

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
OCCIDENTE**

**Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales  
Sustentabilidad y tecnología**

**PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)**

**Programa de Desarrollo Tecnológico de Sustentabilidad Ambiental, Energética  
y Alimentaria I y II**



**ITESO, Universidad  
Jesuita de Guadalajara**

**4D08 Prótesis de mama con sensores de temperatura, presión y  
humedad**

**PRESENTAN**

Programas educativos y Estudiantes

Ing. En Nanotecnología Carlos Barboza Ochoa

Profesor PAP:

Dr. Ramona Beatriz Alemón Galindo

Tlaquepaque, Jalisco, abril 2024

# ÍNDICE

## Contenido

REPORTE PAP.....	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional.....	2
Resumen .....	4
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	4
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto.....	5
1.2 Caracterización de la organización .....	7
1.3 Identificación de la(s) problemática(s).....	8
1.4. Planeación de alternativa(s) .....	8
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora.....	17
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos .....	25
1.7. Bibliografía y otros recursos .....	38
1.8. Anexos generales .....	41
2. Productos .....	45
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	48
3.1 Sensibilización ante las realidades .....	48
3.2 Aprendizajes logrados.....	49

## REPORTE PAP

### Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

*Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (co-participación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.*

*El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).*

*El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, co-crear o transformar en distintos campos sociales.*

*El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar”.*

*El Reporte PAP consta de tres componentes:*

*El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.*

*El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.*

*El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.*

## Resumen

El presente PAP, es parte de una serie de proyectos iniciados en el semestre otoño 2022. Continuando con la metodología propuesta en el PAP otoño 2023, el proyecto tiene como objetivo general realizar una comparación entre una prótesis convencional de silicona y la desarrollada e impresa en 3D a partir de un metamaterial de poliuretano termoplástico (TPU) durante los PAPs de primavera, verano y otoño 2023 midiendo los parámetros de temperatura, humedad y presión en base a un protocolo experimental. Como objetivos específicos se propone; Crear un programa en Arduino para recolectar y graficar en tiempo real los datos de los distintos sensores a utilizar, realizar un programa capaz de comunicar mediante bluetooth dos arduinos, permitiendo mandar y recibir datos de manera unidireccional en tiempo real, documentar los resultados en gráficas comparativas con el fin de resaltar las diferencias entre las prótesis, finalmente, redactar un protocolo experimental que simule una variedad de actividades del día a día; el cual incluya descansar, caminar y trotar.

Para realizar dicha comparación se sometió a 3 sujetos al protocolo de pruebas, esto mientras utilizaban un sujetador con ambas prótesis, así como los sensores de presión, temperatura y humedad.

Analizando los resultados se concluyó que las prótesis de TPU generan 1 °C más calor que las de silicona de igual manera estas ejercen, de 2-3 unidades, una mayor presión en el sujeto, al contrario, las de silicona provocan una mayor sudoración teniendo de un 10-30% más en comparación con las de TPU. Sin embargo, todos los sujetos resaltan que la sensación térmica en las prótesis de silicona es mayor que en las de TPU.

### 1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construyen sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de

proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

Se realizará un proyecto del tipo documental y experimental donde se someterán a 10 sujetos a una serie de pruebas que simulen actividades de la vida diaria, cada sujeto repetirá las pruebas dos veces; una mientras viste el sujetador con la prótesis de silicona convencional y otra con la prótesis a base del meta-material (TPU). Para la recolección de datos se usarán distintos sensores de temperatura/humedad y presión colocados entre el sujetador y la prótesis, así como entre la prótesis y la piel, los cuales estarán enviando los datos a tiempo real con ayuda de un módulo bluetooth.

El proyecto se realizará en el ITESO, en el Domo de Actividad Física, con la tutoría de la Dr. Ramona Beatriz Alemón Galindo.

### **Objetivo general**

Realizar una comparación entre una prótesis convencional de silicona y la desarrollada e impresa en 3D a partir de un metamaterial de Poliuretano termoplástico (TPU) durante los PAPs de primavera, verano y otoño 2023 midiendo los parámetros de temperatura, humedad y presión en base a un protocolo que emule actividades de la vida diaria.

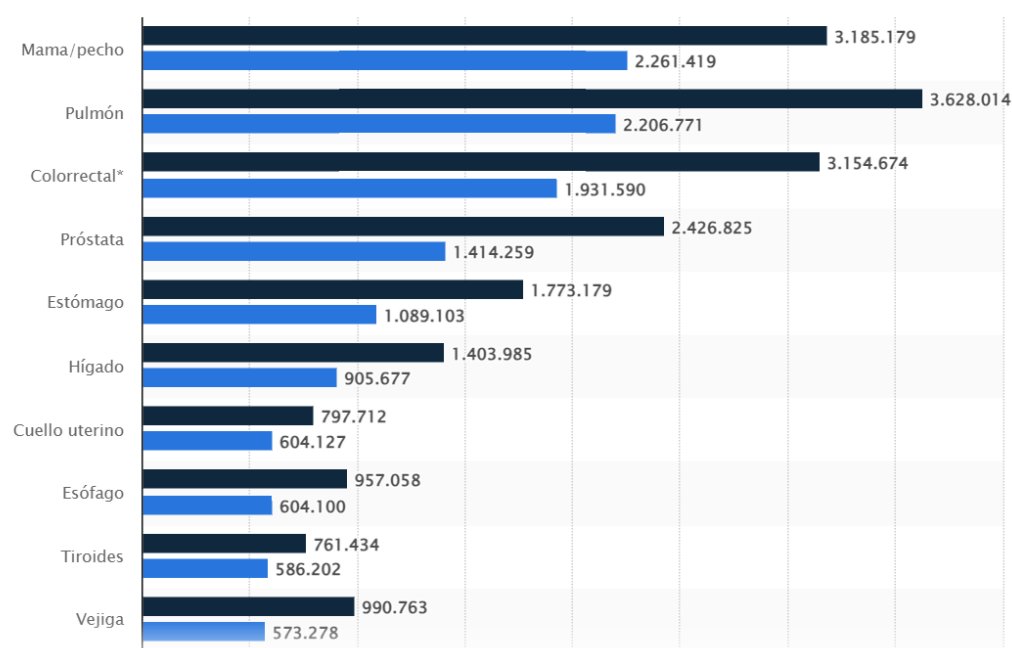
### **Objetivos específicos**

- Crear un programa en Arduino para recolectar y graficar en tiempo real los datos de los distintos sensores a utilizar.
- Realizar un programa capaz de comunicar mediante bluetooth dos arduinos, permitiendo mandar y recibir datos de manera unidireccional en tiempo real.
- Documentar los resultados en gráficas comparativas con el fin de resaltar las diferencias entre las prótesis.
- Redactar un protocolo experimental que simule una variedad de actividades del día a día; el cual incluya descansar, caminar y trotar.

#### **1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto**

El cáncer de mama es la neoplasia más frecuente en la población mundial, figura 1, y la primera

causa más frecuente entre las mujeres con un estimado de 1'671,149 nuevos casos diagnosticados anualmente y con una prevalencia de 6'232,108 lo que representa el 36.3% [1].



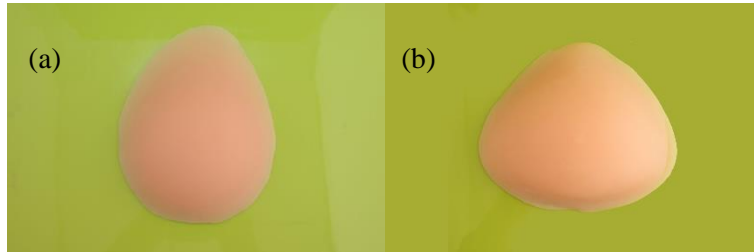
**Figura 1.** Tipos de cáncer con mayor número de nuevos casos detectados a nivel mundial en 2020 y 2040 [2].

Las intervenciones quirúrgicas para tratar el cáncer de mama o reducir el riesgo de desarrollar la enfermedad suelen provocar cambios en el aspecto, como el tamaño y la forma de las mamas, la extirpación completa de una o ambas mamas y cicatrices en la zona mamaria [3,4].

La investigación en el campo de las lesiones por quemaduras ha descubierto que las primeras experiencias de los pacientes al ver su aspecto alterado son angustiosas y pueden afectar a la adaptación psicosocial posterior y tener consecuencias negativas a largo plazo [3,5]. En el caso de una mastectomía, se ha constatado que los sujetos experimentaron no sólo crisis de autoidentidad como mujeres, sino incluso llegando a presentar una agitación interna de su pasión por vivir. A partir de estas experiencias, Lee, Yoon-Soo [6] ha confirmado, en esencia, seis conjuntos de casos; la esencia de "Una encrucijada de vida de la vida y la muerte", "crisis de identidad sexual", "sentirse mortificado por los mensajes de doble sentido e los demás", "conflicto entre discapacidades físicas y psicológicas", "sentimientos de gratitud o deseo", y "sus sugerencias y deseos realistas".

Para aliviar lo anterior, uno de los recursos más utilizados son las prótesis de mama externas como se muestra en la figura 2. Una prótesis mamaria externa de buena calidad y un servicio

de colocación de prótesis son parte fundamental en el proceso de recuperación tras la mastectomía. Como afirman Glaus y Carlson [7]: "Las prótesis mamarias externas pueden ayudar tanto en la restauración estética como en el equilibrio de peso de las mujeres que se someten a mastectomía sin reconstrucción", además, son una "opción segura, eficaz y económica para restaurar la forma de la mama".



**Figura 2.** Ejemplos de prótesis mamaria externa marca Biofemme, Modelo: (a) Gota, (b) Triángulo [8].

Las mujeres suelen llevar una prótesis ligera provisional inmediatamente después de la intervención, para luego de, aproximadamente 6 semanas, colocarse una prótesis permanente después de la intervención [9]. Por ello, es esencial elegir la forma y tamaño adecuados. Cuando no se ha sufrido una mastectomía bilateral, se busca que la prótesis permita que la mama mastectomizada, gracias a la prótesis, tenga una forma y tamaño similares a la mama propia que permanece intacta. La prótesis puede sustituir la mama al completo o solo una parte de ella. También hay prótesis para mastectomías bilaterales [10].

De aquí la importancia en hacer la elección correcta y en que las prótesis sean del agrado, tanto estética como ergonómicamente, de las usuarias. Que al momento de vestirlas no solo no se perciba la diferencia entre ambas mamas, si no que se tenga una sensación agradable, ni tan caliente ni tan humedad, por ello es importante hacer la comparativa a partir del protocolo y de los sensores, midiendo las diferencias de la temperatura y humedad generada entre ambas prótesis.

## 1.2 Caracterización de la organización

El presente proyecto será realizado en las instalaciones del ITESO, principalmente en el domo de actividad física en donde se llevarán a cabo las pruebas de los materiales de acuerdo al protocolo de actividad física desarrollado. En caso de ser necesario, se hará uso del laboratorio general de electrónica y de la biblioteca Dr. Jorge Villalobos Padilla S.J.

El proyecto estará bajo la supervisión de la Dra. Ramona Beatriz Alemon Galindo.

### 1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

El cáncer es una de las enfermedades más letales si no son detectadas a tiempo para toda la población. En la población mexicana femenina, el cáncer de mama es el tipo de cáncer que predomina, representando un 25% de los casos <sup>[11]</sup>. Las mujeres que han pasado por una mastectomía a menudo experimentan inquietudes relacionadas con su apariencia y autoimagen, ya que la pérdida de una mama puede impactar significativamente su autoestima y confianza. La adaptación a una prótesis mamaria puede ser un proceso que demanda tiempo y puede causar molestias físicas y emocionales mientras se acostumbran a su uso y realizan los ajustes necesarios. <sup>[12]</sup>

Al día de hoy las prótesis mamarias más utilizadas son las de silicona pues estas se ven y se sienten como mamas de verdad. Aunque se tienen distintos diseños para este tipo de mamas la mayoría suelen ser pesadas e incómodas para climas cálidos, además que su precio puede llegar a rondar los 100-500 USD. Por otro lado, las prótesis mamarias estéticas (Termino denominado para nombrar cualquier prótesis de mama que no esté hecha de silicona) por lo general se fabrican de gomaespuma, de fibras sintéticas de relleno o fibras de poliéster, este tipo de prótesis tienden a ser más livianas, frescas y cómodas que las prótesis mamarias de silicona, pero se sienten menos realistas <sup>[13]</sup>.

Para solucionar dicho problema se hará uso de un meta-material, estos son un conjunto heterogéneo de materiales artificiales que poseen características especiales que surgen como consecuencia de la geometría y la organización de la estructura final <sup>[14]</sup>, para la fabricación de dicha prótesis, la cual pueda emular de forma precisa las propiedades tanto mecánicas como estéticas y de textura que tiene un seno a un costo mucho menor al de una mama de silicona convencional, para este proyecto se hará uso del poliuretano termoplástico (TPU por sus siglas en inglés).

### 1.4. Planeación de alternativa(s)

El PAP 4D08 primavera 2024 está enfocado en hacer una comparación de los distintos

materiales por lo que es necesario el empleo de diferentes sensores para la recolección y transmisión de datos, así como de placas de programación para el uso de estos.

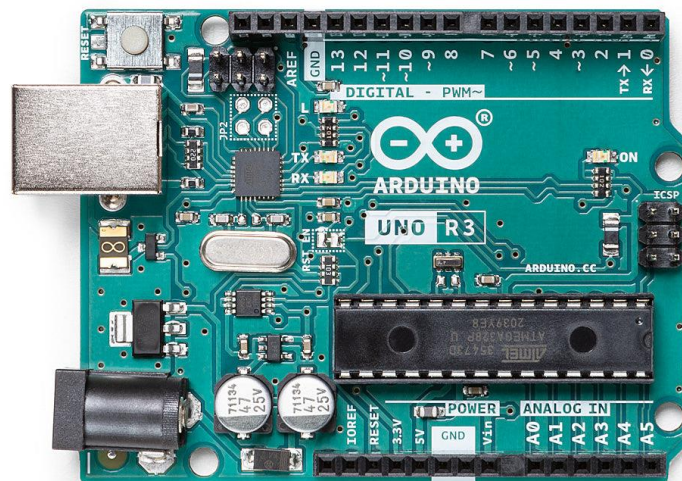
Se hará un dispositivo que utiliza sensores de temperatura, humedad y presión, programados para ser capaz de transmitir estos valores a una base de datos con la que se pueda hacer una comparativa entre diferentes tipos de prótesis de mama, que difieran en forma, materiales, entre otras cosas.

*Materiales para hacer el dispositivo que mida temperatura, humedad relativa y presión.*

### *Placa de programación*

#### *Arduino*

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino, figura 3, son capaces de leer entradas y convertirlas en salidas. Es posible decirle a la placa lo que tiene que hacer enviando una serie de instrucciones al microcontrolador de la placa. Para ello se utiliza el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el software Arduino (IDE), basado en Processing [14].

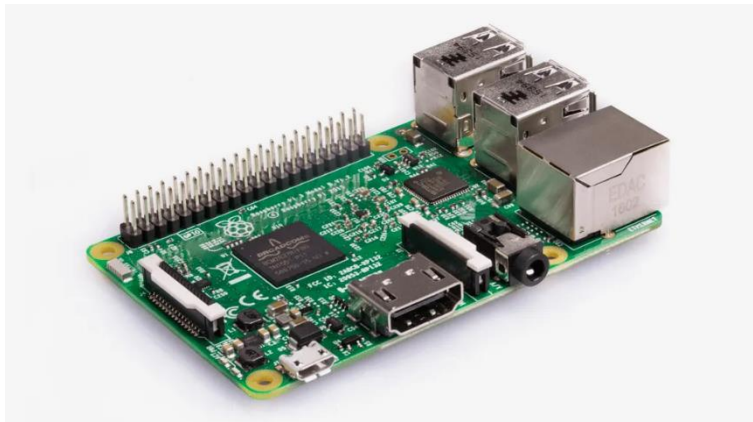


**Figura 3.** Arduino Uno Rev3 [15].

#### *Raspberry Pi*

Es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto, del porte de una tarjeta de

crédito, puede ser conectada a un monitor de computador o un TV, y usarse con un mouse y teclado estándar (figura 4) <sup>[16]</sup>.



**Figura 4.** Raspberry Pi 3 B <sup>[16]</sup>.

Cada una de las placas de programación anteriores tienen sus ventajas y desventajas; la placa Arduino es económica, muy versátil y cuenta con muchos diferentes tipos de aditamentos, sensores, actuadores, etc. Al ser tan popular es muy fácil encontrar información sobre ella, además que es fácil de programar. Por otro lado, la Raspberry Pi es una opción más potente, tanto en capacidad como en procesador es mejor que un Arduino además que se programa en Python, el lenguaje de programación más popular de 2023 <sup>[17]</sup>, sin embargo, por tal razón es mucho más cara que una tarjeta Arduino, pese a que existan versiones más económicas de la Raspberry se decidió optar por utilizar una tarjeta Arduino UNO. El proyecto realmente no amerita el uso de una Raspberry, pese a que se vayan a trabajar con seis sensores cuatro estos se comunican haciendo uso del protocolo I2C mientras que los dos restantes utilizan 1Wire, ambos capaces de usarse en Arduino, además los códigos son lo suficientemente ligeros para que la memoria flash de 32Kb <sup>[15]</sup> del Arduino pueda guardarlo sin ningún problema, sin contar que, podría costar una cantidad considerable del presupuesto el conseguir dos de estas tarjetas.

#### *Sensores de temperatura/humedad*

Pese a que existan sensores de temperatura y de humedad relativa por separado se optó por utilizar uno que midiera ambas variables a la vez, esto debido a que se planean medir cuatro sitios al mismo tiempo, en caso de utilizar sensores por separado se requerirían de ocho de

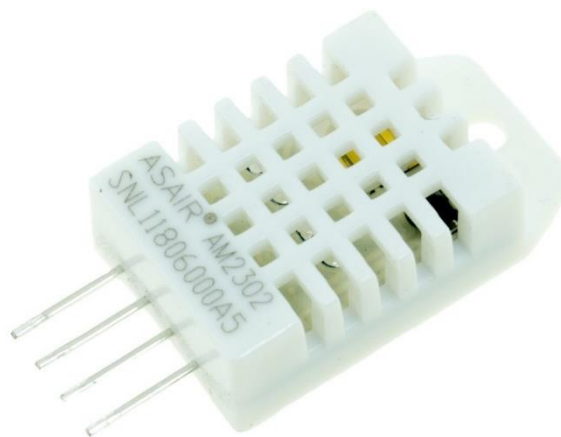
estos, haciendo más incómodas las pruebas físicas a realizar. Existe una relación inversa entre estas variables lo que las hace posible medir al mismo tiempo con precisión, de esta manera es posible hacer espacios y costos más eficientes.

En base a lo anterior se investigaron diferentes sensores de temperatura/humedad.

### *Serie DTHXX*

Son una familia de sensores digitales de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integran un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestran los datos mediante una señal digital en el pin de datos, pese a que no posean una salida analógica esto no es impedimento, al contrario, facilita la recolección de datos desde el Arduino.

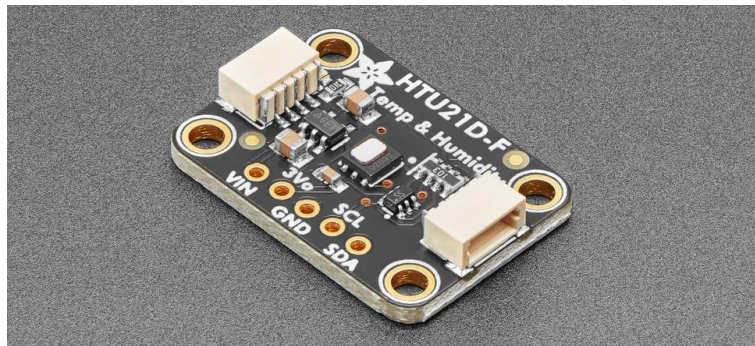
Para el caso del modelo DHT22, figura 5, es fácil de utilizar con la tarjeta Arduino tanto a nivel de software como hardware. A nivel de software se dispone de librerías con soporte para el protocolo Single bus. En cuanto al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino, tiene un rango de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  con una resolución de  $0.1^{\circ}\text{C}$  y una precisión  $<\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , con respecto a la humedad, tiene un rango de 0 a 100% RH, una resolución de 0.1% RH y una precisión de 2% RH <sup>[18]</sup>.



**Figura 5.** Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 <sup>[18]</sup>.

### *Serie SHT2X*

La serie de sensores de humedad SHT2x contiene un sensor de humedad de tipo capacitivo, un sensor de temperatura de banda prohibida y circuitos integrados analógicos y digitales especializadas, todo ello en un único chip CMOSens®. Se comunica haciendo uso del protocolo I2C. El sensor de humedad SHT21, figura 6, tiene una precisión de  $\pm 2\%$  con un rango de funcionamiento de 5% a 95% HR. La temperatura tiene una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$  con un rango de  $-30\sim 90^\circ\text{C}$ . El funcionamiento fuera de estos rangos sigue siendo posible, pero la precisión puede disminuir un poco <sup>[19]</sup>.



**Figura 6.** Sensor de temperatura y humedad relativa SHT21 <sup>[19]</sup>.

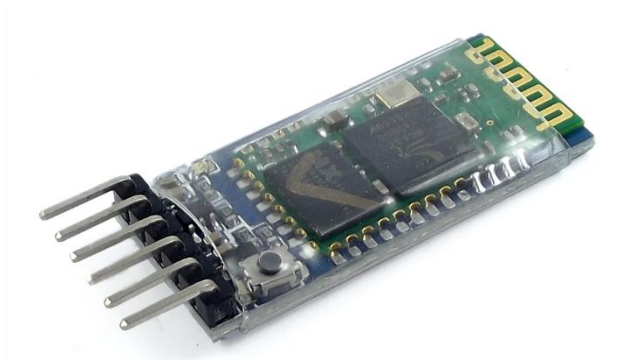
Ambos de los sensores anteriores cumplen con los rangos de temperatura y humedad esperados, aunque es cierto que tienen algunas diferencias con respecto a la precisión realmente no es algo que llegue a perjudicar el proyecto pues, en este, no se necesitan esos niveles de exactitud. Aunque el DTH22 es más fácil de conseguir, es más económico y posee una mayor variedad de información que el SHT21 este tiene un encapsulado dos o tres veces más grande, por lo que se optó por utilizar este último priorizando la comodidad de los sujetos de pruebas.

### *Módulos bluetooth /WiFi*

#### *Bluetooth HC-05*

El módulo Bluetooth HC-05, figura 7, nos permite conectar nuestro Arduino a un smartphone, celular o PC de forma inalámbrica (Bluetooth), haciendo uso de un puerto serial por lo que conecta en forma directa a los pines seriales de nuestro microcontrolador a utilizar. Todos los parámetros del módulo se pueden configurar mediante comandos AT.

La comunicación Bluetooth se da entre dos tipos de dispositivos: un maestro y un esclavo. El dispositivo HC-05 puede realizar comunicaciones inalámbricas a una distancia máxima de 10 metros <sup>[20]</sup>.

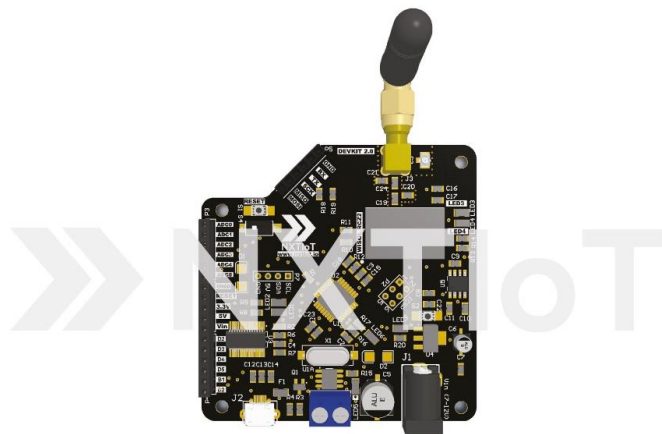


**Figura 7.** Módulo bluetooth HC05 <sup>[20]</sup>.

### *DEVKIT 2.0*

Es un kit de desarrollo rápido para prototipos funcionales, figura 8. Es programable en IDE Arduino e incluye conectividad Sigfox durante un año con 140 mensajes (uplink) y 4 mensajes (downlink) por día, esta tarjeta de desarrollo multifuncional permite conectar más de 8 sensores <sup>[21]</sup>.

Sigfox es una red de conectividad celular a nivel mundial enfocada para el Internet de las cosas (IoT). Esta red está diseñada para comunicaciones de baja velocidad permitiendo reducir los costes y el consumo de energía de los dispositivos conectados <sup>[22]</sup>.



**Figura 8.** Tarjeta de Desarrollo DEVKIT 2.0 <sup>[22]</sup>.

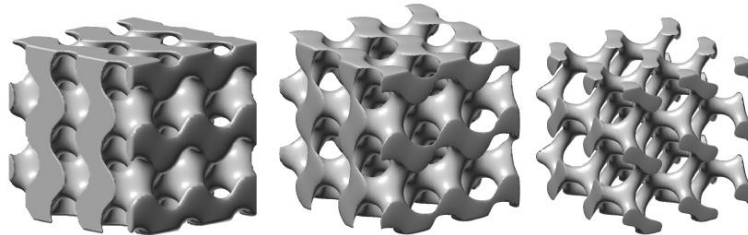
Ambas de las opciones anteriores son compatibles con la tarjeta Arduino y, por lo tanto, viables para el desarrollo del proyecto. El módulo Bluetooth es relativamente más fácil de utilizar, aunque está limitado a una distancia menor a 10 metros mientras que la tarjeta Wi-Fi se puede utilizar mientras allá una conexión a internet sin importar la distancia, pese a ello, se decidió utilizar un módulo bluetooth tanto por costo como por las complicaciones que pueda presentar la programación debido a los protocolos de comunicación del DEVKIT, por

otro lado el módulo Bluetooth se comunica mediante puerto serial dándonos versatilidad con los pines a utilizar.

### *Prótesis de Mama*

La prótesis se hará utilizando el meta-material desarrollado en el PAP verano 2023, TPU (poliuretano termoplástico por sus siglas en inglés).

La impresión se hará utilizando una celda gyroid, figura 9, con un relleno del 15% dejando cero capas superiores.



**Figura 9.** Estructura gyroid para umbrales rellenos,  $t = 0$ ,  $t = 0,5$  y  $t = 1$  [23].

La mama tendrá un recubrimiento de silicona formulado, elastómero termofijo, el cual simulará la piel.

### *Escáner*

Para realizar el escaneo de la mama se utilizarán.

Para el escaneo, se planteó utilizar seis tarjetas de desarrollo ESP32-CAM, figura 10, cada una con una cámara OV2640 ESP32 Wi-Fi, montadas en una estructura para completar el procedimiento y hacer la propuesta integrada y justificada de las ventajas de fabricar y usar este tipo de prótesis de mama. Sin embargo, esta parte del proyecto quedará fuera del alcance del presente documento ya que aquí solo se enfocará a hacer el dispositivo de sensado de temperatura, humedad y presión para hacer la comparativa de ventajas de uso las prótesis impresas a partir de un metamaterial de poliuretano termoplástico versus las prótesis hechas a partir de una silicona formulada.



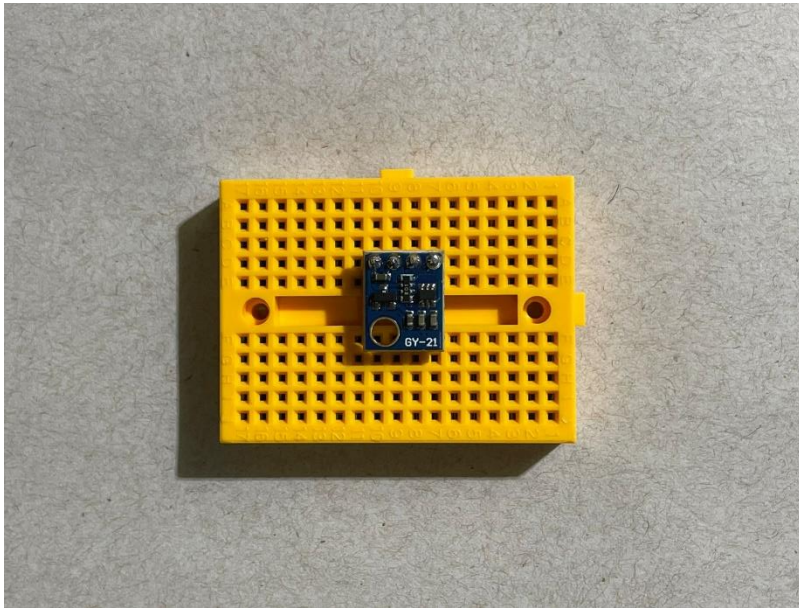
**Figura 10.** Estructura ESP32 CAM <sup>[24]</sup>.



## 1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

### *Sensor de temperatura/humedad SHT21*

Puesto que la placa del sensor y los pines venían por separado primero fue necesario soldar estos. Con ayuda de un cautín y un tubo de alambre de estaño fundido se soldaron los pines sobre la placa del sensor. Para facilitar el soldado, esta se colocó sobre una protoboard mini como se muestra en la figura 11.

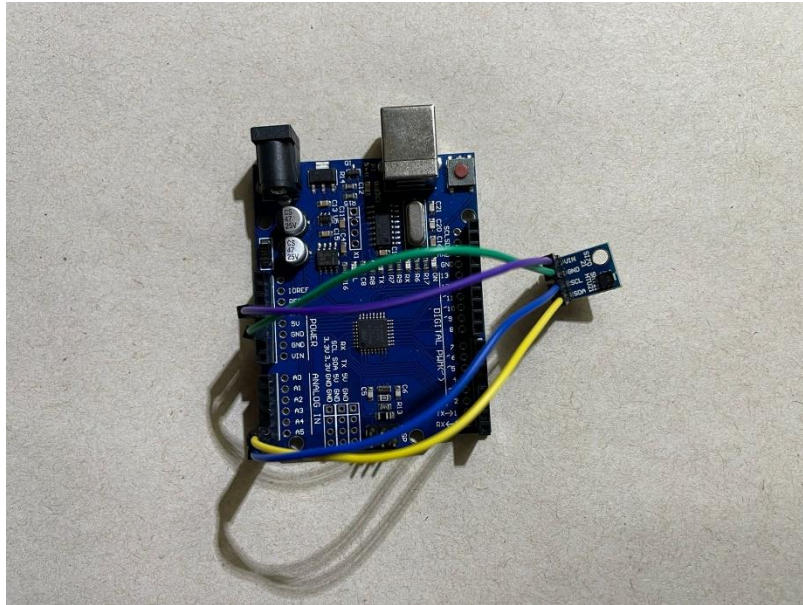


**Figura 11.** Sensor SHT21 con los pines soldados.

Una vez soldado el sensor, con ayuda de unos cables dupont macho-hembra, se conectaron los pines del sensor al Arduino (figura 12) de la siguiente manera.

**Tabla 1.** Conexiones sensor-Arduino.

Sensor	Arduino
Vin	3.3 V
GND	GND
SCL	A5
SDA	A4



**Figura 12.** Sensor SHT21 conectado al Arduino UNO.

Haciendo uso de la librería “*Adafruit HTU21DF Library*” para Arduino se hicieron las primeras pruebas para el sensor utilizando el siguiente programa de ejemplo:

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_HTU21DF.h"

// Conectar Vin a 3-5 VDC
// Conectar GND a tierra
// Conectar SCL al I2C clock pin (A5 en UNO)
// Conectar SDA al I2C data pin (A4 en UNO)

Adafruit_HTU21DF htu = Adafruit_HTU21DF();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("HTU21D-F test");

  if (!htu.begin()) {
    Serial.println("Couldn't find sensor!");
    while (1);
  }
}

void loop() {

  // Sensor 1
  float temp1 = htu.readTemperature();
  float rel_hum1 = htu.readHumidity();
```

```

Serial.print("Tempertura: "); Serial.print(temp1); Serial.print(" C");
Serial.print("\t\t");
Serial.print("Humedad: "); Serial.print(re1_hum1); Serial.println(" \");
delay(800);
}

```

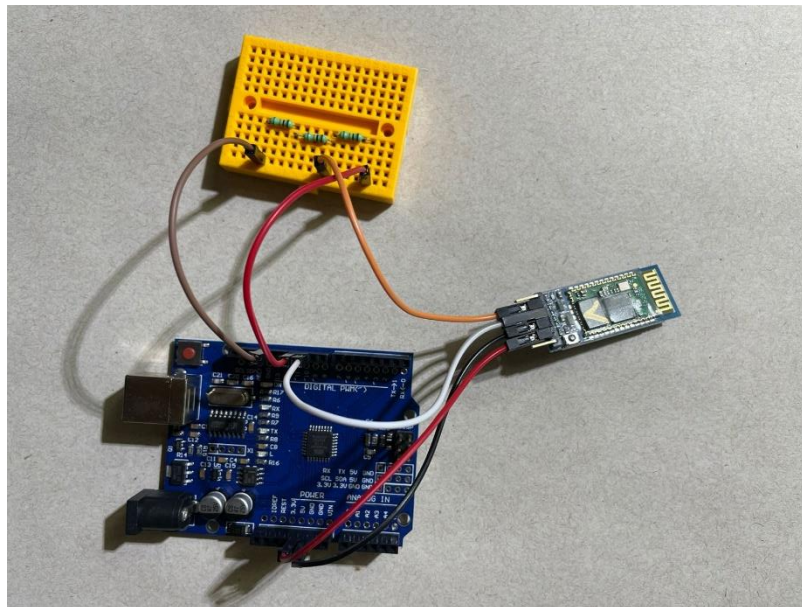
Con este fue posible obtener las mediciones de temperatura y humedad.

### Modulo Bluetooth HC05

Con ayuda de unos cables dupont macho-hembra, se conectaron los pines del módulo HC05 al Arduino (figura 13) de la siguiente manera.

**Tabla 2.** Conexiones HC05-Arduino.

HC05	Arduino
VCC	5 V
GND	GND
TXD	10
RXD	11



**Figura 13.** Modulo bluetooth HC05 conectado al Arduino UNO.

Puesto que la recepción del módulo (RX) se da a 3.3 V y los pines del Arduino mandan un voltaje de 5 V fue necesario hacer un divisor de tensión, para ello se utilizaron 3 resistencias de 10 k $\Omega$  conectadas en serie.

Para la programación del sensor se hizo uso del siguiente código:

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX

void setup() {
  //Se abre comunicación serial
  Serial.begin(9600); //Serial del monitor
  mySerial.begin(38400); // Serial del Bluetooth

  Serial.println("Goodnight moon!"); // Mensaje de encendido
}

void loop() {

  //Si está disponible el bluetooth, que me muestre en el monitor serial lo
  que está leyendo
  if (mySerial.available()) {
    Serial.write(mySerial.read());
  }

  //Si está disponible el monitor serial, que me muestre en el bluetooth lo
  que está leyendo
  if (Serial.available()) {
    mySerial.write(Serial.read());
  }
}
```

Pese a que el Arduino ya tiene configurados por default puertos RX y TX (0 y 1) se prefirió hacer uso de la librería “*SoftwareSerial.h*” para poder elegir que pines del Arduino utilizar como RX y TX, esto con el fin de tener más libertad al momento de conectar el módulo. Dicha librería ya viene por instalada por defecto una vez que se descarga el software de Arduino IDE.

Para la programación de los módulos se hizo uso de la siguiente secuencia de comandos:

1. AT – Para verificar que estuviera enlazado
2. AT+ ORGL – Para resetear el dispositivo
3. AT + UART? – Para verificar la velocidad a la que trabaja el modulo
4. AT+PSWD? – Para conocer la contraseña del modulo
5. AT+ROLE? – Para conocer si está en esclavo (0) o maestro (1). Uno de los dispositivos se programará como esclavo y otro como maestro.

6. AT+ADDR? – Para verificar la dirección del dispositivo. En el caso del dispositivo esclavo se copiará su dirección.
7. AT+BIND=” Dirección del dispositivo esclavo” – Para enlazar el dispositivo maestro específicamente al esclavo.

Es importante destacar que, para iniciar el módulo en modo comando AT, antes de conectarlo es necesario dejar presionado el botón que tiene. Una vez conectado se puede distinguir el modo en el que está viendo como parpadea el led rojo que tiene; si parpadea lento es porque se encuentra en modo AT, si parpadea rápido está buscando un dispositivo al cual conectarse. Si se quiere cambiar de modo AT al modo enlace basta con desconectar y volver a conectar el pin VCC.

Una vez enlazados los dos dispositivos ambos módulos parpadearán lento con la misma frecuencia.

#### *Prueba sensor + módulo HC05*

Ya con los dispositivos enlazados y pudiendo obtener los valores de temperatura fue posible comenzar con las pruebas entre dos Arduinos.

El *Arduino 1* (el maestro) obtendrá los datos del sensor para luego mandarlos al *Arduino 2* (el esclavo) mediante comunicación bluetooth.

Para la transmisión de datos se hizo uso del siguiente programa:

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_HTU21DF.h"

// Conectar Vin a 3-5 VDC
// Conectar GND a tierra
// Conectar SCL al I2C clock pin (A5 en UNO)
// Conectar SDA al I2C data pin (A4 en UNO)

Adafruit_HTU21DF htu = Adafruit_HTU21DF();
SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX

void setup() {
  // Se inicia la configuración serial
  Serial.begin(9600); //Monitor Serial
```

```

mySerial.begin(9600); //Bluetooth
delay(1000);

//Mensaje de prueba y de error
Serial.println("Prueba SHT21D ");

if (!htu.begin()) {
  Serial.println("No se puede encontrar el sensor");
  while (1);
}
} //Cierre void setup

void loop() {

  // Sensor 1

  //Se inicializan variables
  float temp1 = htu.readTemperature(); //Temperatura
  float hum1 = htu.readHumidity(); //Humedad
  unsigned tiempo=1000; //Tiempo entre mediciones en ms

  //Se mandan las variables via Bluetooth
  mySerial.write(temp1);
  mySerial.write(hum1);

  //Se imprimen los datos en este arduino
  Serial.print("Tempertura: "); Serial.print(temp1); Serial.print(" C");
  Serial.print("\t\t");
  Serial.print("Humedad: "); Serial.print(hum1); Serial.println(" \");
  delay(tiempo);

} //Cierre void loop

```

Para la recepción de datos se hizo uso del siguiente programa:

```

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(10, 11); // RX, TX

//Se inicializan variables
unsigned long tiempo=1000; //Tiempo entre mediciones en ms
long tiempoC=0; //Tiempo para el contador
float temp1; //Variable de lectura temperatura 1
float hum1; //Variable de lectura humedad 1
float temp1a; //Variable apoyo temperatura 1
float hum1a; //Variable de apoyo humedad 1

```

```

void setup() {
  // Se inicia la configuracion serial
  Serial.begin(9600); //Monitor Serial
  mySerial.begin(9600); //Bluetooth
  delay(1000);

  //Mensaje de prueba y de error
  Serial.println("Prueba SHT21D ");
}

// Cierre void setup

void loop() {
  // Si el modulo manda el dato guardalo en la asignada
  if (mySerial.available() > 0 ) {
    temp1=mySerial.read(); //Temperatura
    hum1=mySerial.read(); //Humedad
    tiempoC=tiempoC+1; //Tiempo contador

    //If de seguridad
    if (hum1 > 0){
      //Se imprimen los datos en este arduino
      Serial.print(tiempoC);
      Serial.print(" ");
      Serial.print(temp1);
      Serial.print(" ");
      Serial.print(hum1);
      Serial.print("\n");
      delay(tiempo);

      //Variables de apoyo
      temp1a=temp1;
      hum1a=hum1;
    }

    else{
      //Se imprimen los datos de apoyo en este arduino
      Serial.print(tiempoC);
      Serial.print(" ");
      Serial.print(temp1a);
      Serial.print(" ");
      Serial.print(hum1a);
      Serial.print("\n");
      delay(tiempo);
    } //Cierre if de apoyo
  }
}

```

```
} //Cierre if mayor  
  
} // Cierre void loop
```

### *Graficas de los datos*

Con el fin de pasar los datos recibidos en el Arduino 2 se utilizó el programa *CoolTerm*, una aplicación que nos permite intercambiar datos de un hardware conectado al puerto serial (Arduino 2) a, en este caso, un archivo con extensión “.txt”.

De esta manera nos es posible graficar dichos datos haciendo uso de diferentes programas, en este proyecto se hará uso del software *Origin Pro*.

### *Sensor de presión FlexiForce Modelo A101*

Este es el sensor de presión utilizado en el PAP anterior. Con ayuda de unos alambres de proto soldados al sensor, se conectaron sus pines (figura 14) al Arduino de la siguiente manera.

**Tabla 3.** Conexiones FlexiForce Modelo A101-Arduino.

A101	Arduino
Blanco	A01
Negro	1.11 V



**Figura 14.** Sensor de presión Flexiforce A101 conectado al Arduino UNO.

Puesto que el sensor necesita un voltaje de referencia entre 0.25 -1.25 V fue necesario hacer un divisor de tensión, para ello se utilizaron 3 resistencias de 1 k $\Omega$  conectadas en serie.

Para la programación del sensor se hizo uso del siguiente código:

```
//Variables de mapeo
int yd; //Sensor de presion derecho
int yi; //Sensor de presion izquierdo

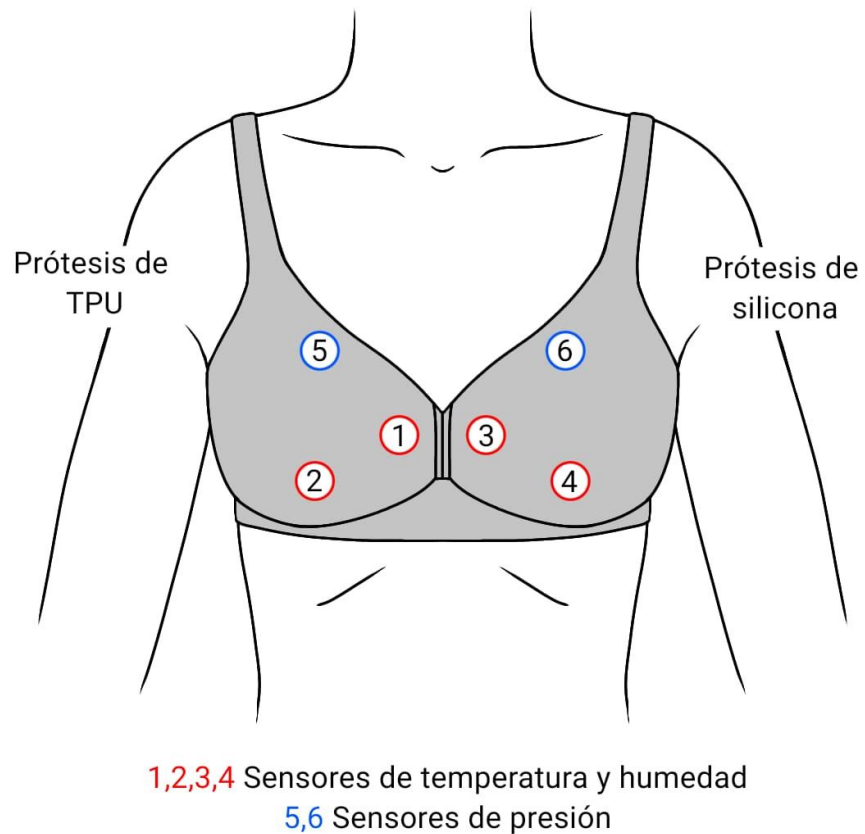
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Inicio prueba presion"); //Mensaje de inicio
}
void loop() {
  //Variables directas del sensor de presion
  int fuerzad=analogRead(0); //Sensor de presion derecho
  int fuerzai=analogRead(1); //Sensor de presion izquierdo

  yi=map(fuerzai,0,1023,100,0); //función map para escalamiento - izquierda
  yd=map(fuerzad,0,1023,100,0); //función map para escalamiento - Derecha

  //Imprimimos en el monitor serial
  Serial.print("Sensor Izquierda:");
  Serial.println(yi);
  Serial.print("Sensor Derecha:");
  Serial.println(yd);
  Serial.println("*****");
  delay(2000);
}
```

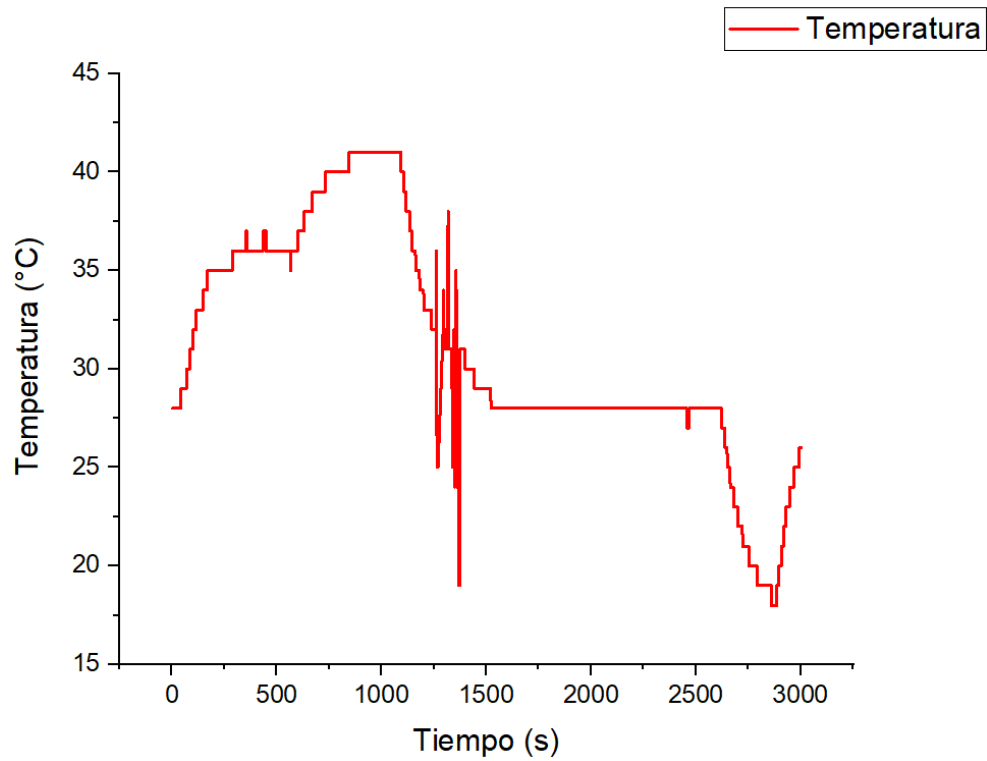
### 1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Ya con los sensores en funcionamiento, el sujetador especial, las prótesis de TPU impresas y las de silicona se efectuó una prueba preliminar. Los sensores se colocaron como se muestra en la figura 15.

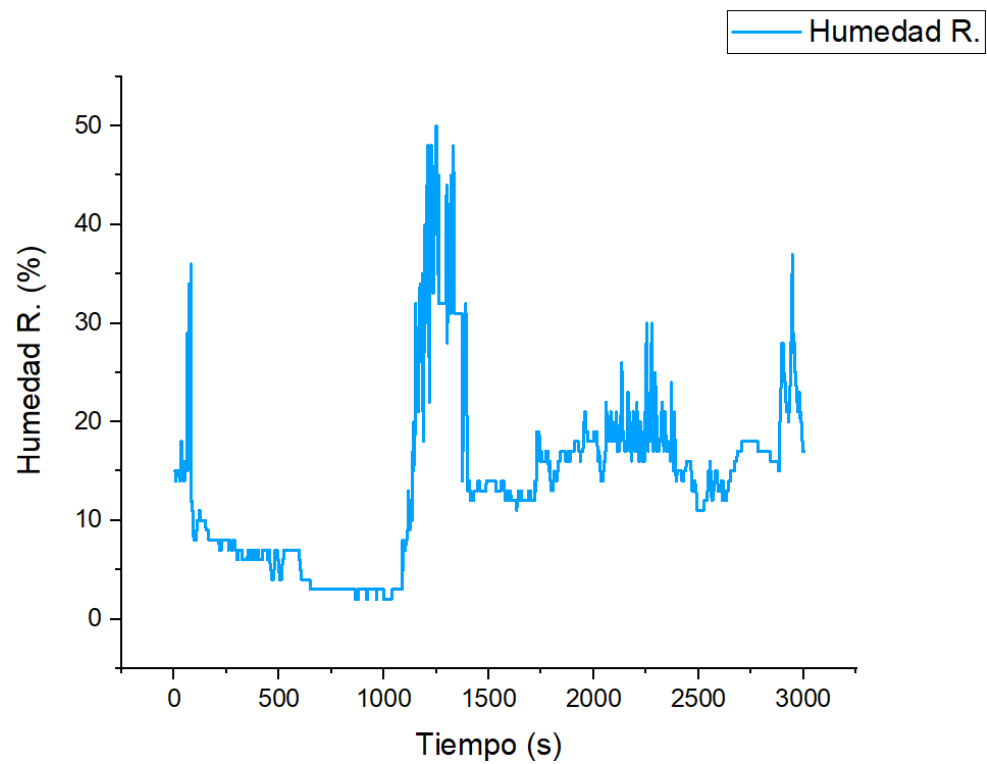


**Figura 15.** Posición de los sensores de temperatura/humedad y presión a utilizar.

Obteniendo los datos de temperatura y humedad relativa durante 50 minutos (tiempo de la prueba física) cada segundo para un solo sensor se tuvieron los siguientes resultados.



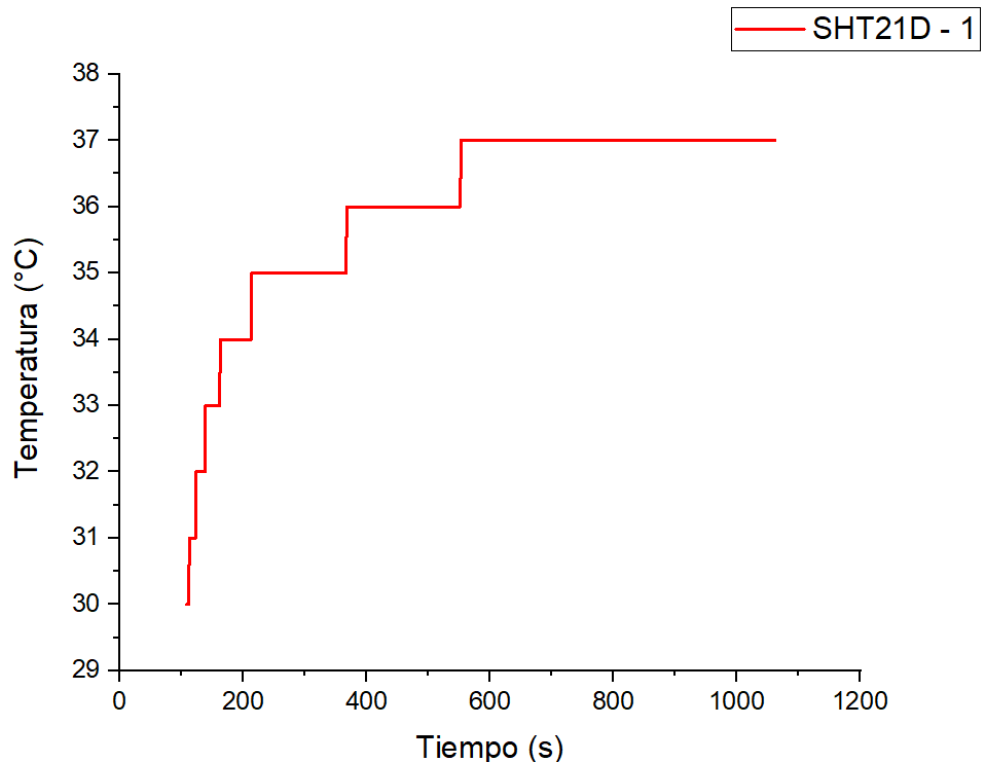
**Gráfica 1.** Medición preliminar de temperatura durante 50 minutos con mediciones cada segundo.



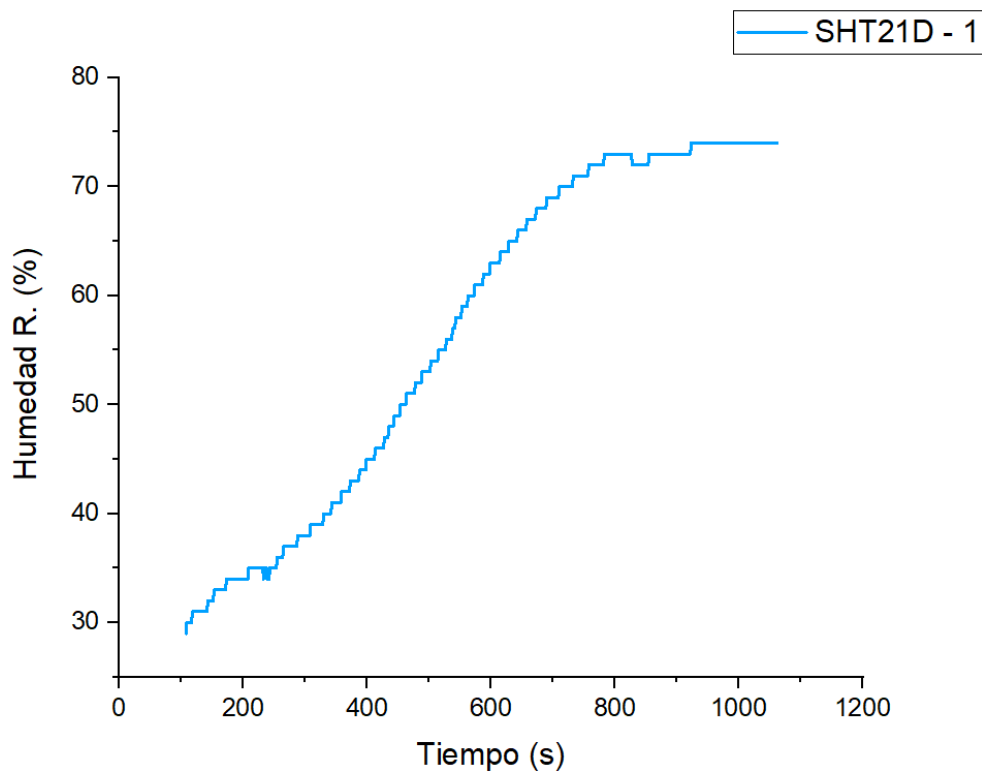
**Gráfica 2.** Medición preliminar de humedad relativa durante 50 minutos con mediciones cada segundo.

Una vez realizada la prueba preliminar se sometió al primer sujeto al protocolo de actividad

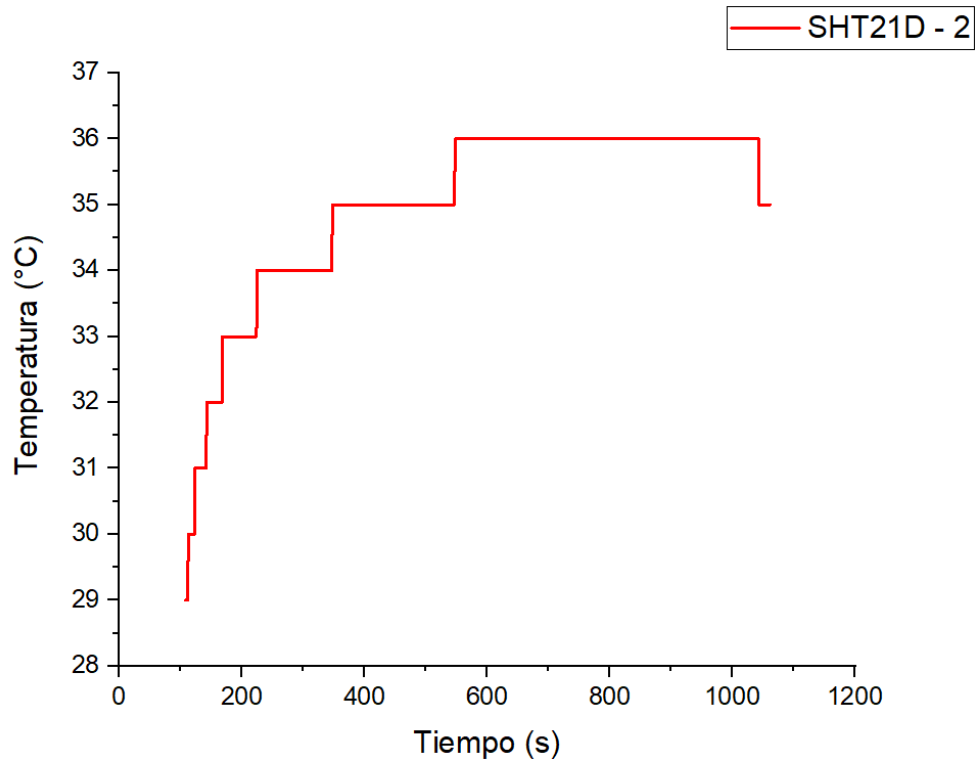
física mientras vestía los sensores y las mamas (Figura 15) en donde se obtuvieron los siguientes resultados.



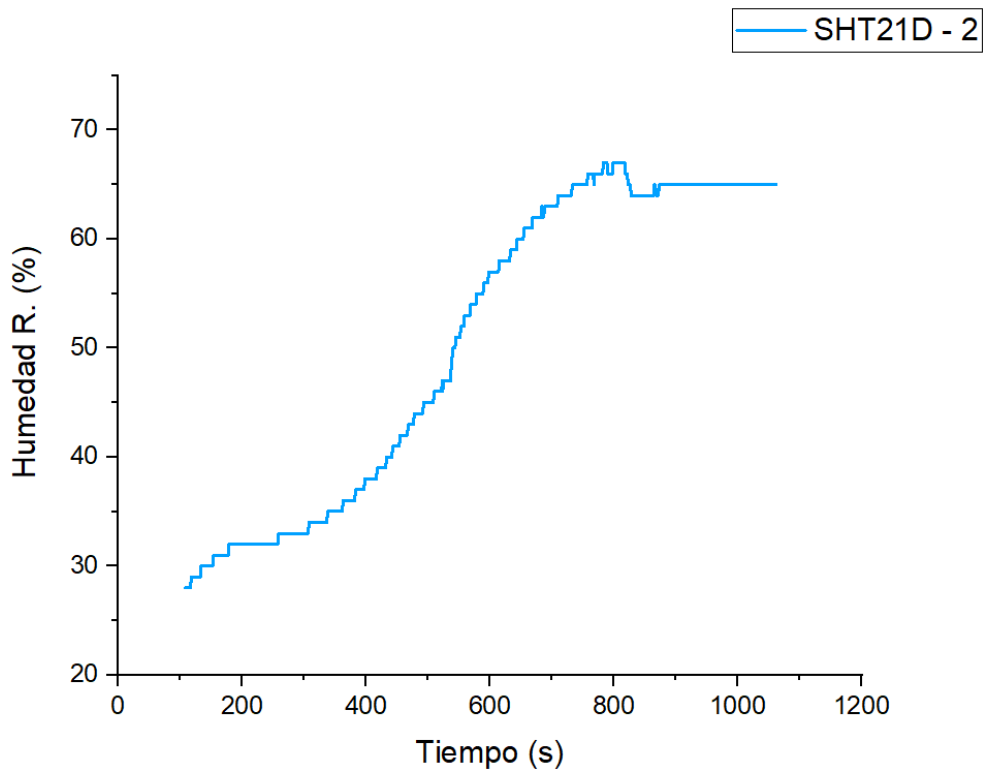
Gráfica 3. Medición de temperatura en el sensor 1 durante la prueba con el sujeto 1.



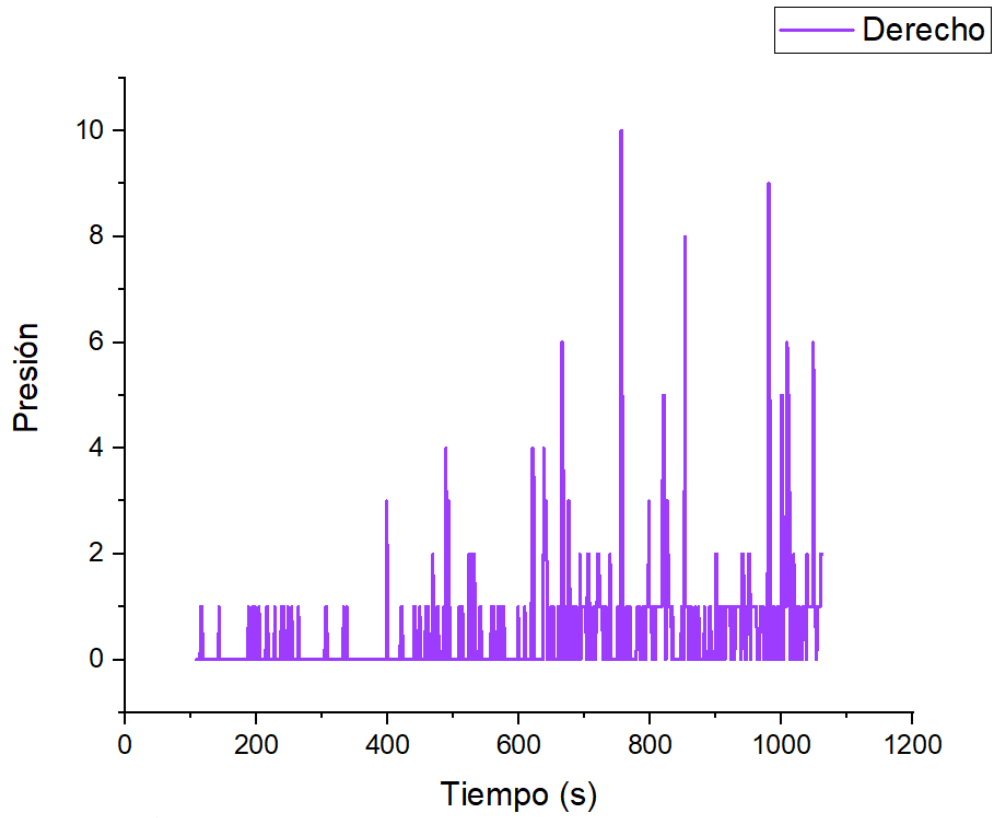
Gráfica 4. Medición de humedad relativa en el sensor 1 durante la prueba con el sujeto 1.



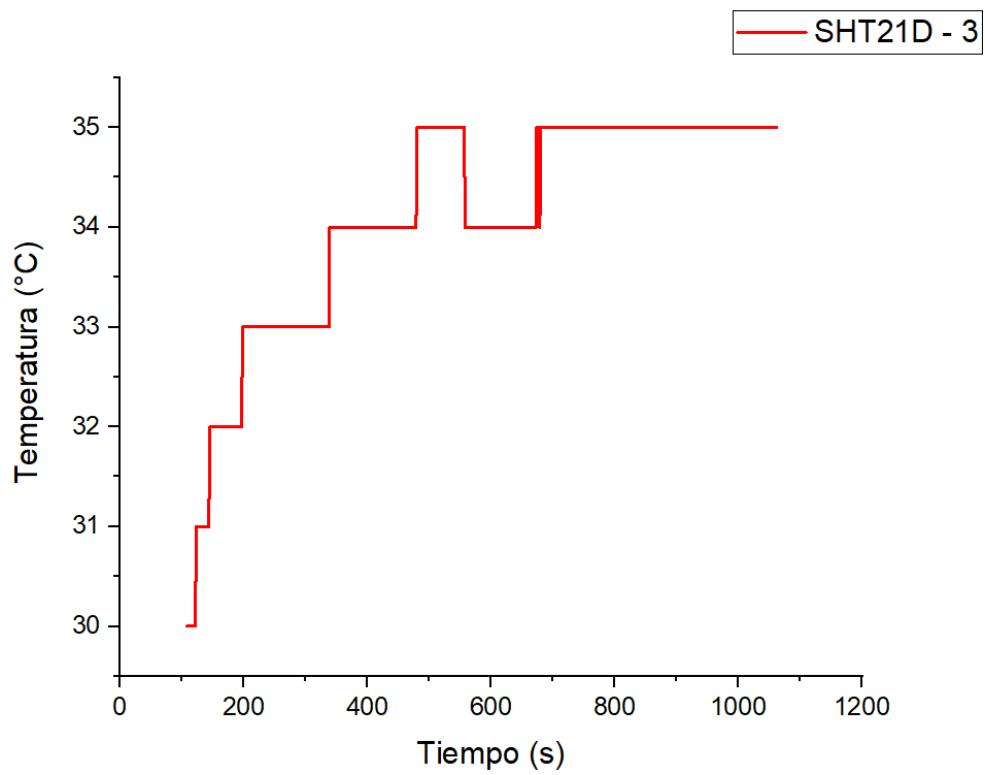
Gráfica 5. Medición de temperatura en el sensor 2 durante la prueba con el sujeto 1.



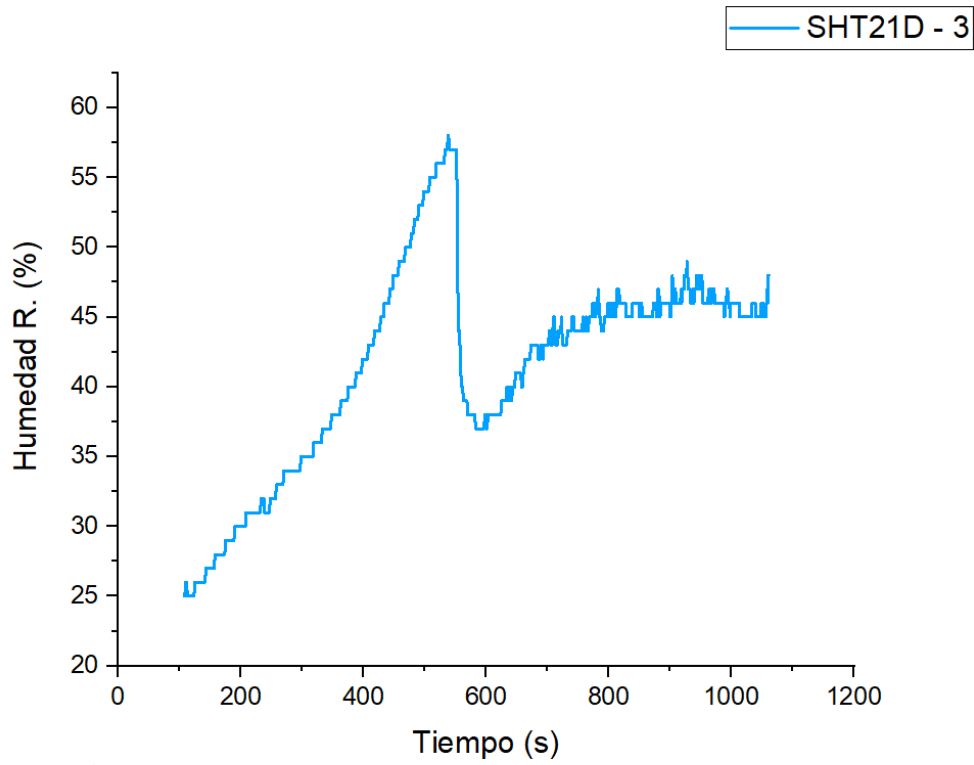
Gráfica 6. Medición de humedad relativa en el sensor 2 durante la prueba con el sujeto 1.



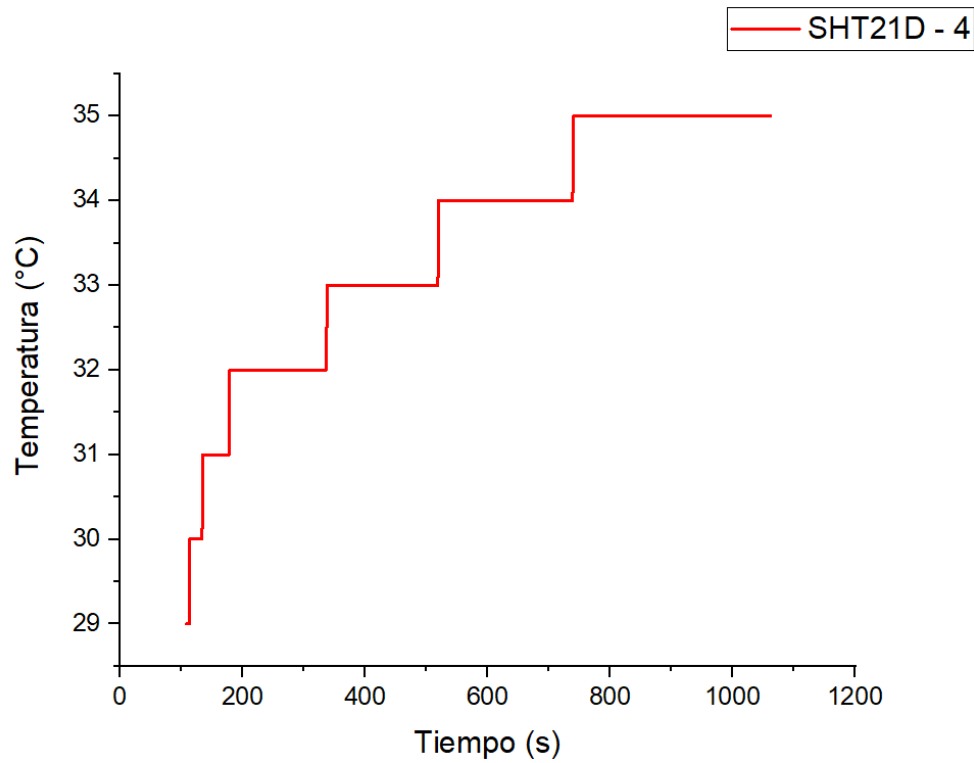
Gráfica 7. Medición de presión en el sensor 5 durante la prueba con el sujeto 1.



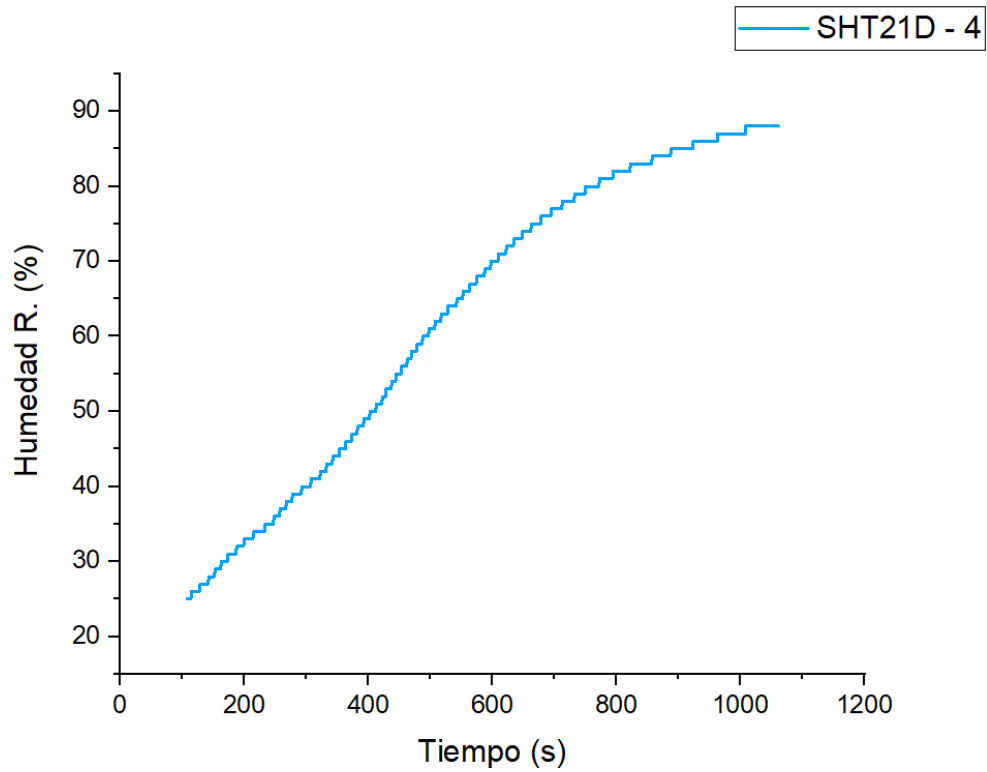
Gráfica 8. Medición de temperatura en el sensor 3 durante la prueba con el sujeto 1.



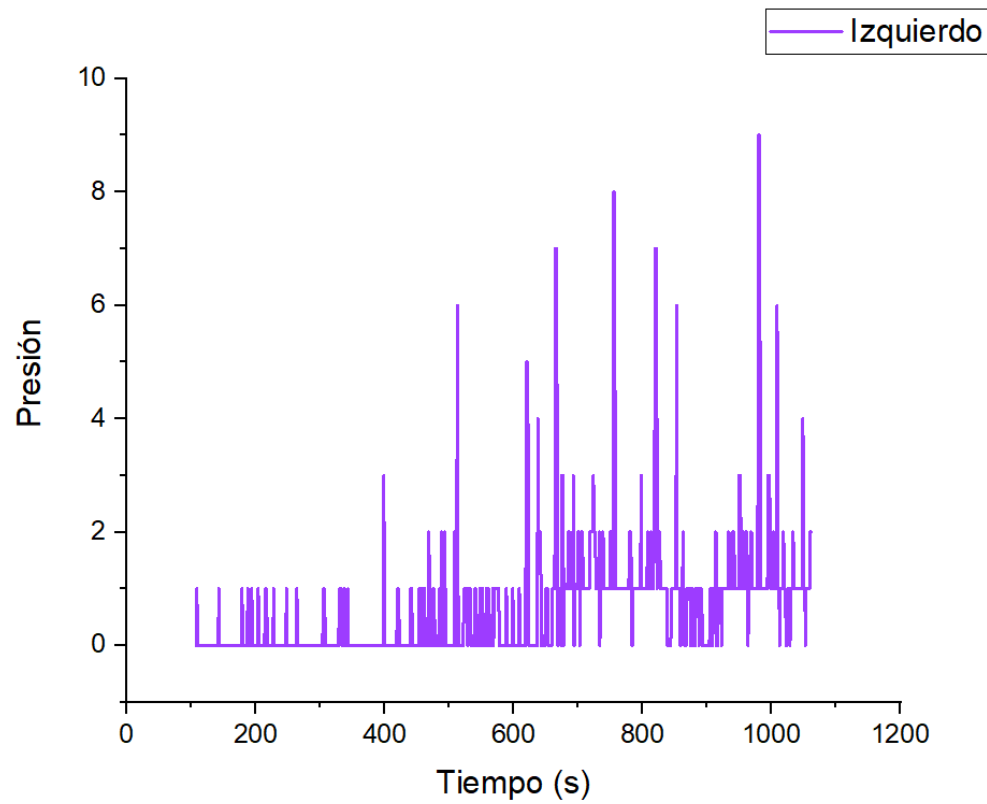
Gráfica 9. Medición de humedad relativa en el sensor 3 durante la prueba con el sujeto 1.



Gráfica 10. Medición de temperatura en el sensor 4 durante la prueba con el sujeto 1.

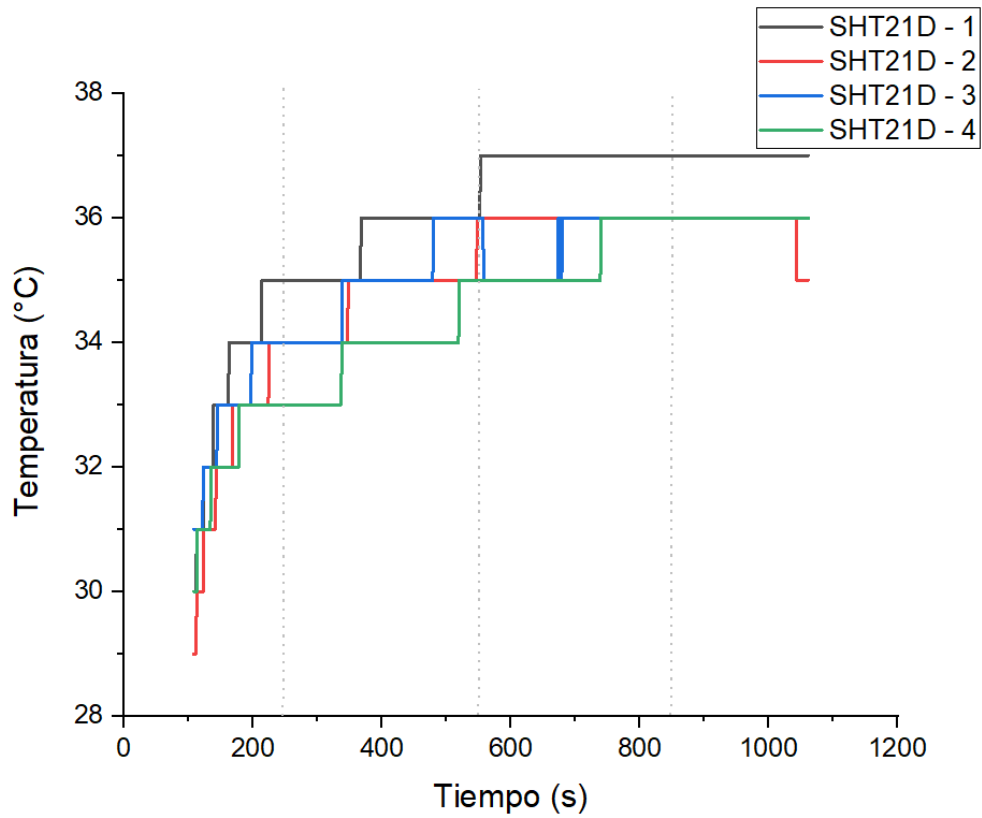


**Gráfica 11.** Medición de humedad relativa en el sensor 4 durante la prueba con el sujeto 1.

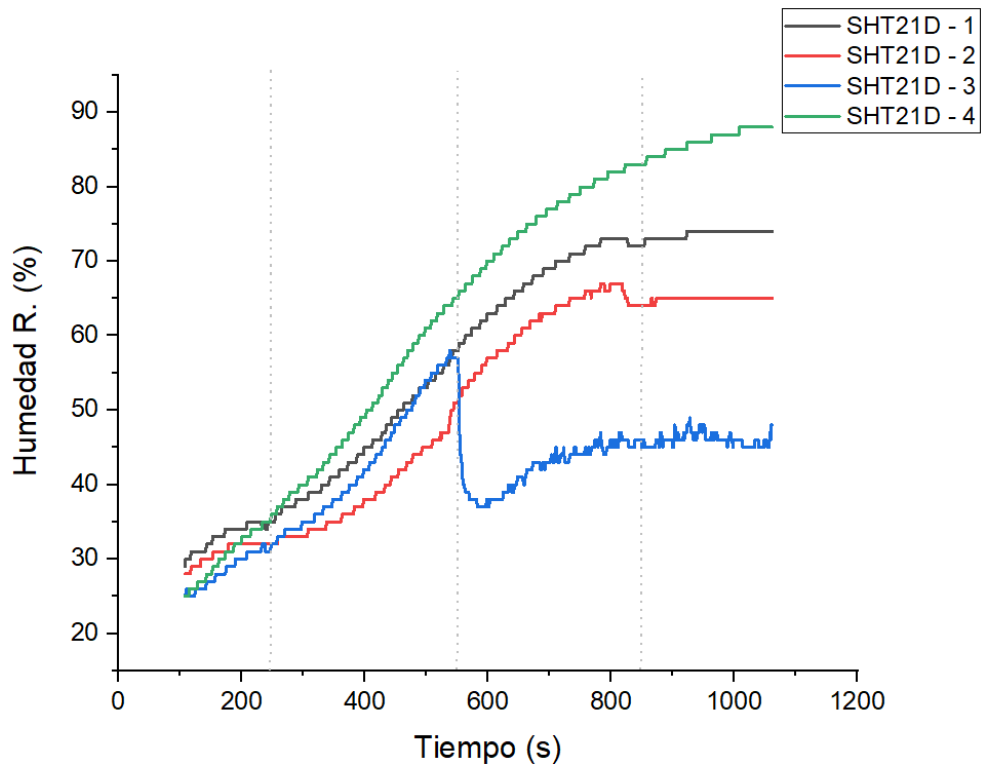


**Gráfica 12.** Medición de presión en el sensor 6 durante la prueba con el sujeto 1.

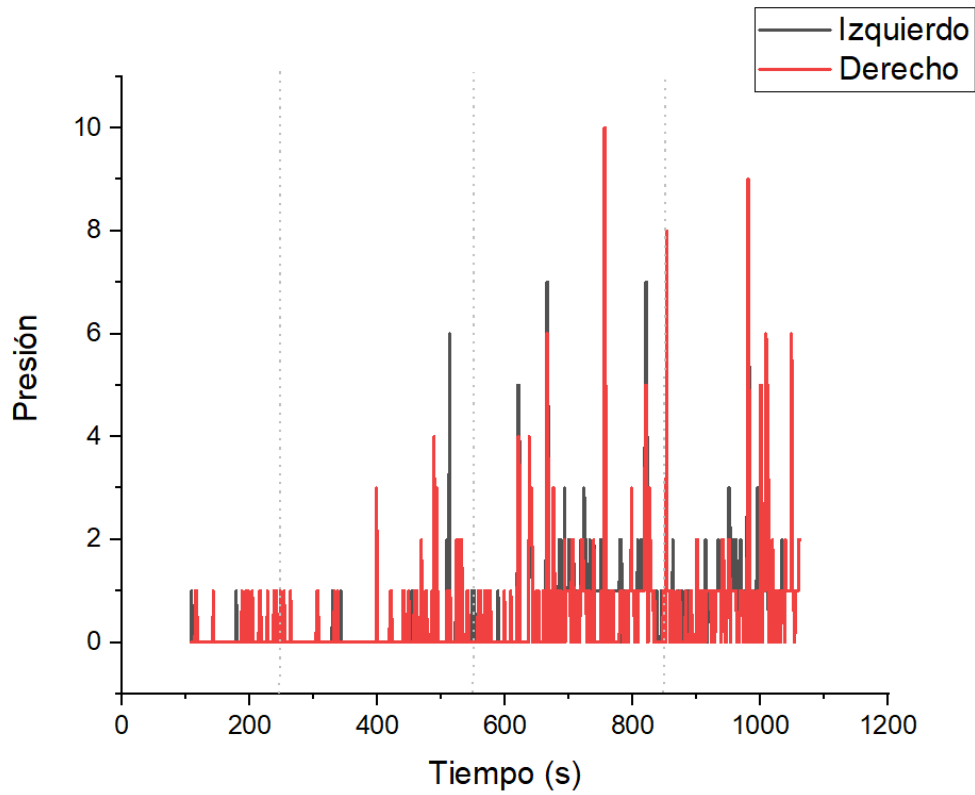
Juntando los datos obtenemos las siguientes graficas.



Gráfica 13. Mediciones de temperaturas en los 4 sensores durante la prueba con el sujeto 1.

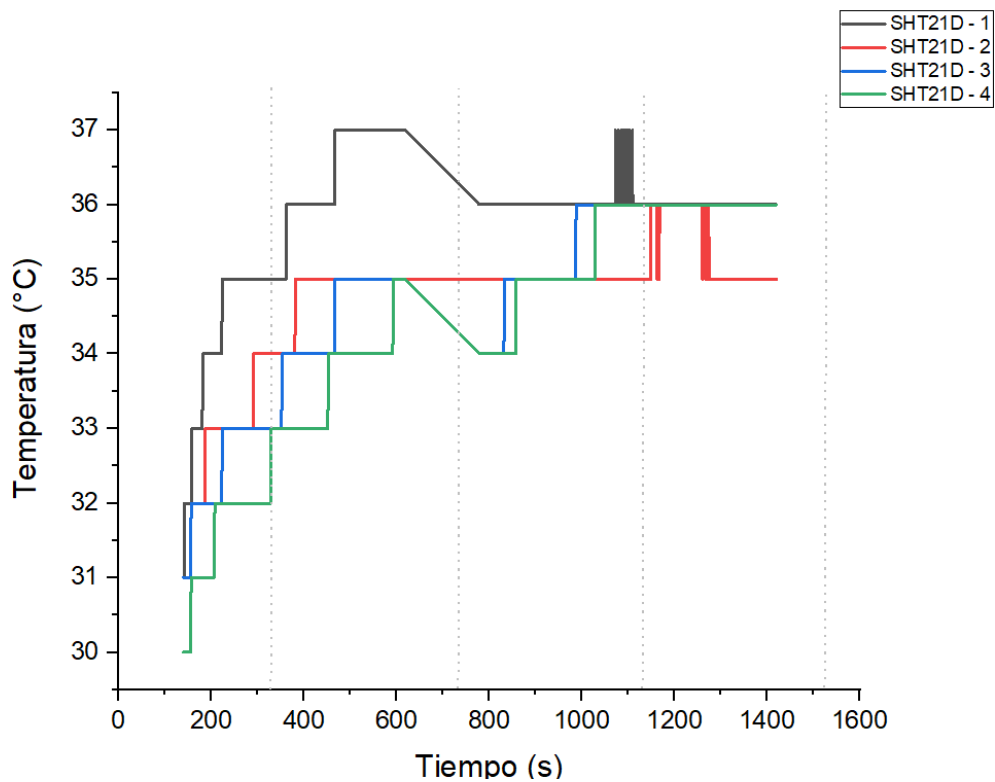


Gráfica 14. Mediciones de humedad relativa en los 4 sensores durante la prueba con el sujeto 1.

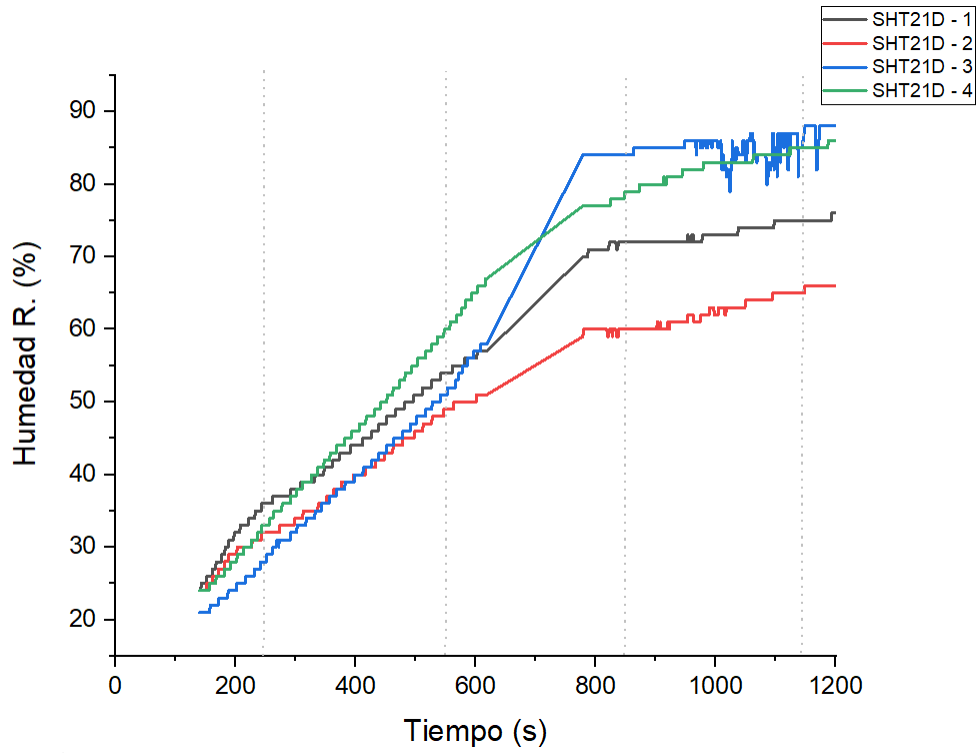


**Gráfica 15.** Mediciones de presión en ambos sensores durante la prueba con el sujeto 1.

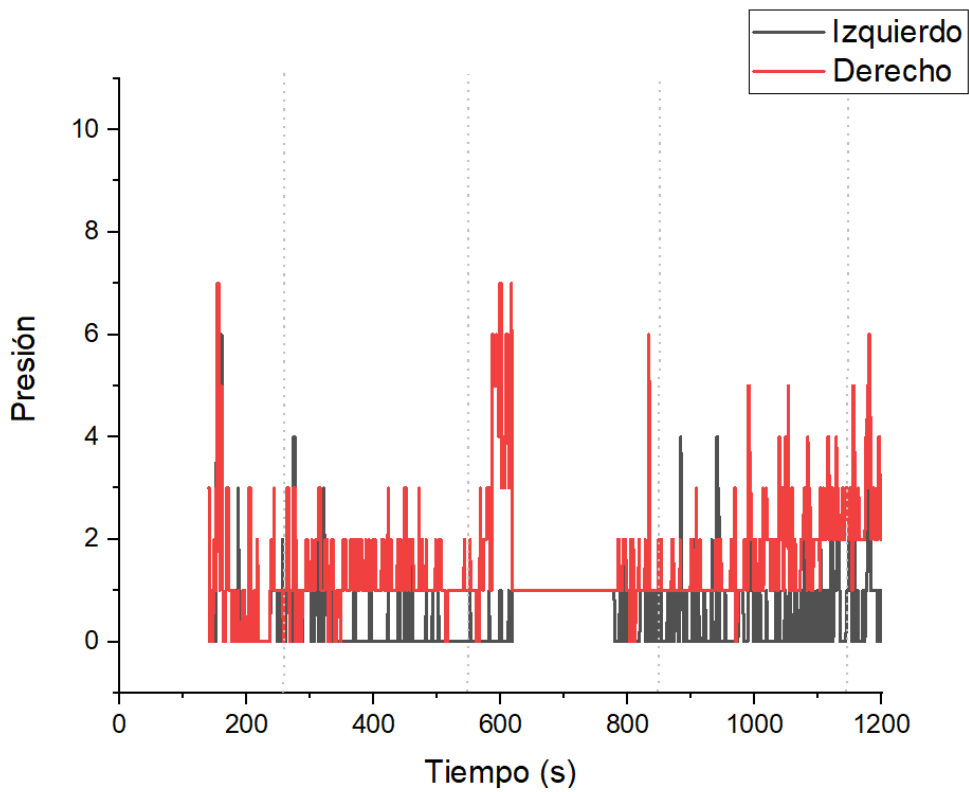
Comparando con las gráficas de los sujetos 2 y 3



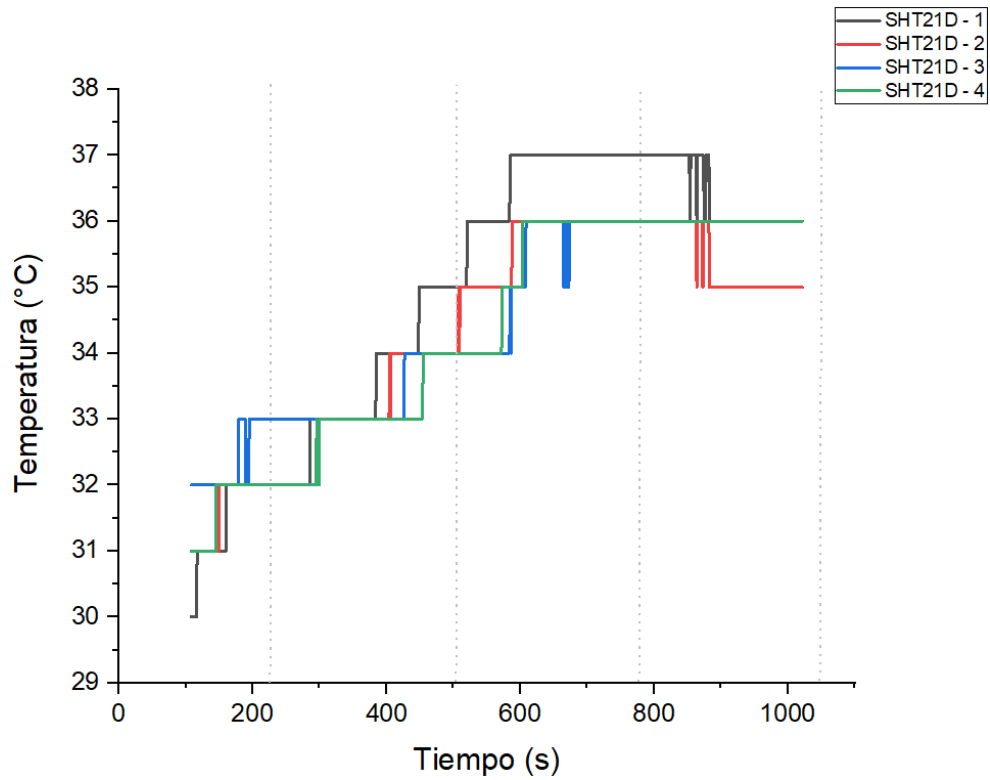
**Gráfica 16.** Mediciones de temperaturas en los 4 sensores durante la prueba con el sujeto 2.



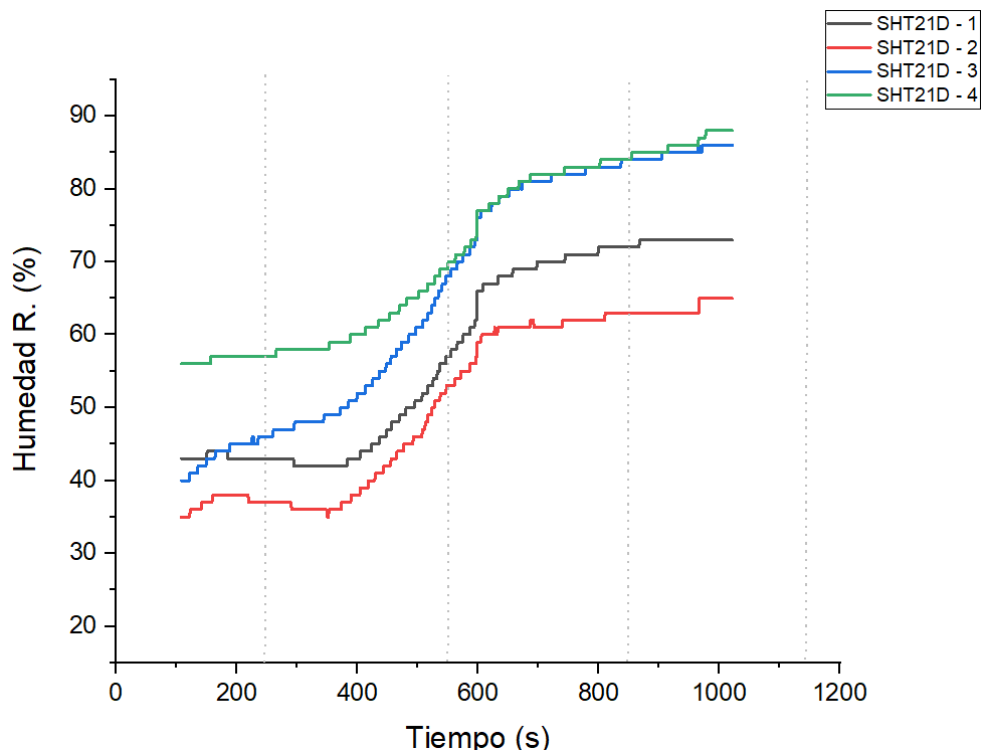
Gráfica 17. Mediciones de humedad relativa en los 4 sensores durante la prueba con el sujeto 2.



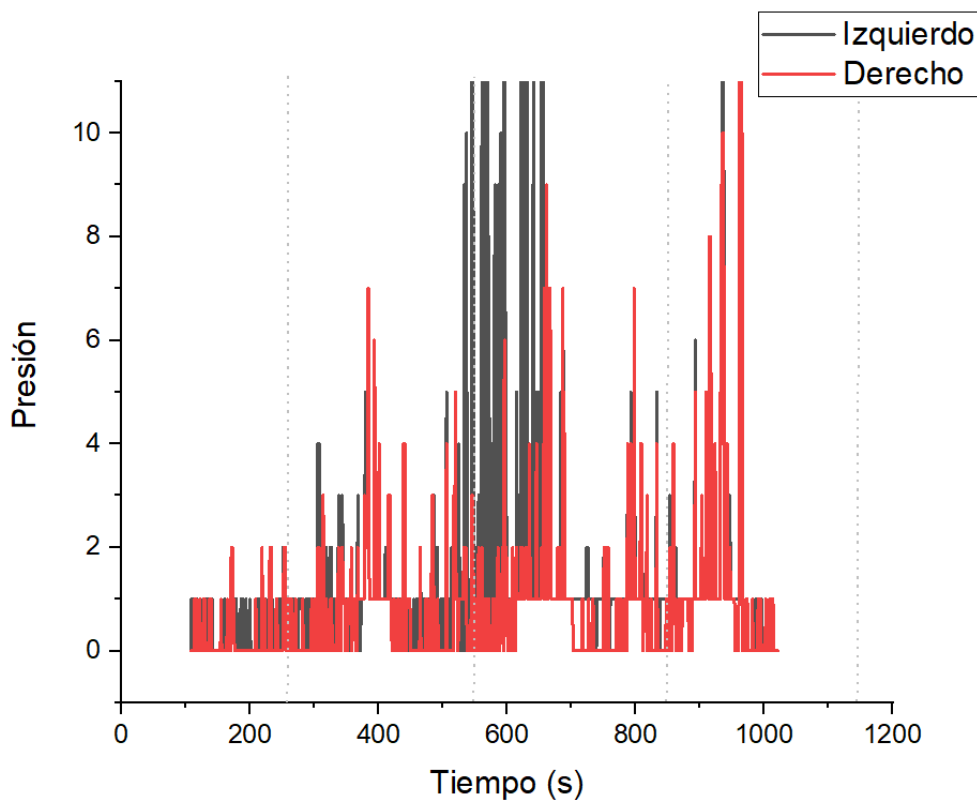
Gráfica 18. Mediciones de presión en ambos sensores durante la prueba con el sujeto 2.



Gráfica 19. Mediciones de temperaturas en los 4 sensores durante la prueba con el sujeto 3.



Gráfica 20. Mediciones de humedad relativa en los 4 sensores durante la prueba con el sujeto 3.



**Gráfica 21.** Mediciones de presión en ambos sensores durante la prueba con el sujeto 3.

Como se puede observar en las gráficas anteriores, la temperatura y la humedad incrementan de forma gradual conforme aumenta la intensidad del ejercicio, presentan sus valores máximos durante la fase en que el sujeto está trotando. Una vez que este vuelve a caminar, la temperatura comienza a disminuir mientras que la humedad se mantiene constante, esto puede interpretarse como que el cuerpo se mantiene sudando con el fin de bajar la temperatura, sin embargo, puesto que la intensidad del ejercicio disminuye, no es necesario incrementar la cantidad de sudor emitido por lo que este se mantiene igual bajando la temperatura pero manteniendo la humedad constante.

Con respecto a los sensores de presión, cuando el sujeto se encuentra sentado y caminando estos apenas se aprietan. Una vez que el sujeto comienza a trotar estos empiezan a oprimir ligeramente.

Comparando el comportamiento de ambas prótesis. Las prótesis de TPU generan más calor que las de silicona de igual manera estas ejercen una mayor presión en el sujeto, al contrario, las de silicona provocan una mayor sudoración y, según el testimonio de los sujetos, una

mayor sensación térmica en general. Comparando las gráficas de temperatura para los tres sujetos, se puede observar que el sensor 1 siempre es el que presenta mayor temperatura, por el contrario, el sensor 2 es quien tiene los valores más bajos, puesto que ambos sensores están ubicados en la prótesis de TPU muestra las variaciones que se tienen con un ligero cambio de posición, el diseño de estas prótesis no es el definitivo por lo que se debe tomar lo anterior en cuenta. Las prótesis de silicona se comportan de manera similar a las de TPU al inicio del experimento, pero no muestran grandes cambios al finalizar este, de aquí podemos decir que este material presenta cierta resistencia a bajar la temperatura, dicho en otras palabras, guarda bien el calor.

Por otro lado, podemos concluir que las prótesis de silicona provocan una mayor sudoración. Observando las gráficas de humedad, notamos que los sensores colocados en la prótesis de silicona (3 y 4) presentan de 10-30 % más de humedad en todos los casos. Pese a que esto no se puede notar en la gráfica 14 para el sensor 3 en el sujeto 1, notamos que, al momento de comenzar a trotar este valor baja repentinamente, esto posiblemente debido a un fallo en los circuitos a causa del movimiento pues hasta una fase antes se observa que la humedad empieza a incrementar y se sitúa casi por encima del sensor 1.

Con respecto a los sensores de presión, es natural que haya más contacto con la prótesis de TPU puesto que esta abarca una mayor área, casi el doble, que la prótesis de silicona, pese a ello los resultados son muy similares pudiendo inferir que esto se debe a la diferencia de pesos entre ambas prótesis, la posición relativa que tenían estas con respecto a cada uno de los sujetos o las ligeras variaciones en el lugar en que se colocaba el sensor.

### 1.7. Bibliografía y otros recursos

[1] Centro nacional de equidad de género y salud reproductiva. (2016). *Información Estadística Cáncer de Mama*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/salud/cnegsr/es/acciones-y-programas/informacion-estadistica-cancer-de-mama#:~:text=El%20c%C3%A1ncer%20de%20mama%20es,lo%20que%20representa%20el%2036.3%25>

[2] Stadista. (2024). *Tipos de cáncer con mayor número de nuevos casos detectados a*

nivel mundial en 2020 y 2040. Recuperado de:  
<https://es.statista.com/estadisticas/636254/cancer-nuevos-casos-a-nivel-mundial-por-tipo/>

[3] Herring B, Paraskeva N, Tollow P, Harcourt D. (2019). *Women's initial experiences of their appearance after mastectomy and/or breast reconstruction: A qualitative study*. *Psychooncology*. Pag. 2076-2082. doi: 10.1002/pon.5196. Epub 2019 Aug 15. PMID: 31386237.

[4] Lewis-Smith H. (2015). *Physical and psychological scars: the impact of breast cancer on women's body image*. *J Aesthetic Nurs*. Pag. 4(2):80–3. Recuperado de:  
<http://www.magonlineibrary.com/doi/10.12968/joan.2015.4.2.80>.

[5] Shepherd L, Tattersall H, Buchanan H. (2014). *Looking in the mirror for the first time after facial burns: A retrospective mixed methods study*. Pag. 4;40(8):1624–34. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.burns.2014.03.011>.

[6] Lee, Yoon-Soo. (2020). *Psychosocial Experience in Post-mastectomy Women*. *Korean Journal of Social Welfare*, Vol. 59, No. 3, 2007. 8, pp. 99-124.

[7] Glaus, S. W., & Carlson, G. W. (2009). *Long-term role of external breast prostheses after total mastectomy*. *The Breast Journal*, 15(4), 385–393. doi:10.1111/j.1524-4741.2009.

[8] Biofemme. (2022). *Prótesis Mamarias*. Recuperado de:  
<https://www.biofemme.com.mx/categoria/mastectomia/protesis-mamarias/>

[9] Guo, Y., & Truong, A. N. (2008). *Rehabilitation of patients with breast cancer*. In K. K. Hunt, G. Robb, E. Strom, & T. U. Naoto (Eds.), *M.D. Anderson cancer care series* (2nd ed.). University of Texas M.D. Anderson Cancer Center. Retrieved from <http://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-34952-7>.

[10] HEDASA. (2022). *Prótesis externa de mama: todas las claves*. Recuperado de:  
<https://www.hedasa.com/protesis-externa-de-mama/>

[11] M.T. Arceo-Martínez, J.E. López-Meza, A. Ochoa-Zarzosa, & Z. Palomera-Sanchez, (2021). *Estado actual del cáncer de mama en México: principales tipos y factores de riesgo*. *Gaceta mexicana de oncología*, 20(3), pag. 101-110.

[12] Benito, J. (2021). *¿Más casos de complicaciones del aumento de mamas? - Antiaging Group Barcelona*. *Antiaging Group Barcelona*. Recuperado de:  
<https://www.antiaginggroupbarcelona.com/blog/casos-complicaciones-aumento-de-mamas/>

- [13] Conner, K. (2022). *Tipos de prótesis mamarias*. Recuperado de: <https://www.breastcancer.org/es/tratamiento/cirugia/protesis-mamarias/tipos>
- [14] Almoneef, T., & Ramahi, O. M. (2015). *Split-ring resonator arrays for electromagnetic energy harvesting*. Progress In Electromagnetics Research B, 62(January), 167–180. doi:10.2528/PIERB15012506.
- [15] Arduino. (2018). *What is Arduino?* Recuperado de: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [16] Raspberrypi. (2024). *¿Qué es Raspberry Pi?* Recuperado de: <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>
- [17] StackScale. (2023). *Los lenguajes de programación más populares de 2023*. Recuperado de: <https://www.stackscale.com/es/blog/lenguajes-programacion-mas-populares/>
- [18] Naylamp Mechatronics. (2022). *SENSOR DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DHT22 (AM2302)*. Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- [19] Adafruit. (2022). *Adafruit HTU21D-F Temperature & Humidity Sensor Breakout Board - STEMMA QT*. Recuperado de: <https://www.adafruit.com/product/1899#description>
- [20] Naylamp Mechatronics. (2022). *MÓDULO BLUETOOTH HC05*. Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>
- [21] Sigfox. (2024). *Devkit 2.0*. Recuperado de: <https://partners.sigfox.com/products/devkit-2.0>
- [22] Sigfox. (2024). *Tecnología Sigfox: Internet de las cosas*. Recuperado de: <http://productos-iot.com/sigfox-3/#:~:text=Sigfox%20es%20una%20red%20de,energ%C3%ADa%20de%20los%20dispositivos%20conectados>.
- [23] Nsiempba, K.M.; Wang, M.; Vlasea, M. *Geometrical Degrees of Freedom for Cellular Structures Generation: A New Classification Paradigm*. Appl. Sci. 2021, 11, 3845.

<https://doi.org/10.3390/app11093845>

[24] Naylamp Mechatronics. (2023). *ESP32-CAM CON CÁMARA OV2640 ESP32 WIFI*. Recuperado de: <https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/700-esp32-cam-con-camara-ov2640-esp32-wifi.html>

## 1.8. Anexos generales

### *Cuestionario PAR-Q*



ITESO, Universidad  
Jesuita de Guadalajara

Guadalajara, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20\_\_

### PAR-Q (cuestionario de aptitud para la actividad física)

El PAR-Q (Physical Activity Readiness Questionnaire) es una herramienta que sirve para la detección de posibles problemas sanitarios y cardiovasculares en personas sanas en apariencia que quieren iniciar un programa de ejercicio físico de baja, media o alta intensidad.

Las personas entre 15 y 65 años lo realizarán para saber si necesitan consultar con el médico antes de comenzar a realizar ejercicio físico.

En el caso de personas mayores de 65 años que no sean activas físicamente, en cualquier caso, se les deberá recomendar un reconocimiento médico previo al inicio de la actividad.

### Cuestionario:

¿Alguna vez le ha diagnosticado un médico una enfermedad cardíaca, recomendándole que solo haga actividad física supervisada por personal sanitario?  Sí

No

¿Tiene dolores en el pecho producidos por la actividad física?  Sí

No

¿Ha notado dolor en el pecho durante el último mes?  Sí

No

¿Tiende a perder el conocimiento, o el equilibrio, como resultado de mareos?  Sí  
 No

¿Alguna vez le ha recetado el médico algún fármaco para la presión arterial u otro problema cardiocirculatorio?  Sí  
 No

¿Tiene alguna alteración ósea o articular que podría agravarse por la actividad física propuesta?  Sí  No

¿Tiene conocimiento, por experiencia propia, o debido al consejo de algún médico, de cualquier otra razón física que le impida hacer ejercicio sin supervisión médica?  Sí  
 No

Si ha respondido afirmativamente a alguna de las preguntas anteriores, se recomienda la realización de un reconocimiento médico antes de iniciar cualquier tipo de actividad física, con el fin de evitar riesgos durante la práctica de la misma.

---

**NOMBRE Y FIRMA DEL PARTICIPANTE**

---

**NOMBRE Y FIRMA DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL**

*Carta de consentimiento informado*



ITESO, Universidad  
Jesuita de Guadalajara

Guadalajara, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 20\_\_

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
[versión 1, 28/04/2024]

Título de la Investigación: Prótesis de mama con sensores de temperatura, presión y humedad

Nombre del Investigador Principal: Carlos Barboza Ochoa

Nombre de la persona que participará en la Investigación: \_\_\_\_\_

A través de este documento que forma parte del proceso para la obtención del consentimiento informado, me gustaría invitarlo a participar en la investigación titulada: Prótesis de mama con sensores de temperatura, presión y humedad. Antes de decidir, necesita entender por qué se está realizando esta investigación y en qué consistirá su participación. Por favor tómese el tiempo que usted necesite, para leer la siguiente información cuidadosamente y pregunte cualquier cosa que no comprenda.

### **1. ¿Dónde se llevará a cabo esta investigación?**

Esta investigación se llevará a cabo en las instalaciones del domo de actividad física, específicamente en las caminadoras del gimnasio ubicado en el edificio M.

### **2. ¿Cuál es el objetivo de esta investigación?**

Esta investigación tiene como objetivo precisar de forma directa la temperatura, la humedad y la presión entre el individuo y dos diferentes tipos de prótesis. La primera consistirá en una prótesis convencional de silicona formulada, mientras que la segunda del meta-material formulado en el PAP primavera 2023 poliuretano termoplástico (TPU).

### **3. ¿Por qué es importante esta investigación?**

El cáncer es una de las enfermedades más letales si no son detectadas a tiempo para toda la población. En la población mexicana femenina, el cáncer de mama es el tipo de cáncer que predomina, representando un 25% de los casos. Las mujeres que han pasado por una mastectomía a menudo experimentan inquietudes relacionadas con su apariencia y autoimagen, ya que la pérdida de una mama puede impactar significativamente su autoestima y confianza. La adaptación a una prótesis mamaria puede ser un proceso que demanda tiempo y puede causar molestias físicas y emocionales mientras se acostumbran a su uso y realizan los ajustes necesarios.

Al día de hoy las prótesis mamarias más utilizadas son las de silicona pues estas se ven y se sienten como mamas de verdad. Aunque se tienen distintos diseños para este tipo de mamas la mayoría suelen ser pesadas e incómodas para climas cálidos, además que su precio puede llegar a rondar los 100-500 USD. Por otro lado, las prótesis mamarias estéticas (Termino denominado para nombrar cualquier prótesis de mama que no esté hecha de silicona) por lo general se fabrican de gomaespuma, de fibras sintéticas de relleno o fibras de poliéster, este tipo de prótesis tienden a ser más livianas, frescas y cómodas que las prótesis mamarias de silicona, pero se sienten menos realistas.

Para solucionar dicho problema se hará uso de un meta-material, estos son un conjunto heterogéneo de materiales artificiales que poseen características especiales que surgen como consecuencia de la geometría y la organización de la estructura final, para la fabricación de dicha prótesis, la cual pueda emular de forma precisa las propiedades tanto mecánicas como estéticas y de textura que tiene un seno a un costo mucho menor al de una mama de silicona convencional, para este proyecto se hará uso del poliuretano termoplástico (TPU por sus siglas en inglés).

### **4. ¿Por qué he sido invitado a participar en esta investigación?**

Ha sido invitado a formar parte de esta investigación, porque cumple con las características enlistadas a continuación (criterios de inclusión):

Los participantes son incluidos si:

- Estudian actualmente en el ITESO.
- Tienen una edad comprendida entre los 20 y los 28 años.
- Han contestado el cuestionario de aptitud para la actividad física PAR-Q sin notarse ninguna complicación.

### 5. ¿Estoy obligado a participar?

Su participación es **voluntaria, anónima y confidencial**; no tiene que participar forzosamente. No habrá impacto negativo alguno si decide no participar en la investigación, y **no demeritará de ninguna manera el trato** que reciba en el PAP 4D08 primavera 2024.

### 6. ¿En qué consistirá mi participación y cuánto durará?

Su participación consistirá en lo siguiente:

Para iniciar la prueba, el miembro del equipo le colocara al ejecutante los sensores y el sujetador en la posición adecuada, una vez colocado y revisando que funcionan correctamente el ejecutante realizara los siguientes ejercicios sobre la caminadora, la cual estará con una elevación de 1:

- a) Sentarse durante 5 minutos.
- b) Caminar a una velocidad de 4.5 km/h durante 10 minutos.
- c) Trotar a una velocidad de 7 km/h durante 10 minutos.
- d) Caminar a una velocidad de 3.5 km/h durante 10 minutos.
- e) Sentarse durante 5 minutos.

Durante el transcurso de toda la prueba se le estará monitoreando el ritmo cardiaco.

Si está de acuerdo en participar, le pediremos que escriba su nombre y firme el formato de Consentimiento Informado y firme al final del mismo.

### 7. ¿Cuáles son los posibles riesgos de formar parte de esta investigación?

Participar en una investigación que implica actividades físicas relativamente leves, como sentarse, caminar y trotar durante cortos periodos de tiempo, se considera seguro para la mayoría de las personas. Aunque poco probable en actividades leves, algunas personas pueden experimentar fatiga, mareos o deshidratación, especialmente si no están acostumbradas a la actividad física.

### 8. Una vez que acepte participar ¿Es posible retirarme de la Investigación?

Se le informa que usted tiene el derecho, en cualquier momento y sin necesidad de dar explicación de dejar de participar en la presente investigación. Únicamente avisando a alguno de los investigadores su decisión.

### 9. ¿Qué sucede cuando la Investigación termina?

Los resultados, de manera anónima, podrán ser publicados en revistas de investigación científica o podrán ser presentados en congresos.

### Aclaraciones:

- a) Esta investigación ha sido revisada y aprobada por la Dr. Ramona Beatriz Alemón Galindo, profesora encargada del PAP 4D08.
- b) Su decisión de participar en la presente Investigación es **completamente voluntaria**.
- c) En el transcurso de la Investigación, usted podrá solicitar información actualizada sobre la misma, al investigador responsable.
- d) Se le garantiza que usted recibirá respuesta a cualquier pregunta, duda o aclaración acerca de los procedimientos, riesgos, beneficios u otros asuntos relacionados con la presente investigación.
- e) Si considera que no hay dudas ni preguntas acerca de su participación, puede, si así lo desea, firmar la Carta de Consentimiento Informado.

**FIRMA DE CONSENTIMIENTO**  
[versión 1, fecha 28/04/2024]

Yo, \_\_\_\_\_, manifiesto que fui informado (a) del propósito, procedimientos y tiempo de participación y en pleno uso de mis facultades, es mi voluntad participar en esta investigación titulada: Prótesis de mama con sensores de temperatura, presión y humedad.

No omito manifestar que he sido informado(a) clara, precisa y ampliamente, respecto de los procedimientos que implica esta investigación, así como de los riesgos a los que estaré expuesto ya que dicho procedimiento es considerado de bajo riesgo.

He leído y comprendido la información anterior, y todas mis preguntas han sido respondidas de manera clara y a mi entera satisfacción, por parte del investigador principal Carlos Barboza Ochoa.

\_\_\_\_\_  
**NOMBRE Y FIRMA DEL PARTICIPANTE**

\_\_\_\_\_  
**NOMBRE Y FIRMA DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL**

Nota: Los datos personales contenidos en la presente Carta de Consentimiento Informado, serán protegidos conforme a lo dispuesto en las Leyes Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, General de Transparencia y Acceso a la Información Pública y General de Protección de Datos Personales en Posesión de Sujetos Obligados y demás normatividad aplicable en la materia.

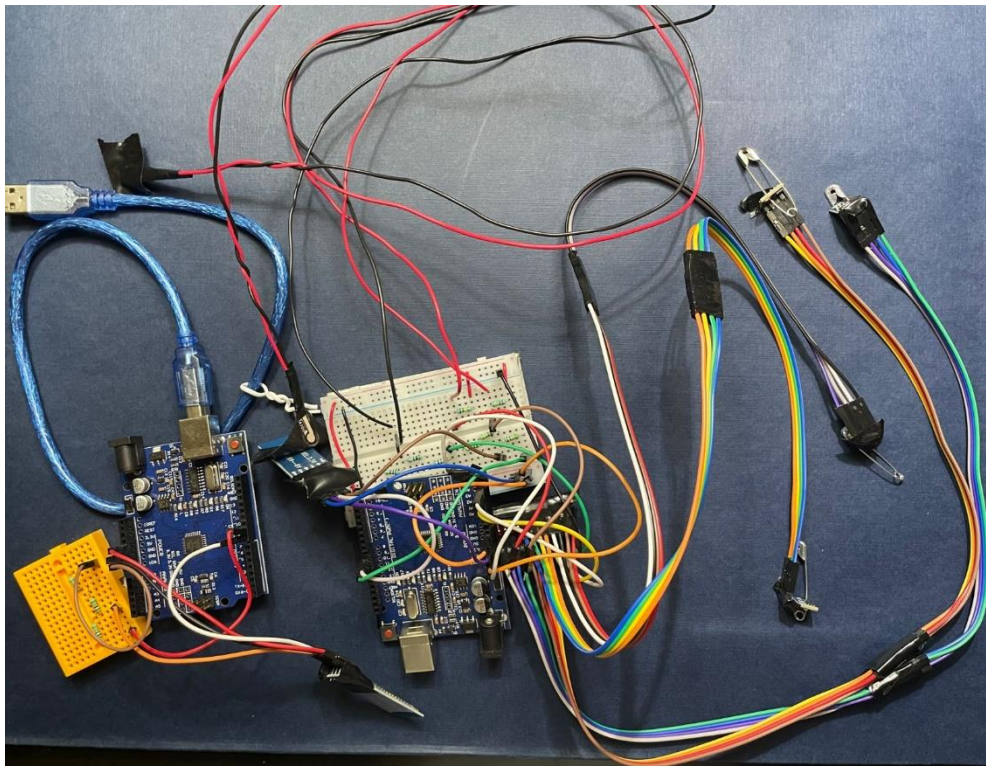
## 2. Productos

Se utilizaron los sensores y componentes proporcionados en este PAP para armar el siguiente modelo con el fin de recabar los datos a analizar.

Nombre y código del PAP	4D08 Programa de Desarrollo tecnológico para la sustentabilidad ambiental, energética y alimentaria.
Nombre del proyecto	Prótesis de mama con sensores de temperatura, presión y humedad.
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Armado para la obtención de los datos comparativos entre el metamaterial TPU con la silicona midiendo la temperatura, presión y humedad.
Autores:	Carlos Barboza Ochoa



**Figura 16.** Sujetador especial para mujeres con mastectomía junto a las prótesis de TPU.



**Figura 17.** Arduino esclavo y maestro junto a sus respectivos sensores y cableado.

A partir de las investigaciones realizadas durante este PAP se redactó el presente protocolo experimental, diseñado para emular actividades de la vida cotidiana y, el cual, se utilizó para recabar los datos analizados.

Nombre y código del PAP	4D08 Programa de Desarrollo tecnológico para la sustentabilidad ambiental, energética y alimentaria.
Nombre del proyecto	Prótesis de mama con sensores de temperatura, presión y humedad.
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	Protocolo de pruebas físicas para evaluar a los sujetos con el fin de comparar el metamaterial TPU con la silicona.
Autores:	Carlos Barboza Ochoa

### *Protocolo de evaluación física*

La principal finalidad de esta prueba es precisar de, forma directa:

- La temperatura y la humedad entre el individuo y la prótesis.

Dichos datos se medirán simultáneamente en intervalos de 10 segundos.

### *Preparación previa a la prueba*

- Ropa cómoda para hacer ejercicio.
- Bien hidratado.
- Evitar ejercicio extenuante 24 horas antes.
- Dormir lo suficiente la noche anterior.
- Haber contestado el cuestionario de aptitud para la actividad física (PAR-Q).
- Revisar con el usuario las instrucciones del ejercicio y que sepa que es libre de interrumpirla en todo momento y que ha de informar en todo momento sobre cualquier síntoma que pueda presentar.

### *Descripción de la prueba*

Para realizar esta prueba se reclutarán 9 hombres saludables con edades comprendidas entre los 22 y los 28 años. Pese a que la prueba está dirigida hacia mujeres que hayan pasado por una mastectomía, o una doble mastectomía, como primer acercamiento se realizara la prueba en hombres, tanto por la disponibilidad de estos como para evitar los tardados procedimientos burocráticos necesarios antes de poder llevar a mujeres de esta índole a realizar distintos tipos de pruebas físicas.

Los participantes realizaran una serie de 5 ejercicios con una duración total de 40 minutos.

La prueba consistirá en realizar 5 ejercicios que emulen actividades de la vida cotidiana mientras se viste, simultáneamente, una prótesis convencional de silicona y la hecha con el metamaterial (TPU). Al inicio y termino de la prueba se monitoreará su ritmo cardiaco para corroborar que el sujeto no se encuentre fatigado por la prueba anterior.

Esta prueba se llevará a cabo dentro de las instalaciones del domo de actividad física del ITESO sobre una caminadora marca precor línea 700.

### *Procedimiento general*

Para iniciar la prueba, el miembro del equipo le colocara al ejecutante los sensores y el sujetador en la posición adecuada, una vez colocado y revisando que funcionan correctamente el ejecutante realizara los siguientes ejercicios sobre la caminadora, la cual estará con una elevación de 1:

- a) Sentarse durante 5 minutos.
- b) Caminar a una velocidad de 4.5 km/h durante 10 minutos.
- c) Trotar a una velocidad de 7.0 km/h durante 10 minutos.
- d) Caminar a una velocidad de 4.0 km/h durante 10 minutos.
- e) Sentarse durante 5 minutos.

### 3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

#### 3.1 Sensibilización ante las realidades

Durante los últimos cuatro meses, mi experiencia trabajando en este proyecto de prótesis para mujeres que han pasado por una mastectomía desde la perspectiva de la nanotecnología ha sido profundamente reveladora y significativa.

Desde el inicio, uno de mis objetivos personales ha sido aplicar los principios y técnicas de la nanotecnología para crear prótesis que sean no solo altamente funcionales, sino también cómodas y estéticamente satisfactorias. Aunque no haya participado directamente en el diseño y desarrollo del meta material utilizado en las prótesis me fue enriquecedor a ver podido trabajar con él, es importante reconocer que este tipo de materiales son una buena alternativa pues proporcionan una sensación natural y una comodidad óptima. Aquí destaco la importancia de la nanotecnología en su capacidad de fabricar materiales ligeros y flexibles, que imitan la textura y la elasticidad de la piel humana, ha sido esencial para garantizar que las prótesis sean lo más confortables posible.

Por mi parte, he explorado la integración de sensores en las prótesis para detectar cambios en la temperatura y la humedad, lo que podría prevenir irritaciones y mejorar la experiencia de uso. Esta tecnología podría proporcionar un mayor nivel de confort y seguridad a las mujeres que las usan en su vida diaria.

Sin embargo, más allá de la parte técnica, este proyecto me ha enseñado la importancia de considerar las necesidades emocionales y psicológicas de las mujeres que recibirán estas prótesis. Aunque mi experiencia como hombre en este contexto puede ser limitada, he aprendido a escuchar con empatía y a adaptar mis habilidades técnicas para satisfacer las

necesidades específicas de las usuarias.

Sin duda este proyecto me ha brindado una perspectiva única sobre el potencial transformador de la nanotecnología cuando se aplica de manera ética y centrada en el ser humano. A través de mi trabajo en este proyecto, espero haber contribuido no solo al avance de la ciencia y la tecnología, sino también al bienestar y la dignidad de quienes más lo necesitan.

### 3.2 Aprendizajes logrados

Durante el transcurso de este proyecto se presentaron diversos problemas en distintos ámbitos, cada uno de ellos fue una oportunidad de crecimiento a su manera.

Por un lado, aprendí acerca de lo que es llevar un proyecto de corta duración en donde tu eres el encargado de checar materiales, hacer la cotización, meter la solicitud y esperar a que estos lleguen. Uno tiene que adaptarse a los distintos procesos burocráticos a los que, en ocasiones, se está sujeto y en base a ellos tratar de manejar tus tiempos a la par que avanzas el proyecto en la medida de lo posible.

Por otro lado, pude reafirmar conocimientos que tenía acerca de programación y electrónica además de aprender más acerca de los distintos protocolos de comunicación entre los dispositivos. Hasta el momento no había tenido la necesidad de trabajar con módulos bluetooth o con sensores que trabajaran mediante IC2, por lo que juntar todo esto fue una experiencia muy enriquecedora, especialmente el hecho de trabajar con múltiples dispositivos que tuvieran la misma dirección IC2, cosa que en su momento me trajo algunos problemas y me hizo buscar videos, foros, páginas y demás que tuvieran algún tipo de información acerca de esto. El cómo enviar, recibir, capturar y graficar datos es algo que no había hecho de esta manera por lo que abre diferentes opciones para proyectos futuros.

Hablando desde una perspectiva más ética, he vislumbrado un poco de los distintos problemas con los que se enfrentan las mujeres que han pasado por este tipo de operaciones, como menciono en el apartado anterior, como hombre es difícil empatizar con este tipo de cosas por lo que llevar este proyecto fue, en este sentido, un reto.

### 3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).

Categorizar los elementos, si es un conocimiento, una habilidad, una actitud,	Competencia	Evidencia	Relevancia/Fortaleza*	Competencias nuevas	Competencias potencializadas
	Conocimientos	Mecánica de prótesis.	Acreditación de distintos cursos de mecánica.	Entender la matemática de lo que se está trabajando es útil al momento de leer artículos especializados y presentar un modelo propio.	Uso de meta materiales como opción para prótesis
Rutinas de entrenamiento y acondicionamiento físico.		Poco más de dos años haciendo ejercicio de 3-5 veces por semana.	Es necesario tener al menos un conocimiento básico para la formulación de los protocolos de entrenamiento para las pruebas físicas de las prótesis.	Experiencia en la creación de protocolos de entrenamiento	Mayor conocimiento en los equipos de gimnasio
Distintos tipos de sensores.		Identificación de las fortalezas y desventajas del uso de sensores para el proyecto.	La toma de datos se realizará mediante estos sensores por lo que tener una noción de su principio de funcionamiento, así como de la instrumentación necesaria para el proyecto será útil para este.	Uso de los protocolos de comunicación IC2 y comandos AT	Mejor entendimiento del bus de datos y de transmisión en los dispositivos.
Programación		Entendimiento de los códigos para el sensor de presión	Se necesita un entendimiento básico de programación para poder hacer manejar los	Transmisión y recepción de datos vía bluetooth	Fortalecimiento en las habilidades de programación y de

			mostrados en el RPAP otoño 2023.	sensores, así como para la recolección de datos.		búsqueda en foros
		Electrónica	Entendimiento del circuito amplificador usado para el sensor de presión mostrado en el RPAP otoño 2023.	Conocimientos básicos en electrónica son indispensables para el diseño y armado del circuito a utilizar.		Fortalecimiento en la comprensión de circuitos analógicos.
		Manejo de tiempos y actividades	Entrega del inventario de competencias	Es indispensable poder organizar correctamente las actividades a realizar en el tiempo dado.	Organización de pedidos y cotizaciones.	Adecuamiento del proyecto a los tiempos de entrega.
	Habilidades	Síntesis de componentes para la prótesis.	Acreditación de 3 materias relacionadas con el tema.	En el dado de caso de requerir preparar nuevamente distintos tipos de materiales para la prótesis.	Uso de metamateriales para un proyecto y pruebas físicas.	Mayor comprensión de los metamateriales
		Manejo de distintos tipos de sensores, entre ellos de temperatura, humedad y presión.	Título de tecnólogo en control automático y proyecto de titulación basado en Arduino y LabVIEW.	Tener experiencia trabajando con estos sensores ayuda a su manejo durante todo el proyecto.	Uso de protocolo IC2 para comunicación entre sensores y controlador.	Manejo en el uso de una cantidad moderada de sensores al mismo tiempo.
		Programación en Arduino.	Proyecto de titulación basado en Arduino y LabVIEW.	Con este programada se realizará todo el proyecto por lo que es importante poder manejarlo hasta cierto punto.	Transmisión y recepción de datos vía bluetooth	Mejora en el manejo de C.
		Implementación de	Acreditación de 2	Familiaridad con las bibliotecas de	Uso del módulo	Mayor entendimiento

		distintos módulos para el Arduino.	materias relacionadas al tema además de distintas prácticas escolares.	Arduino, así como la búsqueda de estas en internet.	HC05 así como de comandos AT.	o en los distintos protocolos de comunicación.
		Elaboración de reportes y artículos científicos.	Título de tecnólogo en control automático y 10 semestres en la carrera de nanotecnología en el ITESO.	Es indispensable saber cómo dar a conocer la metodología, objetivos, propósitos, resultados y conclusiones que aporte el proyecto de manera escrita.	Habitación en el formato de los RPAP.	Mejor organización en la escritura de textos.
		Exposición de proyectos, trabajos y presentaciones en general.	Recomendación de la profesora Diana Rodríguez experta en metodologías de innovación y creación de startups.	Es indispensable saber cómo dar a conocer la metodología, objetivos, propósitos, resultados y conclusiones que aporte el proyecto de manera oral.	Organización en los tiempos de una exposición.	Creación de posters y presentaciones de PAP.
		Búsqueda de material didáctico, artículos u equipo necesario para el proyecto.	Distintos reportes y reportes tipo artículo para proyectos escolares.	El poder buscar material faltante para resolver problemáticas que se presentan es imprescindible en proyectos como estos.	Uso de foros para aclarar dudas.	Comprensión en diferentes tipos de códigos.
	Actitudes	Autodidacta	Proyectos y clases pasadas	Permite no siempre depende de que se te enseñe algo directamente, sino la posibilidad de utilizar las herramientas que	Profundizar en temas relacionados al proyecto.	Fortalecimiento en la búsqueda de información pertinente al proyecto.

				se tienen y poder encontrar por sí mismo una solución		
		Organizado	Manejar la escuela, el trabajo y el proyecto a la vez.	Se podrá trabajar sin problemas de esta índole a lo largo del proyecto.	Organización de diferentes grupos de personas	Mejor accesibilidad de información anterior.
		Comprometido	Leer los artículos a revisar a tiempo.	Se realizarán todas las entregas.	Pensamiento Creativo y Resolución de Problemas	Compromiso ético

Comparando las competencias adquiridas con las iniciales puedo concluir que los principales cambios se encuentran en las áreas relacionadas a los sensores. Pese a que el proyecto está enfocado mayormente a la comparación entre una prótesis de silicona y la de TPU, este PAP estuvo centrado en la recepción y transmisión de datos a partir del uso de distintos sensores, por lo que se trabajó principalmente en cuestiones electrónicas y de programación. Áreas en donde se tuvo una mejora significativa en cuestiones relacionadas a los protocolos de comunicación pues, hasta el momento, no había tenido la oportunidad de trabajar con módulos bluetooth o con sensores que tuvieran la misma dirección.

Hablando un poco de aparte de actitudes, no se logró trabajar mucho con las que implicaban trabajar en equipo, pues este PAP se llevó de manera individual, sin embargo, si se pusieron en práctica aquellas que requerían trabajar o colaborar con terceros para la realización de las pruebas físicas.

Para resumir, este proyecto me ayudo a mejorar mis habilidades de programación y electrónica mientras trabajaba con un material novedoso y relacionado con mi carrera.