



Trabajo Fin de Grado

Guante dotado de sensores táctiles para medir la
fuerza de la mano

Glove equipped with tactile sensors to measure hand
strength

Autor/es

Diego Sanz Sánchez

Director/es

Carlos Tomás Medrano Sánchez

Inmaculada Plaza García

Escuela Universitaria Politécnica de Teruel

2023

Resumen

Actualmente los estudios respecto al ámbito de la salud son cada vez más importantes. Este proyecto se basa en la creación de un guante dotado de sensores táctiles para medir la fuerza de la mano. En este proyecto se estudia la fuerza ejercida con la mano, relacionándola directamente con un dinamómetro comercial y representando tanto gráficamente como numéricamente los resultados obtenidos.

En este trabajo fin de grado, se muestra una pincelada sobre los prototipos ya creados, los fundamentos teóricos utilizados, los pasos para la creación de este prototipo, las fases que se siguen para llegar al resultado final y las conclusiones que se obtienen con la realización del proyecto.

Este proyecto se basa en la creación de unos sensores de presión con un material de resistencia variable dependiendo de la presión que se ejerce sobre él, denominado Velostat. Para realizar las medidas y los cálculos se utilizan dos softwares llamados Matlab y LJStreamUD, que se utiliza para capturar datos con la tarjeta LabJack U3-HV.

Abstract

Nowadays, studies regarding the field of health are increasingly important. This project is based on the creation of a glove equipped with tactile sensors to measure the force of the hand. In this project, the force exerted by the hand is studied, relating it directly to a commercial dynamometer and representing both graphically and numerically the results obtained.

In this final degree project, a brushstroke is shown on the prototypes already created, the theoretical foundations used, the steps for the creation of this prototype, the phases that are followed to reach the result and the conclusions that are obtained with the realization of the project.

This project is based on the creation of pressure sensors with a material of variable resistance depending on the pressure exerted on it, called Velostat. To carry out the measurements and calculations, two software called Matlab and LJStreamUD are used, which is used to capture data with the Labjack U3-HV card.

Índice

Resumen	2
Abstract.....	2
Índice de figuras.....	5
Índice de tablas.....	6
Índice de diagramas de flujo	7
Índice de gráficos.....	8
1. Introducción.....	9
1.1. Descripción	9
1.2. Objetivos	9
1.3. Estudios anteriores.....	9
2. Fundamentos teóricos.....	11
2.1. Velostat.....	11
2.1.1. ¿Qué es el material?	11
2.1.2. Usos típicos	11
2.1.3. Información técnica.....	12
2.2. Dinamómetros.....	12
2.3. Análisis de componentes principales (PCA)	15
3. Materiales.....	16
3.1. Guante y sensores	16
3.2. Circuito eléctrico	16
3.3. Labjack U3-HV	17
3.4. Matlab.....	18
3.5. Dinamómetro	19
4. Diseño Hardware.....	20
4.1. Guante	20
4.2. Circuito	24
5. Cálculos	27

6.	Diseño Software.....	31
7.	Medidas	35
8.	Resultados.....	36
9.	Análisis de resultados.....	40
10.	Coste	41
11.	Conclusiones.....	42
	Bibliografía	44
	Anexos	48

Índice de figuras

Ilustración 1: Hoja de Velostat	11
Ilustración 2: Dinamómetro Takei Hand Grip [6]	13
Ilustración 3: Dinamómetro Carmy [7]	14
Ilustración 4: Dinamómetro FINGERSK [8]	14
Ilustración 5: Circuito eléctrico.....	16
Ilustración 6: Ventana principal de LJStreamUD	18
Ilustración 7: Gráfico de LJStreamUD.....	18
Ilustración 8: Ventana principal Matlab	19
Ilustración 9: Guante convencional.....	20
Ilustración 10: Guante con cinta de cobre	21
Ilustración 11: Guante con cinta de cobre y Velostat.....	21
Ilustración 12: Guante con sensores.....	22
Ilustración 13: Palma del guante con soldadura de cables.....	22
Ilustración 14: Guante con soldaduras finalizadas	23
Ilustración 15: Conector macho y placa matriz.....	23
Ilustración 16: Guante prototipo.....	24
Ilustración 17: Conector hembra con cable plano	25
Ilustración 18: Conector macho de 20 pines	25
Ilustración 19: Circuito eléctrico en protoboard	26
Ilustración 20: Circuito con conexión y tarjeta de adquisición de datos	26
Ilustración 21: Circuito para calcular Rin (AIN)	27
Ilustración 22: Circuito para calcular Rin (FIO)	28
Ilustración 23: Circuito para calcular Rx (AIN)	29
Ilustración 24: Circuito para calcular Rx (FIO).....	29

Índice de tablas

Tabla 1: Resistencias internas	36
Tabla 2: Conductancia respecto a la fuerza ejercida Max	36
Tabla 3: Conductancia respecto a la fuerza ejercida Promedio.....	36
Tabla 4: Conductancia respecto a la fuerza ejercida PCA.....	36
Tabla 5: Elección de modelo.....	37

Índice de diagramas de flujo

Diagrama de flujo 1: MAX.....	32
Diagrama de flujo 2: Promedio	33
Diagrama de flujo 3: PCA	34

Índice de gráficos

Gráfico 1: Max.....	37
Gráfico 2: Promedio	38
Gráfico 3: PCA.....	39
Gráfico 4: Conductancias respecto al tiempo de varios modelos.....	39

1. Introducción

1.1. Descripción

El principal objetivo del trabajo consiste en realizar una propuesta de diseño y construir un prototipo de guante que permita conocer la fuerza ejercida por el usuario con la mano. Con este diseño se intenta reducir el coste de fabricación del prototipo al utilizar un material piezoresistivo de bajo coste.

Para ello, se construirá un guante con sensores de fuerza. Una vez creado este prototipo, se realizarán diferentes pruebas analizándolas mediante una tarjeta de adquisición de datos LabJack U3-HV y los softwares Matlab y LJStreamUD, comparando el prototipo con un dinamómetro comercial.

1.2. Objetivos

El objetivo es crear un sistema para medir la fuerza que ejerce la mano, conociendo sus principales fortalezas y debilidades.

Para ello, se comenzará analizando algunos diseños previos de sensores vestibles realizados anteriormente en el grupo de investigación EduQTech, [1] para familiarizarse con las características de los materiales utilizados para la elaboración de estos sensores; en concreto, de sensores sensibles a presión.

Con toda la información obtenida, se planteará un prototipo previo que, tras ser validado con una prueba piloto, se materializará en un prototipo final.

Este prototipo será contrastado con otros equipos de medida comerciales utilizados en el ámbito médico, para comprobar su validez y si su coste es menor.

1.3. Estudios anteriores

Se han realizado muchos estudios para conseguir medir la fuerza que ejercemos con cualquier parte de nuestro cuerpo, ya que esto es fundamental en rehabilitaciones de problemas de movilidad o fuerza en cualquier parte de nuestro cuerpo. Este trabajo se va a centrar principalmente en los estudios de la fuerza ejercida en la mano, para este propósito existen instrumentos como, por ejemplo, el dinamómetro.

Hay numerosos estudios para medir la distribución de presiones entre la mano y un mango, para medir la distribución de presiones entre la mano y el brazo o para medir la

fuerza ejercida en el agarre de un objeto, este último se puede utilizar para conseguir que un brazo robot consiga agarrar un objeto, ya que nos indica la posición, orientación y presión necesaria para agarrarlo.

Como ejemplo se puede citar el proyecto realizado en la Escuela de Ingeniería de Antioquia para obtener la fuerza ejercida en la yema de los dedos al sujetar un objeto. Se basa en la toma de datos codificada con un aprendizaje por imitación (DPM) y se decodifica con el software MatLab. [2]

Otro ejemplo es el trabajo de M. Vergara que desarrolla un proyecto en el que se mide la fuerza de contacto entre la mano y un mango, para medir la distribución de fuerzas en la mano. El prototipo se prueba con seis personas, tres hombres y tres mujeres de distintos tamaños de mano para que sea representativo de la población. Este ensayo se hace con cuatro mangos de formas diferentes sujetados con la mano derecha. [3]

2. Fundamentos teóricos

A continuación, se presentan algunos de los conceptos y de las técnicas utilizadas posteriormente en este trabajo.

2.1. Velostat

2.1.1. ¿Qué es el material?

El Velostat es un material fabricado con polímero sintético cubierto de carbón, que es un conductor sensible a la presión. Es decir, al aplicarle fuerza, la resistencia de este material disminuye, lo que ayuda a determinar la presión que se ejerce sobre él. Este material es muy económico y se usa cada vez más para fabricar sensores. Se presenta en lámina de 0,1mm y se puede cortar con tijeras y es ideal para productos e-textiles.



Ilustración 1: Hoja de Velostat

2.1.2. Usos típicos

Se suele usar en proyectos de Arduino, Raspberry Pi u otras plataformas.

Por poner un ejemplo, se puede citar la iniciativa de la marca Adafruit que creó unas zapatillas con Velostat en la suela. Al variar la resistencia del material, conseguía que se iluminasen unos LED incorporados en la suela de la zapatilla [4]

2.1.3. Información técnica

- Límites de temperatura: -45°C to 65°C
- Resistencia transversal: <500 ohm-cm
- Resistencia superficial: < 31,000 ohms/sq.cm
- Dimensiones: 100 x 90cm

[4]

2.2. Dinamómetros

El dinamómetro es un instrumento, que fue inventado por Isaac Newton, que sirve para medir fuerzas o para calcular el peso de un objeto. Es decir, el dinamómetro es un dispositivo que se usa para determinar el valor de una fuerza desconocida o para saber la fuerza con la que la Tierra atrae a un objeto. [5]

El dinamómetro es un equipo estándar en la mayoría de los laboratorios de pruebas de fisiología y proporciona un medio fácil y seguro para medir la fuerza muscular.

Por ejemplo, el dinamómetro TAKEY PHYSICAL FITNESS TEST GRIP-D [6] es un dispositivo ideal para la evaluación de la fuerza de agarre, Takei es bien conocido como el líder de la industria en medición de fuerza, así como por la calidad y precisión de sus dispositivos.

El dinamómetro Takei Hand Grip se puede ajustar para adaptarse a una amplia gama de tamaños de mano y los valores normativos de agarre están disponibles desde los 10 hasta los 70 años. Se suministra con instrucciones sobre los protocolos correctos para producir resultados precisos. El precio está en torno a 255€. [6]

El dinamómetro manual mide la fuerza en unidades de fuerza de kilogramos que se pueden ver en una pantalla LCD de fácil lectura.

El dispositivo viene completo con instrucciones de uso y los valores promedio de agarre.

Se ajusta a las normas de dinamómetro de fuerza de agarre.

Características:

Rango de medición: 5,0 a 100 kgf.

Unidad mínima de medida: 0,1 kgf.

Precisión: ±2,0 kgf.

Display: LCD de 3 dígitos.

Elementos mostrados: Cada valor medido y el promedio.

Parada automática: aprox. 1min después de la medición final.

Fuente de alimentación: Batería AA ×2. (incluido)

Vida de cada celda: Aprox. 100 horas

Rango de temperatura de servicio: 0°C a 40°C.

Dimensiones: aprox. 154 (ancho) × 235 (profundidad) × 62 (alto) mm.

Peso aproximado. 0,63 kg.

Este producto se suministra con un certificado de calibración de 12 meses.



Ilustración 2: Dinamómetro Takei Hand Grip [6]

También existen otros dinamómetros como el de marca Carmy, que está disponible en Amazon. Este dinamómetro con pantalla LCD dispone de un sensor de medición de tensión de gran precisión. Además, la fuerza de agarre de su gancho es de hasta 90 kg y también aporta datos en libras. Gracias a su memoria interna, permite configurar hasta 19 usuarios diferentes con datos relacionados con su edad y su sexo. De hecho, hasta brinda la posibilidad de efectuar comparativas entre mediciones. Funciona con 2 pilas AAA, las cuales vienen incluidas en el paquete, posee un diseño ergonómico y compacto en plástico moldeado y su precio es de 40,99€. [7]



Ilustración 3: Dinamómetro Carmy [Z]

Por otro lado, otro de los más vendidos es el de marca FINGERSK, diseñado para uso doméstico, deportivo y clínico, apagado automático/manual con 2 pilas AAA. [8]

Equipado con un sensor de tensión de alta precisión, la capacidad de medición de 90 kg, con división de 0,1 kg.

Se puede mostrar un valor de agarre máximo y se pueden guardar niveles de potencia débil, normal o fuerte, y es fácil de recuperar y comparar.

El mango ajustable era adecuado para usuarios de diferentes edades y es adecuado tanto para manos grandes como pequeñas. Su precio es de 36,99€.



Ilustración 4: Dinamómetro FINGERSK [8]

2.3. Análisis de componentes principales (PCA)

PCA es una técnica utilizada para describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables no correlacionadas. Los componentes se ordenan por la cantidad de varianza original que describen, por lo que la técnica es útil para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos.

Técnicamente, el PCA busca la proyección según la cual los datos queden mejor representados en términos de mínimos cuadrados. Esta convierte un conjunto de observaciones de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables sin correlación lineal llamadas componentes principales.

El PCA construye una transformación lineal que escoge un nuevo sistema de coordenadas para el conjunto original de datos en el cual la varianza de mayor tamaño del conjunto de datos es capturada en el primer eje (llamado el Primer Componente Principal), la segunda varianza más grande es el segundo eje, y así sucesivamente. Para construir esta transformación lineal debe construirse primero la matriz de covarianza o matriz de coeficientes de correlación. Debido a la simetría de esta matriz existe una base completa de vectores propios de la misma. La transformación que lleva de las antiguas coordenadas a las coordenadas de la nueva base es precisamente la transformación lineal necesaria para reducir la dimensionalidad de datos. Además, las coordenadas en la nueva base dan la composición en factores subyacentes de los datos iniciales.

El PCA es particularmente útil para reducir la dimensionalidad de un grupo de datos. Los primeros componentes principales describen la mayor parte de la varianza de los datos (más cuanto más correlacionadas estuvieran las variables originales). Estos componentes de bajo orden a veces contienen el aspecto "más importante" de la información, y los demás componentes se pueden ignorar. Existen diferentes técnicas para estimar el número de componentes principales que son relevantes; la técnica más apropiada dependerá de la estructura de correlaciones en los datos originales. [9]

3. Materiales

3.1. Guante y sensores

En este proyecto se va a utilizar un guante comercial de algodón para la construcción de un prototipo para la medición de la fuerza que se ejerce con la mano. Para medir la fuerza se va a construir un sensor en cada dedo de la mano. Estos sensores se basan en un material resistivo, denominado Velostat (descrito en el punto 2.1.) recubierto por unas tiras de cobre.

3.2. Circuito eléctrico

Para la realización del esquema eléctrico se ha utilizado el software LTSpice. [10]

A continuación, se muestra en la ilustración 5 el esquema del circuito eléctrico realizado con este software para el proyecto.

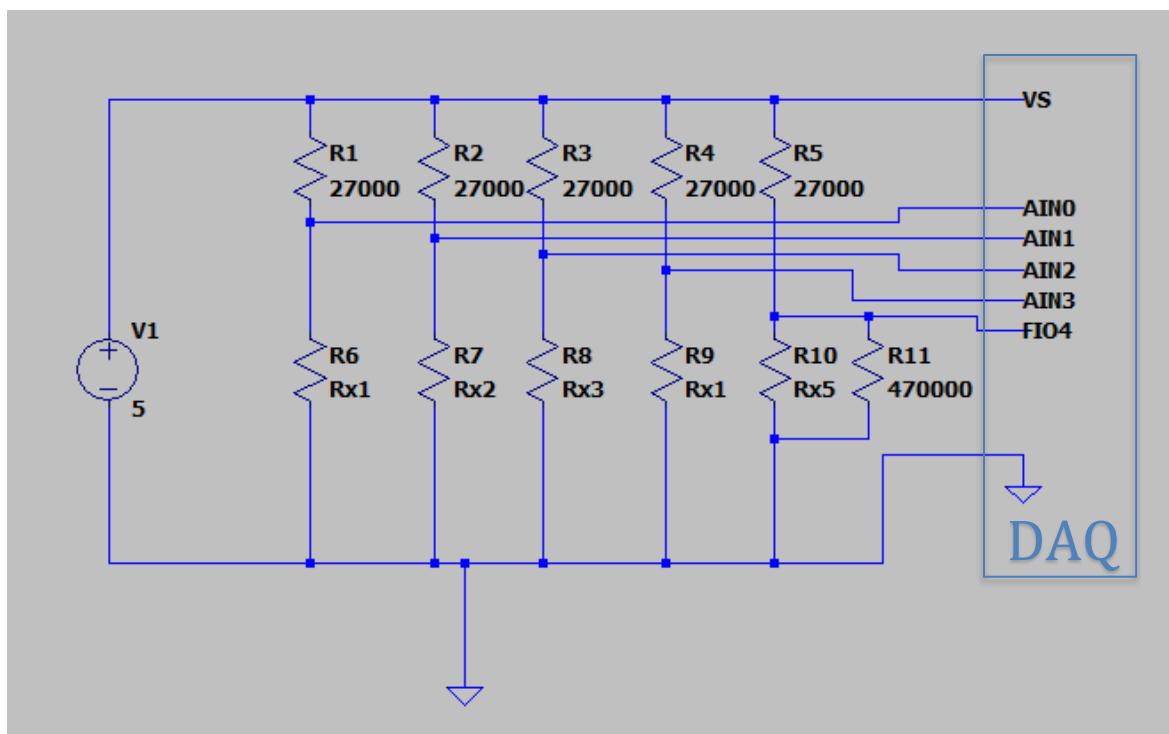


Ilustración 5: Circuito eléctrico

Las resistencias denominadas “R6, R7, R8, R9 y R10” son las resistencias incógnitas y cada una se corresponde con un dedo.

La DAQ es la tarjeta de adquisición de datos que se presentará en el siguiente punto.

Para comenzar, se utiliza un divisor resistivo para limitar la tensión de entrada que le llega a la tarjeta de adquisición de datos. Se realiza este circuito ya que en la entrada denominada "FIO4" no puede llegar un voltaje mayor a tres con veintiocho voltios de entrada, al tener una impedancia de entrada no despreciable. Se establece el valor de cuatrocientos setenta mil ohmios en el divisor resistivo para que cuando la resistencia incógnita sea infinita, el voltaje en la tarjeta DAQ no sea mayor de tres con veintiocho voltios. Es decir, si no se realizara el divisor resistivo en la entrada "FIO", cuando no se ejerciera presión sobre los sensores, el voltaje en esa entrada sería de cinco voltios, por lo tanto, se podría dañar el componente.

Para la elección de las resistencias en serie, se comenzó con un valor mas bajo, pero apenas se mostraba la diferencia al realizar presión. Por lo tanto, se fue probando con distintos valores de resistencias hasta que se encontró un valor optimo como es el de doscientos setenta mil ohmios.

3.3. Labjack U3-HV

Para la adquisición de datos del proyecto se utiliza la tarjeta de adquisición de datos LabJack U3-HV, es un dispositivo DAQ USB con 4 entradas analógicas entre ± 10 V y con 12 bits, 12 E/S flexibles y 4 E/S digitales dedicadas. La E/S flexibles se puede configurar como digital o analógica, proporcionando así hasta 16 entradas analógicas o hasta 16 E/S digitales. También tiene dos salidas analógicas de 10 bits, hasta 2 contadores y hasta 2 temporizadores.

La velocidad de flujo de entrada máxima de 50 kHz (dependiendo de la resolución), el rango de temperatura de trabajo es de -40 a +85 C, con tiempos de respuesta inferiores a 1 ms.

Los dispositivos de la familia U3 son versátiles para la medición y el control dentro de sistemas analógicos y digitales simples. Con la opción de configurar E/S como analógicas o digitales, tiene flexibilidad al elegir sensores para su aplicación. Las aplicaciones comunes incluyen proyectos de aficionados, programas educativos, control y monitoreo industrial y desarrollo de prototipos. [11]

Para este proyecto, se utiliza un software denominado "LJStreamUD", en el cual se obtiene el voltaje en cada entrada de la tarjeta. Está disponible tanto para Windows como para Linux. En la Ilustración 6, se puede ver el interfaz principal de LJStreamUD, donde se puede elegir el número de canales que queremos leer, la frecuencia de trabajo, si

deseamos representar el valor cuando empezamos a tomar datos y las ventanas de empezar a leer y cerrar el programa.

La frecuencia de muestreo (Scan Rate) utilizada es de 100Hz, a pesar de que en la ilustración 6 sea de 500Hz.

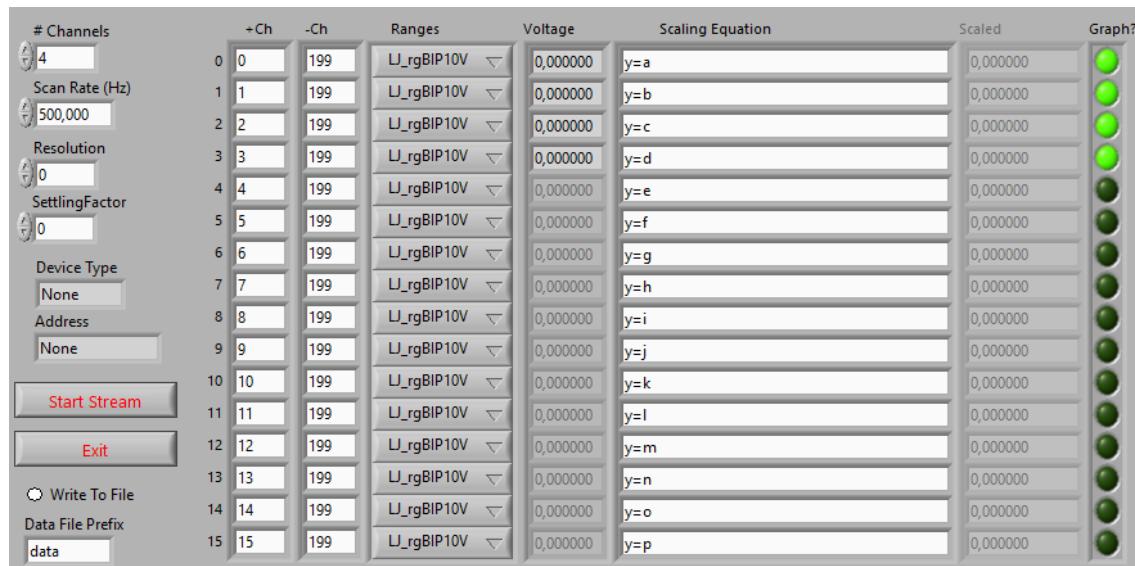


Ilustración 6: Ventana principal de LJStreamUD

En la Ilustración 7 se representa gráficamente el valor de voltaje de las entradas en una gráfica temporal, donde se representa el valor de voltaje de cada señal en un color.

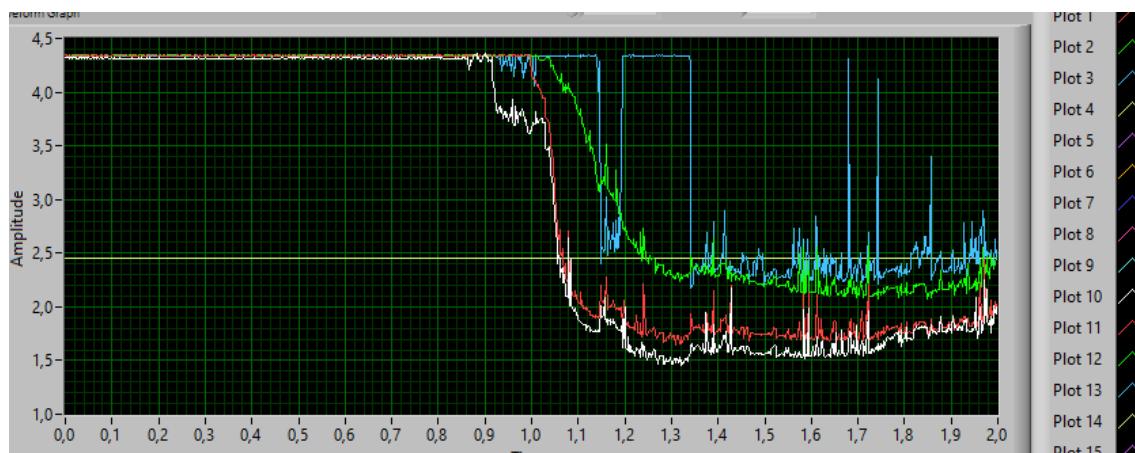


Ilustración 7: Gráfico de LJStreamUD

3.4. Matlab

Para realizar los cálculos numéricos y obtener la conductancia en cada momento del guante utilizaremos este software, ya que nos permite realizar miles de operaciones en segundos. MATLAB es una plataforma de programación y cálculo numérico utilizada por

millones de ingenieros y científicos para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos. [12]

En la Ilustración 8 se aprecia el interfaz principal de MatLab.

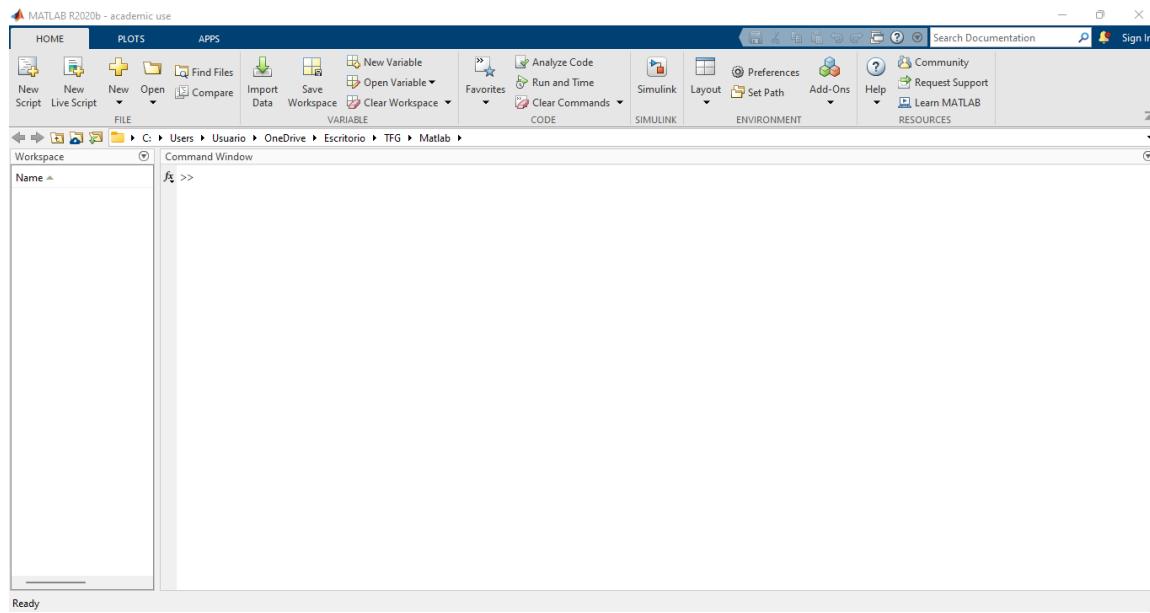


Ilustración 8: Ventana principal Matlab

3.5. Dinamómetro

En este proyecto, se utiliza el dinamómetro TAKEY PHYSICAL FITNESS TEST GRIP-D para obtener el valor real de fuerza que se ejerce con el guante y así, poder relacionarlo con los valores obtenidos con los sensores fabricados.

4. Diseño Hardware

4.1. Guante

En primer lugar, para la construcción del guante, se adquiere un guante de algodón. A continuación, se comienza con el prototipo, se coloca en cada uno de los dedos una tira adhesiva de cobre en la misma dirección que el dedo, seguidamente, se coloca un trozo rectangular de Velostat en la parte en la que se va a situar el sensor y se rodea con otra tira de cinta adhesiva de cobre, en dirección perpendicular a la anterior.

A continuación, se suelda un conector macho para PCB RS PRO de 10 vías, 2 filas, paso 2.54mm, terminación IDC, orificio pasante a una placa de matriz AGP10, cara única, FR4, diámetro 1mm, paso 2.54 x 2.54mm, 160 x 100 x 1.6mm, se recorta la placa a la medida deseada (en este caso a 590 x 32 x 1.6mm) y se cose al guante, en el dorso de la mano. Después, se suelda un hilo de cable a cada cinta de cobre. Cuando ya se ha soldado, en el otro extremo se suelda cada cable al conector macho, previamente soldado a la placa.



Ilustración 9: Guante convencional



Ilustración 10: Guante con cinta de cobre



Ilustración 11: Guante con cinta de cobre y Velostat



Ilustración 12: Guante con sensores



Ilustración 13: Palma del guante con soldadura de cables



Ilustración 14: Guante con soldaduras finalizadas

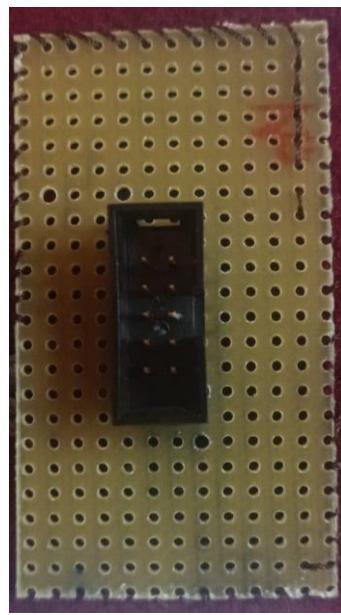


Ilustración 15: Conector macho y placa matriz



Ilustración 16: Guante prototipo

4.2. Circuito

En primer lugar, para la construcción del circuito eléctrico, se une el cable plano al conector IDC hembra, 2.54 mm, 2 filas, 10 contactos para montaje con cable, este se conectará con el conector macho. Por el otro lado se suelda el cable plano con la regleta de pines RS PRO de 20 vías, 1 fila, paso 2.54mm, para soldar de orificio pasante, esta regleta de pines se introduce en la placa Protoboard.

A partir de aquí, se monta el circuito eléctrico y se conecta a la tarjeta de adquisición de datos y esta al ordenador.



Ilustración 17: Conector hembra con cable plano

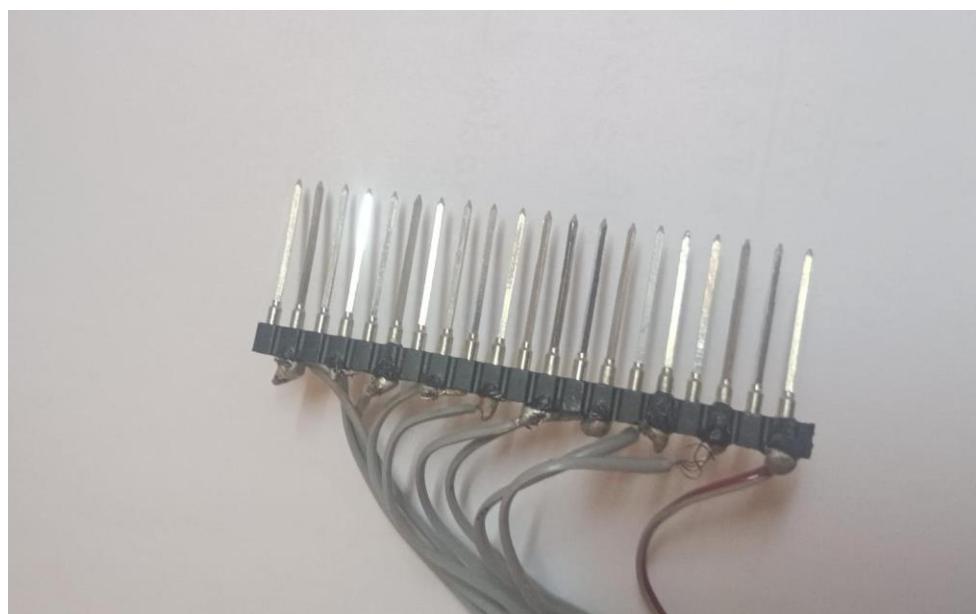


Ilustración 18: Conector macho de 20 pines

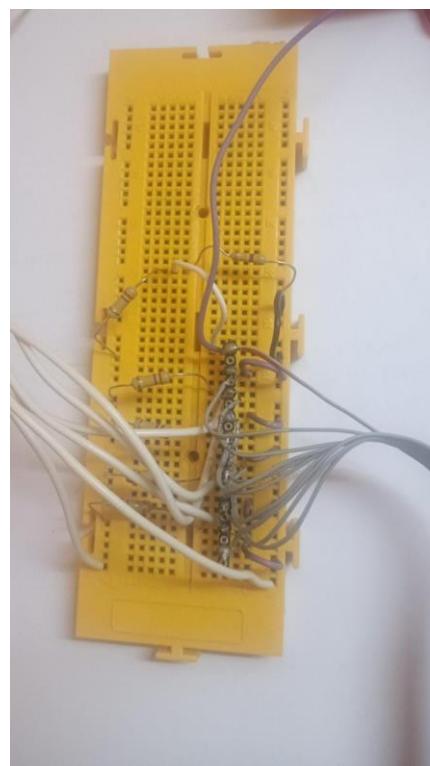


Ilustración 19: Circuito eléctrico en protoboard



Ilustración 20: Circuito con conexión y tarjeta de adquisición de datos

5. Cálculos

Para comenzar, es necesario obtener el valor de la resistencia interna de la tarjeta DAQ, ya que, si esta existiría, estaría en paralelo con la resistencia incógnita, lo que modificaría la estructura del circuito, como se muestra en las ilustraciones 21 y 22. El valor de esta impedancia interna sería infinito si el componente fuera ideal, al no serlo, es necesario calcularlo.

Se considera que la resistencia de nuestro sensor es infinita para calcular la resistencia interna, esta aproximación se realiza para saber el valor de esta resistencia incógnita.

Para los dedos índice, corazón, anular y meñique los cálculos son los mismos para obtener la resistencia interna.

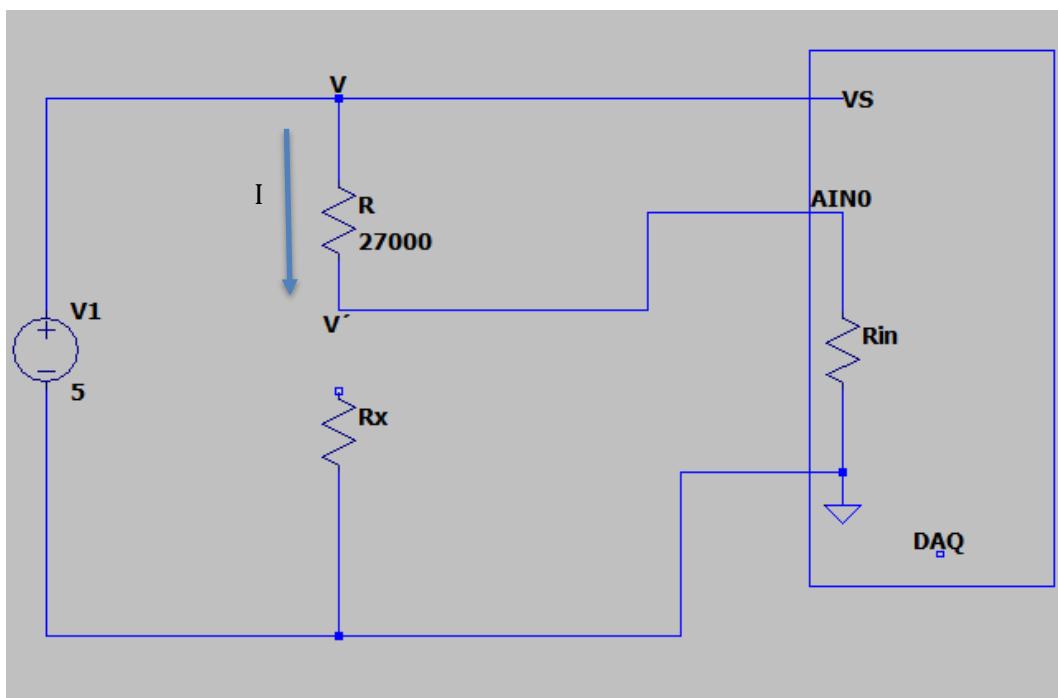
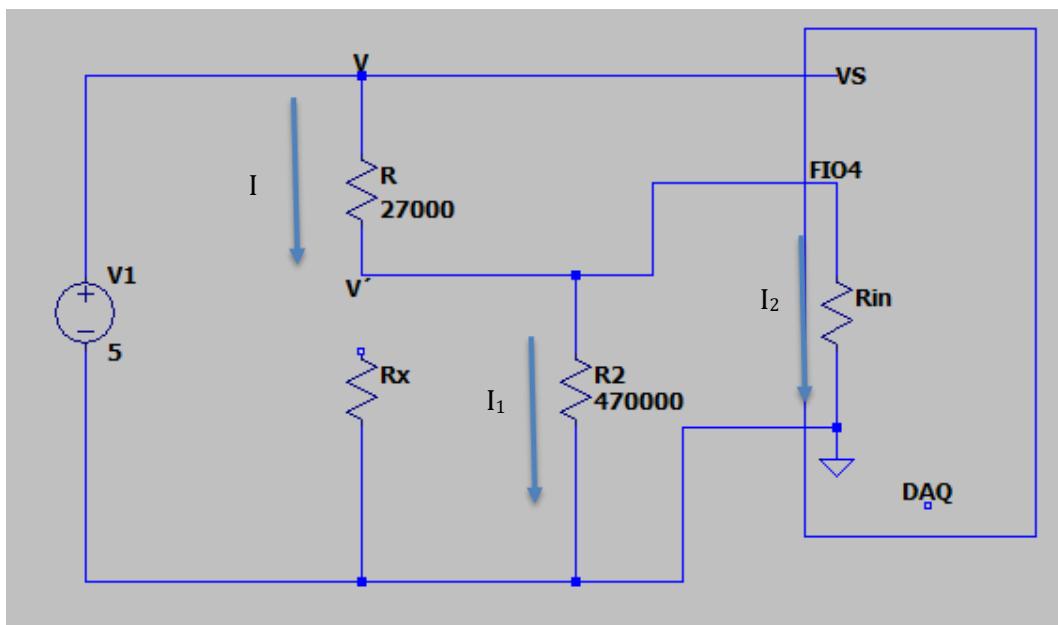


Ilustración 21: Circuito para calcular R_{in} (AIN)

$$\text{Si } R_x = \infty \rightarrow I = \frac{v - v'}{R} = \frac{v'}{R_{in}} \rightarrow R_{in} = \frac{v'}{\left(\frac{v - v'}{R} \right)}$$

Para el dedo pulgar se obtiene de la siguiente manera:


Ilustración 22: Circuito para calcular R_{in} (FIO4)

$$\text{Si } R_x = \infty \rightarrow I = I_1 + I_2 \rightarrow \frac{v - v'}{R} = \frac{v'}{R_2} + \frac{v'}{R_{in}} \rightarrow R_{in} = \frac{v'}{\frac{v - v'}{R} - \frac{v'}{R_2}}$$

Para calcular la resistencia incógnita de nuestro sensor de los dedos índice, corazón, anular y meñique los cálculos son los mismos.

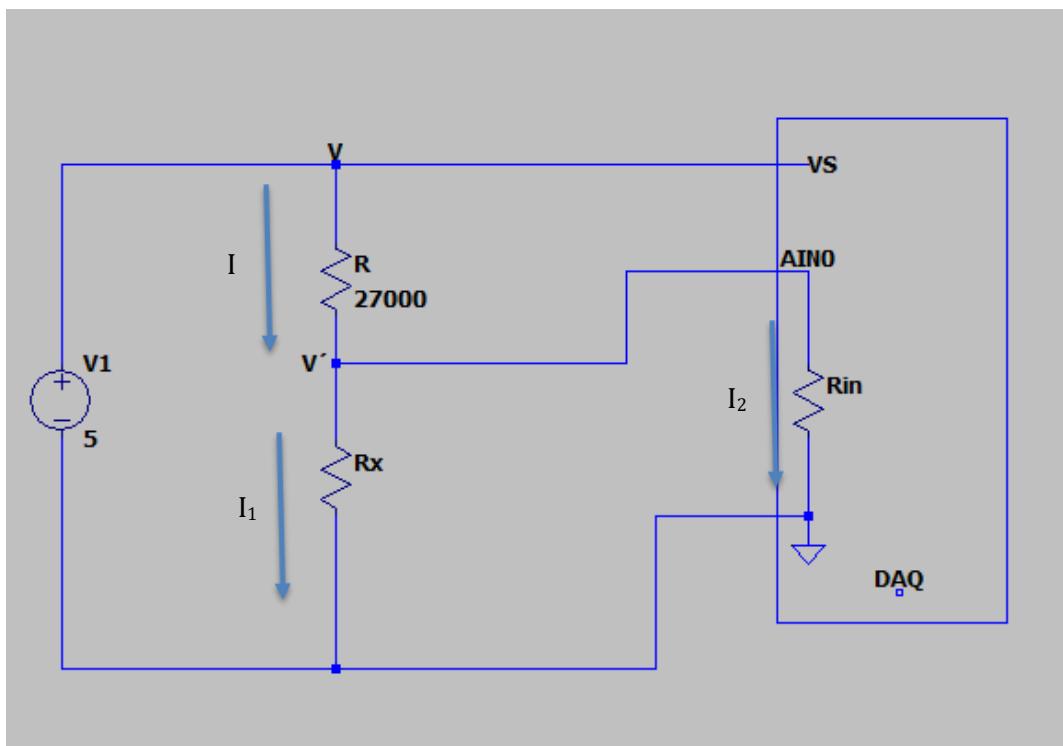


Ilustración 23: Circuito para calcular Rx (AIN)

$$I = I_1 + I_2 \rightarrow R_x = \frac{v'}{I_1} = \frac{v'}{I - I_2} \equiv \frac{v'}{\frac{v - v'}{R}} - \frac{v'}{R_{in}}$$

Para el dedo pulgar se obtiene de la siguiente manera:

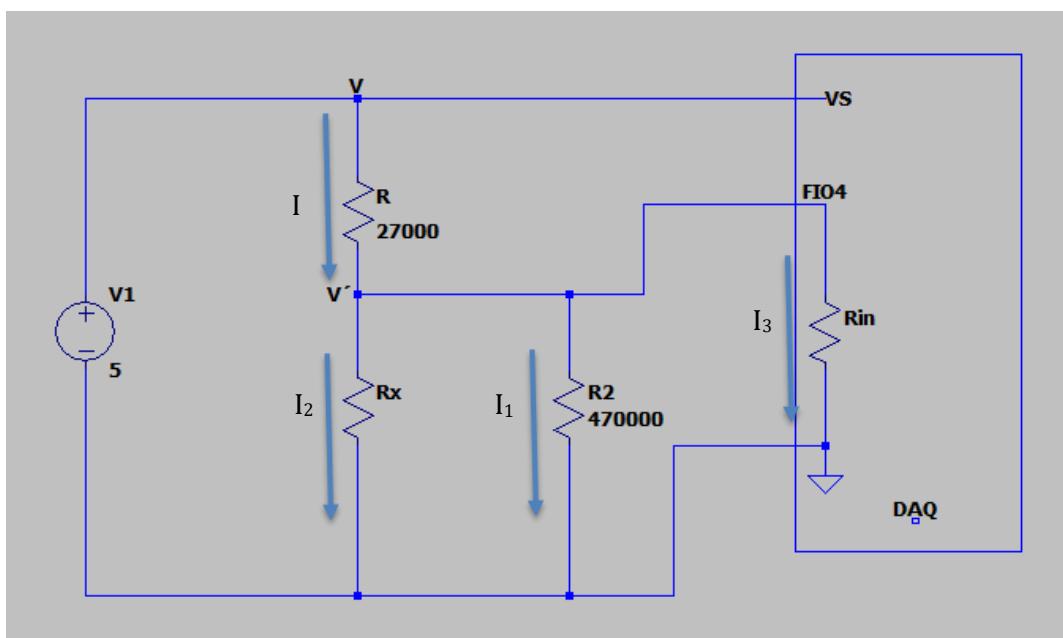


Ilustración 24: Circuito para calcular Rx (FIO4)

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \rightarrow R_x = \frac{v'}{I_2} = \frac{v'}{I - I_1 - I_3} \equiv \frac{\frac{v'}{R}}{\frac{v - v'}{R} - \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{in}}}}$$

La conductancia se calcula realizando la inversa de la resistencia.

$$C_x = \frac{1}{R_x}$$

6. Diseño Software

Nuestro programa cuenta con tres versiones, que son "MAX.m", "Promedio.m" y "PCA.m". En la primera parte denominada "MAX.m", lo primero que se hace es importar los ficheros creados en LJStream UD, se almacenan los 12 ficheros en 12 variables y con ellos se obtiene la resistencia interna de la tarjeta de adquisición de datos DAQ Labjack u3-HV. Una vez obtenidas estas resistencias internas, se calcula el valor de la resistencia incógnita de cada dedo. A partir de estos valores, se obtiene la conductancia de cada sensor siendo la inversa de la resistencia. Lo que más interesa es el valor máximo de conductancia, ya que esto está relacionado con la fuerza máxima realizada en cada intento. Al final un valor de conductancia por experimento.

Una vez obtenido el máximo de conductancia de cada intento se relaciona con la fuerza obtenida en el display del dinamómetro y se representa gráficamente.

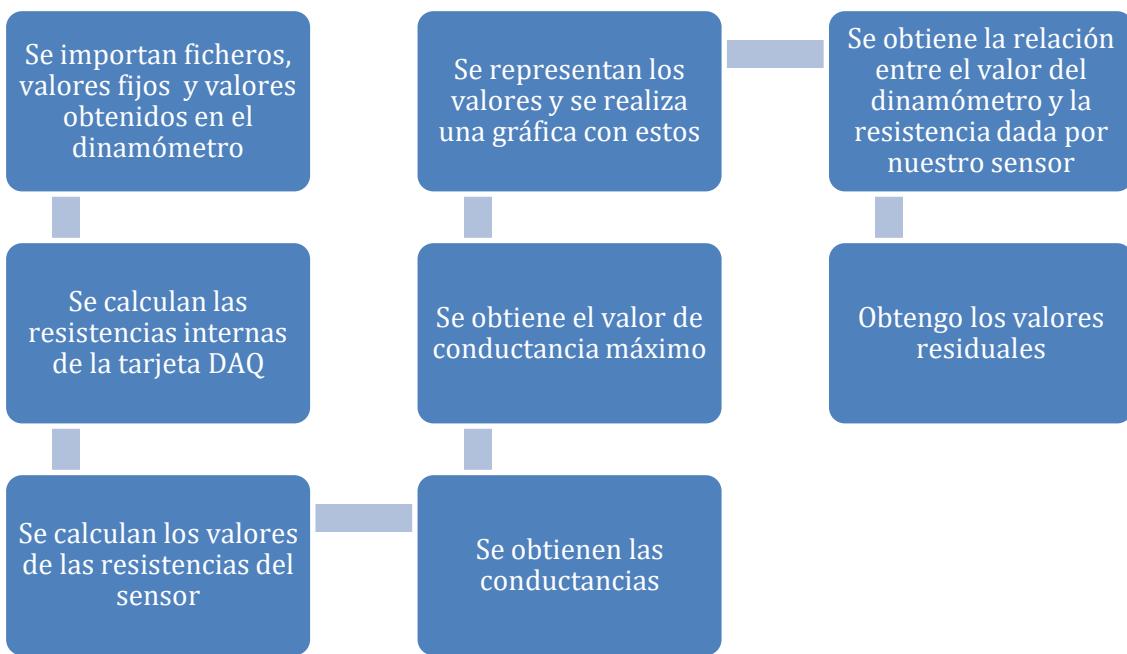
Para obtener la relación entre el máximo de conductancia y la fuerza ejercida, se utiliza una función denominada "polyfit" y se obtiene la relación lineal entre ellas.

Para obtener el error cometido se llama a la función "polyfit" para realizar un ajuste para predecir "y" a partir de "x", se llama a la función "polyval" para utilizar los coeficientes en p para predecir "y" nombrando al resultado "yfit", "polyval" evalúa la ecuación explícita que puede introducir de forma manual como: $yfit = p(1) * x. + p(2)$;

Se calcula los valores residuales como un vector de números enteros, se cuadran los valores residuales y se suman para obtener la suma residual de cuadrados, se calcula la suma total de cuadrados de "y" multiplicando la varianza de "y" por el número de observaciones menos 1, se calcula "rsq" simple para el ajuste lineal utilizando la fórmula:
 $rsq = 1 - SSresid/SSTotal$.

Por último, se calcula "rsq" ajustado para tener en cuenta los grados de libertad:

$$rsq_{adj} = 1 - SSresid/SSTotal * (\text{length}(y)-1)/(\text{length}(y)-\text{length}(p))$$


Diagrama de flujo 1: MAX

En el segundo programa denominado “Promedio.m”, lo primero que se hace es importar los ficheros creados en LJStream UD, se almacenan los 12 ficheros en 12 variables y con ellos se obtiene la resistencia interna de la tarjeta de adquisición de datos DAQ Labjack u3-HV. Una vez obtenidas estas resistencias internas, se calculan el valor de la resistencia incógnita de cada dedo. A partir de estos valores, se obtiene la conductancia de cada sensor siendo la inversa de la resistencia. A continuación, se obtienen los promedios de las conductancias mas altas ordenando los valores escogiendo los cien valores mas altos de cada vector, relacionado con cada dedo. Se obtiene la media de esos cien valores y se relaciona con la fuerza máxima realizada por nosotros en cada intento y se representan gráficamente.

Seguidamente se obtiene la ecuación aproximada de la recta y los valores residuales de la misma manera que se ha realizado en la parte anterior.

Se realiza la media de los cien valores más altos, para filtrar los resultados, y al ser de los mayores valores numéricos, se evita realizar cálculos de momentos en los que no se está realizando fuerza. Esta es la principal ventaja respecto al primer programa.

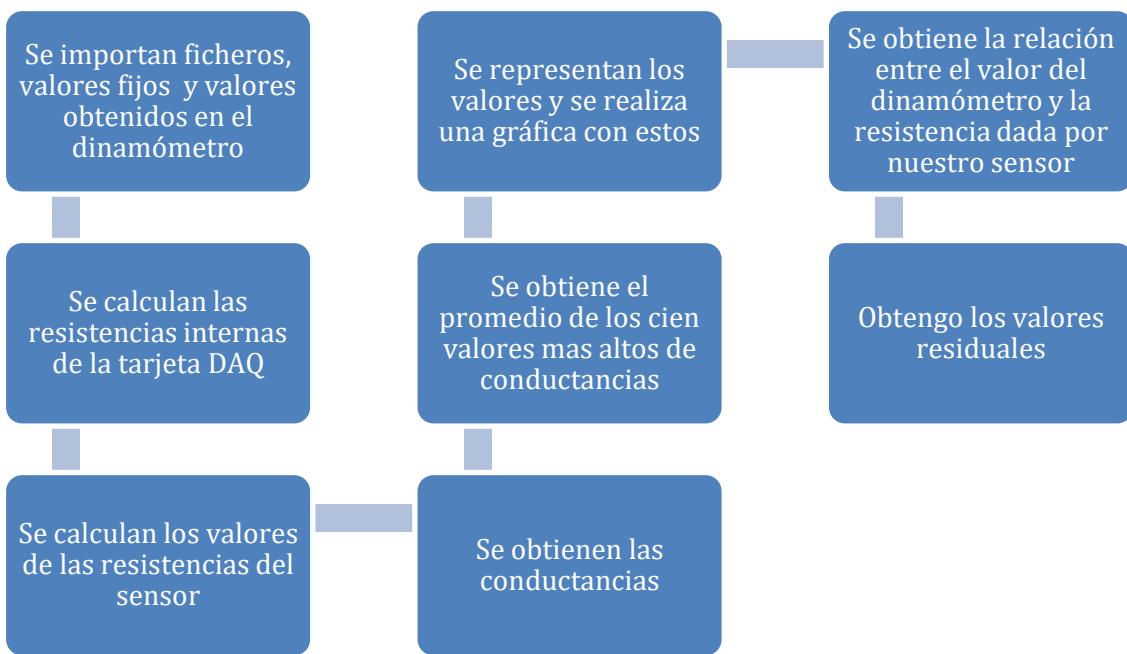


Diagrama de flujo 2: Promedio

En el último programa denominado “PCA.m”, se importan los ficheros como en las partes anteriores y se obtienen las resistencias internas, los valores de la resistencia incógnita y la conductancia de la misma forma que anteriormente. Seguidamente, se ordenan los valores de menor a mayor, y se obtienen las medias de los cien más altos. Se crea una matriz con todas las medias, una de cada dedo. Se realiza el PCA de esta matriz y se obtienen tres variables, se almacena la variable “score”, en el que se devuelve las puntuaciones de los componentes principales y se transpone. Finalmente, se muestra la gráfica, se obtiene la ecuación y los valores residuales de la misma forma que en los programas anteriores.

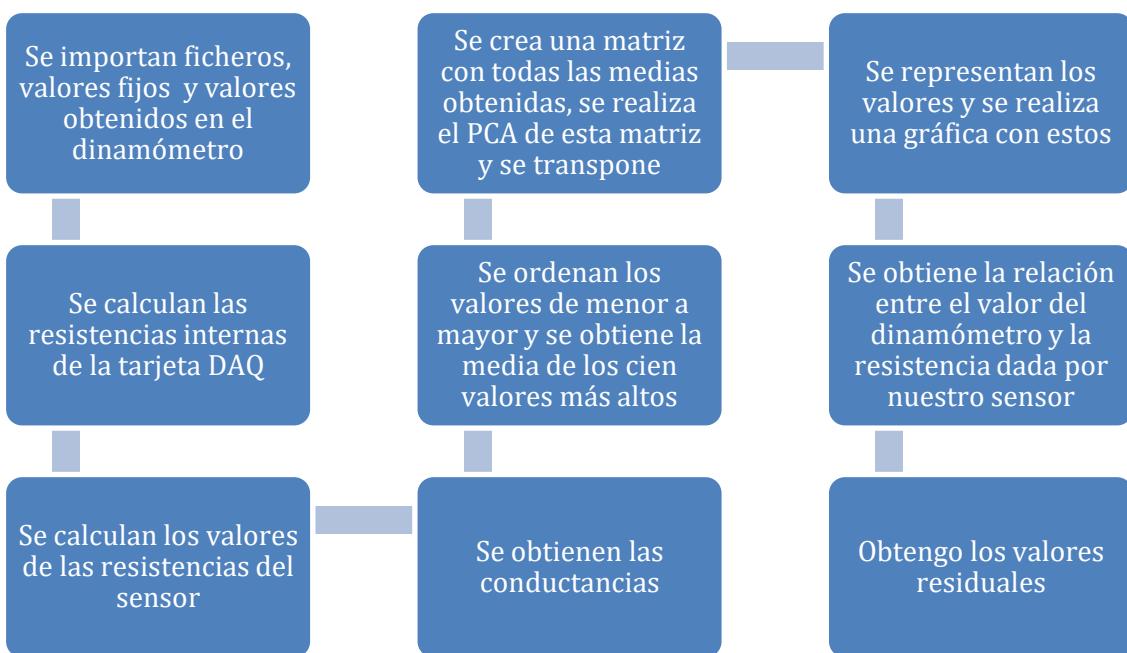


Diagrama de flujo 3: PCA

7. Medidas

Las medidas que se han realizado en este proyecto son los valores de voltaje que cae entre los extremos del sensor realizado. Estas medidas se han realizado con ocho individuos, realizando dos intentos cada uno, este proceso se ha realizado de esta manera para que sea una muestra representativa de la población.

Las pruebas se han realizado con el dinamómetro en la mano derecha, sin realizarse presión sobre este, cuando se comienza la toma de datos en el software LJStreamUD (comentado en el apartado 3.3.), se comienza a realizar presión sobre el dispositivo. Al finalizar la presión, se deja de tomar datos.

Para la obtención de las resistencias internas, se ha considerado que la resistencia del sensor es infinita, para conseguirse no debe realizarse presión alguna sobre el Velostat (descrito en el punto 2.1.) y se realiza una muestra durante algunos segundos para obtener el voltaje que cae en los extremos de la tarjeta de adquisición de datos. Finalmente se realizan los cálculos (descritos en el apartado 5.).

8. Resultados

A continuación, se van a analizar los resultados obtenidos después de procesar los datos adquiridos en las diferentes mediciones realizadas. El procesado de estas mediciones del voltaje que cae entre los extremos del sensor se realiza con un código elaborado por el estudiante. Este código está en el anexo y nos permite obtener el valor de los siguientes valores:

- Valor de la resistencia interna de la tarjeta DAQ:

Estos valores son los mismos en los tres ficheros.

Dedo de la mano	Dedo índice	Dedo corazón	Dedo anular	Dedo meñique	Dedo pulgar
Entrada en tarjeta DAQ	AIN3	AIN2	AIN1	AIN0	FIO4
Valor (Ω)	1820	1860	1835	1829	16332

Tabla 1: Resistencias internas

- Valor de la conductancia relacionada con la fuerza en el dinamómetro del archivo Max.m:

Conductancia máxima ($1/\Omega$)	4,6240E-06	5,3281E-06	4,7584E-06	5,4820E-06	3,2063E-06	4,4148E-06	2,4628E-06	3,5586E-06
Valor de fuerza (Kg)	33,3	38,2	19,8	20,69	22,1	18,4	18,1	19,6
Conductancia máxima ($1/\Omega$)	2,0461E-06	1,7932E-02	1,6564E-06	2,9458E-06	2,0027E-06	2,7202E-06	1,7932E-06	2,9981E-06
Valor de fuerza (Kg)	12,4	11,8	14	36,6	10,1	11,2	11,8	15,4

Tabla 2: Conductancia respecto a la fuerza ejercida Max

- Valor de la conductancia relacionada con la fuerza en el dinamómetro del archivo Promedio.m:

Conductancia máxima ($1/\Omega$)	6,7050E-07	5,0931E-07	4,0226E-07	3,1081E-07	3,6234E-07	5,4249E-07	2,9421E-07	4,3621E-07
Valor de fuerza (Kg)	33,3	38,2	19,8	20,9	22,1	18,4	18,1	19,6
Conductancia máxima ($1/\Omega$)	1,0463E-07	2,3563E-07	8,2505E-08	3,1758E-07	2,1478E-07	1,8345E-07	2,3563E-07	3,2702E-07
Valor de fuerza (Kg)	12,4	11,8	14	36,6	10,1	11,2	11,8	15,4

Tabla 3: Conductancia respecto a la fuerza ejercida Promedio

- Valor de la conductancia relacionada con la fuerza en el dinamómetro del archivo PCA.m:

Conductancia máxima ($1/\Omega$)	1,5187E-06	9,6297E-07	1,3200E-06	2,0991E-06	5,6161E-07	1,4268E-06	-4,1655E-07	5,2994E-07
Valor de fuerza (Kg)	33,3	38,2	19,8	20,9	22,1	18,4	18,1	19,6
Conductancia máxima ($1/\Omega$)	-1,6866E-06	-8,7700E-07	-1,6925E-06	-8,0077E-07	-1,3762E-06	-4,9929E-07	-8,7756E-07	-1,9214E-07
Valor de fuerza (Kg)	12,4	11,8	14	36,6	10,1	11,2	11,8	15,4

Tabla 4: Conductancia respecto a la fuerza ejercida PCA

En el caso del uso del PCA se obtienen valores negativos. Esto es debido a que al hacer el proceso, se centran los valores en la media y las nuevas variables obtenidas tienen

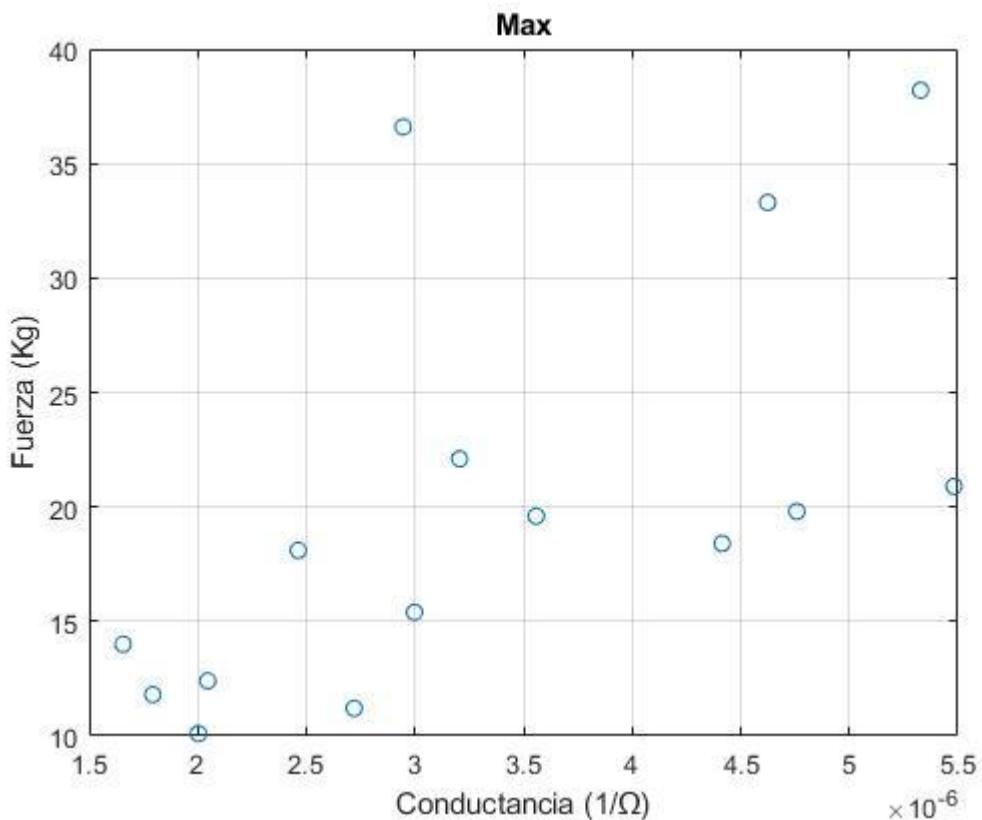
componentes negativas también. La siguiente tabla es la que se observa para saber cuál es el mejor modelo para seguir en nuestro proyecto.

Fichero	Ecuación	SSresid	rsq	rsq_adj
MAX.m	$y = 4381165,6 x + 5,4$	723,1921438	0,406075215	0,363652016
Promedio.m	$y = 38395453,1 x + 7,1$	661,786377	0,456504975	0,417683902
PCA.m	$y = 3674974,8 x + 19,6$	917,0331291	0,246882438	0,193088326

Tabla 5: Elección de modelo

Según estos resultados, el programa más fiable es el de Promedio.m, ya que la variable "y" es predicha con una fiabilidad de un 45,65%, esto se representa con la variable denominada "rsq". La variable "rsq_adj" proporciona una estimación mas fiable de la potencia del modelo polinomial que se va a predecir.

A continuación, se muestran los gráficos de la relación entre la conductancia obtenida con nuestros sensores y la fuerza ejercida en el dinamómetro.


Gráfico 1: Max

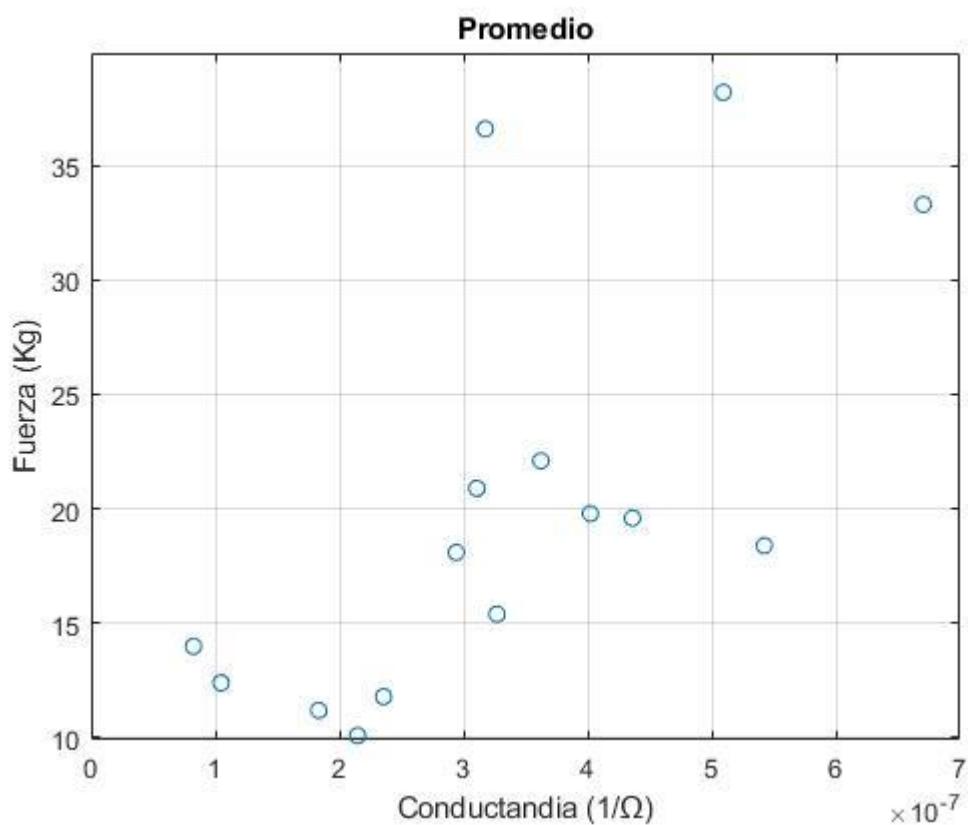


Gráfico 2: Promedio

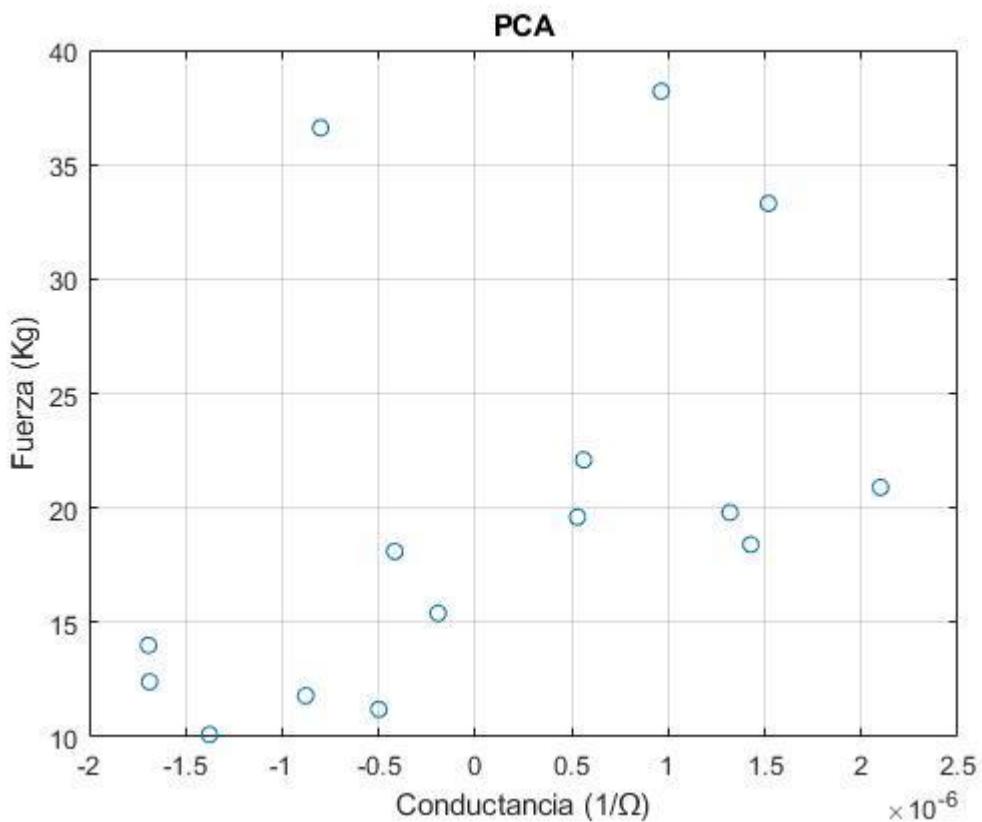


Gráfico 3: PCA

También se van a mostrar los gráficos de la conductancia respecto al tiempo, de algunas pruebas. Se eligen las pruebas nº1, 10, 13, 14, 15 y 16 porque son en las que mejor se refleja.

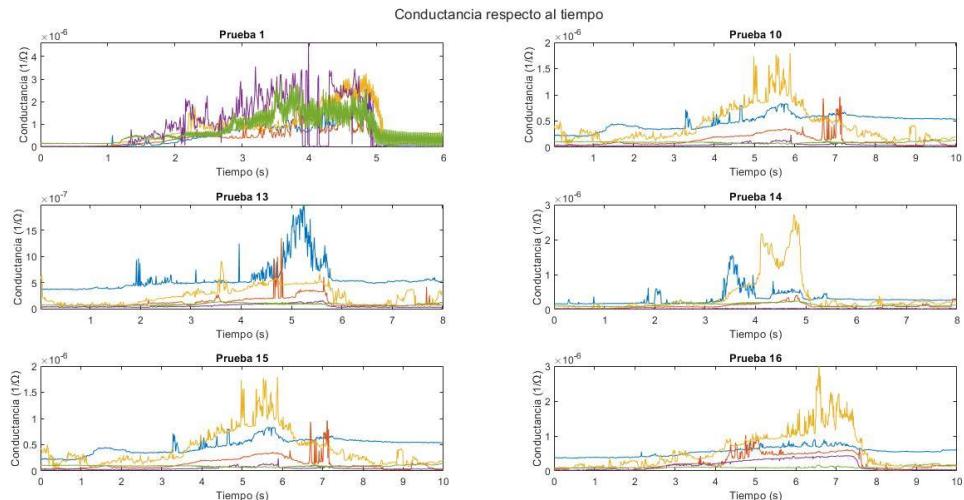


Gráfico 4: Conductancias respecto al tiempo de varios modelos

9. Análisis de resultados

Los resultados obtenidos no son tan buenos como se esperaba, ya que los valores logrados no siguen una relación exacta, como podemos ver en los gráficos 1, 2 y 3. Los valores de rsq deberían ser mas próximos a uno, lo que reflejaría que el modelo es mas fiable, esto se debe a algunos problemas que se han tenido, los que se explicaran en el apartado de conclusiones.

10. Coste

Materiales	Coste aproximado (€)
Guantes	5
Cinta de cobre	2,3
Velostat	6,5
Cable plano	2,83
Conector macho	4,6
Placa de matriz	14,28
Conector hembra	0,34
Regleta de pines	2,81
Placa protoboard	7,69
Cable	0,54
Resistencias	1,8
Tarjeta LabJack U3-HV	145,17
Total	193,86

Tabla 6: Coste básico

En este caso, no se ha tenido en cuenta el coste de un microcontrolador, ya que, si se realizara este prototipo de forma comercial, no sería necesario la compra de una tarjeta de adquisición de datos. Si se tiene en cuenta, el coste sería el siguiente:

Materiales	Coste aproximado (€)
Guantes	5
Cinta de cobre	2,3
Velostat	6,5
Cable plano	2,83
Cable	0,54
Resistencias	3
PCB conexión en mano	2
PCB para microcontrolador	2
Microcontrolador PIC12F683	2,36
Total	26,53

Tabla 7: Coste total

En ninguno de los dos casos se ha incluido el coste de tiempo de elaboración del proyecto, esto se debe a que es el primer proyecto y el tiempo dedicado a este no es proporcional al que llevaría si se volviera a realizar uno similar en un proceso de fabricación industrial.

11. Conclusiones

Los estudios sobre fuerza o presión están en crecimiento, ya que esta información es fundamental en rehabilitaciones de enfermedades o accidentes, para el entrenamiento de atletas, pruebas de distintos productos como airbags o parachoques, pudiéndose evitar muertes o accidentes graves.

Este proyecto se basa en sensores textiles en la mano, para medir la fuerza que se es capaz de aplicar sobre un dinamómetro, pudiéndose aplicar a rehabilitaciones de operaciones de mano, muñeca o brazo para comprobarse la evolución del paciente.

Los sensores diseñados en este proyecto no tienen el funcionamiento esperado, ya que esperábamos una mejor relación entre el valor obtenido en el dinamómetro y el de los sensores. Esto se puede deber a varios motivos:

- En la realización del prototipo, la cinta de cobre es muy delicada y al ejercerse sobre ella la fuerza de apriete, la cinta se ha llegado a romper en varias ocasiones, lo que conlleva a tener que volver a realizar el prototipo otra vez. Por otro lado, la cinta de cobre es muy fina, al realizarse la soldadura, en ocasiones se rompe por exceso de temperatura.
- Refiriéndose a los cables planos, tienen un gran inconveniente, ya que al ocupar tan poco espacio, la maniobrabilidad de estos, a la hora de soldarlos, es muy escasa. También se rompían al soldarlos al ser tan finos.
- Respecto a la tarjeta de adquisición de datos, el funcionamiento es muy sencillo y eficaz, el único problema es el de la entrada FIO4, ya que tiene que estar limitado el voltaje a 3,5V, por ello se tiene que realizar el divisor de tensión, para no sobrepasar ese límite.
- Otro gran inconveniente en la realización del proyecto es que las pruebas han de tomarse con un periodo extenso de tiempo entre una y otra, unos 5 minutos, debido a que, si no se respeta ese tiempo, el Velostat no funciona adecuadamente y las medidas que se toman son erróneas, lo que nos lleva a tener que realizar más pruebas de las esperadas inicialmente.
- En cuanto a la elaboración del código, hay un gran problema, ya que, al obtener la resistencia de entrada de la tarjeta de adquisición de datos, solo se toman los valores de voltaje en reposo una prueba realizada durante 12 segundos, esto se podría solucionar realizando varias pruebas en reposo, es decir, sin realizar ninguna fuerza con la mano. Además de esto, la resistencia del Velostat no es la misma en todo momento, al realizarse inicialmente alguna prueba del valor del

voltaje obtenido en la tarjeta DAQ, este variaba según cuando se realizaba la medida. Estos valores se han comprobado tanto con la tarjeta como con un multímetro, coincidiendo la medida de estos, pero esto provoca que alguna de las resistencias incógnita que obtenemos con el código, salga negativa.

El funcionamiento del dinamómetro es muy sencillo y la realización de este TFG me ha servido para comprender perfectamente su funcionamiento. Además de esto, también me ha servido para familiarizarme más con MATLAB, ya que este software ya lo había utilizado en el transcurso del grado, pero con la elaboración del presente proyecto he profundizado más en él, explorando varias de las muchas funciones que tiene.

Aunque el comportamiento final obtenido no sea del todo el esperado, se ha realizado la creación del prototipo de manera adecuada, comprobando su funcionamiento después de cada paso que se realiza.

Se han cumplido los objetivos de analizar los prototipos anteriores, se ha llevado a cabo la construcción del prototipo y se ha contrastado con un dispositivo comercial.

Personalmente, este proyecto me ha hecho darme cuenta de que todo lo estudiado en este grado tiene un objetivo científico y profesional, todos los conocimientos adquiridos durante estos años los puedo aplicar tanto en la vida cotidiana como profesional.

Además, me ha hecho darme cuenta de que estos conocimientos son aplicados en el ámbito de la salud, ayudando a personas a mejorar su calidad de vida, lo que me resulta muy satisfactorio.

Respecto a la elaboración del prototipo, tengo que destacar que me ha interesado mucho el ámbito eléctrico y puede tener para mi futuro una gran relevancia.

Por supuesto, me ha gustado la elaboración práctica del prototipo, como es soldar o crear el circuito, pero tengo que destacar que la elaboración de la memoria del proyecto me ha resultado muy interesante, al darme cuenta de que, con la realización de esta, estoy practicando para la posible elaboración de varios proyectos en mi vida laboral como ingeniero electrónico y automático el día de mañana.

Para proyectos futuros, se podría comenzar utilizando un material más resistente para no tener los problemas de rotura del Velostat. Principalmente, se podría filtrar mejor la señal, para no tener datos irrelevantes o falsos como los que obtenemos en alguna prueba.

Adicionalmente, se podría implementar un bucle para recorrer todos los ficheros y variables para no tener que escribir manualmente todas las líneas de código.

Bibliografía

- [1] EduQTech - Página web grupo investigación EduQTech. URL: <http://eduqtech.unizar.es/> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [2] Escuela de Ingeniería de Antioquia - Hacia el agarre de objetos utilizando aprendizaje robótico por imitación y datos de fuerza - Revista EIA, ISSN 1794-1237 / Año XII / Volumen 12 / Edición N.23 / Enero-junio 2015 - Publicación semestral de carácter técnico-científico. URL: <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/722> -Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [3] M. Vergara, J.L. Sancho-Bru, C. Laviña Mora, V. Gracia Ibáñez, A. Pérez González- Fuerza de contacto entre mano y mango en el transporte de peso - URL: <http://www.xixcnim.uji.es/CDActas/Documentos/ComunicacionesOrales/01-07.pdf> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [4] Solectro - Página web ventas - URL: <https://solectroshop.com/es/sensores-de-presion/5340-lamina-velostatlingstat-30x30cm-para-proyectos-adafruit.html> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [5] Ingenierizando - Página web científica acerca de temas relacionados con la física - URL: <https://www.ingenierizando.com/laboratorio/dinamometro/> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [6] Panda Medical Limited - Engineering the flow of Occupational Health - Página web ventas - URL: <https://www.pandamed.co.uk/product/takei-4501-digital-dynamometer/> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [7] El Confidencial - Periódico - Los mejores dinamómetros digitales de mano para medir fuerza y peso - 01/09/2020 - URL: https://www.elconfidencial.com/decompras/2020-08-25/mejores-dinametros-digitales-mano-fuerza_2245443/ - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [8] Amazon - FINGERSK Medición de Fuerza de Agarre Digital Dinamómetro de Mano Captura automática Potencia de Agarre electrónica 90 kg - Página web de ventas - Sección: Deportes y aire libre > Fitness y ejercicio - URL: https://www.amazon.es/FINGERSK-Medici%C3%B3n-Dinam%C3%ADmetro-autom%C3%A1ticaelectr%C3%ADnico/dp/B0B53QPTWG/ref=sr_1_1_sspa?keywords=dinamometro%2Bmano&qid=1682612420&sr=81spons&sp_csd=d2lkZ2V0TmFtZT1zcF9hdGY&th=1 - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023

- [9] Análisis de componentes principales – Wikipedia – Enciclopedia libre online – URL: https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_componentes_principales - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [10] Analog Devices – Descargar LTSpice – Web de descargas - URL: <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspace-simulator.html> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [11] LabJackU3-HV – Web de productos electrónicos – Software electrónico gratuito - URL: <https://labjack.com/products/u3-hv> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [12] Matlab – Plataforma de programación y calculo numérico – URL: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [13] PrototipadoLab – Plataforma de recursos para la creación de E-textiles+Wearables – URL: <https://prototipadolab.com/2017/12/15/velostat/> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [14] Ultra-lab: Velostat – Web de ventas – URL: <https://ultra-lab.net/producto/velostat-por-metro-material-sensible-a-la-presion/> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [15] Ultra-lab: Velostat – Web de ventas – Ficha técnica - URL: <https://ultra-lab.net/media/2020/02/1232.pdf> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [16] HaB Direct - Sports Science, Medical & Fitness Equipment – Web de ventas – URL: <https://www.habdirect.co.uk/product/takei-hand-grip-dynamometer/> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [17] MathWorks – Centro de ayuda sobre MatLab - Regresión lineal - URL: https://www.mathworks.com/help/matlab/data_analysis/linear-regression.html - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [18] MathWorks – Centro de ayuda sobre MatLab – Importar datos - URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/importdata.html> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [19] MathWorks – Centro de ayuda sobre MatLab – Llamada de funciones – URL: https://es.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/calling-functions.html?searchHighlight=funciones%20&s_tid=srchtitle_funciones%20_9 - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [20] MathWorks – Centro de ayuda sobre MatLab – Función – URL: <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/function.html> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023

- [21] MathWorks – Centro de ayuda sobre MatLab – Ajuste polinomial de curvas – URL: <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/polyfit.html> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [22] MathWorks – Centro de ayuda sobre MatLab – Análisis de los componentes principales de datos sin procesar – URL: https://es.mathworks.com/help/stats/pca.html?searchHighlight=pca&s_tid=srchtitle_pca_1 - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [23] LabJackU3-HV – Web de productos electrónicos – Descarga de software electrónico gratuito - URL: <https://labjack.com/pages/support?doc=%2Fsoftware-driver%2Finstaller-downloads%2Fud-software-installers-u3-u6-ue9%2F> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [24] Farnell – Conectores IDC – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.farnell.com/amphenol/t812120a100ceu/toma-idc-2-54-mm-20v-as/dp/2215236> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [25] Farnell – Cable plano – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.farnell.com/3m/3365-26/cable-de-lazo-26-v-as-30-5m/dp/296867?MER=TARG-MER-PLP-RECO-STM71233-0> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [26] RS – Conector macho – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-macho-para-pcb/6257296> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [27] RS – Placa de matriz – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.rs-online.com/web/p/placas-matriz/4570755> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [28] RS – Regleta de pines – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-macho-para-pcb/2518351> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [29] RS – Cinta de cobre – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.rs-online.com/web/p/cintas-metalicas/1767500> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [30] Grandado – Placa protoboard – Web de venta de productos electrónicos – URL: https://esp.grandado.com/products/placa-de-pruebas-mcigcm-de-400-puntos-sin-soldadura-prototipo-de-placa-400-protoboard-transparente?variant=UHJvZHVsJdFZhcmIhbnQ6MjI1NjI4NDE&msclkid=c8415201cdc318cc72d3365cd5201c10&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=Search%20-%20Grandado%20-%20Placa%20de%20pruebas%20mcigcm%20de%20400%20puntos%20sin%20soldadura%20prototipo%20de%20placa%20400%20protoboard%20transparente

[n=ESP%20%7C%20Shopping%20%7C%20All%20Products%20-%20From%20our%20catalogue&utm_term=4576304852409823&utm_content=All%20products](#) - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023

- [31] Farnell – Cables de conexión – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.farnell.com/c/cables-conjuntos-de-cables/cables-de-conexion> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [32] RS – Microcontroladores – Web de venta de productos electrónicos – URL: <https://es.rs-online.com/web/p/microcontroladores/1214232> - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023
- [33] JLCPCB – Circuito impreso - Web de venta de productos electrónicos – URL: https://jlpcb.com/VBS?utm_source=bing_vbs&utm_medium=cpc&utm_campaign=428005336&utm_content=&utm_term=p_pcb%20printed%20circuit%20board&adgroupid=1343604531830348&msclkid=d59b11e8ae25114a54497597f2d1a99f - Fecha ultimo acceso: mayo de 2023

Anexos

Para finalizar, se adjuntan los tres códigos utilizados en MatLab para realizar los cálculos.

El primero es el programa Max.m:

format long %Se utiliza este formato para trabajar con más decimales

```
%Se importan los ficheros de datos generados en LabJack
VR = readmatrix('VoltajesReposo.DAT');
VR = VR(:,2:6); %Se almacenan los valores de voltaje
P1 = readmatrix('33.3.DAT'); % Intento 1 Diego
p1 = P1(:,1:1); %Se almacenan los valores de tiempo
P1 = P1(:,2:6); %Se almacenan los valores de voltaje
%Lo mismo para los 16 intentos
P2 = readmatrix('38.2.DAT'); % Intento 2 Diego
p2 = P2(:,1:1);
P2 = P2(:,2:6);
P3 = readmatrix('19.8.DAT'); % Intento 1 Marcos
p3 = P3(:,1:1);
P3 = P3(:,2:6);
P4 = readmatrix('20.9.DAT'); % Intento 2 Marcos
p4 = P4(:,1:1);
P4 = P4(:,2:6);
P5 = readmatrix('22.1.DAT'); % Intento 1 Maria
p5 = P5(:,1:1);
P5 = P5(:,2:6);
P6 = readmatrix('18.4.DAT'); % Intento 2 Maria
p6 = P6(:,1:1);
P6 = P6(:,2:6);
P7 = readmatrix('18.1.DAT'); % Intento 1 Pilar
p7 = P7(:,1:1);
P7 = P7(:,2:6);
P8 = readmatrix('19.6.DAT'); % Intento 2 Pilar
p8 = P8(:,1:1);
P8 = P8(:,2:6);
P9 = readmatrix('12.4.DAT'); % Intento 1 Andrea
p9 = P9(:,1:1);
P9 = P9(:,2:6);
P10 = readmatrix('11.8.DAT'); % Intento 2 Andrea
p10 = P10(:,1:1);
P10 = P10(:,2:6);
P11 = readmatrix('14.DAT'); % Intento 1 Paco
p11 = P11(:,1:1);
P11 = P11(:,2:6);
P12 = readmatrix('36.6.DAT'); % Intento 2 Paco
p12 = P12(:,1:1);
P12 = P12(:,2:6);
P13 = readmatrix('10.1.DAT'); % Intento 1 Dani
```

```

p13 = P13(:,1:1);
P13 = P13(:,2:6);
P14 = readmatrix('11.2.DAT'); % Intento 2 Dani
p14 = P14(:,1:1);
P14 = P14(:,2:6);
P15 = readmatrix('11.8.DAT'); % Intento 1 Juan
p15 = P15(:,1:1);
P15 = P15(:,2:6);
P16 = readmatrix('15.4.DAT'); % Intento 2 Juan
p16 = P16(:,1:1);
P16 = P16(:,2:6);

%Valores fijos
V=5;
R=270000;
R2=470000;
R3=456852.4685; %Paralelo R2 y Rin

%Se almacenan los valores del dinamometro
m1=33.3;
m2=38.2;
m3=19.8;
m4=20.9;
m5=22.1;
m6=18.4;
m7=18.1;
m8=19.6;
m9=12.4;
m10=11.8;
m11=14;
m12=36.6;
m13=10.1;
m14=11.2;
m15=11.8;
m16=15.4;

%Se obtienen las resistencias internas
Medias=mean(VR,1);
MediasOneResistencia=Medias(1:4);
MediasTwoResistencia=Medias(5:5);
Rin1=MediasOneResistencia./((5-MediasOneResistencia)/R);
Rin2=MediasTwoResistencia/(((5-MediasTwoResistencia)/R)-(MediasTwoResistencia/R2));
Rin=[Rin1 Rin2];

%Se obtienen los valores de Rx
rx1=P1(:,1:4).((((V-P1(:,1:4))/R)-(P1(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry1=P1(:,5:5).((((V-P1(:,5:5))/R)-(P1(:,5:5)./R3));
Rx1 = horzcat(rx1,ry1);

```

```

rx2=P2(:,1:4)./(((V-P2(:,1:4))./R)-(P2(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry2=P2(:,5:5)./(((V-P2(:,5:5))./R)-(P2(:,5:5)./R3));
Rx2 = horzcat(rx2,ry2);
rx3=P3(:,1:4)./(((V-P3(:,1:4))./R)-(P3(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry3=P3(:,5:5)./(((V-P3(:,5:5))./R)-(P3(:,5:5)./R3));
Rx3 = horzcat(rx3,ry3);
rx4=P4(:,1:4)./(((V-P4(:,1:4))./R)-(P4(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry4=P4(:,5:5)./(((V-P4(:,5:5))./R)-(P4(:,5:5)./R3));
Rx4 = horzcat(rx4,ry4);
rx5=P5(:,1:4)./(((V-P5(:,1:4))./R)-(P5(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry5=P5(:,5:5)./(((V-P5(:,5:5))./R)-(P5(:,5:5)./R3));
Rx5 = horzcat(rx5,ry5);
rx6=P6(:,1:4)./(((V-P6(:,1:4))./R)-(P6(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry6=P6(:,5:5)./(((V-P6(:,5:5))./R)-(P6(:,5:5)./R3));
Rx6 = horzcat(rx6,ry6);
rx7=P7(:,1:4)./(((V-P7(:,1:4))./R)-(P7(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry7=P7(:,5:5)./(((V-P7(:,5:5))./R)-(P7(:,5:5)./R3));
Rx7 = horzcat(rx7,ry7);
rx8=P8(:,1:4)./(((V-P8(:,1:4))./R)-(P8(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry8=P8(:,5:5)./(((V-P8(:,5:5))./R)-(P8(:,5:5)./R3));
Rx8 = horzcat(rx8,ry8);
rx9=P9(:,1:4)./(((V-P9(:,1:4))./R)-(P9(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry9=P9(:,5:5)./(((V-P9(:,5:5))./R)-(P9(:,5:5)./R3));
Rx9 = horzcat(rx9,ry9);
rx10=P10(:,1:4)./(((V-P10(:,1:4))./R)-(P10(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry10=P10(:,5:5)./(((V-P10(:,5:5))./R)-(P10(:,5:5)./R3));
Rx10 = horzcat(rx10,ry10);
rx11=P11(:,1:4)./(((V-P11(:,1:4))./R)-(P11(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry11=P11(:,5:5)./(((V-P11(:,5:5))./R)-(P11(:,5:5)./R3));
Rx11 = horzcat(rx11,ry11);
rx12=P12(:,1:4)./(((V-P12(:,1:4))./R)-(P12(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry12=P12(:,5:5)./(((V-P12(:,5:5))./R)-(P12(:,5:5)./R3));
Rx12 = horzcat(rx12,ry12);
rx13=P13(:,1:4)./(((V-P13(:,1:4))./R)-(P13(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry13=P13(:,5:5)./(((V-P13(:,5:5))./R)-(P13(:,5:5)./R3));
Rx13 = horzcat(rx13,ry13);
rx14=P14(:,1:4)./(((V-P14(:,1:4))./R)-(P14(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry14=P14(:,5:5)./(((V-P14(:,5:5))./R)-(P14(:,5:5)./R3));
Rx14 = horzcat(rx14,ry14);
rx15=P15(:,1:4)./(((V-P15(:,1:4))./R)-(P15(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry15=P15(:,5:5)./(((V-P15(:,5:5))./R)-(P15(:,5:5)./R3));
Rx15 = horzcat(rx15,ry15);
rx16=P16(:,1:4)./(((V-P16(:,1:4))./R)-(P16(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry16=P16(:,5:5)./(((V-P16(:,5:5))./R)-(P16(:,5:5)./R3));
Rx16 = horzcat(rx16,ry16);

```

%Se obtienen las conductancias

g1 = 1./Rx1;

```

g2 = 1./Rx2;
g3 = 1./Rx3;
g4 = 1./Rx4;
g5 = 1./Rx5;
g6 = 1./Rx6;
g7 = 1./Rx7;
g8 = 1./Rx8;
g9 = 1./Rx9;
g10 = 1./Rx10;
g11 = 1./Rx11;
g12 = 1./Rx12;
g13 = 1./Rx13;
g14 = 1./Rx14;
g15 = 1./Rx15;
g16 = 1./Rx16;

%Graficos conductancia respecto al tiempo
t = tiledlayout(3,2);
title(t,"Conductancia respecto al tiempo")
x = linspace(0,30);

nexttile
plot(p1,g1)
title("Prueba 1")

nexttile
plot(p10,g10)
title("Prueba 10")

nexttile
plot(p13,g13)
title("Prueba 13")

nexttile
plot(p14,g14)
title("Prueba 14")

nexttile
plot(p15,g15)
title("Prueba 15")

nexttile
plot(p16,g16)
title("Prueba 16")

%Se obtienen la máxima conductancia
M1=max(g1,[],'all');
M2=max(g2,[],'all');

```

```

M3=max(g3,[],'all');
M4=max(g4,[],'all');
M5=max(g5,[],'all');
M6=max(g6,[],'all');
M7=max(g7,[],'all');
M8=max(g8,[],'all');
M9=max(g9,[],'all');
M10=max(g10,[],'all');
M11=max(g11,[],'all');
M12=max(g12,[],'all');
M13=max(g13,[],'all');
M14=max(g14,[],'all');
M15=max(g15,[],'all');
M16=max(g16,[],'all');

%Se representan los valores
Relacion = [M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 M11 M12 M13 M14 M15 M16; m1 m2 m3 m4 m5 m6 m7 m8 m9 m10 m11
m12 m13 m14 m15 m16];

%Grafica
figure()
Grafico=plot(Relacion(1,:),Relacion(2,:))

%Se obtiene la relación
p = polyfit(Relacion(1,:),Relacion(2,:),1)
plot(Relacion(1,:),Relacion(2,:),'o')
grid on
s = sprintf('y = (%.1f) x + (%.1f)',p(1),p(2))
text(2,400,s)

%Valores residuos
x= Relacion(1,:);
y= Relacion(2,:);
yfit = polyval(p,x);
yresid = y - yfit;
SSresid = sum(yresid.^2)
SStotal = (length(y)-1) * var(y);
rsq = 1 - SSresid/SStotal
rsq_adj = 1 - SSresid/SStotal * (length(y)-1)/(length(y)-length(p))

```

A continuación, se muestra el código de Promedio.m:

format long %Se utiliza este formato para trabajar con más decimales

```

%Se importan los ficheros de datos generados en LabJack
VR = readmatrix('VoltajesReposo.DAT');
VR = VR(:,2:6); %Se almacenan los valores de voltaje
P1 = readmatrix('33.3.DAT'); % Intento 1 Diego

```

```

p1 = P1(:,1:1); %Se almacenan los valores de tiempo
P1 = P1(:,2:6); %Se almacenan los valores de voltaje
%Lo mismo para los 16 intentos
P2 = readmatrix('38.2.DAT'); % Intento 2 Diego
p2 = P2(:,1:1);
P2 = P2(:,2:6);
P3 = readmatrix('19.8.DAT'); % Intento 1 Marcos
p3 = P3(:,1:1);
P3 = P3(:,2:6);
P4 = readmatrix('20.9.DAT'); % Intento 2 Marcos
p4 = P4(:,1:1);
P4 = P4(:,2:6);
P5 = readmatrix('22.1.DAT'); % Intento 1 Maria
p5 = P5(:,1:1);
P5 = P5(:,2:6);
P6 = readmatrix('18.4.DAT'); % Intento 2 Maria
p6 = P6(:,1:1);
P6 = P6(:,2:6);
P7 = readmatrix('18.1.DAT'); % Intento 1 Pilar
p7 = P7(:,1:1);
P7 = P7(:,2:6);
P8 = readmatrix('19.6.DAT'); % Intento 2 Pilar
p8 = P8(:,1:1);
P8 = P8(:,2:6);
P9 = readmatrix('12.4.DAT'); % Intento 1 Andrea
p9 = P9(:,1:1);
P9 = P9(:,2:6);
P10 = readmatrix('11.8.DAT'); % Intento 2 Andrea
p10 = P10(:,1:1);
P10 = P10(:,2:6);
P11 = readmatrix('14.DAT'); % Intento 1 Paco
p11 = P11(:,1:1);
P11 = P11(:,2:6);
P12 = readmatrix('36.6.DAT'); % Intento 2 Paco
p12 = P12(:,1:1);
P12 = P12(:,2:6);
P13 = readmatrix('10.1.DAT'); % Intento 1 Dani
p13 = P13(:,1:1);
P13 = P13(:,2:6);
P14 = readmatrix('11.2.DAT'); % Intento 2 Dani
p14 = P14(:,1:1);
P14 = P14(:,2:6);
P15 = readmatrix('11.8.DAT'); % Intento 1 Juan
p15 = P15(:,1:1);
P15 = P15(:,2:6);
P16 = readmatrix('15.4.DAT'); % Intento 2 Juan
p16 = P16(:,1:1);
P16 = P16(:,2:6);

```

%Valores fijos

```
V=5;
R=270000;
R2=470000;
R3=456852.4685; %Paralelo R2 y Rin
```

%Se almacenan los valores del dinamometro

```
m1=33.3;
m2=38.2;
m3=19.8;
m4=20.9;
m5=22.1;
m6=18.4;
m7=18.1;
m8=19.6;
m9=12.4;
m10=11.8;
m11=14;
m12=36.6;
m13=10.1;
m14=11.2;
m15=11.8;
m16=15.4;
```

%Se obtienen las resistencias internas

```
Medias=mean(VR,1);
MediasOneResistencia=Medias(1:4);
MediasTwoResistencia=Medias(5:5);
Rin1=MediasOneResistencia./((5-MediasOneResistencia)/R);
Rin2=MediasTwoResistencia/(((5-MediasTwoResistencia)/R)-(MediasTwoResistencia/R2));
Rin=[Rin1 Rin2];
```

%Se obtienen los valores de Rx

```
rx1=P1(:,1:4)./(((V-P1(:,1:4))./R)-(P1(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry1=P1(:,5:5)./(((V-P1(:,5:5))./R)-(P1(:,5:5)./R3));
Rx1 = horzcat(rx1,ry1);
rx2=P2(:,1:4)./(((V-P2(:,1:4))./R)-(P2(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry2=P2(:,5:5)./(((V-P2(:,5:5))./R)-(P2(:,5:5)./R3));
Rx2 = horzcat(rx2,ry2);
rx3=P3(:,1:4)./(((V-P3(:,1:4))./R)-(P3(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry3=P3(:,5:5)./(((V-P3(:,5:5))./R)-(P3(:,5:5)./R3));
Rx3 = horzcat(rx3,ry3);
rx4=P4(:,1:4)./(((V-P4(:,1:4))./R)-(P4(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry4=P4(:,5:5)./(((V-P4(:,5:5))./R)-(P4(:,5:5)./R3));
Rx4 = horzcat(rx4,ry4);
rx5=P5(:,1:4)./(((V-P5(:,1:4))./R)-(P5(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry5=P5(:,5:5)./(((V-P5(:,5:5))./R)-(P5(:,5:5)./R3));
```

```

Rx5 = horzcat(rx5,ry5);
rx6=P6(:,1:4)./(((V-P6(:,1:4))./R)-(P6(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry6=P6(:,5:5)./(((V-P6(:,5:5))./R)-(P6(:,5:5)./R3));
Rx6 = horzcat(rx6,ry6);
rx7=P7(:,1:4)./(((V-P7(:,1:4))./R)-(P7(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry7=P7(:,5:5)./(((V-P7(:,5:5))./R)-(P7(:,5:5)./R3));
Rx7 = horzcat(rx7,ry7);
rx8=P8(:,1:4)./(((V-P8(:,1:4))./R)-(P8(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry8=P8(:,5:5)./(((V-P8(:,5:5))./R)-(P8(:,5:5)./R3));
Rx8 = horzcat(rx8,ry8);
rx9=P9(:,1:4)./(((V-P9(:,1:4))./R)-(P9(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry9=P9(:,5:5)./(((V-P9(:,5:5))./R)-(P9(:,5:5)./R3));
Rx9 = horzcat(rx9,ry9);
rx10=P10(:,1:4)./(((V-P10(:,1:4))./R)-(P10(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry10=P10(:,5:5)./(((V-P10(:,5:5))./R)-(P10(:,5:5)./R3));
Rx10 = horzcat(rx10,ry10);
rx11=P11(:,1:4)./(((V-P11(:,1:4))./R)-(P11(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry11=P11(:,5:5)./(((V-P11(:,5:5))./R)-(P11(:,5:5)./R3));
Rx11 = horzcat(rx11,ry11);
rx12=P12(:,1:4)./(((V-P12(:,1:4))./R)-(P12(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry12=P12(:,5:5)./(((V-P12(:,5:5))./R)-(P12(:,5:5)./R3));
Rx12 = horzcat(rx12,ry12);
rx13=P13(:,1:4)./(((V-P13(:,1:4))./R)-(P13(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry13=P13(:,5:5)./(((V-P13(:,5:5))./R)-(P13(:,5:5)./R3));
Rx13 = horzcat(rx13,ry13);
rx14=P14(:,1:4)./(((V-P14(:,1:4))./R)-(P14(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry14=P14(:,5:5)./(((V-P14(:,5:5))./R)-(P14(:,5:5)./R3));
Rx14 = horzcat(rx14,ry14);
rx15=P15(:,1:4)./(((V-P15(:,1:4))./R)-(P15(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry15=P15(:,5:5)./(((V-P15(:,5:5))./R)-(P15(:,5:5)./R3));
Rx15 = horzcat(rx15,ry15);
rx16=P16(:,1:4)./(((V-P16(:,1:4))./R)-(P16(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry16=P16(:,5:5)./(((V-P16(:,5:5))./R)-(P16(:,5:5)./R3));
Rx16 = horzcat(rx16,ry16);

```

%Se obtienen las conductancias

```

g1 = 1./Rx1;
g2 = 1./Rx2;
g3 = 1./Rx3;
g4 = 1./Rx4;
g5 = 1./Rx5;
g6 = 1./Rx6;
g7 = 1./Rx7;
g8 = 1./Rx8;
g9 = 1./Rx9;
g10 = 1./Rx10;
g11 = 1./Rx11;
g12 = 1./Rx12;

```

```
g13 = 1./Rx13;
g14 = 1./Rx14;
g15 = 1./Rx15;
g16 = 1./Rx16;
```

%Se obtienen los promedios de las conductancias mas altas

```
g1_sorted = sort(g1,1);
g1_sorted(end-100:end,:);
x_mean1 = mean(mean(g1_sorted));
g2_sorted = sort(g2,1);
g2_sorted(end-100:end,:);
x_mean2 = mean(mean(g2_sorted));
g3_sorted = sort(g3,1);
g3_sorted(end-100:end,:);
x_mean3 = mean(mean(g3_sorted));
g4_sorted = sort(g4,1);
g4_sorted(end-100:end,:);
x_mean4 = mean(mean(g4_sorted));
g5_sorted = sort(g5,1);
g5_sorted(end-100:end,:);
x_mean5 = mean(mean(g5_sorted));
g6_sorted = sort(g6,1);
g6_sorted(end-100:end,:);
x_mean6 = mean(mean(g6_sorted));
g7_sorted = sort(g7,1);
g7_sorted(end-100:end,:);
x_mean7 = mean(mean(g7_sorted));
g8_sorted = sort(g8,1);
g8_sorted(end-100:end,:);
x_mean8 = mean(mean(g8_sorted));
g9_sorted = sort(g9,1);
g9_sorted(end-100:end,:);
x_mean9 = mean(mean(g9_sorted));
g10_sorted = sort(g10,1);
g10_sorted(end-100:end,:);
x_mean10 = mean(mean(g10_sorted));
g11_sorted = sort(g11,1);
g11_sorted(end-100:end,:);
x_mean11 = mean(mean(g11_sorted));
g12_sorted = sort(g12,1);
g12_sorted(end-100:end,:);
x_mean12 = mean(mean(g12_sorted));
g13_sorted = sort(g13,1);
g13_sorted(end-100:end,:);
x_mean13 = mean(mean(g13_sorted));
g14_sorted = sort(g14,1);
g14_sorted(end-100:end,:);
x_mean14 = mean(mean(g14_sorted));
```

```

g15_sorted = sort(g15,1);
g15_sorted(end-100:end,:);
x_mean15 = mean(mean(g15_sorted));
g16_sorted = sort(g16,1);
g16_sorted(end-100:end,:);
x_mean16 = mean(mean(g16_sorted));

Relacion = [x_mean1 x_mean2 x_mean3 x_mean4 x_mean5 x_mean6 x_mean7 x_mean8 x_mean9 x_mean10 x_mean11 x_mean12
x_mean13 x_mean14 x_mean15 x_mean16 ; m1 m2 m3 m4 m5 m6 m7 m8 m9 m10 m11 m12 m13 m14 m15 m16];

%Grafica
Grafico=plot(Relacion(1,:),Relacion(2,:))

%Se obtiene la relación
p = polyfit(Relacion(1,:),Relacion(2,:),1)
plot(Relacion(1,:),Relacion(2,:),'o')
grid on
s = sprintf('y = (%.1f) x + (%.1f)',p(1),p(2))
text(2,400,s)

%Valores residues
x= Relacion(1,:);
y= Relacion(2,:);
yfit = polyval(p,x);
yresid = y - yfit;
SSresid = sum(yresid.^2)
SStotal = (length(y)-1) * var(y);
rsq = 1 - SSresid/SStotal
rsq_adj = 1 - SSresid/SStotal * (length(y)-1)/(length(y)-length(p))

```

Para finalizar se adjunta el ultimo anexo, PCA.m:

format long %Se utiliza este formato para trabajar con más decimales

```

%Se importan los ficheros de datos generados en LabJack
VR = readmatrix('VoltajesReposo.DAT');
VR = VR(:,2:6); %Se almacenan los valores de voltaje
P1 = readmatrix('33.3.DAT'); % Intento 1 Diego
p1 = P1(:,1:1); %Se almacenan los valores de tiempo
P1 = P1(:,2:6); %Se almacenan los valores de voltaje
%Lo mismo para los 16 intentos
P2 = readmatrix('38.2.DAT'); % Intento 2 Diego
p2 = P2(:,1:1);
P2 = P2(:,2:6);
P3 = readmatrix('19.8.DAT'); % Intento 1 Marcos
p3 = P3(:,1:1);
P3 = P3(:,2:6);
P4 = readmatrix('20.9.DAT'); % Intento 2 Marcos

```

```

p4 = P4(:,1:1);
P4 = P4(:,2:6);
P5 = readmatrix('22.1.DAT'); % Intento 1 Maria
p5 = P5(:,1:1);
P5 = P5(:,2:6);
P6 = readmatrix('18.4.DAT'); % Intento 2 Maria
p6 = P6(:,1:1);
P6 = P6(:,2:6);
P7 = readmatrix('18.1.DAT'); % Intento 1 Pilar
p7 = P7(:,1:1);
P7 = P7(:,2:6);
P8 = readmatrix('19.6.DAT'); % Intento 2 Pilar
p8 = P8(:,1:1);
P8 = P8(:,2:6);
P9 = readmatrix('12.4.DAT'); % Intento 1 Andrea
p9 = P9(:,1:1);
P9 = P9(:,2:6);
P10 = readmatrix('11.8.DAT'); % Intento 2 Andrea
p10 = P10(:,1:1);
P10 = P10(:,2:6);
P11 = readmatrix('14.DAT'); % Intento 1 Paco
p11 = P11(:,1:1);
P11 = P11(:,2:6);
P12 = readmatrix('36.6.DAT'); % Intento 2 Paco
p12 = P12(:,1:1);
P12 = P12(:,2:6);
P13 = readmatrix('10.1.DAT'); % Intento 1 Dani
p13 = P13(:,1:1);
P13 = P13(:,2:6);
P14 = readmatrix('11.2.DAT'); % Intento 2 Dani
p14 = P14(:,1:1);
P14 = P14(:,2:6);
P15 = readmatrix('11.8.DAT'); % Intento 1 Juan
p15 = P15(:,1:1);
P15 = P15(:,2:6);
P16 = readmatrix('15.4.DAT'); % Intento 2 Juan
p16 = P16(:,1:1);
P16 = P16(:,2:6);

%Valores fijos
V=5;
R=270000;
R2=470000;
R3=456852.4685; %Paralelo R2 y Rin

```

%Se almacenan los valores del dinamometro

m1=33.3;

m2=38.2;

```

m3=19.8;
m4=20.9;
m5=22.1;
m6=18.4;
m7=18.1;
m8=19.6;
m9=12.4;
m10=11.8;
m11=14;
m12=36.6;
m13=10.1;
m14=11.2;
m15=11.8;
m16=15.4;

```

```

%Se obtienen las resistencias internas
Medias=mean(VR,1);
MediasOneResistencia=Medias(1:4);
MediasTwoResistencia=Medias(5:5);
Rin1=MediasOneResistencia./((5-MediasOneResistencia)/R);
Rin2=MediasTwoResistencia/(((5-MediasTwoResistencia)/R)-(MediasTwoResistencia/R2));
Rin=[Rin1 Rin2];

```

```

%Se obtienen los valores de Rx
rx1=P1(:,1:4)./(((V-P1(:,1:4))./R)-(P1(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry1=P1(:,5:5)./(((V-P1(:,5:5))./R)-(P1(:,5:5)./R3));
Rx1 = horzcat(rx1,ry1);
rx2=P2(:,1:4)./(((V-P2(:,1:4))./R)-(P2(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry2=P2(:,5:5)./(((V-P2(:,5:5))./R)-(P2(:,5:5)./R3));
Rx2 = horzcat(rx2,ry2);
rx3=P3(:,1:4)./(((V-P3(:,1:4))./R)-(P3(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry3=P3(:,5:5)./(((V-P3(:,5:5))./R)-(P3(:,5:5)./R3));
Rx3 = horzcat(rx3,ry3);
rx4=P4(:,1:4)./(((V-P4(:,1:4))./R)-(P4(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry4=P4(:,5:5)./(((V-P4(:,5:5))./R)-(P4(:,5:5)./R3));
Rx4 = horzcat(rx4,ry4);
rx5=P5(:,1:4)./(((V-P5(:,1:4))./R)-(P5(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry5=P5(:,5:5)./(((V-P5(:,5:5))./R)-(P5(:,5:5)./R3));
Rx5 = horzcat(rx5,ry5);
rx6=P6(:,1:4)./(((V-P6(:,1:4))./R)-(P6(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry6=P6(:,5:5)./(((V-P6(:,5:5))./R)-(P6(:,5:5)./R3));
Rx6 = horzcat(rx6,ry6);
rx7=P7(:,1:4)./(((V-P7(:,1:4))./R)-(P7(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry7=P7(:,5:5)./(((V-P7(:,5:5))./R)-(P7(:,5:5)./R3));
Rx7 = horzcat(rx7,ry7);
rx8=P8(:,1:4)./(((V-P8(:,1:4))./R)-(P8(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry8=P8(:,5:5)./(((V-P8(:,5:5))./R)-(P8(:,5:5)./R3));
Rx8 = horzcat(rx8,ry8);

```

```

rx9=P9(:,1:4)./(((V-P9(:,1:4))./R)-(P9(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry9=P9(:,5:5)./(((V-P9(:,5:5))./R)-(P9(:,5:5)./R3));
Rx9 = horzcat(rx9,ry9);
rx10=P10(:,1:4)./(((V-P10(:,1:4))./R)-(P10(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry10=P10(:,5:5)./(((V-P10(:,5:5))./R)-(P10(:,5:5)./R3));
Rx10 = horzcat(rx10,ry10);
rx11=P11(:,1:4)./(((V-P11(:,1:4))./R)-(P11(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry11=P11(:,5:5)./(((V-P11(:,5:5))./R)-(P11(:,5:5)./R3));
Rx11 = horzcat(rx11,ry11);
rx12=P12(:,1:4)./(((V-P12(:,1:4))./R)-(P12(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry12=P12(:,5:5)./(((V-P12(:,5:5))./R)-(P12(:,5:5)./R3));
Rx12 = horzcat(rx12,ry12);
rx13=P13(:,1:4)./(((V-P13(:,1:4))./R)-(P13(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry13=P13(:,5:5)./(((V-P13(:,5:5))./R)-(P13(:,5:5)./R3));
Rx13 = horzcat(rx13,ry13);
rx14=P14(:,1:4)./(((V-P14(:,1:4))./R)-(P14(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry14=P14(:,5:5)./(((V-P14(:,5:5))./R)-(P14(:,5:5)./R3));
Rx14 = horzcat(rx14,ry14);
rx15=P15(:,1:4)./(((V-P15(:,1:4))./R)-(P15(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry15=P15(:,5:5)./(((V-P15(:,5:5))./R)-(P15(:,5:5)./R3));
Rx15 = horzcat(rx15,ry15);
rx16=P16(:,1:4)./(((V-P16(:,1:4))./R)-(P16(:,1:4)./Rin(:,1:4)));
ry16=P16(:,5:5)./(((V-P16(:,5:5))./R)-(P16(:,5:5)./R3));
Rx16 = horzcat(rx16,ry16);

```

%Se obtienen las conductancias

```

g1 = 1./Rx1;
g2 = 1./Rx2;
g3 = 1./Rx3;
g4 = 1./Rx4;
g5 = 1./Rx5;
g6 = 1./Rx6;
g7 = 1./Rx7;
g8 = 1./Rx8;
g9 = 1./Rx9;
g10 = 1./Rx10;
g11 = 1./Rx11;
g12 = 1./Rx12;
g13 = 1./Rx13;
g14 = 1./Rx14;
g15 = 1./Rx15;
g16 = 1./Rx16;

```

%Se ordenan los valores mas altos

```

g1_sorted = sort(g1,1);
g2_sorted = sort(g2,1);
g3_sorted = sort(g3,1);
g4_sorted = sort(g4,1);

```

```

g5_sorted = sort(g5,1);
g6_sorted = sort(g6,1);
g7_sorted = sort(g7,1);
g8_sorted = sort(g8,1);
g9_sorted = sort(g9,1);
g10_sorted = sort(g10,1);
g11_sorted = sort(g11,1);
g12_sorted = sort(g12,1);
g13_sorted = sort(g13,1);
g14_sorted = sort(g14,1);
g15_sorted = sort(g15,1);
g16_sorted = sort(g16,1);

%Se obtienen las medias
x_pca1 = mean(g1_sorted(end-100:end,:));
x_pca2 = mean(g2_sorted(end-100:end,:));
x_pca3 = mean(g3_sorted(end-100:end,:));
x_pca4 = mean(g4_sorted(end-100:end,:));
x_pca5 = mean(g5_sorted(end-100:end,:));
x_pca6 = mean(g6_sorted(end-100:end,:));
x_pca7 = mean(g7_sorted(end-100:end,:));
x_pca8 = mean(g8_sorted(end-100:end,:));
x_pca9 = mean(g9_sorted(end-100:end,:));
x_pca10 = mean(g10_sorted(end-100:end,:));
x_pca11 = mean(g11_sorted(end-100:end,:));
x_pca12 = mean(g12_sorted(end-100:end,:));
x_pca13 = mean(g13_sorted(end-100:end,:));
x_pca14 = mean(g14_sorted(end-100:end,:));
x_pca15 = mean(g15_sorted(end-100:end,:));
x_pca16 = mean(g16_sorted(end-100:end,:));

%Se crea una matriz de con todas las medias y se hace el pca de esa matriz
x_pca
=[x_pca1;x_pca2;x_pca3;x_pca4;x_pca5;x_pca6;x_pca7;x_pca8;x_pca9;x_pca10;x_pca11;x_pca12;x_pca13;x_pca14;x_pca15;x_pca16];
[coeff,score,latent] = pca(x_pca);
EjeX=transpose(score(:,1));

Relacion =[EjeX ; m1 m2 m3 m4 m5 m6 m7 m8 m9 m10 m11 m12 m13 m14 m15 m16];

```

```

%Grafica
Grafico=plot(EjeX,Relacion(2,:))

%Se obtienen la relación
p = polyfit(Relacion(1,:),Relacion(2,:),1)
plot(Relacion(1,:),Relacion(2,:),'o')
grid on
s = sprintf('y = (%.1f) x + (%.1f)',p(1),p(2))

```

text(2,400,s)

```
%Valores residules
x= Relacion(1,:);
y= Relacion(2,:);
yfit = polyval(p,x);
yresid = y - yfit;
SSresid = sum(yresid.^2)
SStotal = (length(y)-1) * var(y);
rsq = 1 - SSresid/SStotal
rsq_adj = 1 - SSresid/SStotal * (length(y)-1)/(length(y)-length(p))
```