



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

*CARACTERIZAR LA VIDA ÚTIL DE SENSORES DE PRESIÓN UTILIZADOS EN PLANTILLAS BAROPODOMÉTRICAS.*

Trabajo de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica.

**AUTOR:**

David Alexander Silva Troya

**DIRECTOR:**

MSc. Cosme Damián Mejía Echeverría

Ibarra, 2021



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	131210548-7		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Silva Troya David Alexander		
DIRECCIÓN:	Manabí, Manta, URSA calle A-3		
EMAIL:	<a href="mailto:dasilvat@utn.edu.ec">dasilvat@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	05358031	TELÉFONO MÓVIL:	0990140371

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Caracterizar la vida útil de sensores de presión utilizados en plantillas baropodométricas”
AUTOR (ES):	David Alexander Silva Troya
FECHA: DD/MM/AAAA	11/10/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Cosme Mejía

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de octubre de 2021

EL AUTOR:

(Firma) 

Nombre: David Alexander Silva Troya

## CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del presente Trabajo de Grado titulado: “Caracterizar la vida útil de sensores de presión utilizados en plantillas baropodométricas”, certifico que fue desarrollado por el señor Silva Troya David Alexander, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Cosme Mejía", is written over a horizontal line.

MSc. Cosme Mejía

DIRECTOR DEL PROYECTO

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a mis padres por todo el apoyo que me dieron a lo largo de mis estudios en la prestigiosa Universidad Técnica del Norte.

A mis hermanos y amigos que siempre me motivaron a ser mejor cada día, que me ayudaron a entender en lo que me gusta desenvolverme y en lo que puedo aportar al mundo para mejorarlo.

A mis profesores por toda la enseñanza en todos los años de estudios, por toda la experiencia en diferentes áreas a fines a la carrera de Mecatrónica que supieron compartir con cada estudiante.

Y, por último, pero no menos importante a las personas que encuentren utilidad en los datos obtenidos en este presente documento.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi más grande agradecimiento es a la vida misma por darme la oportunidad de vivir todas las experiencias que me han llevado hasta este punto. Todas las personas que he conocido, destacando las que me han enseñado lo bonito que el mundo es y puede ser. Quiero empezar agradeciendo a mis padres, David Silva B. y Ginger Troya, ya que desde pequeño me enseñaron lo que es bueno y malo en el mundo.

A mis hermanos, Héctor y Dereck, que me han motivado a no rendirme, pues quiero que ellos tengan la oportunidad de llegar más lejos de lo que yo pueda llegar en la trayectoria de mi vida.

A mis amigos que conozco hace tanto tiempo y a los nuevos que he hecho en el camino, que siempre me han apoyado y de los cuales me siento muy afortunado de conocer. En especial quisiera mencionar a Moisés Moreira, Michael Quintana, Samuel De Mera, Joshua Zambrano, Agustín Vera, Aron Gualtor, Adriana Briones, Andrés Monteros, Jahir Campoverde, Fernando Lucero, Joel Alvarado, Israel Alajo, Cristina Miño, Sandra Vervoort, Jan Willems, Kato Willems. Sin duda mi lista no acaba ahí, gracias por todos los momentos compartidos y los que vendrán a futuro.

A los profesores que se han esforzado por que sus alumnos aprendan cómo enfocar su conocimiento en la vida misma. En especial un agradecimiento al Ing. Cosme Mejía, Ing. Iván Iglesias, Ing. David Ojeda, Fis. Miguel Rodríguez, Ing. Xavier Rosero, Ing. Víctor Erazo, Lic. Miguel Zambrano, Lic. Raúl Trámpuz. El mundo sería mejor con más profesores interesados en que el conocimiento realmente llegue a todos sus alumnos, mostrándoles lo maravilloso que es aprender de un tema en específico.

## Resumen

El presente documento se encuentra información sobre 3 tipos de pruebas de presión hechas a 3 sensores de presión, con un enfoque a ser usados para baropodometría. Con base en tesis anteriores en las cuales se hizo uso de estos sensores en plantillas, tanto prefabricadas como plantillas personalizadas al pie del paciente con impresión en 3D.

Para las diferentes pruebas se diseñó un mecanismo automatizado que pudiera suministrar la presión necesaria en cada prueba mientras tomaba los datos que el sensor enviaba al empezar a funcionar.

En estas pruebas se pudo observar el funcionamiento de cada sensor a diferentes presiones y ángulos, para conocer cuál sería el mejor sensor para usar en plantillas baropodométricas, siendo el sensor FSR400 el más estable de los 3 sensores. Pero cave recalcar que ningún sensor dejó de funcionar en las pruebas, tanto el sensor FSR402 como el sensor DF9-40 funcionaron todo el tiempo, incluso aplicando el doble de la fuerza para la que fueron diseñados.

Los datos se guardaron en una base de datos local *sqlite* en una raspberry pi 3 y también en una base de datos en la nube por medio de *firestore* de *firebase* para también poder observar los datos por medio de una aplicación *android* y al mismo tiempo tener la opción de controlar el mecanismo desde el teléfono.

Para la gráfica de los datos de cada sensor se usó el lenguaje de programación *python* con la librería *matplotlib* y *numpy*.

## **Abstract**

The current document has information about 3 types of pressure tests made to 3 pressure sensors, with a focus on being used for baropodometry. Based on previous thesis in which these sensors were used in insoles, with prefabricated insoles and customized insoles to the patient's foot with 3D printing.

For the different tests, an automated mechanism was designed to supply the necessary pressure in each test while the data sent by the sensor was taken when it started to work.

In these tests it was possible to observe the performance of each sensor at different pressures and angles, in order to know which would be the best sensor to use in baropodometric insoles, being the FSR400 sensor the most stable of the 3 sensors. But it should be noted that none of the sensors stopped working during the tests, both the FSR402 sensor and the DF9-40 sensor worked all the time, even applying twice the force for which they were designed.

The data was stored in a local sqlite database on a raspberry pi 3 and also in a cloud database through firebase firestore to also be able to observe the data through an android application and at the same time have the option to control the mechanism from the phone.

Python programming language with the matplotlib and numpy library were used to plot the data for each sensor.

## *Índice General*

Introducción.....	1
Descripción del problema.....	1
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos .....	2
Alcance.....	3
Justificación.....	3
Capítulo I.....	5
1. Marco Teórico .....	5
1.1 Sensores de fuerza .....	5
1.2 Baropodometría.....	5
1.3 Plantillas baropodométricas .....	5
1.4 Marcha humana .....	6
1.5 Ciclo de la marcha humana .....	6
1.6 Tiempo de zancada.....	6
1.7 Biomecánica del tobillo.....	7
1.7.1 Flexión Dorsal .....	7
1.7.2 Flexión Plantar.....	7
1.8 Arduino.....	7
1.9 Raspberry pi .....	8
1.10 Android Studio .....	8
1.11 Firestore de Firebase .....	8
1.12 Marco Referencial .....	9
Capítulo II.....	13
2. Metodología .....	13
2.1 Selección de sensores .....	13
2.2 Tipos de pruebas en los sensores.....	13
2.3 Requerimientos del mecanismo a construirse .....	14
2.4 Ideas para diseñar el mecanismo de pruebas.....	14
2.4.1. Mecanismo número 1 .....	15
2.4.2. Mecanismo número 2 .....	15
2.4.3. Mecanismo número 3 .....	16
2.4.3. Proceso de selección del mecanismo .....	16
2.5 Diseño CAD del mecanismo de pruebas.....	17
2.6 Manufactura del mecanismo de Pruebas .....	19
2.7 Configuración de Raspberry Pi .....	20
2.8 Programación de Raspberry y Arduino .....	22

2.8.1	Arduino Mega2560 .....	23
2.7.2	Raspberry Pi 3 .....	24
2.9	Programación de App Android .....	26
2.10	Resistencia vs fuerza de sensores en base a Datasheet. ....	29
2.10.1	Gráfica de resistencia vs fuerza FSR serie 400 .....	29
2.10.2	Gráfica de resistencia vs fuerza sensor DF9-40 .....	29
2.10.3	Valores Teóricos esperados según el peso .....	31
Capítulo III .....		35
3.	Resultados .....	35
3.1	Valores obtenidos por los sensores .....	35
3.1.1	Sensor FSR400 a 10kg en superficie plana .....	36
3.1.2	Sensor FSR 400 a 20kg en superficie plana .....	37
3.1.3	Sensor FSR 402 a 10kg en superficie plana .....	40
3.1.4	Sensor FSR 402 a 20kg en superficie plana .....	41
3.1.5	Sensor FSR 402 a 10kg en superficie a 45° .....	43
3.1.6	Sensor DF9-40 a 20kg en superficie plana.....	44
3.1.7	Sensor DF9-40 a 40kg en superficie plana.....	45
3.1.8	Sensor DF9-40 a 20kg en superficie a 45° .....	47
3.2	Análisis de los valores obtenidos por los sensores.....	48
3.2.1	Aplicando la máxima fuerza en sensores .....	48
3.2.2	Aplicando el doble de la máxima fuerza en sensores.....	50
3.2.3	Aplicando la máxima fuerza en sensores a 45° .....	51
4.	Conclusiones y Recomendaciones .....	54
4.1	Conclusiones .....	54
4.2	Recomendaciones.....	55
Referencias .....		57

## *Índice de Figuras*

Figura 1.1 Ciclo de la marcha humana [19] .....	6
Figura 1.2 Software CAD-CAM para el diseño de ortesis de pie [27].....	9
Figura 1.3 Plantilla baropodométrica con leds y sensores de luz [29] .....	10
Figura 1.4 imagen creada por el software de PIPLAB al escanear pies [30] .....	10
Figura 1.5 Plantillas baropodométricas con sensores de presión [6].....	11
Figura 1.6 Plantillas baropodométricas personalizadas [30] .....	12
Figura 2.1 Primera idea de Mecanismo .....	15
Figura 2.2 Segunda idea de mecanismo .....	16
Figura 2.3 Tercera idea de mecanismo .....	16
Figura 2.4 Prototipo de mecanismo en CAD.....	17
Figura 2.5 Análisis de fuerzas para conocer el factor de seguridad. ....	18
Figura 2.6 Plataformas en las que se colocará el sensor.....	18
Figura 2.7 Plataforma con ángulo de 45° donde se colocará el sensor. ....	19
Figura 2.8 Mecanismo construido .....	20
Figura 2.9 Diagrama de conexión entre Raspberry pi 3 y Arduino Mega2560.....	21
Figura 2.10 Comando que se debe escribir en la terminal de la placa raspberry pi 3. ...	21
Figura 2.11 Diagrama de comunicación entre celular, base de datos, Raspberry pi 3, Arduino mega2560 y sensor de fuerza. ....	22
Figura 2.12 Diagrama de flujo del programa para la placa Arduino Mega2560.....	23
Figura 2.13 Diagrama de conexión entre Arduino Mega2560 y dispositivos externos. 24	
Figura 2.14 Diagrama de flujo de la programación para Raspberry pi 3. ....	25
Figura 2.15 Interfaz de Figma con el diseño de la App Android. ....	26
Figura 2.16 Diagrama de flujo para la programación de la App Android.....	27
Figura 2.17 Capturas de pantalla para mostrar el funcionamiento de la App Android. .	28
Figura 2.18 Gráfica de Resistencia vs Fuerza de sensores de la serie FSR400 [39]. ....	29
Figura 2.19 Gráfica de resistencia vs Fuerza de sensor DF9-40 [32].....	30
Figura 2.20 Gráfica de resistencia vs Fuerza de sensores DF9-40 [32] con líneas punteadas paralelas al eje de las abscisas. ....	30
Figura 3.1 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR400 a 10kg en 1000 repeticiones .....	36
Figura 3.2 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR400 a 10kg....	37
Figura 3.3 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR400 a 20kg en 1000 repeticiones .....	38
Figura 3.4 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR400 a 20kg....	38
Figura 3.5 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR400 a 10kg a 45° en 1000 repeticiones.....	39
Figura 3.6 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR400 a 10kg y 45°.....	40
Figura 3.7 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR402 a 10kg en 1000 repeticiones .....	40
Figura 3.8 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR402 a 10kg....	41
Figura 3.9 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR402 a 20kg en 1000 repeticiones .....	42
Figura 3.10 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR402 a 20kg..	42
Figura 3.11 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR402 a 10kg a 45° en 1000 repeticiones.....	43
Figura 3.12 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR402 a 10kg a 45°.....	44

Figura 3.13 Valores puntuales obtenidos del sensor DF9-40 a 20kg en 1000 repeticiones .....	44
Figura 3.14 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor DF9-40 a 10kg ..	45
Figura 3.15 Valores puntuales obtenidos del sensor DF9-40 a 40kg en 1000 repeticiones .....	46
Figura 3.16 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor DF9-40 a 40kg ..	46
Figura 3.17 Valores puntuales obtenidos del sensor DF9-40 a 20kg a 45° en 1000 repeticiones .....	47
Figura 3.18 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor DF9-40 a 20kg y 45° .....	48
Figura 3.19 Comparación de los 3 sensores aplicando la máxima fuerza que resisten ..	49
Figura 3.20 Comparación de los 3 sensores en las 100 primeras repeticiones aplicando la máxima fuerza que resisten .....	49
Figura 3.21 Comparación de los 3 sensores aplicando el doble de la máxima fuerza que resisten .....	50
Figura 3.22 Comparación de los 3 sensores en las 100 primeras repeticiones aplicando el doble de la máxima fuerza que resisten .....	51
Figura 3.23 Comparación de los 3 sensores aplicando la máxima fuerza que resisten a 45° .....	52
Figura 3.24 Comparación de los 3 sensores en las 100 primeras repeticiones aplicando la máxima fuerza que resisten a 45° .....	53

*Índice de Tablas*

<b>Tabla 1</b> Características de los 3 sensores.....	13
<b>Tabla 2</b> Distribución del peso según el área de activación del sensor y área de la superficie donde se aplica la fuerza .....	33
<b>Tabla 3</b> Distribución del peso según el área de activación del sensor y área de la superficie donde se aplica la fuerza a 45° .....	33
<b>Tabla 4</b> Datos teóricos que se deben obtener según la distribución del peso y el área .	34
<b>Tabla 5</b> Valores tomados en base a los resultados de 1000 repeticiones suministrando y retirando fuerza a los diferentes sensores .....	35

## **Introducción**

### **Descripción del problema**

El confort en el calzado se ve reflejado en un buen estado de ánimo, acorde con una buena postura al estar de pie. Y cuando se habla del pie existe una relación entre el confort y la salud ósea de forma directa, ya que se ha comprobado que la huella plantar influye en la angulación de rodillas además de caderas [1] [2].

En niños y niñas de 7 a 11 años, se concluyó que sí existe relación entre la huella plantar y la angulación de cadera y rodilla afirmando que la huella plantar influye en la angulación de dichas variables [3].

Así mismo ocurre en una edad superior, entre los 10 a 19 años, la relación entre la huella plantar y angulación de rodilla es significativa, afirmando que la huella plantar influye en la angulación de rodilla [4].

Esto de igual manera ocurre hasta una edad avanzada, la deformación del ángulo de la rodilla se ve afectado ya que si existió relación entre la huella plantar y la angulación de rodilla [5].

Estos datos demuestran la importancia de tener un sistema de medición en la zona plantar para detectar a tiempo las características del pie y el procedimiento requerido.

En la actualidad, en nuestro país no existe un sistema baropodométrico que el individuo pueda usar mientras camina para hacer un análisis de su marcha [6].

Para el diseño son requeridos sensores de fuerza, mismos que deben ser probados antes de su implementación para elegir el óptimo.

El precio de un baropodómetro electrónico está alrededor de USD 3000 sin tener en cuenta los costos de envío, ya que este no se produce en el país [7].

Además, considerando el resultado de reporte de pobreza en diciembre del 2019 en Ecuador, la pobreza a nivel nacional se ubicó en 25,0% y la pobreza extrema en 8,9%. En el área urbana la pobreza llegó al 17,2% y la pobreza extrema a 4,3%. Finalmente, en el área rural la pobreza alcanzó el 41,8% y la pobreza extrema el 18,7% [8].

Debido a esto, es baja la cantidad de personas con acceso a un calzado más cómodo y que sea de ayuda para la salud de su estructura ósea. Anteriormente ya se realizó una plantilla baropodométrica en la Universidad Técnica del Norte, en el trabajo de Diseño y construcción de un sistema baropodométrico electrónico con interfaz gráfica [6], pero hubo un inconveniente luego de usar los sensores por un prolongado tiempo, estos sufrieron una deformación que provocó saturación en la lectura.

Se requiere, por lo dicho anteriormente, determinar el sensor óptimo para cargas cíclicas y estáticas en la plantilla, con el fin de que pueda ser usada por un mayor tiempo antes de requerir un mantenimiento.

### **Objetivo General**

Caracterizar la vida útil de sensores de presión utilizados en plantillas baropodométricas.

### **Objetivos Específicos**

- Determinar las características necesarias para la adquisición de presiones plantares mediante sensores montados sobre plantillas.
- Diseñar los ensayos experimentales a aplicar a sensores sobre superficies flexibles.
- Determinar las características funcionales bajo ciclos repetitivos de trabajo de los sensores.

- Recomendar el sensor más adecuado para plantillas baropodométricas.

### **Alcance**

Se seleccionará a partir del estudio del estado del arte varios tipos de sensores utilizados para medir la presión plantar. Se realizarán ensayos experimentales a los diferentes sensores de presión sobre superficies flexibles para determinar la confiabilidad en la adquisición de datos bajo ciclos continuos de trabajo. Se establecerá la metodología para simular la presión generada por el pie sobre la plantilla en ciclos repetitivos de marcha y de posición estable. Al final se presentarán las características de vida útil de los sensores y su posible uso en plantillas.

### **Justificación**

El confort en el calzado se ve reflejado en un buen estado de ánimo, acorde con una buena postura al estar de pie. Y cuando se habla del pie existe una relación entre el confort y la salud ósea de forma directa, ya que se ha comprobado que la huella plantar influye en la angulación de rodillas además de caderas [1] [2].

Los pies proporcionan equilibrio y movimiento en nuestras vidas diarias que permiten desarrollar diferentes tipos de actividades, y los mismos tienen un gran impacto en nuestra estructura ósea. La baropodometría permite conocer la magnitud de presión que ejerce el pie en determinadas áreas por medio de sensores, con lo cual se puede realizar un análisis de cargas en el pie [9].

Uno de los principales motivos por los cuales una persona necesita usar plantillas en los pies es para mejorar la salud. Las personas con diabetes son las que más cuidado deben tener al momento de elegir un calzado. Se debe evaluar las características del zapato, punta, deformidades, buscar sitios de apoyo y puntos de presión [10].

La operación por pie diabético tiene un precio elevado ya que en gran parte termina en amputación.

Se calcula que los costes directos de una amputación asociada con el pie diabético están entre los 30.000 USD y los 60.000 USD [11].

Al tener las características de los sensores comprobadas, con diferentes pruebas a los que serán sometidos, la medición baropodométrica con la plantilla será efectiva y la frecuencia de mantenimiento más precisa.

## **Capítulo I**

### **1. Marco Teórico**

#### **1.1 Sensores de fuerza**

Cada tipo de sensor es en realidad un transductor que tiene la capacidad de transformar un tipo de variable como la presión, en otra variable como lo es la resistencia eléctrica [12].

El sensor de fuerza permite medir la magnitud de fuerza aplicada un objeto, ubicando el sensor entre el objeto que recibirá la presión y el objeto que aplicará dicha presión. Al observar la variación en los valores de resistencia se puede calcular la fuerza aplicada [13].

#### **1.2 Baropodometría**

La medición de la presión plantar o también conocida como baropodometría, es utilizada para conocer las cargas específicas que soporta la superficie plantar del pie. Así se puede conocer si las cargas están distribuidas correctamente por la superficie plantar del pie o en el caso de no ser así, analizar las zonas del pie que soportan una mayor carga y determinar los problemas que esto puede generar en la salud del paciente a largo o corto plazo, así como también estos datos permiten diseñar una plantilla adecuada para el pie y lograr que la distribución del peso del paciente sea la adecuada en ambos pies [14].

#### **1.3 Plantillas baropodométricas**

Estas son plantillas con sensores de presión que permiten medir la presión plantar. A este tipo de plantilla también se las conoce como plantilla instrumentada. Con este tipo de plantillas se puede guardar un registro de los valores de presión detectados en puntos claves de la plantilla para después realizar un análisis dinámico de la distribución de

presiones existentes en el pie al momento de realizar una caminata o también al estar de pie por un determinado tiempo [15].

#### 1.4 Marcha humana

La marcha humana se trata del proceso de locomoción en el cual el cuerpo del ser humano se traslada hacia adelante de forma erguida, con las piernas soportando todo el peso y alternando la carga entre ellas a medida que se está avanzando [16].

#### 1.5 Ciclo de la marcha humana

El ciclo de marcha o también conocido como zancada, ciclo está dividido en 2 partes: La fase de apoyo, cuando el pie tiene contacto con el suelo, que representa un 62% del ciclo y la fase de oscilación, cuando el pie está moviéndose de un punto al otro, con el 38% restante del ciclo [17] [18].

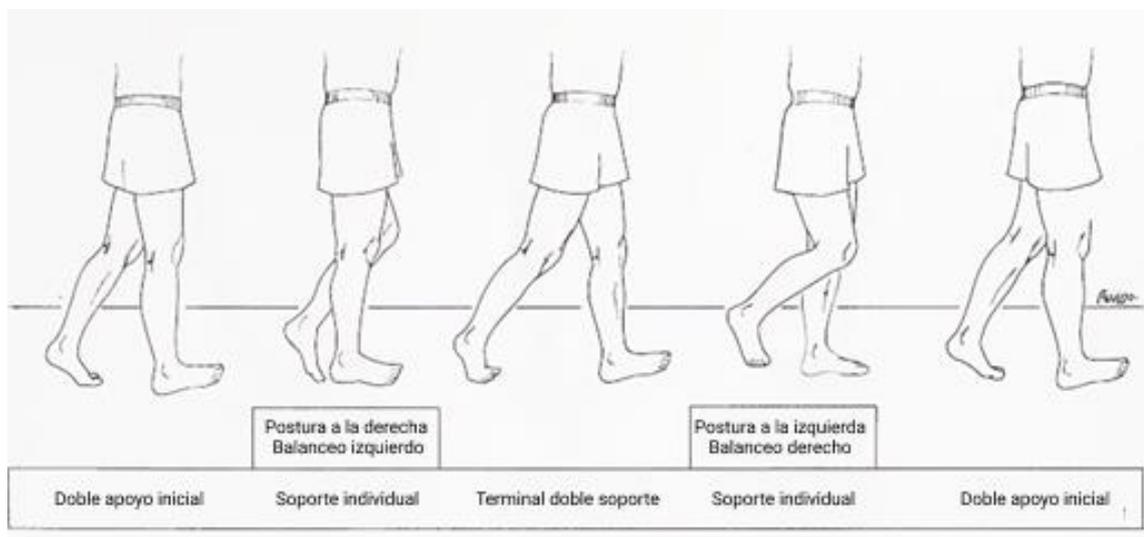


Figura 1.1 Ciclo de la marcha humana [19]

#### 1.6 Tiempo de zancada

Este tiempo va desde el inicio de la fase de apoyo de un pie hasta el final de la fase de oscilación del mismo pie, que es cuando nuevamente empieza el ciclo con la fase de apoyo. Este tiempo va desde 1,06 segundos hasta los 1,18 segundos. [20]

## **1.7 Biomecánica del tobillo**

La articulación del tobillo puede llegar a soportar de 5 a 7 veces el peso del cuerpo en la fase de apoyo dentro de la marcha humana y su complejo movimiento angular que logra en conjunto a la rodilla, define la distribución de la carga en la zona plantar, lo que permite una mejor adaptabilidad en diversas superficies que pueden llegar a tener ángulos distintos incluso para cada pie [21] [19].

### **1.7.1 Flexión Dorsal**

También conocido como Dorsiflexión, se caracteriza porque la punta del pie se aproxima a la cara anterior de la tibia, este movimiento puede tener un ángulo de 20° a 30°. Este ángulo puede variar en las personas, por lo cual no existen una definición precisa de los valores normales fisiológicos y patológicos sobre los rangos normales de dorsiflexión. [21] [22].

### **1.7.2 Flexión Plantar**

Se caracteriza porque la punta del pie se aleja de la cara anterior de la tibia, este movimiento puede tener un ángulo de 30° a 50° o incluso mayor gracias a la rodilla [21].

Sin embargo, en la marcha humana este ángulo no llega a ser mayor a los 45° cuando el pie está soportando toda la carga total del cuerpo [21] [19].

## **1.8 Arduino**

Microcontrolador reprogramable, de software libre y fácil uso para adquirir datos como señales analógicas, digitales y comunicación serial. Además de también poder emitir el mismo tipo de señales por los diversos pines que posee. Es usado para funcionar con elementos que necesitan respuesta en tiempo real y cuenta con una gran librería para varios de proyectos [23].

## **1.9 Raspberry pi**

Es un ordenador compacto del tamaño de una tarjeta de crédito, con sistema operativo basado en Linux permite programar en Python y usar cada uno de los pines conocidos como GPIOs que sirven para la lectura y escritura de diversos tipos de datos, menos lectura análoga. Además, la conexión a internet mediante puerto ethernet o wifi permite enviar y recibir de la nube. [24]

## **1.10 Android Studio**

Es un entorno de desarrollo especializado para facilitar la construcción de App para dispositivos Android usando el lenguaje de programación Kotlin o Java para la funcionalidad y XML para el diseño de esta. Además, también cuenta con una comunidad activa para la resolución de dudas, problemas y varios videos de proyectos que se pueden replicar con el fin de entender mejor cómo usar tanto el software de desarrollo, como la funcionalidad de Android [25].

## **1.11 Firestore de Firebase**

Un servicio gratuito de almacenamiento de datos que ofrece Google en Firebase. Firestore es una base de datos NoSQL, los datos aquí se almacenan en “Documentos” que están dentro de “Colecciones” y así mismo estos “Documentos” pueden tener dentro otras “Colecciones” [26].

Cabe recalcar que Firestore es gratuito pero limitado a 1Gb de almacenamiento de datos con 10GiB de movimiento de información al mes, 20000 interacciones de escrituras, así como eliminación de datos y 50000 interacciones de lecturas de datos. Mayor a eso se deberá pagar en relación con el plan que sea necesario para manejar los datos [27].

## 1.12 Marco Referencial

La comodidad del calzado conlleva a beneficios para la salud de las personas, pero esto aumenta en gran medida para las personas que tienen diabetes ya que al tener un calzado en el cual la presión del pie está mal distribuida tendrá como resultado una infección y amputación.

Es aquí donde en Irlanda las plantillas personalizadas usando CAD-CAM muestran una mejor distribución de cargas en el pie, haciendo análisis de estas cargas incluso sólo con un escaneo del pie y así obtener una plantilla óptima [28].

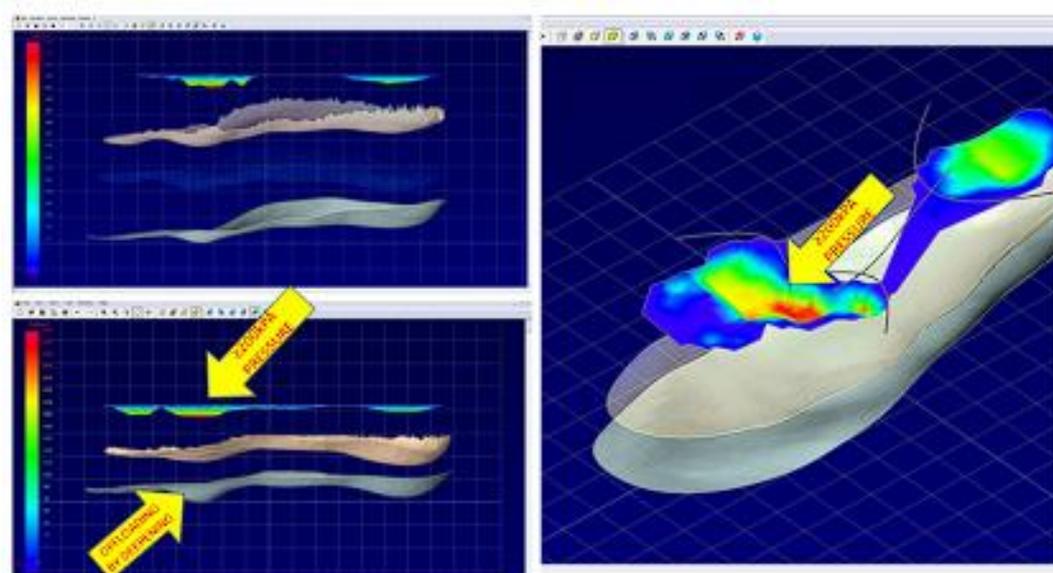
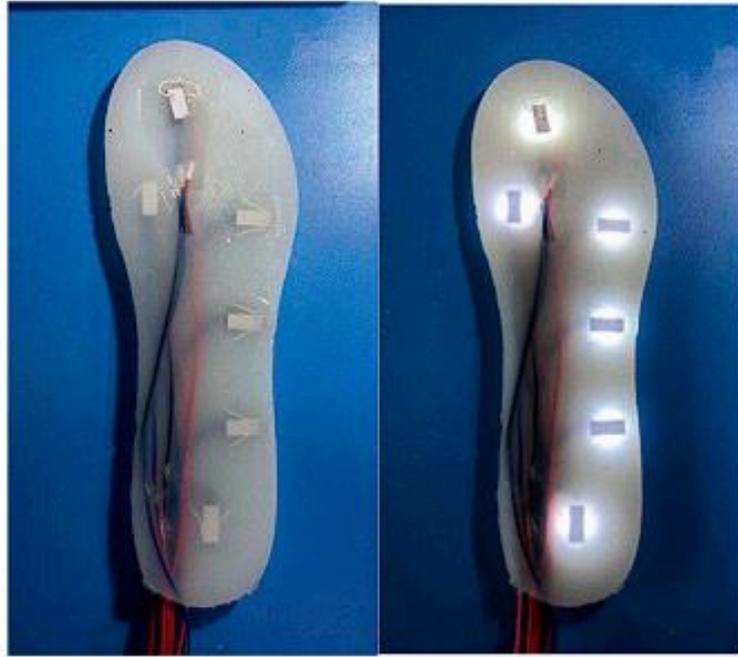


Figura 1.2 Software CAD-CAM para el diseño de ortesis de pie [27]

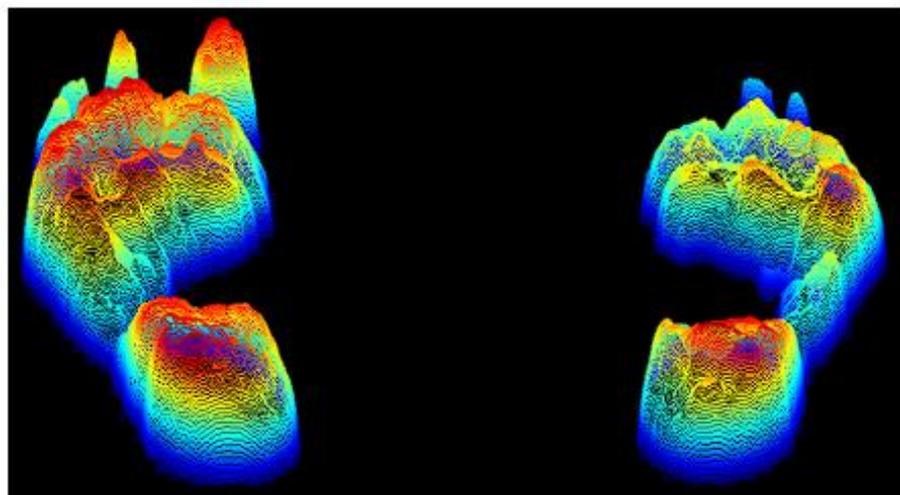
En la marcha humana, para conocer los puntos de mayor carga, el usar sensores de presión no es la única opción, pues también se pueden usar sensores de luz con un led emitiendo una luz a cierta distancia y ubicar varios de estos en la plantilla como se hizo en China.

Al aplicar presión en los puntos donde están ubicados los sensores se pueda registrar una variación en luz recibida debido a que el led está más cerca y así medir una mayor presión en las áreas donde la intensidad de la luz es mayor [29].



*Figura 1.3 Plantilla baropodométrica con leds y sensores de luz [29]*

En Colombia se elaboró PIPLAB, un equipo de medición baropodométrica que funciona adquiriendo imágenes por medio de una cámara, posteriormente estas imágenes son procesadas y analizadas para mostrar, en una interfaz gráfica de computador, la presión a la que está sometida la planta de cada pie [30].



*Figura 1.4 imagen creada por el software de PIPLAB al escanear pies [30]*

Con este dispositivo se tiene la facilidad de poder observar en la interfaz gráfica los puntos máximos de presión en cada extremidad y como se distribuyen en el antepié y

retropié [30]. Representando las magnitudes de las presiones en una escala de color para tener una mejor idea de los puntos de mayor y menor carga en la zona plantar del pie.

En Ecuador, en la Universidad Técnica del Norte (UTN) se ha realizado como tesis un sistema baropodométrico usando sensores de presión conectados a un Arduino Mega2560 para leer los datos analógicos.

El Arduino Mega2560 se encuentra junto a un circuito de acondicionamiento dentro de una caja portadora, cuenta con un dispositivo bluetooth que envía los datos de los sensores, permitiendo observar estos datos en una interfaz gráfica para realizar los análisis de las cargas en los pies [6].

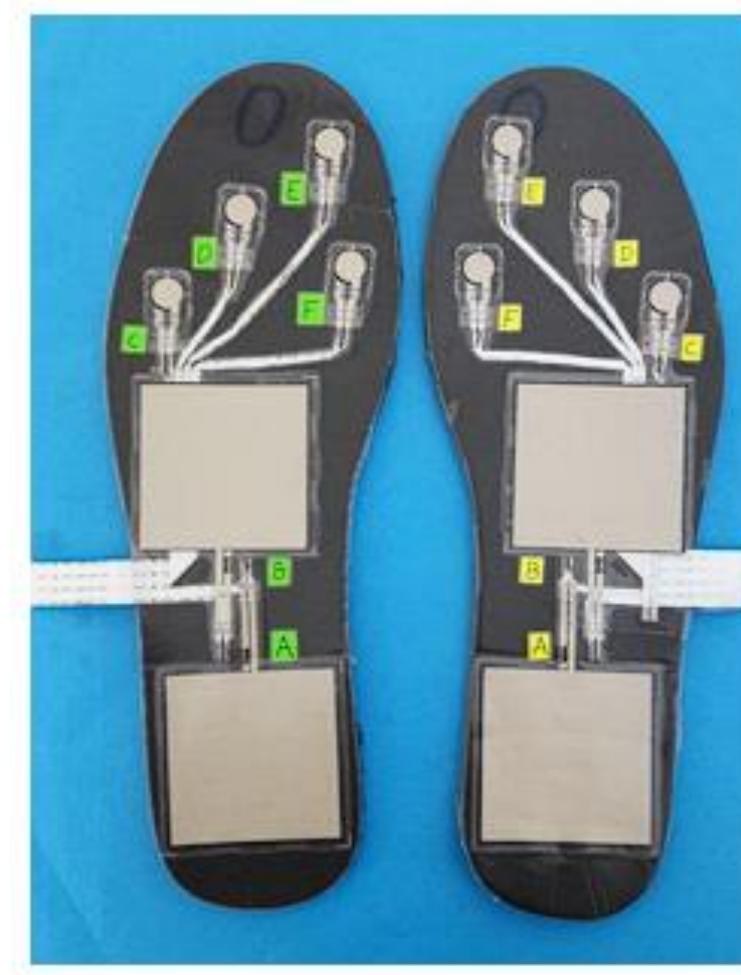


Figura 1.5 Plantillas baropodométricas con sensores de presión [6]

Así mismo otra tesis de la UTN se basa en una plantilla baropodométrica personalizada al tamaño del pie del paciente por medio de escaneo del pie e impresión de la plantilla con un material flexible conocido como TPU. Aquí se realizaron varias pruebas con el tipo de impresión en 3D, tanto para saber qué tipo de impresión es más óptima según el tiempo de impresión y la comodidad que siente el paciente al usar las plantillas. De esta forma se puede lograr que el paciente use la plantilla por más tiempo y así obtener una mayor cantidad de datos de los sensores para realizar un análisis óptimo de las cargas que soporta el pie [31].



*Figura 1.6 Plantillas baropodométricas personalizadas [30]*

## Capítulo II

### 2. Metodología

#### 2.1 Selección de sensores

Con base en las tesis [6] y [31] en las cuales se ha hecho uso de Force Sensing Resistor o también conocidos como FSR por sus siglas en inglés, son sensores de presión o sensores de fuerza. Se ha decidido hacer la caracterización de 3 diferentes sensores con un enfoque en su uso para plantillas baropodométricas, empezando con el sensor FSR-402 [32] que está presente en ambas tesis, el sensor DF9-40 [33] fue analizado en [31] como uno de los posibles sensores a usarse. Y por último el sensor FSR-400 [34] que tiene un menor tamaño y es de la misma línea del FSR-402.

**Tabla 1**

Características de los 3 sensores

Características	FSR-400	FSR-402	DF9-40
Rango de sensado	0-100N	0-100N	0-200N
Flexibilidad	Sí	Sí	Sí
Tiempo de Respuesta	<0.003ms	<0.003ms	<1ms
Disponibilidad	Sí	Sí	Sí
Área de sensado	20.26mm <sup>2</sup>	169.25mm <sup>2</sup>	44.18mm <sup>2</sup>
Espesor	0.35mm	0.46mm	0.30mm
Tiempo de uso	100 <sup>3</sup>	100 <sup>3</sup>	>100 <sup>3</sup>

*Nota:* Tabla donde se muestran las características de los sensores que se usarán en las diferentes pruebas, estos datos son obtenidos de la Hoja de datos de cada sensor [32] [33] [34].

#### 2.2 Tipos de pruebas en los sensores

En base el movimiento que tiene el pie en la marcha humana, donde el tobillo puede proporcionarle al pie un ángulo de hasta 50° con respecto al suelo [21]. Sin embargo, en la marcha humana no se llega a tal medida, por lo cual se decidió tomar en cuenta 45° para una de las pruebas. Se decidió ejecutar 3 tipos de pruebas:

- Aplicando la fuerza máxima que soporta el sensor por 0,6 segundos que es tiempo aproximado que toma la fase de postura en la marcha humana.
- Aplicando el doble de la fuerza máxima que soporta en sensor para conocer en cuanto tiempo este puede empezar a fallar al exceder el límite.
- Aplicando la fuerza máxima que soporta el sensor por 0,6 segundos ahora con una superficie que cuenta con un ángulo de 45°.

### **2.3 Requerimientos del mecanismo a construirse**

Para las pruebas repetitivas que se proporcionarán a los sensores se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

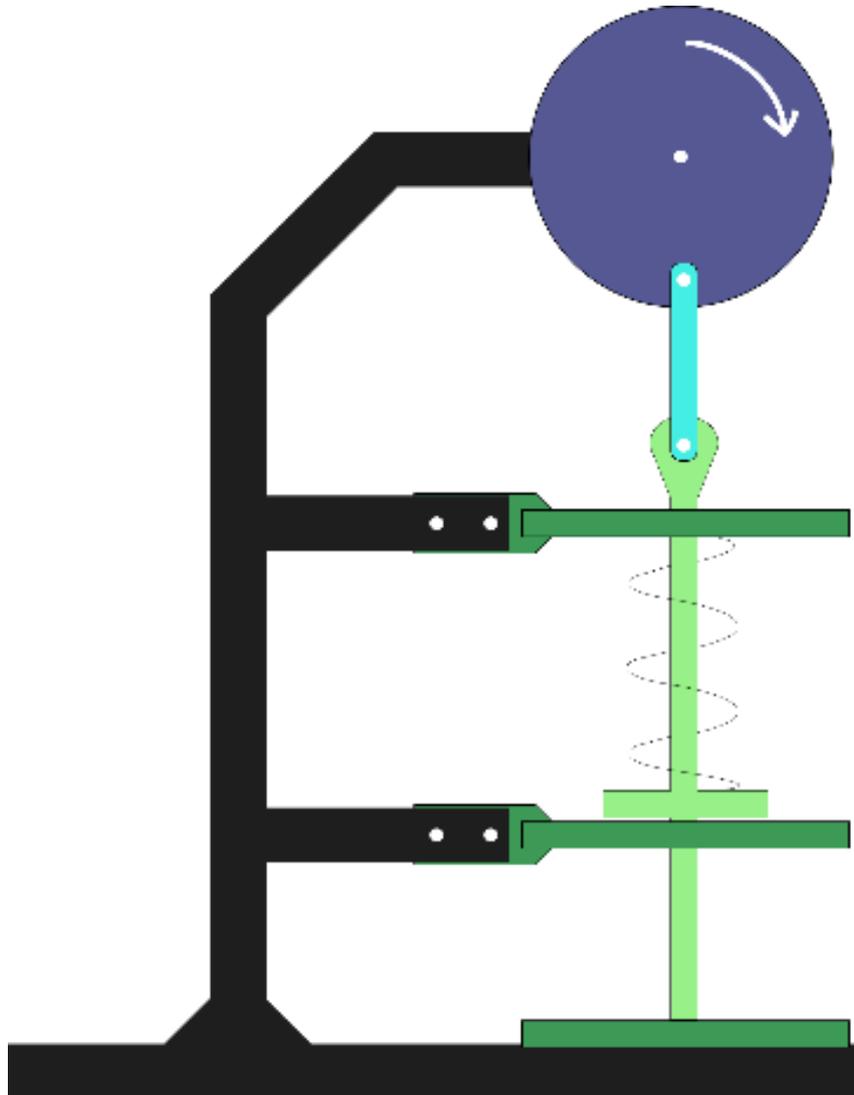
- Proporcionar entre 100N a 200N o más de fuerza en una superficie donde se colocarán los sensores.
- Ejecución de pruebas automatizado.
- Adquisición de datos de sensores por medio de microcontrolador.
- Guardar datos de los sensores en una base de datos.

### **2.4 Ideas para diseñar el mecanismo de pruebas**

Tomando en cuenta tanto los requerimientos del mecanismo como los materiales de los que se disponía para su pronta manufactura, se hizo un borrador de 3 posibles mecanismos.

### 2.4.1. Mecanismo número 1

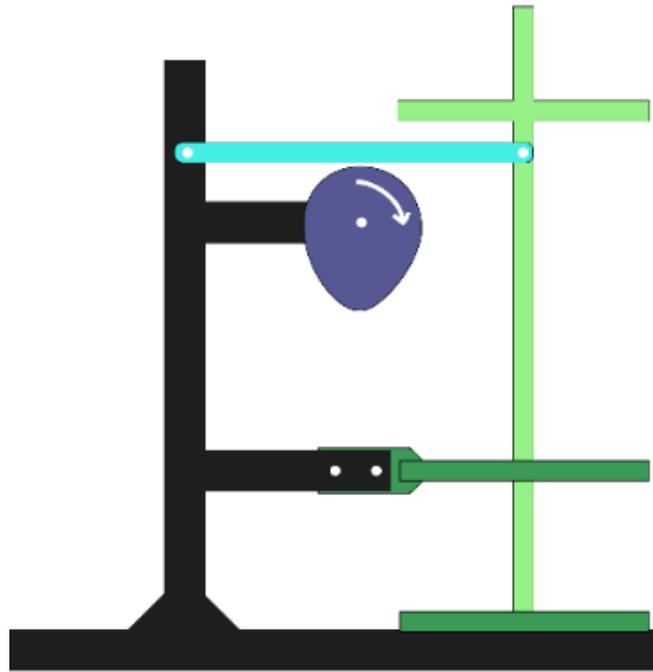
El primer mecanismo que cuenta con un resorte el que ejercería la fuerza a aplicar al sensor, teniendo en cuenta el máximo que es de 200N. Un motor se encargaría de ejercer una fuerza contraria para liberar el sensor y repetir este ciclo.



*Figura 2.1 Primera idea de Mecanismo*

### 2.4.2. Mecanismo número 2

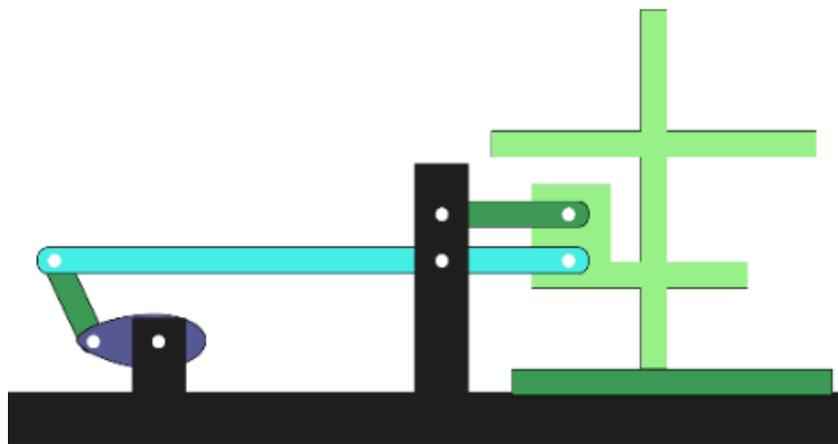
El segundo mecanismo fue pensado con la posibilidad de usar discos de pesas para aplicar la fuerza requerida y poder aumentarla o disminuirla si fuese necesario. Aquí sería una leva la que le daría movimiento al mecanismo.



*Figura 2.2 Segunda idea de mecanismo*

### **2.4.3. Mecanismo número 3**

El tercer mecanismo también tiene la opción de variar la fuerza ejercida por medio del peso que se le aplica con los discos de pesas. Aquí se usa la ley de la palanca, palanca de primer género, así el peso que se le aplicará a los sensores será menor en el motor.



*Figura 2.3 Tercera idea de mecanismo*

### **2.4.3. Proceso de selección del mecanismo**

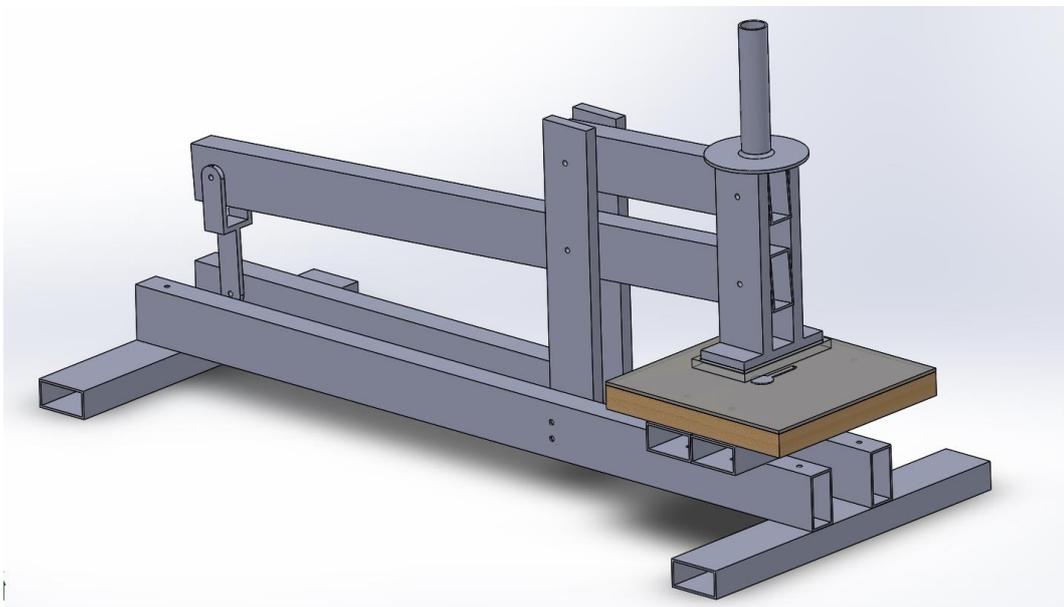
Analizando tanto el funcionamiento como la complejidad de los mecanismos al momento de la manufactura, se seleccionó el Mecanismo número 3 por los materiales con

los que se disponía para realizar la estructura y también el motor disponible que se adaptaba mejor a este mecanismo, el cual podría ser reubicado en otro punto como se hizo más adelante.

## 2.5 Diseño CAD del mecanismo de pruebas

Basados en el mecanismo seleccionado, la sección 2.4.3. **Mecanismo número 3**, se diseñó en CAD un prototipo para realizar análisis del funcionamiento que tendría, que cumpliera con los requerimientos y los materiales con los que se disponía.

El prototipo final que se ve en la figura 2.4 fue el resultado de analizar la forma en que la fuerza afectaría al mismo, evitando todo momento angular innecesario en las partes del mecanismo que soportarían las cargas, tanto la carga para los sensores como la fuerza que ejercería el motor al momento de levantar la carga.



*Figura 2.4 Prototipo de mecanismo en CAD*

En la figura 2.5 se puede observar un análisis estático realizado en SolidWorks para conocer el factor de seguridad del tubo rectangular que se usaría. Se seleccionó este tubo ya que tiene un menor espesor que las platinas usadas y se encuentra en la mayor

parte del mecanismo, en específico para este análisis es el tubo que hace palanca ya que soporta la carga máxima que el mecanismo debe mover. Se tomó una carga de 400N, que es el doble de lo que soporta el sensor con mayor rango de fuerza. Y en este análisis de obtuvo de resultado un Factor de seguridad de 4,7 en la parte del mecanismo que se encarga de transmitir la fuerza del motor para proporcionar o retirar el peso que soportará el sensor.

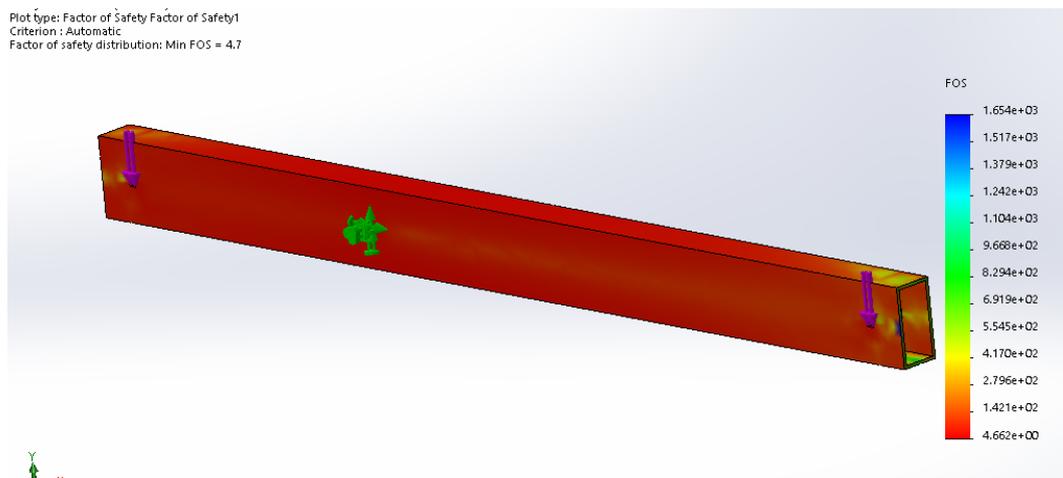


Figura 2.5 Análisis de fuerzas para conocer el factor de seguridad.

En [31] se usó TPU, debido a su flexibilidad y posibilidad de usar en una impresora 3D para obtener plantillas personalizadas con la forma del pie del paciente. Para la impresión de la base plana que se muestra en la figura 2.6 se usaron las mismas características de impresión que en [31].

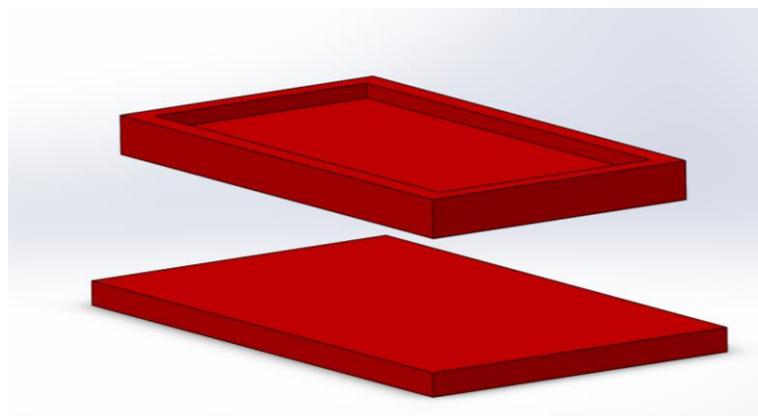
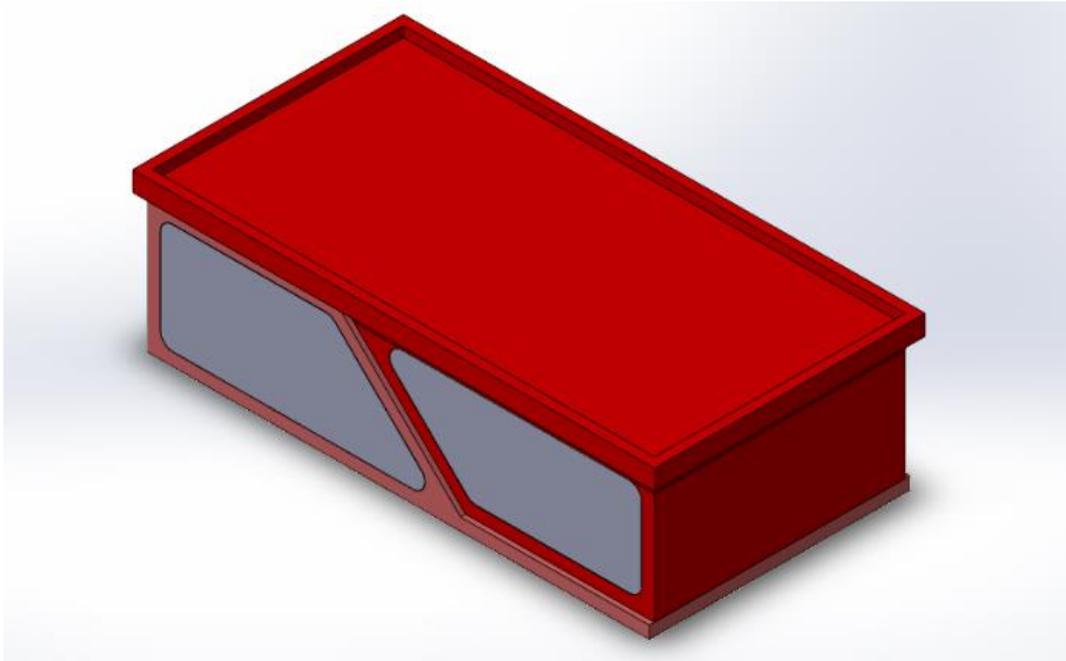


Figura 2.6 Plataformas en las que se colocará el sensor.

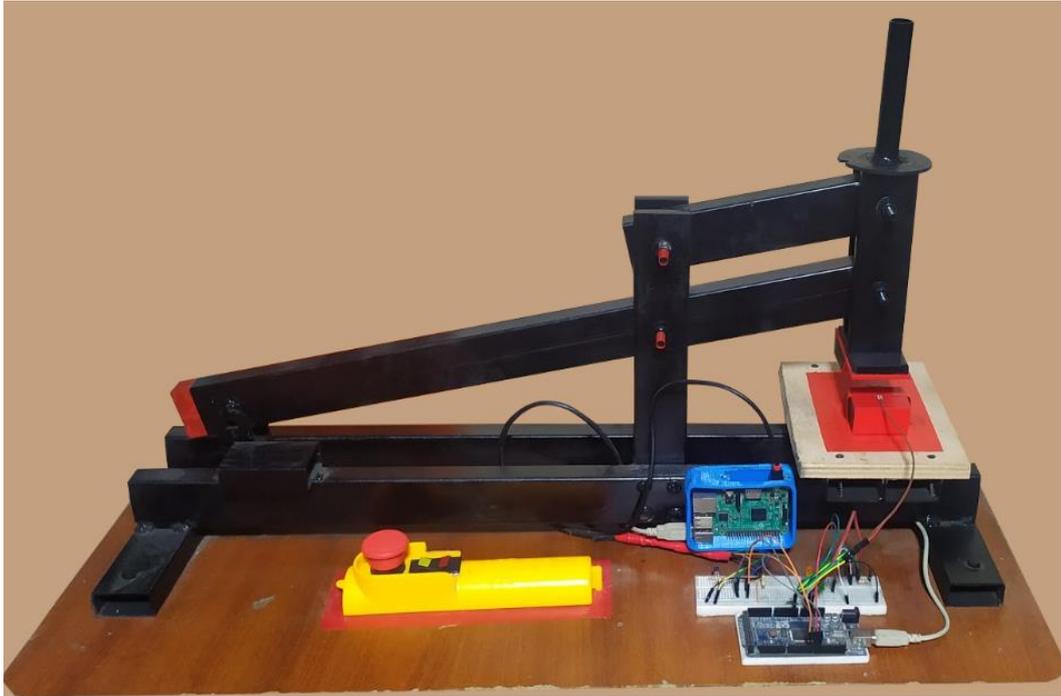
Para la base con ángulo de  $45^\circ$  que se muestra en la figura 2.7 también se usó TPU con las características de [31]. Y debido a que la impresión con este material tiene un precio más elevado, se decidió usar un relleno con PLA, teniendo en cuenta que el espesor entre el relleno del PLA y el sensor sea el mismo espesor que tiene la base plana de la figura 2.6.



*Figura 2.7 Plataforma con ángulo de  $45^\circ$  donde se colocará el sensor.*

## **2.6 Manufactura del mecanismo de Pruebas**

La manufactura del mecanismo se llevó a cabo siguiendo los planos en el prototipo CAD que se mostró en la sección 2.5. **Diseño CAD del mecanismo de pruebas**, y usando rodamientos en las partes móviles para evitar la fricción entre metales. Para ubicar los rodamientos se realizaron perforaciones no pasantes con el diámetro externo del rodamiento en las platinas de  $2 \times 1/2$  pulgadas.



*Figura 2.8 Mecanismo construido*

Para el área donde se ubica el sensor se usó el material TPU, con las mismas propiedades que se mencionan en la tesis de las plantillas personalizadas [31] para conocer el comportamiento de los sensores en relación con este tipo de material.

## **2.7 Configuración de Raspberry Pi**

La conexión entre la raspberry pi y el Arduino mega es por medio de uno de los puertos USB tipo A que tiene la placa raspberry pi 3 y la entrada USB tipo B que tiene la placa Arduino Mega2560 [35].

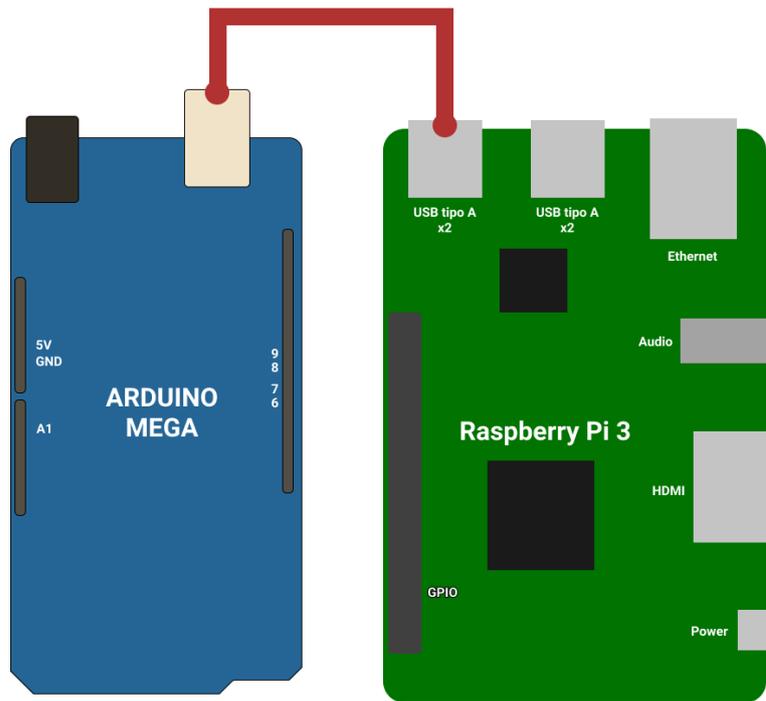


Figura 2.9 Diagrama de conexión entre Raspberry pi 3 y Arduino Mega2560.

Para que esta conexión funcione se debe primero configurar la raspberry. Usando el comando “sudo raspi-config” como se muestra en la Figura 2.10.

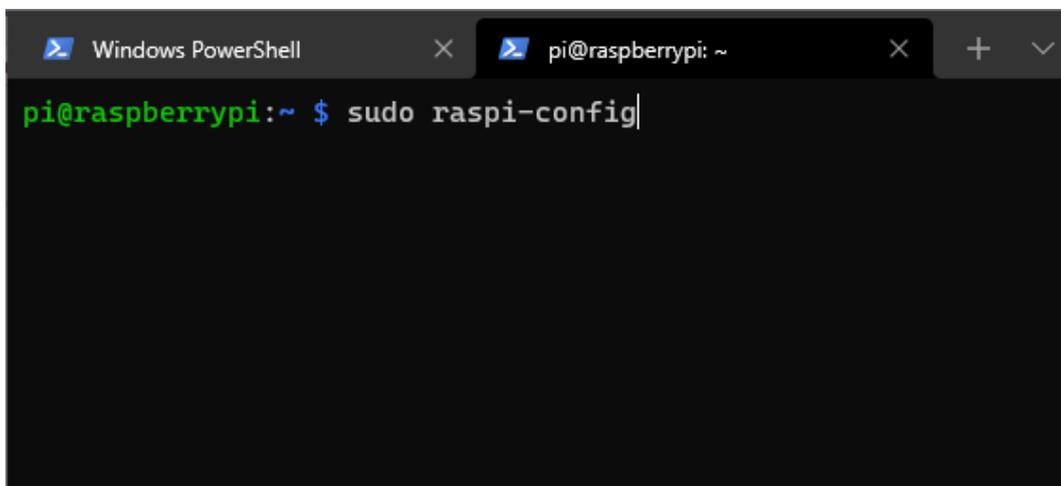


Figura 2.10 Comando que se debe escribir en la terminal de la placa raspberry pi 3.

Una vez ejecutado el comando “sudo raspi-config” se desplegará una pantalla con una serie de opciones, la primera opción a seleccionar es Interface Options, seguido de la opción Serial Port y por último confirmar la activación. Hecho esto se puede continuar con la programación para la placa Arduino y la placa Raspberry pi.

## 2.8 Programación de Raspberry y Arduino

Por medio de la comunicación serial, la placa Raspberry Pi 3 le enviará datos a la placa Arduino Mega2560 para que ejecute una de las acciones que consistían en que empiece, detenga o reanude el proceso de pruebas, controlando un motor AC por medio de relés de estado sólido. Al mismo tiempo, cuando el proceso estaba en marcha la tarjeta Arduino Mega2560 envía a la tarjeta raspberry un valor promedio de los valores que se detectaron en los 0,6 segundos que el sensor estaba soportando la fuerza establecida en el mecanismo.

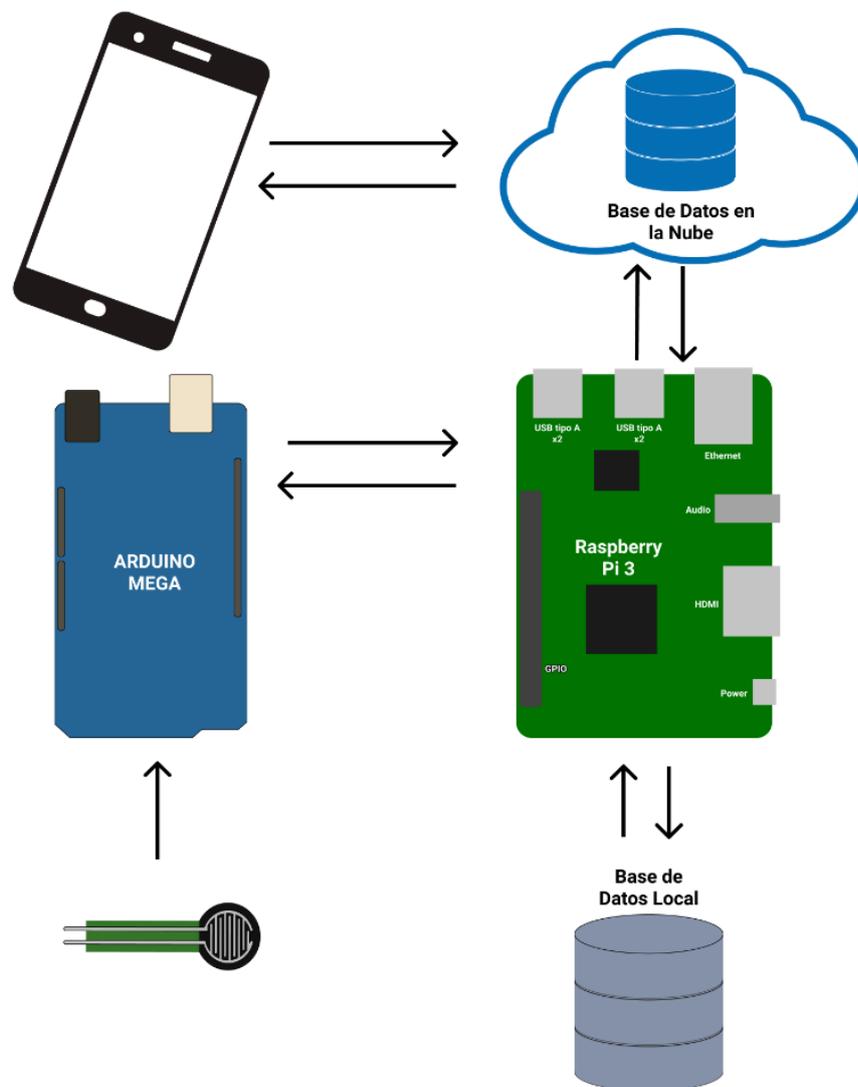


Figura 2.11 Diagrama de comunicación entre celular, base de datos, Raspberry pi 3, Arduino mega2560 y sensor de fuerza.

### 2.8.1 Arduino Mega2560

La programación en Arduino se llevó por medio del IDE de Arduino y se la realizó teniendo en cuenta un diagrama de flujo simplificado, que se puede ver en la figura 2.12, que trata sobre la secuencia que seguiría el microcontrolador al momento de estar conectada con la raspberry por medio de la entrada USB.

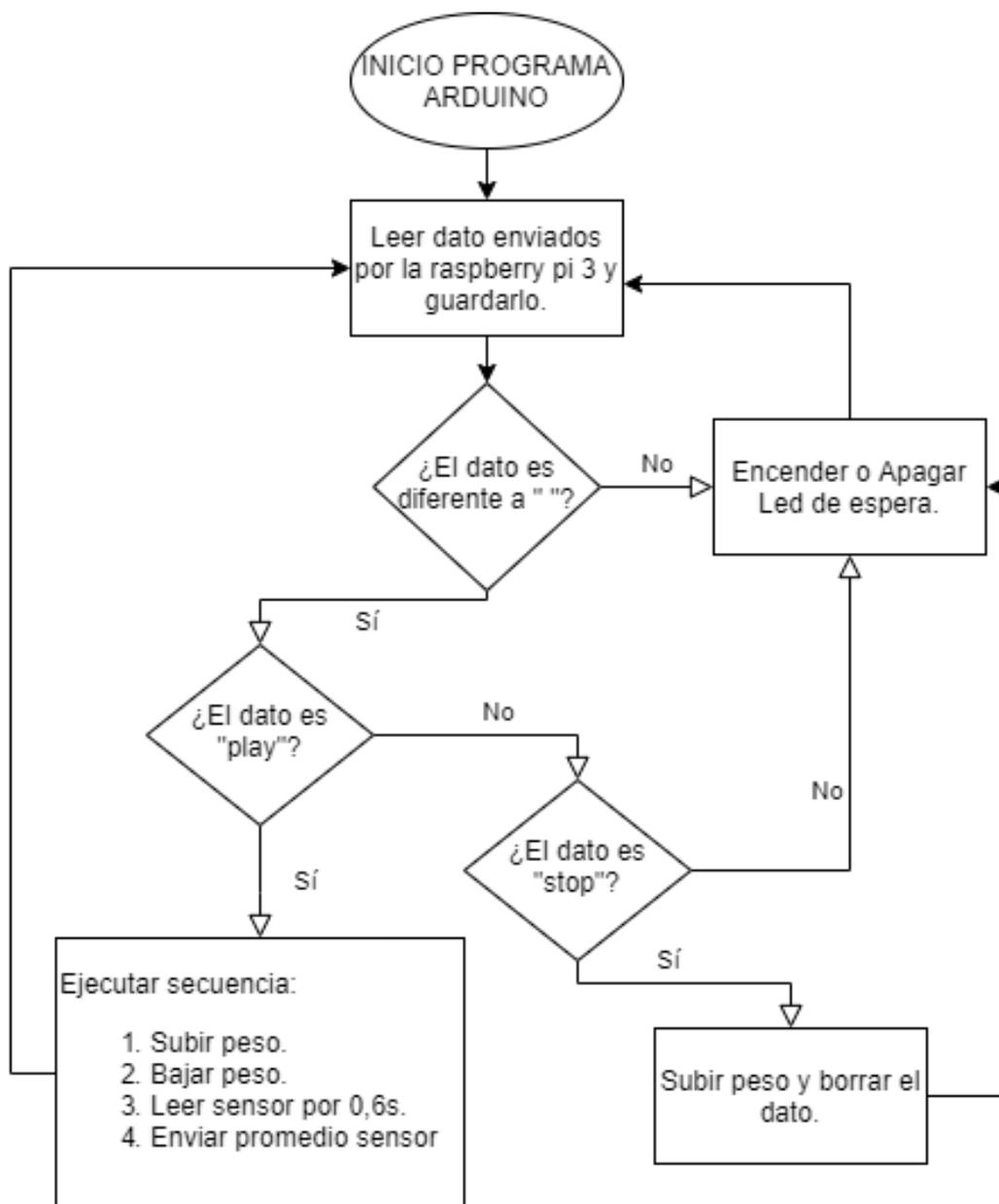


Figura 2.12 Diagrama de flujo del programa para la placa Arduino Mega2560

Así mismo en la programación se hará uso de dos Leds para indicar el estado de trabajo de la placa Arduino Mega2560. También se usarán relés de estado sólido para el

funcionamiento del motor que debe mover el peso que se le aplica al sensor. En la figura 2.13 se puede observar el diagrama de conexión de la placa Arduino Mega2560.

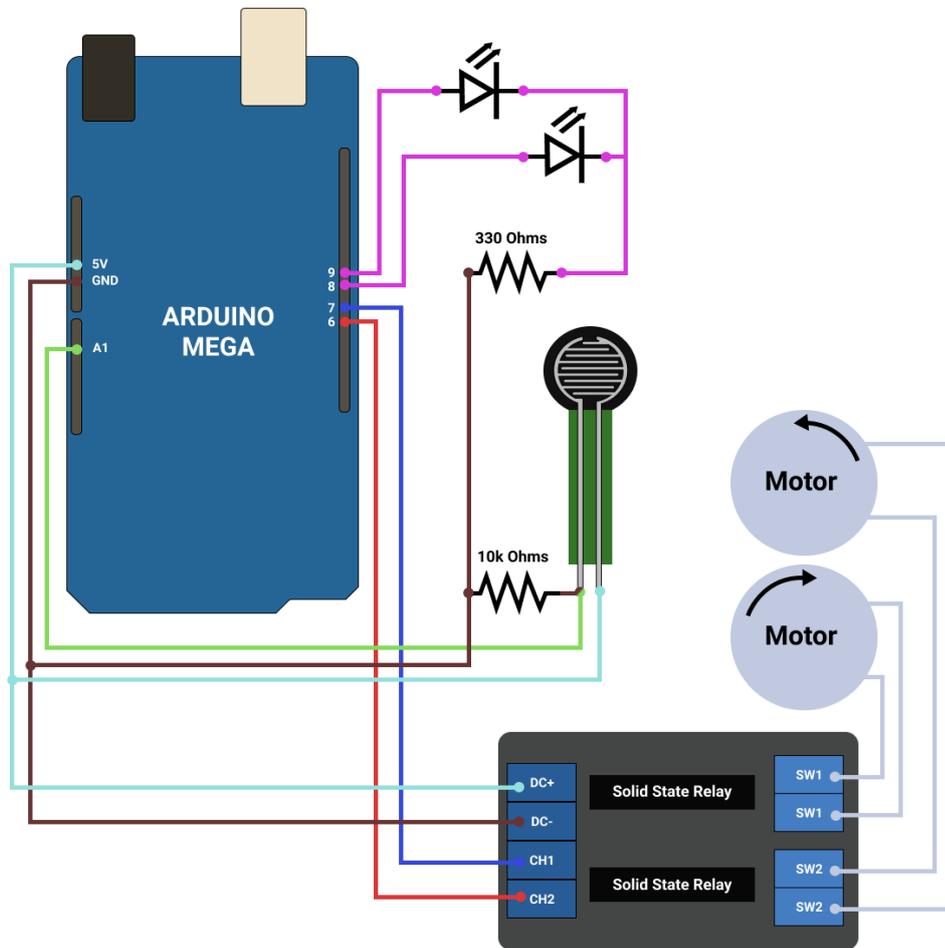


Figura 2.13 Diagrama de conexión entre Arduino Mega2560 y dispositivos externos.

### 2.7.2 Raspberry Pi 3

La programación en la raspberry se la realizó programando un script en el lenguaje de programación Python. El script principal fue realizado en base al diagrama de flujo que se muestra en la figura 2.14 y mejorándolo con cada prueba de funcionamiento, logrando optimizar el número de consultas a la API de Firestore para evitar exceder las 50000 lecturas en un día, usando multihilos y la secuencia que el programa debía seguir en caso de perderse la conexión con la placa Arduino Mega2560.

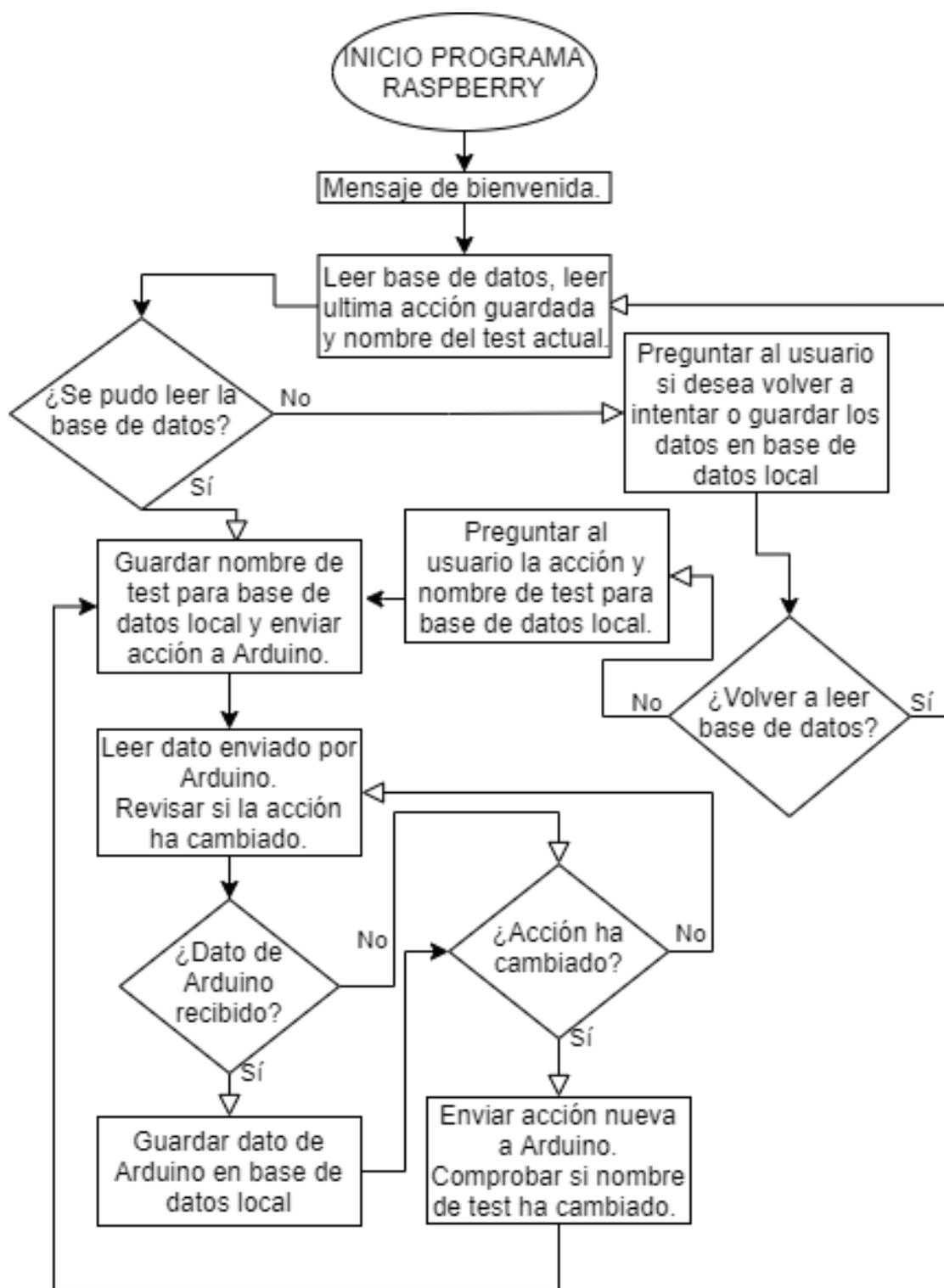


Figura 2.14 Diagrama de flujo de la programación para Raspberry pi 3.

Se usa también un ambiente virtual para ejecutar el script ya que esto permite instalar varias librerías sin afectar a todo el sistema, permitiendo instalar las librerías necesarias

sin que exista preocupación de que una de las librerías tenga problemas de compatibilidad con otra librería [36].

## 2.9 Programación de App Android

Para controlar el mecanismo de forma sencilla, se creó una App para el sistema Android que permite agregar una nueva prueba, poner en marcha el mecanismo, detener el mecanismo y también ver una gráfica de los valores que se han guardado en la base de datos de la nube.

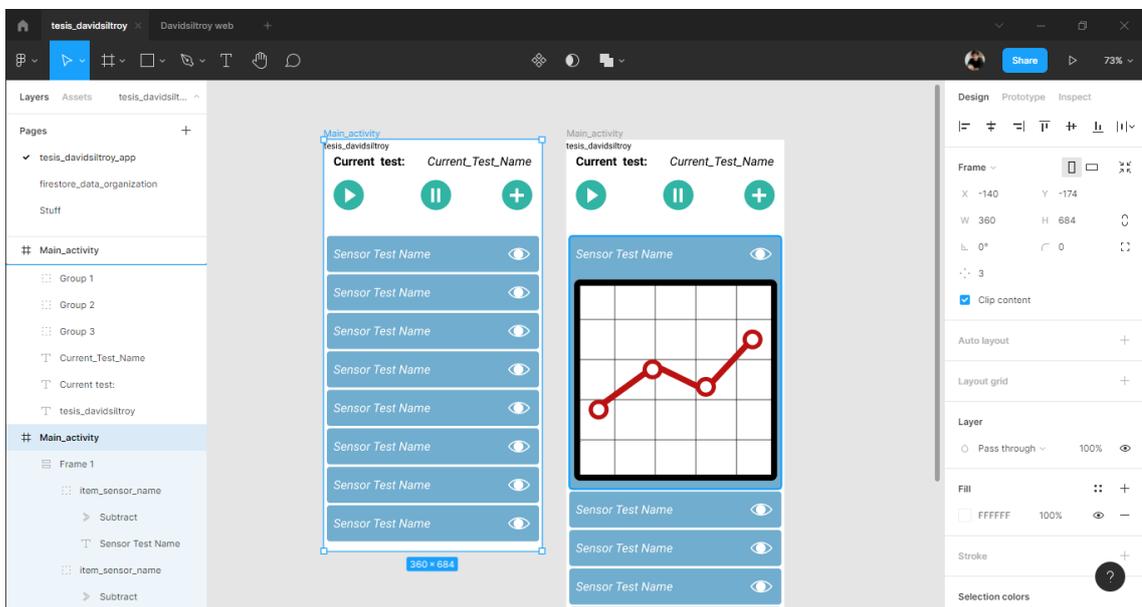


Figura 2.15 Interfaz de Figma con el diseño de la App Android.

Al desarrollar programas que cuentan con una interfaz de usuario para optimizar el tiempo el diseño de interfaz se lo realiza en otro programa que sea especializado en esta área, como lo es Figma [37]. De esta forma se optó por un diseño simple, como se muestra en la figura 2.15 y de acuerdo con los requisitos mencionados al inicio de la presente sección **2.9. Programación de App Android**, cumple con las funciones.

De esta forma se puede tener una mejor idea de la forma en la App se verá al abrirla en un celular, ya que Figma brinda una mejor idea de cómo se verá el diseño e incluso

proporcionando un pseudo funcionamiento de la aplicación si se hace el prototipado correctamente.

Una vez el diseño ha sido definido el diseño lo siguiente es desarrollarlo en el lenguaje XML usando Android Studios.

Para la lógica de programación y en base también a las especificaciones que se mencionan al inicio de la sección **2.9. Programación de App Android**, como se muestra en la figura 2.18 se observa un diagrama de flujo para el comportamiento que tendrá la App una vez empiece a funcionar en el dispositivo Android instalada.

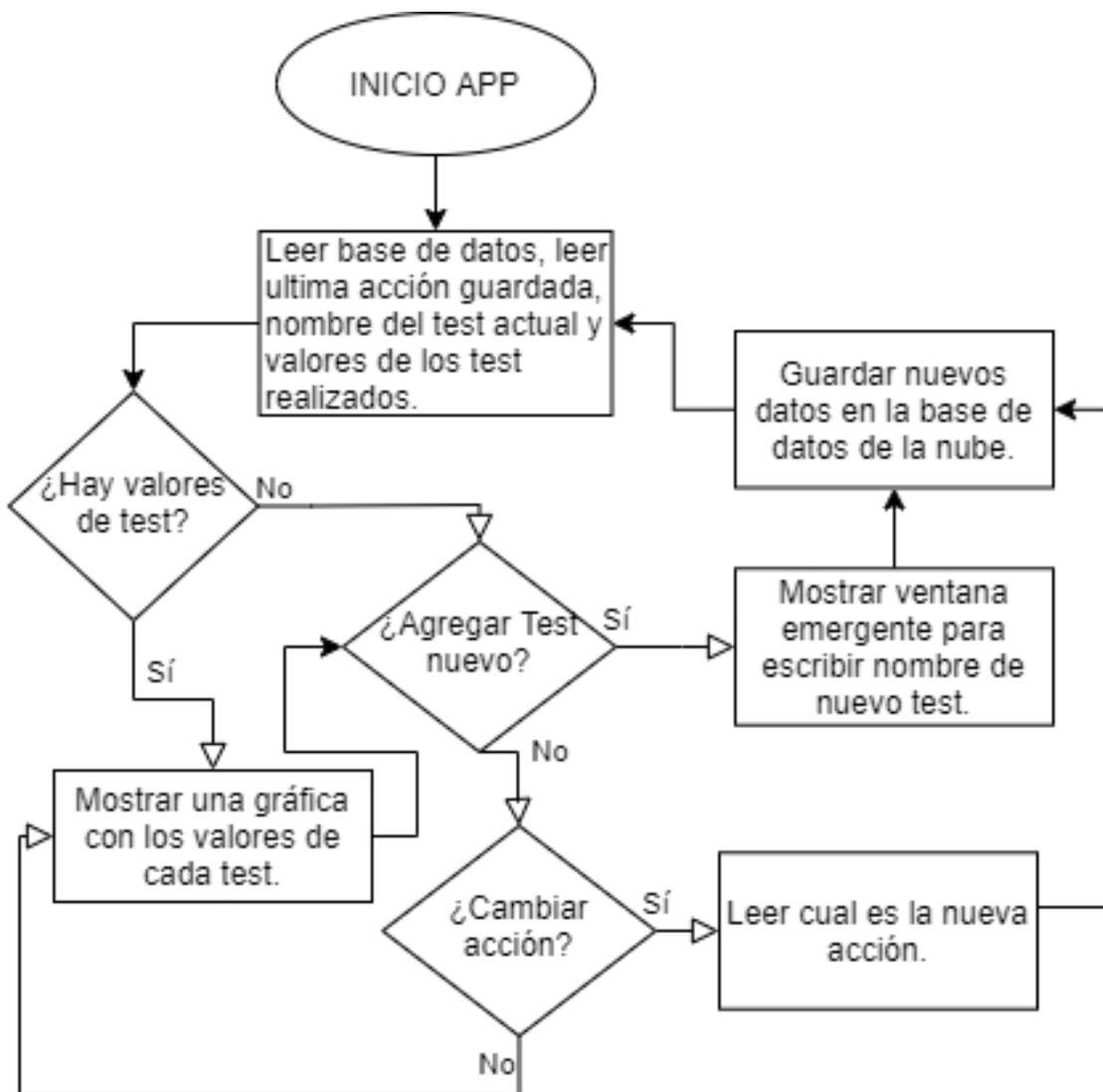


Figura 2.16 Diagrama de flujo para la programación de la App Android.

Para el comportamiento de la App se usó el lenguaje de programación Kotlin [38], con la ventaja de que actualmente Google le da soporte y la comunidad tiene varios ejemplos con proyectos que sirven para entender cómo usar mejor el lenguaje Kotlin.

Luego de realizar varias pruebas de funcionamiento para encontrar y corregir errores, se obtuvo una App funcional, como se muestra en la figura 2.19. En la App se agregó también una pantalla emergente que toma el nombre de una nueva prueba que se vaya a realizar, permitiendo cancelar la acción de ser necesario o guardar el nombre de una nueva prueba en la base de datos de Firestore.

La diferencia con los colores de la App desarrollada con respecto al diseño realizado en Figma se debe a que el celular contaba con tema oscuro, lo cual hace que la App también use colores para adaptarse y mostrar mejor el contenido. Todos estos colores pueden ser editados, pero en este caso se conservaron estos colores porque no afecta en el rendimiento de la App.

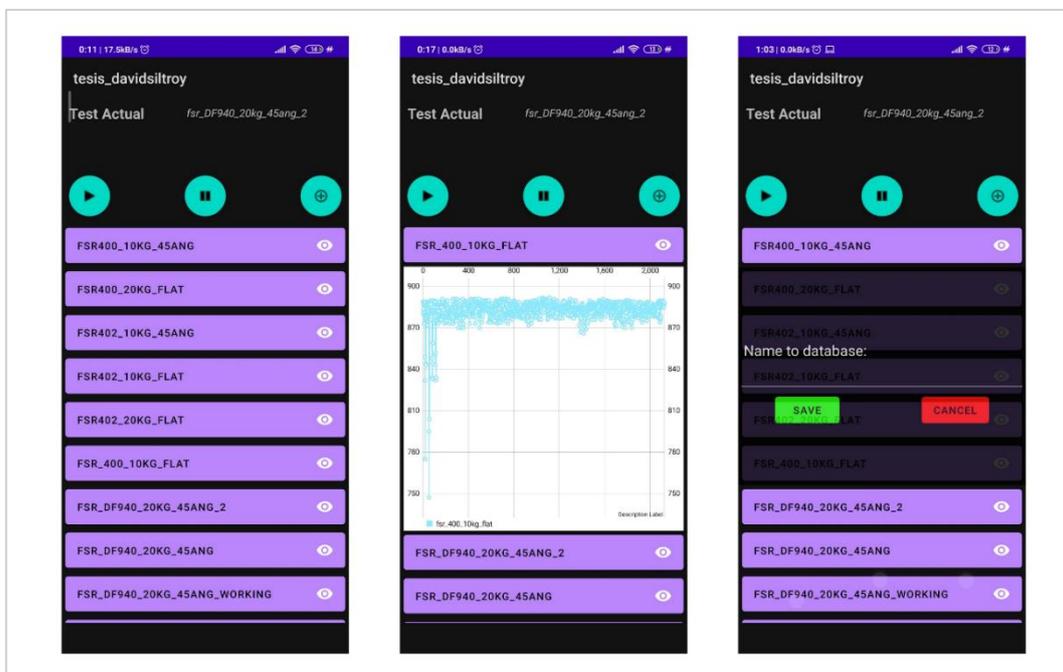


Figura 2.17 Capturas de pantalla para mostrar el funcionamiento de la App Android.

## 2.10 Resistencia vs fuerza de sensores en base a Datasheet.

Los fabricantes de los sensores hacen pruebas de estos para conocer los límites que estos pueden tener y su comportamiento, asegurando que su funcionamiento será el que está descrito en la hoja de datos para determinado rango de valores.

### 2.10.1 Gráfica de resistencia vs fuerza FSR serie 400

Los sensores FSR de la serie 400 cuentan con una guía de integración y catálogo de evaluación de partes, de ahí se puede ver una gráfica de resistencia vs fuerza que representa una descripción general del comportamiento de respuesta típico de un FSR trabajando desde los 10g hasta los 10kg [39].

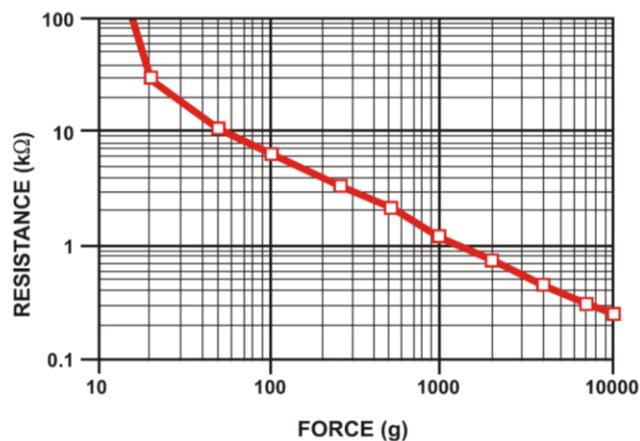


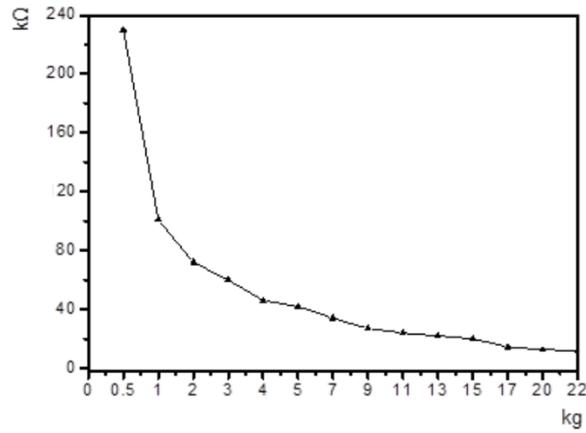
Figura 2.18 Gráfica de Resistencia vs Fuerza de sensores de la serie FSR400 [39].

En la figura 2.20 los resultados parecen adaptarse a una función logarítmica decreciente, donde se puede observar que para una fuerza de 10kg se tiene un valor aproximado a los 0.27 kΩ o 270 Ω.

### 2.10.2 Gráfica de resistencia vs fuerza sensor DF9-40

En la hoja de datos del sensor [33] se puede observar la gráfica de resistencia vs fuerza que nos proporciona la hoja de datos del sensor.

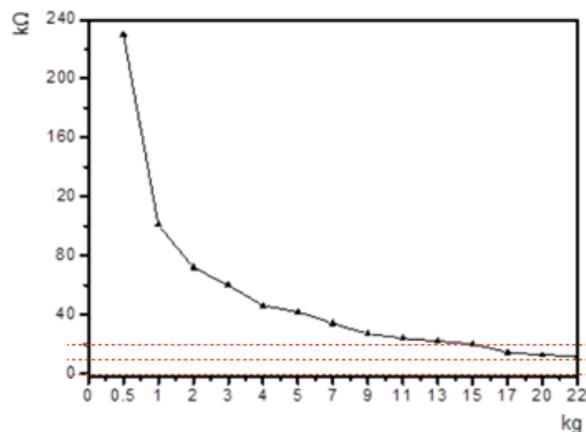
En la figura 2.21 los restados parecen adaptarse a una función logarítmica decreciente al igual que con los sensores de la serie 400, pero los valores de la resistencia para este sensor van de los  $0\Omega$  a  $240\text{ k}\Omega$  y llegando también a un máximo de  $22\text{kg}$ .



Pressure-sensitive Graph

Figura 2.19 Grafica de resistencia vs Fuerza de sensor DF9-40 [32].

En la figura 2.22 se trazaron 3 líneas paralelas al eje de las abscisas, en los valores 0, 10 y 20 de resistencia para conocer los valores en las presiones más altas. Así se asegura que los valores de la resistencia del sensor al tener una presión de  $20\text{kg}$  están alrededor de  $12\text{ k}\Omega$ .



Pressure-sensitive Graph

Figura 2.20 Grafica de resistencia vs Fuerza de sensores DF9-40 [32] con líneas punteadas paralelas al eje de las abscisas.

### 2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso

Para conocer el voltaje que debería estar dando el sensor en esos valores de resistencia se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Voltaje de sensor} = \frac{5\text{v} * (\text{R2})}{(\text{R2} + \text{R1})}$$

Donde:

- R1 es la resistencia variante del sensor.
- R2 es la resistencia de valor constante ubicada en el circuito.
- 5v el voltaje al que trabaja el sensor.

Se sabe que R2 es de 10 kΩ y los 5v los que proporciona la tarjeta Arduino Mega2650. Lo único que se debe hacer es reemplazar R1 por la resistencia que se debe tener a determinada fuerza y se obtienen los siguientes valores:

- FSR de serie 400 a 10kg debe dar más de 4.86v.
- Sensor DF9-40 a 20kg debe dar más de 2.27v.

Por último, se traza una línea en las gráficas antes obtenidas de cada sensor en el valor de entrada analógica que debería leer según el voltaje que está recibiendo por el sensor.

Para esto se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Valor de lectura del sensor} = \frac{1023 * (\text{Valor de sensor})}{5\text{v}}$$

Así se determinan los valores que se deberían estar recibiendo:

- FSR de serie 400 a 10kg debe dar más de 994.
- Sensor DF9-40 a 20kg debe dar más de 464.

Sin embargo, a pesar de que los valores de los sensores FSR de serie 400 deben ser mayores a 994, se están obteniendo valores menores a 889 e incluso al doble del peso, 20kg, se obtiene como máximo 927.

Así mismo con el sensor DF9-40 a pesar de que los valores deben ser mayores a 464, se están obteniendo valores menores a 293 y menores a 368 con el sensor al doble del peso que resiste, a 40kg.

Ya que la fuerza se está aplicando en un área más grande que el área que tiene el sensor en su totalidad, esta se distribuye por toda la superficie. Por lo que de la fuerza total que se está aplicando, sólo una parte está cayendo sobre el sensor y además de eso del área total del sensor sólo el área circular es la que se encarga de medir la fuerza.

Para conocer la fuerza que está recibiendo el área del sensor que mide la fuerza se hace un cálculo con la fórmula de presión:

$$Presión = \frac{Fuerza}{Área}$$

Lo único que se necesita saber es el área de los sensores que mide la fuerza y el área de la superficie donde estuvieron los sensores.

Las pruebas se hicieron en 3 superficies con diferentes áreas:

- Área 1: 63mm\*23mm = 1449mm<sup>2</sup>
- Área 2: 47mm\*23mm = 1081mm<sup>2</sup>
- Área 3: 111mm\*51mm = 5661mm<sup>2</sup>

Las áreas activas de los sensores son:

- Área FSR 400: 20,27mm<sup>2</sup>

- Área FSR 402: 169,26mm<sup>2</sup>
- Área DF9-40: 44.18mm<sup>2</sup>

Se puede conocer la fuerza específica que caerá en el área activa del sensor con los valores de las áreas de las superficies en las que se ubican los sensores y la fuerza aplicada en cada una de estas áreas. En la Tabla 2 se observan estos parámetros y los resultados.

**Tabla 2**

Distribución del peso según el área de activación del sensor y área de la superficie donde se aplica la fuerza

Área	Peso (kg)	FSR400	FSR402	DF9-40
1449mm <sup>2</sup>	10	0,139kg	1,168kg	-----
1449mm <sup>2</sup>	20	0,263kg	2,196kg	-----
1081mm <sup>2</sup>	20	-----	-----	0,817kg
1081mm <sup>2</sup>	40	-----	-----	1,635kg

*Nota:* Esta tabla muestra el área usada en la medición de cada sensor, el peso total aplicado y el peso distribuido que recibe cada sensor en el área activa de este.

Lo mismo se hace con la superficie que tiene una inclinación de 45°, en la Tabla 3 se observan los parámetros y los resultados.

**Tabla 3**

Distribución del peso según el área de activación del sensor y área de la superficie donde se aplica la fuerza a 45°

Área	Peso (kg)	FSR400	FSR402	DF9-40
5661mm <sup>2</sup>	10kg a 45°	0,036kg	0,299kg	-----
5661mm <sup>2</sup>	20kg a 45°	-----	-----	0,156kg

*Nota:* Esta tabla muestra el área usada en la medición de cada sensor, el peso total aplicado y el peso distribuido que recibe cada sensor en el área activa de este.

En base a los resultados de la distribución del peso en los sensores, se hace uso nuevamente de la gráfica del fabricante, en la figura 2.20 y la figura 2.22, para obtener los valores se deben recibir en el pin de lectura análogo del Arduino Mega2560.

**Tabla 4**

Datos teóricos que se deben obtener según la distribución del peso y el área

Sensor	Peso[kg]	Resistencia[k $\Omega$ ]	Voltaje[v]	Valor
FSR400(45°)	0,036	16	1.92	393
FSR400(10kg)	0,139	5,5	3.22	660
FSR400(20kg)	0,263	3,3	3,75	769
FSR402 (45°)	0,299	3	3,85	786
FSR402(10kg)	1,168	1,15	4,48	917
FSR402(20kg)	2,196	0,72	4,66	954
DF9-40(20kg)	0,817	130	0,36	73
DF9-40(40kg)	1,635	82	0.54	111

*Nota:* Esta tabla muestra el peso que recibe cada sensor en el área activa, la resistencia según el peso que recibe, el voltaje que debería tener y el valor analógico que la placa Arduino debería recibir.

## Capítulo III

### 3. Resultados

#### 3.1 Valores obtenidos por los sensores

Se realizaron 1000 repeticiones seguidas de suministrar y retirar los valores de fuerza especificados, en los cuales se guardó el valor promedio de un número de lecturas hechos al sensor en los 0,6 que el sensor se encontraba en presión.

Con los datos obtenidos en las 1000 repeticiones en los sensores, se pudo obtener una serie de valores para formar la tabla 5 donde se puede observar el valor máximo, mínimo, promedio y el valor de salto máximo entre dos puntos en cada sensor.

**Tabla 5**

Valores tomados en base a los resultados de 1000 repeticiones suministrando y retirando fuerza a los diferentes sensores

Sensor	Valor máximo	Valor mínimo	Valor promedio	Salto máximo
FSR400(10kg)	889	866	882	11
FSR400(20kg)	894	864	886	4
FSR400(45°)	767	591	712	16
FSR402(10kg)	414	116	361	108
FSR402(20kg)	927	884	910	12
FSR402(45°)	779	642	736	49
DF9-40(20kg)	278	87	227	43
DF9-40(40kg)	368	234	308	125
DF9-40(45°)	293	230	263	44

Nota: Esta tabla muestra lo que la placa Arduino ha recibido en la entrada analógica, teniendo para cada sensor un valor máximo, valor mínimo, valor promedio y el salto máximo registrado entre valores continuos.

Los valores obtenidos por la entrada análoga de la placa Arduino Mega2560, van desde el 0 hasta el 1023, esto es en referencia al voltaje obtenido, siendo 1023 el valor más alto de voltaje, 5 voltios [40].

Por lo cual se puede usar la siguiente fórmula para saber el voltaje que está leyendo el Arduino:

$$\text{Voltaje de sensor} = \frac{5\text{v} * (\text{Valor de lectura del sensor})}{1023}$$

### 3.1.1 Sensor FSR400 a 10kg en superficie plana

En la figura 3.1 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor FSR400 con 10kg de fuerza en la superficie plana de 1449mm<sup>2</sup>, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 866 para el valor más bajo hasta a los 889 para el valor más alto.

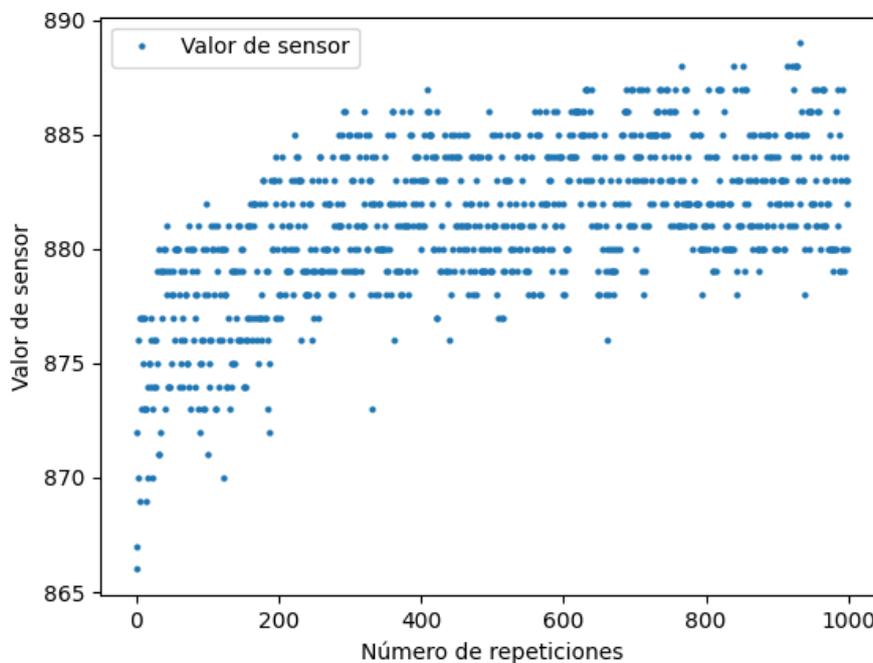


Figura 3.1 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR400 a 10kg en 1000 repeticiones

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 4,23v y un máximo de 4,34v aproximadamente.

En la figura 3.2 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor FSR400 en donde una de las líneas se encuentra en 660 que es el valor real según el peso de 10kg distribuido en la superficie de 1449mm<sup>2</sup> en donde se ubica el sensor y los 994 que se deben recibir si el sensor recibe los 10kg directamente en el área activa.

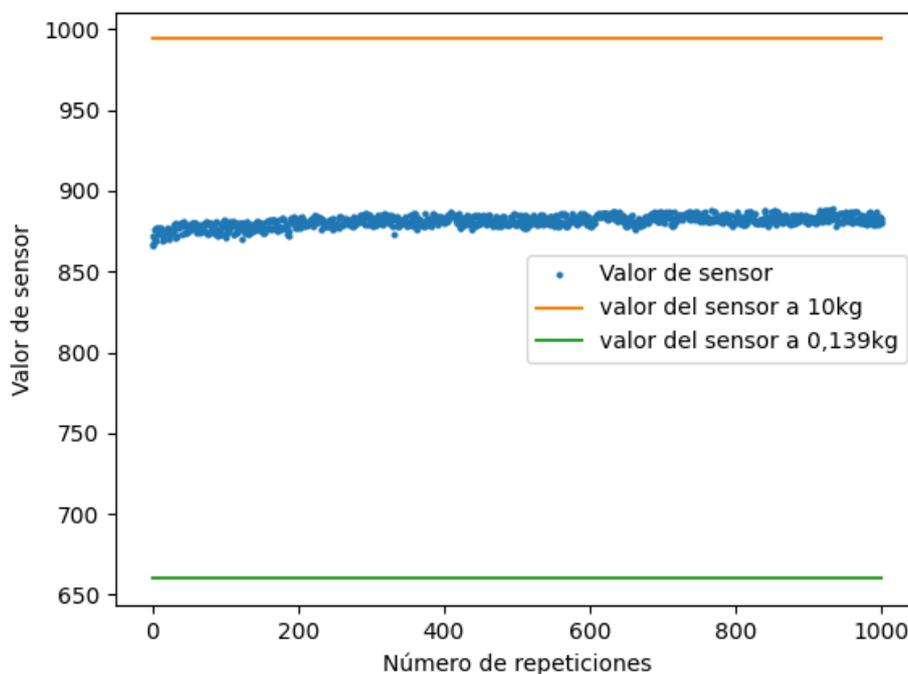


Figura 3.2 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR400 a 10kg

### 3.1.2 Sensor FSR 400 a 20kg en superficie plana

En la figura 3.3 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor FSR400 con 20kg de fuerza en la superficie plana de 1449mm<sup>2</sup>, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 864 para el valor más bajo hasta a los 894 para el valor más alto.

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 4,22v y un máximo de 4,37v aproximadamente.

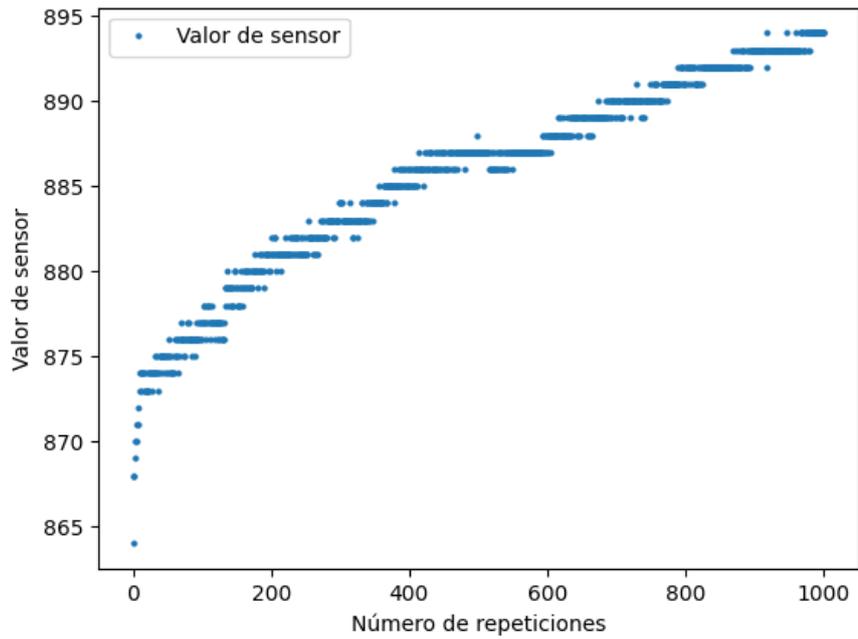


Figura 3.3 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR400 a 20kg en 1000 repeticiones

En la figura 3.4 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor FSR400 en donde una de las líneas se encuentra en 769 que es el valor real según el peso de 20kg distribuido en la superficie de 1449mm<sup>2</sup> en donde se ubica el sensor y los 994 que se deben recibir si el sensor recibe los 10kg directamente en el área activa.

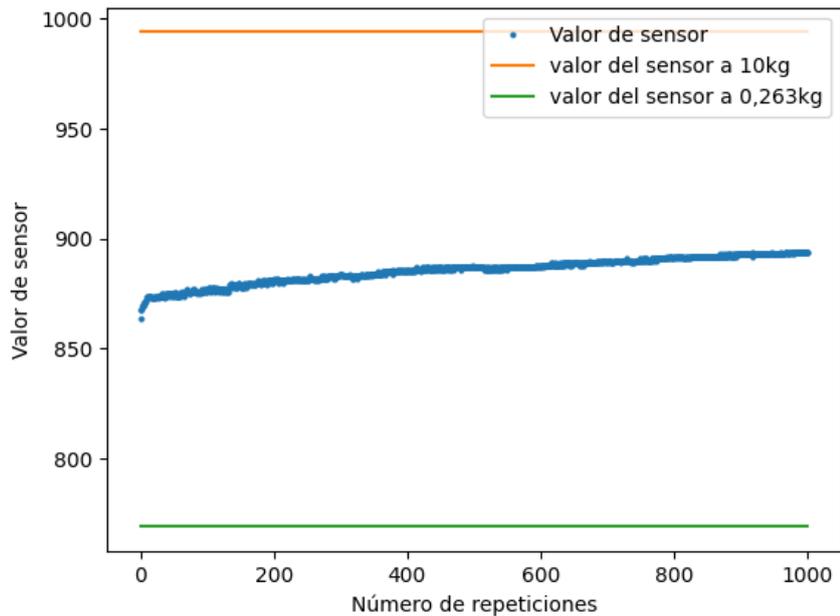
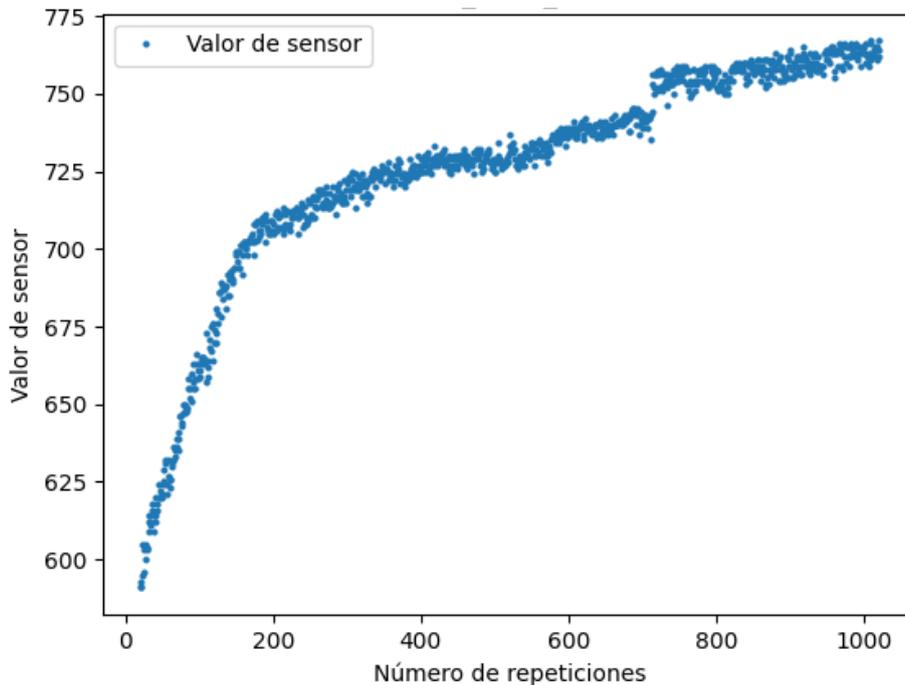


Figura 3.4 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR400 a 20kg

En la figura 3.5 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor FSR400 con 10kg de fuerza en la superficie de 5661mm<sup>2</sup> con un ángulo de 45°, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 591 para el valor más bajo hasta a los 767 para el valor más alto.



*Figura 3.5 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR400 a 10kg a 45° en 1000 repeticiones*

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 2,89v y un máximo de 3,74v aproximadamente.

En la figura 3.6 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor FSR400 en donde una de las líneas se encuentra en 393 que es el valor real según el peso de 20kg distribuido en la superficie de 5661mm<sup>2</sup> en donde se ubica el sensor y los 994 que se deben recibir si el sensor recibe los 10kg directamente en el área activa.

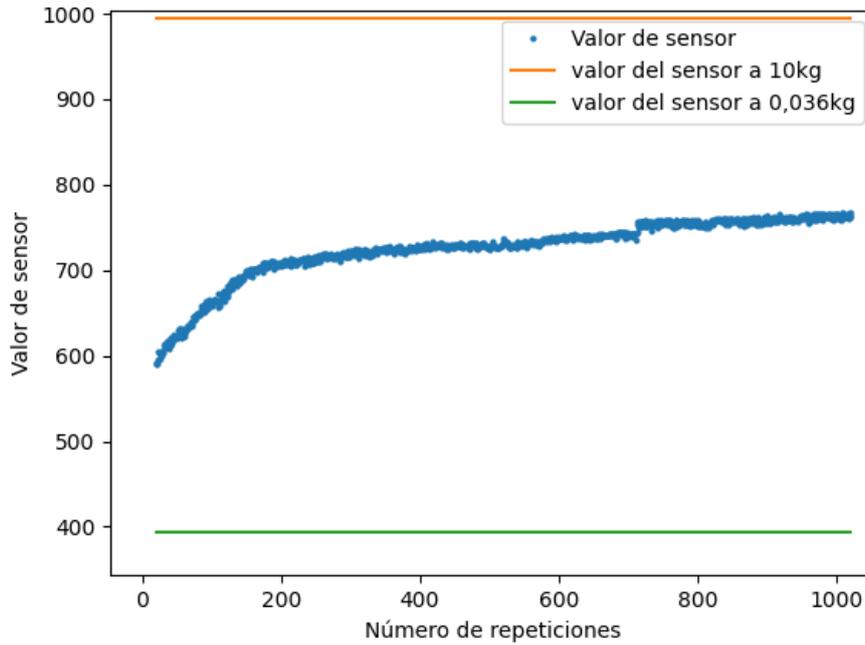


Figura 3.6 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR400 a 10kg y 45°

### 3.1.3 Sensor FSR 402 a 10kg en superficie plana

En la figura 3.7 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor FSR402 con 10kg de fuerza en la superficie plana de 1449mm<sup>2</sup>, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 116 para el valor más bajo hasta a los 414 para el valor más alto.

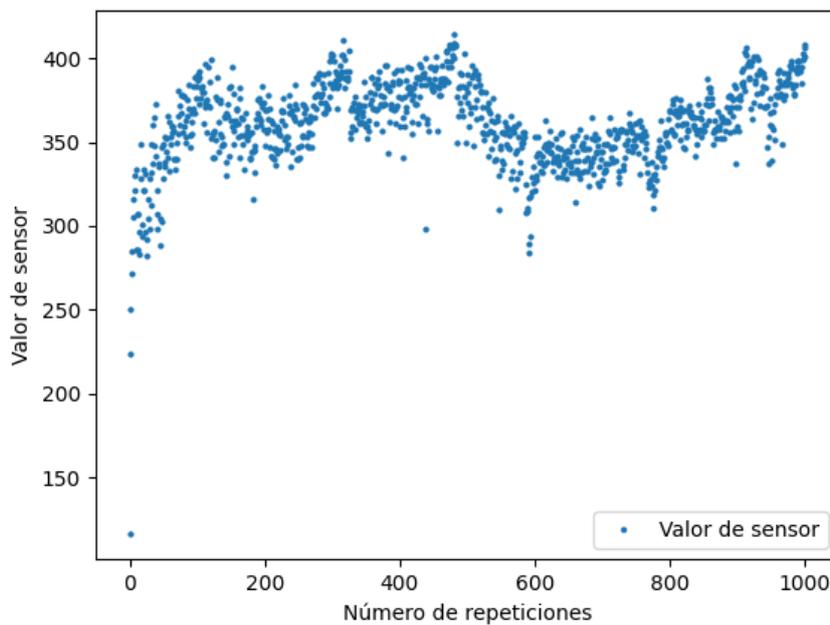


Figura 3.7 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR402 a 10kg en 1000 repeticiones

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 0,57v y un máximo de 2,02v aproximadamente.

En la figura 3.8 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor FSR402 en donde una de las líneas se encuentra en 917 que es el valor real según el peso de 10kg distribuido en la superficie de 1449mm<sup>2</sup> en donde se ubica el sensor y los 994 que se deben recibir si el sensor recibe los 10kg directamente en el área activa.

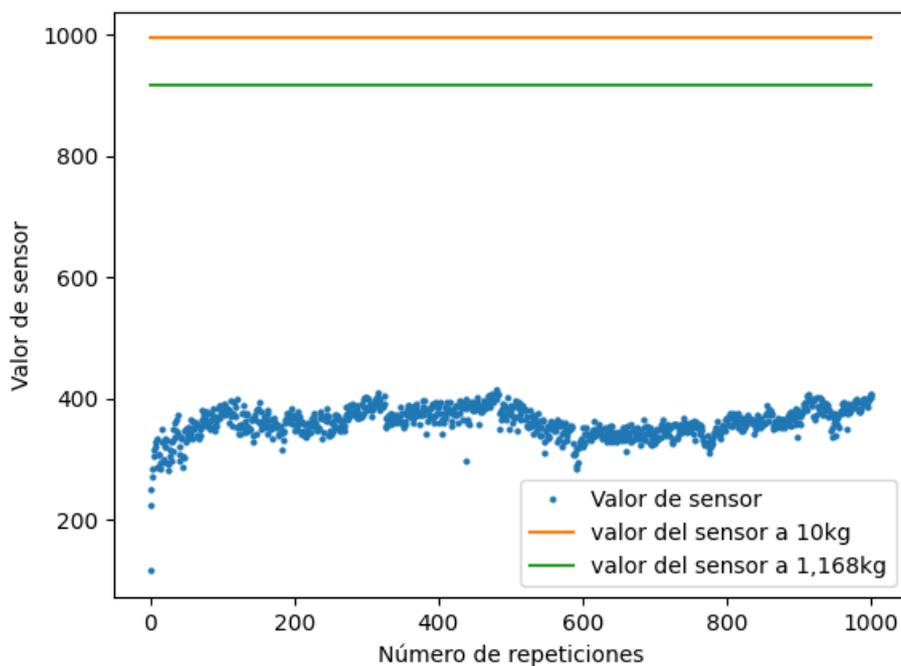


Figura 3.8 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR402 a 10kg

### 3.1.4 Sensor FSR 402 a 20kg en superficie plana

En la figura 3.9 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor FSR402 con 20kg de fuerza en la superficie plana de 1449mm<sup>2</sup>, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 884 para el valor más bajo hasta a los 927 para el valor más alto.

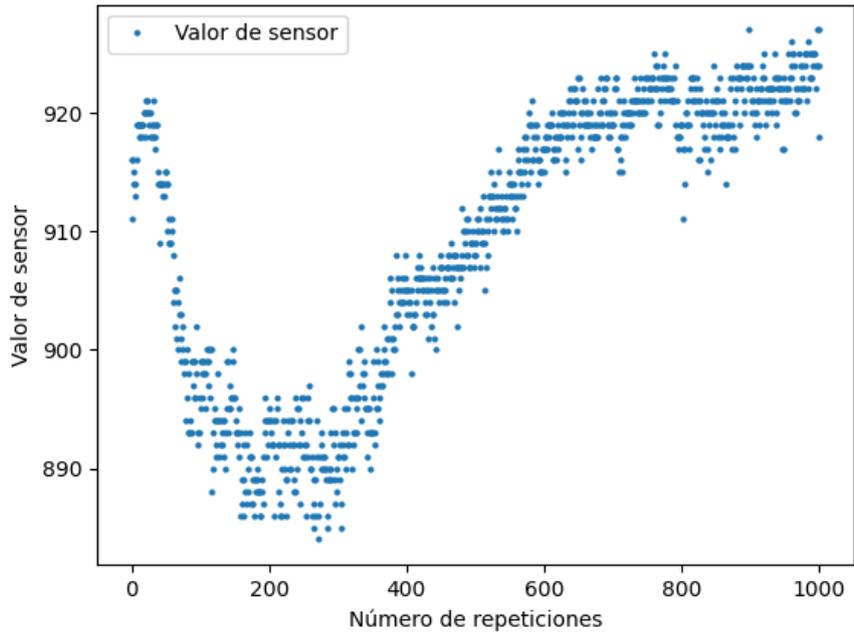


Figura 3.9 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR402 a 20kg en 1000 repeticiones

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 4,32v y un máximo de 4,53v aproximadamente.

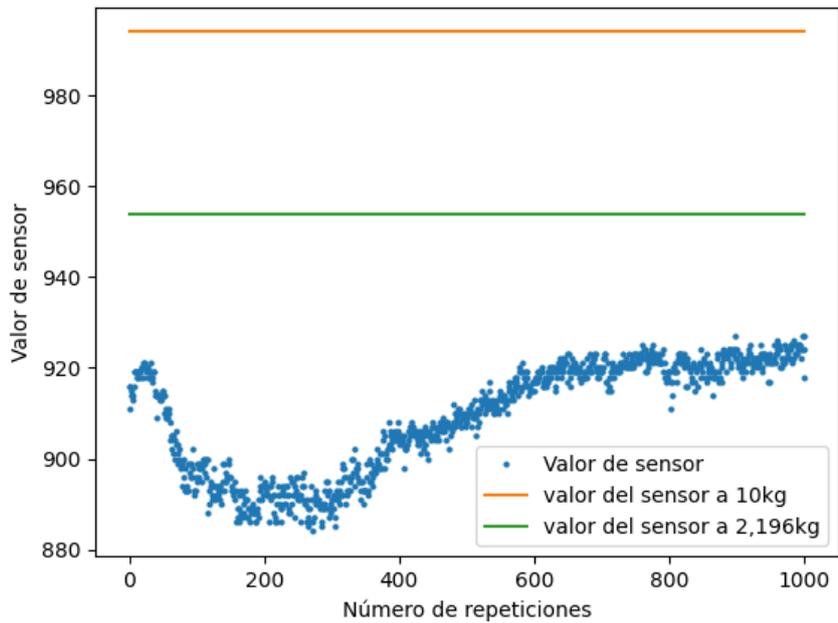


Figura 3.10 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR402 a 20kg

En la figura 3.10 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor FSR402 en donde una de las líneas se encuentra en 958 que es el valor real según el peso de 20kg distribuido en

la superficie de  $1449\text{mm}^2$  en donde se ubica el sensor y los 994 que se deben recibir si el sensor recibe los 10kg directamente en el área activa.

### 3.1.5 Sensor FSR 402 a 10kg en superficie a $45^\circ$

En la figura 3.11 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor FSR402 con 10kg de fuerza en la superficie de  $5661\text{mm}^2$  con un ángulo de  $45^\circ$ , los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 642 para el valor más bajo hasta a los 779 para el valor más alto.

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 3,14v y un máximo de 3,81v aproximadamente.

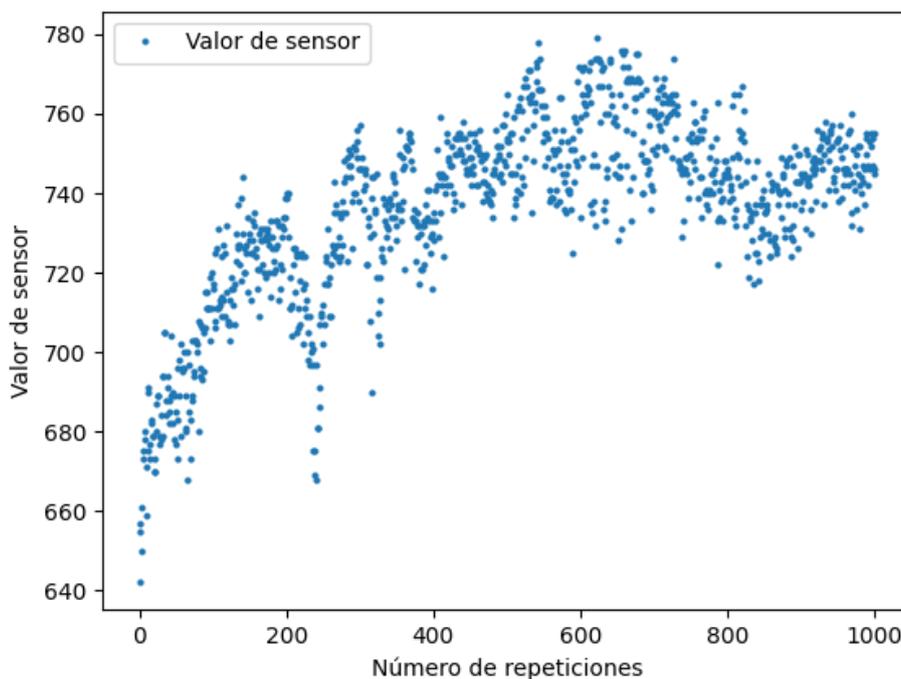


Figura 3.11 Valores puntuales obtenidos del sensor FSR402 a 10kg a  $45^\circ$  en 1000 repeticiones

En la figura 3.12 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor FSR402 en donde una de las líneas se encuentra en 786 que es el valor real según el peso de 10kg distribuido en la superficie de  $5661\text{mm}^2$  en donde se ubica el sensor y los 994 que se deben recibir si el sensor recibe los 10kg directamente en el área activa.

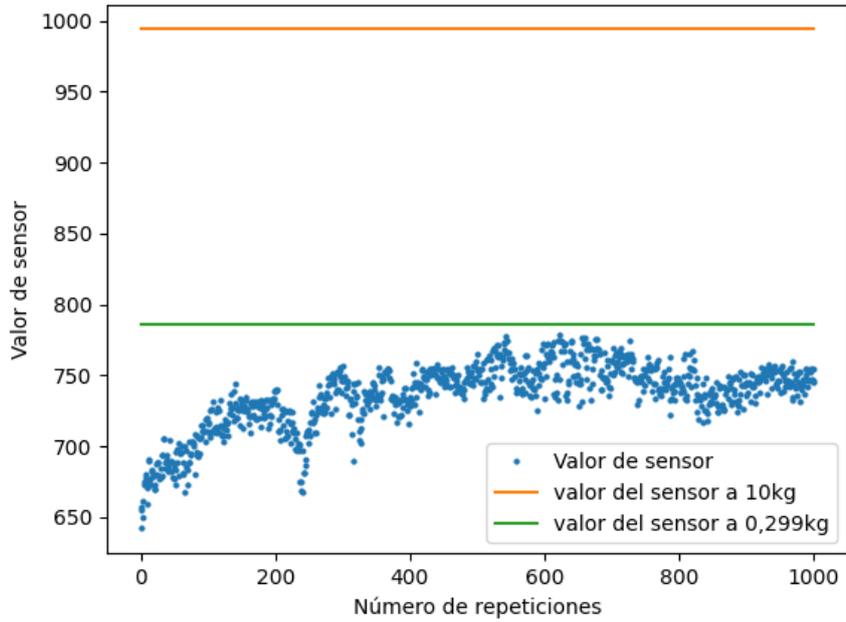


Figura 3.12 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor FSR402 a 10kg a 45°

### 3.1.6 Sensor DF9-40 a 20kg en superficie plana

En la figura 3.13 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor DF9-40 con 20kg de fuerza en la superficie plana de 1081mm<sup>2</sup>, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 87 para el valor más bajo hasta a los 278 para el valor más alto.

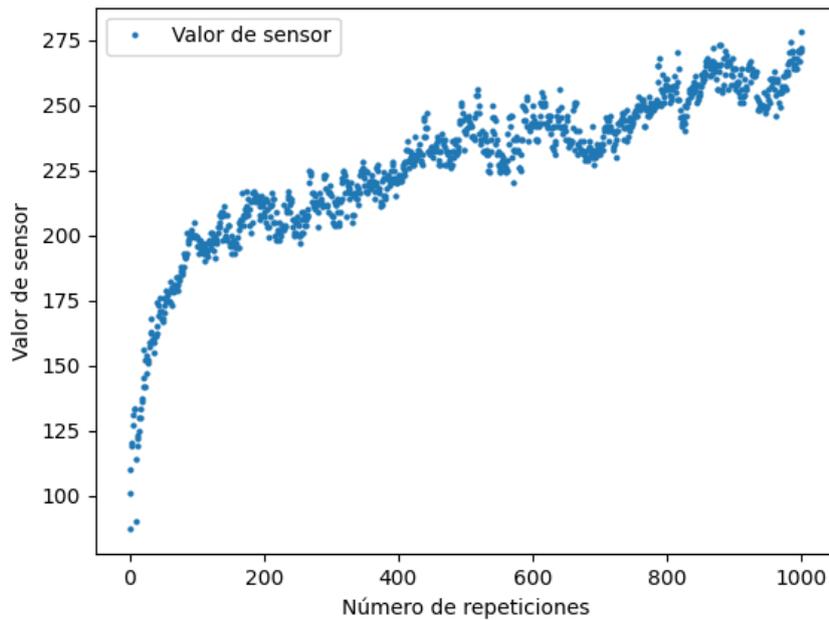


Figura 3.13 Valores puntuales obtenidos del sensor DF9-40 a 20kg en 1000 repeticiones

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 0,43v y un máximo de 1,36v aproximadamente.

En la figura 3.14 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor DF9-40 en donde una de las líneas se encuentra en 73 que es el valor real según el peso de 20kg distribuido la superficie de 1564mm<sup>2</sup> donde se ubica el sensor y los 464 que se recibirán si el sensor estuviera recibiendo los 20kg en el área activa únicamente.

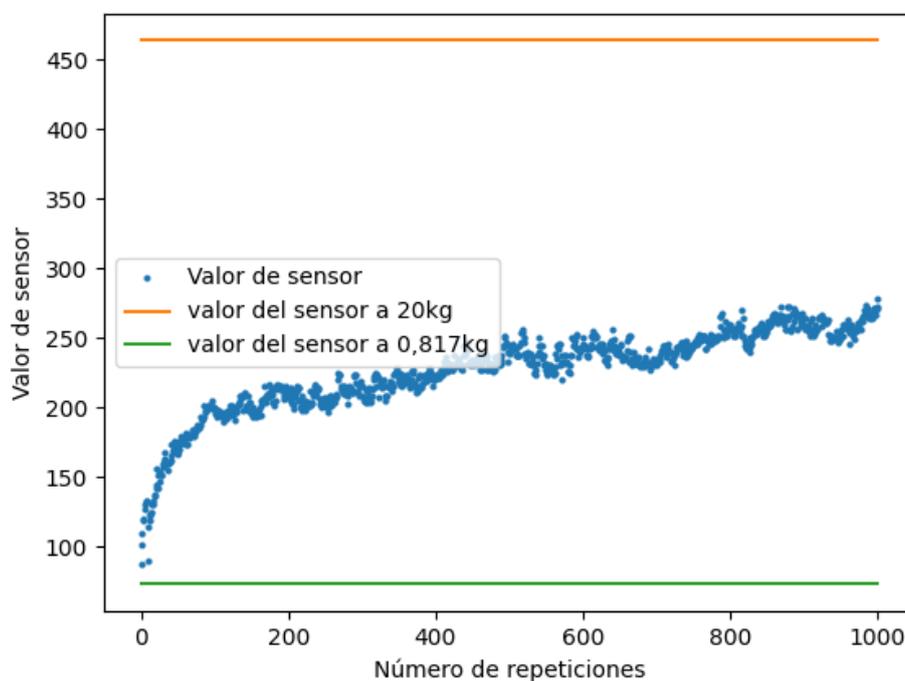


Figura 3.14 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor DF9-40 a 10kg

### 3.1.7 Sensor DF9-40 a 40kg en superficie plana

En la figura 3.15 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor DF9-40 con 40kg de fuerza en la superficie plana de 1081mm<sup>2</sup>, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 234 para el valor más bajo hasta a los 368 para el valor más alto.

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 1,14v y un máximo de 1,8v aproximadamente.

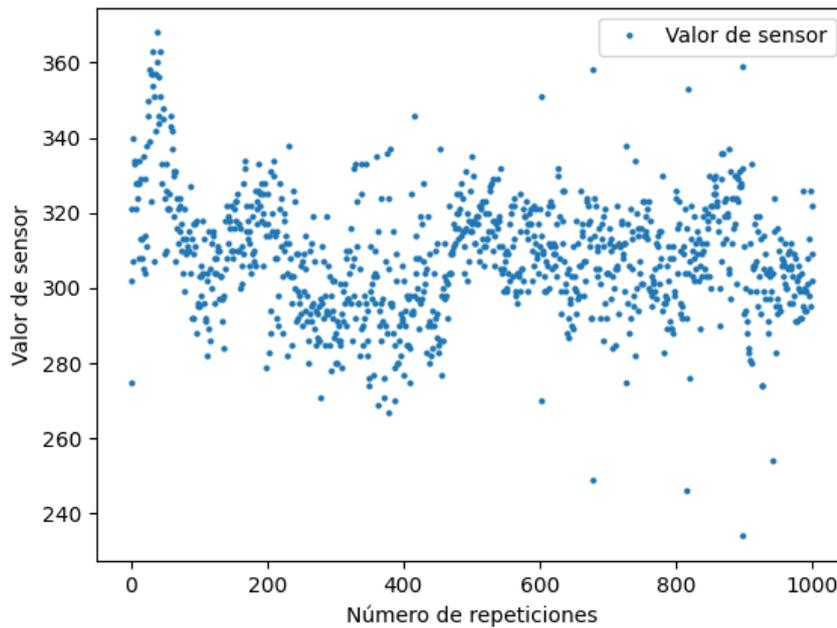


Figura 3.15 Valores puntuales obtenidos del sensor DF9-40 a 40kg en 1000 repeticiones

En la figura 3.16 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor DF9-40 en donde una de las líneas se encuentra en 111 que es el valor real según el peso de 40kg distribuido la superficie de  $1564\text{mm}^2$  donde se ubica el sensor y los 464 que se recibirán si el sensor estuviera recibiendo los 20kg en el área activa únicamente.

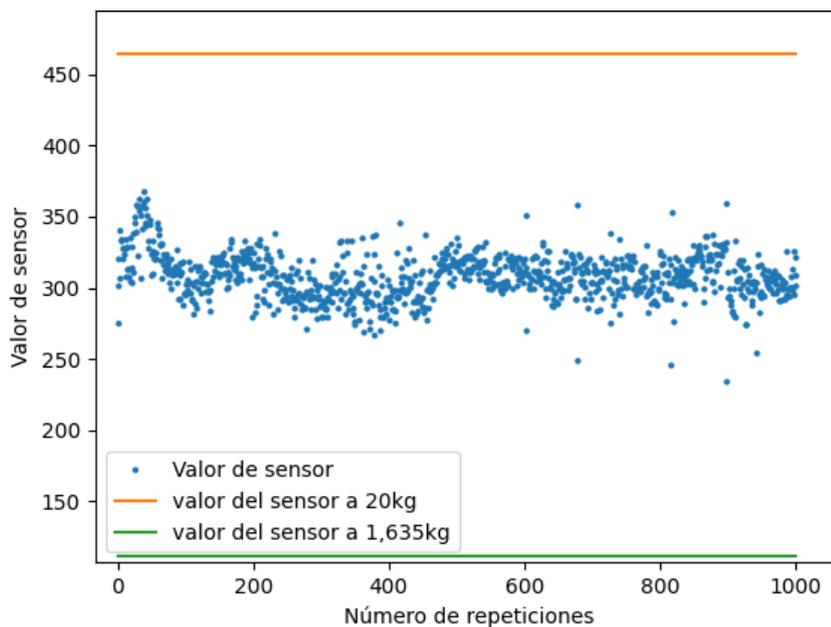


Figura 3.16 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor DF9-40 a 40kg

### 3.1.8 Sensor DF9-40 a 20kg en superficie a 45°

En la figura 3.17 se puede observar una serie de valores puntuales del sensor DF9-40 con 20kg de fuerza en la superficie de 5661mm<sup>2</sup> con un ángulo de 45°, los valores en el eje de las ordenadas que están dentro de un rango que va de los 230 para el valor más bajo hasta a los 293 para el valor más alto.

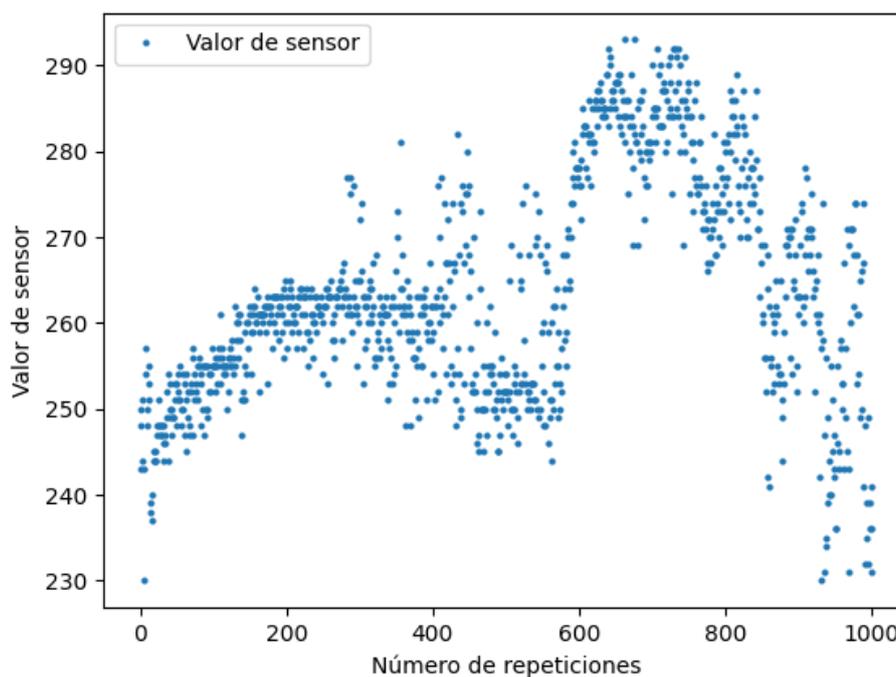


Figura 3.17 Valores puntuales obtenidos del sensor DF9-40 a 20kg a 45° en 1000 repeticiones

En base a los resultados también se puede saber que se obtiene un mínimo de 1,12v y un máximo de 1,43v aproximadamente.

En la figura 3.18 se trazaron 2 líneas paralelas al eje de abscisas, en base a la sección **2.10.3 Valores Teóricos esperados según el peso**, para el sensor DF9-40 en donde una de las líneas se encuentra en 111 que es el valor real según el peso de 40kg distribuido la superficie de 1564mm<sup>2</sup> donde se ubica el sensor y los 464 que se recibirán si el sensor estuviera recibiendo los 20kg en el área activa únicamente.

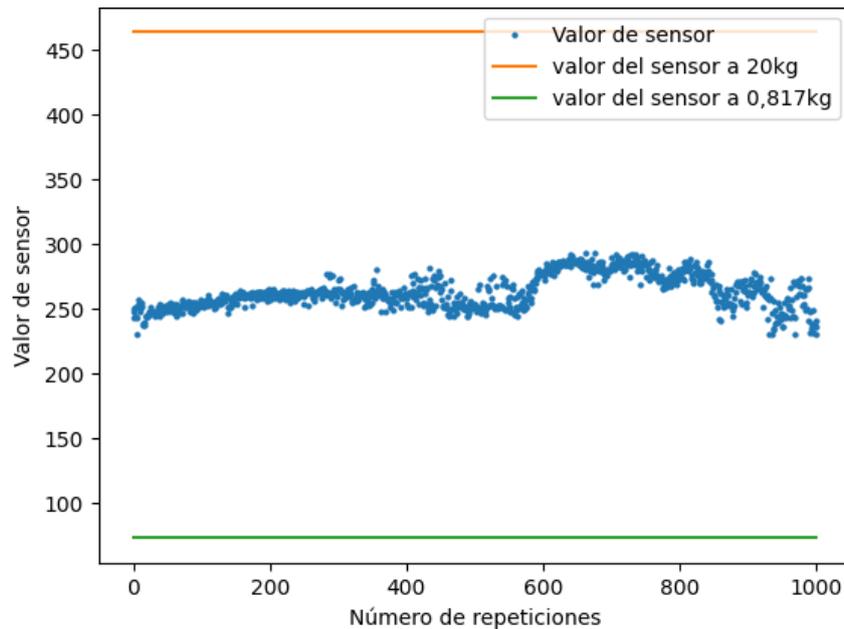


Figura 3.18 Valores puntuales y rectas de valores teóricos de sensor DF9-40 a 20kg y 45°

### 3.2 Análisis de los valores obtenidos por los sensores

Lo que se busca en este análisis es conocer el comportamiento que tiene el sensor en un determinado número de repeticiones para así determinar hasta qué punto el sensor nos da valores erróneos y poder determinar un tiempo de vida útil en el sensor al llevarlo al límite de la fuerza que resiste.

Algo que se debe recalcar es que se desconoce hasta qué punto el material de la superficie donde se ubica el sensor, el TPU, afecta a los valores que recibe el sensor, ya que al ser un material flexible la forma en la que se deforma puede estar distribuyendo las fuerzas de forma distinta a los cálculos antes establecidos.

#### 3.2.1 Aplicando la máxima fuerza en sensores

El comportamiento es distinto en cada sensor debido al área activa que posee y la capacidad máxima de fuerza que soporta, siendo para el sensor DF9-40 de 20kg, mientras que para los sensores de la serie 400 es de 10kg.

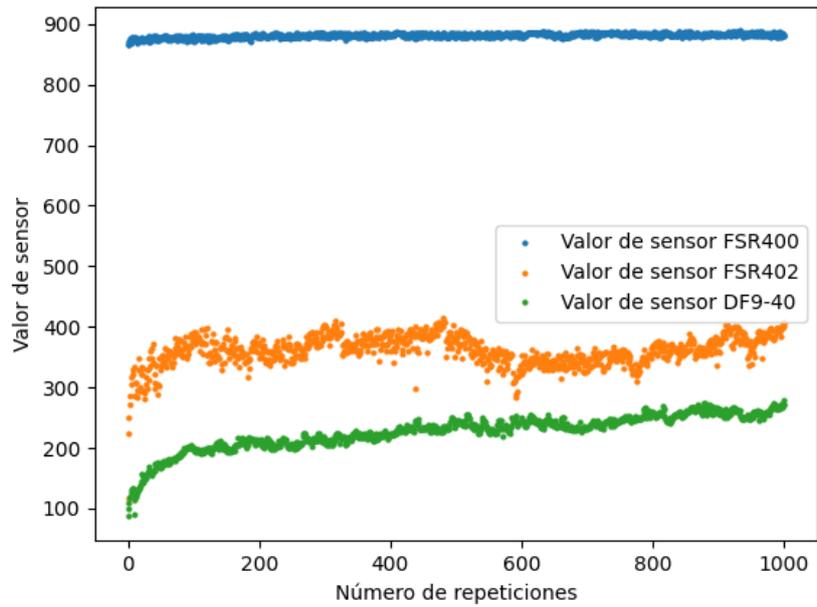


Figura 3.19 Comparación de los 3 sensores aplicando la máxima fuerza que resisten

En la figura 3.19 se puede observar que los valores de los sensores se comportan como una función logarítmica al inicio. Siendo el sensor DF9-40 el que mejor representa esta curva, mientras que el sensor FSR400 tiene los valores más estables casi siguiendo una función recta y por último el sensor FSR402 que tiene los valores más erráticos, teniendo un rango más amplio que los otros sensores entre sus valores.

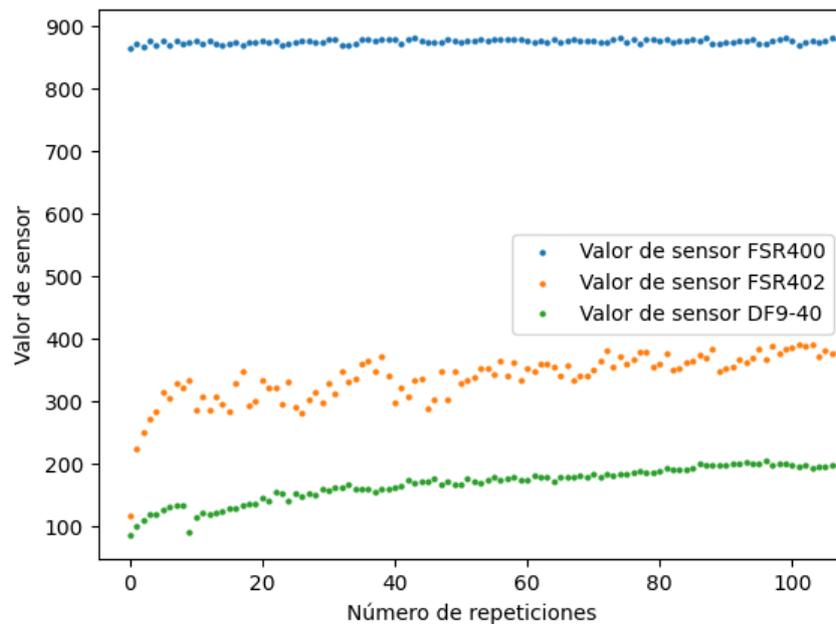


Figura 3.20 Comparación de los 3 sensores en las 100 primeras repeticiones aplicando la máxima fuerza que resisten

En la figura 3.20 se puede observar que en las primeras 100 repeticiones, los sensores DF9-40 y FSR402 pierden continuidad desde la octava repetición, siendo el sensor FSR402 el que continuaría con esta discontinuidad mientras que el sensor DF9-40 no mostraría una discontinuidad igual o mayor en el resto de las mediciones.

En esta prueba el sensor FSR400 se mantuvo funcionando en un rango aceptable sin mostrar una discontinuidad tan grande como los otros sensores.

### 3.2.2 Aplicando el doble de la máxima fuerza en sensores

En esta prueba se busca saber si el exceder la fuerza que soporta el sensor, distribuida por toda la superficie donde se encuentra este, lo estropearía perdiendo la conexión u obteniendo valores discontinuos.

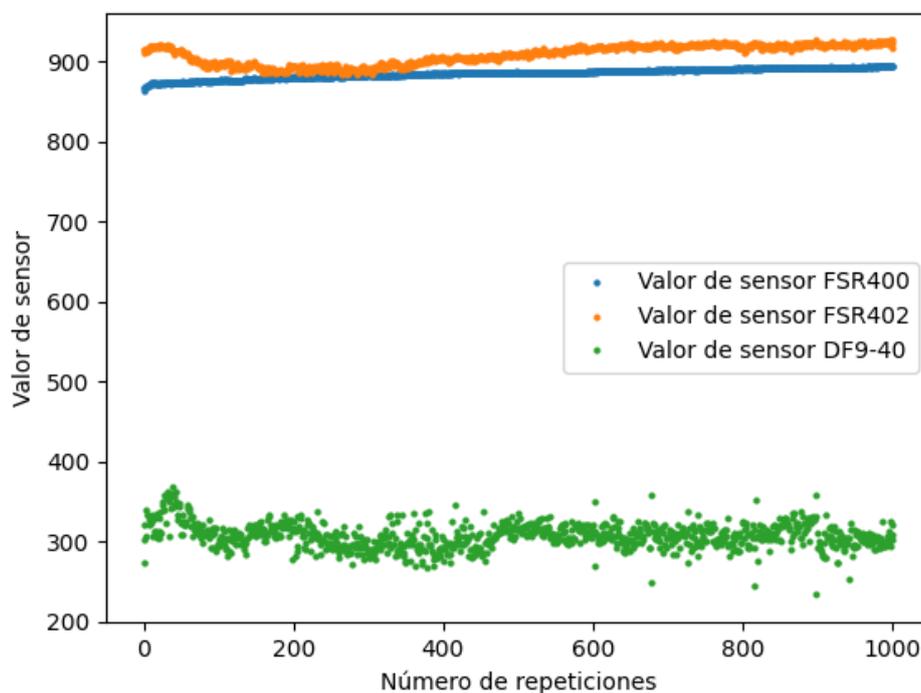


Figura 3.21 Comparación de los 3 sensores aplicando el doble de la máxima fuerza que resisten

En la figura 3.21 los valores de los sensores FSR de la serie 400 se mantienen cercanos en comparación a la discontinuidad de los valores con el sensor DF9-40. Aquí se puede observar que los valores del sensor FSR400 parecen seguir una recta ascendente, mientras

que en los valores del sensor FSR402 se observa una pequeña caída entre las 50 y 500 repeticiones, donde parece volver a estabilizarse.

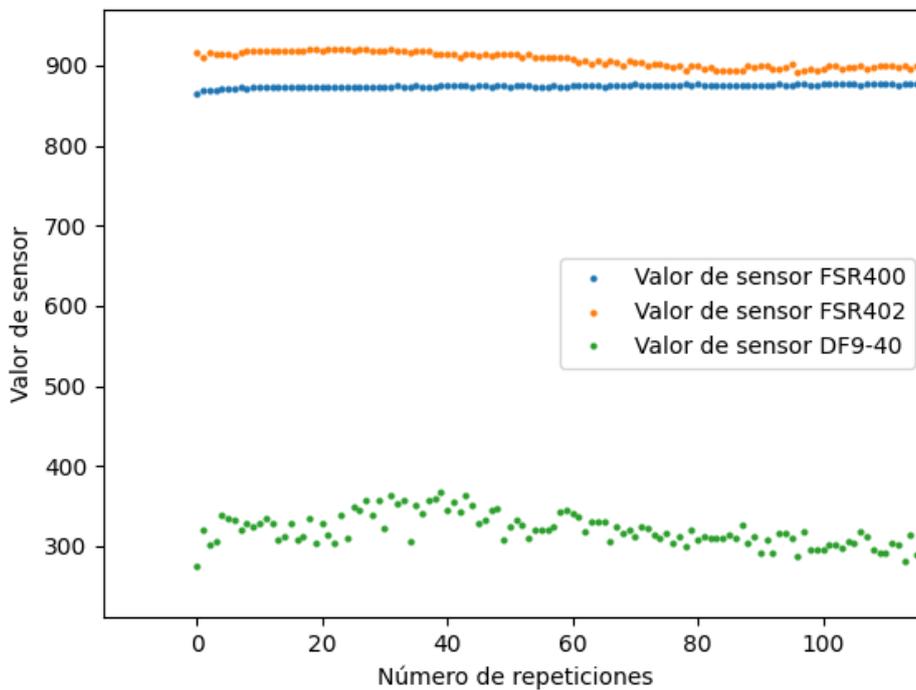


Figura 3.22 Comparación de los 3 sensores en las 100 primeras repeticiones aplicando el doble de la máxima fuerza que resisten

Al hacer un acercamiento a los 100 primeros valores obtenidos de los sensores, como se muestra en la figura 3.22, se puede observar que los valores del sensor DF9-40 desde el inicio presentan una alta discontinuidad en comparación a los sensores FSR de la serie 400 que, a pesar de empezar casi con una misma distancia paralela, desde la repetición número 40 empieza a ser visible una caída en los valores obtenidos con la misma fuerza.

### 3.2.3 Aplicando la máxima fuerza en sensores a 45°

Debido a que los sensores van ubicados en plantillas flexibles y que las partes del pie en las que se ubican pueden llegar a formar un ángulo de 45° en relación a la superficie del suelo por la cual se camina, estas pruebas son para determinar de qué forma esto afecta a los valores que da el sensor.

Lo primero que se puede observar es que hay un cambio notable en el registro de datos, sin embargo, esto se debe a que el área de la superficie es distinta, al ser más grande la cantidad de fuerza distribuida y que llega al área activa del sensor es menor que en las pruebas anteriores.

En diferencia de las gráficas en a la figura 3.19, se observa ahora en la figura 3.23 que los valores obtenidos por el sensor FSR400 tienen un comportamiento similar al de una función logarítmica mientras que los valores del sensor FD9-40 parecen seguir una función lineal al estabilizarse luego de la repetición 15 hasta la repetición 280. Mientras que el sensor FSR402 parece no estabilizarse.

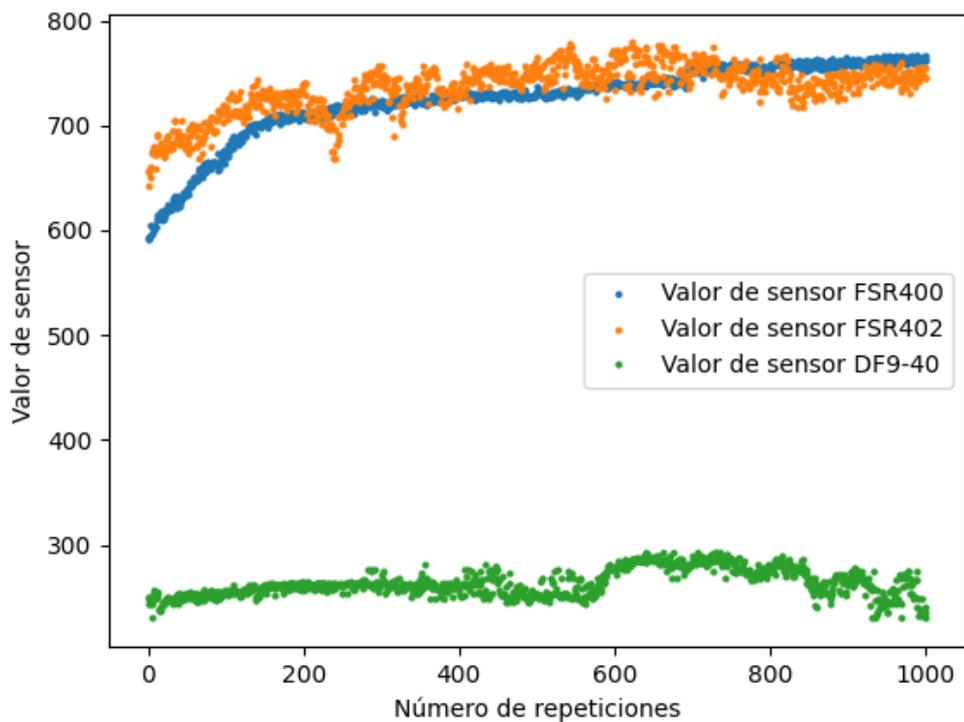


Figura 3.23 Comparación de los 3 sensores aplicando la máxima fuerza que resisten a 45°

Al revisar los primeros 100 valores obtenidos de los sensores, como se muestra en la figura 3.24, se puede observar que el sensor FSR400 es el más estable, sin embargo, sus valores van en aumento a medida que aumentan las repeticiones, el sensor DF9-40 tiene se estabiliza después de la repetición número 13 pero cerca de la repetición 400 empieza

pierde continuidad. Por último, el sensor FSR402 no logra estabilizarse en las 1000 repeticiones hechas.

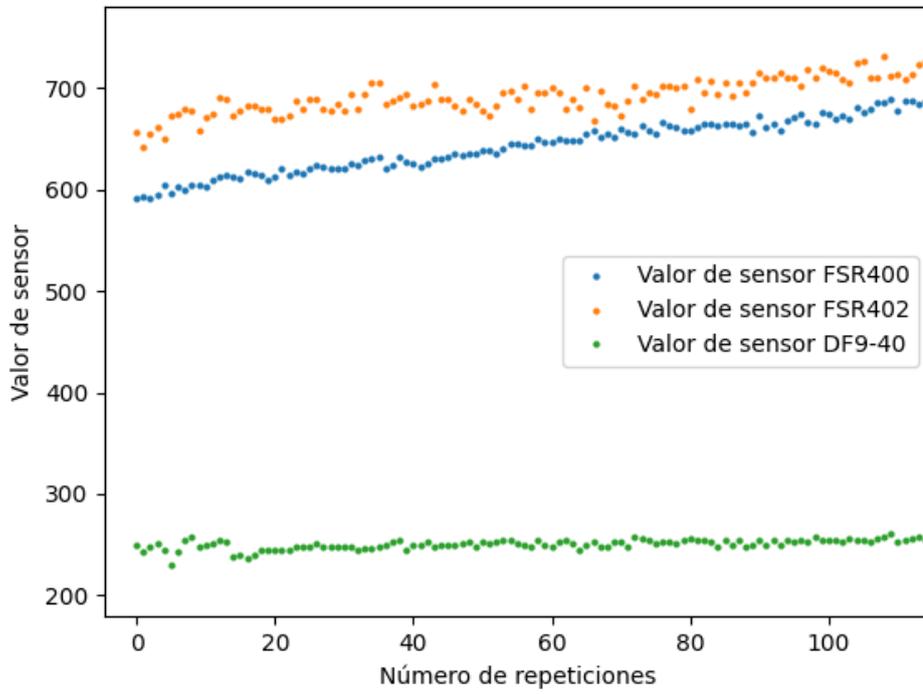


Figura 3.24 Comparación de los 3 sensores en las 100 primeras repeticiones aplicando la máxima fuerza que resisten a 45°

## 4. Conclusiones y Recomendaciones

### 4.1 Conclusiones

- Todos los sensores soportan la carga máxima en toda la superficie de este sin romperse o dejar de funcionar, sin embargo, se debe priorizar que las cargas caigan en el área activa del mismo ya que esta es la única parte del sensor que detecta la presión.
- Los ensayos se diseñaron para aplicar hasta el doble de la fuerza máxima que el sensor resiste para aplicarlos en una superficie plana y de 45° usando TPU, que es un material flexible para impresión 3D.
- Entre mayor sea el área activa del sensor mayor es la fuerza distribuida que recibe, mayor la probabilidad de deformarse, por lo cual falla más rápido en ciclos repetitivos si se le aplica la máxima fuerza que resiste.
- El sensor FSR400 fue el más estable en todas las pruebas realizadas, pero ningún sensor dejó de funcionar en todas las pruebas, por lo cual se comprobó que pueden resistir hasta el doble de la fuerza para la que fueron diseñados, mientras esta fuerza sea distribuida adecuadamente.
- Al ser sensores con un espesor milimétrico, los puntos de soldadura o los mismos cables que se usan para enviar la información llegan a afectar la lectura de fuerza, si la superficie primero toca a esas partes con mayor espesor antes que el área activa.
- El espesor del sensor puede afectar a que el peso no se distribuya adecuadamente en el área activa del mismo, como sucedió con el sensor DF9-40.

- Con la App es fácil ver los valores obtenidos por los sensores y al mismo tiempo controlar el funcionamiento del mecanismo de forma remota.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Hacer pruebas en un mayor número de sensores del mismo tipo para asegurar que los datos obtenidos no son afectados por un posible sensor defectuoso o algún error al momento de guardar los datos.
- Tener en cuenta que el material de impresión 3D, UTP, se empezó a deformar levemente luego de las pruebas hechas, quedando grabada la forma del sensor en la superficie de este.
- Al guardar los datos de los sensores, es mejor primero guardar los datos en una base de datos local para un acceso rápido y seguro si el internet falla o si el servicio de la base de datos online nos restringe el acceso por llegar a los límites diarios de uso.
- Mejorar el mecanismo con el fin de que las cargas se distribuyan adecuadamente en toda la superficie.
- El sensor FSR400 ha funcionado mejor que los demás, pero esto no quiere decir que los otros no sirvan, el sensor FSR402 tiene una mejor sensibilidad y el DF9-40 puede soportar una mayor fuerza.
- Revisar que el código en Python no esté consultando a la API de Firestore cada milisegundo para no gastar el número de lecturas diarios en el plan gratuito que ofrece Google.

- Tomar en cuenta que el espesor de la soldadura entre el cable de datos y el sensor tenga un espesor lo más cercano al espesor del sensor o menor para que esto no afecte a las mediciones.

## Referencias

- [1] L. Martínez, «ORTOPEDIA MOSTKOFF,» [En línea]. Available: <https://www.ortopediamostkoff.com.mx/plantografia-plantillas-personalizadas/>. [Último acceso: 25 07 2020].
- [2] M. Mediprax, «mediprax,» 27 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://aparatosortopedicos.com/plantillas-ortopedicas-si-o-no-utilizarlas/>. [Último acceso: 30 Julio 2020].
- [3] L. A. Mantilla Cifuentes, «Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte,» 20 Enero 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9883>. [Último acceso: 15 Junio 2020].
- [4] K. X. Jiménez Mejía, «Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte,» 19 Julio 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9350>. [Último acceso: 16 Julio 2020].
- [5] N. K. Andrango Sánchez, «Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte,» 9 Enero 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9872>. [Último acceso: 16 Junio 2020].
- [6] B. I. Terán Flores, «Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte,» 29 Julio 2019. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9361>. [Último acceso: 17 Junio 2020].
- [7] V. M. D. S. d. R. d. C.V, «VentasMedicas,» 21 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://ventasmedicas.com.mx/equipos-medicos/ortopedia/baropodometro/>. [Último acceso: 18 Julio 2020].
- [8] Instituto Nacional de estadísticas y censos, «INEC,» Diciembre 2019. [En línea]. Available: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/POBREZA/2019/Diciembre-2019/201912\\_PobrezayDesigualdad.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/POBREZA/2019/Diciembre-2019/201912_PobrezayDesigualdad.pdf). [Último acceso: 10 Julio 2020].
- [9] A. H. Padilla, «mediagraphic.com,» Diciembre 2006. [En línea]. Available: <https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2006/ot064d.pdf>. [Último acceso: 15 Julio 2020].
- [10] Revista Médica Clínica Las Condes, «ScienceDirect,» March 2016. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864016300128>. [Último acceso: 12 Julio 2020].
- [11] K. B. y. P. Riley, «Fundación para la Diabetes novo nordisk,» Abril 2005. [En línea]. Available:

- [https://www.fundaciondiabetes.org/upload/contenidos/351/article\\_318\\_es.pdf](https://www.fundaciondiabetes.org/upload/contenidos/351/article_318_es.pdf). [Último acceso: 17 Julio 2020].
- [12] I. M. Vázquez, «Diseño e implementación de un sensor de fuerza, su electrónica de acondicionamiento y adquisición de datos,» Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/79176618.pdf>. [Último acceso: 2 Mayo 2021].
- [13] sensoresdepression.top, «sensoresdepression.top,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.sensoresdepression.top/2020/08/como-funciona-un-sensor-de-fuerza.html>. [Último acceso: 3 Mayo 2021].
- [14] A. Martinez-Nova, J. C. Cueva y R. S. Rodriguez, «ResearchGate,» Agosto 2007. [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/250772550>. [Último acceso: 4 Mayo 2021].
- [15] G. Pozo, A. C. M. Salgado y E. Gabriela, «Diseño e implementación de un sistema de baropodometría electrónica para niños,» ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2014.
- [16] A. H. Larrea, «Estudio de los parámetros espaciales de la marcha en la población anciana española y su asociación con resultados adversos de salud,» Universidad Internacional de Cataluña, Sant Cugat del Vallés, 2017.
- [17] K. J. R. Benavides, «SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LAS CARACTERÍSTICAS,» UTN, Ibarra, 2020.
- [18] V. M. Morales, «Análisis de la marcha humana usando funciones momento para el reconocimiento de persona,» UTP, Tulancingo de Bravo, 2014.
- [19] R. L. Valmassy, Clinical biomechanics of the lower extremities, St. Louis: Mosby, 1996.
- [20] J. Cámara, «Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales,» Unilibre Cali, Biscay, 2011.
- [21] E. H. Pedroviejo, «Análisis de la capacidad de limitación de la inversión, efectos sobre el equilibrio dinámico y la funcionalidad, de un vendaje funcional y una ortesis de tobillo en jugadores de baloncesto,» Universidad Internacional de Catalunya, Barcelona, 2015.
- [22] A. M. A. Granda., «Valoración activa de dorsiflexión de tobillo en estudiantes de,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2019.
- [23] ARDUINO, «ARDUINO.cl,» ARDUINO, [En línea]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 1 7 2021].
- [24] MCIElectronics.cl, «Raspberry Pi,» Raspberry, [En línea]. Available: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>. [Último acceso: 2 Julio 2021].
- [25] Android, «developers,» Google, [En línea]. Available: <https://developer.android.com/>. [Último acceso: 11 7 2021].

- [26] Google, «Google Cloud,» Google, [En línea]. Available: <https://cloud.google.com/firestore/docs>. [Último acceso: 19 6 2021].
- [27] Google, «Firebase,» Google, [En línea]. Available: <https://firebase.google.com/pricing>. [Último acceso: 10 7 2021].
- [28] M. D'Amico, E. Kinel, P. Roncoletta, A. Gnaldi, C. Ceppitelli, F. Belli, G. Murdolo y C. Vermigli, «Data-driven CAD-CAM vs traditional total contact custom insoles: A novel quantitative-statistical framework for the evaluation of insoles offloading performance in diabetic foot,» National University of Ireland Galway, Galway, 2021.
- [29] B. Ren y J. Liu, «Design of a Plantar Pressure Insole Measuring System Based on Modular Photoelectric Pressure Sensor Unit,» MDPI, Shanghai, 2021.
- [30] E. A. R. Pulido, J. S. P. Tibasosa y L. Luengas, «Plataforma baropodométrica PIPLAB,» *Revista Vínculos*, vol. 15, n° 2, pp. 1-11, 2018.
- [31] K. L. Dorado Sanchez, «Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte,» 8 Marzo 2021. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec>. [Último acceso: 15 Julio 2021].
- [32] INTERLINK ELECTRONICS, «Trossen Robotics,» 26 Octubre 2010. [En línea]. Available: <https://www.trossenrobotics.com/productdocs/2010-10-26-DataSheet-FSR402-Layout2.pdf>. [Último acceso: 18 Mayo 2021].
- [33] Leanstar, «Winsen Sensor,» [En línea]. Available: <https://www.winsen-sensor.com/d/files/df9-40%4020kg.pdf>. [Último acceso: 28 Mayo 2021].
- [34] INTERLINK ELECTRONICS, «Sparkfun Electronics,» 26 Octubre 2010. [En línea]. Available: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/2010-10-26-DataSheet-FSR400-Layout2.pdf>. [Último acceso: 11 Mayo 2021].
- [35] Xukyo, «Aranacorp,» 27 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.aranacorp.com/es/comunicacion-en-serie-entre-raspberry-pi-y-arduino/>. [Último acceso: 12 Mayo 2021].
- [36] Python Software Foundation., «Python.org,» [En línea]. Available: <https://docs.python.org/3/library/venv.html>. [Último acceso: 22 Julio 2021].
- [37] Figma, «Figma,» [En línea]. Available: <https://www.figma.com/>. [Último acceso: 29 Julio 2021].
- [38] Kotlin.org, «Kotlin,» [En línea]. Available: <https://kotlinlang.org/>. [Último acceso: 1 Agosto 2021].
- [39] INTERLINK ELECTRONICS, «sparkfun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/fsrguide.pdf>. [Último acceso: 18 Julio 2021].

[40] ARDUINO, «Arduino.cc,» 5 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/BuiltInExamples/AnalogInput>. [Último acceso: 3 Agosto 2021].

[41] Google Developers, «developers,» 23 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://developer.android.com/guide/components/activities/activity-lifecycle?hl=es>. [Último acceso: 2 Agosto 2021].