



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



INGENIERÍA DE LA SALUD

APLICACIÓN DE UN GUANTE INSTRUMENTADO PARA EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD DE LA MANO

APPLICATION OF AN INSTRUMENTED GLOVE TO HAND MOBILITY ASSESSMENT

Realizado por

Raúl Vereza Reina

Tutorizado por

Fernando Vidal Verdú

Andrés Trujillo León

Departamento

ELECTRÓNICA

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

MÁLAGA, SEPTIEMBRE 2021

Resumen

En el presente trabajo se realiza la revisión, estudio y mejora de una aplicación previamente desarrollada de un guante instrumentado, para la evaluación de la función motora del miembro superior en rehabilitación.

El guante instrumentado está compuesto por sensores de fuerza distribuidos y su electrónica de adquisición, y por sensores inerciales que forman parte del sistema comercial Perception Neuron. Cuenta con una aplicación que unifica los datos recogidos por ambos sistemas de sensores y en este trabajo se realizará el procesamiento y análisis de estos.

En la memoria se exponen los algoritmos diseñados para el estudio del movimiento individual de los dedos y su fuerza. Se definen unas pruebas e índices de mediciones, para la posterior comparación de resultados con otros sistemas utilizados en artículos de referencia. El fin de estos resultados es evaluar si el guante puede complementar a los sistemas de puntuación clínica estandarizados para personas con ictus, que no cuentan con dispositivos instrumentados, sino que están basados en mediciones cualitativas.

Este trabajo consiste principalmente en la preparación del entorno para realizar pruebas con pacientes de ictus, pero el funcionamiento del sistema será probado con personas sanas.

Finalmente, se concluye que el guante puede ser útil, se discuten sus limitaciones y se proponen líneas futuras para continuar con el desarrollo y mejora del sistema.

Palabras claves

Guante instrumentado, rehabilitación, miembro superior, monitorización

Abstract

This paper reviews, studies and improves a previously developed application of an instrumented glove for the assessment of the upper limb motor function in rehabilitation.

The instrumented glove is composed of distributed force sensors and their acquisition electronics, and inertial sensors that are part of the Perception Neuron commercial system. It has an application that unifies the data collected by both sensor systems and in this project the processing and analysis of these data will be carried out.

The report presents the algorithms designed for the study of the individual finger movements and their strength. Tests and measurement indices are defined, for the subsequent comparison of results with other systems used in reference articles. The purpose of these results is to evaluate whether the glove can complement standardised clinical scoring systems for people with stroke, which do not have instrumented devices, but are based on qualitative measurements.

This project consists mainly of setting up the environment for testing on stroke patients, but the system will be tested on healthy people.

Finally, it is concluded that the glove can be useful, its limitations are discussed and future directions for further development and improvement of the system are proposed.

Keywords

Instrumented glove, rehabilitation, upper-limb, monitoring

Índice

Resumen.....	
Abstract	
Índice.....	
Lista de abreviaturas	
Introducción.....	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Tecnologías a utilizar	3
1.4. Estructura del trabajo	3
1.5. Metodología de trabajo	4
Revisión del guante instrumentado.....	5
2.1. Descripción general del sistema guante	5
2.1.1. Hardware	5
2.1.2. Análisis del Software de Perception Neuron: Axis Neuron.....	8
2.1.2. Versión original de la aplicación	10
2.2. Nueva Versión	12
2.2.1 Variaciones.....	12
2.2.2. Funciones adicionales	13
Tratamiento de datos	15
3.1. Procesamiento	15
3.1.1. Lectura	15
3.1.2. Filtrado	16
3.2. Visualización de datos	17
3.3. Algoritmos para el análisis.....	23

3.3.1. Individualidad	23
3.3.2. Fuerza	26
Experimento	29
4.1. Justificación del experimento.....	29
4.2. Sujetos	31
4.3. Instrucciones	34
Resultados	37
5.1. Individualidad	37
5.2. Fuerza	43
Conclusiones y Líneas Futuras.....	47
6.1. Evaluación del guante.....	47
6.2. Líneas futuras.....	48
Referencias	49
Apéndice.....	53
Apéndice A. Código de MATLAB	53
Apéndice B. Código fundamental añadido en Pressure App	61
Apéndice C. Manual de instalación y uso	63
Anexo	71
Anexo A: Fugl-Meyer Test (FMA).....	71
Anexo B: Motor Status Statement (MSS)	74
Anexo C: Action Research Arm Test (ARAT)	76
Anexo D: Wolf Function Motor Test (WFMT)	77

Lista de abreviaturas

A: Dedo anular

AN: Axis Neuron

ARAT: Action Research Arm Test

C: Dedo corazón

DIP: Articulación interfalángica distal

FI: Individualidad del dedo

FIFO: First In, First Out

FMA: Fugl-Meyer Assessment

FSR: Sensor de fuerza resistivo

I: Dedo índice

M: Dedo meñique

MCP: Articulación metacarpofalángica

MSS: Motor Status Statement

MVC: Contracción máxima voluntaria

P: Dedo pulgar

PA: Pressure App

PCB: Printed Circuit Board

PIP: Articulación interfalángica proximal

PN: Perception Neuron

TFG: Trabajo de Fin de Grado

WFMT: Wolf Motor Function Test

1

Introducción

En este primer capítulo se expondrá la justificación de este trabajo, junto a sus objetivos, la estructura y la metodología del mismo, para complementar el Trabajo Final de Grado (TFG) en el que se desarrolló el guante instrumentado (Giner, 2019).

1.1. Motivación

La recuperación de la funcionalidad de la mano es crucial en personas que han sufrido un infarto cerebral. Para mejorar su calidad de vida y realizar la rehabilitación de la extremidad superior existen sistemas robóticos médicos, pero que resultan ser pesados, con un único grado de movimiento (Moromugi et al., 2014) o con tallas únicas que deben ser personalizadas para cada paciente (Huang et al., 2019). El guante desarrollado nos permite medir magnitudes de fuerza y posición angular simultáneamente, con un dispositivo ligero que minimiza las restricciones de movimiento.

Señalan que los pacientes que sufrieron un ictus lacunar, a pesar de recuperar el rango de movimiento de los dedos, aumentaron el acompañamiento inintencionado del resto de dedos durante las contracciones musculares del dedo instruido al movimiento (Schieber et al., 2009). La importancia de la individualidad de los dedos recae en que el pulgar juega un papel del 50% de las tareas funcionales, y el índice y corazón el 30% y 20%, respectivamente (Huang TY et al., 2019). Adicionalmente, se conoce desde hace tiempo que los daños en la corteza motora

o en el tracto corticoespinal producen debilidad de las partes del cuerpo afectadas. Esta debilidad es mayor en los músculos distales que en los músculos proximales, y los movimientos de los dedos se vuelven particularmente débiles (Colebatch & Gandevia, 1989). Con el guante desarrollado podemos medir la distribución de la debilidad en las distintas falanges, para medir la discapacidad motora de una forma más específica a la hora de realizar diversas tareas de manipulación de objetos y la individualidad de los dedos para una rehabilitación de precisión.

Con nuestro guante podremos realizar un análisis de las fuerzas de agarre, estas se usan para documentar incluso las alteraciones más sutiles del control de la fuerza en los dedos, y pueden utilizarse como herramienta de diagnóstico y para la evaluación objetiva del tratamiento en los trastornos neurológicos del movimiento (Nowak & Hermsdörfer, 2006).

La rehabilitación de las extremidades superiores se evalúa con test cualitativos como el Action Research Arm Test (ARAT), Fugl-Meyer Assessment (FMA), Motor Status Statement (MSS), Wolf Motor Function Test (WMFT), que no permiten la monitorización del progreso de recuperación, no consideran la interacción entre los diferentes dedos, sino que evalúan la extremidad superior en conjunto (Susanto et al., 2005). La aplicación diseñada generará resultados cuantitativos que permitirán la monitorización concreta del estado de la mano.

1.2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es preparar un entorno apto para realizar pruebas a pacientes con ictus y monitorizar la evolución de la rehabilitación con sensores de fuerza e inerciales.

Cuenta con objetivos específicos:

1. Depurar, revisar y completar el sistema previamente desarrollado, para poder medir la individualidad de los dedos y la fuerza ejercida por ellos en diferentes tipos de pruebas.
2. Diseñar un experimento para ejecutar las tareas con las que evaluar la funcionalidad de la mano.
3. Realizar los test establecidos y seguir el protocolo con personas sanas del entorno, para mostrar las funcionalidades del guante.

4. Comparar resultados de los test con procedimientos de otros dispositivos para evaluar la utilidad del guante como herramienta clínica.

1.3. Tecnologías a utilizar

MATLAB es una plataforma que integra herramientas para resolver problemas de ingeniería y científicos con un lenguaje propio de alto nivel, basado en matrices. Está presente en dispositivos de monitorización de la salud, diseño de control, robótica, procesamiento de imágenes, etc. En este trabajo ha sido la herramienta utilizada para procesar, filtrar y diseñar algoritmos para el análisis de datos y su visualización. (MATLAB *Documentation - MathWorks*, s. f.).

Los algoritmos que diseñamos en este trabajo serán requeridos para monitorizar el progreso y estado de pacientes que usen el guante instrumentado. Todas las funciones diseñadas descritas en este apartado pueden verse en el Apéndice A.

Adicionalmente, en el capítulo 2 se describirán los componentes y la tecnología que componen el guante.

1.4. Estructura del trabajo

Capítulo 1 - Introducción: Se justifica la realización de este trabajo, se exponen sus objetivos, la estructura y la metodología del mismo.

Capítulo 2 - Revisión del guante instrumentado: Se da a conocer la descripción general del sistema, funcionamiento y su estructura, se describen y argumentan las variaciones realizadas y las nuevas funcionalidades.

Capítulo 3 - Tratamiento de datos: Se exponen los algoritmos diseñados para completar el sistema del guante instrumentado, que servirán para medir la individualidad y fuerza, para evaluar la rehabilitación con cada paciente.

Capítulo 4 - Experimento: Se exponen los sujetos y los resultados de un artículo del que se pretende seguir su protocolo, se resumen los tipos de pruebas clínicas evaluativas de la funcionalidad de la mano y los materiales requeridos, se argumenta el diseño de los ejercicios

para el propio experimento, se describen los pasos creados para realizar pruebas con nuestro propio guante.

Capítulo 5 - Resultados: Se muestran los resultados de las pruebas realizadas con los sujetos, como se deberá mostrar el avance de la rehabilitación del paciente en caso de la aplicación clínica del guante. Se comparan nuestros resultados con los de otros dispositivos similares para evaluar su funcionalidad.

Capítulo 6 - Conclusiones y líneas futuras: Se discute si la información proporcionada por el guante es útil, sus posibles mejoras y carencias, se propondrán líneas futuras.

Apéndice: Incluyen código imprescindible desarrollado en C#, las funciones de análisis diseñadas en Matlab y un manual de uso del sistema.

Anexo: Incluye los protocolos de pruebas de movilidad evaluativas, donde se exponen los ejercicios y materiales.

1.5. Metodología de trabajo

Al partir de un sistema previamente desarrollado, hay una primera fase de estudio del mismo, en la que también se corrigen errores y se completa su funcionalidad añadiendo mejoras.

Después de esto, se estudia el procedimiento publicado en la referencia (Susanto et al., 2015) con el fin de seguir sus pasos, adaptando nuestras posibles mediciones a los índices que definen. Además, se realiza la lectura de otros artículos de instrumentación para la rehabilitación de la mano argumentar el potencial de nuestro guante.

Tras esta adaptación, se diseña software para analizar las mediciones y posteriormente se automatiza el cálculo para varios sujetos.

Se elabora un experimento en el que se aborden todas las variables que se quieran estudiar para evaluar la funcionalidad del guante. Se realizan los ejercicios con personas sanas y se comparan los resultados con los obtenidos en (Susanto et al., 2015).

Finalmente, se documenta el trabajo en una memoria que incluye las conclusiones de la comparación hecha y la evaluación de la utilidad del guante como herramienta clínica. También se documenta el entorno de trabajo y un manual de uso del sistema, para poder hacer un estudio más amplio incluido en líneas futuras con pacientes de ictus.

2

Revisión del guante instrumentado

2.1. Descripción general del sistema guante

El guante con el que trabajaremos es un guante instrumentado que nos permite medir la fuerza y el movimiento de las falanges y palma de la mano. Está compuesto del sistema comercial PN y un sistema electrónico desarrollado por el departamento de electrónica de la Universidad de Málaga.

A continuación, se expondrán de forma resumida los elementos que lo componen y sus funcionalidades. La justificación de la selección de los elementos, se encuentra recogida en un TFG previo (Giner, 2019).

2.1.1. Hardware

La base del sistema es un guante de poliuretano para un mayor ajuste a la mano y sensibilidad al tacto. Es un guante para mano derecha, con 24 sensores FSR genéricos de resistencias variables (Figura 1 izquierda), sirven para la detección de fuerza, pero no cuentan con alta

precisión. Requiere de una PCB llamada Smart Glove v1 basada en una matriz de puertas lógicas programable en campo (FPGA), que permite la conexión directa de sensor-FPGA.

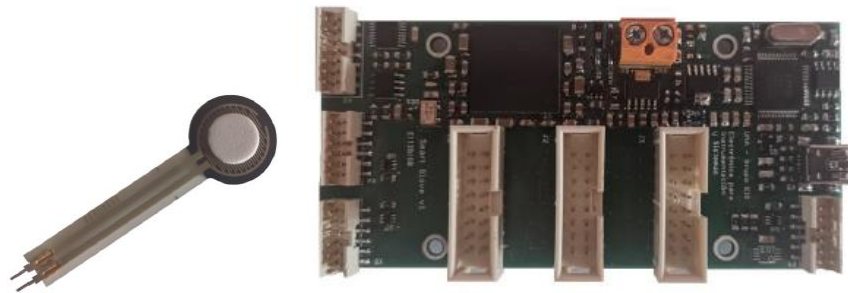


Figura 1 Sensor FSR y PCB Smart Glove v1. Imagen adaptada de (Giner, 2019)

Los sensores FSR están posicionados sobre las tres falanges: distal, intermedia y proximal en los dedos índice, corazón, anular y meñique, y en las dos falanges: distal y proximal del pulgar (Figura 2), así como en la zona metacarpiana de cada dedo y en las zonas musculares flexoras del meñique y del músculo oponente del pulgar (Figura 3).

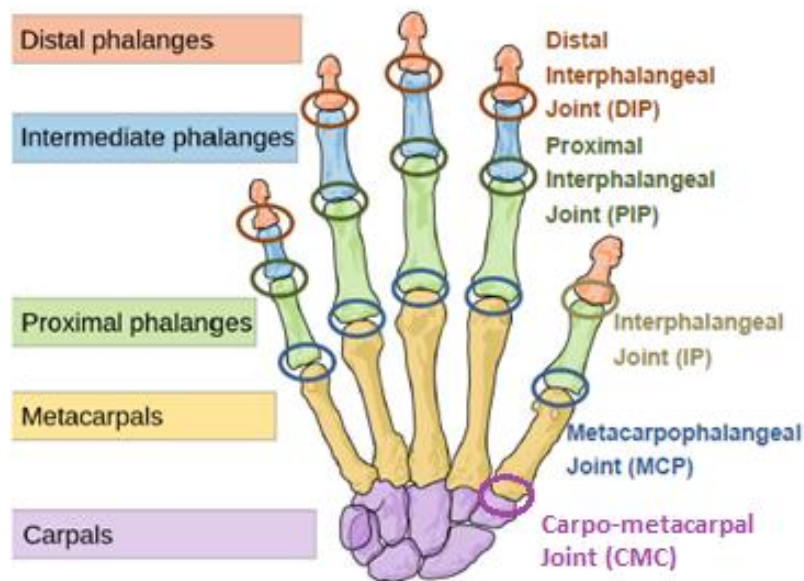


Figura 2 Huesos y articulaciones de mano humana. Imagen adaptada de (Susanto, 2015).

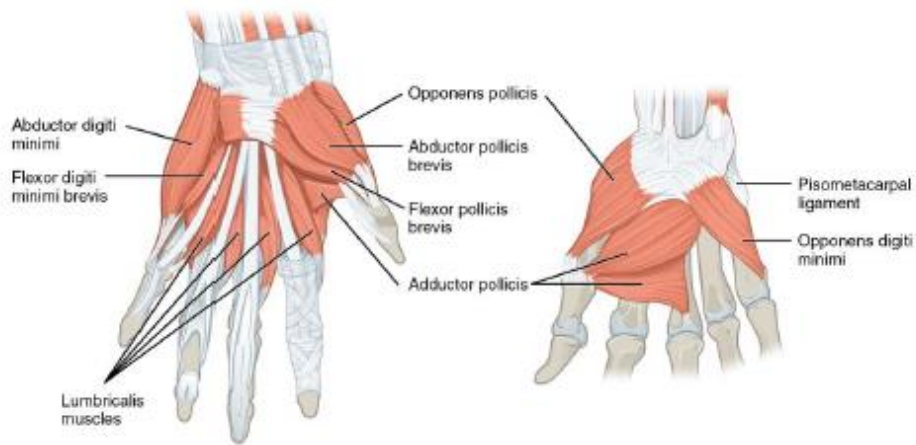


Figura 3 Músculos intrínsecos de la mano (Susanto, 2015).

El sistema de PN está equipado con sensores que proporcionan información sobre el ángulo de flexión de las articulaciones (Figura 4). Usamos 9 sensores denominados “neuronas”, que están compuestas por un giroscopio, magnetómetro y acelerómetro (Axis Neuron Manual).



Figura 4 Eje de coordenadas de neuronas de PN (Axis Neuron Manual).

En este trabajo no se utiliza la neurona en la extremidad superior proximal, pero sí se requieren en el resto de posiciones indicadas, usando como referencia una neurona en el dorsal de la mano (Figura 5).


Single arm	10-Neurons Hub USB cable Dual pogo-pin cable/Body straps Gloves	
------------	---	--

Figura 5 Equipamiento de PN para extremidad superior (Axis Neuron Manual).

En la Figura 6 se muestran los dos sistemas acoplados:



Figura 6 Guante instrumentado con sensores FSR y sistema de Perception Neuron (elaboración propia).

2.1.2. Análisis del Software de Perception Neuron: Axis Neuron

Axis Neuron es el software que permite usar los sensores de PN, es una interfaz gráfica que permite la visualización del movimiento y de gráficas con las mediciones en tiempo real, entre otras funciones. En este software se proporcionan dos tipos de datos: BVH o Calculation, el primer modo ofrece datos de desplazamiento y ángulo, mientras que el segundo modo proporciona el desplazamiento, velocidad, cuaterniones, aceleración y orientación. Sin embargo, la realidad es que para las falanges no ofrece el desplazamiento ni la velocidad.

Para el estudio de este trabajo, en primera instancia se iban a utilizar datos de desplazamiento, pero tras lo mencionado anteriormente, se optará por tratar los datos de ángulo que ofrece el modo BVH. Además, tras un estudio de la información proporcionada por los sensores de PN, observamos que parece ofrecer información sobre el ángulo de cada falange, pero en los dedos corazón, anular y meñique, el sensor únicamente se ubica en la

falange media, proporcionando el mismo valor recogido por este sensor para las distales y proximales, como una estimación. Para los dedos índice y pulgar que cuentan con dos neuronas, la estimación es la siguiente:

En el pulgar: Metacarpo (thumb1), falange proximal (thumb2), falange distal (thumb3). Thumb2 y thumb3 son variables independientes.

Ecuación para estimación de coordenada y

$$\text{thumb1} = m * \text{thumb2} + k; k = 66 \text{ y } m = 0.45 \quad (1)$$

Ecuación para estimación de coordenada z

$$\text{thumb1} = m * \text{thumb2} + k; k = 40 \text{ y } m = 1 \quad (2)$$

En el dedo índice únicamente se reciben datos del eje z, son: falange distal (index1), falange media (index2) y falange proximal (index3). Index1 e index2 son mediciones independientes.

$$\text{index3} = \text{index2} / 2 \quad (3)$$

Las mediciones de ángulo que usaremos emplean como referencia el sensor situado en el dorsal de la mano derecha. Como observamos en la Figura 7, nos proporciona información en un sistema de coordenadas de tres dimensiones.

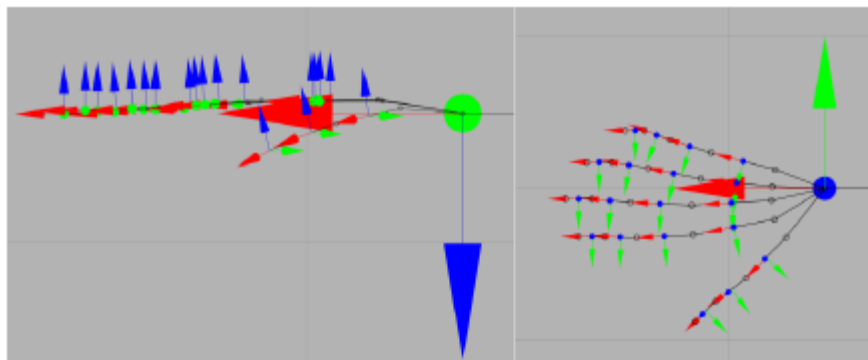


Figura 7 Sistema de coordenadas de mano derecha. Eje x, rojo; eje y, verde; eje z, azul (Axis Neuron Manual).

2.1.2. Versión original de la aplicación

Pressure App es una interfaz gráfica desarrollada en C#, que permite la recogida de datos de los sensores FSR y su sincronización con el software AN. En ella se visualizan en tiempo real los datos recogidos por los 24 sensores de fuerza.

En la Figura 8 y Figura 9 se muestra la interfaz durante la práctica de un ejercicio, en el que se observan los sistemas PN y PA respectivamente.

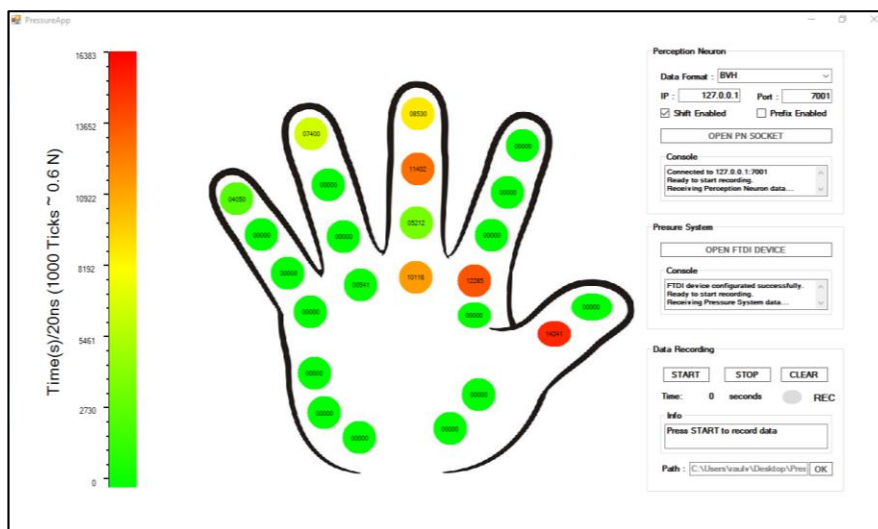


Figura 8 Interfaz de Pressure App (elaboración propia).

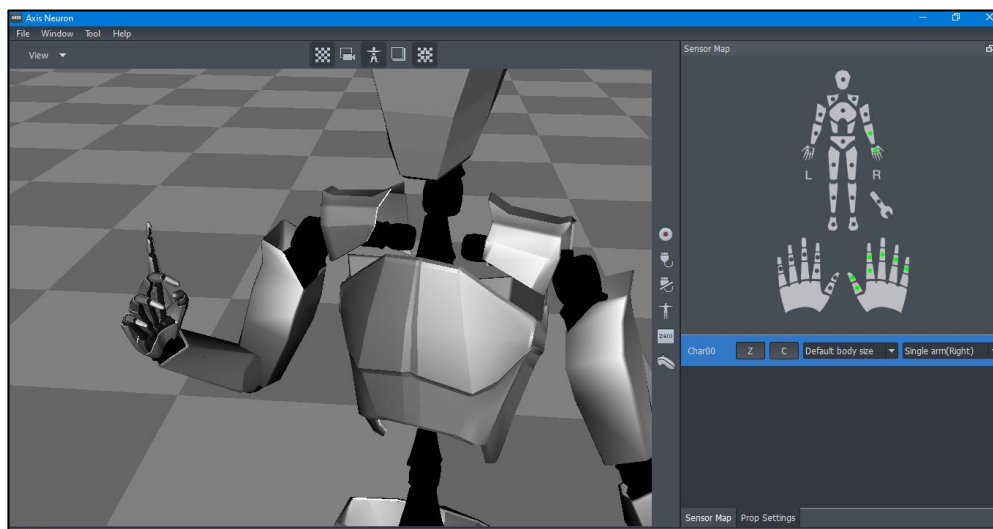


Figura 9 Interfaz de Axis Neuron (elaboración propia).

La aplicación permite configurar el formato de recogida de datos que ofrece Axis Neuron, estos son BVH o Calculation, mencionados en el apartado anterior.

Es necesario tener conectados el servicio de Axis Neuron y el sistema de sensores de presión, ya que no pueden realizarse grabaciones sin alguno de ellos. PA cuenta con paneles de texto que antes de iniciar los ejercicios, informan del actual comportamiento de la aplicación; si ha sido posible conectarla o si hay algún error en el servicio.

La grabación se inicia con un gesto de presión en la falange distal del pulgar y del índice. Durante el funcionamiento de la aplicación, se visualiza con colores la intensidad de la fuerza recogida en la lectura de los sensores.

La aplicación guarda la información de los dos sistemas de sensores, en un mismo archivo simultáneamente. Se recomienda usar dos pantallas para visualizar los dos sistemas y comprobar el buen funcionamiento de los mismos. En la Figura 10 se muestra el flujo de la aplicación.

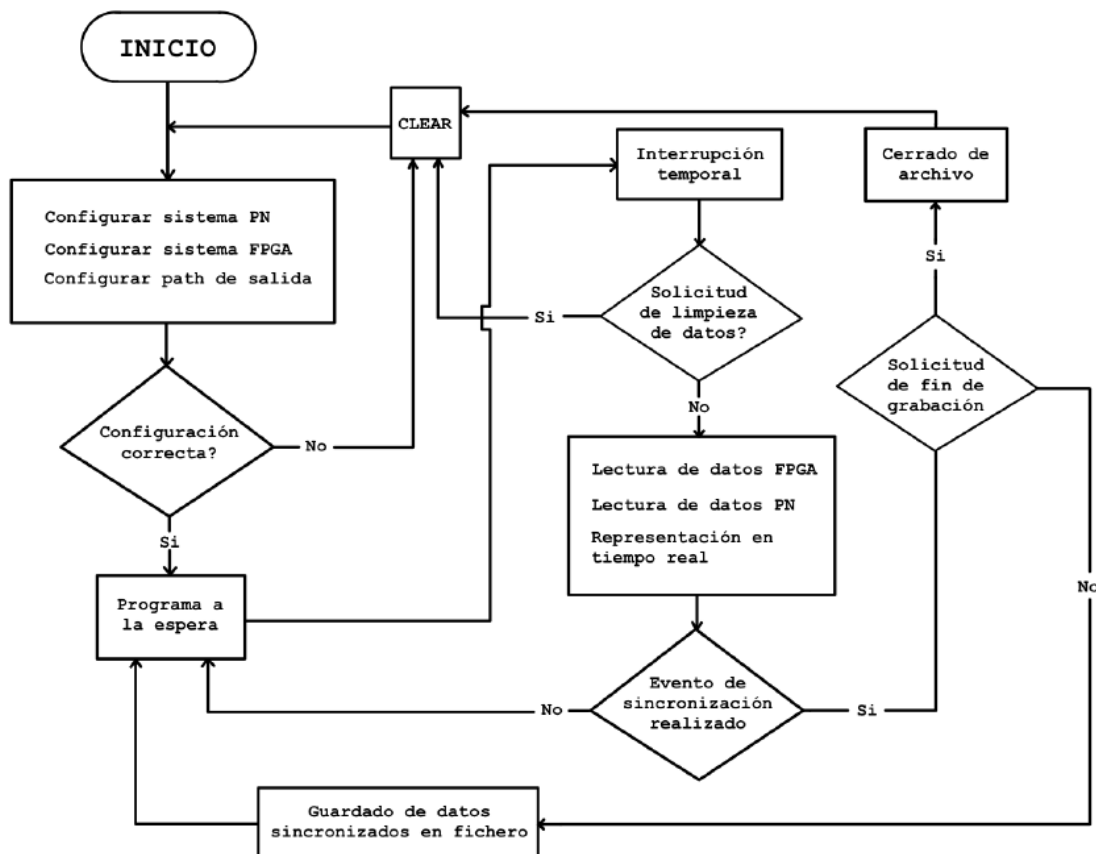


Figura 10 Diagrama de flujo de Pressure App (Giner, 2019).

2.2. Nueva Versión

Se han realizado cambios en la aplicación que facilitan su uso y mejoran la funcionalidad del sistema. El uso de la aplicación es más directo y automatizado.

2.2.1 Variaciones

- Inicio de la grabación: Para facilitar el uso del programa con los pacientes, ahora no es necesario una señal gestual para iniciar la grabación, ésta se iniciará al pulsar el botón “START”. Este cambio se debe a dos motivos principales: El esfuerzo requerido y posición inicial de los ejercicios. El sujeto puede no tener la fuerza necesaria para activar los sensores, ya que requerían un gesto que generase una señal de 8,4 N, y disminuir el valor de esta señal podría generar inicios erróneos de la aplicación. Por otra parte, para realizar los ejercicios de monitorización, el cambio de postura para activar la grabación y el inicio del ejercicio puede dificultar la tarea al sujeto, además de proporcionar datos inservibles en las grabaciones. Con este cambio, la persona encargada de realizar las pruebas puede iniciar el ejercicio cuando sea oportuno.
- Formato de datos predeterminado: Ahora el formato predeterminado de recepción de datos desde PN, será el modo BVH y no será necesario configurarlo en cada grabación, ya que será el usado por el software complementario en Matlab. Sigue permitiéndose la opción de seleccionar el modo Calculation para posibles desarrollos futuros.
- Independencia de sistemas: Si solo se requieren tareas en las que se evalúe la fuerza, ahora pueden realizarse grabaciones únicamente con los sensores FSR, y no se tendrá que disponer del software Axis Neuron. Este cambio ha sido motivado por la indisponibilidad de los sensores inerciales, por la imposibilidad de uso del software del sistema auxiliar o para realizar pruebas que no requieran grabaciones de movimientos.
- Control de errores: Se ha depurado el sistema, corrigiendo errores que implicaban el cierre de la aplicación cuando el uso no era el esperado. Se ha mejorado el control de minimizar y extender la aplicación, para poder visualizar los programas Axis Neuron y Pressure App simultáneamente, en caso de no tener dos pantallas como se recomendaba en la primera versión.

2.2.2. Funciones adicionales

- Control de la duración de la grabación: Se ha añadido un cronómetro para facilitar los ejercicios que precisen de una medición de tiempo sin la necesidad de un sistema externo. Desde la misma aplicación se puede observar la duración de la grabación. Esto permite, por ejemplo, indicar cuánto tiempo se mantiene una posición, la duración de una orden o controlar el intervalo entre ejercicios para no fatigar al músculo.
- Decodificación de grabaciones: La aplicación original registraba en ficheros los datos recogidos por los sistemas, pero estos no eran decodificados. Parte imprescindible del código añadido en esta nueva versión, trata de un algoritmo para decodificar las grabaciones y es indispensable para completar el sistema. Esta tarea requiere clasificar las grabaciones según el formato de grabación de datos de Axis Neuron, esto implica diferentes tamaños y formas de lectura. Las grabaciones de los sensores de presión se encuentran en las líneas impares y los sensores de PN en las pares (código fuente en Apéndice B. Los datos de sensores de presión son codificados en formato uint32, y PN usa tipo flotante (Axis Neuron Manual).
- Guardado y almacenamiento de grabaciones: Se ha mejorado el proceso de almacenamiento de las grabaciones, pues ahora puede indicar cualquier ruta de su directorio y se creará una estructura de carpetas que contendrá las grabaciones y la lectura decodificada. En caso de que no se indique una ruta, se crea automáticamente la estructura de carpetas y se realizará la grabación sin correr riesgo de no registrar la prueba. Además, en el caso de especificar una ruta errónea, se almacenará la grabación en archivos del programa “\Pressure_app\bin\Debug”.

3

Tratamiento de datos

3.1. Procesamiento

Este apartado incluye los algoritmos para lectura de datos y filtrado de los mismos.

3.1.1. Lectura

- La primera función *read_data()* recibe un archivo con los datos unificados de los sensores FSR y PN, que han sido decodificados desde Pressure App. Debe detectar el formato de grabación usado por Axis Neuron, seleccionar y reordenar los datos válidos que recopilan la información de los ángulos, su posición anatómica y eje de desplazamiento. Se desechan el resto de datos, como cuaterniones, velocidad, aceleración y desplazamiento; resultando en una matriz con datos de fuerza y otra con la posición angular.

También se utiliza para traducir la medida en crudo del sensor en unidades de fuerza (N). Las mediciones ofrecidas por el guante son una estimación lineal basada en los datos del fabricante del sensor (FSR 400 Series Data Sheet) y han sido probados con el uso de un dinamómetro manual.

- Con la función *tipo()* agrupamos en dedos los datos de cada una de las matrices y asignamos etiquetas a cada columna de la matriz para usarlas como leyenda e identificador de la posición anatómica de cada sensor.

3.1.2. Filtrado

- Las funciones *show_filter_press()* y *show_filter_flexion()* aplican un filtrado de respuesta de impulso finito (FIR) Savitzky-Golay (*Filtrado Savitzky-Golay - MATLAB sgolayfilt - MathWorks España, s. f.*). Sirve para suavizar la señal y eliminar las altas frecuencias producidas por temblores, ruido o picos debidos a cambios bruscos en la lectura de datos de las “neuronas”, como vemos en las Figuras 11 y 12. Usamos orden polinómico de primer grado para las señales de presión y ángulo. Además, en las mediciones de posición angular se resta el “offset” correspondiente a la media de cada señal, para centrar todas las señales en 0, ya que en las mediciones que realizaremos no será relevante la información del ángulo concreto, pues esta puede variar dependiendo de calibración realizada en Axis Neuron por cada paciente. Para remediarlo, estudiaremos los rangos de amplitud y las variaciones de ángulos entre los diferentes dedos, que se mantienen tras estas operaciones de filtrado.

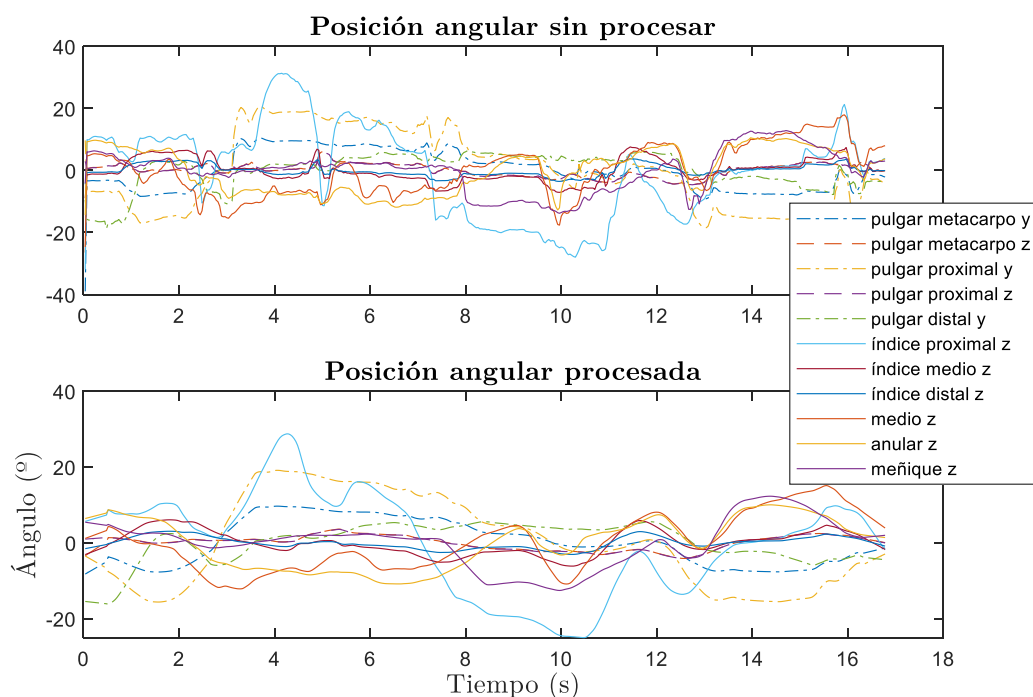


Figura 11 Valores de posición angular antes y después del filtrado.

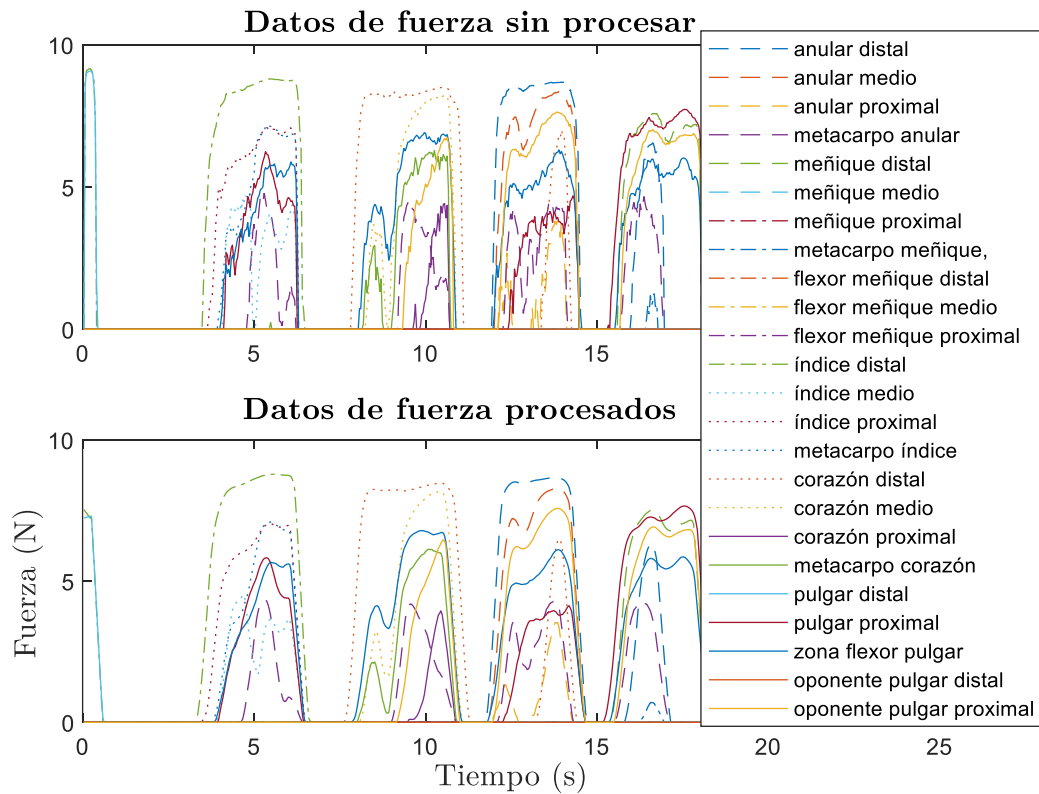


Figura 12 Valores de fuerza antes y después del filtrado.

3.2. Visualización de datos

- Se ha diseñado una función *show_signals()* para mostrar la información de forma clara, suponiendo una mejora notable a la gráfica anterior. Por ejemplo, en la Figura 13 se muestra la variación angular de cada dedo durante la realización de movimientos de flexión y extensión del dedo índice. Este sujeto presenta una alta individualidad en el dedo instruido, pues el rango de movimiento en los dedos pasivos es muy bajo.

Ensayo de posición articular

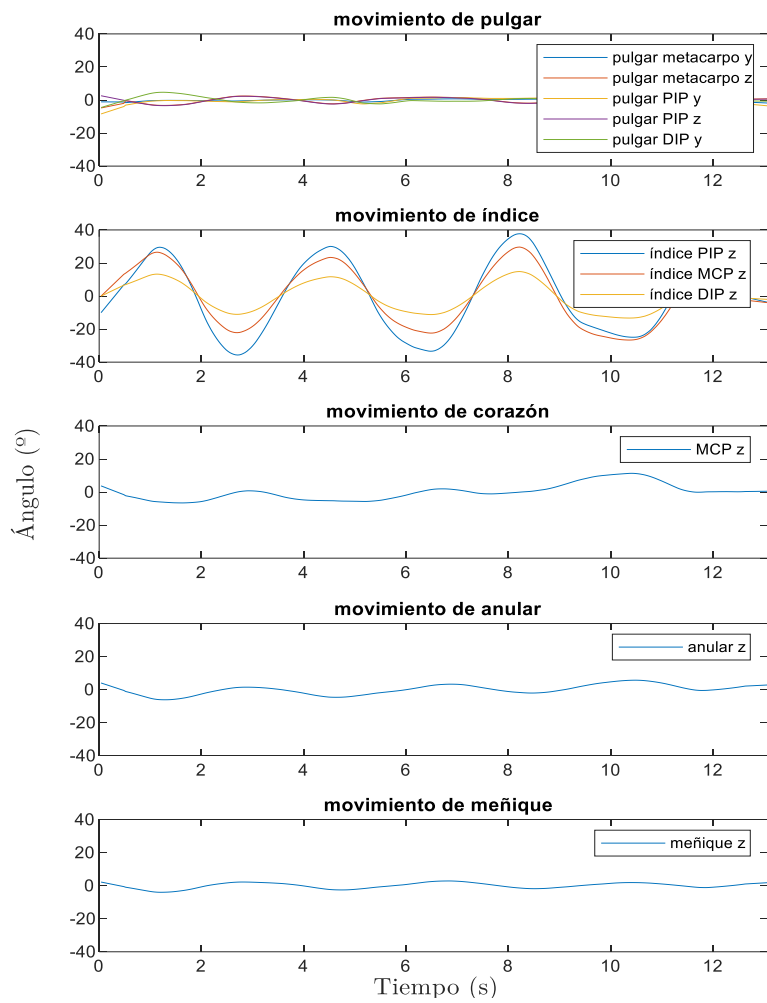


Figura 13 Rango de movimiento de los dedos, recogidos con PA. Se muestra el acompañamiento de los dedos pasivos frente a la oscilación del dedo índice instruido a realizar movimientos de flexión y extensión.

La función puede combinarse para mostrar gráficas (Figura 14) como las utilizadas en el artículo (Schieber et al., 2009) permitiendo comparar el rango de movimiento de todos los dedos cuando uno de ellos es instruido a hacer algún movimiento (Figura 13), o de diferentes grabaciones para comparar el progreso de rehabilitación de la mano o resultados entre sujetos afectados y de control.

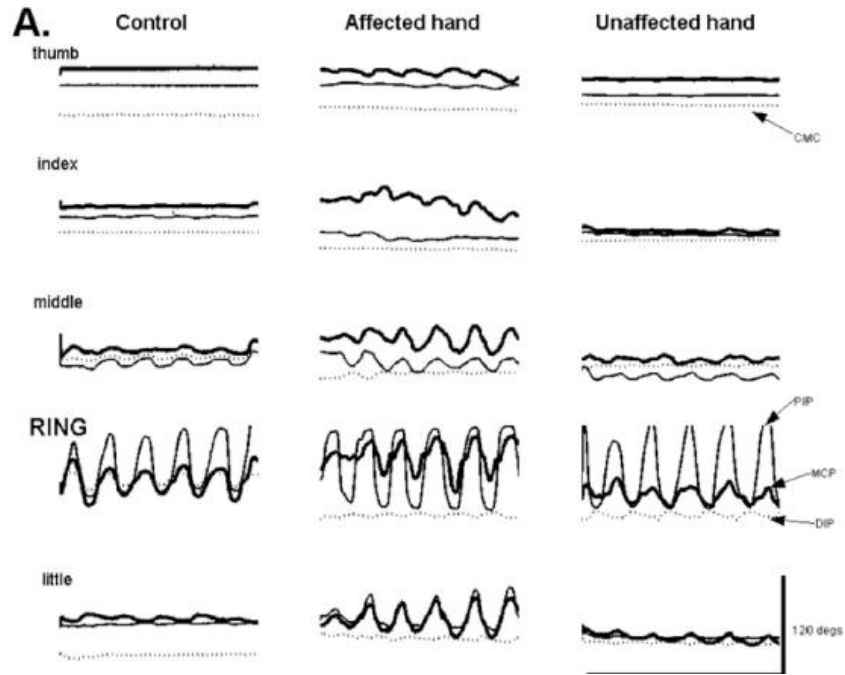


Figura 14 Resultados de ensayo en (Schieber et al., 2009). Ensayos individuales de la posición de la articulación frente al tiempo para un control (columna izquierda), y la mano afectada (columna central) y no afectada (columna derecha) de un sujeto hemiparético. En cada caso, se instruyó al sujeto para que flexionara y extendiera el dedo anular cíclicamente a un ritmo cómodo. Los trazos de las articulaciones del pulgar están en la parte superior, seguidos por los dedos índice, medio, anular y meñique (abajo) en orden descendente. La línea gruesa muestra el movimiento en la articulación metacarpofalángica (MCP), la línea fina muestra el movimiento en la articulación interfalángica proximal (PIP) y la línea de puntos muestra el movimiento en la articulación falángica distal (DIP). Para el pulgar, la línea punteada muestra el movimiento en la articulación carpometacarpiana (CMC).

Este algoritmo también permite monitorizar experimentos de fuerza similares a los propuestos en (Erden et al., 2020), en los que se muestran las fuerzas ejercidas por las distintas falanges durante una simulación de ejercicios dirigidos por fisioterapeutas (Figura 15). Con nuestro guante podemos obtener estos resultados para todas las falanges (Figura 16) en una sola grabación con PA.

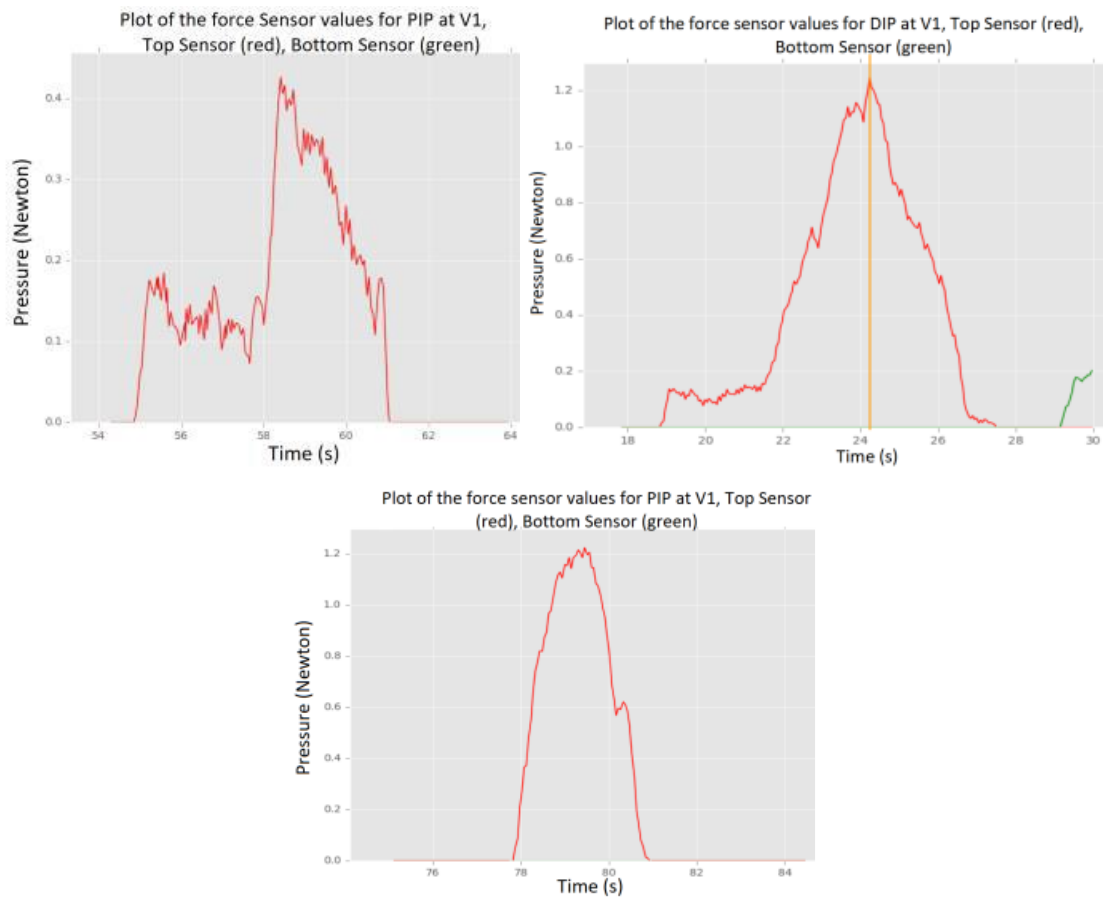


Figura 15 Resultados de (Erden et al., 2020) de fuerza aplicada por el dedo índice.

Fuerza ejercida por distintas falanges

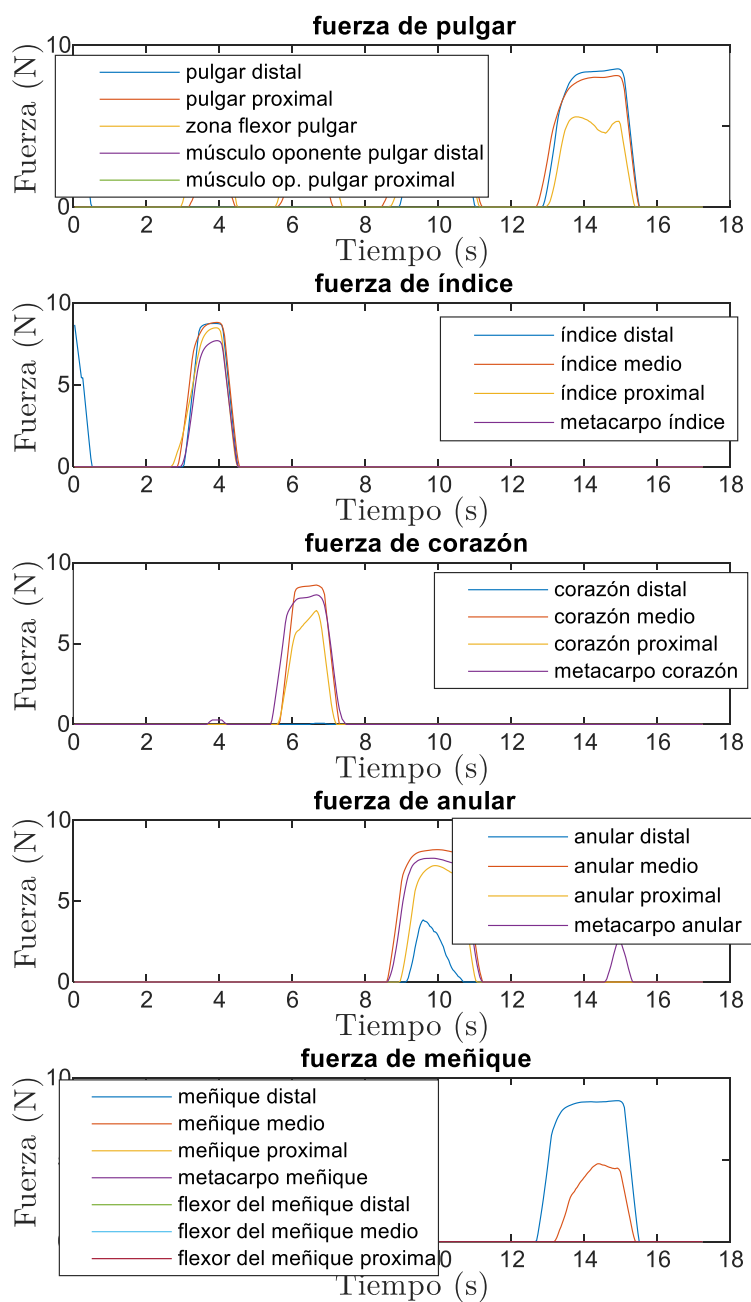


Figura 16 Resultados de fuerza aplicada por todos los dedos.

Los resultados de las Figuras 13 y 16 permitirían la monitorización de la espasticidad de la mano, una secuela tras sufrir un ictus que aumenta el tono de los músculos y limita su movilización, como se concluye en el artículo (Erden et al., 2020).

- Con *all_peaks()* se muestra parte del funcionamiento interno de los algoritmos que usaremos en el análisis, pues se puede visualizar la posición y el valor de los picos que

tendrán máxima relevancia en el cálculo del rango de movimiento y de la individualidad de los dedos.

Estos picos se detectan con la función *findpeaks()* de Matlab (*Encuentra máxima local - MATLAB findpeaks - MathWorks España, s. f.*), en la Figura 17 y Figura 18 podemos ver su aplicación.

Se requiere un parámetro de prominencia, usamos un valor de 2.5 para los ángulos y 1 para los picos de fuerza.

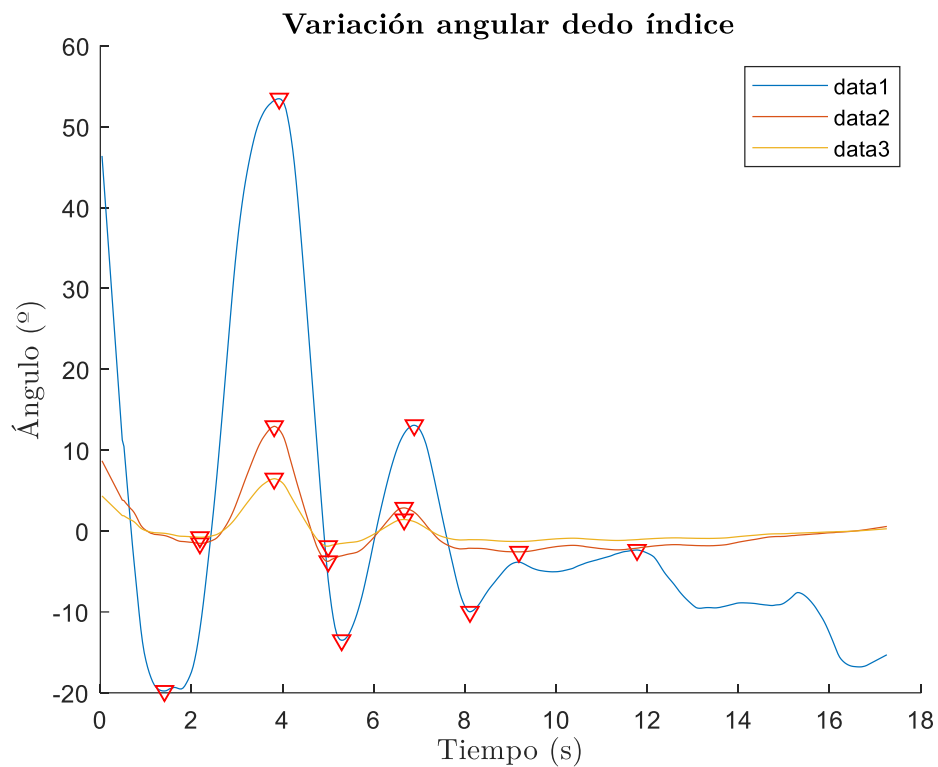


Figura 17 Picos de variación de ángulo detectados con *findpeaks()*. Valores de ángulo de eje z: MCP (*data1*), PIP (*data2*), DIP (*data3*).

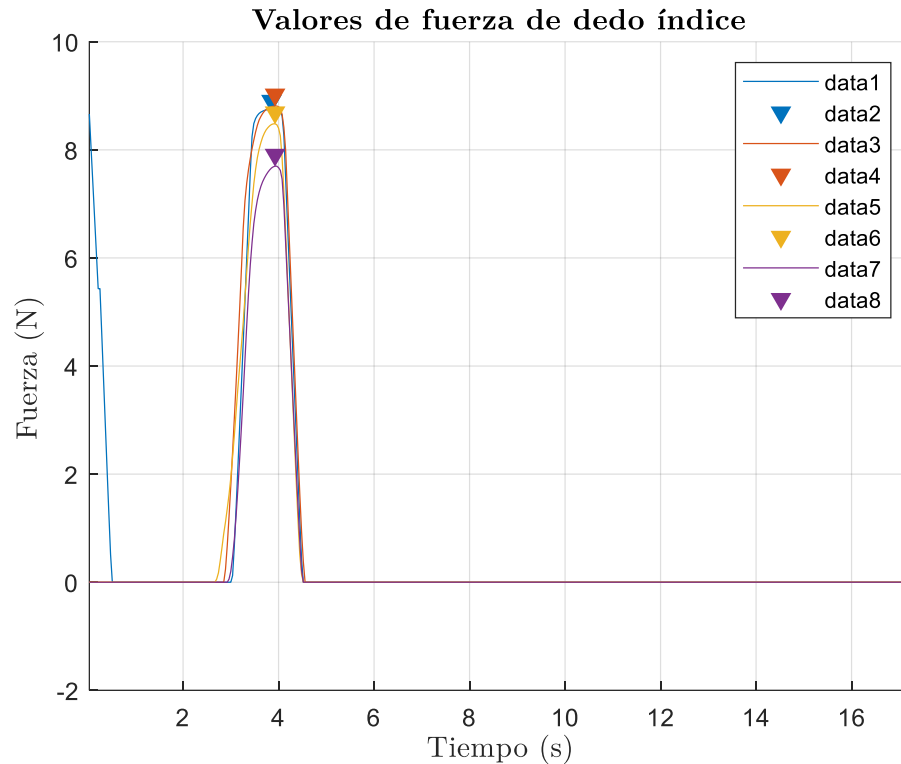


Figura 18 Picos de fuerza detectados con findpeaks() durante un ejercicio. Valores de fuerza en metacarpo (data1 y data2), falanges: proximal (data3 y data4), media (data5 y data6), distal (data7 y data8).

3.3. Algoritmos para el análisis

Se han definido diferentes algoritmos para medir la individualidad de los dedos, y la fuerza en falanges y carpos, siguiendo los procedimientos de (Susanto et al., 2015). Se llamarán para el resto del documento: I,C,A,M y P; a los dedos índice, corazón, anular, meñique y pulgar respectivamente.

3.3.1. Individualidad

- La función *analisi()* sirve para medir la individualidad de los dedos mientras se ejerce una presión sobre un objeto, se enumeran los pasos para facilitar su entendimiento:
 1. Se recoge la señal de fuerza (Fza) producida por el dedo que queremos estudiar (dedo activo).

2. Se buscan picos de fuerza en la falange media del dedo activo con *findpeaks()* (si no se detectan, se buscan en la falange proximal y por último en la distal).
3. Se toma el valor de pico más alto producido (picoFza).
4. Se delimita el intervalo de tiempo dónde los valores de fuerza alrededor del pico son mayores al 80% del valor del pico (t_0, t_1) (fórmulas 4 y 5).
5. Para todos los dedos P, I, C, A, M se toma el valor máximo de variación angular denotados como a_p, a_i, a_c, a_a, a_m con *findpeaks()*¹, durante el intervalo (t_0, t_1) (6).
6. Para calcular la individualidad del dedo activo (Fli), se divide su valor máximo de variación angular (a_{ins}) entre la suma de a_p, a_i, a_c, a_a, a_m (7).
7. Para calcular el acompañamiento de los restos pasivos, se divide cada máximo de variación angular entre la suma de todos ellos.

$$Fza(t_0) = \left(\frac{80}{100}\right) \cdot (\text{picoFza}) \quad (4)$$

$$Fza(t_1) = \left(2 - \frac{80}{100}\right) \cdot (\text{picoFza}) \quad (5)$$

$$\max_{\text{dedo}} = \max(|\max(a_{\text{dedo}}(t_0), a_{\text{dedo}}(t_1)), \min(a_{\text{dedo}}(t_0), a_{\text{dedo}}(t_1))|) \quad (6)$$

$$Fli = \frac{a_{ins}}{\max_i + \max_c + \max_a + \max_m + \max_p} \quad (7)$$

En un movimiento ideal, en el que solo se mueve el dedo instruido, la individualidad tomaría el valor de 1. Si se movieran los 5 dedos por igual, el valor de individualidad Fli sería de 0.2 para el dedo instruido y 0.2 para todos los acompañamientos de los dedos pasivos. El algoritmo puede modificarse con una variable booleana para contabilizar o no el pulgar, en ese caso resultarían valores de 0.25 para todos los dedos.

¹ El método *findpeaks()* solo obtiene los picos para valores positivos, por ello, se aplica *findpeaks()* sobre la señal cambiada de signo, centrada en 0 y se calcula el valor absoluto para compararlo con picos positivos detectados.

Esta función muestra el resultado por pantalla (Figura 19) mostrando el valor del pico de presión ejercida, el momento inicial y final, su duración, los valores de Fli y la aportación de cada dedo al movimiento del instruido

```

fuerza de indice
pico 1 val: 8.8122(N) x0=2.963 x1=4.4815 duración: 1.5185 Fli: 0.21703|| I: 0.21703 C: 0.18338 A: 0.263 M: 0.25625 P: 0.080336
fuerza de corazón
pico 1 val: 8.6134(N) x0=5.7407 x1=7.2593 duración: 1.5185 Fli: 0.49041|| I: 0.042417 C: 0.49041 A: 0.12423 M: 0.27497 P: 0.067969
fuerza de anular
pico 1 val: 8.1816(N) x0=8.7037 x1=11.1111 duración: 2.4074 Fli: 0.39678|| I: 0.035193 C: 0.32213 A: 0.39678 M: 0.13403 P: 0.11186
fuerza de meñique
pico 1 val: 4.7588(N) x0=13.3704 x1=15.3704 duración: 2 Fli: 0.46164|| I: 0.031108 C: 0.22247 A: 0.067801 M: 0.46164 P: 0.21698
fuerza de pulgar
pico 4 val: 8.2408(N) x0=8.7037 x1=11.0741 duración: 2.3704 Fli: 0.10173|| I: 0.035193 C: 0.32213 A: 0.39678 M: 0.13403 P: 0.11186

```

Figura 19 Resultados de Matlab con resultados de individualidad ejerciendo fuerza para un sujeto.

- Para medir el rango de movimiento de los dedos durante la flexión y extensión, se usará la función *rango_mov()*. En esta función se detectan los picos con *findpeaks()* y se calcula la diferencia entre los picos resultados de flexión y los de extensión.
- Para medir la individualidad del movimiento sin ejercer fuerzas, se ha diseñado la función *analisis_rango()*. Cuando se realiza un movimiento de flexión y extensión oscilatorio con el dedo activo, se graban también las señales del resto de dedos, todas ellas se procesan con la función *rango_mov()*, obteniendo el rango de movimiento de todos los dedos (*Rins*, *Rp*, *Ri*, *Rc*, *Ra*, *Rm*, siendo *Rins* el rango del dedo activo) durante el ejercicio.

Para medir la individualidad del dedo activo (*Fli*), se divide su rango de movimiento entre la suma de los rangos de movimientos de los dedos pasivos (8).

$$Fli = \frac{Rins}{Rp+Ri+Rc+Ra+Rm} \quad (8)$$

La aportación de los dedos pasivos se mide dividiendo su rango de movimiento entre la suma de todos.

La función devuelve por pantalla los rangos de movimiento de cada dedo, su individualidad y la aportación de los dedos pasivos (Figura 20).

```

INDIVIDUALIDAD ÍNDICE
dedo: indice | variación de ángulo: 47.8248 °
dedo: corazón | variación de ángulo: 9.1303 °
dedo: anular | variación de ángulo: 7.7743 °
dedo: meñique | variación de ángulo: 5.1105 °
dedo: pulgar | variación de ángulo: 4.8612 °
  Fii = 0.64022|| I= 0.64022 C= 0.12222 A= 0.10407 M= 0.068412 P= 0.065075
INDIVIDUALIDAD CORAZÓN
dedo: indice | variación de ángulo: 6.2622 °
dedo: corazón | variación de ángulo: 43.479 °
dedo: anular | variación de ángulo: 7.3251 °
dedo: meñique | variación de ángulo: 6.5753 °
dedo: pulgar | variación de ángulo: 0 °
  Fii = 0.68318|| I= 0.098398 C= 0.68318 A= 0.1151 M= 0.10332 P= 0
INDIVIDUALIDAD ANULAR
dedo: indice | variación de ángulo: 22.0523 °
dedo: corazón | variación de ángulo: 6.6217 °
dedo: anular | variación de ángulo: 40.4002 °
dedo: meñique | variación de ángulo: 6.7485 °
dedo: pulgar | variación de ángulo: 0 °
  Fii = 0.53282|| I= 0.29084 C= 0.087332 A= 0.53282 M= 0.089003 P= 0
INDIVIDUALIDAD MEÑIQUE
dedo: indice | variación de ángulo: 4.5973 °
dedo: corazón | variación de ángulo: 3.1909 °
dedo: anular | variación de ángulo: 5.4235 °
dedo: meñique | variación de ángulo: 33.4776 °
dedo: pulgar | variación de ángulo: 0 °
  Fii = 0.71703|| I= 0.098466 C= 0.068344 A= 0.11616 M= 0.71703 P= 0

```

Figura 20 Resultados de Matlab con resultados de análisis de individualidad sin ejercer fuerza.

3.3.2. Fuerza

- El siguiente algoritmo usado en *maxima_fuerza()* que exponemos es para agrupar la fuerza ejercida en cada dedo y metacarpo, recogidas únicamente con los sensores FSR del guante.

Previamente estaban clasificados los datos según su pertenencia a cada dedo por la función *tipo()*. En este algoritmo se diferencian falanges y carpos (Figura 2) y calcula la suma de los valores pico de cada sensor, para medir estos valores usamos el método *findpeaks()*. En la Figura 21 se muestran datos de ejemplo tras usar la función.

```
indice:  
fuerza falanges: 22.847 (N) fuerza carpos: 3.8869 (N)  
corazon:  
fuerza falanges: 22.5619 (N) fuerza carpos: 12.4089 (N)  
anular:  
fuerza falanges: 24.7959 (N) fuerza carpos: 18.7764 (N)  
meñique:  
fuerza falanges: 29.2234 (N) fuerza carpos: 7.0811 (N)  
pulgar:  
fuerza falanges: 15.3512 (N) fuerza carpos: 28.2644 (N)
```

Figura 21 Resultados de fuerzas ejercidas por falanges y carpos.

- La función *pinch_forces()* clasifica los datos según el tipo de agarre. Se realiza la suma de la lectura de los sensores de fuerza que pertenecen a los dedos implicados en cada tipo de agarre.

4

Experimento

4.1. Justificación del experimento

Sistemas de puntuación clínica

Para evaluar el daño tras un infarto cerebral, se utilizan test como el FMA, MSS, ARAT y WMFT (recopilados en Anexo A, B, C, D respectivamente) que deben ser realizados por un asesor capacitado. En este trabajo hemos adaptado las pruebas para realizar las fácilmente evaluables referentes a la extremidad superior y la mano. Están diseñadas para evaluar el estado de pacientes de infarto cerebral y requieren de ciertos materiales que han sido recopilados para preparar el entorno de prueba.

Ejercicios de contracción máxima voluntaria (MVC)

En el trabajo se diseñan ejercicios que apoyen los test y puedan cuantificar los resultados en base a las mediciones. Mediremos la individualidad mientras se ejerce una fuerza partiendo de una posición con los dedos flexionados sobre el objeto y otra con los dedos extendidos sobre el objeto. La posición contraída implica que no se realice una extensión de los dedos intencionada, simplemente una relajación de ellos, por lo que se estudiará el movimiento de flexión únicamente. Utilizando la fórmula (7) que está basada en el índice (9) definido en (Susanto et al., 2015).

$$FI_i = \frac{FI_{i,i}}{\sum_{j=1}^5 FI_{i,j}} \quad (9)$$

La destreza de los dedos será definida con FI_i , donde $FI_{i,j}$ corresponde a la fuerza máxima de flexión o extensión del dedo j cuando recibe la instrucción de mover el dedo i , y $FI_{i,i}$ corresponde a la fuerza máxima del dedo i cuando recibe la instrucción de mover ese mismo dedo.

Con la siguiente fórmula podremos medir el progreso de la individualidad de la mano en general.

$$FII_{1to5} = \sum_{i=1}^5 \frac{FI_i}{5} \quad (10)$$

Esta fórmula también tiene una variante (11) para medir la individualidad de un dedo frente a diferentes combinaciones de dedos (Por ejemplo, al medir la individualidad de los dedos I, M, C y A sin considerar el P, resultaría en FII_{2to5}). Donde el P es representado por el 1, I por el 2, C por el 3, A por el 4, M por el 5:

$$FII_{m\ to\ n} = \sum_{i=m}^5 \frac{FI_i}{n-m+1} \quad (11)$$

Existen diferencias con en el procedimiento del artículo a seguir, pues en él miden la individualidad sin ejercer fuerza sobre ningún objeto, sino midiendo el momento al realizar los movimientos de los dedos frente a la resistencia que le opone su mecanismo. Nuestro guante no puede medir el momento, ni las fuerzas, si no se realizan sobre ningún objeto, por lo que adaptaremos este índice y mediremos la individualidad de los dedos y la fuerza ejercida sobre una pelota de rehabilitación. Esta adaptación está fundamentada en el artículo (Danion et al., 2003), en este estudio ejercen fuerza sobre un objeto y miden la fuerza del resto de dedos en el momento de máxima fuerza del dedo instruido.

Además, se realizará otra prueba para obtener el rango de movimiento e individualidad de los dedos sin realizar fuerza. Para ello, se mide realizando una hiperflexión hasta una hiperextensión, teniendo en cuenta que la extensión conforma un ángulo negativo, calculamos el rango restando al ángulo de flexión el ángulo de extensión (Velázquez et al., 2012). Este ejercicio es realizado en (Schieber et al., 2009) por medio de electromiograma (EMG) para medir las señales generadas por contracciones musculares involuntarias, cuando se instrúa alguno de los dedos voluntariamente.

Pruebas de diferentes tipos de agarre: Agarre palmar/ lateral/ de precisión

Los agarres de fuerza son aquellos en los que el objeto se encuentra entre los dedos flexionados y la palma de la mano, mientras que los agarres de precisión, son los utilizados para manipular pequeños objetos, los dedos permanecen semiflexionados y el pulgar se aduce y opone. (Arias, 2012)

Los agarres de fuerza y de precisión proporcionan la base anatómica para todas las actividades funcionales o no de la mano, y la potencia y precisión son las características dominantes de las funciones que se ponen en juego cuando un objeto es agarrado. Estas funciones son: intención, control sensorial permanente y el mecanismo de agarre. Además, son ejercicios utilizados en la rehabilitación y que forman parte de los test FMA y ARAT. (Clarkson, 2013).

En los ejercicios existen diferencias provocadas por la posición del codo, siendo significativamente menor a 135° y mayor a 0° (Hincapié, 2007). Además, los resultados también son afectados por el diámetro del objeto (Kong & Lowe, 2005).

4.2. Sujetos

Basándonos en los resultados de individualidad de los sujetos sanos del grupo de control que realizan las pruebas en (Susanto et al., 2015) y mostramos en la Tabla 1, encontramos que a mayor edad se cuentan con unos índices de individualidad menores que en las personas jóvenes. Partiendo de esta hipótesis, para probar nuestro entorno realizaremos las pruebas con 5 personas sanas, en un rango de edad comprendido entre 22 y 77 años, diestros, neurológicamente intactos y con una puntuación máxima en los test FMA, WFMT y MSS. Remarcando que no es objetivo de este trabajo confirmar esta hipótesis, sino preparar el entorno para realizar las pruebas con personas supervivientes a daños cerebrales.

En la Tabla 1 se presentan los índices calculados con la fórmula (9) para el pulgar, índice, corazón, anular y meñique; la fórmula (10) para FII_{1to5} ; y la fórmula (11) para FII_{2to5} sin considerar al pulgar.

Tabla 1 Individualidad de sujetos de control de (Susanto, 2015).

Edad	Sujeto	Fli						
		Pulgar	Índice	Corazón	Anular	Meñique	FII2to5	FII1to5
70	Hombre	0.411	0.513	0.604	0.541	0.495	0.538	0.513
36	Hombre	0.579	0.823	0.730	0.809	0.727	0.772	0.713
71	Hombre	0.758	0.721	0.489	0.44	0.395	0.511	0.561
29	Hombre	0.458	0.869	0.692	0.676	0.746	0.745	0.688
66	Mujer	0.360	0.624	0.38	0.473	0.265	0.435	0.420
60	Hombre	0.524	0.727	0.507	0.502	0.555	0.572	0.563
55.33	Media	0.515	0.713	0.567	0.574	0.531	0.596	0.580

Comprobamos con un ajuste lineal que existe una tendencia a disminuir la individualidad de los dedos con la edad, excepto para el pulgar (Figura 22).

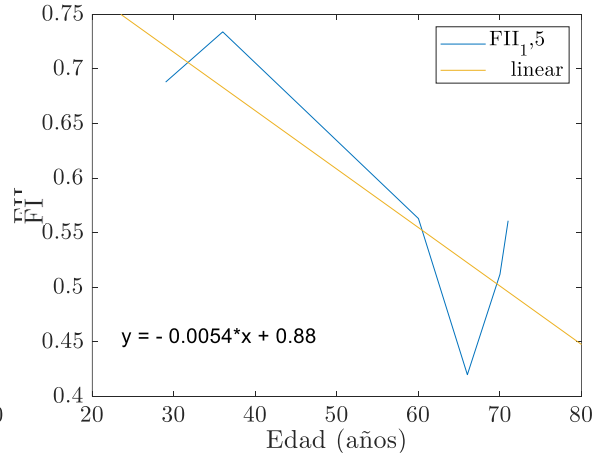
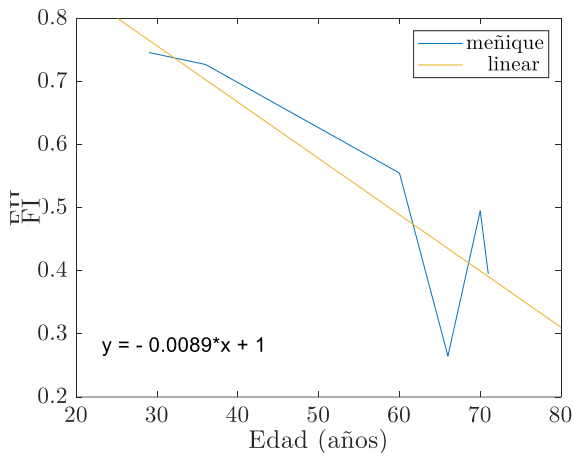
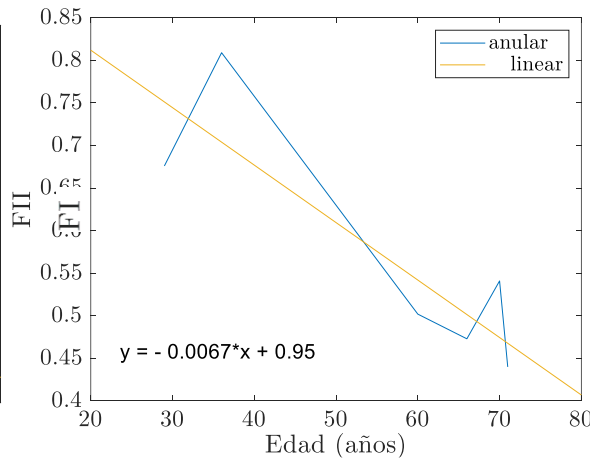
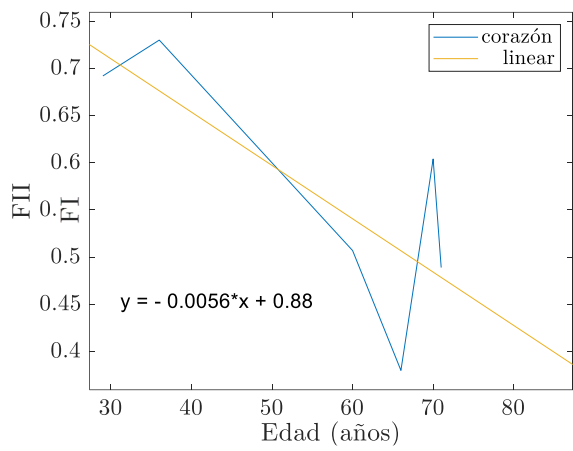
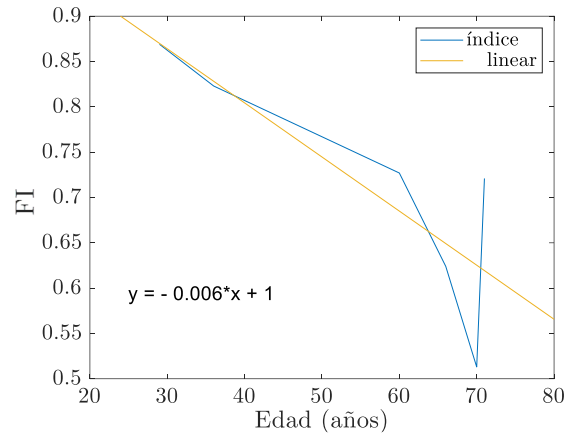
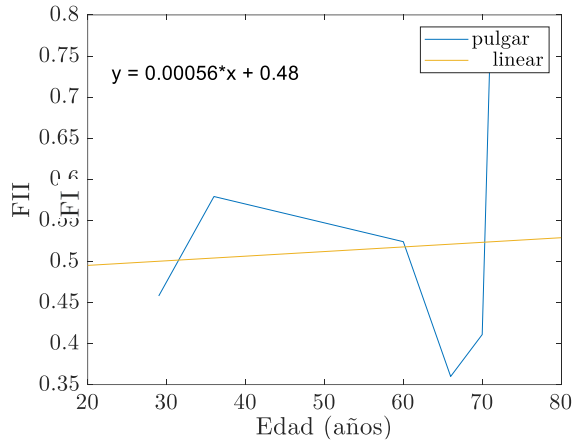


Figura 22 Individualidad FI frente a la edad en sujetos de control de (Susanto et al., 2015).

4.3. Instrucciones

Para las siguientes pruebas el sujeto se deberá sentarse con el antebrazo reposando sobre la mesa, con el codo en 90º de flexión. Se deben realizar para todos los dedos en orden aleatorio. Las pruebas se concretan en los siguientes ejercicios:

- Ejercicio 1: Con todos los dedos flexionados y apoyados sobre la pelota de rehabilitación (Figura 23), realizar una fuerza máxima tratando de dejar inmóviles los dedos que no han sido instruidos. Se debe realizar en una única grabación.



Figura 23 Posición de partida para ejercer fuerza en ejercicio 1 (elaboración propia).

- Ejercicio 2: Se parte de una posición de la mano extendida, con la palma sobre la pelota y el codo apoyado sobre la mesa. Se ejerce una fuerza máxima y se devuelven los dedos a la posición inicial, tratando de realizar la fuerza únicamente con el dedo instruido (Figura 24). Se debe realizar en una única grabación.

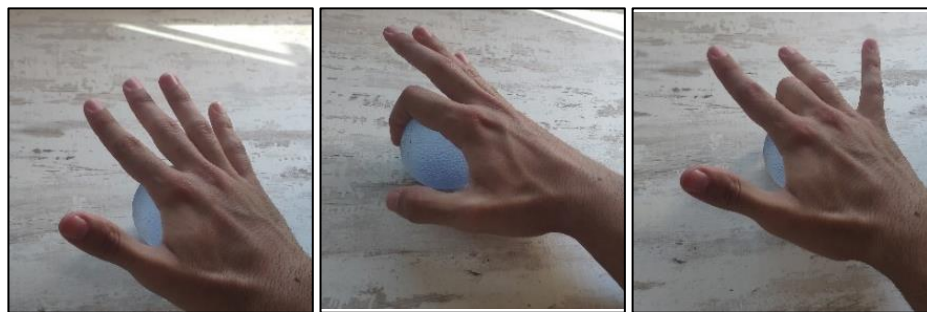


Figura 24 Posición de partida (izquierda) y realización de fuerza con diferentes dedos (centro y derecha) en ejercicio 2 (elaboración propia).

- Ejercicio 3: Se parte de una posición con la mano extendida, se realizan entre 3 y 5 flexiones y extensiones máximas por dedo, tratando de inmovilizar los no instruidos (Figura 25). Se debe realizar una grabación por dedo.



Figura 25 Extensión y flexión de dedo índice durante ejercicio 3 (elaboración propia).

Los siguientes pasos requieren una grabación por ejercicio.

- Ejercicio 4 - Agarre de precisión: Se ejerce la fuerza máxima con las falanges distales de los dedos índice y pulgar (Figura 26 izquierda).
- Ejercicio 5 - Agarre lateral: Se ejerce la fuerza máxima del pulgar sobre el lateral del dedo índice (Figura 26 centro).
- Ejercicio 6 - Agarre palmar: Se ejerce la fuerza máxima sobre objeto cilíndrico (Figura 26 derecha).

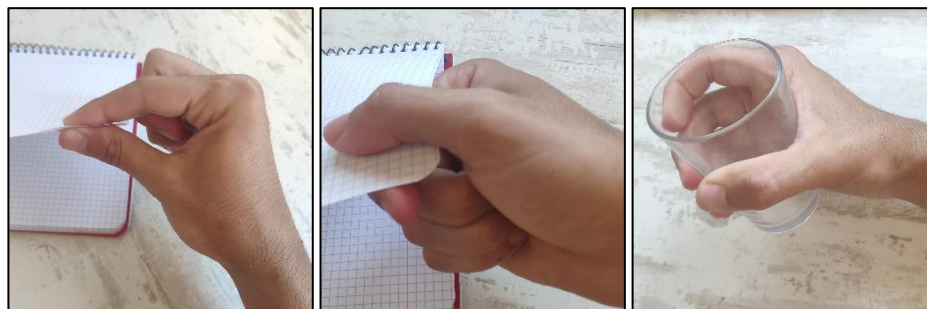


Figura 26 Tipo: Precisión (izquierda), lateral (centro), palmar (derecha) (elaboración propia).

5

Resultados

5.1. Individualidad

El principal aspecto de interés de este estudio es la individualidad de los dedos, se analizarán las mediciones tomadas a nuestros sujetos, tras la realización de los ejercicios 1, 2 y 3 descritos en la sección 4.3. Los índices han sido obtenidos con la función *analisi()* descrita en el apartado 3.3.1.

En la Figura 27, se compara entre jóvenes y adultos la individualidad de los dedos instruidos y el acompañamiento durante el movimiento del resto de dedos. En la gráfica superior (Figura 27) se parte con los dedos flexionados y se dan los resultados del ejercicio 1 y en la inferior, con los dedos extendidos, como se describe en ejercicio 2.

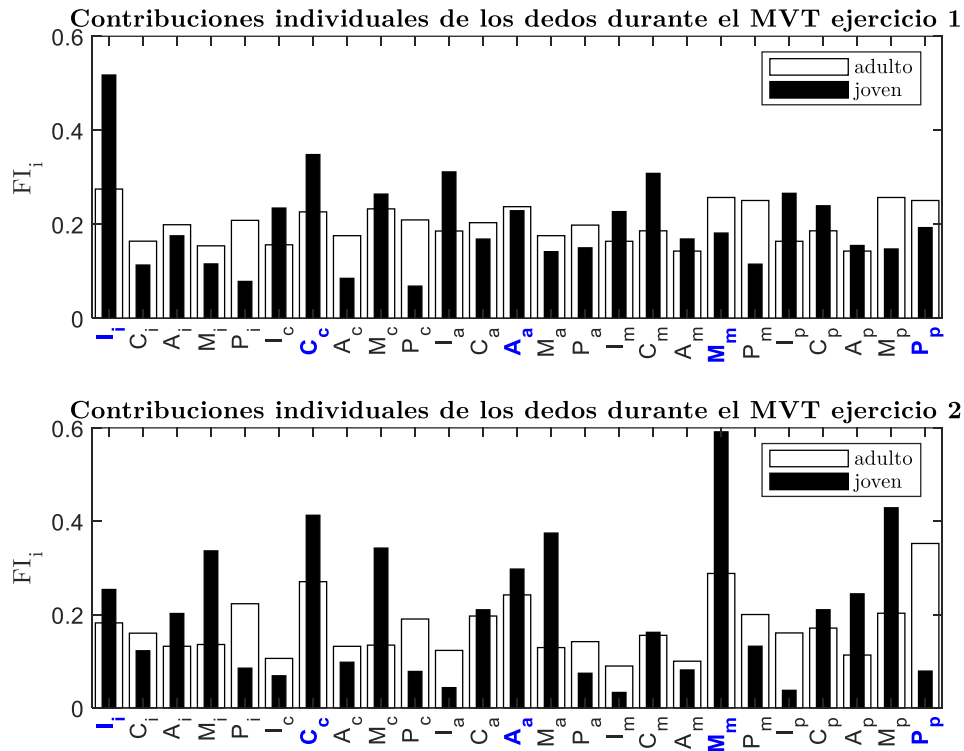


Figura 27 Media de los resultados de los ejercicios 1 (arriba) y 2 (abajo). Representa la contribución individual de los dedos durante la MVC. En azul se muestran los dedos instruidos, el subíndice indica el dedo instruido.

A mayor valor de F_{li} del dedo activo significa que cuenta con una mayor independencia, mientras que, en dedos pasivos, un valor alto de F_{li} indicaría un gran acompañamiento al dedo instruido mientras ejerce la fuerza. Como podemos ver en la Figura 27, la individualidad en los jóvenes es mayor que en las personas adultas. Los dedos activos obtienen valores mayores en jóvenes en todos los dedos que parten de una posición extendida, excepto el pulgar (Tabla 3), mientras que, en la posición de flexión (Tabla 2), los adultos obtienen en el meñique y pulgar una mayor individualidad.

Tabla 2 Resultados del ejercicio 1. Fli obtenida con la función *analisi()*.

Ejercicio	1	Fli						
Sujeto	Edad	I	C	A	M	P	FII2to5	FII1to5
Hombre	22	0,510	0,264	0,215	0,284	0,127	0,318	0,280
Hombre	26	0,525	0,432	0,242	0,079	0,081	0,320	0,272
Mujer	55	0,331	0,285	0,192	0,403	0,376	0,303	0,317
Hombre	56	0,355	0,253	0,266	0,195	0,152	0,267	0,244
Mujer	77	0,046	0,165	0,209	0,213	0,247	0,158	0,176
Media	47.2	0,353	0,280	0,225	0,235	0,197	0,273	0,258

Tabla 3 Resultados del ejercicio 2. Fli obtenida con la función *analisi()*.

Ejercicio	2	Fli						
Sujeto	Edad	I	C	A	M	P	FII2to5	FII1to5
Hombre	22	0,217	0,490	0,396	0,461	0,101	0,391	0,333
Hombre	26	0,290	0,335	0,198	0,721	0,048	0,386	0,318
Mujer	55	0,339	0,394	0,319	0,595	0,072	0,412	0,344
Hombre	56	0,132	0,143	0,121	0,118	0,067	0,129	0,116
Mujer	77	0,074	0,274	0,285	0,151	0,219	0,196	0,201
Media	47.2	0,210	0,327	0,264	0,409	0,101	0,303	0,262

A continuación, se analizan los resultados de individualidad con el ejercicio 3, que no requiere fuerza sobre ningún objeto (Figura 28). Índices obtenidos con la función *analisi_rango()* descrita en el apartado 3.3.1.

Contribuciones individuales de los dedos durante el MVC durante ejercicio 3

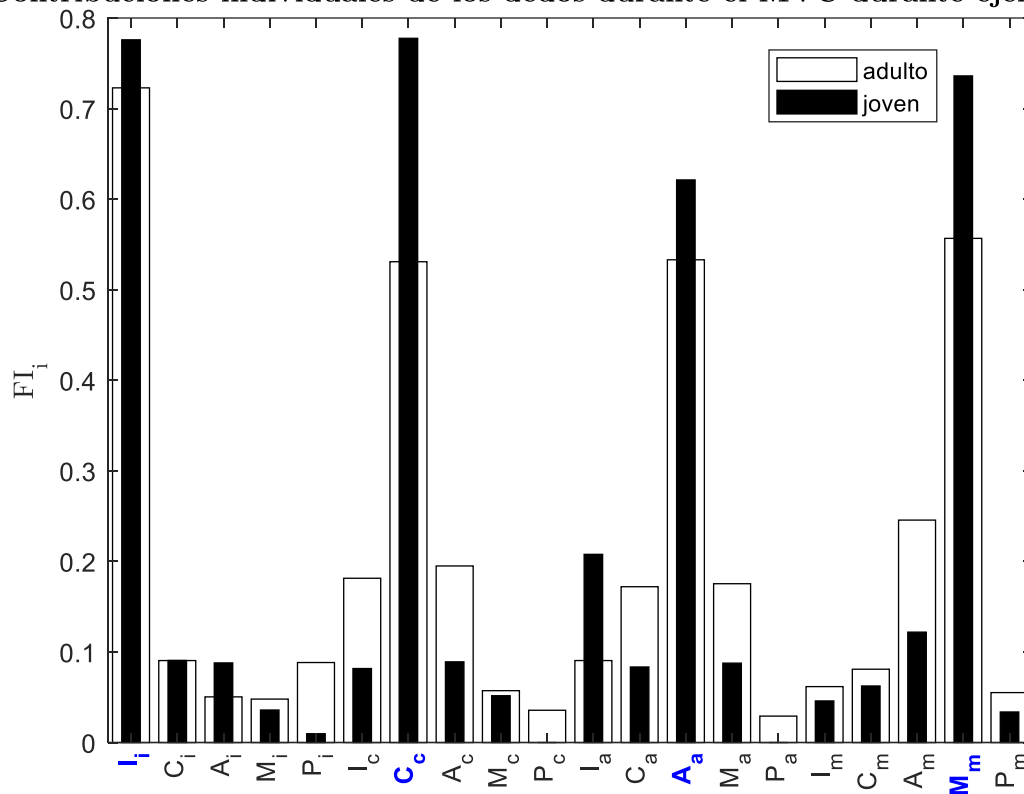


Figura 28 Media de los resultados del ejercicio 3. Representa la contribución individual de los dedos durante la MVC. En azul se muestran los dedos instruidos, el subíndice indica el dedo instruido.

Como se puede observar en la Figura 28, la individualidad es significativamente mayor en los jóvenes. Se esperaría que la individualidad del dedo índice fuera mayor que en el resto de dedos, debido a la relativa independencia de los músculos que permiten el movimiento del dedo índice, comparada con la de los dedos medio, anular y meñique (Arias, 2012). Esto se refleja claramente en los adultos.

En la Tabla 4 se ha calculado la individualidad de los dedos I, C, A, M frente a todos:

Tabla 4 Resultados del ejercicio 3. Fli obtenida con la función *analisis_rango()*.

Ejercicio	3	Fli				
Sujeto	Edad	Índice	Corazón	Anular	Meñique	FII _{2to5}
Hombre	22	0.880	0.871	0.709	0.803	0.816
Hombre	26	0.671	0.6838	0.532	0.668	0.690
Mujer	55	0.810	0.635	0.594	0.505	0.636
Hombre	56	0.628	0.474	0.528	0.680	0.578
Mujer	77	0.729	0.481	0.476	0.483	0.542
Media	47.2	0.749	0.654	0.577	0.646	0.656

Se puede observar en la columna FII_{2to5} de la tabla 4 que disminuye la individualidad a medida que aumenta la edad, como se exponía en la Figura 22 para los sujetos del artículo (Susanto et al., 2015), a partir de ahora, nos referiremos a este artículo como “artículo de referencia (Art. Ref.)”.

Con el fin de comprobar que los ejercicios son consistentes, procedemos a estudiar los resultados con una correlación de Pearson, que usará un nivel de significancia $\alpha=0.05$ e interpretaremos las correlaciones con el criterio seguido en (Hinkle et al., 2002). Los resultados se comentan en los siguientes apartados:

Relación de Fli entre ejercicios de nuestro experimento y Art. Ref.:

Calculamos la correlación de la media de individualidad de los dedos I, C, A, M instruidos (Fli), de los ejercicios 1, 2, 3 (últimas filas de las tablas 2, 3 y 4 respectivamente) y los resultados del Art. Ref. (última fila de la tabla 1 de la sección 4.2). Sin tener en cuenta el pulgar (FII_{2to5}), ya que como se muestra en la Figura 21, no sigue la misma tendencia que el resto de dedos.

El ejercicio 1 y 3 tienen una correlación de $\rho = 0.88$, mientras que hay baja correlación lineal entre los ejercicios 2 y 3, con un valor $\rho = -0.33$. Entre el ejercicio 1 y 2 hay una correlación negativa alta $\rho = -0.72$.

Existe una muy alta correlación entre el ejercicio 1 de los dedos flexionados sobre la pelota, con los resultados de individualidad del artículo, con $\rho = 0.9507$. Entre el ejercicio 2 y el artículo, se obtiene un valor $\rho = -0.8335$. Por último, entre el Art. Ref. y el ejercicio 3, se ha calculado un coeficiente de correlación $\rho = 0.784$.

Se resumen los resultados en la tabla 5.

Tabla 5 Tabla de correlaciones de Pearson de la media de Fli de los dedos instruidos.

Pearson	Ejercicio 1	Ejercicio 2	Ejercicio 3	Art. Ref.
Ejercicio 1	1	-0,72	0,88	0,95
Ejercicio 2	-0,72	1	-0,33	-0,83
Ejercicio 3	0,88	-0,33	1	0,78
Art. Ref.	0,95	-0,83	0,78	1

De la tabla 5 podemos observar que el ejercicio sin objeto (Ejercicio 3), tiene una alta correlación con el ejercicio que usa un objeto partiendo desde una posición flexionada (Ejercicio 1), pero no con el que parte de una posición extendida (Ejercicio 2).

La correlación más baja se da entre el ejercicio 2 y el 3, puede deberse a que los sujetos sanos no ejercen la flexión máxima durante el ejercicio 2, impedido por el propio volumen del objeto. En ese momento, es cuando se esperaría el mayor acompañamiento del movimiento por el resto de dedos.

La correlación negativa entre el ejercicio 1 y 2 implica que, según la posición de la mano que requieran ciertas tareas, se tendrá mejor habilidad, debido a que para algunos dedos será mejor partir desde una postura extendida o una postura flexionada. Esto podría ser de utilidad para diseñar herramientas que favorezcan a los dedos con menor individualidad.

Con los resultados del Art. Ref. existe una correlación muy alta entre las mediciones del ejercicio 1 y alta para los ejercicios 2 y 3. Si entre el ejercicio 1 y 2 es una correlación negativa alta, y entre el ejercicio 1 y el Art. Ref. es muy alta, es congruente que también sea alta y negativa entre el ejercicio 2 y los resultados del Art. Ref.

Correlación de contribución individual durante el movimiento de los dedos:

A continuación, procedemos a estudiar la individualidad de los dedos activos junto al acompañamiento de los dedos pasivos, para los ejercicios 1, 2 y 3 (Figuras 27 y 28).

El ejercicio 1 frente al 3, tiene una correlación de $\rho = 0.78$, el ejercicio 2 frente al 3 tiene una correlación $\rho = 0.74$, y entre los ejercicios 1 y 2, una correlación de $\rho = 0.7053$. Se muestran las correlaciones en la tabla 6.

Tabla 6 Tabla de correlaciones de dedos activos y pasivos

Pearson	Ejercicio 1	Ejercicio 2	Ejercicio 3
Ejercicio 1	1	0,71	0,78
Ejercicio 2	0,71	1	0,74
Ejercicio 3	0,78	0,74	1

Tras estas altas correlaciones, se podría concluir que el acompañamiento de los dedos pasivos es uniforme, independientemente de la postura de partida.

5.2. Fuerza

Otro aspecto de interés son las fuerzas ejercidas por las distintas partes de la mano. Durante los ejercicios 1 y 2, obtenemos los resultados de las pruebas de fuerza. En la Figura 29 mostramos las medias de las máximas fuerzas en las falanges medias y proximales (Figura 2), partiendo de las posiciones flexionadas y extendidas. Tratamos de reproducir el experimento de los momentos obtenidos en (Susanto et al., 2015) pero sin medir la longitud de las falanges, por lo que obtenemos valores de fuerza (N) y no el momento angular (Nm).

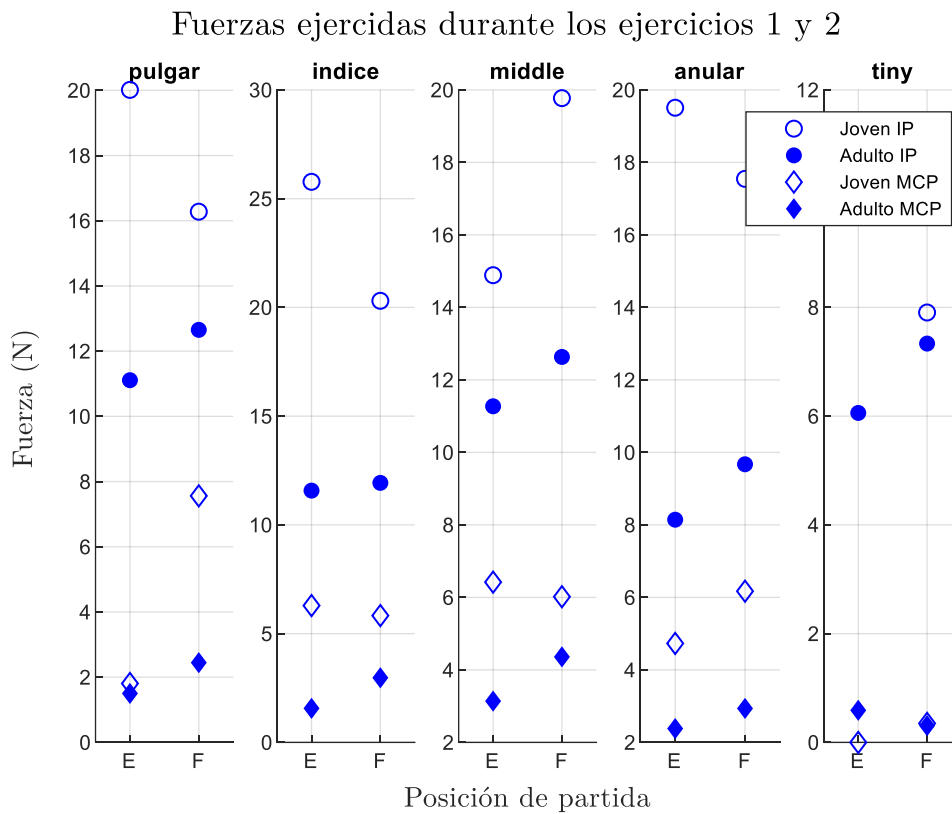


Figura 29 Media de fuerzas ejercida por las falanges (IP) y en la zona metacarpiana (MCP) por sujetos jóvenes y adultos, durante el ejercicio 1 (Flexionados: F) y el ejercicio 2 (Extendidos: E).

Aquí esperamos observar que los pacientes más jóvenes tengan una mayor fuerza, como se indica en los estándares de fuerza de personas sanas, recogidos en (Hincapié, 2007). Durante los ejercicios 1 y 2, sería de esperar que los dedos ejercieran más fuerza que zonas de la palma de la mano, pero si no fuera así, podría ser indicativo de que el control en los dedos es menor y se realiza un aplastamiento del objeto con la mano, en lugar de las contracciones musculares que se tratan de ejercer.

Los resultados de los ejercicios 4, 5 y 6 de los tipos de agarre expuestos en la sección 4.3 se muestran en la tabla 7.

Tabla 7 Fuerzas máximas durante diferentes tipos de agarre. Obtenida con *pinch_forces()*.

Sujeto	Edad	Precisión (N)	Lateral (N)	Palmar (N)
S1 Hombre	22	18,18	9,17	115,98
S2 Hombre	26	18,25	9,13	61,63
S3 Mujer	55	17,67	9,44	51,08
S4 Hombre	56	17,50	15,88	118,27
S5 Mujer	77	19,01	12,37	57,36

Tras analizar los resultados de la tabla 7, los valores más altos de fuerza en agarre lateral se dan en los sujetos S4 y S5, contradiciendo lo esperado, por su mayor edad. Esto es explicado porque durante la realización del ejercicio ejercieron presión adicional con las zonas del pulgar distal y la zona del músculo flexor, mientras que el resto de sujetos, solo realizaron la fuerza con la zona del pulgar distal (Figura 30). Por ello, es importante complementar la información con el resto de gráficas generadas con la aplicación. Esto permite un análisis preciso de qué zonas de la mano ejercen fuerzas durante ciertas tareas.

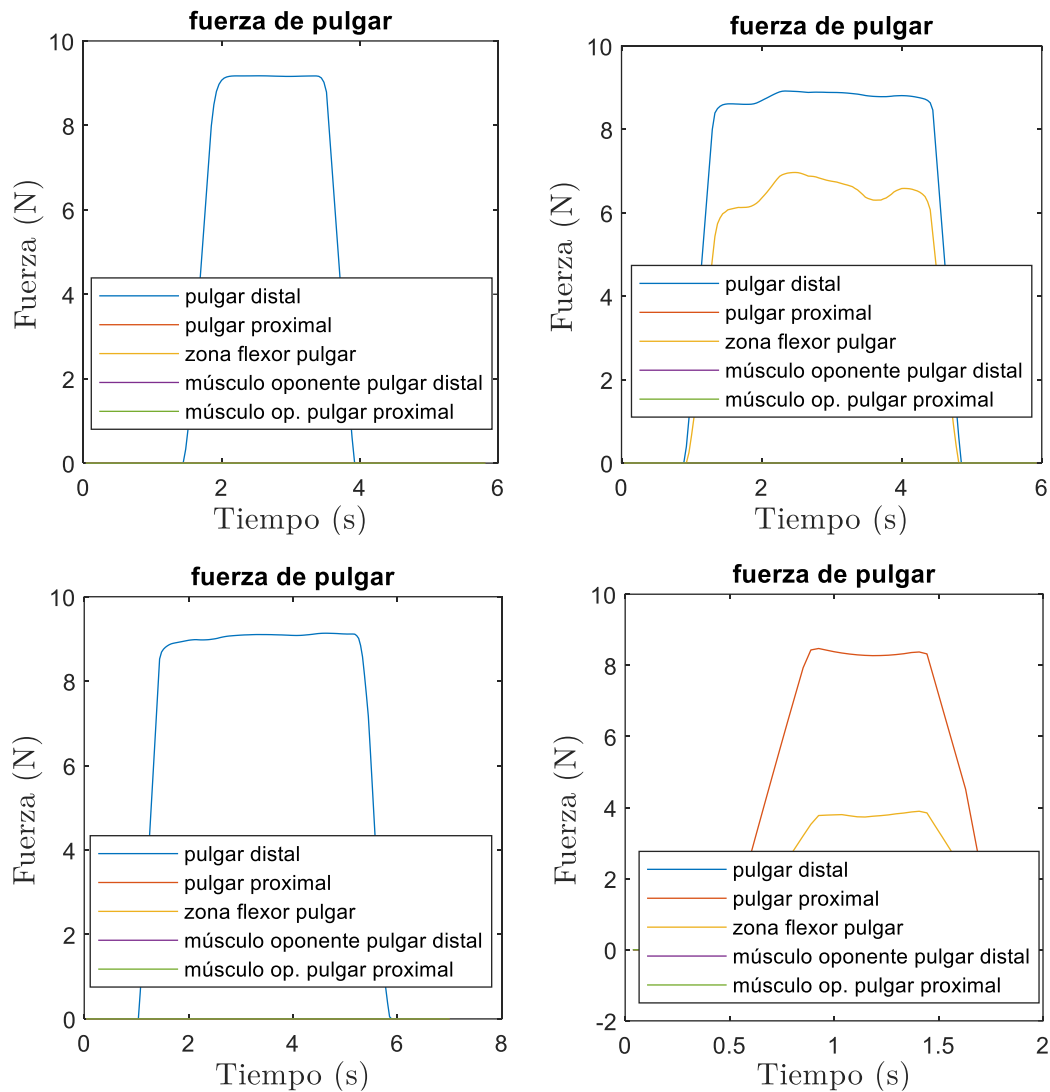


Figura 30 Fuerza ejercida por el pulgar durante ejercicio de agarre lateral. S1 (arriba izquierda), S2 (abajo izquierda), S4 (arriba derecha), S5 (abajo derecha).

A estos resultados afectan significativamente, además de la posición del codo, como se justifica en el apartado 4.2, el diámetro del objeto sobre el que se ejerce la fuerza, nuestro ejercicio fue realizado con un objeto de 4,5 cm de diámetro.

6

Conclusiones y Líneas Futuras

6.1. Evaluación del guante

En este TFG, hemos mejorado la usabilidad de la aplicación, haciendo que su uso sea más fluido y directo. Además, se ha terminado la aplicación con la decodificación de las señales recogidas.

Tras poner a prueba con cinco sujetos los experimentos que hemos diseñado y los algoritmos para analizar los resultados, observamos que tienen alta correlación con los resultados de otros instrumentos, y existe coherencia en los resultados de las mediciones realizadas entre los tres ejercicios diferentes. Por ello, podemos concluir que resultan mediciones de individualidad válidas en personas sanas.

Las funciones creadas permiten visualizar y obtener datos con un único instrumento, como hemos visto a lo largo de la memoria, capacitando al guante a poder replicar experimentos de diferentes artículos que cuentan con instrumentación variada y específica para cada medición.

La combinación de los resultados numéricos y las gráficas resultantes, pueden ser útiles como herramienta clínica para monitorizar y analizar el progreso durante una rehabilitación. Las gráficas de las Figuras 28 y 29 pueden ser adaptadas para mostrar el progreso temporal, en lugar de mostrar jóvenes frente a adultos. La clasificación de los datos en Matlab permite nuevos diseños de algoritmos, para agregar más funciones de análisis.

Por otra parte, el guante cuenta con ciertas limitaciones que han sido reveladas durante su uso:

El sistema de PN junto con AN, no proporciona datos de desplazamiento ni de velocidad para los dedos, reduciendo así su potencial para este trabajo.

La ubicación de las sujeciones de PN junto a los sensores FSR, llegan a reducir el rango de movilidad de algunas falanges.

Se requiere una calibración para cada sujeto, incluso más de una durante la realización del experimento, lo que aumenta la duración de las pruebas. Además, la calibración no es muy precisa. Debido a esto, en este trabajo se optó por estudiar el rango de movimiento del sensor, en lugar de su posición.

La flexibilidad y comodidad del guante instrumentado, a pesar de ser una ventaja, implica también una menor robustez del sistema, lo que requiere mayor cuidado y genera dificultades para colocar y quitar el guante.

6.2. Líneas futuras

Para concluir con la evaluación de la funcionalidad del guante, se deben realizar pruebas con pacientes de ictus y relacionar sus calificaciones de los modelos evaluativos de funcionalidad de la extremidad superior, con los resultados obtenidos con el guante.

Partiendo de las limitaciones del guante, se propone como futuro desarrollo la implementación de un propio sistema de sensores inerciales que sustituya al sistema comercial.

Para mejorar el software de análisis desarrollado en Matlab, se propone crear una interfaz gráfica que facilite el uso de las funciones más comunes.

Referencias

Arias López, L. A. (2012). Biomecánica y patrones funcionales de la mano. *Morfología*, 4(1). Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/morfologia/article/view/31373>.

Axis Neuron Manual. (s.f) – Recuperado de https://neuronmocap.com/system/files/software/Axis%20Neuron%20User%20Manual_V3.8.1.5.pdf

Clarkson, Hazel M. (2013). Wrist and hand. Musculoskeletal assessment: joint motion and muscle testing (251). Philadelphia, PA; London: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health.

Colebatch, J. G., & Gandevia, S. C. (1989). The distribution of muscular weakness in upper motor neuron lesions affecting the arm. *Brain: a journal of neurology*, 112 (Pt 3), 749–763. <https://doi.org/10.1093/brain/112.3.749>.

Danion, F., Latash, M. L., & Li, S. (2003). Finger interactions studied with transcranial magnetic stimulation during multi-finger force production tasks. *Clinical Neurophysiology*, 114(8), 1445–1455. doi:10.1016/s1388-2457(03)00105-6.

Encuentra máxima local - MATLAB findpeaks - MathWorks España. (s. f.). MathWorks. Recuperado 20 de septiembre de 2021, de https://es.mathworks.com/help/signal/ref/findpeaks.html?searchHighlight=findpeaks&s_tid=srchtitle.

Erden, M. S., McColl, W., Abassebay, D., & Haldane, S. (2020). Hand Exoskeleton to Assess Hand Spasticity. In *2020 8th IEEE RAS/EMBS International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)* (pp. 1004-1009). (International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics). IEEE. <https://doi.org/10.1109/BioRob49111.2020.9224329>

Filtrado Savitzky-Golay - MATLAB sgolayfilt - MathWorks España. (s. f.). MathWorks. Recuperado 20 de septiembre de 2021, de <https://es.mathworks.com/help/signal/ref/sgolayfilt.html>.

FSR 400 Series Data Sheet, Jan. 2010, URL: <https://descargas.cetronic.es/FSR400.pdf> [acceso: Septiembre 2021]

Giner, I. (2019). Desarrollo de un guante equipado con sensores táctiles e inerciales. (Trabajo Final de Grado). Universidad de Málaga, Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica. Málaga

Hincapié, O. (2007). Elaboración de estándares de la fuerza de agarre en individuos sanos entre 20 y 70 años residentes en la localidad de Usaquén, Bogotá. *Revista Colombiana De Rehabilitación*, 6(1), 5-20. <https://doi.org/10.30788/RevColReh.v6.n1.2007.97>.

Hinkle, D. E., Wiersma, W. and Jurs, S. G., *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*, 5th ed. Houghton Mifflin, 2002.

Huang, T. Y., Pan, L. H., Yang, W. W., Huang, L. Y., Sun, P. C., & Chen, C. S. (2019). Biomechanical Evaluation of Three-Dimensional Printed Dynamic Hand Device for Patients with Chronic Stroke. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 27(6), 1246–1252. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2019.2915260>.

Kong, Y., & Lowe, B. (2005). Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35, 495-507.

MATLAB Documentation - MathWorks. (s. f.). MathWorks. Recuperado 20 de septiembre de 2021, de <https://es.mathworks.com/help/matlab/index.html?lang=en>.

Moromugi, S., Higashi, T., Ishikawa, R., Kudo, S., Iso, N., Ooso, S., Shirotani, T., Lawn, M., & Ishimatsu, T. (2014). Exotendon Glove System for Finger Rehabilitation after Stroke.

Nowak, D. A., & Hermsdörfer, J. (2006). Objective evaluation of manual performance deficits in neurological movement disorders. *Brain research reviews*, 51(1), 108–124. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.10.003>.

Schieber, M. H., Lang, C. E., Reilly, K. T., McNulty, P., & Sirigu, A. (2009). Selective activation of human finger muscles after stroke or amputation. *Advances in experimental medicine and biology*, 629, 559–575. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77064-2_30.

Susanto, Evan A., 2015. Intention-driven robotic hand Rehabilitation system with individuated Finger training feature. [Tesis de doctorado, The Hong Kong Polytechnic University]. <https://www.semanticscholar.org/>.

Susanto, Evan A., Raymond K.Y. Tong & Newmen S.K. Ho (2015) Hand exoskeleton robot for assessing hand and finger motor impairment after stroke, HKIE Transactions, 22:2, 78-87, DOI: 10.1080/1023697X.2015.1038319.

Velázquez-Sánchez, A.T., Merchán-Cruz, E.A., Hernández-Gómez, L.H., & Urriolagoitia-Calderón, G. (2012). Rango de movilidad y función descriptiva del dedo índice.

Apéndice

Apéndice A. Código de MATLAB

Función read_data():

```
1 function [fza_data,PN_data] = read_data(archivo)
2     %abre el archivo
3     filename = fopen(archivo);
4     encabezado= fscanf(filename,'%s',1);
5     %reconoce el formato
6     if encabezado=="BVH"
7         perceptionLength=360;
8     elseif encabezado=="CALCULATION"
9         perceptionLength=967;
10    elseif encabezado=="PRESSURE"
11        perceptionLength=0;
12    end
13    %recorre los datos asignandolos a datos de fuerza o de Perception Neuron
14    aux1=zeros(1,24);
15    aux2=zeros(1,perceptionLength);
16    count1=24;
17    count2=perceptionLength;
18    %Realiza concatenaciones de matrices hasta que termina el fichero
19    %las matrices de PN y PA tienen distinto tamaño y están intercaladas
20    %debe fragmentarse el fichero de las grabaciones por cada línea
21    while(count1==24 && count2==perceptionLength)
22        [fza_data,count1] = fscanf(filename,'%f',24);
23        [PN_data,count2] = fscanf(filename, '%f',perceptionLength);
24        if(count1==24 && count2==perceptionLength)
25            fza_data=fza_data';
26            PN_data=PN_data';
27            fza_data=[aux1;fza_data]; %#ok<AGROW>
28            PN_data=[aux2;PN_data]; %#ok<AGROW>
29            aux1=fza_data;
30            aux2=PN_data;
31        else
32            fza_data=aux1;
33            PN_data=aux2;
34        end
35    end
36    %ordena los sensores por dedos para una mejor compresion en posteriores
37    %scripts. Divide entre 1666.666 para cabiar las unidades a Newton
38    %(1666.666 ticks = 1 N)
39    fza_data = fza_data(:, [1,2,3,4,5,6,7,8,22,23,24,12,11,10,9,16,15,14,13,17,18,19,20,21]);
40    fza_data = fza_data/(1666.666);
41    %selecciona las columnas que contienen la información de posición
42    %angular de la mano derecha y se descartan las columnas de desplazamiento.
43    PN_data = PN_data(:, [106,108,112,114,118,132,138,144,156,180,204]);
44    fclose(filename);
45    end
```

Función *tipo()*:

```

1 function [lgd, matrix] = tipo(name,origen_data)
2     if strcmpi(name,"movimiento",10) %identifica si la matriz es de posición angular y se asignan los datos al grupo de dedos al que pertenece
3         if strcmp(name,"movimiento de pulgar")
4             matrix = origen_data(:, [1,2,3,4,5]);
5             lgd = ({'pulgar metacarpo y', 'pulgar metacarpo z', 'pulgar PIP y', 'pulgar PIP z', 'pulgar DIP y'});
6         elseif strcmp(name,"movimiento de indice") || strcmp(name,"movimiento de indice")
7             matrix = origen_data(:, [6,7,8]);
8             lgd = ({'indice PIP z', 'indice MCP z', 'indice DIP z'});
9         elseif strcmp(name,"movimiento de corazón") || strcmp(name,"movimiento de corazón")
10            matrix = origen_data(:,9);
11            lgd = ({'MCP z'});
12        elseif strcmp(name,"movimiento de anular")
13            matrix = origen_data(:,10);
14            lgd = ({'anular z'});
15        elseif strcmp(name,"movimiento de meñique") || strcmp(name,"movimiento de meñique")
16            matrix = origen_data(:,11);
17            lgd = ({'meñique z'});
18        elseif strcmp(name,"movimiento")
19            matrix = origen_data;
20            lgd = ({'pulgar metacarpo y', 'pulgar metacarpo z', 'pulgar PIP y', 'pulgar PIP z', 'pulgar DIP y', ...
21                'indice PIP z', 'indice MCP z', 'indice DIP z', 'MCP z', 'anular z', 'meñique z'});
22        end
23    elseif strcmpi(name,"fuerza",6) %identifica si es la matriz de fuerza y se asignan los datos al grupo de dedos al que pertenece
24        if strcmp(name,"fuerza de anular")
25            matrix = origen_data(:,1:4);
26            lgd = ({'anular distal', 'anular medio', 'anular proximal', 'metacarpo anular'});
27        elseif strcmp(name,"fuerza de meñique") || strcmp(name,"fuerza de meñique")
28            matrix = origen_data(:,5:11);
29            lgd = ({'meñique distal', 'meñique medio', 'meñique proximal', 'metacarpo meñique', ...
30                'flexor del meñique distal', 'flexor del meñique medio', 'flexor del meñique proximal'});
31        elseif strcmp(name,"fuerza de indice") || strcmp(name,"fuerza de indice")
32            matrix = origen_data(:,12:15);
33            lgd = ({'indice distal', 'indice medio', 'indice proximal', 'metacarpo indice'});
34        elseif strcmp(name,"fuerza de corazón") || strcmp(name,"fuerza de corazón")
35            matrix = origen_data(:,16:19);
36            lgd = ({'corazón distal', 'corazón medio', 'corazón proximal', 'metacarpo corazón'});
37        elseif strcmp(name,"fuerza de pulgar")
38            matrix = origen_data(:,20:24);
39            lgd = ({'pulgar distal', 'pulgar proximal', 'zona flexor pulgar', ...
40                'músculo oponente pulgar distal', 'músculo op. pulgar proximal'});
41        elseif strcmp(name,"fuerza")
42            matrix = origen_data;
43            lgd = ({'anular distal', 'anular medio', 'anular proximal', 'metacarpo anular', ...
44                'meñique distal', 'meñique medio', 'meñique proximal', 'metacarpo meñique', ...
45                'flexor del meñique distal', 'flexor del meñique medio', 'flexor del meñique proximal', ...
46                'indice distal', 'indice medio', 'indice proximal', 'metacarpo indice', ...
47                'corazón distal', 'corazón medio', 'corazón proximal', 'metacarpo corazón', ...
48                'pulgar distal', 'pulgar proximal', 'zona flexor pulgar', ...
49                'músculo oponente pulgar distal', 'músculo oponente pulgar proximal'});
50        end
51    end
52 end

```

Función show_filter_flexion():

```

1  %PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE ANGULO
2  function [fx_filter] = show_filter_flexion(C2,flag)
3
4      [m2,~] = size(C2);
5      t2=1:l:m2;
6      %se resta el offset
7      C2 = C2 - mean(C2);
8      %parámetros de filtro, orden =1 y longitud de fotograma = 25
9      rd = 1; fl = 25;
10     fx_filter = sgolayfilt(C2,rd,fl);
11     if flag==1
12         figure;
13         subplot(2,1,1)
14         plot(t2,C2(:,1),'-.',t2,C2(:,2),'-.',t2,C2(:,3),'-.',t2,C2(:,4),'-.',t2,...
15              C2(:,5),'-.',t2,C2(:,6),t2,C2(:,7),t2,C2(:,8),t2,C2(:,9),t2,C2(:,10),t2,C2(:,11));
16         set(gca,'FontName','times','FontSize',12)
17         title('Posición angular sin procesar')
18
19         subplot(2,1,2);
20         plot(t2,fx_filter(:,1),'-.',t2,fx_filter(:,2),'-.',t2,fx_filter(:,3),'-.',t2,fx_filter(:,4),'-.',t2,...
21              fx_filter(:,5),'-.',t2,fx_filter(:,6),t2,fx_filter(:,7),t2,fx_filter(:,8),t2,fx_filter(:,9),t2,fx_filter(:,10),t2,fx_filter(:,11));
22         legend({'pulgar metacarpo y','pulgar metacarpo z','pulgar proximal y','pulgar proximal z','pulgar distal y',...
23               'indice proximal z','indice medio z','indice distal z','medio z','anular z','meñique z'})
24         set(gca,'FontName','times','FontSize',12)
25         title('Posición angular procesada')
26         xlabel('$Fotogramas$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',12)
27         ylabel('$Angulo (grados)$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',12)
28
29     end
30 end

```

Función show_filter_press():

```

1  %PROCESAMIENTO DE LOS DATOS DE PRESION
2  function [pr_filter] = show_filter_press(C1,flag)
3
4      [m,~] = size(C1);
5      t=1:l:m;
6      %parámetros de filtro, orden =1 y longitud de fotograma = 11
7      rd = 1; fl = 11;
8      pr_filter = sgolayfilt(C1,rd,fl);
9      if flag==1
10         figure;
11         subplot(2,1,1);
12         plot(t,C1(:,1),'-.',t,C1(:,2),'-.',t,C1(:,3),'-.',t,C1(:,4),'-.',t,C1(:,5),'-.',t,C1(:,6),'-.',t,C1(:,7),'-.',...
13              t,C1(:,8),'-.',t,C1(:,9),'-.',t,C1(:,10),'-.',t,C1(:,11),'-.',t,C1(:,12),'-.',t,C1(:,13),'-.',...
14              t,C1(:,14),'-.',t,C1(:,15),'-.',t,C1(:,16),'-.',t,C1(:,17),'-.',t,C1(:,18),'-.',t,C1(:,19),'-.',t,C1(:,20),t,...
15              C1(:,21),t,C1(:,22),t,C1(:,23),t,C1(:,24));
16         set(gca,'FontName','times','FontSize',12)
17         title('Datos de fuerza sin procesar')
18
19         subplot(2,1,2)
20         plot(t,pr_filter(:,1),'-.',t,pr_filter(:,2),'-.',t,pr_filter(:,3),'-.',t,pr_filter(:,4),'-.',t,pr_filter(:,5),'-.',t,pr_filter(:,6),'-.',t,pr_filter(:,7),'-.',...
21              t,pr_filter(:,8),'-.',t,pr_filter(:,9),'-.',t,pr_filter(:,10),'-.',t,pr_filter(:,11),'-.',t,pr_filter(:,12),'-.',t,pr_filter(:,13),'-.',...
22              t,pr_filter(:,14),'-.',t,pr_filter(:,15),'-.',t,pr_filter(:,16),'-.',t,pr_filter(:,17),'-.',t,pr_filter(:,18),t,pr_filter(:,19),t,pr_filter(:,20),t,...
23              pr_filter(:,21),t,pr_filter(:,22),t,pr_filter(:,23),t,pr_filter(:,24));
24         legend({'anular distal','anular medio','anular proximal','metacarpo anular',...
25               'meñique distal','meñique medio','meñique proximal','metacarpo meñique',...
26               'flexor meñique distal','flexor meñique medio','flexor meñique proximal',...
27               'indice distal','indice medio','indice proximal','metacarpo indice',...
28               'corazón distal','corazón medio','corazón proximal','metacarpo corazón',...
29               'pulgar distal','pulgar proximal','sona flexor pulgar',...
30               'oponente pulgar distal','oponente pulgar proximal'});
31         set(gca,'FontName','times','FontSize',12)
32         title('Datos de fuerza procesados')
33         xlabel('$Fotogramas$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',12)
34         ylabel('$Fuerza (N)$', 'Interpreter','LaTeX','FontSize',12)
35     end
36 end

```

Función show_signals():

```
1 function show_signals(name,origen_data)
2     %usa las leyendas adecuadas gracias a la clasificación
3     %en la función tipo()
4     [lgd,matrix]=tipo(name,origen_data);
5     [x,y]=size(matrix);
6     t=1/27:1/27:x/27; %pasa de numero frames a tiempo(s)
7     for i=1:y
8         data = matrix(:,i);
9         plot(t,data)
10        hold on
11    end
12    title(name);
13    legend(lgd);
14    fprintf("\n");
15 end
```

Función all_peaks():

```
1 function all_peaks(data,promValue)
2     [~,y]=size(data);
3     plots = zeros(1,y);
4     for i=1:y
5         [p] = uniqueSignal(data(:,i),promValue);
6         plots(1,i) = p;
7         hold on
8     end
9     legend(plots)
10 end
11
12 function [plt] = uniqueSignal (data,prominenceValue)
13     [x,~]=size(data);
14     t=1:1:x;
15     [pks_positivos,center_positivos]=findpeaks(data,t,'MinPeakProminence',prominenceValue);
16     [pks_negativos,center_negativos] = findpeaks(-data,t,'MinPeakProminence',prominenceValue);
17     center_positivos = center_positivos';
18     center_negativos = center_negativos';
19     pks=cat(1,pks_positivos,-pks_negativos);
20     center = cat(1,center_positivos,center_negativos);
21     center = center';
22     hold on
23     plt = plot(t,data);
24     plot(t,data,'rv','MarkerIndices',center)
25     text(center+10,pks,num2str((1:numel(pks))'))
26 end
27
```

Función maxima_fuerza():

```
1  %flag = 10 solo muestra resultados por pantallas
2  %flag = 0 no muestra nada,solo devuelve los datos || flag = 1 muestra graficas con los picos y resultados por pantallas
3  function [suma_falanges,suma_carpos] = maxima_fuerza(matrix,flag)
4  -   suma_falanges = 0;
5  -   suma_carpos = 0;
6  -   %CODIGO PARA GRAFICAR
7  -   if flag == 1
8  -       figure;
9  -       hold on
10 -       xlabel('Tiempo (s)','FontSize',12,'FontName','LM Roman 10' )
11 -       ylabel('Fuerza (N)','FontSize',12,'FontName','LM Roman 10' )
12 -   end
13 -   %CALCULO DE PICOS PERTENECIENTE A CADA FALANGE
14 -   %matrix(:,1:3) POR EL ORDEN EN EL QUE SE CLASIFICAN EN LA FUNCION TIPO()
15 -   falanges = matrix(:,1:3);
16 -   [x,y]=size(falanges);
17 -   t=1/27:1/27:x/27;
18 -   for i=1:y
19 -       data = falanges(:,i);
20 -       [pks,~] = findpeaks(data,t,'MinPeakProminence',0.5);
21 -       if flag == 1
22 -           findpeaks(data,t,'MinPeakProminence',0.5);
23 -           hold on
24 -       end
25 -       [m,~] =size(pks);
26 -       if m>0
27 -           pks_mean = mean(pks);
28 -           suma_falanges = suma_falanges + pks_mean;
29 -       end
30 -   end
31 -   %CALCULO DE PICOS PERTENECIENTE A LOS CARPOS
32 -   %matrix(:,4:end) POR EL ORDEN EN EL QUE SE CLASIFICAN EN LA FUNCION TIPO()
33 -   carpos = matrix(:,4:end);
34 -   [x,y]=size(carpos);
35 -   t=1/27:1/27:x/27;
36 -   for i=1:y
37 -       data = carpos(:,i);
38 -       [pks,~] = findpeaks(data,t,'MinPeakProminence',0.5);
39 -       if flag == 1
40 -           findpeaks(data,t,'MinPeakProminence',0.5)
41 -           hold on
42 -       end
43 -       [m,~] =size(pks);
44 -       if m>0
45 -           pks_mean = mean(pks);
46 -           suma_carpos = suma_carpos + pks_mean;
47 -       end
48 -   end
49 -   if flag == 1 || flag == 10
50 -       fprintf("fuerza falanges: "+ suma_falanges +" (N) fuerza carpos: "+ suma_carpos+" (N) \n");
51 -   end
52 - end
```

Función analisis():

```

1 function [datos] = analisis(name,pr_data,fx_data,id_dedo,prominenceValue,porcentajeIntervalo,flag)
2     [~,matrix]=tipo(name,pr_data);
3     fprintf(name+"\n");
4     [x,~]=size(matrix);
5     t=1:l:x;
6     %para que solo tenga en cuenta la señal de la falange media, tomamos la columna 2:
7     i=2;
8     data = matrix(:,i);
9     [pks,center] = findpeaks(data,t,'MinPeakProminence',prominenceValue);
10    [m,~]=size(pks);
11    %si no detecta picos en la falange media, probamos la proximal
12    if m == 0
13        i = 3;
14        data = matrix(:,i);
15        [pks,center] = findpeaks(data,t,'MinPeakProminence',prominenceValue);
16        [m,~]=size(pks);
17    end
18
19    %cada señal tiene diferentes picos,recorremos cada pico dentro de una señal
20    if m~=0 %si no hay picos no puede recorrerse
21        [~,j] = max(pks);
22        if pks(j)>=0
23            rango = pks(j)*(1-porcentajeIntervalo/100);
24        else
25            rango = pks(j)*(1+porcentajeIntervalo/100);
26        end
27
28        a1=data((1:center(j)),:);
29        a2=data((center(j):end),:);
30        [x0,~]=find(a1<rango,1,'last');
31        [x1,~]=find(a2<rango,1);
32        x1=x1+length(data((1:center(j)),:)); %a x2 sumar las posiciones de la izquierda
33        intervalo=x1-x0;
34        %sumatorio(Fij)
35        sumFij=0;
36        %a parte para tener en cuenta solo la falange media del indice
37        %descartamos pulgar
38        sumFij = sumFij + max(abs(fx_data(x0:x1,7)));
39        sumFij = sumFij + max(abs(fx_data(x0:x1,9)));
40        sumFij = sumFij + max(abs(fx_data(x0:x1,10)));
41        sumFij = sumFij + max(abs(fx_data(x0:x1,11)));
42        %comprobamos flag del pulgar
43
44        if flag == 1
45            sumFij = sumFij + max(abs(fx_data(x0:x1,3)));
46            ind_thumb = max(abs(fx_data(x0:x1,3)))/sumFij;
47            n=5;
48        else
49            ind_thumb = 0;
50            n=4;
51        end
52
53        Fii = max(abs(fx_data(x0:x1,id_dedo)));
54        %para ver cuanto aporta cada dedo a la individualidad
55        ind_index = max(abs(fx_data(x0:x1,7)))/sumFij;
56        ind_middle = max(abs(fx_data(x0:x1,9)))/sumFij;
57        ind_anular = max(abs(fx_data(x0:x1,10)))/sumFij;
58        ind_tiny = max(abs(fx_data(x0:x1,11)))/sumFij;
59
60        % Fii calcula el angulo del dedo instruido i frente a todos los
61        % angulos en ese intervalo de tiempo
62
63        Fii = Fii/sumFij;
64        disp(" peak: "+j+" value: "+pks(j)+" || x0= "+x0+" x1= "+x1 +" duration: "+intervalo+...
65            " Fii: "+Fii+ "|| index: "+ind_index + " middle: "+ind_middle+ " anular: "+ind_anular+ ...
66            " tiny: "+ind_tiny + " thumb: "+ind_thumb)
67        Fii_n = Fii/n;
68    else
69        Fii_n = 0;
70        Fii = 0;
71        ind_index = 0;
72        ind_middle = 0;
73        ind_anular = 0;
74        ind_tiny = 0;
75        ind_thumb = 0;
76    end
77    datos = [Fii ,ind_index, ind_middle, ind_anular, ind_tiny, ind_thumb, Fii_n];
78 end

```

Función analisis_rango():

```
1 %recibe el rango de movimiento calculado por medir_rango2
2 function [datos] = analisis_rango(index, middle, anular, tiny, fii)
3     suma = index+middle+anular+tiny;
4     Fii = fii/suma;
5
6     ind_index = index/suma;
7     ind_middle = middle/suma;
8     ind_anular = anular/suma;
9     ind_tiny = tiny/suma;
10    Fii_4 = Fii/4;
11    disp(" Fii = "+Fii+ " || index= "+ind_index + " middle= "+ind_middle+ " anular= "+ind_anular+ " tiny= "+ind_tiny)
12    datos = [Fii ,ind_index, ind_middle, ind_anular, ind_tiny, Fii_4];
13 end
14
```

Función rango_mov():

```
1 function [rango] = rango_mov(C2,indice_dedo)
2     % condiciones para mostrar el nombre del dedo asociado al identificador
3     % del sensor
4     if (indice_dedo == 1 || indice_dedo == 2 || indice_dedo == 3 || indice_dedo == 4 || indice_dedo == 5)
5         id_dedo = "pulgar";
6     elseif indice_dedo == 6 || indice_dedo == 7 || indice_dedo == 8
7         id_dedo = "indice";
8     elseif indice_dedo == 9
9         id_dedo = "corazón";
10    elseif indice_dedo == 10
11        id_dedo = "anular";
12    elseif indice_dedo == 11
13        id_dedo = "meñique";
14    end
15
16    dat = C2(:,indice_dedo);
17    [x,~]=size(dat);
18    t=1/27:1/27:x/27; %convertir numero de frames a tiempo (s)
19    [pks_pos,~] = findpeaks(dat,t,'MinPeakProminence',2.5); %calcular picos positivos
20    [pks_neg,~] = findpeaks(-dat,t,'MinPeakProminence',2.5);%calcular picos negativos
21    [m,~]=size(pks_pos);
22    [m2,~]=size(pks_neg);
23    if m<=m2 %condiciones necesarias para el buen funcionamiento de la resta entre picos
24        tope = m;
25    else
26        tope = m2;
27    end
28    %Se calcula la media de las diferentes amplitudes que puede haber en
29    %una grabación
30    rango = 0;
31    for i = 1:tope
32        rango = rango + abs(pks_pos(i))+abs(pks_neg(i));
33    end
34    rango=rango/m;
35    if isnan(rango)
36        rango = 0;
37    end
38    disp ("dedo: "+ id_dedo+" | variación de ángulo: "+rango+ " °");
39 end
```

Función pinch_forces():

```
1 %Calcula las fuerzas e los distintos tipos de agarre, deben introducirse
2 %las grabaciones en orden: agarre de precisión, agarre lateral y agarre
3 %palmar
4 function [forces] = pinch_forces(fichero_grasp,fichero_lateral,fichero_palmar)
5 - [grasp_data,~] = read_data(fichero_grasp);
6 - pr_filter = show_filter_press(grasp_data,0);
7 - [~, pr_thumb] = tipo ("fuerza de pulgar",pr_filter);
8 - [~, pr_index] = tipo ("fuerza de índice",pr_filter);
9 - [f_ind, c_ind] = maxima_fuerza(pr_index,0);
10 - [f_thumb, c_thumb] = maxima_fuerza(pr_thumb,0);
11 - grasp = f_ind+f_thumb+c_ind+c_thumb;
12 - fprintf("GRASP FORCE "+grasp+"\n");
13
14 - [lateral_data,~] = read_data(fichero_lateral);
15 - pr_filter = show_filter_press(lateral_data,0);
16 - [~, pr_thumb] = tipo ("fuerza de pulgar",pr_filter);
17 - [f_thumb, c_thumb] = maxima_fuerza(pr_thumb,0);
18 - lateral = f_thumb+c_thumb;
19 - fprintf("LATERAL FORCE "+lateral+" \n");
20
21 - [palmar_data,~] = read_data(fichero_palmar);
22 - pr_filter = show_filter_press(palmar_data,0);
23 - [~, pr_thumb] = tipo ("fuerza de pulgar",pr_filter);
24 - [~, pr_index] = tipo ("fuerza de índice",pr_filter);
25 - [~, pr_middle] = tipo ("fuerza de corazón",pr_filter);
26 - [~, pr_anular] = tipo ("fuerza de anular",pr_filter);
27 - [~, pr_tiny] = tipo ("fuerza de meñique",pr_filter);
28 - [f_ind, c_ind] = maxima_fuerza(pr_index,0);
29 - [f_mid, c_mid] = maxima_fuerza(pr_middle,0);
30 - [f_an, c_an] = maxima_fuerza(pr_anular,0);
31 - [f_tiny, c_tiny] = maxima_fuerza(pr_tiny,0);
32 - [f_thumb, c_thumb] = maxima_fuerza(pr_thumb,0);
33 - palmar = f_ind + f_thumb + c_ind + c_thumb + f_mid + c_mid + f_an + c_an + f_tiny + c_tiny;
34 - fprintf("palmar FORCE "+palmar+"\n");
35
36 - forces = [grasp,lateral,palmar];
37 - end
```

Apéndice B. Código fundamental añadido en Pressure App

Decodificación de grabación de datos (Form1.cs).

```
434 private void Decoding(StreamWriter swr) {
435     try
436     {
437         BinaryReader binReader = new BinaryReader(FTDIPNFile);
438         FTDIPNFile.Position = 0;
439         bool ctrlIPN = true;
440         int cntPressure = 0;
441         int cntPerception = 0;
442         int limitCnt = 0;
443         String result = null;
444         //identifica el formato de grabacion escrito en el .txt
445         //genera contadores con el numero de datos que contiene cada formato
446         if (PN_I)
447         {
448             if (PNDev.mode.Equals("BVH"))
449             {
450                 swr.Write("BVH\n\r");
451                 limitCnt = 360;
452             }
453             else if (PNDev.mode.Equals("Calculation"))
454             {
455                 swr.Write("CALCULATION\n\r");
456                 limitCnt = 946;
457             }
458         }
459         else if (FT_I)
460         {
461             swr.Write("PRESSURE\n\r");
462         }
463         //descodifica cada dato y los prepara para su lectura en matlab
464         while (FTDIPNFile.Position != FTDIPNFile.Length)
465         {
466             result = null;
467             result = binReader.ReadUInt32().ToString().Replace(",",".");
468             swr.Write(result + " ");
469             cntPressure += 1;
470             if (cntPressure == PRESSURE_SENSOR_LIMIT)
471             {
472                 cntPressure = 0;
473                 swr.Write("\n\r");
474                 if (PN_I)
475                 {
476                     ctrlIPN = false;
477                     while (!ctrlIPN)
478                     {
479                         result = null;
480                         result = binReader.ReadSingle().ToString().Replace(",",".");
481                         swr.Write(result + " ");
482                         cntPerception += 1;
483                         if (cntPerception == limitCnt)
484                         {
485                             cntPerception = 0;
486                             swr.Write("\n\r");
487                             ctrlIPN = true;
488                         }
489                     }
490                 }
491             }
492         }
493     }
494     catch (Exception ex)
495     {
496         MessageBox.Show(ex.ToString());
497     }
498 }
```

Creación de ficheros de lectura (Form1.cs).

```

393 // Create reading file
394 1 referencia
394 private StreamWriter NewStreamWriter()
395 {
396     string dirCarpetaLectura = directory + @"\CarpetaLectura";
397     //si no existe la carpeta de lectura se crea
398     if (Directory.Exists(dirCarpetaLectura))
399     {
400         dir = new DirectoryInfo(dirCarpetaLectura);
401     }
402     else
403     {
404         Directory.CreateDirectory(dirCarpetaLectura);
405         dir = new DirectoryInfo(dirCarpetaLectura);
406         string fileLectur = dirCarpetaLectura + @"\lectur_0.txt";
407         File.Create(fileLectur);
408     }
409     fileList = dir.GetFiles("");
410     int Startidx = "lectur_".Length;
411     int maxREC = 0;
412     foreach (FileInfo fi in fileList)
413     {
414         //enumera las grabaciones
415         try
416         {
417             int length = (fi.Name.Length - 4) - Startidx;
418             int RECNumber = Int32.Parse(fi.Name.Substring(Startidx, length));
419
420             if (RECNumber > maxREC)
421             {
422                 maxREC = RECNumber;
423             }
424         }
425         catch (Exception)
426         {
427             Infomsg = "File didn't find";
428             Info_refresh(ref RecConsole, Infomsg);
429         }
430     }
431     maxREC += 1;
432     StreamWriter swr = new StreamWriter(dirCarpetaLectura + @"\lectur_" + maxREC + @".txt");
433     return swr;
434 }

```

Apéndice C. Manual de instalación y uso

Antes de empezar

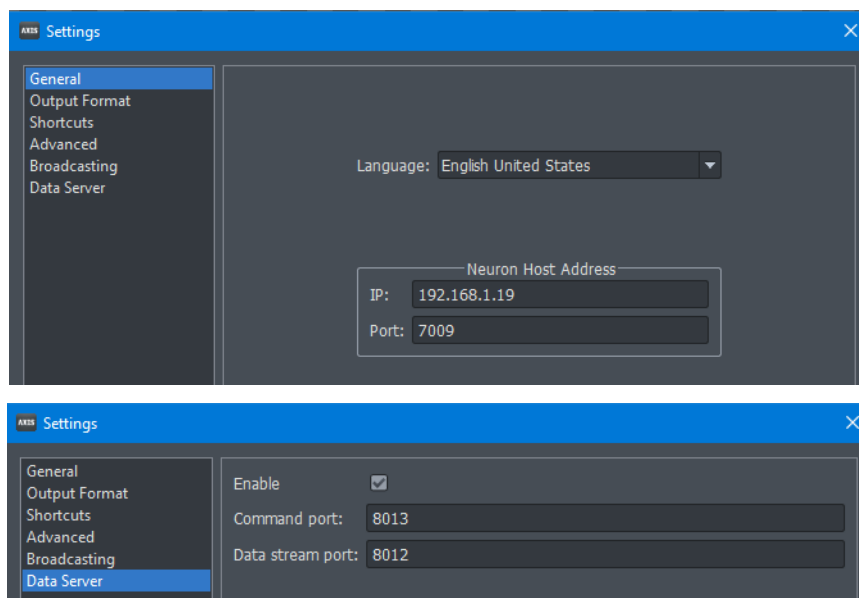
- Instalar Axis Neuron, dentro de la carpeta AXIS NEURON se encuentra su instalador, una guía básica y el manual de usuario (Axis Neuron User Manual).
- Descomprimir el fichero CDM21228_Setup e instalarlo para reconocer la FPGA en el ordenador.

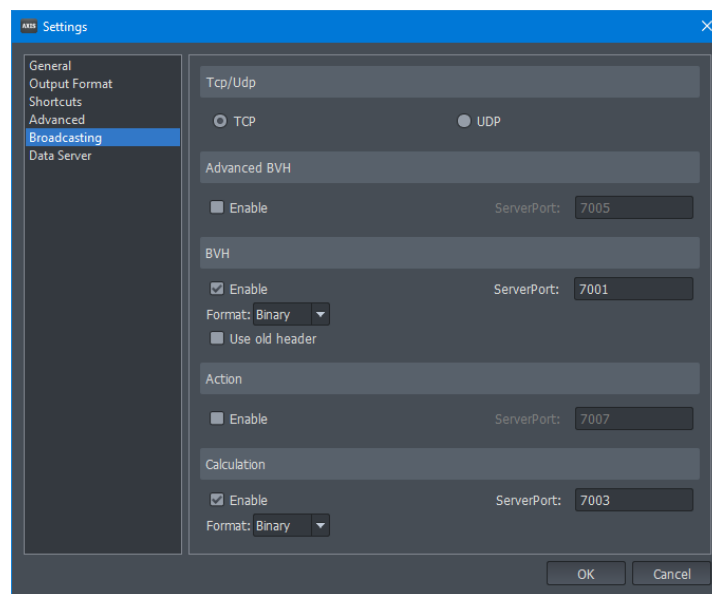
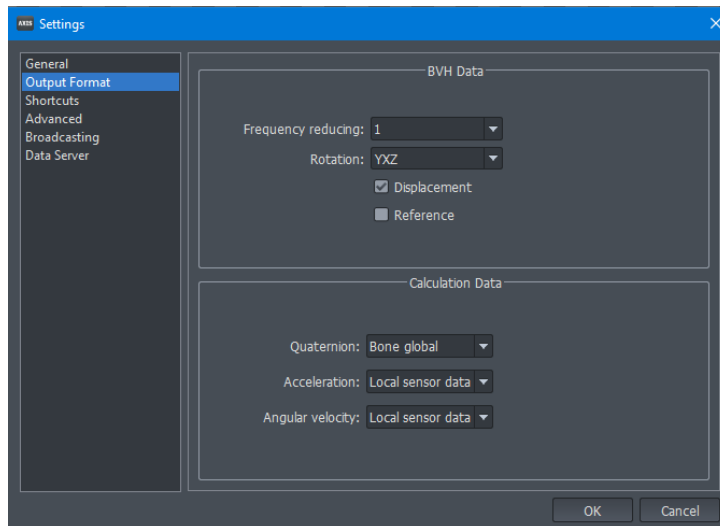
Uso de Axis Neuron



1. Conectar cable al HUB, y este a la “neurona” del antebrazo, sonará un pitido que indicará que el HUB está conectado.



2. Comprobar panel de configuración:





3. Pulsar botón  "Connect" y conectarnos a nuestro equipo
4. Calibrar el sistema pulsando el icono:  y seguir las indicaciones.

Uso de Pressure App

1. En la siguiente ruta encontramos el ejecutable de PA. Abrir y conectar el guante vía USB a nuestro ordenador.

C:\Users\raulv\Desktop\TFGGuante\Archivos\Pressure_app\bin\Debug\PressureApp.exe

Data Type.h	26/08/2019 4:12	C/C++ Header	6 KB
FTD2XX_NET.dll	26/08/2019 4:12	Extensión de la ap...	72 KB
NeuronDataReader.dll	26/08/2019 4:12	Extensión de la ap...	439 KB
NeuronDataReader.h	26/08/2019 4:12	C/C++ Header	6 KB
NeuronDataReader.lib	26/08/2019 4:12	Object File Library	6 KB
NeuronDataReader_api.h	26/08/2019 4:12	C/C++ Header	2 KB
NeuronDataReader_api_mac.h	26/08/2019 4:12	C/C++ Header	2 KB
NeuronDataReaderd.dll	26/08/2019 4:12	Extensión de la ap...	2.529 KB
NeuronDataReaderd.lib	26/08/2019 4:12	Object File Library	6 KB
NeuronDataReaderd.pdb	26/08/2019 4:12	Program Debug D...	10.788 KB
noitomDataReader.cs	26/08/2019 4:12	Visual C# Source F...	11 KB
PressureApp	16/08/2021 0:54	Aplicación	97 KB
PressureApp.pdb	16/08/2021 0:54	Program Debug D...	62 KB
PressureApp.vshost	03/02/2021 13:40	Aplicación	23 KB
PressureApp.vshost.exe.manifest	19/03/2019 5:46	Archivo MANIFEST	1 KB

2. Pulsar botones “OPEN PN SOCKET” y “OPEN FTDI DEVICE” para conectarnos a los sensores de PN y a *Smart Glove v1*.

The image shows three panels from the Perception Neuron software interface:

- Perception Neuron:** Contains a 'Data Format' dropdown set to 'BVH', IP address '127.0.0.1', and Port '7001'. There are checkboxes for 'Shift Enabled' (checked) and 'Prefix Enabled' (unchecked). A button labeled 'OPEN PN SOCKET' is visible, along with a 'Console' text area.
- Pressure System:** Features a button labeled 'OPEN FTDI DEVICE' and a 'Console' text area.
- Data Recording:** Includes 'START', 'STOP', and 'CLEAR' buttons. A 'Time' display shows '0 seconds' and a 'REC' indicator. An 'Info' section contains a text box with the prompt 'Write path to save data and press OK'. Below it, a 'Path' field shows 'C:\Users\raulv\Desktop\Pres' and an 'OK' button.

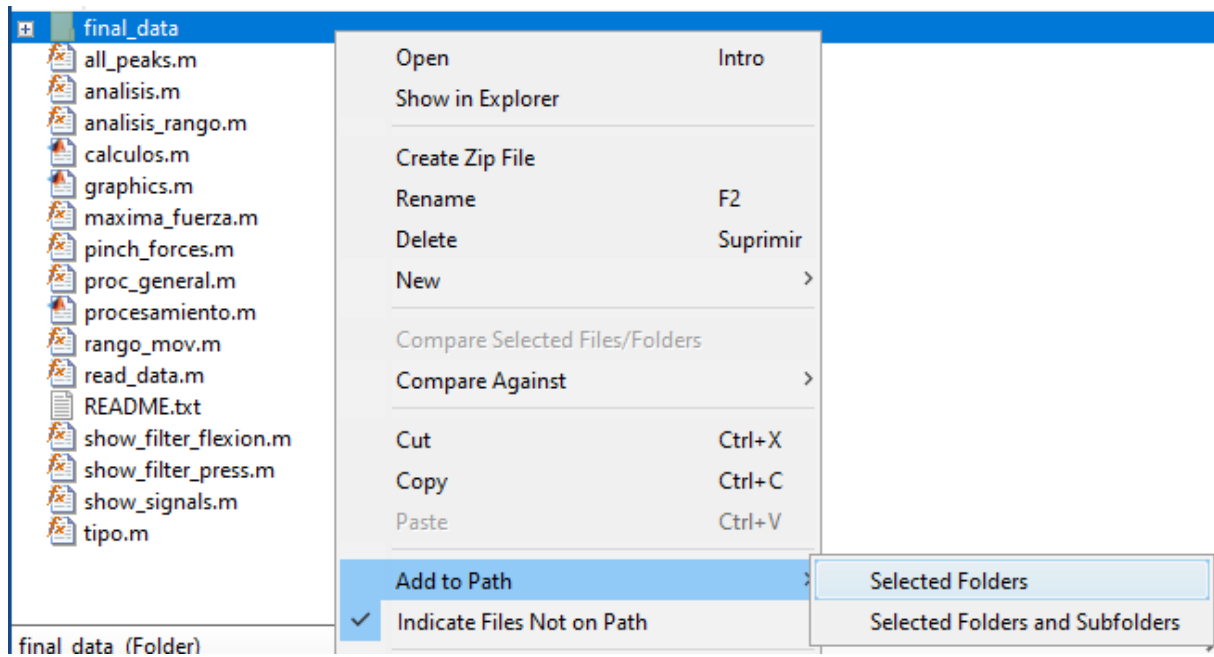
3. Podemos escribir un directorio para almacenar nuestras grabaciones, o el directorio por defecto, que creará una carpeta en el escritorio.
4. Pulsamos “OK” y “START” cuando estemos listos para comenzar la grabación y “STOP” para finalizarla.
5. Para realizar otra grabación, debemos pulsar el botón “CLEAR” y repetir el proceso desde el paso 2 de esta sección.
6. Una vez finalizada la grabación, encontraremos dos carpetas en el directorio que especifiquemos. En la carpeta “CarpetaLectura” estarán los datos decodificados que usaremos en la aplicación de Matlab. Si por error no especificamos bien una ruta de nuestro PC, encontraremos la grabación en `\Pressure_app\bin\Debug`.

Uso de MATLAB

La estructura del programa de Matlab contendrá tres scripts, doce funciones y un fichero README.txt.

Se debe crear una carpeta en la que almacenar los ficheros .txt con las grabaciones decodificadas ubicadas en la carpeta “CarpetaLectura” creada por Pressure App. Esta se debe añadir a la ruta (Botón derecho -> Add to Path -> Selected Folders)

La estructura es la siguiente: y los pasos son los siguientes:



En el fichero README.txt se encuentra información necesaria para entender el procesamiento de los datos. Ahí se indican los identificadores de los sensores de PN y el eje de coordenadas que registran, y los nombres de los grupos de dedos que debe usarse como identificador para clasificar los datos de fuerza en diferentes dedos.

```

1  % IDENTIFICADOR DE LOS DEDOS PARA ESTUDIAR EL ÁNGULO
2  % thumb1 y --- 1 metacarpo
3  % thumb1 z --- 2 metacarpo
4  % thumb2 y --- 3 proximal
5  % thumb2 z --- 4 proximal
6  % thumb3 y --- 5 distal
7  % index 1 --- 6 proximal
8  % index 2 --- 7 medio
9  % index 3 --- 8 distal
10 % middle --- 9 medio
11 % anular -- 10 medio
12 % tiny -- 11 medio
13
14 % IDENTIFICADORES PARA AGRUPAR DATOS DE SENSORES
15 % La columna izquierda clasifica los datos de fuerza
16 % La columna derecha clasifica los datos de posición angular
17 % fuerza de anular -- movimiento de anular
18 % fuerza de meñique -- movimiento de meñique
19 % fuerza de índice -- movimiento de índice
20 % fuerza de corazón -- movimiento de corazón
21 % fuerza de pulgar -- movimiento de pulgar
22 % fuerza -- movimiento
23
24 % los identificadores fuerza y movimiento no separan los datos en dedos

```

Se indican a que variable asignar cada grabación:

```

% ficheros en script procesamiento.m
%LECTURA DE GRABACIONES
fichero_general = "Grabación con resultados del ejercicio 1 o 2 (angulo y fuerza).txt"

%LECTURA DE FICHEROS CON GRABACIONES INDIVIDUALES DE CADA DEDO ejercicio 3
fichero_ind = "Grabación individual de movimiento del dedo índice.txt";
fichero_mid = "Grabación individual de movimiento del dedo corazón.txt";
fichero_an = "Grabación individual de movimiento del dedo anular.txt";
fichero_tiny = "Grabación individual de movimiento del dedo meñique.txt";
fichero_thumb = "Grabación individual de movimiento del dedo pulgar.txt";

```

- Script procesamiento.m

Este script es el principal y más útil para visualizar la información de un único sujeto.

En él, se proporcionan las visualizaciones de:

- Datos sin filtrar.
- Datos filtrados.
- Picos de fuerza.
- Picos de variación angular.
- Individualidad ejerciendo fuerzas.
- Individualidad sin ejercer fuerzas.
- Fuerzas separadas de dedos o metacarpos.

Para usar el programa se debe introducir el nombre de las grabaciones, como se indica en README.txt

Se muestra un ejemplo:

```
%LECTURA DEL FICHERO CON LAS GRABACIONES
fichero_general = "sujetol_DEDOS_EXTENDIDOS.txt";

%LECTURA DE FICHEROS
fichero_ind = "index_sujetol.txt";
fichero_mid = "middle_sujetol.txt";
fichero_an = "anular_sujetol.txt";
fichero_tiny = "tiny_sujetol.txt";
fichero_thumb = "thumb_sujetol.txt";
```

Una vez asignadas las grabaciones puede ejecutarse el script.

Además, encontramos los parámetros configurables de prominencia para la función *findpeaks()* y el intervalo del 80% usado para el análisis de individualidad.

```
%PARAMETROS
promValueFlex = 2.5; %PROMINENCIA DEL PICO DE ÁNGULO
promValuePress = 1; %PROMINENCIA DEL PICO DE FUERZA
intervalPress = 80; %PORCENTAJE PARA EL INTERVALO USADO EN analisis.m
```

- Función proc_general.m

En este script se realizan todas las operaciones de individualidad y fuerza para un solo sujeto. La diferencia principal con el script “procedimiento.m”, aparte de ser una función, devuelve

los datos en forma de matrices y no genera gráficas. Este script puede funcionar sin proporcionarle grabaciones del ejercicio 3.

- Script graphics.m

En este script recoge la información de varios sujetos con la función “proc_general()” y se realiza la media de todos los resultados clasificados por tipo de ejercicio y por rango de edad.

Este script muestra gráficas de comparaciones que serán útiles para comparar la progresión del sujeto durante la rehabilitación, en lugar de las diferencias entre rango de edades.

- Script calculos.m

Este script ha sido creado únicamente con la finalidad de escribir esta memoria, debe ejecutarse después de “graphics.m”, contiene los valores de las correlaciones realizadas y los resultados de los ejercicios, junto a los del artículo de referencia, en formato de tabla. Puede usarse para realizar comprobaciones.

Anexo

Anexo A: Fugl-Meyer Test (FMA)

FMA-UE PROTOCOL

Rehabilitation Medicine, University of Gothenburg

FUGL-MEYER ASSESSMENT UPPER EXTREMITY (FMA-UE)

ID:

Date:

Assessment of sensorimotor function

Examiner:

Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Steglind S: The post-stroke hemiplegic patient. A method for evaluation of physical performance. Scand J Rehabil Med 1973, 7:13-31.

A. UPPER EXTREMITY, sitting position				
I. Reflex activity		none	can be elicited	
Flexors: biceps and finger flexors (at least one)		0	2	
Extensors: triceps		0	2	
Subtotal I (max 4)				
II. Volitional movement within synergies, without gravitational help		none	partial	full
Flexor synergy: Hand from contralateral knee to ipsilateral ear. From extensor synergy (shoulder adduction/ internal rotation, elbow extension, forearm pronation) to flexor synergy (shoulder abduction/ external rotation, elbow flexion, forearm supination). Extensor synergy: Hand from ipsilateral ear to the contralateral knee	Shoulder retraction	0	1	2
	Shoulder elevation	0	1	2
	Shoulder abduction (90°)	0	1	2
	Shoulder external rotation	0	1	2
	Elbow flexion	0	1	2
	Forearm supination	0	1	2
	Shoulder adduction/internal rotation	0	1	2
	Elbow extension	0	1	2
	Forearm pronation	0	1	2
	Subtotal II (max 18)			
III. Volitional movement mixing synergies, without compensation		none	partial	full
Hand to lumbar spine	cannot perform or hand in front of ant-sup iliac spine	0		
hand on lap	hand behind ant-sup iliac spine (without compensation)	1		2
	hand to lumbar spine (without compensation)			
Shoulder flexion 0°- 90°	immediate abduction or elbow flexion	0		
elbow at 0°	abduction or elbow flexion during movement	1		
pronation-supination 0°	flexion 90°, no shoulder abduction or elbow flexion	2		
Pronation-supination	no pronation/supination, starting position impossible	0		
elbow at 90°	limited pronation/supination, maintains starting position	1		
shoulder at 0°	full pronation/supination, maintains starting position	2		
Subtotal III (max 6)				
IV. Volitional movement with little or no synergy		none	partial	full
Shoulder abduction 0 - 90°	immediate supination or elbow flexion	0		
elbow at 0°	supination or elbow flexion during movement	1		
forearm neutral	abduction 90°, maintains extension and pronation	2		
Shoulder flexion 90° - 180°	immediate abduction or elbow flexion	0		
elbow at 0°	abduction or elbow flexion during movement	1		
pronation-supination 0°	flexion 180°, no shoulder abduction or elbow flexion	2		
Pronation/supination	no pronation/supination, starting position impossible	0		
elbow at 0°	limited pronation/supination, maintains start position	1		
shoulder at 30°- 90° flexion	full pronation/supination, maintains starting position	2		
Subtotal IV (max 6)				
V. Normal reflex activity assessed only if full score of 6 points is achieved in part IV; compare with the unaffected side		hyper	lively	normal
Biceps, triceps, finger flexors	2 of 3 reflexes markedly hyperactive 1 reflex markedly hyperactive or at least 2 reflexes lively maximum of 1 reflex lively, none hyperactive	0	1	2
Subtotal V (max 2)				
Total A (max 36)				

B. WRIST support may be provided at the elbow to take or hold the starting position, no support at wrist, check the passive range of motion prior testing		none	partial	full
Stability at 15° dorsiflexion elbow at 90°, forearm pronated shoulder at 0°	less than 15° active dorsiflexion dorsiflexion 15°, no resistance tolerated maintains dorsiflexion against resistance	0	1	2
Repeated dorsiflexion / volar flexion elbow at 90°, forearm pronated shoulder at 0°, slight finger flexion	cannot perform volitionally limited active range of motion full active range of motion, smoothly	0	1	2
Stability at 15° dorsiflexion elbow at 0°, forearm pronated slight shoulder flexion/abduction	less than 15° active dorsiflexion dorsiflexion 15°, no resistance tolerated maintains dorsiflexion against resistance	0	1	2
Repeated dorsiflexion / volar flexion elbow at 0°, forearm pronated slight shoulder flexion/abduction	cannot perform volitionally limited active range of motion full active range of motion, smoothly	0	1	2
Circumduction elbow at 90°, forearm pronated shoulder at 0°	cannot perform volitionally jerky movement or incomplete complete and smooth circumduction	0	1	2
Total B (max 10)				

C. HAND support may be provided at the elbow to keep 90° flexion, no support at the wrist, compare with unaffected hand, the objects are interposed, active grasp		none	partial	full
Mass flexion from full active or passive extension		0	1	2
Mass extension from full active or passive flexion		0	1	2
GRASP				
a. Hook grasp flexion in PIP and DIP (digits II-V), extension in MCP II-V	cannot be performed can hold position but weak maintains position against resistance	0	1	2
b. Thumb adduction 1-st CMC, MCP, IP at 0°, scrap of paper between thumb and 2-nd MCP joint	cannot be performed can hold paper but not against tug can hold paper against a tug	0	1	2
c. Pincer grasp, opposition pulpa of the thumb against the pulpa of 2-nd finger, pencil, tug upward	cannot be performed can hold pencil but not against tug can hold pencil against a tug	0	1	2
d. Cylinder grasp cylinder shaped object (small can) tug upward, opposition of thumb and fingers	cannot be performed can hold cylinder but not against tug can hold cylinder against a tug	0	1	2
e. Spherical grasp fingers in abduction/flexion, thumb opposed, tennis ball, tug away	cannot be performed can hold ball but not against tug can hold ball against a tug	0	1	2
Total C (max 14)				

D. COORDINATION/SPEED , sitting, after one trial with both arms, eyes closed, tip of the index finger from knee to nose, 5 times as fast as possible		marked	slight	none
Tremor		0	1	2
Dysmetria	pronounced or unsystematic slight and systematic no dysmetria	0	1	2
		≥ 6s	2 - 5s	< 2s
Time start and end with the hand on the knee	6 or more seconds slower than unaffected side 2-5 seconds slower than unaffected side less than 2 seconds difference	0	1	2
Total D (max 6)				

TOTAL A-D (max 66)				
---------------------------	--	--	--	--

H. SENSATION, upper extremity eyes closed, compared with the unaffected side		anesthesia	hypoesthesia or dysesthesia	normal
Light touch	upper arm, forearm	0	1	2
	palmary surface of the hand	0	1	2
		less than 3/4 correct or absence	3/4 correct or considerable difference	correct 100%, little or no difference
Position small alterations in the position	shoulder	0	1	2
	elbow	0	1	2
	wrist	0	1	2
	thumb (IP-joint)	0	1	2
Total H (max12)				

I. PASSIVE JOINT MOTION, upper extremity, sitting position, compare with the unaffected side				J. JOINT PAIN during passive motion, upper extremity		
	only few degrees (less than 10° in shoulder)	decreased	normal	pronounced pain during movement or very marked pain at the end of the movement	some pain	no pain
Shoulder						
Flexion (0° - 180°)	0	1	2	0	1	2
Abduction (0°-90°)	0	1	2	0	1	2
External rotation	0	1	2	0	1	2
Internal rotation	0	1	2	0	1	2
Elbow						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Forearm						
Pronation	0	1	2	0	1	2
Supination	0	1	2	0	1	2
Wrist						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Fingers						
Flexion	0	1	2	0	1	2
Extension	0	1	2	0	1	2
Total (max 24)				Total (max 24)		

A. UPPER EXTREMITY	/36
B. WRIST	/10
C. HAND	/14
D. COORDINATION / SPEED	/ 6
TOTAL A-D (motor function)	/66

H. SENSATION	/12
I. PASSIVE JOINT MOTION	/24
J. JOINT PAIN	/24

Anexo B: Motor Status Statement (MSS)

Upper Extremity Motor Status Assessment

Patient name: _____
 Scored by: _____
 Date: _____

MOVEMENT SCALE—SHOULDER/ELBOW

- 0 = no volitional movement or no contraction
- 1- = contraction or patient initiating first few degrees of movement
- 1 = performs partly/incomplete or uncontrolled motion
- 1+ = lacking last few degrees of motion
- 2- = completes full range, decreased control or timing
- 2 = performs faultlessly (complete, controlled motion)

Place and hold (shoulder: 1B, 2B, 3B, 4B, 5B; elbow: 2B-0 or 1)

MOVEMENT SCALE—WRIST, HAND, AND FINGER

- 0 = no volitional movement or contraction
- 1 = performs partial movement
- 2 = performs complete movement faultlessly

Shoulder

Movement

- | | |
|--|-------|
| 1. A. Shoulder flexion to 90°, elbow 0°, forearm neutral
<i>Deltoid, Rotator Cuff</i> | _____ |
| B. If placed, can position be held?
<i>Deltoid, Rotator Cuff</i> | |
| 2. A. Shoulder abduction to 90°, elbow 0°, forearm pronated
<i>Deltoid, Rotator Cuff</i> | _____ |
| B. If placed, can position be held?
<i>Deltoid, Rotator Cuff</i> | _____ |
| 3. A. Shoulder flex 90°–150°, elbow 0°
<i>Deltoid, Rotator Cuff</i> | _____ |
| B. If placed, can position be held?
<i>Deltoid, Rotator Cuff</i> | _____ |
| 4. A. Touch top of head
<i>Deltoid, Rotator Cuff, Biceps Brachii, Triceps Brachii</i> | _____ |
| B. If placed, can position be held?
<i>Deltoid, Rotator Cuff, Biceps Brachii, Triceps Brachii</i> | _____ |
| 5. A. Touch small of back
<i>Subscapularis, Pectoralis Major, Latissimus Dorsi, Teres Major, Deltoid, Upper Trapezius</i> | _____ |
| B. If placed, can position be held?
<i>Subscapularis, Pectoralis Major, Latissimus Dorsi, Teres Major</i> | _____ |
| 6. Scapular elevation
<i>Upper Trapezius, Levator Scapulae</i> | _____ |
| 7. Protraction/retraction of the scapula arm supported on table or lap
<i>Serratus Anterior, Rhomboids Major, Minor, Middle Trapezius</i> | _____ |
| 8. A. Shoulder flex 0°–30°, elbow starts at 90°
<i>Deltoid, Supraspinatus</i> | _____ |
| B. Shoulder to 30° extension with elbow flex, forearm supported on table
<i>Latissimus Dorsi, Teres Major, Posterior Deltoid</i> | _____ |
| 9. A. Shoulder 0°, elbow 90°, shoulder internal rotation to abdomen
<i>Subscapularis, Pectoralis Major, Latissimus Dorsi, Teres Major</i> | _____ |
| B. Shoulder 0°, elbow 90°, shoulder external rotation
<i>Infraspinatus, Teres Minor</i> | _____ |
| 10. Touch opposite knee
<i>Pectoralis Major, Triceps Brachii, Pronator Group</i> | _____ |

Elbow/Forearm

- 1. A. Forearm pronation from midposition shoulder 0°, elbow 90° _____
Pronator Group
- B. Forearm supination from midposition shoulder 0°, elbow 90° _____
Biceps Brachii, Supinator
- 2. A. Elbow 0°, fully flex _____
Biceps Brachii, Brachialis, Brachioradialis
- B. If placed, can position be held? _____
Biceps Brachii, Brachialis, Brachioradialis
- 3. Full elbow flexion, extend to 0° (gravity eliminated or against gravity) _____
Triceps Brachii
- 4. Touch opposite shoulder _____
Deltoid, Rotator Cuff, Pectoralis Major, Biceps

Wrist

- 1. Wrist extension with shoulder 0°, elbow 90°, forearm pronated _____
Extensor Carpi Radialis Longus, Brevis, Extensor Carpi Ulnaris
- 2. Wrist flex with shoulder 0°, elbow 90°, forearm supinated _____
Flexor Carpi Radialis, Flexor Carpi Ulnaris
- 3. Wrist circumduction shoulder 0°, elbow 90°, forearm pronated _____
Extensor Carpi, Radialis, Ulnaris, Flexor Carpi Radialis, Ulnaris

Movement

Hand

- 1. Fingers—mass flexion (fingers to palm) _____
Flexor Digitorum Superficialis, Profundus, Flexor Digiti Minimi
- 2. Fingers—mass extension _____
Extensor Digitorum, Extensor Indicis, Extensor Digiti Minimi
- 3. Hook grasp _____
Flexor Digitorum Superficialis, Profundus
- 4. Intrinsic plus position _____
Interossei Volar, Dorsal
- 5. Thumb adduction _____
Abductor Pollicis Longus, Abductor Pollicis Brevis
- 6. Thumb adduction _____
Adductor Pollicis
- 7. Opposition to base of digit _____
Opponens Pollicis
- 8. A. Opposition to digit 2 (tip pinch) _____
- B. Opposition to digit 3 (tip pinch) _____
- C. Opposition to digit 4 (tip pinch) _____
Opponens Pollicis, Flexor Digitorum Superficialis, Profundus, Flexor Pollicis Longus, Interossei
- D. Opposition to digit 5 (tip pinch) _____
Opponens Pollicis, Opponens Digiti Minimi, Flexor Pollicis Longus, Flexor Digitorum Superficialis, Profundus, Interossei
- 9. A. Opposition to digit 2 (pad pinch) _____
- B. Opposition to digit 3 (pad pinch) _____
- C. Opposition to digit 4 (pad pinch) _____
- D. Opposition to digit 5 (pad pinch) _____
Opponens Pollicis, Flexor Pollicis Brevis, Abductor Pollicis Brevis, Flexor Digitorum Superficialis, Profundus, Interossei, Opponens Digiti Minimi
- 10. Controlled grasp with soda can grasp, place 2–4 inches away, release _____
- 11. Pincer grasp with pen (sign name, date, or 3 vertical lines) _____
- 12. Lateral pinch with key _____

Total movement scale _____

Anexo C: Action Research Arm Test (ARAT)

Task Number	Item
-------------	------

Grasp Subscale

- | | |
|---|----------------------------|
| 1 | Block, 10 cm ³ |
| 2 | Block, 2.5 cm ³ |
| 3 | Block, 5 cm ³ |
| 4 | Block, 7.5 cm ³ |
| 5 | Cricket ball |
| 6 | Sharpening stone |

Grip subscale

- | | |
|----|---|
| 7 | Pour water from one glass to another |
| 8 | Displace 2.25-cm alloy tube from one side of table to the other |
| 9 | Displace 1-cm alloy tube from one side of table to the other |
| 10 | Put washer over bolt |

Pinch subscale

- | | |
|----|--|
| 11 | Ball bearing, held between ring finger and thumb |
| 12 | Marble, held between index finger and thumb |
| 13 | Ball bearing, held between middle finger and thumb |
| 14 | Ball bearing, held between index finger and thumb |
| 15 | Marble, held between ring finger and thumb |
| 16 | Marble, held between middle finger and thumb |

Gross movement subscale

- | | |
|----|-----------------------------|
| 17 | Hand to behind the head |
| 18 | Hand to the top of the head |

Anexo D: Wolf Function Motor Test (WFMT)

WMFT PRE-TREATMENT SET-UP RECORDING FORM

Subject's name _____ Date _____

Item:

1. Forearm to table:
(check one): standard other (explain):

2. Forearm to box: Box size: _____
(check one): standard other (explain):

3. Extend elbow (to the side):
(check one): standard other (explain):

4. Extend elbow (weight):
(check one): standard other (explain):

5. Hand to table (front):
(check one): standard other (explain):

6. Hand to box (front): Box size: _____
(check one): standard other (explain):

7. Weight to box (record sequence followed with weights): _____ lbs.
(check one) standard other (explain):

8. Reach and retrieve:
(check one): standard other (explain):

9. Lift can:
(check one): standard other (explain):

10. Lift pencil:

(check one): standard other (explain):

UAB Training for CI Therapy

(check one): _____ standard _____ other (explain):

11. Lift paper clip:
(check one): _____ standard _____ other (explain):

12. Stack checkers:
(check one): _____ standard _____ other (explain):

13. Flip cards:
(check one): _____ standard _____ other (explain):

14. Grip strength: Trial 1: _____ kgs. Trial 2: _____ kgs. Trial 3: _____ kgs.
(check one): _____ standard _____ other (explain):

15. Turn key in lock:
(check one): _____ standard _____ other (explain):

16. Fold towel:
(check one): _____ standard _____ other (explain):

17. Lift basket
(check one): _____ standard _____ other (explain):

LIST OF TEST OBJECTS AND RELATED ITEMS FOR THE WMFT

The test objects and related items for the WMFT are listed below in the order in which they are used. Tasks should be administered with the subject seated in a standard chair at an appropriately sized desk or table (except for task 17 – done in standing). A laminated template should be secured to the tabletop or desktop. The template should be taped flush to the front edge of the table/desk and can be removed after testing.

Test objects

1. Box (cardboard) – 10-inches (25.4 cm.) in height. This represents approximate shoulder height for the average adult. An 8-inch (20.3 cm.) and 6-inch (15.2 cm.) box should also be available for shorter individuals.
2. 1 lb. Cuff-weight with Velcro strap.
3. 1-20 lb. Cuff-weight with removable weight inserts.
4. Unopened 12-oz. soft drink can (392 gm.).
5. 7-inch (17.78 cm.) pencil with 6 flat sides.
6. 2-inch (5.08 cm.) paper clip (colored and coated with plastic).
7. Three standard checkers.
8. Three 3-inch (7.62 cm.) x 5-inch (12.7 cm.) index cards.
9. Standard grip strength dynamometer.
10. Lock and key secured to a board that is placed at a 45-degree angle. Tumblers are set so the key moves through a 180-degree arc (only), with 90 degrees of that arc on either side of midline.
11. Standard dish towel: 25-inch (63.5 cm.) x 15-inch (38.10 cm.).
12. Plastic or wicker tote basket with handle – approximately 15 inches (38.1 cm.) in height, 8.5 inches (21.6 cm.) in width, and 14 inches (35.56 cm.) in length.

Related items

1. Desk/table of standard height – approximately 29-inches (73.5 cm.) in height, 54-inches (137cm.) in width, and 30-inches (76 cm.) in length.
2. Straight back chair – seat 18-inches (45.7 cm) high, without armrests.
3. Template to be taped flush to the desk/table top to indicate test object placement.
4. Talcum/baby powder.
5. Stopwatch.

Functional Ability Scale

- 0 – Does not attempt with upper extremity (UE) being tested.**
- 1 –UE being tested does not participate functionally; however, attempt is made to use the UE. In unilateral tasks the UE not being tested may be used to move the UE being tested.**
- 2 – Does, but requires assistance of the UE not being tested for minor readjustments or change of position, or requires more than two attempts to complete, or accomplishes very slowly. In bilateral tasks the UE being tested may serve only as a helper.**
- 3 – Does, but movement is influenced to some degree by synergy or is performed slowly or with effort.**
- 4 – Does; movement is close to normal *, but slightly slower; may lack precision, fine coordination or fluidity.**
- 5 – Does; movement appears to be normal *.**

(*) For the determination of normal, the less-involved UE can be utilized as an available index for comparison, with pre-morbid UE dominance taken into consideration.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

| uma.es

E.T.S. DE INGENIERÍA INFORMÁTICA

E.T.S de Ingeniería Informática

Bulevar Louis Pasteur, 35

Campus de Teatinos