

Sistema de lectura de puntos de presión para adecuación de prótesis de pierna

Sara Valentina Cardona Mejía

Sensores y Actuadores

*Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
scardoname@unal.edu.co*

Carlos Andrés Caucalí Chaparro

Sensores y Actuadores

*Departamento de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
ccaucali@unal.edu.co*

I. RESUMEN

En la calibración de sensores es necesario tener en cuenta no sólo el propósito de los mismos sino también ciertas consideraciones como las condiciones de operación y el rango de medición que ofrecen éstos, además de herramientas, según la necesidad, que permitan obtener la información requerida para efectuar la respectiva calibración de forma eficiente. En este proyecto se lleva a cabo la calibración de cuatro (4) sensores de presión FSR 402 en cuatro (4) puntos de presión de un modelo físico de un muñón de pierna, mediante la obtención de los datos que estos sensores entregan frente a la deformación que presentan bajo distintos pesos conocidos. De igual forma, se desarrolla el diseño de una PCB para la implementación del circuito de funcionamiento de los sensores y, así mismo, se integra esta información en una interfaz que muestra el modelo 3D del muñón junto con los puntos de presión.

Index Terms—Sensor de presión FSR 402, calibración, PCB, modelo 3D, muñón, interfaz.

II. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los sensores se emplean en un amplio y diverso campo de aplicaciones, ya que son dispositivos que detectan y responden a un cambio en su entorno físico. Por lo tanto, debido a las muchas y variadas funcionalidades que ofrecen, son muy utilizados en todo tipo de productos, pues permiten obtener información útil directa o indirectamente acerca del entorno según sea su propósito. Por tal razón, se hace importante la selección idónea de éstos, teniendo en cuenta no sólo la información que se quiere capturar mediante su uso sino también las características de comportamiento que ofrecen, es decir, las características estáticas y dinámicas, las cuales pueden afectar mínima o notoriamente las mediciones del sensor. Es por eso que, se debe llevar a cabo un adecuado proceso de calibración que incluya su respectiva documentación para dar cuenta de la desviación y de la incertidumbre del dispositivo, con la intención de obtener mediciones lo más posiblemente fiables.

En este trabajo se realiza la calibración de cuatro sensores de presión FSR 402 (Force Sensing Resistor) que varían su valor resistivo con base en la presión ejercida sobre la zona de

actuación, de forma que a mayor presión menor resistencia. Así mismo, a mayor presión mayor voltaje de salida, es decir, que al energizar un sensor de presión y ejercer una fuerza en su área de detección, el voltaje entre sus terminales cambia. Dichos sensores se calibraron en cuatro puntos de presión de un modelo físico de un muñón de pierna, con la intención de caracterizar la presión que ejerce una prótesis de pierna sobre el muñón.

Adicionalmente, se enviaron los datos obtenidos de la medición de los sensores a una interfaz gráfica computacional que permitió visualizar el comportamiento de los puntos de presión del modelo físico en un modelo 3D del muñón. Esto se logró mediante una comunicación en tiempo real, a través de Bluetooth, entre el modelo físico y el modelo computacional de la interfaz.

III. PLANTEAMIENTO

La amputación de extremidades es una situación que afecta la calidad de vida de personas en todo el mundo, considerando además que una de las soluciones que se ha venido desarrollando es el uso de prótesis. Sin embargo, en muchas ocasiones las personas experimentan dolor e incomodidad al utilizarlas, lo que puede llegar a generarles lesiones cutáneas e infecciones que afectan negativamente su bienestar.

Es por esta razón que desde la colaboración conjunta entre el grupo de investigación Protos UN y estudiantes de la asignatura Sensores y Actuadores de la Universidad Nacional de Colombia, se propone analizar las fuerzas y presiones que ejerce el zócalo de una prótesis sobre un muñón residual de pierna, por medio de un sistema que permita obtener información relevante con la intención de progresar significativamente en el diseño mecánico de la prótesis y así lograr reducir la incomodidad o el dolor que experimenta la persona, mejorando positivamente su experiencia usando una prótesis ya que esto repercute directamente en su salud y bienestar.

Lo anterior se pretende llevar a cabo mediante la obtención de datos que den cuenta de las fuerzas ejercidas por la prótesis sobre el muñón, para evaluar la distribución de las fuerzas y localizar puntos en los que la presión sea muy grande, lo que conduce a que la persona no soporte el dolor de usar la prótesis.

IV. TRABAJO PREVIO

Como se mencionó anteriormente, bajo la colaboración de estudiantes y un grupo de investigación de la Universidad Nacional de Colombia, se ha venido desarrollando un trabajo de investigación que pretende aportar una solución a la problemática expuesta previamente. Por lo tanto, se diseñó e implementó una prótesis y el modelo físico de un muñón residual de pierna. Este último cuenta con 4 puntos de presión para hacer el análisis de las fuerzas que ejerce sobre sí la prótesis. Igualmente, se desarrolló un prototipo de sistema de monitoreo de fuerzas portable utilizando sensores de fuerza resistivos en los puntos de presión del muñón que cuenta, además, con una interfaz de usuario que muestra en tiempo real el modelo 3D del muñón junto con las fuerzas aplicadas sobre éste a través de los sensores mediante un mapa de calor.

V. MATERIALES

La mayoría de los implementos y componentes utilizados en este trabajo fueron suministrados por el grupo de investigación Protos UN. No obstante, se adquirieron comercialmente algunos otros componentes o materiales necesarios para continuar con el proyecto, entre los cuales se encuentran:

- Modelo 3D físico de un muñón residual de pierna.
- Protoboard.
- Sensores FSR 402.
- Multiplexor CD74HC4067.
- Arduino nano.
- Módulo Bluetooth HC-05.
- Amplificador operacional LM358.
- Condensador 1 μ F.
- Trimmer de 2 K Ω .
- Resistencias de 1.2 K Ω , 51 K Ω y 470 Ω .
- Diodo zener 1N4733.
- Interruptor de 3 pines.
- Diodo led.
- PCB.
- Adaptador de 12 V DC.

VI. PROCEDIMIENTO

VI-A. PCB

Inicialmente se diseñó una PCB en el software KiCad, teniendo en cuenta el montaje en protoboard llevado a cabo como parte del prototipo mencionado en el trabajo previo (véase figura 2). Para eso se tuvieron en cuenta tanto las conexiones de los componentes electrónicos como su distribución y



Figura 1. Modelo 3D físico del muñón de pierna.

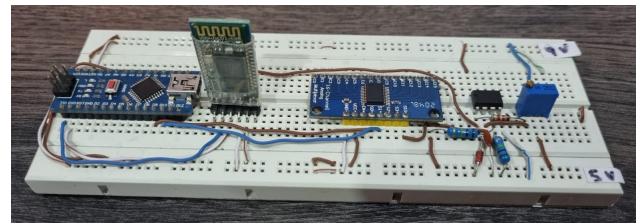


Figura 2. Circuito en protoboard del prototipo.

tamaño. Así se obtuvo primeramente el diagrama esquemático del circuito (véase figura 3).

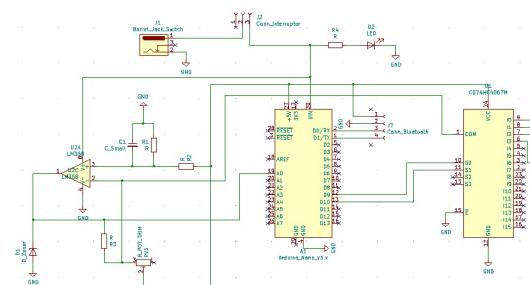


Figura 3. Diagrama esquemático del circuito de medición.

Seguidamente, se procedió a elegir las huellas de cada componente, es decir, el tamaño real que cada uno ocuparía en la PCB física. En este caso, la mayoría de huellas se obtuvieron del software, sin embargo, la huella del multiplexor al tener una configuración particular se debió modificar para que coincidiera con el componente físico. Una vez seleccionadas todas las huellas de los componentes se continuó con el diseño los paths de la PCB, es decir, los caminos que conectarían los componentes, para lo cual se tuvo en cuenta el tamaño real final de la PCB. Cabe mencionar que por mayor facilidad se decidió hacer la PCB en una sola capa (véase figura 4). Cuando se hubo completado el proceso de diseño de la PCB se obtuvieron los respectivos archivos en formato Gerber para su impresión.

VI-B. Calibración

Energizando el circuito de medición es posible obtener los datos a través de dos métodos:

- Conexión USB a un puerto serial

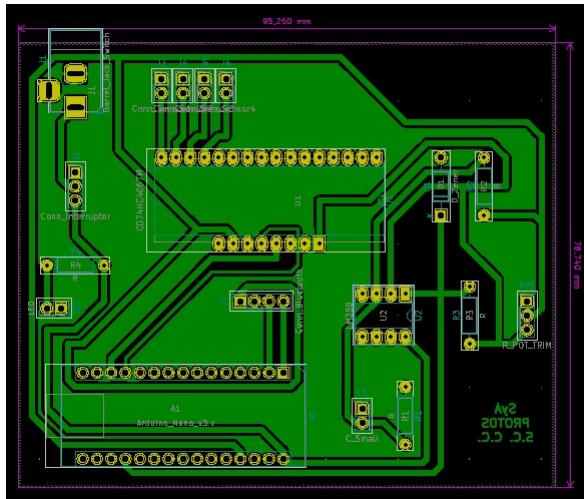


Figura 4. Diseño de la PCB en el software KiCad.

■ Conexión Bluetooth a una terminal

La obtención de datos inicial se realizó con la salida en bits del conversor ADC del arduino nano. Este conversor es de 8 bits, por lo que la salida en valor entero esta entre el rango de 0 a 1023.

Primero se ajustó el valor del trimmer para obtener el mayor rango de medida posible, esto se hace aumentando el voltaje que entra en el circuito diferenciador cuando el sensor no posee ninguna carga. Para este procedimiento se incluyó un divisor de voltaje con un trimmer y un resistencia en la salida inversora del amplificador.

Acto seguido al ajuste del rango de medida, se ubicó el sensor en el centro de la cavidad donde se ubica una tapa de plástico que simula las protuberancias, tal como se observa en la Figura 5.

La tapa se recubrió con cinta doble-faz para que quedara un



Figura 5. Ubicación del sensor en el centro de la cavidad.

material deformable entre el sensor y la tapa plástica. Esto es necesario porque al colocar el sensor entre dos superficies lisas y rígidas no se registra ningún valor al ejercer presión. Otros materiales que transmiten bien la presión son el icopor (poliestireno expandido) y el caucho, pero por disponibilidad se usó la espuma de la cinta doblefaz.

Con la tapa colocada sobre el sensor (con el material deformable entre el sensor y la superficie de contacto) se procedió a conectar el sensor al circuito para aplicar cargas sobre las tapas. La carga debe ser distribuida de forma uniforme sobre las tapas y siempre en el mismo punto, estos sensores son sensibles a la distribución de la fuerza. En este caso se usó una bolsa liviana con una agarradera rígida y guías en donde se colocaban cargas conocidas entre 0.2 N (20 g fuerza) y 20 N (2039 g fuerza), que es el rango del sensor. El montaje mencionado se muestra en la Figura 6.

Para que las mediciones sean repetibles y la distribución de la

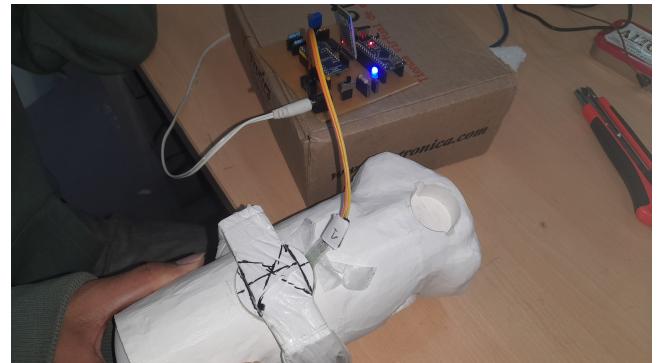


Figura 6. Aplicación de carga sobre los sensores.

carga no cambie se recomienda fijar la pierna a una superficie rígida, ubicar la carga siempre en el mismo punto, y evitar que la pierna rote. Un ejemplo de esto se encuentra en la Figura 7.

Con el montaje para la medición listo se tomaron varias



Figura 7. Fijación de la pierna durante la medición.

mediciones de las cargas conocidas de forma aleatoria (al menos cinco). También se tomaron mediciones sin carga aplicada y con un valor muy cercano a la carga máxima. Con los valores de las cargas dentro del rango se realizó una regresión lineal por mínimos cuadrados para aproximar el comportamiento de los sensores con una recta. Con los valores en los extremos se puede detectar cuándo hay carga sobre el sensor y cuándo se está cerca del límite o sobrecargado.

Con la recta que aproxima el valor real se pueden comparar las mediciones tomadas. Con tal información se tomaron varias

mediciones con las cargas ahora agregando cargas, en subida dentro del rango, y restando cargas, en bajada dentro del rango. Usando estos valores y comparándolos con la salida ideal esperada (proveniente de la recta) se obtuvieron las características de exactitud, linealidad e histéresis provenientes del circuito de medición.

Con la información proveniente de la recta también es posible estimar la entrada con base en la salida obtenida, con esta información se puede presentar la carga aplicada. La calidad de esta aproximación está ligada al valor R^2 obtenido en la regresión junto con las demás características del circuito de medición.

VI-C. Interfaz

Una vez hecha la calibración de los sensores, se agregó esta información en los códigos redactados como parte del prototipo mencionado en el trabajo previo.

```
void funcionamiento(){ //Funcion para funcionamiento normal del circuito
    for (byte i = 0; i < 4; i++){ //Ciclo para leer los 4 sensores de presión
        out = out + "Sensor" + String(i+1) + ":" ; //Guarda que sensor actualmente se está leyendo
        SetMUXChannel(i); //Canal de lectura
        lectura = analogRead(muxSig); //Lectura del valor ingresado por el puerto analógico
        valor = (lectura - 152) / (1.0 / 1023.0) * 10.0;
        valor = min(max(valor, 0.0), 10.0);
        out = out + String(valor) + " "; //Agrega a la salida el valor leído por el ADC del sensor actual
        delay(100); //Espera para conversión del ADC
    }
    Serial.println(out); //Salida con el valor de los 4 sensores enviada por el serial
    out = ""; //Se limpia la variable para una salida nueva
    delay(600); //Espera para siguiente salida
}

void calibracion(int canal){ //Funcion para funcionamiento continuo de un canal para calibrar sensores con el circuito
    SetMUXChannel(canal); //Canal seleccionado para el MUX
    lectura = analogRead(muxSig); //Lectura del puerto analógico
    valor = lectura; //Lectura guardada como valor actual
    out = "Sensor " + String(canal+1) + ":" + String(valor); //Guarda que sensor actualmente se está leyendo
    delay(100); //Espera para conversión del ADC
    Serial.println(out); //Salida con el valor de los 4 sensores enviada por el serial
    out = ""; //Se limpia la variable para una salida nueva
    delay(900); //Espera para siguiente salida
}
```

Figura 8. Código en Arduino para obtener y transmitir la información de medida por los sensores.

Primeramente, se probó la conexión y comunicación del circuito de medición, a través de Bluetooth, con el computador. Para esto se implementó un código en Arduino en el circuito de medición que permitiera obtener y transmitir la información sensada por los sensores de fuerza (véase figura 8). Luego, se leyeron los datos transmitidos desde el circuito de medición en el computador haciendo uso del software Bluetooth Serial Terminal (véase figura 9), para lo cual el computador debió conectarse vía Bluetooth con el módulo Bluetooth del circuito de medición.

Después se comprobó que el contenido del archivo del modelo 3D del muñón residual coincidiera con el modelo físico, para esto se añadió dicho archivo a los códigos redactados como parte del prototipo mencionado en el trabajo previo. Asimismo se revisó que los puntos de presión efectivamente indicaran la presión ejercida sobre cada uno, de forma que esto se pudiera visualizar utilizando mapas de calor (véase figura 10).

Por otra parte, se reubicaron algunos archivos y se corrigieron algunas líneas de código en Python de la interfaz de usuario en el programa obtenido como parte del prototipo mencionado en el trabajo previo (véase figura 11).

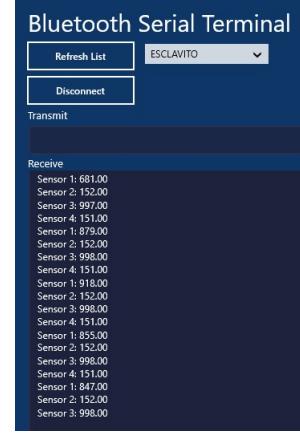


Figura 9. Datos recibidos por medio de Bluetooth en el computador.



Figura 10. Modelo 3D digital del muñón indicando la presión en los puntos de presión por medio de mapas de calor.

VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

VII-A. PCB

La impresión de la PCB se realizó de manera comercial en el establecimiento Circuitos Fenix debido a que la universidad no prestó este servicio durante el semestre.

Tan pronto se tuvo la PCB física se procedió a soldar. Cabe resaltar que para mayor facilidad y precaución se decidió soldar regletas a la PCB en vez de los componentes directamente. Una vez terminado el proceso de soldadura se evidenció que los paths de la PCB no coincidían correctamente con la ubicación física de los pines del multiplexor (véase figura 12), lo que generaría cortocircuitos e incluso daño de los componentes si se energizaba la PCB.

Por lo anteriormente descrito, se retomó el proceso de diseño de la PCB en el software KiCad, donde se corrigió la huella del multiplexor, lo cual generó que se debieran volver a diseñar todos los paths de la PCB y, como en el caso anterior, para mayor facilidad se decidió hacer la PCB en una sola capa. Después de finalizado el proceso de diseño, se verificó que esta vez estuviera bien hecho y luego se obtuvieron los respectivos archivos Gerber para la impresión de la PCB. Nuevamente, la impresión se llevó a cabo de manera comercial en Circuitos Fenix y al tener la nueva PCB se procedió a soldar las regletas

```

1 #!/usr/bin/python
2 import sys, time,threading
3 from PyQt5 import QtCore,QtBluetooth
4 from Map import MapHeat
5
6 from PyQt5.QtWidgets import QApplication, QMainWindow, QDialog, QVBoxLayout
7 from PyQt5 import QtWidgets
8 from PyQt5.QtCore import pyqtSignal
9 from PyQt5.uic import loadUi
10 from pyqtstat import QInteractor, BackgroundPlotter
11
12 class Mainwindow(QMainWindow):
13     def __init__(self):
14         super(Mainwindow, self).__init__()
15         loadUi("diseno.ui", self)
16         self.update = True
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259

```

Figura 11. Código en Python del programa de la interfaz de usuario.

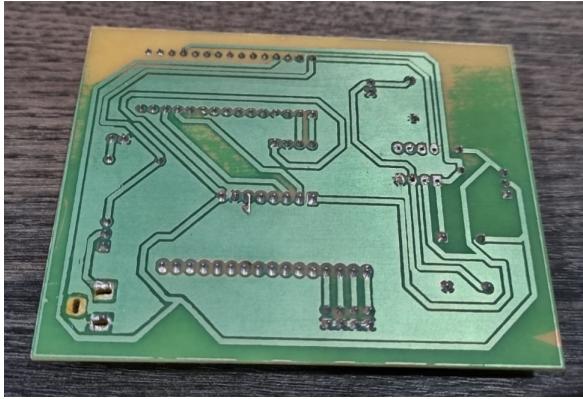


Figura 12. Primera PCB impresa.

y a ubicar los componentes (véase figura 13). Cabe aclarar que por disponibilidad de componentes, algunos se tuvieron que desoldar de la primer PCB impresa.

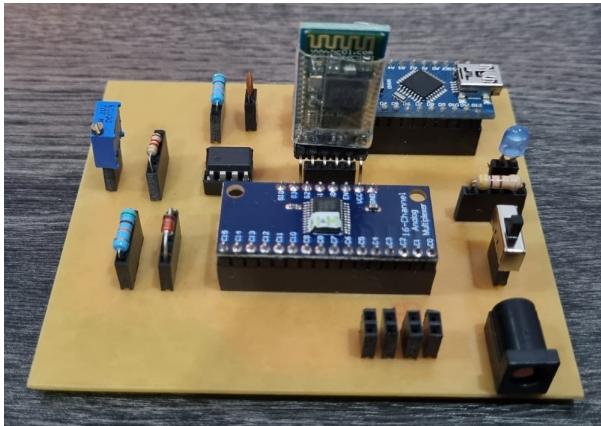


Figura 13. Segunda PCB impresa con las regletas soldadas y los componentes ubicados.

VII-B. Calibración

Primero se cambio el valor del potenciómetro para obtener un rango de operación adecuado, en este caso se busco ampliar

el rango en la salida. Al final la resistencia obtenida fue de $1k\Omega$ para un rango de salida entre 152 y 1023 (valores del conversor ADC en números enteros), lo que da como resultado un FSO de 871 en la salida.

Para cada sensor (ubicado en una posición diferente de la pierna) se tomaron mediciones con las siguientes cargas conocidas:

- 0 g fuerza.
- 500 g fuerza.
- 700 g fuerza.
- 910 g fuerza.
- 1160 g fuerza.
- 1410 g fuerza.
- 2010 g fuerza.

Para todos los sensores se realizaron múltiples tomas de datos con las cargas conocidas de forma aleatoria hasta completar cinco muestras por cada valor de carga. Con estos datos se hizo una regresión lineal, junto con análisis de exactitud e histéresis para cada sensor. Los sensores se distribuyen en el modelo impreso en 3D como se muestra a continuación en la Figura 14.

Debido a la geometría y la distribución expuestas en la Figura

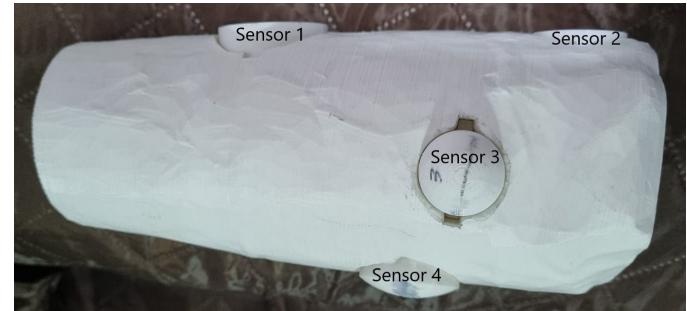


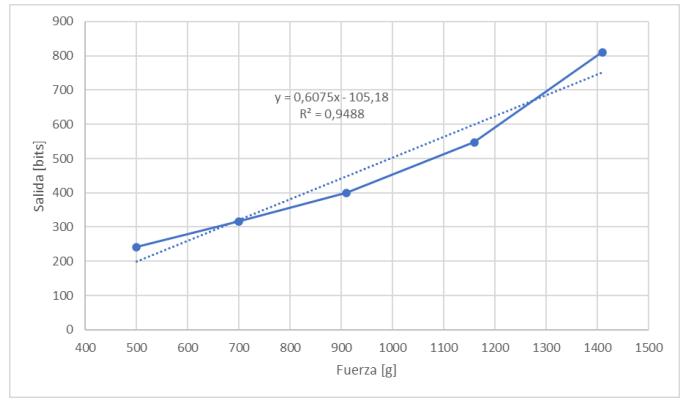
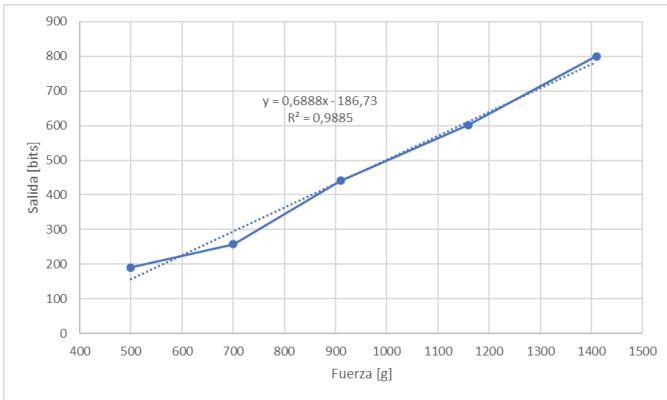
Figura 14. Distribución sensores modelo impreso.

14 se obtuvo una curva de calibración diferente para cada sensor. Cabe señalar que por la geometría del modelo impreso fue necesario fijar la pierna a una superficie rígida y evitar que rotara para mantener siempre la misma distribución de esfuerzos. Los movimientos abruptos del modelo, su dificultad para fijarlo y la geometría de las tapas debajo de las que se posicionan los sensores dificultó la toma de datos, lo que obligó a reiniciar varias pruebas y aumento el tiempo total de la calibración.

VII-B1. Sensor 1: El promedio de las mediciones de este sensor, así como la recta que mejor lo describe se presenta en la Figura 15.

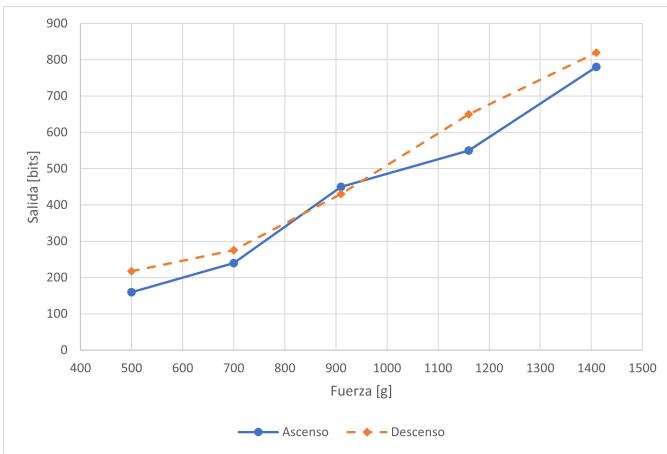
Como se observa en el valor R^2 de la gráfica de la Figura 15 la recta obtenida es una buena aproximación del comportamiento entre la entrada y la salida del circuito de medición.

Usando la recta obtenida como referencia del valor ideal del sensor, se procedieron con las mediciones en ascenso y descenso para calcular linealidad, exactitud e histéresis del circuito de medición. Los promedios de estas mediciones se



presentan en la Figura 16.

Después de procesar los datos obtenidos se obtienen las



siguientes características para el sensor, mostradas en la Tabla I.

En la Tabla I %R hace referencia al error relativo. Respecto a la histéresis obtenida, esta es mayor a la determinada por el fabricante, que es del 10 %.

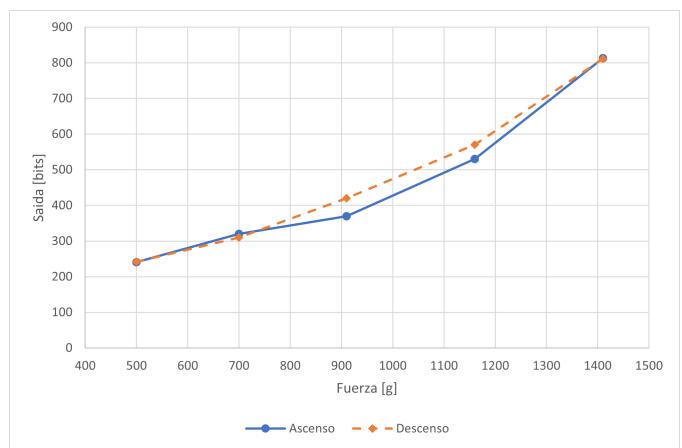
VII-B2. Sensor 2: El promedio de las mediciones de este sensor, así como la recta que mejor lo describe se presenta en la Figura 17.

Como se observa en el valor R^2 de la gráfica de la Figura 17 la recta obtenida es una buena aproximación del

comportamiento entre la entrada y la salida del circuito de medición, pero la aproximación es peor en comparación a la obtenida en el primer sensor.

Usando la recta obtenida como referencia del valor ideal del sensor, se procedieron con las mediciones en ascenso y descenso para calcular linealidad, exactitud e histéresis del circuito de medición. Los promedios de estas mediciones se presentan en la Figura 18.

Después de procesar los datos obtenidos se obtienen las



siguientes características para el sensor, mostradas en la Tabla II.

En la Tabla II %R hace referencia al error relativo. Respecto a la histéresis obtenida, esta es menor a la determinada por el fabricante, que es del 10 %.

VII-B3. Sensor 3: El promedio de las mediciones de este sensor se presenta en la Figura 19.

Como se observa en la Figura 19 este sensor presenta valores

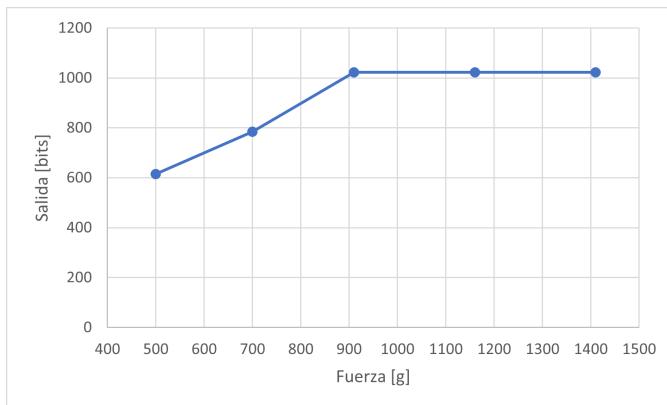


Figura 19. Mediciones para el tercer sensor.

muy altos en las primeras cargas en comparación con los sensores anteriores y alcance el límite superior de la salida en la tercera medición.

Revisando las recomendaciones del fabricante se observa que el área de la cavidad 3 es demasiado pequeña y hace que la tira de conexión del sensor se doble muy cerca del área de actuación. Esto hace que se genere una precarga que aumenta la salida real del sensor. Esta cavidad se debe rediseñar o se debe usar un sensor con un área menor.

VII-B4. Sensor 4: El promedio de las mediciones de este sensor, así como la recta que mejor lo describe se presenta en la Figura 20.

Como se observa en el valor R^2 de la gráfica de la

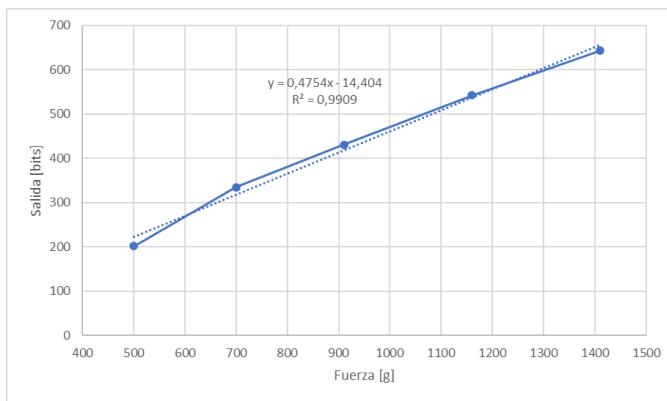


Figura 20. Mediciones y recta interpolada cuarto sensor.

Figura 20 la recta obtenida es una buena aproximación del comportamiento entre la entrada y la salida del circuito de medición. Esta aproximación es mejor en comparación a la obtenida en el primer sensor y en el segundo sensor, aunque los parámetros difieren bastante.

Usando la recta obtenida como referencia del valor ideal del sensor, se procedieron con las mediciones en ascenso y

Tabla III
CARACTERÍSTICAS DE CALIBRACIÓN DEL CUARTO SENSOR.

| EXACTITUD | | |
|-------------------|-------------------|-------|
| Error máximo | %FSO | %R |
| 739 | 4,5 % | 9,5 % |
| HISTÉRESIS | LINEALIDAD | |
| %FSO | ASC | DES |
| 6,2 % | 2,4 % | 4,5 % |

descenso para calcular linealidad, exactitud e histéresis del circuito de medición. Los promedios de estas mediciones se presentan en la Figura 21.

Después de procesar los datos obtenidos se obtienen las

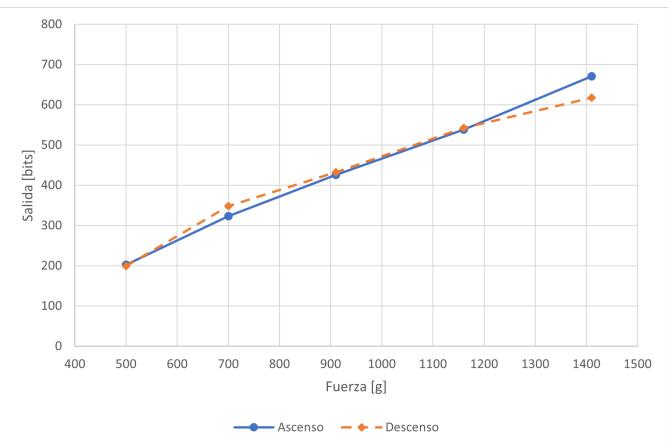


Figura 21. Mediciones en ascenso y descenso del cuarto sensor.

siguientes características para el sensor, mostradas en la Tabla III.

En la Tabla III %R hace referencia al error relativo. Respecto a la histéresis obtenida, esta es menor a la determinada por el fabricante, que es del 10 %.

VII-C. Interfaz

Tan pronto se revisaron y corrigieron los archivos y códigos del programa de la interfaz de usuario, se procedió a correr el código principal para visualizar la interfaz y comprobar su correcto funcionamiento.

Lo primero que se mostró al correr este código, fue una interfaz de usuario para hacer la conexión con el circuito de medición a través de Bluetooth (véase figura 22).



Figura 22. Interfaz de usuario para iniciar la comunicación del circuito con el computador vía Bluetooth.

Sin embargo, cuando se intentaba iniciar la comunicación entre el circuito de medición y el computador a través de Bluetooth para visualizar, en tiempo real, la información obtenida por los sensores en el modelo 3D digital del muñón, se presentaba un error de conexión (véase figura 23).



Figura 23. Error de conexión en la interfaz de usuario.

En consecuencia, se revisó el código del programa de la interfaz de usuario que se encargaba de llevar a cabo la conexión vía Bluetooth entre el circuito de medición y el computador, y se pudo evidenciar que el programa de la interfaz de usuario no reconocía el puerto del computador por el cual se estaba llevando a cabo la recepción de los datos del circuito de medición.

Por esta razón, se decidió implementar un circuito en protoboard que mostrara a través de diodos RGB lo que se pretendía mostrar con los mapas de calor en el modelo 3D digital del muñón (véase figura 24). Es decir, que de acuerdo a la presión ejercida, capturada por los sensores, sobre los puntos de presión en el modelo físico del muñón, los puntos de presión del modelo digital del muñón cambiaran de color, representando así la intensidad de la presión que sufriría una persona al usar una prótesis.

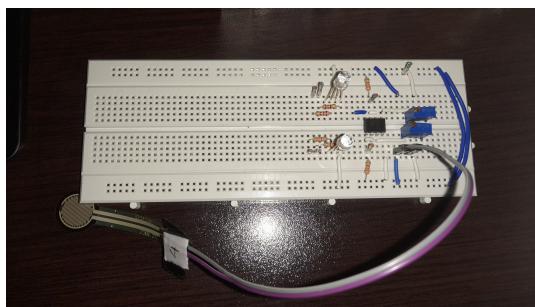


Figura 24. Montaje físico del circuito con diodos RGB.

VIII. COSTOS

La principal inversión del proyecto fue el circuito de medición implementado en una PCB impresa. Los costos a grandes rasgos se presentan en la Tabla IV.

Tabla IV
COSTOS DEL PROYECTO.

| Implemento | Precio (COP) |
|--------------------------|--------------|
| PCB | 50.000 |
| Componentes Electrónicos | 50.000 |
| Cable Arduino | 8.000 |
| Papelería | 5.000 |
| Total | 113.000 |

IX. TRABAJO A FUTURO

- Rediseñar e imprimir la PCB procurando reducir su tamaño y además añadir al circuito de medición más sensores.
- Rediseñar e imprimir el modelo 3D del muñón residual de pierna de forma que se pueda llevar a cabo la calibración de los sensores de forma correcta.
- Revisar la comunicación en tiempo real de los datos obtenidos de los sensores en el circuito de medición con la interfaz de usuario.

X. CONCLUSIONES

- La ingeniería permite abordar diversas problemáticas y plantear o proponer mecanismos eficaces que ayuden a solucionar los problemas en distintas áreas del conocimiento, por medio de la investigación y el trabajo conjunto de los sectores involucrados en lo que se quiere resolver. Así se pudo evidenciar en este trabajo, pues desde la ingeniería se abordó una situación del área de medicina.
- Es de suma importancia estar atento durante el proceso cuando se están diseñando partes de un todo, debido a que si algo sale mal se puede retrasar la entrega del proyecto o reducir el tiempo que se tiene para finalizar el trabajo. También repercute en más gastos económicos y de material, e incluso, causar algún accidente. Todo eso se pudo evidenciar en este trabajo cuando se tuvo que imprimir nuevamente la PCB pues el primer diseño presentaba errores.
- A la hora de calibrar sensores es fundamental conocer su funcionamiento, capacidades y limitaciones, pues así se puede diseñar un procedimiento adecuado para llevar a cabo su calibración, y también verificar que el sensor seleccionado cumpla completamente con los requerimientos de la aplicación. Es importante investigar sobre los sensores y contar con la información suministrada por los fabricantes. Aplicando este conocimiento se puede garantizar un uso adecuado y una correcta implementación de los sensores.

REFERENCIAS

- [1] Y. Alpala, E. Cuadros, J. Daleman, N. Prieto, “Sistema de lectura de puntos de presión para adecuación de prótesis de pierna”, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Informe de proyecto, Sensores y actuadores, 2023.
- [2] S. Cardona, C. Caucalí, “Práctica 2: Amplificadores para características y calibración de sensores”, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Informe de práctica de laboratorio, Sensores y actuadores, 2023.
- [3] J. S. Hernández Reyes, “Calibración de sensores”, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Presentación de clase, Sensores y actuadores, 2023.
- [4] L. M. Méndez Moreno, “Conceptos”, Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Presentación de clase, Sensores y actuadores, 2023.
- [5] Interlink Electronics (2010). FSR 402 Data Sheet (FSR 400 Series round force sensing resistor). [Online]. Available: <https://www.trossenrobotics.com/productdocs/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf>.
- [6] FSRTek. (2023). FA402 Force sensing resistor. [Online]. Available: <https://www.fsrtek.com/standard-sensor/fa402-force-sensing-resistor>.

- [7] Interlink Electronics (s.f.). FSR Force Sensing Resistors (FSR Integration Guide). [Online]. Available: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/3899023/Integration%20Guides/FSR%20Integration%20Guide%20-%20Interlink%20Electronics.pdf>. Consultado: Diciembre 01, 2023.
- [8] Interlink Electronics (s.f.). FSR 400 Series Data Sheet. [Online]. Available: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/3899023/Interlinelectronics%20November2017/Docs/Datasheet_FSR.pdf. Consultado: Diciembre 01, 2023.