

SENSOR DE ESTIRAMIENTO/PRESIÓN MANUFACTURADO MEDIANTE TEJIDO CON HILO CONDUCTOR E HILAZA DE ALGODÓN

Joel Aparicio-Pérez

Magdalena Marciano-Melchor

Juan Carlos Herrera-Lozada

Instituto Politécnico Nacional
CIDETEC
Departamento de Posgrado

japarciop001@hotmail.com

RESUMEN

Los sensores son componentes importantes en proyectos que requieren interactuar con el entorno que los rodea, existen diferentes tipos de sensores y estos pueden obtener parámetros para medir diferentes factores y a la vez realizarlas con diferentes metodologías. Así mismo, podemos encontrar sensores en el mercado especializado y dependiendo de su funcionamiento, precisión y la tecnología que implementan; sus costos pueden variar aun si el parámetro a medir es el mismo.

La finalidad de este artículo es dar a conocer la implementación de sensores de tensión que se pueden manufacturar con hilo conductor mediante un tejido en conjunto con hilaza de algodón, mostrando características generales, realizando pruebas de medición, comportamiento y haciendo uso de la tarjeta Arduino nano para mostrar el comportamiento de dichos sensores. Lo anterior con el fin de brindar una alternativa a sensores de tensión a bajo costos y con la flexibilidad de poder adaptar.

Introducción

Si se desea utilizar un sensor flexible para medir la tensión o presión aplicada a un objeto o conjunto de estos, en el mercado podemos encontrar sensores piezoeléctricos como las galgas extensiométricas o sensores de flexión de diferentes dimensiones y formas. Estos componentes se pueden utilizar en textiles inteligentes y así crear prendas que pueden tener una función específica en diferentes áreas de investigación o en algunos casos para la industria del entrenamiento.

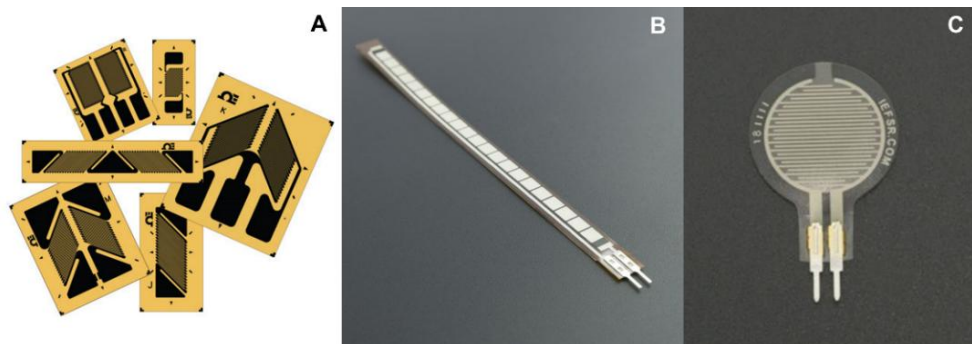


Figura 1. Galga extensiométrica (A), sensor de flexión resistivo (B) y sensor de fuerza resistiva (C). Imágenes obtenidas de <https://es.omega.com> (A) y <https://www.vistronica.com/presion/> (B y C).

Existen sensores de flexión resistiva, los cuales operan por medio de la flexión al cambiar el valor de resistencia que poseen de acuerdo a cuanto se flexione. Si no están flexionados, la resistencia es baja y cuando se flexiona su resistencia aumenta. Son bastante similares a los sensores de fuerza resistiva que operan de la misma manera pero en base a la presión que se les aplica.

Textiles electrónicos

Los textiles Electrónicos también conocidos como E-Textil en inglés se definen generalmente como textiles con componentes electrónicos o fibras conductoras integradas en su interior para dotarles de funciones inteligentes [1]. El hilo conductor es un componente dentro de los textiles electrónicos utilizado para textiles inteligentes o smart textiles en inglés y se implementa para crear prendas o dispositivos de tecnología vestible. Se debe aclarar, ya que muchas veces se confunde los términos, los textiles inteligentes son la categoría general que incluye los textiles electrónicos y que dentro del primero también existen otros tipos de textiles sin elementos electrónicos o conductores.

Tecnología vestible

La tecnología vestible o en inglés conocida como weareable technology es un conjunto de dispositivos electrónicos que se pueden integrar al cuerpo como prenda o accesorio [2] que realizan alguna función o realizar mediciones del cuerpo (biométricas) como por ejemplo medir el ritmo cardíaco o la temperatura. Ejemplos de tecnología vestible son los smartwatch, prendas inteligentes y equipo médico utilizado para mediciones en rehabilitación o monitoreo de salud que se colocan sobre el cuerpo de los pacientes.

La implementación y función de la electrónica vestible es más simple en comparación de las computadoras portátiles, mientras que una computadora

portátil tiene entrada y salida y es capaz de ajustarse a múltiples tareas, la electrónica vestible se construye con tareas establecidas para satisfacer una o más necesidades de un grupo objetivo específico y a diferencia de los equipos móviles estos elementos están enfocados para que sean usados en el cuerpo [3].

De este tipo de tecnología se considera el hecho de utilizar sensores que permitan medir la tensión y distensión de un objeto para poder tener parámetros de medición y/o activación basadas en el comportamiento de estos sensores utilizando hilo conductor y algún hilo no conductor por ejemplo hilaza.

Arduino™

Arduino™ es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar [4]. Es una placa con un microcontrolador ATmega328, posee un entorno de desarrollo “Arduino Software (IDE)” provisto de forma gratuita en su sitio oficial [5], es multiplataforma y económico. Arduino™ se caracteriza por ser sencillo y fácil de implementar para quienes tienen conocimientos básicos de lenguajes de programación y electrónica, por lo que es muy viable para proyectos enfocados a textiles electrónicos.

Metodología y resultados

Se realizaron varias pruebas de medición a trozos de diferentes tamaños de hilo conductor para estudiar su comportamiento.

La descripción del hilo conductor adquirido indica que cada centímetro de largo del hilo conductor equivale a 1 ohm, la hebra posee un diámetro de 0.15 mm, que está cubierto de acero inoxidable tipo 316L [6] y soporta una fuerza de 1.86 kilogramo-fuerza.



Figura 2. Hilo conductor (Izq.) imagen obtenida de <https://www.steren.com.mx>. Comparativa de tamaño y comparativa de tamaño del producto. (Der.)

La siguiente tabla muestra las mediciones realizadas a diferentes trozos de hilo de 1, 2, 3, 5, 7 y 10 cm para comparar la resistencia obtenida de acuerdo a las especificaciones dadas por el proveedor de este producto.

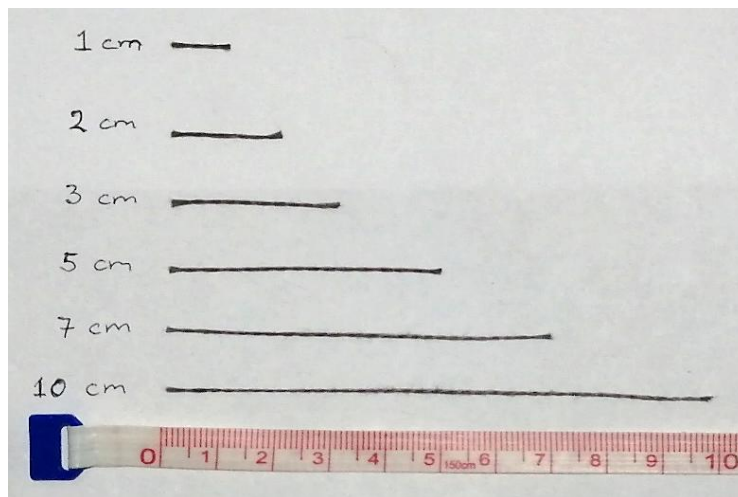


Figura 3. Se cortaron seis trozos de hilo conductor de distintas longitudes.

Tabla 1. Medidas de resistencias obtenidas con el multímetro digital.

Muestra de medidas con multímetro de resistencias en hilo conductor			
Longitud	Resistencia esperada en reposo	Resistencia obtenida en reposo	Resistencia obtenida en tensión
1 cm	1 ohms	1.9 ohms	2.5 ohms
2 cm	2 ohms	2.9 ohms	2.8 ohms
3 cm	3 ohms	3.8 ohms	3.4 ohms
5 cm	5 ohms	6.2 ohms	4.5 ohms
7 cm	7 ohms	8.5 ohms	5.3 ohms
10 cm	10 ohms	11.4 ohms	6.8 ohms

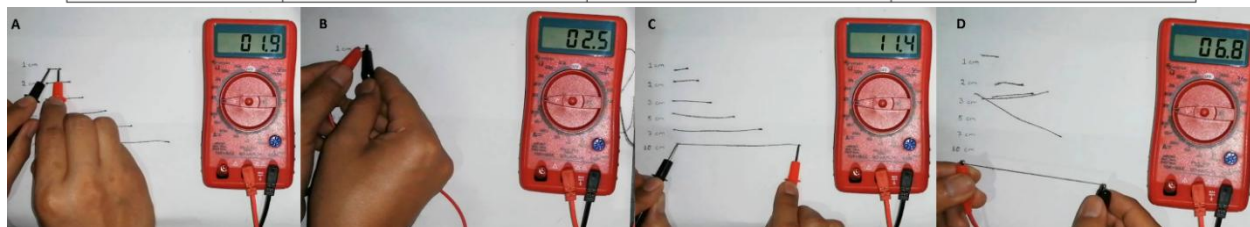


Figura 4. A y B son las medidas obtenidas en el trozo de hilo conductor de 1 cm sin y con tensión respectivamente. C y D corresponden a las mismas pruebas a un hilo de 10 cm.

En el caso de las resistencias de 1 y 2 cm la alta variación entre la medición con y sin tensión en la Tabla 1, se puede atribuir a los caimanos usados para medir, ya que estos generan una impedancia que en otros casos sería mínima, pero para las mediciones realizadas en estas pruebas se ven reflejadas en los resultados obtenidos.

Divisor de voltaje

Un divisor de voltaje es un circuito simple que reparte la tensión de una fuente entre una o más impedancias conectadas. Implementando sólo dos resistencias en serie (R_1 y R_2) y un voltaje de entrada (V_e), se puede obtener un voltaje de salida (V_s) [7].

El diagrama de un divisor de voltaje se muestra en la Figura 5, se aplica un voltaje de entrada que pasara por R_1 y R_2 y entre estas en paralelo tenemos una salida la cual será el voltaje en R_2 el cual será el voltaje que se desea utilizar.

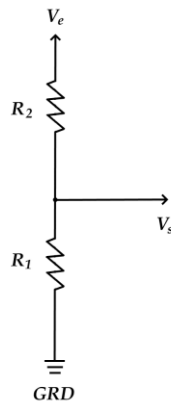


Figura 5. Diagrama de divisor de voltaje.

La fórmula para conocer el voltaje de salida se puede determinar conociendo el valor de ambas resistencias y el voltaje con el que se alimenta el circuito, la fórmula es la siguiente:

$$V_s = V_e \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

Si queremos un voltaje donde se desea obtener a la salida (V_s) del divisor de voltaje en específico, basta con conocer el valor de voltaje de entrada (V_e) y el de una de las resistencias del circuito (R_c) para determinar el valor de la resistencia desconocida (R_d) mediante despejes y obtenemos la siguiente fórmula.

$$R_d = \left(\frac{V_e}{V_s} - 1 \right) R_c$$

Conociendo lo anterior implementamos en Arduino nano, que es una de las varias placas de desarrollo que se caracteriza por un tamaño reducido, opera a 5 volts, con 14 puertos digitales de entrada/salida, 8 puertos análogos, una memoria de 16 KB, 1 KB de SRAM y 512 bytes de EPROM; realizamos una práctica para medir la

resistencia que puede tener estos mismos trozos de hilo conductor y así comparar los valores obtenidos de la Tabla 1. En la Figura 6 se muestra el circuito empleado para este proyecto, V_e será alimentado por el Pin 5V de la placa Arduino nano, la tierra del circuito divisor de voltaje se conecta a tierra común junto con el Pin GRD de Arduino nano y el V_s del divisor de voltaje se conecta al Pin A0 de la placa. En la Figura 6 se muestra el diagrama de las conexiones usadas para el circuito antes descrito.

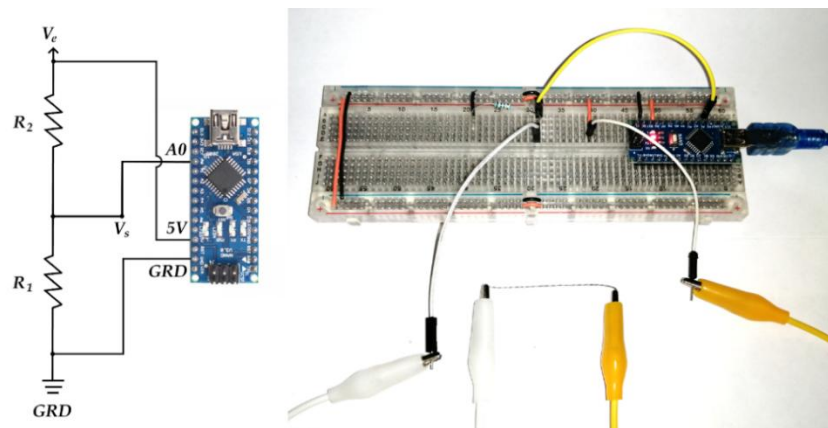


Figura 6. Diagrama y montaje de óhmetro simple utilizado en este proyecto.

El código utilizado para programar este óhmetro simple en Arduino™ es el siguiente:

```
OhmetroSimpleArduino
int analogPin = 0;
int Lectura = 0;
int Vin = 5; //Voltaje de entrada, se debe cambiar de acuerdo al voltaje implementado
float Vout = 0;
float R1 = 0;
float R2 = 1004; //El valor medido en R2 se usa de referencia para calcular R1
float Temp = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600); //Iniciamos el puerto serial para visualizar los datos
}

void loop()
{
  Lectura = analogRead(analogPin);
  if(Lectura) //Mientras exista una señal de lectura en el Pin A0 se procede a calcular R1
  {
    //----Estas líneas de código es la formula para calcular R1
    Temp = Lectura*Vin; //El valor en PWM entregado en A0 se multiplica por Vin
    Vout = (Temp)/1024.0; //Y para obtener su valor en volts lo dividimos entre 1024
    Temp = (Vin/Vout)-1;
    R1 = R2*Temp;
    //----fin de calculo de R1
    //Imprimimos los valores obtenidos en el puerto serial
    Serial.print("Vout = "); //valor en volts
    Serial.println(Vout);
    Serial.print("R1 = "); //valores en ohms
    Serial.println(R1);
    delay(1000); //retraso de 1 seg por cada lectura
  }
}
```

Completado

El Sketch usa 3662 bytes (11%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 30720 bytes.
Las variables Globales usan 222 bytes (10%) de la memoria dinámica, dejando 1926 bytes para las variables locales. El máximo es 2048 bytes.

Arduino Nano, ATmega328P (5V Regulador) en COM5

Figura 7. Código implementado para programar el óhmetro para las pruebas realizadas en Arduino™.

Cabe aclarar que en este proyecto se calcula R_1 ya que R_2 es un valor fijo de 1004 ohms y esta se determinó con un multímetro digital, se debe tener cuidado con R_1 ya que la energía disipada sobre ésta podría sobrecalentar la resistencia, o en este

caso el hilo, en caso de que la corriente y el voltaje se exceden a lo que puede tolerar, por lo que es muy importante no sobrepasar los 5 V para alimentar el circuito y la placa de Arduino nano.

También se midió las resistencias de los mismos trozos de hilo conductor utilizando un programa basado en un divisor de tensión en Arduino™, para implementarlo a modo de óhmetro.

Tabla 2. Medidas de resistencias obtenidas con el óhmetro programado en Arduino™.

Muestra de medidas en Arduino™ de resistencias en hilo conductor			
Longitud	Resistencia esperada en reposo	Resistencia obtenida en reposo	Resistencia obtenida en tensión
1 cm	1 ohms	2.95 ohms	1.95 ohms
2 cm	2 ohms	3.94 ohms	1.95 ohms
3 cm	3 ohms	4.93 ohms	3.94 ohms
5 cm	5 ohms	6.91 ohms	4.93 ohms
7 cm	7 ohms	7.91 ohms	4.93 ohms
10 cm	10 ohms	10.9 ohms	7.91 ohms

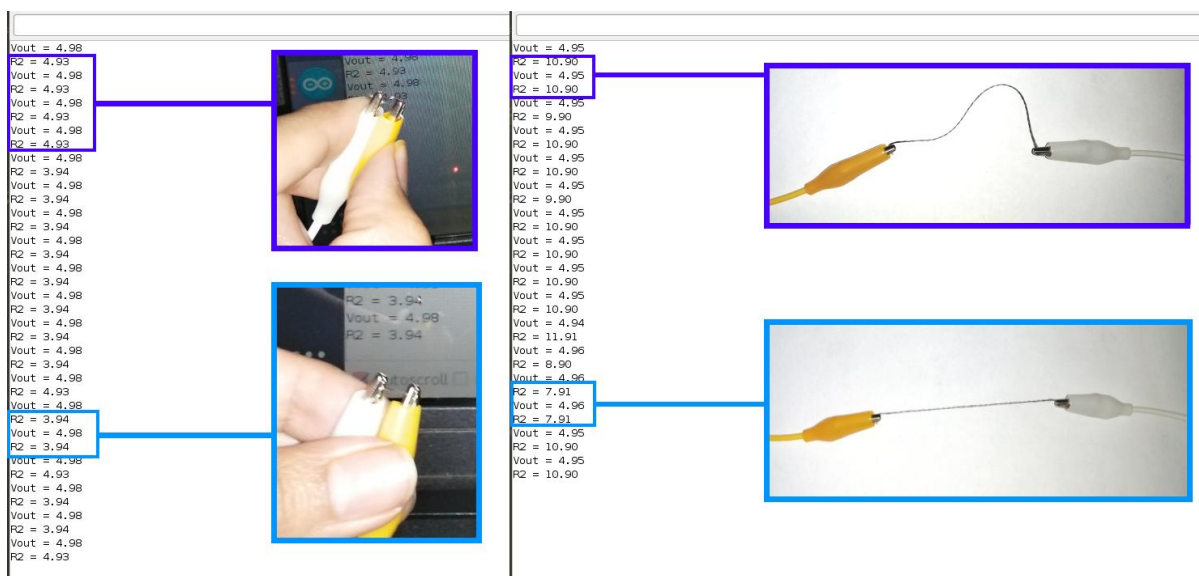


Figura 8. Cuando el hilo se encuentra en rasposo la resistencia de esta es mayor en comparación de cuando se le aplica una tensión al mismo, este cambio se puede observar en el valor de resistencia y voltaje obtenido en V_s .

Se observa una variación entre los valores medidos con el multímetro y los obtenidos con el óhmetro simple programado en Arduino™, de igual forma el comportamiento se mantiene y se observa que la diferencia está en los instrumentos de medición. Tras las mediciones directas al hilo conductor, se propone crear un sensor de tensión que trabaje con los principios de una galga extensiométrica y sensor de flexión

resistiva. El sensor se tejerá con un telar de 4 clavos usando el hilo conductor junto con hilaza 100% de algodón.

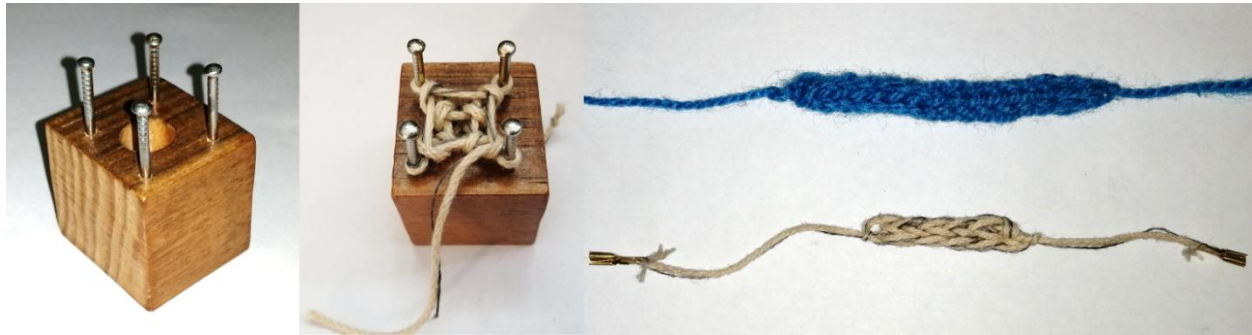


Figura 9. Telar de 4 hilos implementado para tejer el sensor.

Con el sensor tejido se realizaron pruebas a 3 sensores hechos con 75 cm de ambos materiales y uno de 85 cm para medir su resistencia en estado de tensión y en reposo, así comparar los resultados esperados con los obtenidos, se mide tanto con un multímetro en escala de 200 ohms y de igual forma se mide con el prototipo de óhmetro usando la placa de desarrollo Arduino nano.



Figura 10. Los sensores tejidos a mano con el telar de 4 clavos se miden para determinar si existe una diferencia entre los valores de su resistencia.

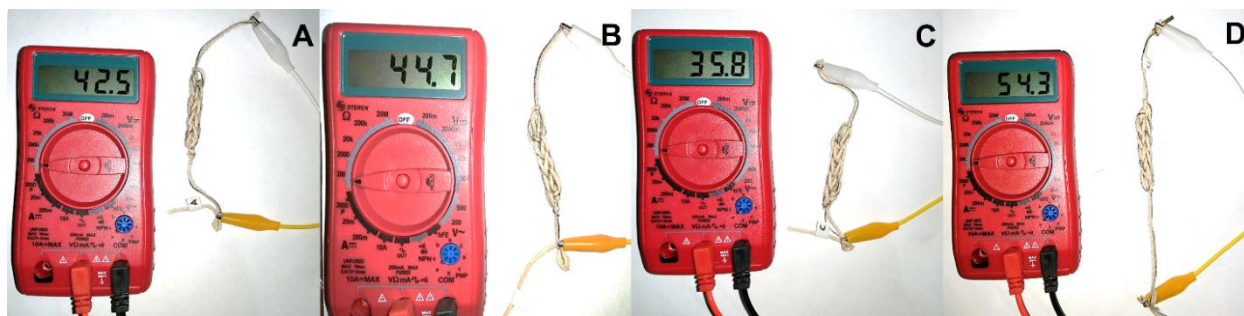


Figura 11. Se observa que entre el sensor B y C existe una variación importante en sus valores finales pese a que se tejieron del mismo modo y cuentan con cantidades iguales de hilo conductor D si muestra una resistencia mayor al tener 10 cm más de hilo conductor.

Tabla 3. Medida de resistencias de los sensores en reposo y tensión con el óhmetro programado en *Arduino™*.

Muestra de medidas en <i>Arduino™</i> de resistencias sensores tejidos			
Muestra	Resistencia esperada en reposo	Resistencia obtenida en reposo	Resistencia obtenida en tensión
A	75 ohms	42.94-40.81 ohms	15.96-13.92 ohms
B	75 ohms	45.8-40.81 ohms	14.93-13.92 ohms
C	75 ohms	38.69-37.64 ohms	11.91-10.9 ohms
D	85 ohms	58.08-55.89 ohms	15.94-14.93 ohms

Conclusiones

Los sensores obtenidos presentan las mismas propiedades que una galga extensiométrica o un sensor de flexión resistiva, al ser probados y manipulados utilizando como medidor un multímetro, se observa que al tensionar el sensor su resistencia disminuye mientras que en reposo varía dentro de un espectro amplio, también se observa que al mantener en movimiento los sensores se registra un aumento momentáneo de resistencia que se disipa paulatinamente si se deja en estado estático por un tiempo, como si de un comportamiento similar a un capacitor electrolítico se tratase. Las pruebas realizadas nos muestran que se puede usar este tipo de sensor manufacturado con los materiales propuestos y resulta de menor costo a diferencia de un dispositivo adquirido en tiendas especializadas y se puede usar en conjunto con placas *Arduino™* como sensor analógico, pero se observa que se requiere de práctica, una herramienta especial, tiempo y técnica de tejido para lograr manufacturar estos sensores, lo que lo vuelve un componente complejo de elaborar. pero mucho más accesible de crear a diferencia de los componentes especializados, por lo que podemos considerarlos como una alternativa para implementar en tecnología vestible y con posibles aplicaciones en softrobotic.

Por otra parte, se podría construir un telar propio hecho en una impresora 3D para reducir el espacio entre los clavos y lograr un área de tejido más reducido, ya que se

observó entre distintos tamaños de telares un cambio entre los tejidos proporcional a la distancia de los clavos donde se sujeta el hilo.

Se observa además que las mediciones hechas con el óhmetro programado con Arduino™ tiene que ser ajustado acorde a las unidades de medidas que se desean, con el fin de tener una lectura precisa, esto se logra variando la resistencia de muestra en múltiplos acorde al valor aproximado deseado siempre siendo la resistencia muestra de mayor valor a la que se desea medir y a la vez no superar por demasiado el valor de la resistencia que se desea medir para que las lecturas de las resistencias menores no sean imprecisas, tal como las escalas implementadas en un óhmetro digital comercial.

Agradecimientos

Joel Aparicio Pérez, agradece a la Sra. Maestra Hermila Martínez quien me apoyo en el aprendizaje de la técnica del tejido. También agradezco al CIDETEC así como al CONACYT por el apoyo brindado para continuar mi formación académica.

Referencias

1. Hughes-Riley, T., Dias, T., & Cork, C. (2018). A historical review of the development of electronic textiles. *Fibers*, 6(2), 34.
2. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. (2018, junio 25). ¿Qué es la Tecnología Vestible?. Recuperado el 7 de mayo de 2020, de <https://www.gob.mx/impi/articulos/que-es-la-tecnologia-vestible>
3. Malmivaara, M. (2009). 1 - The emergence of wearable computing. En J. McCann y D. Bryson (Ed.), *Smart Clothes and Wearable Technology* (pp. 3-24). Canbrige: Woodhead Publishing Series in Textiles.
4. Arduino. (2020). Introduction. Recuperado el 30 abril de 2020, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
5. Arduino. (2015, septiembre 7). Arduino Software (IDE). Recuperado el 30 abril de 2020, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>
6. Material Mundial. (2019). Acero Inoxidable 316 Ficha Técnica, Acero AISI 316 Propiedades, Inox 316 S. Recuperado el 27 de Mayo de 2020, de <https://www.materialmundial.com/inox-ss316-aisi-astm-acero-inoxidable-316-ficha-tecnica-propiedades-ss/>
7. Schultz, M.E. (2015). *Grob's Basic Electronics*. New York: McGraw-Hill.