

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

1st Juan Sebastian Daleman Martinez

Universidad Nacional de Colombia

Bogota, Colombia

jdaleman@unal.edu.co

2nd Nicolás Prieto

Universidad Nacional de Colombia

Bogota, Colombia

nprietos@unal.edu.co

3rd Yuli Fernanda Alpala

Universidad Nacional de Colombia

Bogota, Colombia

yalpalac@unal.edu.co

4th Eduardo Cuadros Montealegre

Universidad Nacional de Colombia

Bogota, Colombia

ecuadros@unal.edu.co

I. RESUMEN

En este trabajo, se presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo de fuerzas portátil que utiliza sensores de fuerza resistivos (FSR). El sistema incluye una interfaz de usuario que muestra en tiempo real un modelo 3D del muñón, donde se representan las fuerzas aplicadas mediante un mapa de calor. Este enfoque permite obtener información precisa y detallada sobre las fuerzas ejercidas en el muñón durante el uso de prótesis. Al visualizar las fuerzas en el modelo 3D, se pueden identificar áreas de alta presión y evaluar como varían las fuerzas en diferentes situaciones. Esta información es esencial para mejorar el diseño mecánico de la prótesis y lograr una distribución más equilibrada de las fuerzas, reduciendo así los problemas de incomodidad y las posibles lesiones cutáneas. **Index Terms**—FSR, Prótesis, Zócalo, Muñón, Interfaz, Sensores, Fuerzas.

II. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las amputaciones de extremidades son una realidad en muchas personas de todo el mundo, estas representan un desafío significativo para la calidad de vida de las personas que lo experimentan. A menudo se requiere el uso de las prótesis para proporcionar una solución importante para mejorar la funcionalidad y el bienestar de los individuos afectados. [1] Sin embargo, aunque se han proporcionado avances en la tecnología de prótesis, muchos usuarios experimentan problemas de incomodidad y dolor debido a la mala distribución de fuerzas en el zócalo de la prótesis. Debido a esto se presentan diversos inconvenientes, como lesiones cutáneas, infecciones y otras complicaciones que afectan negativamente la experiencia de los usuarios. [1]

Para abordar esta problemática, es necesario desarrollar un monitoreo de fuerzas entre el zócalo de la prótesis y el muñón residual. Este sistema permitiría extraer información valiosa para mejorar el diseño mecánico de la prótesis y lograr un ajuste adecuado. Si se obtienen datos precisos sobre las fuerzas ejercidas en el muñón durante el uso de la prótesis, se puede evaluar de manera objetiva la distribución de fuerzas y detectar posibles puntos de presión excesiva o áreas problemáticas. Lo anterior es de gran importancia para

prevenir lesiones cutáneas, minimizar el dolor y mejorar la comodidad general de los usuarios de prótesis.

La importancia de mejorar el ajuste del encaje protésico debe ser de gran importancia, pues esta tiene un impacto en la calidad de vida, la salud y el bienestar de las personas con amputaciones. Los encajes mal ajustados limitan la capacidad funcional y la participación en actividades diarias. Por ello, es crucial que se dediquen esfuerzos significativos para desarrollar enfoques innovadores que aborden este desafío clínico y mejoren la calidad de vida de las personas con amputaciones. Así pues, en este trabajo se presenta un prototipo de sistema de monitoreo de fuerzas portátil, utilizando sensores de fuerza resistivos, este cuenta con interfaz de usuario que muestra en tiempo real, un modelo 3D del muñón, las fuerzas aplicadas sobre éste mediante un mapa de calor, permitiendo así un análisis en periodos de tiempos largos, el prototipo será aplicado a la prótesis desarrollada por el grupo de investigación ProtosUN de la Universidad Nacional de Colombia.

III. MARCO TEÓRICO

A. Sensores FSR

Los sensores FSR son dispositivos usados comúnmente para la medición de presión o fuerza aplicada a una superficie (ver Figura 1). Dichos sensores están compuestos por una capa delgada de material resistivo sensible a la presión que se encuentra entre dos electrodos. Cuando se aplica una fuerza sobre el sensor, la capa resistiva se comprime y provoca un cambio en su resistencia eléctrica, la cual se puede medir para hallar la magnitud de la fuerza aplicada.

B. Arduino

Arduino (ver Figura 2) es una plataforma de desarrollo tanto de software como de hardware. Esta compuesto por un microcontrolador y una placa de circuito impreso que permite programar dicho microcontrolador y así manejar dispositivos electrónicos de manera sencilla. Para este nos basamos en el diseño encontrado en [2]



Figure 1: Sensor FSR

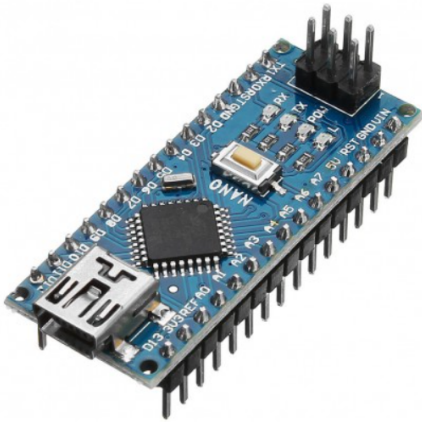


Figure 2: Arduino Nano

C. Interfaz en python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel y fácil de usar, además cuenta con una amplia variedad de bibliotecas y frameworks que aumentan sus posibilidades.

- 1) PyVista: Usada para visualización y análisis de datos en 3D.
- 2) PyQt5: Desarrollo de interfaz gráfica donde se presenta la figura 3D.
- 3) NumPy: Manejo de todo lo relacionado con operaciones matemáticas y matrices.
- 4) Serial: Manejo y comunicación con el puerto serial del arduino.

IV. METODOLOGÍA

A. Circuito electrónico

Para el acople de los sensores FSR con el arduino era necesario acondicionar adecuadamente la señal además de al limitarse que se deseaba usar un solo modulo de ADC para usar la menor cantidad de recursos del arduino y necesitar un solo circuito de acondicionamiento. Se implemento un multiplexor para seleccionar la señal que es sensada, un

amplificador operacional para acondicionar la señal y un diodo zener como protección de la entrada del arduino.(Ver figura 3)

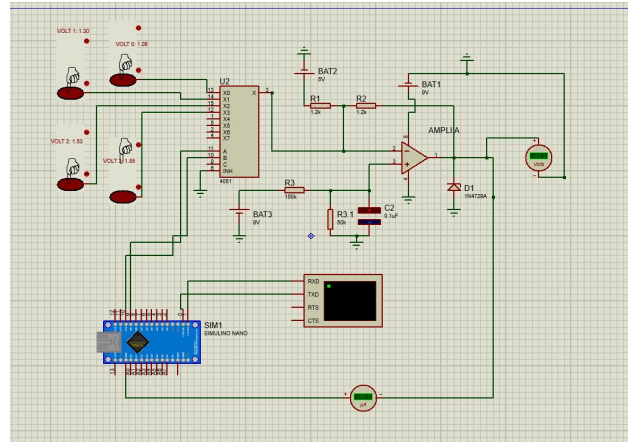


Figure 3: Circuito de acondicionamiento de la señal .

EL amplificador operacional es un LM358 en una configuración de restador, las resistencia R1 se implemento como un trimmer para la calibración del circuito para obtener el mejor punto de operación posible. El multiplexor es un HP4067 el cual permite recorrer uno por uno los sensores e ir midiendo sus valores. Se tiene el diodo zener que es un 1N4729 que sirve para tener una tensión en la salida máxima en la entrada del arduino de 5V y cualquier corriente anómala sea rechazada por la entrada del arduino. Por ultimo un modulo Tx-Rx el cual en la implementación se coloco como un modulo bluetooth hc-05 para hacer la conexión con el computador que recibirá los datos como se puede ver mejor en la figura 4.

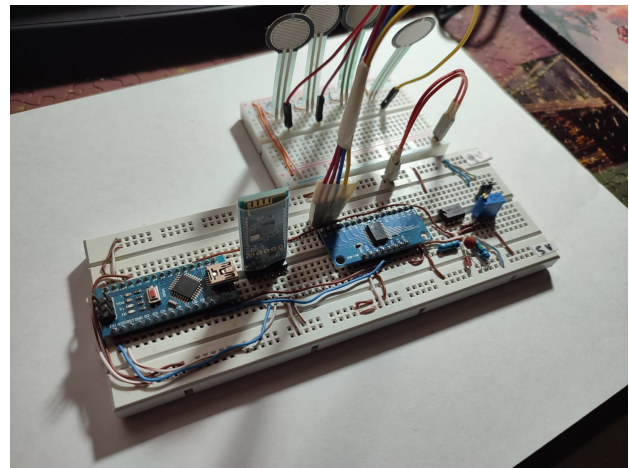


Figure 4: Circuito de acondicionamiento de la señal implementado en una protoboard.

B. Programación arduino

Para el desarrollo del código se destino que se usarían 4 sensores para esto el multiplexor solo necesita dos pines de control, se usaria el ADC del aduino por el PIN A0 y los datos se transmitirían al computador por comunicación serial. Además de que los datos se van almacenando en una cadena

de texto la cual es transmitida cada segundo.

El código final se dividió en dos partes uno usado para la calibración de cada sensor y otro que sería el de funcionamiento donde se muestrean todos los sensores y se envía la información.

```
int muxSG = A0; //Pin analogo para lectura de voltaje
const int muxS0 = 0; //Pin digital para selector del MUX
const int muxS1 = 10; //Pin digital para selector del MUX
String out = ""; //Variable de salida por transmisión serial

int lecturar; //
float valor = 0; //

int SetMuxChannel(byte channel) //Creación de selector de MUX
{
    digitalWrite(muxS0, bitRead(channel, 0));
    digitalWrite(muxS1, bitRead(channel, 1));
}

void setup()
{
    pinMode(muxSG, INPUT); //Señal recibida por el multiplexor
    pinMode(muxS0, OUTPUT); //Señal de control 0 para el multiplexor
    pinMode(muxS1, OUTPUT); //Señal de control 1 para el multiplexor
    Serial.begin(9600); //Comienzo de transmisión serial a 9600 baudios
    delay(5000); //Espera para comenzar transmisión por el serial
}

void loop()
{
    funcionamiento();
}

void funcionamiento() { //Función 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
        lecturar = analogRead(muxSG); //Lectura del valor ingresado por el puerto analogo
        valor = (lecturar-264)*(1.0/1023.0)*11.0;
        valor = min(max(valor,0.0),11.0);
        out = out + String(valor) + " "; //Se 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) { //Función para funcionamiento continuo de un canal para calibrar sensores con el circuito
    SetMuxChannel(canal); //Canal seleccionado para el MUX
    lecturar = analogRead(muxSG); //Lectura del puerto analogo
    valor = lecturar; //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
}
```

Figure 5: Programa implementado en el arduino Nano.

C. Calibración de sensores RFS

Para la calibración de los sensores RFS primero se acomodo el cero del circuito al mejor punto posible siendo este punto en un valor de bits 260, luego teniendo en cuenta que el fabricante de los sensores dice que estos operan entre un rango de 0-12N. Esta fuerza podría generarse al colocar sobre una superficie plana y horizontal 1.2 Kg, por lo cual se hicieron 12 bolsas de arroz cada uno con un peso de 100 gramos (los patrones se hicieron usando una gramera) para lograr el peso completo. [3]

Por último se experimentó con cada sensor poniendo ascendentemente los pesos y luego descendente. Por último se hicieron pruebas aleatorias con los pesos obteniendo un comportamiento lineal como lo indica el fabricante pero con un rango de 11N solamente. Siendo la curva ideal una muy buena aproximación para estos sensores.

D. Desarrollo interfaz gráfica

La interfaz gráfica está dividida por tres partes: la barra de conexión, la barra de acciones y un mapa de calor sobre el modelo del muñón en donde se encuentran los sensores distribuidos (ver figura 6).

Para la parte de conexión se creó un código el cual verifica los puertos bluetooth utilizados en el computador y verifica en cada uno hasta encontrar uno que tengo un frame

de datos "Sensor1:", si no encuentra ninguno desplegará un mensaje para el usuario de error de conexión. Al encontrar el dispositivo guarda los datos en listas y los organiza para su posterior uso.

Para la parte del mapa de calor se creó un programa que modifica los valores de malla de un archivo .STL como base y según los datos que reciba de la conexión irá actualizando la gráfica mostrada al usuario.

Para la barra de acciones de usuario se crearon botones para ampliar, cerrar y minimizar la pantalla.



Figure 6: Interfaz gráfica obtenida con dos ventanas independientes.

E. Plano para PCB

Una vez se terminó el circuito y se probó en protoboard, se hizo el diseño y la posterior fabricación del circuito impreso. En cuanto al diseño se usó el programa EasyEDA.

Diseñando el plano se tuvieron ciertas dificultades con la organización, ya que la placa debía tener el menor tamaño posible. Teniendo en cuenta esto, se decidió cambiar un poco el código en Arduino para ahorrar distancias en los buses. De esta manera, la salida del amplificador ya no llegaría al pin A0 del Arduino, sino al A5. También se decidió usar el pin D10 como salida de 5 V para la alimentación del multiplexor, ya que éste no consume más de 100mA (capacidad máxima para pines digitales del Arduino). El resultado del diseño se puede ver en la Figura 7.

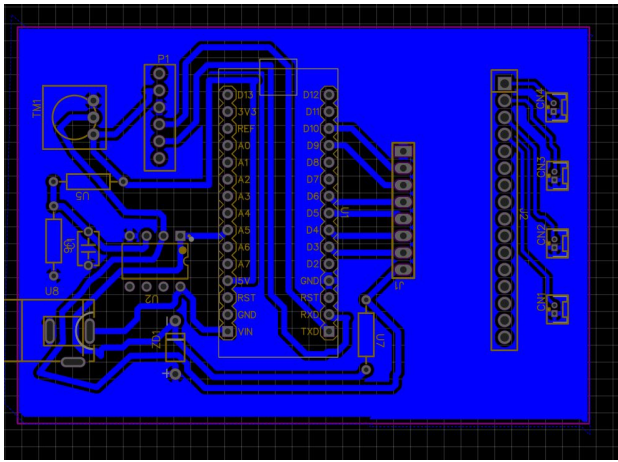


Figure 7: Esquemático de circuito impreso

V. RESULTADOS

Como ya se estableció durante la introducción de este informe, el objetivo principal era la creación de un sistema que midiera las fuerzas ejercidas por el zócalo sobre el muñón, objetivo que fue cumplido en su totalidad con los requisitos propuestos por el grupo de investigación, logrando una calibración de sensores exitosa con mediciones que presentan buena precisión. En la sección de desarrollo se ve el cumplimiento de los objetivos adicionales correspondientes a realizar una interfaz que resulte entendible para gente sin conocimiento en el área de la ingeniería, haciendo que esta sea mas visual y entendible mediante la muestra del modelo 3d del muñón, de manera adicional, la PCB diseñada también cumple con el requerimiento de tamaño ya que cabe dentro de orificio creado para el modelo real del muñón.

Como resultados para aprendizaje del grupo, se tiene un mejor entendimiento en el proceso de calibración de sensores y practica en el diseño de sistemas que permitan el uso de varios de estos, se vio de manera mas practica la adquisición de datos para múltiples sensores mediante un Arduino. Se aprendió sobre la integración y comunicación de datos entre los dispositivos usando la comunicación serial de Arduino fuera de su software propio y sobre las dificultades de la creación de interfaces gráficas que implementen la visualización de datos en 3d actualizada de manera constante.

VI. MEJORAS POSIBLES

- Crear un circuito completo que no use módulos sino solo elementos SMD (un chip CC2540 para transmisión bluetooth con su circuito de funcionamiento, un LM358 SMD, el multiplexor HP4067 que este integrado en la PCB) y cambiar el arduino por un microcontrolador más pequeño que tenga los recursos necesarios (4 salidas digitales, 1 ADC y pines RX y TX).
- Uso de una batería de polimero de litio recargable con su circuito de potencia para autonomía del circuito.
- incluir botones de reset y encendido/apagado

- Aumentar el número de sensores usados de 4 a 8 o dado el caso incluso a los 16 que soporta el multiplexor
- Integración de las dos ventanas de la interfaz gráfica
- Crear una barra de menú donde puedan verse gráficas de las fuerzas cambiando en el tiempo.
- Mejorar la parte estética de la interfaz gráfica.

VII. CONCLUSIONES

- El desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo continuo y en tiempo real de las fuerzas en una prótesis para extremidades inferiores es una contribución significativa para mejorar la calidad de vida de los usuarios de prótesis.
- La implementación de una forma gráfica para mostrar los datos tomados de sensores permite que la información pueda ser entendida más fácilmente por diferentes tipos de usuarios.

REFERENCES

- [1] "Ajuste psicosocial en pacientes amputados: La psicología en el contexto sanitario." <https://www.binasss.sa.cr/bibliotecas/bhp/cupula/v31n2/art02.pdf>, consultado: 2023-06-28.
- [2] V. A. *USO DE SENSORES DE FUERZA RESISTIVOS PARA MEJORAR LA COMODIDAD EN PRÓTESIS PARA EXTREMIDADES DE ANIMALES*. UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ, 2021.
- [3] "Fsr 402 datasheet," <https://www.trossenrobotics.com/productdocs/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf>, consultado: 2023-05-08.