro del paciente al cual se le va a realizar la terapia correspondiente. Allí se solicita información, como: Datos básicos, diagnóstico, Rango de Movimiento articular (*Range of Motion*, ROM por sus siglas en inglés) que es la amplitud máxima de movimiento posible respetando los límites fisiológicos impuestos por las articulaciones, las estructuras de los tendones, los ligamentos, la conformación y la acción fisiológica de los músculos involucrados [29], el valor en la escala de Ashworth que es una escala cualitativa



Figura 3.2: Pestaña Inicial Interfaz

y sirve para medir la espasticidad de los pacientes, lo cual se refiere a músculos tensos y rígidos [30], el valor de la escala de EVA (escala visual análoga) la cual es un instrumento que se utiliza en los estudios clínicos para evaluar la intensidad del dolor [31] y las medidas antropométricas.

En la figura 3.4 se observa la historia clínica del paciente, dónde se observan los datos más relevantes registrados en la pestaña de registro del paciente.

En la figura 3.5 se observan los modos de operación del exoesqueleto, terapia estacionaria y terapia de asistencia en marcha.

Inicio Registro HISTORIAS CLINICA OPERABILIDAD EVALUACION ERROR CALIBRACION

Nombre

Edad

Peso

Talla

Genero

Diagnostico

Usuario

Contraseña

ROM

Ashworth

EAV

Guardar Limpiar

Pierna derecha
Longitud Superior:
Longitud inferior:

Pierna derecha
Longitud Superior:
Longitud inferior:

Figura 3.3: Pestaña para registro de paciente nuevo

Inicio Registro HISTORIAS CLINICA OPERABILIDAD EVALUACION ERROR CALIBRACION

TERAPIA ESTACIONARIA

CONTROL INTEGRACIÓN FEEDBACK

Angulo de rodilla izquierda

Angulos de rodilla derecha

Angulo Maximo

Angulo Minimo

Angulo Maximo

Angulo Minimo

Angulo de cadera izquierda

Angulo de cadera izquierda

Angulo Maximo

Angulo Minimo

Angulo Maximo

Angulo Minimo

RIGIDEZ

ASISTENCIA

Observaciones

STOP

Figura 3.6: Pestaña de control del exoesqueleto en modo terapia estacionaria

En la figura 3.6 y 3.7 se encuentran los parámetros de configuración del exoesqueleto, los ángulos máximos y mínimos a los que pueden llegar las articulaciones del dispositivo, además de los niveles de rigidez y asistencia del mismo.

Inicio Registro HISTORIAS CLINICA OPERABILIDAD EVALUACION ERROR CALIBRACIÓN							
Añadir nuevo Editor							
Name (job title)	Age	ROM	Asworth	Ultima sesión	Ultimo tiempo de duración	Notas	
Fernando	37	Rodila:-Cadera:	4	1 Hora	La paciente tuvo una ganacia significativa en ROM		
Marco Botton Tuttofare	38	1/09/2020	<input checked="" type="checkbox"/>				
Mariah Maclachlan Better Half	41	10/10/20	<input type="checkbox"/>				
Valerie Liberty Head Chef)	30/09/2020	<input checked="" type="checkbox"/>				

Figura 3.4: Pestaña Historial Clínico de los pacientes

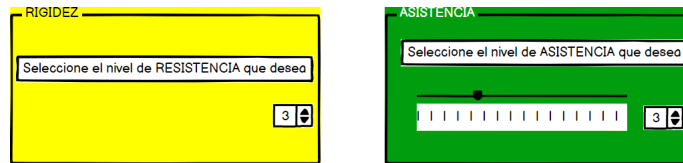


Figura 3.7: Pestaña de selección de nivel de rigidez y asistencia del exoesqueleto

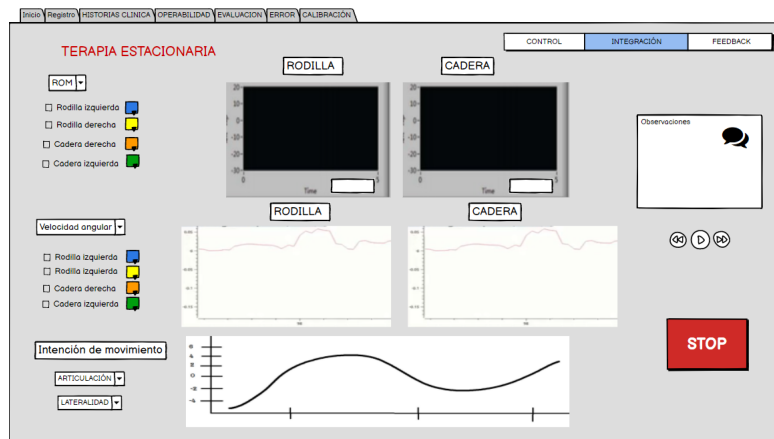


Figura 3.8: Pestaña de integración del exoesqueleto en modo terapia estacionaria

En la figura 3.8 se encuentra la ventana de integración, dónde se observa el ROM, la velo-



Figura 3.5: Pestaña para modo de operación del exoesqueleto

cidad angular (es una medida de la velocidad de rotación, se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo), la intención de movimiento (es la capacidad de decidir el movimiento siguiente a realizar por parte del cuerpo).

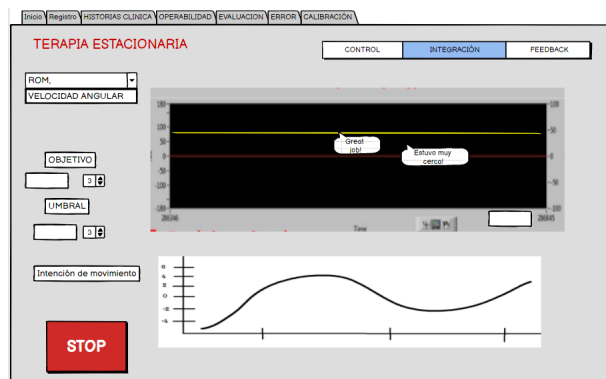


Figura 3.9: Pestaña de realimentación del exoesqueleto en modo terapia estacionaria

En la figura 3.9 se observa una pestaña que funciona como una realimentación de cada terapia con los parámetros que se establecen en la pestaña de integración, con las señales que permiten al personal de la salud identificar si el paciente logró o no llegar a los objetivos que se establecieron al principio de la terapia.

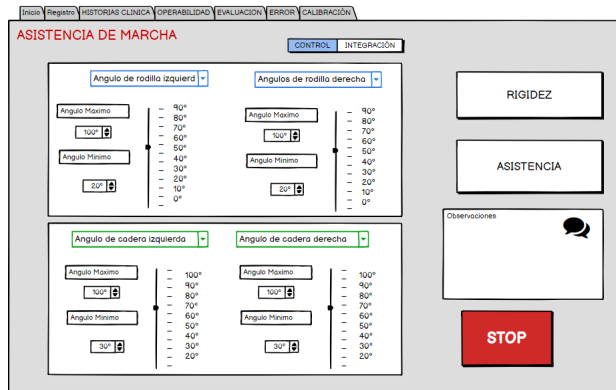


Figura 3.10: Pestaña de control del exoesqueleto en modo de asistencia en marcha

En la figura 3.10 se observan los parámetros de control del exoesqueleto en el modo de asistencia en marcha, que son similares a los del control en terapia, solamente se agregan parámetros como la lateralidad (izquierda o derecha), articulación (rodilla y cadera), detección de fases de marcha y abducción o aducción de cadera.

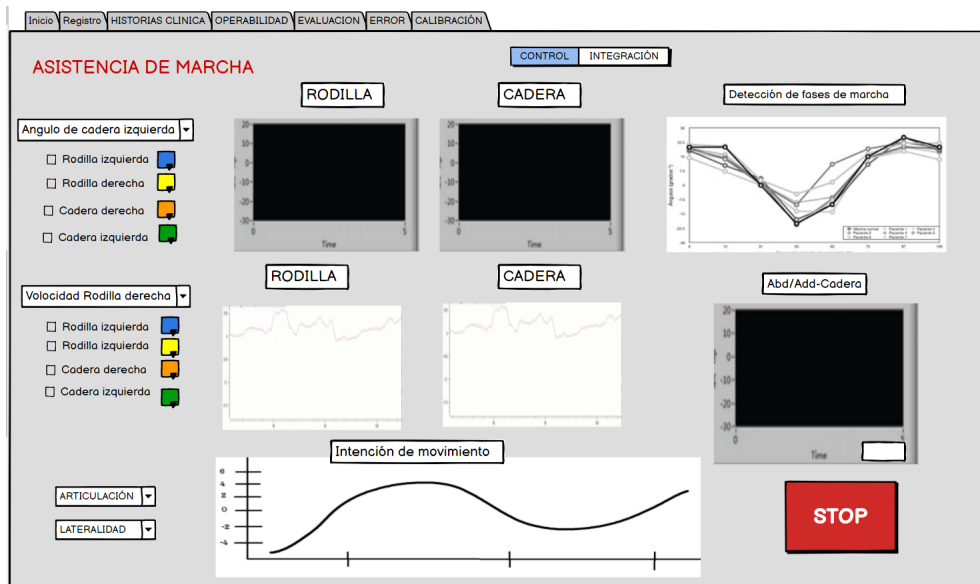


Figura 3.11: Pestaña de integración del exoesqueleto en modo de asistencia en marcha

En la figura 3.11 se observa la ventana de integración en modo asistencia en marcha con los mismos parámetros que en la integración en terapia estacionaria, además de detección de fases de marcha y abducción y aducción de cadera.

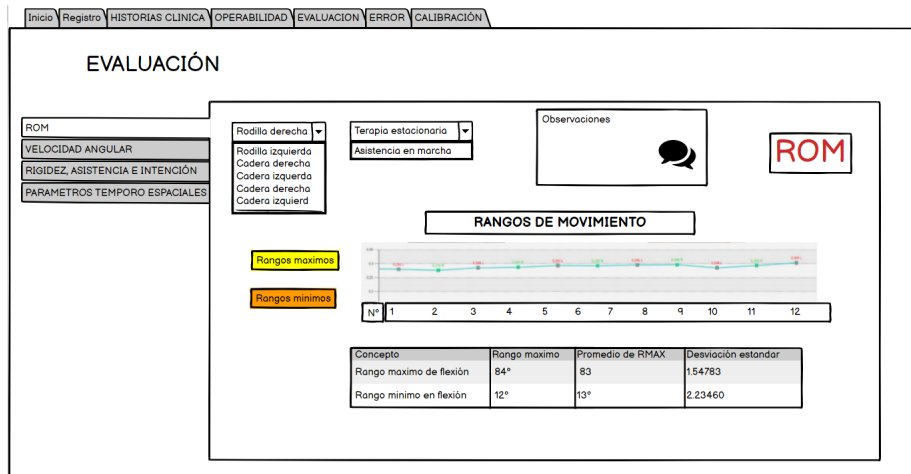


Figura 3.12: Pestaña de evaluación de diferentes parametros del exoesqueleto al terminar la terapia

En la figura 3.12, se observa la ventana de evaluación de los diferentes parámetros que se identificaron durante los modos de terapia estacionaria y asistencia en marcha, además de ciertos parámetros temporo-espaciales, como: velocidad, cadencia, longitud de paso, duración del paso izquierdo y derecho, porcentaje de apoyo derecho e izquierdo.

3.2 Interfaz visual con python

Después de esto se desarrolló la interfaz mediante el lenguaje de programación Python (Python Software Foundation, Países Bajos) con la ayuda de el módulo flask, para poder hacer uso tanto de las funciones de python como de html.

3.3 Encuesta de validación interfaz

Se realizó una encuesta al personal de la salud con diferentes preguntas que ayudan a esclarecer lo que se necesita realmente a la hora de realizar la terapia al paciente, mediante diferentes tipos de preguntas: abiertas (con respuesta larga para que el personal pudiera expresar más a fondo sus ideas), cerradas (si o no), con rango de respuestas (1 a 5, dónde 1 era totalmente de acuerdo y 5 era totalmente en desacuerdo). Además de que se presentó un video de la interfaz ejecutada mediante el lenguaje python para evidenciar mejor la funcionalidad de esta, las respuestas de la encuesta a dicha interfaz, además de la misma se encuentran en la sección de resultados.

Pregunta
Requiero de una capacitación para aprender a utilizar la interfaz
El lenguaje técnico utilizado en la interfaz es entendible
La información presentada se encuentra organizada
Considero fácil llegar a ser hábil en el uso del sistema
En general, encuentro la interfaz fácil de utilizar
La interfaz permite ejecutar los diferentes modos operativos del exoesqueleto
El uso de la interfaz facilitaría la configuración del sistema robótico según la estrategia de rehabilitación
La información registrada es relevante para realizar el seguimiento de los pacientes a lo largo de las sesiones
Considero que la interfaz facilitaría el uso del exoesqueleto de miembro inferior
En general, considero que la interfaz resultaría útil
Me siento satisfecho con los beneficios que podría obtener del prototipo de interfaz
Encuentro la interfaz confiable para comandar el exoesqueleto
Tengo la intención de utilizar el sistema de forma regular para la rehabilitación robótica de miembro inferior en un futuro próximo
Recomendaría a otros profesionales utilizar el sistema para la rehabilitación motora de miembro inferior con exoesqueleto

Tabla 3.1: Preguntas realizadas

3.4 Integración interfaz con sistema operativo del dispositivo

Para hacer uso de esta interfaz directamente con el exoesqueleto de miembro inferior AGo-RA, se requiere la integración de esta con el sistema operativo del dispositivo (*Robot Operating System* ROS por sus siglas en inglés), esto se realizó mediante: primero, el establecimiento de esta interfaz en la IP de la tarjeta de programación del dispositivo y segundo: mediante la

integración de los comandos establecidos en ROS con los disponibles en python para ejercer la funcionalidad del exoesqueleto.

Capítulo 4

RESULTADOS

El desarrollo de la interfaz se llevo a cabo mediante el diagrama de metodología estipulado en la figura 3.1, cada uno de los resultados se encuentran en las siguientes secciones.

4.1 Interfaz visual con Python

En las figuras 4.1-4.15 se presenta la interfaz desarrollada y se detalla cada una de las pestañas.



Figura 4.1: Pestaña de inicio de la interfaz visual

En la figura 4.1 se detalla la pestaña de ingreso a la interfaz visual de control y configuración del exoesqueleto, donde existen diferentes comandos (Paciente nuevo: registro de pacientes, Registrar: registro del personal de la salud y finalmente un usuario y contraseña para limitar el acceso al control del dispositivo).

BIENVENIDO AL SISTEMA

Nombres

Apellidos

Tipo de lesión

Edad

Peso(Kg)

Talla(cm)

Genero

Longitud pierna derecha(cm)

Longitud pierna izquierda(cm)

Figura 4.2: Pestaña de registro de paciente nuevo

En la figura 4.2 se detalla la pestaña de registro de paciente nuevo, donde se solicita información como: datos básicos, medidas antropométricas y tipo de lesión con el fin de llevar un registro personalizado de los usuarios del dispositivo.

BIENVENIDO AL SISTEMA

Nombres

Apellidos

Usuario

Contraseña

Figura 4.3: Pestaña de registro de personal de la salud

En la figura 4.3 se detalla la pestaña de registro del personal de la salud, donde se solicita información como: datos básicos y datos para el acceso a la interfaz, con el fin de restringir este mismo.

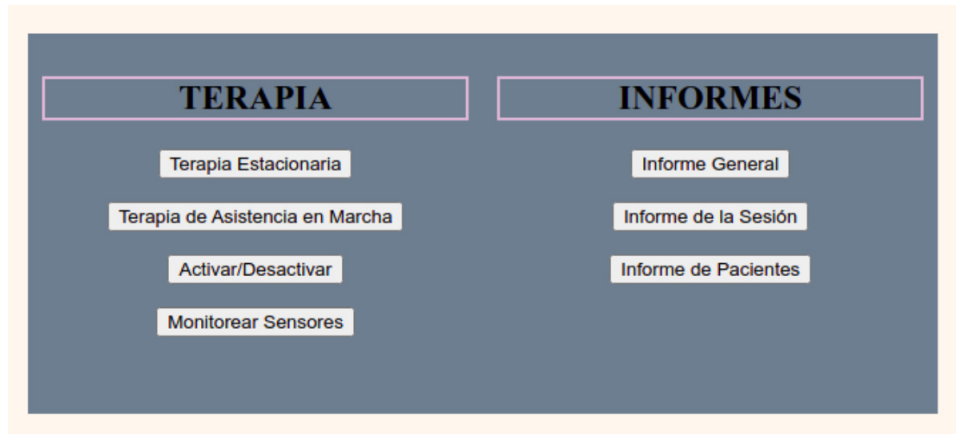


Figura 4.4: Pestaña de selección de operación del exoesqueleto

En la figura 4.4 se detalla la pestaña de selección de operación del exoesqueleto, allí se pueden observar dos grandes divisiones, en cuanto a terapia tiene dos modos de operación: terapia estacionaria y terapia de asistencia en marcha, además de una opción para activar o desactivar la sensorica principal del exoesqueleto que activa la monitorización de los datos de estos sensores en tiempo real. Mientras que en el módulo de informes, se presentan tres: informe general, informe de sesión e informe de pacientes; estos informes se usan como parte de una estrategia de realimentación al personal de la salud para conocer los parametros principales que se obtienen al realizar la terapia con el exoesqueleto en las articulaciones de cadera y rodilla.

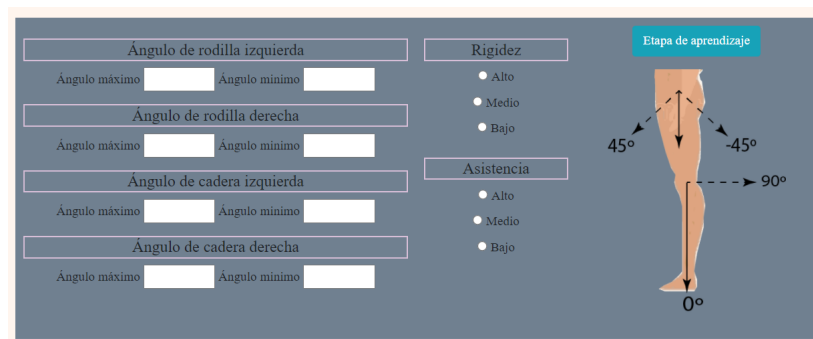


Figura 4.5: Pestaña de configuración de parametros del exoesqueleto

En la figura 4.5 se pueden observar diferentes parametros para la configuración del exoesqueleto, entre ellos los angulos máximos y mínimos de las articulaciones de la rodilla y cadera, el grado de rigidez y asistencia del dispositivo, con el fin de personalizar la terapia para el paciente y el personal de la salud encargado. También se encuentra la opción de la etapa de aprendizaje, cuyo objetivo es entrenar al dispositivo.

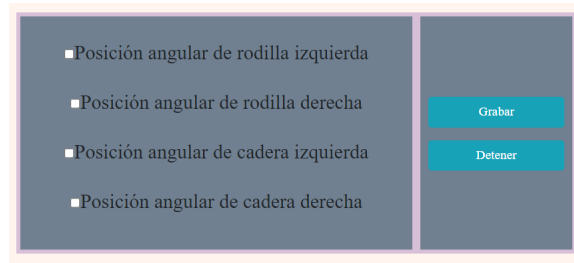


Figura 4.6: Pestaña de etapa de aprendizaje del exoesqueleto

En la figura 4.6 se encuentra la pestaña de etapa de aprendizaje del exoesqueleto, esta se usa para realizar un grabado de la posición angular de cada una de las articulaciones allí mencionadas, con el fin de que el dispositivo mejore la asistencia a través de estas grabaciones de la trayectoria durante la ejecución de las terapias.

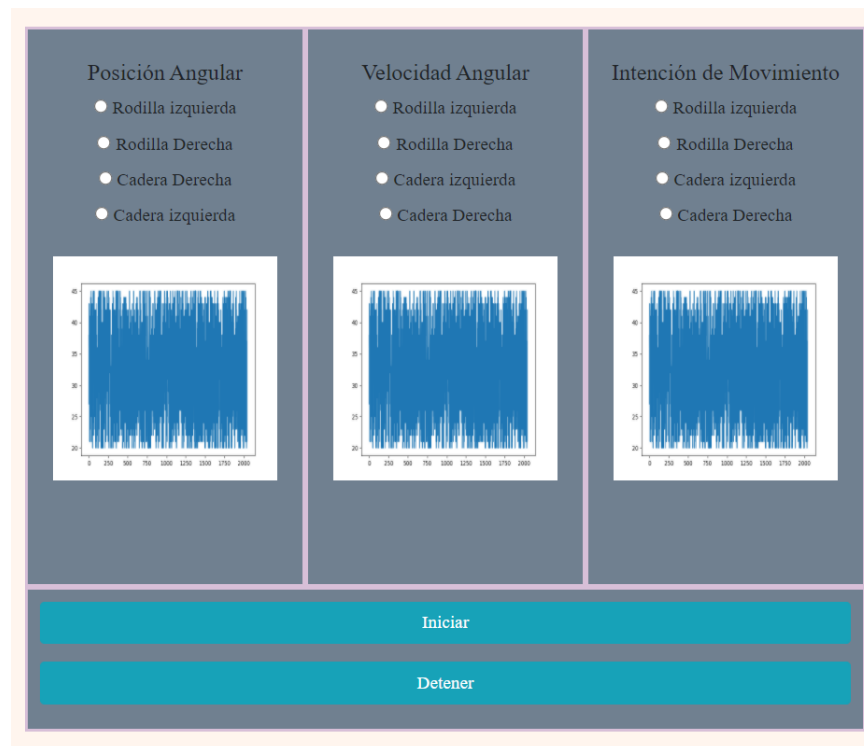


Figura 4.7: Pestaña de terapia estacionaria

En la figura 4.7 se encuentran los parámetros de posición, velocidad angular e intención de movimiento de las articulaciones de cadera y rodilla junto con una gráfica en tiempo real de estos parámetros, que son necesarios para monitorear la terapia estacionaria que se ejecuta en el paciente.

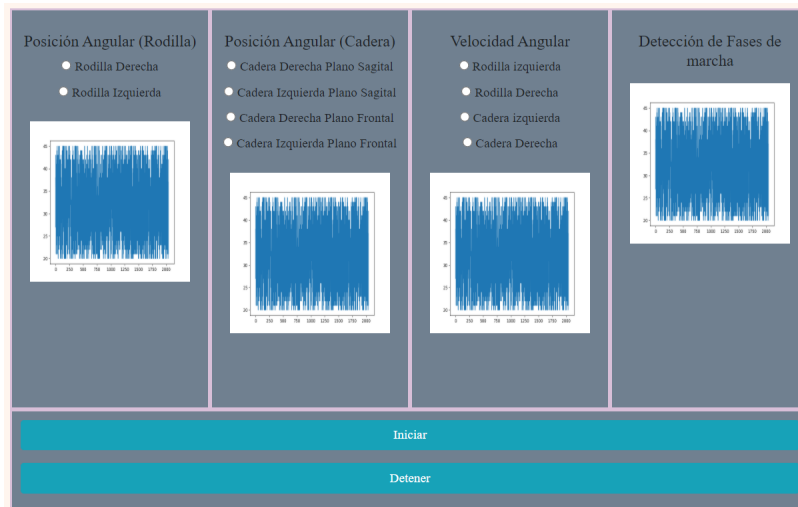


Figura 4.8: Pestaña de asistencia en marcha

En la figura 4.8 se observan los parámetros de posición angular de la rodilla, posición angular de la cadera en el plano sagital (divide al cuerpo por la mitad en lado derecho e izquierdo) y plano frontal (divide al cuerpo por la mitad en posterior y anterior), velocidad angular de las articulaciones y detección de fases de la marcha en las que se encuentra el paciente a lo largo de la terapia. Todos estos parámetros funcionan como realimentación para el personal de la salud en cuanto a monitoreo en tiempo real de cada articulación.

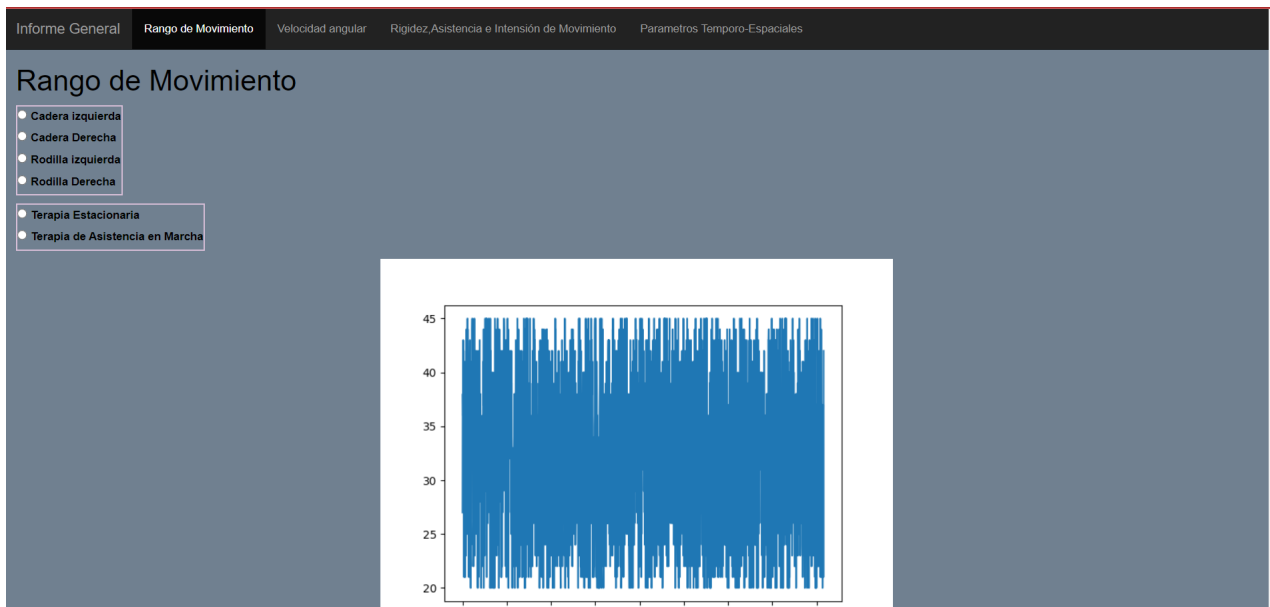


Figura 4.9: Pestaña de Informe General

En la figura 4.9 se encuentra la parte inicial del informe general que puede ser consultado por el personal de la salud para conocer diferentes parámetros como: rango de movimiento, velocidad angular, rigidez, asistencia, intensidad de movimiento y parámetros espacio-temporales,

todo con el fin de conocer una realimentación de la terapia realizada.

Id	Nombre	N° Terapias	Concepto	Rango Máximo	Rango Mínimo	Promedio	Desviación Estándar
			Rango máximo de flexión				
			Rango mínimo de flexión				

Figura 4.10: Rango de Movimiento en el informe general

En la figura 4.10 se observa la tabla de realimentación para el personal de la salud en cuanto al rango de movimiento del paciente durante la terapia.

Id	Nombre	N° Terapias	Concepto	Rango máximo	Rango mínimo	Promedio	Desviación Estándar
			Velocidades máximas				
			Velocidades promedio				

Figura 4.11: Velocidad angular en el informe general

En la figura 4.11 se presenta la tabla de realimentación para el personal de la salud en cuanto a la velocidad angular del paciente durante la ejecución de la terapia.

Id	Nombre	N° Terapias	Concepto	Rango máximo	Rango mínimo	Promedio	Desviación Estándar
			Rigidez				
			Asistencia				
			Intensión de Movimiento				

Figura 4.12: Rigidez, asistencia e intensidad de movimiento en el Informe General

En la figura 4.12 se presenta la tabla de realimentación para el personal de la salud en cuanto al nivel de rigidez, asistencia e intensidad de movimiento durante la ejecución de la terapia.

Parametros Temporo-Espaciales							
Id	Nombre	N° Terapias	Parametro	Resultado máximo	Resultado mínimo	Promedio	Desviación Estándar
			Velocidad				
			Cadencia				
			Longitud de Paso				
			Duración del paso derecho				
			Duración del paso izquierdo				
			% Fase de apoyo derecho				
			% Fase de apoyo izquierdo				

Figura 4.13: Parámetros Temporo-Espaciales en el Informe General

En la figura 4.13 se presenta la tabla de realimentación para el personal de la salud en cuanto a los parámetros temporo-espaciales como: velocidad, cadencia, longitud de paso, duración del paso derecho e izquierdo y porcentaje de fase de apoyo tanto derecho como izquierdo durante la ejecución de la terapia.

Informe por Sesión		Informe				
Informe						
Id	Nombre	Escala de Asworth	Rango de movimiento máximo	Rango de movimiento mínimo	Tiempo de la Sesión	Observaciones

Figura 4.14: Pestaña de Informe por sesión

En la figura 4.14 se observa la tabla de realimentación para el personal de la salud por sesión de terapia realizada en cuanto a parámetros como: escala de asworth, rangos de movimiento, tiempo de la sesión y observaciones.

Informe de Pacientes		Informe							
Informe									
Id	Nombres	Apellidos	Tipo de Lesión	Edad	Peso	Talla	Genero	Longitud pierna derecha(cm)	Longitud pierna izquierda(cm)

Figura 4.15: Pestaña de Informe de pacientes

En la figura 4.15 se presenta una tabla con la información registrada del paciente, como: datos básicos, tipo de lesión y algunas medidas antropométricas.

4.2 Encuesta de validación interfaz

Esta encuesta se realizó en dos secciones diferentes: la primera se trata de un consentimiento informado donde se le da a conocer al participante el objetivo de la encuesta, duración, riesgos, beneficios, incentivos y confidencialidad de su participación. En la segunda parte se encuentran una serie de preguntas cuyo formato se menciona en la metodología. Los resultados de dicha encuesta se encuentran en la tabla 4.1. Estos resultados muestran que parámetros como el lenguaje, información y manejo básico del exoesqueleto son entendibles y manejables para el personal de la salud. Además se observa que la interfaz es interactiva, de fácil uso y permite y facilita el control y configuración del exoesqueleto AGoRA.

Lo mencionado anteriormente se afirma ya que el promedio de respuesta es entre 4.5 a 5 donde 5 es completamente de acuerdo.

Además de esta encuesta, se elaboró una segunda con una metodología similar, las preguntas elaboradas se observan en las tablas 4.2, 4.3 y 4.4.

Pregunta	Promedio de respuesta
Requiero de una capacitación para aprender a utilizar la interfaz	4.43
El lenguaje técnico utilizado en la interfaz es entendible	4.71
La información presentada se encuentra organizada	4.86
Considero fácil llegar a ser hábil en el uso del sistema	4.71
En general, encuentro la interfaz fácil de utilizar	4.71
La interfaz permite ejecutar los diferentes modos operativos del exoesqueleto	4.86
El uso de la interfaz facilitaría la configuración del sistema robótico según la estrategia de rehabilitación	4.86
La información registrada es relevante para realizar el seguimiento de los pacientes a lo largo de las sesiones	4.86
Considero que la interfaz facilitaría el uso del exoesqueleto de miembro inferior	4.71
En general, considero que la interfaz resultaría útil	4.86
Me siento satisfecho con los beneficios que podría obtener del prototipo de interfaz	4.71
Encuentro la interfaz confiable para comandar el exoesqueleto	4.57
Tengo la intención de utilizar el sistema de forma regular para la rehabilitación robótica de miembro inferior en un futuro próximo	4.57
Recomendaría a otros profesionales utilizar el sistema para la rehabilitación motora de miembro inferior con exoesqueleto	4.71

Tabla 4.1: Promedios de respuesta por pregunta realizada

Pregunta
La interfaz muestra claramente la información que se encuentra registrada del usuario
En cada una de las pestañas estipuladas:¿se identifica claramente su funcionamiento y como se puede acceder a esta?
¿El lenguaje técnico utilizado en la interfaz es entendible para usted?
El nombre de cada opción o botón de la interfaz es el correcto según la interfaz a la que lo dirige
¿Considera usted útil que la interfaz tenga algún control de errores? (Ejemplo: pregunte en una o dos ocasiones al borrar algún dato existente, si esta seguro de hacerlo)
¿La información presente en cada una de las pestañas u opciones que se encuentran en la interfaz gráfica están acorde con el nombre o título de la pestaña?

Tabla 4.2: Preguntas realizadas con respuesta escala Likert (1 Totalmente en desacuerdo, 2 En desacuerdo, 3 Parcialmente de acuerdo, 4 De acuerdo y 5 Totalmente de acuerdo)

Pregunta
Rango de Movimiento articular (ROM)
Medidas antropométricas del paciente
Ángulos de cada articulación del paciente
Velocidad angular de las articulaciones
Intención de movimiento de las articulaciones
Rigidez del exoesqueleto
Nivel de asistencia del exoesqueleto
Longitud de los pasos del paciente
Duración de los pasos del paciente
Por favor califique el grado de dificultad que se observa en el video al momento de interactuar con la interfaz

Tabla 4.3: Preguntas realizadas con respuesta escala nivel de importancia (1 Muy bajo y 5 Muy alto)

Pregunta
Registro
Historias clínicas
Operabilidad (Terapia estacionaria: control)
Operabilidad (Terapia estacionaria: Integración)
Operabilidad (Terapia estacionaria: Feedback)
Operabilidad (Asistencia de marcha: control)
Operabilidad (Asistencia de marcha: Integración)
Evaluación (Rangos de Movimiento)
Evaluación (Velocidad angular)
Evaluación (Rigidez, asistencia e intención)
Evaluación (Parámetros temporo-espaciales)

Tabla 4.4: Preguntas abiertas de respuesta a la pregunta: ¿Qué cambiaría o mejoraría en cada una de las siguientes pestañas de la interfaz (Organización, cantidad de información, opciones o botones)?

4.3 Integración de la interfaz con sistema operativo del dispositivo

Actualmente al encender el dispositivo y acceder a un navegador web, se puede observar la interfaz desarrollada para el control y configuración del exoesqueleto.

En cuanto a los comandos de control y configuración del dispositivo, se evaluó el funcionamiento mediante el tiempo de respuesta desde que se accionaba el botón hasta que empezaba a realizar la función correspondiente, estos resultados se encuentran en la tabla 4.5.

Como se observa el promedio de respuesta de estos comandos es bastante rápido, esto facilita el manejo del dispositivo, además de disminuir los tiempos en cuanto a la configuración del mismo por parte del personal de la salud.

Comando	Funcionamiento	Tiempo de respuesta (s)
roslaunch exo-util assistance-mode-mod-sensory-interface.launch	Sensórica del exoesqueleto	4.5
roslaunch exo-gait-phase-det online-gait-phase-det.launch	Detección fases de marcha	3.2
roslaunch exo-hw-interface assistance-mode-mod.launch	Actuar el exoesqueleto	4.3

Tabla 4.5: Promedios de respuesta por comando integrado

Capítulo 5

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada en este estudio permitió conocer las diferentes interfaces, sus componentes, los datos e información importante que deben contener para apoyar al personal de la salud durante el uso del dispositivo.

El estudio realizado en este trabajo dirigido presenta una evaluación de la integración del exoesqueleto AGoRA con la interfaz gráfica para su control y configuración. Para evaluar el funcionamiento y la funcionalidad de dicha interfaz, se desarrollaron diferentes estrategias, entre ellas el desarrollo de varias encuestas para verificar que estuviera acorde con lo solicitado por el personal de la salud y su facilidad de manejo. Además de evaluar los tiempos de respuesta de la interfaz a los diferentes comandos de control del dispositivo.

Teniendo en cuenta los resultados de las pruebas mencionadas anteriormente se concluye que la interfaz es interactiva, el lenguaje es apropiado y las variables que se observan allí son importantes para el personal de la salud. Encuanto a los tiempos de respuesta, el promedio esta en 4 segundos, es decir que la interfaz responde oportunamente a la ejecución de los mismos, lo cual reduce el tiempo de configuración del dispositivo por parte del personal de la salud.

Bibliografía

- [1] Ministerio de Salud, «Ministerio de salud y protección social,“Sala situacional de Personas con Discapacidadp. 56, 2015,» n.º 4, 2015.
- [2] M. de Salud, «Sala situacional de las Personas con Discapacidad (PCD) Ministerio de Salud y Protección Social Oficina de Promoción Social p. 34, 2017,» n.º 3, 2017.
- [3] M.Afschrift, F. De Groote, J. De Schutter, and I.Jonkers, «The effect of muscle weakness on the capability gap during gross motor function: A simulation study supporting design criteria for exoskeletons of the lower limb,» *Biomedical Engineer Online*, vol. 13, n.º 5, págs. 1-15, 2014.
- [4] «Tecnología de asistencia <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>,» n.º 6, 19-Feb-2020.
- [5] MayoClinic- Accidente cerebrovascular - Síntomas y causas, «<https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/stroke/symptoms-causes/syc-20350113>,» n.º 2, 18-Feb-2020.
- [6] MedlinePlus, «Accidente Cerebrovascular <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000726.html>,» n.º 1, 17-Feb-2020.
- [7] P. Herrera-Saray, I. Peláez-Ballestas, L. Ramos-Lira, D. Sánchez-Monroy, R. Burgos-Vargas, «Problemas con el uso de sillas de ruedas y otras ayudas técnicas y barreras sociales a las que se enfrentan las personas que las utilizan. Estudio cualitativo desde la perspectiva de la ergonomía en personas discapacitadas por enfermedades reumáticas y otras condiciones,» *Reumatología. Clínica.*, vol. 9, págs. 24-30, 2013. DOI: 10.1016/j.reuma.2012.05.010..
- [8] A. B. Sanchez, «Uso de aditamentos ortopédicos: silla de ruedas, muletas, andadores y bastones,» *Universidad técnica de Ambato*, pág. 155, 2013.
- [9] H. Kawainot, S. Lee, S. Kanbe, «Power Assist Method for HAL-3 using EMG based Feedback Controller,» *2003 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 2, págs. 1648-1653, 2003. DOI: 10.1109/ICSMC.2003.1244649.
- [10] N. Aphiratsakun, M. Parnichkun, «Fuzzy based Gains Tuning of PD Controller for joint Position Control of AIT Leg Exoskeleton-I(ALEX-I),» *2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, vol. ROBIO 2008, págs. 859-864, 2008.
- [11] C. Bayon, O. Ramirez, F. Molla, «CPWalker, RObotic Platform for Gait Rehabilitation and Training in patients with Cerebral Palsy,» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, under review*, págs. 3736-3741, 2015.
- [12] C. Bing, C.-H. Zhong, X. Zhao et al., «A wearable exoskeleton suit for motion assistance to paralysed patients,» *Journal of Orthopaedic Translation*, 2016.

- [13] F. Amirabdollahian, A. S. B. A et al., «Design, development and deployment of a hand/wrist exoskeleton for home-based rehabilitation after stroke - SCRIPT project,» *Robótica*, 2014.
- [14] G. Yogeswaran, S. Gobeeva y V. Durairajaha, «Development of an Upper Limb Exoskeleton for Rehabilitation with Feedback from EMG and IMU Sensor,» *IEEE International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, 2015.
- [15] B. Yassine, I. B. Abdallah y A. M. Elmogy, «Training of Hand Rehabilitation Using Low Cost Exoskeleton and Vision-Based Game Interface,» *Journal of Intelligent Robotic Systems*, 2019.
- [16] A. F. Alhajar, G. S y V. D, «3D GUI System for Upper Limb Rehabilitation using Electromyography and Inertia Measurement Unit Sensor Feedback,» *Conference on Biomedical Engineering and Sciences.*, 2014.
- [17] M. Soumya Kanti y S. Bhaumik, «A Bioinspired 10 DOF Wearable Powered Arm Exoskeleton for Rehabilitation,» *Journal of robotics*, 2013.
- [18] I. A. A. D. 1, S. Noveanu1, O. M. Tătar1 y D. S. Mândru1, «Shoulder-elbow exoskeleton as rehabilitation exerciser,» *Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016.
- [19] H. Jiping y T. Sugar, «RUPERT: a device for robotic upper extremity repetitive therapy,» *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2005.
- [20] B. Jaewon, S. Koh, H. S. Nam et al., «Robotic Mirror Therapy System for Functional Recovery of Hemiplegic Arms,» *JOVE journal of visualized experiments*, 2016.
- [21] J. Li, L. H, Z. X, P. G y X. Q, «The Design and Implementation of Lower Limb Rehabilitation Robot Based on BWSTT,» *ICARCV*, 2012.
- [22] C. Mendoza, R. Gordillo y J. L. Soto, «Wearable Human Lower Limb Prototype Exoskeleton: An Operative Approach,» *Conference on Control Automation*, 2014.
- [23] A. G. h. E. Villarejo J Valencia J, «Sistema de biofeedback para rehabilitación de marcha asistida por un exoesqueleto,» *Revista Ingeniería Biomédica*, 2018.
- [24] M. Gandolla, G. E, D. A, C. G, M. F y P. A, «Automatic Setting Procedure for Exoskeleton-Assisted Overground Gait: Proof of Concept on Stroke Population,» *Frontiers in NeuroRobotics*, 2018.
- [25] J. Cornejo, L. Santana y S. S. A, «Exoskeleton for gait rehabilitation of children: Conceptual design,» *International Conference on Rehabilitation Robotics*, 2017.
- [26] B. L. Shideler, B. T. C, C. J, S. C, G. A y D. D. L, «Toward a hybrid exoskeleton for crouch gait in children with cerebral palsy: neuromuscular electrical stimulation for improved knee extension,» *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2020.
- [27] M. Weiguang, X. Zhang y G. Yin, «Design on Intelligent Perception System for Lower Limb Rehabilitation Exoskeleton Robot,» *13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, 2016.
- [28] G. A.-P. Eloy Urendes, R. Ceres, R. García-Carmona, R. Raya y J. L. Pons, «HYBRID: Ambulatory Robotic Gait Trainer with Movement Induction and Partial Weight Support,» *Sensor*, 2019.

- [29] Microgate Medical. «<https://medical.microgate.it/es/soluciones/amplitud-dinamica-del-movimiento>, 05 de Marzo de 2022.» (2022).
- [30] Agredo, C. Bedoya, J, «Validación Escala de Ashworth modificada,» *Fisioterapia*, 2005.
- [31] F. Salaffi, A. Stancatti, «Reliability and validity of the Italian version of the Chronic Pain Grade questionnaire in patients with musculoskeletal disorders,» *Clinical Rheumatology*, 2006.