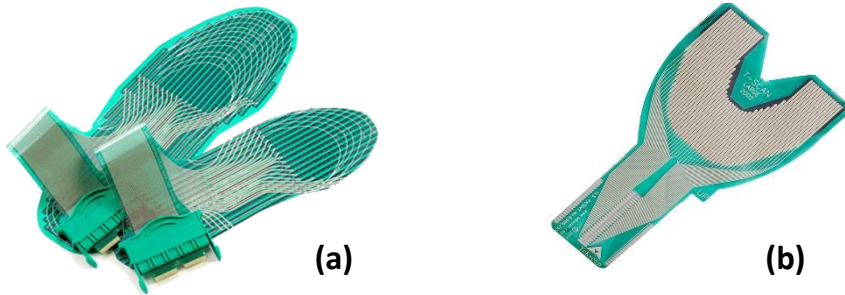


## Práctica 1. Calibración sensores de presión para aplicaciones biomédicas

### 1. Objetivo de la práctica

En esta práctica se ha de fabricar un **sistema de medida de presión de bajo coste** basado en Arduino y en un sensor de presión piezorresistivo. El sensor es una galga extensiométrica cuya resistencia varía en proporción con la fuerza aplicada al mismo (piezorresistividad). Convierte las deformaciones mecánicas en un cambio de la resistencia eléctrica el cual puede ser medido.

Entre sus diferentes aplicaciones podremos destacar diferentes aplicaciones biomédicas, como **plestimografía**, para medir cambios de volumen en diferentes partes del cuerpo, medir la presión sanguínea, el control o monitoreo de la marcha a través de la presión plantar **(a)** o la fuerza de la mordida dental **(b)**.



© Imágenes capturadas de [tekscan.com/products-solutions/sensors](https://www.tekscan.com/products-solutions/sensors)

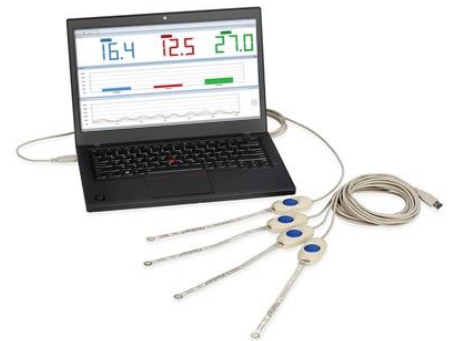
El desarrollo de esta práctica servirá para aprender a:

1. Usar un **sensor que varíe su resistencia**.
2. Usar un **amplificador diferencial rail to rail** para diseñar el sistema de **calibración** del sensor.
3. Utilizar el ADC interno de la placa de Arduino para **digitalizar la tensión obtenida a la salida**.
4. Programar en una plataforma Arduino, la configuración más adecuada para el ADC utilizado y la **impresión por pantalla** de los resultados obtenidos.

### 2. Introducción al problema

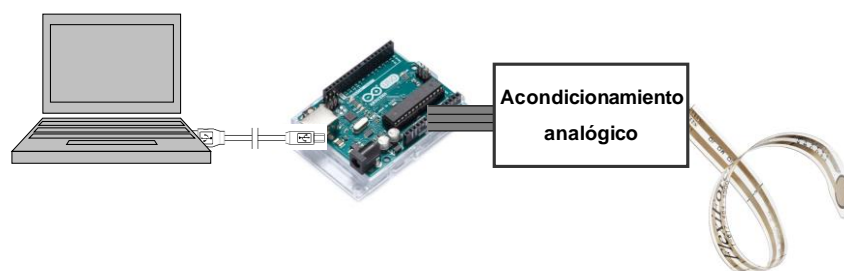
Se trata de realizar un sistema de medida basado en Arduino (preferiblemente Arduino Leonardo) que registre la presión sobre el sensor citado anteriormente. Se pretende que el sistema sea una versión de bajo coste del siguiente sistema comercial:

<https://www.tekscan.com/product-group/test-measurement/force-measurement>



### 3. Diagrama de bloques del sistema

El sistema por realizar se puede descomponer en tres bloques funcionales, descritos a continuación, como se muestra en la figura:



### 3.1.- Sensor de presión

El sensor de presión a utilizar es de tipo **piezorresistivo** (Cod.RS 189-5584), se adjunta una captura de su *datasheet* con los parámetros más representativos:

#### I.E.E. Strain Gauge

RS Stock number [189-5584](#)



#### FSR Force Sensitive Resistors

FSR force sensors feature an ohmic resistor whose resistive value decreases when pressure is applied. Two polymer layers are laminated together to obtain sensors less than 1 mm thick: one layer is covered with a network of electrodes and the other with a printed semi-conductor.

Good measurement repeatability ( $\pm 2\%$ ).

Low sensitivity to noise and vibration.

Service life greater than 10 million cycles.

Uses: keypads, robotics, security, automotive, medical devices etc.

Optimum pressure range

0.007 → 7 bar

Resistance:

10 M $\Omega$  → 1 k $\Omega$

Maximum applied pressure:

35 bar

Signal return time:

1 → 2 ms

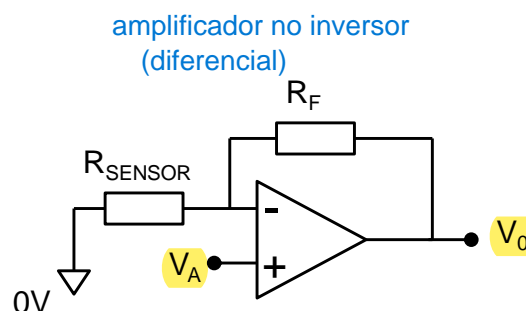
Operating temperature:

-30 °C → +170 °C

Este tipo de sensores se caracterizan por presentar **una variación de 1/R lineal con la presión.**

### 3.2.- Acondicionamiento analógico

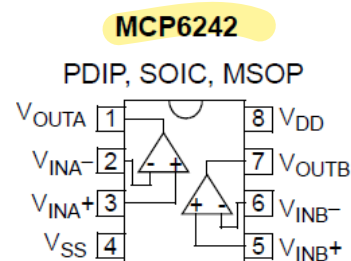
Analice el circuito de acondicionamiento propuesto para demostrar que la salida es proporcional a la presión ejercida en el sensor.



A continuación, diseñaremos el circuito de acondicionamiento para que se cumpla que:

- Si  $P = 0.007$  bar ( $R_{\text{SENSOR}} = 10$  M $\Omega$ ) →  $V_0 = 0.25$  V
- Si  $P = 7$  bar ( $R_{\text{SENSOR}} = 1$  k $\Omega$ ) →  $V_0 = 5$  V

El amplificador operacional por utilizar es el amplificador *rail-to-rail* MCP6242 de Microchip, cuyo esquema de conexión se muestra en la figura adjunta:



### 3.3.- Arduino

Como sistema de control y digitalización se usará un Arduino Leonardo. Existen diversas marcas que comercializan tarjetas compatibles con Arduino/Genuino Uno/Leonardo de coste reducido. Si el estudiante tiene algún Arduino, puede usarlo, no tiene que ser obligatoriamente el modelo Leonardo.

## 4. Estudio teórico-práctico inicial. Cuestiones previas.

### 1. Acerca de la galga extensiométrica.

En relación con el sensor piezorresistivo y a partir de su hoja de características, responda a las siguientes cuestiones:

1.1. ¿Es necesario alimentar el sensor? **Maximum Current: 1mA?**

maximum applied pressure: 35. Entendemos q la presión mínima son 0 --> alcance = 35.

1.2. ¿Cuál es el alcance de la medida de presión medido en bares? ¿Cuál es el rango de la escala en ohmios a la salida del sensor para la máxima presión? ¿Y para la mínima?

1k - 1M? Esq si dice que para la presión máxima, no su decir directamente 1M ohmio; y 1k para la mínima

### 2. Acerca del MCP6242

El MCP6242 es un amplificador diferencial dual (2 AO en el mismo chip), *rail-to-rail* de propósito general, que se va a utilizar para el diseño y montaje de esta práctica. En relación con este amplificador, responda a las siguientes cuestiones:

2.1. Complete la tabla que se adjunta con algunas de sus características típicas más relevantes. Estos parámetros, así como cualquier otro que pudiera ser necesario debe ser capaz de encontrarlos en la hoja de datos (*datasheet*) facilitada para alguna de las tensiones de uso recomendadas por el fabricante.

Ref.	Rango Alimentación	Entrada		Salida		GBWP
		TIPO	V <sub>CM</sub> (V)	TIPO	V <sub>OutputSwig</sub>	
MCP6242	supply voltage: 1.8 to 5.5V	V <sub>cm</sub> = V <sub>ss</sub>	min: -5.0 max: +5.0	V <sub>OL</sub> , V <sub>OH</sub>	min: V <sub>ss</sub> +35 max: V <sub>dd</sub> -3 mV	typ: 550 khz

luego tmb esta el common mode input range y el rejection ratio, idk with a common mode input voltage range of VDD + 300 mV to VSS - 300 mV.

### 3. Acerca del circuito de acondicionamiento.

3.1. Analice el circuito de acondicionamiento propuesto para demostrar que la salida es proporcional a la presión ejercida en el sensor. *se trata de un amplificador no inversor, por tanto la salida obviamente es proporcional a la entrada*

3.2. Calcule el circuito de acondicionamiento (R<sub>F</sub> y V<sub>A</sub>) para que se cumpla que:

- Si P = 0.007 bar (R<sub>SENSOR</sub> = 10 MΩ) → V<sub>0</sub> = 0.25 V
- Si P = 7 bar (R<sub>SENSOR</sub> = 1 kΩ) → V<sub>0</sub> = 5 V

$$V_{out} = V_{in} G; G = R_{sensor} + R_f / R_{sensor}$$

$$0.25 = V_{in} 10 \cdot 10^6 + R_f / 10^6$$

$$5 = V_{in} 10 \cdot 10^3 + R_f / 10^3$$

$$V_{in} = 0.2452V; R_f = 193877.55$$

3.3. Suponiendo un comportamiento lineal en todo el rango de actuación, ¿cuál es la sensibilidad del sensor junto con el amplificador operacional en mV/bar?

$$(5 - 0.25)1000 / 7 - 0.007 \text{ mV/bar}$$

3.4. Con la configuración anterior fijada, indique cómo podría incrementar la sensibilidad en un factor 5 sin añadir nuevos circuitos integrados al circuito. *Mejora de la resolución/ filtrar ruido/ optimizar la sensibilidad del sensor/ mejorar la precisión al medir*

3.5. En base a la respuesta anterior y con los valores de tensión que se obtenían en la primera etapa, ¿cuál sería el rango de valores de tensión obtenido en la segunda etapa? ¿Cuál sería ahora la nueva sensibilidad?

*pero no dice q no añadamos nuevos circuitos integrados? :(*

### 4. Acerca del Sistema de Medida completo.

4.1. Diseñe el esquema de conexiones completo que incluya los elementos analizados en las cuestiones previas que considere necesarios, así como la placa Arduino para procesar la medida realizada en cada una de las etapas del sistema. Este esquema debe valer como guía y ayuda para su implementación en la *proto-board*. En el esquema y para cada elemento señale sólo los terminales que participan en el diseño, debe tener en cuenta que:

- Como objetivo de diseño, debe minimizar el número de fuentes de alimentación utilizadas y debe tratar de obtener la máxima resolución que sea posible.
- Para los valores de las resistencias seleccionadas utilice aquellos disponibles en el laboratorio (ver carpeta en Moodle).

**1<sup>er</sup> hito de evaluación:** como hito evaluable de esta práctica (**40%**), antes de empezar la primera sesión de laboratorio debe subir a Moodle y entregar al profesor, las cuestiones resueltas planteadas en los epígrafes 3 y 4 de este estudio previo.

**Nota:** El documento que debe subir a Moodle, puede estar en cualquier formato digital, incluso puede ser la imagen (foto) del documento escrito a mano entregado al profesor.

## 5. Manos a la obra. Montaje práctico: Galga + AO Dual + Arduino

**5.1.** Implemente en la *protoboard* el circuito para el acondicionamiento analógico (etapa 1). En primer lugar, tiene que obtener la tensión  $V_A$  a partir de los 5V de la alimentación. Para ello realizamos un divisor de tensión usando en la resistencia conectada a la alimentación un potenciómetro de 10k $\Omega$  para realizar un ajuste fino. A continuación, obtenga los valores de tensión máxima y mínima cuando el sensor no tiene presión ejercida y cuando le aplica la máxima presión que puede ejercer con su dedo. ¿Cuál es el valor máximo de tensión que obtiene? ¿Por qué cree que ocurre esto?

**5.2.** A continuación, realice una calibración de este sensor con resistencias discretas. Sustituya el sensor de presión por resistencias entre las disponibles en el laboratorio en un rango aproximado entre  $\infty$  y 500  $\Omega$  obtenga al menos 8 valores o puntos significativos. Utilizando el multímetro, realice la curva de calibración del sensor en el montaje indicado. Como el sensor ante un aumento de la presión a la que se somete, reduce su resistencia, para dibujar la curva de calibración represente en una gráfica la tensión de salida obtenida en función de  $1/R$ . Realice un ajuste lineal de la curva de calibración por el método que considere y calcule la sensibilidad en V\*k $\Omega$ .

R (k $\Omega$ )	(1/R) k $\Omega^{-1}$	$V_{O1}(V)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

**2º hito de evaluación (15%):** Muestre al profesor la recta de calibración de la etapa 1 y el valor de la sensibilidad obtenida.

**5.3.** Diseño del sistema final.

**a.** Como con tan sólo la primera etapa de acondicionamiento, al presionar con los dedos el sensor, no somos capaces de alcanzar el rango máximo en la medida, incremente la sensibilidad en el factor que corresponda (entre 1 y 5), para que en esta situación se alcance a la salida del sistema un valor de 5V.

**b.** Con el sistema de medida completo, diseñe un código para Arduino que permita digitalizar la salida analógica de tensión de ambas etapas al mismo tiempo y asocie estos valores con una hipotética presión ejercida sobre el sensor.

**c.** Con este código y utilizando los mismos valores para las resistencias discretas, repita la medida del epígrafe 5.2 y complete la tabla adjunta.

R (k $\Omega$ )	(1/R) k $\Omega^{-1}$	Valor digital_1	$V_{O1}$ (ANO)	Valor digital_2	$V_{O2}$ (AN1)	Presión
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

**d.** Represente la función de transferencia (tensión vs presión) para ambas etapas y obtenga el ajuste lineal de cada una de ellas para la zona de no saturación.

**3º hito de evaluación (20%):** Muestre al profesor el código utilizado la tabla completada y las gráficas obtenidas para ambas etapas.

**5.4.** Calcule el valor de la sensibilidad en mV/bar para la primera etapa y para el sistema completo.

**5.5.** Indique el valor de presión obtenida al presionar el sensor con los dedos.

**5.6.** Dentro del rango lineal sin saturar, de ambas gráficas, calcule el error de linealidad en las curvas calculadas en los hitos precedentes 5.2 y 5.3.

**4º hito de evaluación (25%):** Subir a Moodle antes de las 23:59 del día siguiente de la última sesión de esta práctica:

**a)** Las curvas de transferencia calculadas en el epígrafe 5.3.

**b)** El valor de las sensibilidades obtenidas en el apartado 5.4

**c)** El valor de presión obtenido al presionar con los dedos con el sistema completo del apartado 5.5.

**d)** El error de linealidad obtenido para los gráficos obtenidos en el epígrafe 5.3

**Nota:** Los documentos que debe subir a Moodle, pueden estar en cualquier formato digital. Puede ser la imagen (foto) de un documento escrito a mano.