

```
//Codigo
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  float x=analogRead(0);
  float R1=100,R2=0,C=0,F=0;
  //R1 es igual a 100 KOhms en esta aplicacion
  R2=x*R1/(1023.1-x);
  //Con el fin de no dividir entre cero el
  denominador es (1023.1-x) C=1/R2;
  //Calculo de la conductancia
  F=C*10/0.015;
  //Calculo de la fuerza suponiendo que es
  directamente proporcional a la
  //conductancia y teniendo una equivalencia
  de 10 lb para 66.666 KOhms

  //Impresion en el monitor serial de los
  resultados calculados
  Serial.print("Resistencia en [KOhms]: ");
  Serial.println(R2);

  Serial.print("Conductancia en [1/KOhms]: \t");
  Serial.println(C,4);

  Serial.print("Fuerza en [lb]: \t\t");
  Serial.println(F);
  Serial.println();

  delay(500);
}
```

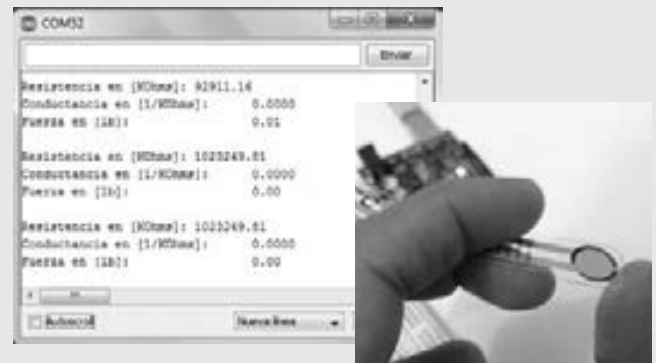


Figura 7.31 Sin carga.



Figura 7.32 Aplicando una carga incremental.

Ejercicio de aplicación

Sensor FSR

Objetivo

Medir la variación de resistencia del sensor FSR a consecuencia de la aplicación de una fuerza utilizando el Arduino Uno®.

Material

- Sensor FSR de 0.5"
- Arduino Uno®
- Cables de conexión
- Una resistencia de 10 kΩ

Desarrollo

Descripción del FSR

El FSR (Force Sensing Resistor; véase figura 7.33) es un sensor que varía su resistencia en función de la carga que se le

aplique. Su resistencia disminuye a mayor fuerza y viceversa. A pesar de su sensibilidad, este sensor no es apropiado para mediciones precisas.

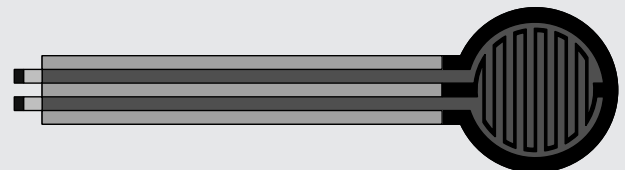


Figura 7.33 Sensor FSR.

Las relaciones entre fuerza-resistencia y fuerza-conductancia de este sensor se observan en la gráfica de la figura 7.34.

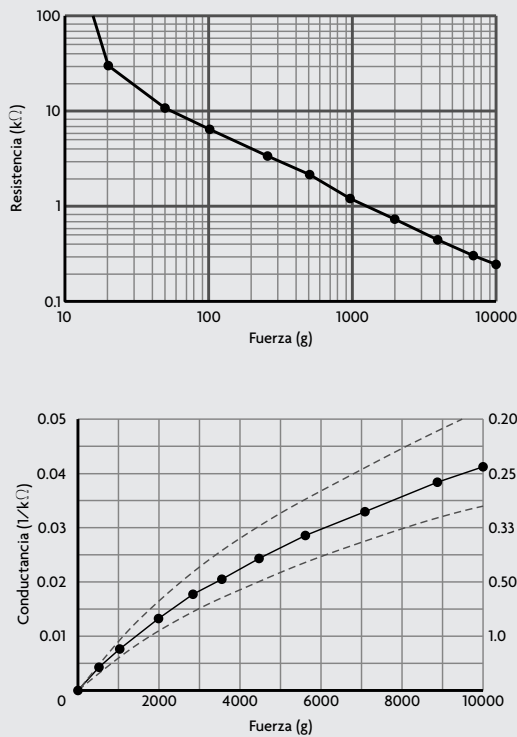


Figura 7.34 Curvas de fuerza-resistencia y fuerza-conductancia.

Los pines que deben conectarse son los siguientes:

- Terminal de un extremo: deberá conectarse en serie con la resistencia de 10 kΩ hacia VCC; a su vez esta terminal va conectada a la entrada analógica A0 del Arduino®.
- Terminal del otro extremo: deberá conectarse a la tierra común del Arduino®.

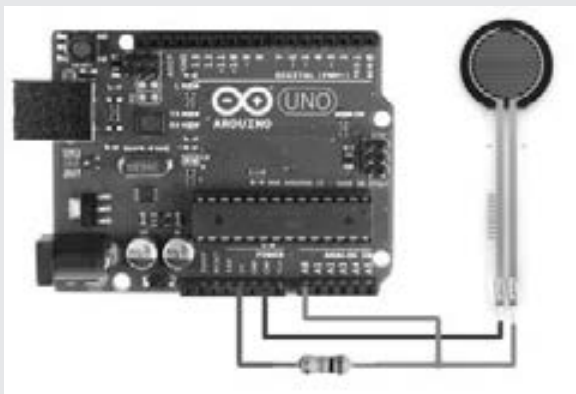


Figura 7.35 Conexión con Arduino®.

El circuito a medir es un divisor de voltaje donde una resistencia R_1 es fijada, en este caso, a 10 kΩ; el cálculo de la resistencia desconocida, que en este caso es el sensor FSR,

se obtiene con el auxilio de la siguiente ecuación de divisor de voltaje:

$$V_0 = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Debido a que el voltaje medido se adquiere a través del convertidor ADC de 10 bits del Arduino®, la conversión sería:

$$V_0 = V_{ADC} \frac{5}{1023}$$

Sustituyendo 1 en 2:

$$V_{ADC} \frac{5}{1023} = 5 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Aplicando algunos pasos algebraicos se tiene:

$$R_2 = R_1 \frac{V_{ADC}}{1023 - V_{ADC}}$$

Con base en la curva fuerza-resistencia de la figura 7.34 se puede hacer una aproximación de la fuerza que está haciendo presión en el sensor a través de la siguiente ecuación polinomial:

$$F = 404.02 \cdot C^2 + 845.01 \cdot C$$

donde:

$$\text{Conductancia} = C = 1/R_2$$

//Codigo

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  float x=analogRead(0);
  float R1=10,R2=0,C=0; //R1 es igual a 10 KOhms
  // en esta aplicacion
  double F=0;
  R2=x*R1/(1023.1-x); //Con el fin de no dividir
  //entre cero el denominador es (1023.1-x)
  C=1/(R2);
  F=404.02*C*C + 845.01*C; //aproximacion
  // polinomial

  Serial.print("Resistencia calculada en
  [KOhms]: ");
  Serial.println(R2);
  Serial.println();

  Serial.print("Conductancia en [1/KOhms]: \t");
  Serial.println(C,4);

  Serial.print("Fuerza en [lb]: \t\t");
  Serial.println(F);
  Serial.println();
  delay(500);
}
```



Figura 7.36 Sin carga.

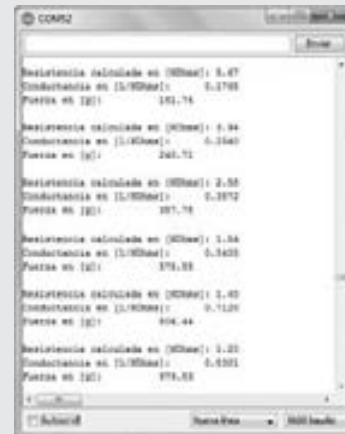


Figura 7.37 Aplicando una fuerza incremental.

Flex sensor

Un *flex sensor* es un sensor que puede clasificarse como piezoresistivo, el cual está constituido por elementos resistivos de carbono dispuestos en un arreglo en general lineal (véase figura 7.38). En este arreglo se colocan los elementos sobre un estrato conductor que a su vez se deposita sobre un sustrato flexible. La resistencia de un *flex sensor* varía cuando este es flexionado. El cambio de resistencia del sensor está directamente relacionado con la deflexión que se aplique sobre este, aunque no en términos de la deflexión del sensor sino del radio de curvatura del sensor después de ser flexionado; entre mayor sea la curvatura, mayor será la resistencia del sensor, y viceversa.

Es posible encontrar *flex sensors* que midan de forma unidireccional o bidireccional; es decir, existen *flex sensors* que solo miden cuando su curvatura es positiva, y cuando la curvatura llega a ser negativa no presentan cambios, y *flex sensors* que varían su salida tanto para curvaturas positivas como para curvaturas negativas (véase figura 7.39).

Además de medir radios de curvatura, es posible relacionar las variaciones de resistencia de un *flex sensor* con posiciones angulares. Una aplicación típica en la que se miden ángulos es en la caracterización de movimientos de los dedos humanos, que luego pueden servir para controlar algún sistema. Otra forma de relacionar la variación de resistencia de un *flex sensor* es respecto al momento flector aplicado sobre este mismo.

De forma comercial, es posible encontrar *flex sensors* con longitudes entre 25.4 mm y 127 mm, con resistencias nominales que van de 1 k Ω hasta 200 k Ω y espesores de menos de



Figura 7.38 Flex sensor.

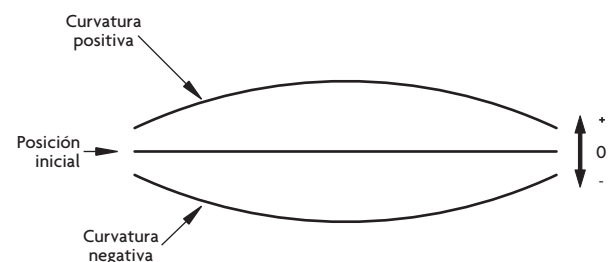


Figura 7.39 Curvatura de un flex sensor.