

# Laboratorio de Sensores y Acondicionamiento de Bioseñales

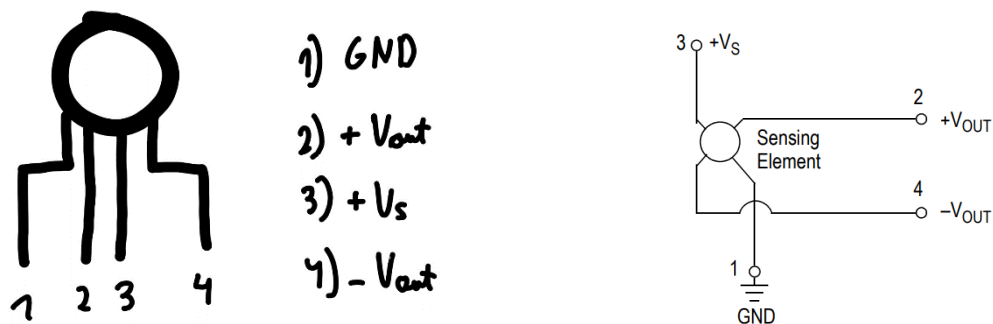
## Hito 1 - Práctica 2. Medida de la presión pulmonar

Pareja 1 – Felipe Ruiz Bernal y Laura Sánchez Garzón

Estudio teórico-práctico inicial. Cuestiones previas necesarias para el desarrollo de la práctica.

### 1. Acerca del sensor MPX10DP.

**1.1. Dibuje el esquema de las patillas del sensor DIP de 4 pines que será el utilizado en prácticas.**



**1.2. ¿Con qué tensión alimentará el MPX10DP? ¿Se puede alimentar el sensor directamente desde Arduino o se necesita una fuente extra?**

Según el datasheet, la tensión de alimentación típica es de 3.0 V, con un máximo de 6.0 V.

Supply Voltage <sup>(2)</sup>	V <sub>S</sub>	—	3.0	6.0	V <sub>DC</sub>
-------------------------------	----------------	---	-----	-----	-----------------

Podemos alimentar el sensor con la salida de 3.3 V del Arduino, un valor cerca de su rango típico y no habría problemas debido a que el sensor admite tensiones de alimentación de hasta 6V.

Sin embargo, si para la alimentación de otros componentes a usar, como el amplificador operacional, es necesaria una tensión superior a 3.3V, tendríamos que optar un divisor de tensión sobre el voltaje máximo que requiera el circuito. Esto conlleva riesgos debido a que la resistencia de entrada del sensor es del orden de cientos de ohm (400-550) y hay que procurar tener una corriente de entrada al sensor no muy alta, del orden de mA.

**1.3. ¿Cuál es el alcance de la medida de presión en kilo-Pascales (kPa) y en milibares (mbar)? ¿Cuál es el rango de la escala en voltios a la salida para la máxima presión?**

Como el rango de presión diferencial que mide el sensor es de 0 a 10 kPa, tiene un alcance de 10kPa/1.45 psi/100mBar (1kPa=10mBar).

Differential Pressure Range <sup>(1)</sup>	P <sub>OP</sub>	0	—	10	kPa
--	-----------------	---	---	----	-----

El rango de la escala a la salida ( $V_{\text{out a máxima presión}} - V_{\text{out a mínima presión}}$ ) es como mínimo de 20 mV, como máximo de 50 mV y típicamente de 35 mV.

Full Scale Span <sup>(3)</sup>	$V_{\text{FSS}}$	20	35	50	mV
--------------------------------	------------------	----	----	----	----

3. Full Scale Span ( $V_{\text{FSS}}$ ) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

Si bien es cierto que esas son las características que se suelen usar para operar con el sensor, la presión máxima que soporta es de 75 kPa o incluso 100kPa.

**Table 2. Maximum Ratings<sup>(1)</sup>**

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure ( $P_1 > P_2$ )	$P_{\text{MAX}}$	75	kPa
Burst Pressure ( $P_1 > P_2$ )	$P_{\text{BURST}}$	100	kPa

**1.4. ¿Cuál es la sensibilidad del sensor? Señale la ecuación para la salida de tensión en función de la presión diferencial aplicada. Calcule el rango de tensiones a la salida del sensor para el rango de presiones medibles por el mismo. No olvide indicar las unidades que en cada caso correspondan.**

La sensibilidad es de 3.5 mV/kPa (0.35mV/mBar). (1kPa=10mBar)

Suponiendo que la relación es lineal, la ecuación para una tensión cualquiera [mV] (salida diferencial) en función de la presión diferencial [kPa] aplicada sería:

$$\Delta V_{\text{out}} = 3.5 \cdot \Delta P + V_{\text{offset}}$$

Siendo el offset entre 0 mV y 35 mV (valor típico de 20mV).

Offset <sup>(4)</sup>	$V_{\text{OFF}}$	0	20	35	mV
-----------------------	------------------	---	----	----	----

4. Offset ( $V_{\text{OFF}}$ ) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

Usando el valor típico de offset, la ecuación que obtenemos es la siguiente:

$$\Delta V_{\text{out}} = 3.5 \cdot \Delta P + 20$$

Y con esta ecuación, nuestra salida para los valores máximos y mínimos serán (sin contar los errores de linealidad ( $\pm 1\%V_{\text{FSS}}$ ) y otros.

**$V_{\text{offset}}=20\text{mV}$ :**

$\Delta P$ (kPa)	$\Delta V_{\text{out}}$ (mV)
0	20
10	55
-10	-15

$V_{\text{offset}}=35\text{mV}$ :

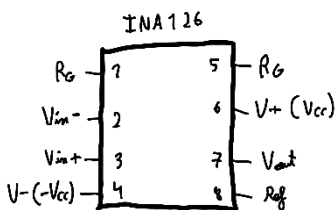
$\Delta P$ (kPa)	$\Delta V_{\text{out}}$ (mV)
0	35
10	70
-10	0

$V_{\text{offset}}=0\text{mV}$ :

$\Delta P$ (kPa)	$\Delta V_{\text{out}}$ (mV)
0	0
10	35
-10	-35

## 2. Acerca del INA126

**2.1. Dibuje el esquema de las patillas del encapsulado DIP de 8 pines y 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.**



Ahora, escogiendo los valores típicos recomendados para operar con el INA126:

Para el valor de voltaje de alimentación hemos escogido el Dual ya que, si queremos amplificar una señal positiva y negativa proveniente de una presión diferencial (inspiración/espriación), es necesario que  $-V_{\text{cc}}$  sea negativo.

Ref.	Rango Alimentación	$V_s$	Entrada		Salida		Ref*	Ganancia
			TIPO	$V_{\text{CM}}$ (V)	TIPO	$V_{\text{OutputSwing}}$		
INA126	Dual-supply	$\pm 15\text{V}$	Diferencial	$\pm 11.5\text{V}$	Single	$[V^+ - 0.8 \text{ a } V^+ - 0.75]$	$1\text{G}\Omega \parallel 4\text{pF}$	$[5:10000]\text{V/V}$

**2.2. Suponiendo el uso en su diseño de un único AI, calcule el valor de  $R_G$  para que la ganancia total del sistema sea 50 veces el valor de la entrada diferencial. Calcule el valor máximo para la señal de salida amplificada para el valor máximo de presión diferencial medible de 10 kPa.**

Según el datasheet, la ganancia del INA126 viene dada por esta fórmula:

$$G = 5 + \frac{80\text{k}\Omega}{R_G}$$

Por lo que si  $G=50$ ,  $R_G=1.778\text{k}\Omega$ .

Si el sensor da una salida diferencial de 55 mV para  $\Delta P=10\text{kPa}$  y la amplificamos por 50, a la salida del operacional tendremos 2.750 V. (Si usáramos el offset del sensor más limitante, de 35mV, a la salida de este para la máxima presión se obtendría 70mV y amplificado daría 3.5V).

Más tarde se hará la amplificación en 2 etapas, una con  $G=5$ , donde la  $R_g$  sería matemáticamente infinita, lo solucionamos no conectando ninguna resistencia a las 2 patillas correspondientes. Para la etapa de  $G=10$ , usaremos dos resistencias en serie para que sumen 16 k $\Omega$ .

### 3. Acerca del módulo DFRobot-DS1115.

**3.1. ¿Con qué tensión se alimenta el módulo DFRobot-ADS1115? En consecuencia, ¿es posible alimentar el módulo directamente desde Arduino? En función de la alimentación elegida ¿cuál es el rango máximo de medida permitido para los canales analógicos del módulo?**

Usa de alimentación positiva entre 3.3 y 5 V, de alimentación negativa usa GND, se podrá alimentar con el pin de 5 V y el de GND de Arduino debido a que la peor salida posible (del operacional con el máximo offset) es de 3.5V y así no nos arriesgamos a sobrepasar los límites de detección de señales analógicas. Aunque realmente el humano solo puede hacer de máximo (según el enunciado) 25mBar de presión, ya sea positiva o negativa, así que no podríamos alcanzar esos valores de 10kPa. Aún así, usaremos el pin de 5V del Arduino debido a que lo usaremos para alimentar todos los componentes del circuito y así ahorramos en fuentes de voltaje.

Voltaje de alimentación ( $V_{CC}$ ): 3.3~5.0V

Rango de detección de señales analógicas:  $[0 : V_{CC}]$  en la práctica  $[-0,3 \text{ V} < V_{AINX} < V_{CC}+0,3 \text{ V}]$ . **Cuidado** con sobrepasar estos límites.

Teniendo en cuenta eso, el rango máximo de medida que tendrán los canales analógicos será:

$[-0.3\text{V a } 5.3 \text{ V}]$ .

**3.2. Explique el significado de los siguientes códigos que se facilitan en el código base facilitado para Arduino:**

**a. En la función setup para definir una configuración específica para el módulo referenciado:**

`ads.setAddr_ADS1115(ADS1115_IIC_ADDRESS0);` //Fija la dirección I<sup>2</sup>C del ADS, en este caso a la 0 (tiene 7 bits de direcciones-> 1-127).

`ads.setGain(eGAIN_TWOTHIRDS);` //Fija la ganancia y el rango de voltaje de entrada del amplificador con ganancia programable (el ADS y su módulo DFRobot), en este caso el ADC se fija al rango de 0 a 6.144V y un bit equivaldrá a 0.1875mV

`ads.setMode(eMODE_SINGLE);` //Fija el modo que va a tener el ADS, en este caso single, es decir, va a tomar una entrada no diferencial o con referencia a tierra (0V), la de la salida del operacional INA126.

`ads.init( );` //Termina de inicializar el ADS después de fijar los parámetros de cómo va a trabajar.

**b. En la función loop para realizar las medidas:**

adc0 = ads.readVoltage(0); //lee el valor analógico entre la señal de la entrada A0 (del DFRobot, el adc0 es una variable para uno de esos canales) y tierra con la ganancia programada.

## 4. Acerca del Sistema de Medida completo.

**4.1. Suponiendo que el acto de soplar/aspirar los pulmones generan la misma fuerza del aire sobre el sensor, obviamente con un sentido distinto en ambas acciones, calcule los valores extremos que se pueden alcanzar a la salida del sensor elegido NPX10DP y a la salida del Sistema de Medida una vez amplificada dicha señal en un factor  $G = 50$ .**

$$P_{atm} - P_{pulmones} = 25 \text{ mBar} = 2.5 \text{ kPa}$$

**- Para  $\Delta P = \pm 2.5 \text{ kPa}$  :**

**$V_{offset} = 20 \text{ mV}$ :**

$$V_{out}(\text{sensor}): [11.25 \text{ mV y } 28.75 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [562.5 \text{ mV a } 1.4375 \text{ V}]$$

**$V_{offset} = 35 \text{ mV}$ :**

$$V_{out}(\text{sensor}): [26.25 \text{ mV y } 43.75 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [1.3125 \text{ V a } 2.1875 \text{ V}]$$

**$V_{offset} = 0$ :** (El que se va a usar ya que hay que eliminar esa componente de offset)

**$V_{out}(\text{sensor}): [-8.75 \text{ mV y } 8.75 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [-437.5 \text{ mV a } 437.5 \text{ mV}] \rightarrow$   
Quitando el valor negativo (lo piden en el siguiente apartado):  $[0 \text{ mV a } 875 \text{ mV}]$ .**

**- Para  $\Delta P = \pm 1.2 \text{ kPa}$ :**

**$V_{offset} = 20 \text{ mV}$ :**

$$V_{out}(\text{sensor}): [15.8 \text{ mV y } 24.2 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [790 \text{ mV a } 1.210 \text{ V}]$$

**$V_{offset} = 35 \text{ mV}$ :**

$$V_{out}(\text{sensor}): [30.8 \text{ mV y } 39.2 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [1.540 \text{ V a } 1.960 \text{ V}]$$

**$V_{offset} = 0$ :** (El que se va a usar ya que hay que eliminar esa componente de offset)

**$V_{out}(\text{sensor}): [-4.2 \text{ mV y } 4.2 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [-210 \text{ mV a } 210 \text{ mV}] \rightarrow$   
Quitando el valor negativo (lo piden en el siguiente apartado):  $[0 \text{ mV a } 420 \text{ mV}]$ .**

Para el rango MÁXIMO de salida del sensor, nos fijamos en que puede detectar presiones diferenciales de hasta 10 kPa, por lo que para -10 y 10 kPa nos da un rango de:

**- Para  $\Delta P = \pm 10 \text{ kPa}$ :**

**$V_{offset} = 20 \text{ mV}$ :**

$$V_{out}(\text{sensor}): [-15 \text{ mV y } 55 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [750 \text{ mV a } 2.750 \text{ V}]$$

**$V_{offset} = 35 \text{ mV}$ :**

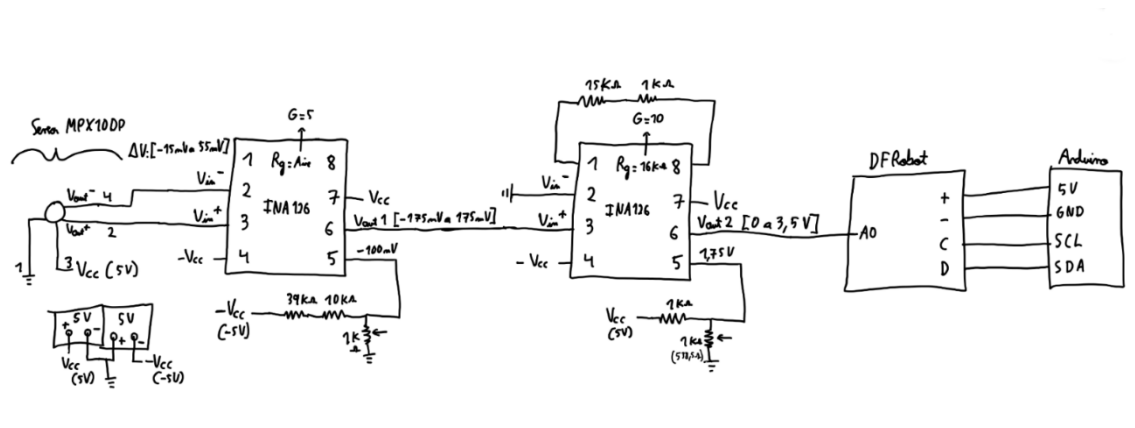
$$V_{out}(\text{sensor}): [0 \text{ mV y } 70 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [0 \text{ V a } 3.500 \text{ V}]$$

**$V_{offset} = 0$ :** (El que se va a usar ya que hay que eliminar esa componente de offset)

**$V_{out}(\text{sensor}): [-35 \text{ mV y } 35 \text{ mV}] \rightarrow V_{out}(\text{operacional}): [-1.750 \text{ V a } 1.750 \text{ V}] \rightarrow$   
Quitando el valor negativo (lo piden en el siguiente apartado):  $[0 \text{ V a } 3.500 \text{ V}]$ .**

Es decir, como máximo, a la salida del amplificador habrán 3.5V, sin embargo, como la potencia pulmonar de un ser humano no llega a los 10kPa, no habrá problemas.

**4.2. Conocidos los valores teóricos máximos de la cuestión anterior, diseñe el esquema de conexiones completo que incluya los elementos analizados en las cuestiones previas: sensor, 2xAI, módulo DFRobot y la placa Arduino para procesar la medida realizada. Este esquema debe valer como guía y ayuda para su implementación en un circuito práctico. En el esquema y para cada elemento señale sólo los terminales que participan en el diseño. En su caso incluya los valores de las resistencias necesarias, utilizando los valores disponibles más próximos a los calculados teóricamente.**



Suponiendo que el sensor tiene una salida máxima entre [-15mV y 55mV] (para -10 y 10 kPa), en la primera etapa se le quita el offset de 20mV (con una referencia a -100mV) y se le pone ganancia 5  $\rightarrow$  [-175mV a 175mV] y en una segunda etapa se amplifica por 10 y se le pone un offset de +1.75V (en ref) para que su mínimo sea 0 y así pueda ser leído por el ADC.