

## Práctica 2. Medida de la presión pulmonar

### 1. Objetivo de la práctica

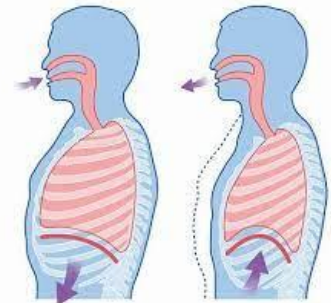
En esta práctica inicial se utilizará como base un sensor de presión diferencial capacitivo de fácil manejo. El sensor servirá para medir la presión pulmonar del paciente. La **salida analógica** en el rango de unas pocas decenas de milivoltios es **proporcional al rango de presiones diferenciales a medir del dispositivo**. El desarrollo de esta práctica servirá para aprender:

1. Usar un sensor con salida analógica en voltaje.
2. Usar un amplificador de instrumentación para llevar la salida del sensor en milivoltios al rango óptimo para ajustar a la entrada del conversor analógico-digital ADC, necesario para digitalizar la señal para su procesamiento.
3. Utilizar un ADC específico con varios rangos de entrada y salida al exterior por medio de un protocolo serie I<sup>2</sup>C.
4. Programar en una plataforma Arduino, la configuración más adecuada para el ADC utilizado, la comunicación I<sup>2</sup>C con dicho ADC y la propuesta de actuación que sea necesaria.

### 2. Introducción al problema

El análisis y evaluación de la función pulmonar se efectúa a partir de la medida de diversas magnitudes mecánicas:

- a. El **margen de medida de las presiones** en el sistema respiratorio es **muy bajo**, por lo que los **transductores de presión** deben ser de **gran sensibilidad**. El pico de **presión** que ejercen los **pulmones** cuando **expiramos/inspiramos** aire hacia/desde el exterior en una actividad normal, se encuentra en un rango comprendido entre los **12 y los 25 mbar**. Esta medida sobre el paciente se utiliza para la regulación de los sistemas de respiración asistida.
- b. Para **medir la capacidad pulmonar vital** de un paciente, el volumen pulmonar máximo que puede alcanzar voluntariamente un paciente se realiza mediante **espirómetros**.
- c. Por último, la medida del **flujo de aire ( $\Delta\text{Volumen}/\Delta\text{tiempo}$ )** que puede desarrollar un paciente durante la respiración proporciona **índices clínicos de la capacidad ventilatoria**. Los sistemas más usuales están basados en **neumotacógrafos**, que consisten en una **resistencia neumática** que provoca una **caída de presión proporcional al flujo de gas que circula** por ella.



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

#### 1. Acerca del sensor MPX10DP.

El dispositivo MPX10DP es un **sensor de presión** de silicio **piezorresistivo** que proporciona una **salida de voltaje lineal a la presión nanométrica aplicada**. Se llama presión nanométrica a la **diferencia entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica**. En relación con el sensor MPX10DP y a partir de su hoja de características, responda a las siguientes cuestiones:

- 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? **Supply voltage: tierra/NA - 6V --> se necesitará una fuente de más voltaje (Arduino da 5V como mucho)**
- 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? **10 - 0 = 10 kPa** **1 Pa 0 10<sup>-5</sup> bar --> 10 Pa = 10<sup>-4</sup> bar = 0.1 mbar**
- 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. **sensitivity = 3.5 mV/kPa**

#### 2. Acerca del INA126

El INA126 es un **amplificador** de instrumentación (AI), 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. 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.

depende de si es single (2.7 - 36 o dual (+-1.35 - +-18))

puede ser single o dual

single

1||4 Gohm || pF

Ref.	Rango Alimentación	V <sub>s</sub>	Entrada		Salida		R <sub>REF</sub> *	Ganancia
			TIPO	V <sub>CM</sub> (V)	TIPO	V <sub>OutputSwig</sub>		
INA126		?		+/-11.25				5:10000 V/V

\* Impedancia en la entrada REF (pin5) del INA126

positivo: -0.9:-075  
negativo: 0.95:0.8

2.2. Suponiendo el uso en su diseño de un único AI, calcule el valor de R<sub>G</sub> 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.  $50=5+80k/R_g \rightarrow R_g=1777,777778 \text{ ohm}$  entendiendo q para 10 kPa logramos un V<sub>in</sub> de 6V, y por tanto, un V<sub>put</sub> de 300V?

usariamos la de 150k del lab (+22k)

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

El ADS1115 es un **convertidor analógico digital (ADC)** de alta precisión configurable para distintas funcionalidades, con **16 bits de resolución** y con salida digital con **protocolo I<sup>2</sup>C**. Este protocolo sólo necesita **dos hilos de comunicación: SCL y SDA**, y su programación en Arduino es muy sencilla gracias a la **biblioteca Wire**.

Mientras que Arduino **Leonardo** dispone de **6 canales analógicos**, el **ADS1115** dispone de **4**, pero estos mejoran las prestaciones de los anteriores, porque tienen una **mayor resolución (2<sup>16</sup> vs 2<sup>10</sup>)**. A la **entrada de cada uno de los 4 ADC**, el **ADS1115** dispone de un **amplificador programable** que permite hasta 6 rangos de entrada de señal, mientras que en los **ADC de Arduino** esta tarea hay que hacerla **por hardware**. En el **ADS1115** el **valor digital** encontrado a la salida de los ADC se presenta **ya convertido en** su valor **analógico** correspondiente y también permite medir con un comando directo la diferencia entre dos de los canales analógicos. Estas dos últimas funcionalidades, también se pueden hacer programando con Arduino, pero el uso del **ADS1115** descarga al procesador de estas tareas.

Para el análisis práctico del **ADS1115**, utilizamos el módulo comercial **DFRobot-ADS1115** que lo incorpora y que dispone de un conjunto completo de librerías para su utilización práctica vía Arduino.

Se le facilita el *datasheet* del **ADS1115** y una Guía de Usuario simplificada para el módulo **DFRobot-ADS1115**. En base a estos dos documentos responda a las siguientes preguntas:

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? **2:5.5V** no, solo llega a 5V max (y ni eso)  
**Analog input voltage: GND -0.3 to VDD +0.3V?**

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

- En la función *setup* para definir una configuración específica para el módulo referenciado:  
`ads.setAddr(ADS1115_IIC_ADDRESS0);` **direccion de comunicacion del módulo ADS1115 (bus I2C)**  
`ads.setGain(eGAIN_TWOTHIRDS);` **como se configura mediante software la ganancia, se hace así**  
`ads.setMode(eMODE_SINGLE);` **(supongo que tiene 3 ganancias y elige la segunda? no sé)**  
`ads.init();` **inicializacion** **una sola entrada y por tanto, una sola conversión a la vez**
- En la función *loop* para realizar las medidas:  
`adc0 = ads.readVoltage(0);` **lee el voltaje del canal 0 del módulo ADS1115, y realiza la conversion analógico-digital, devolviendo el valor de voltaje resultante en un valor digital (para que Leo no lo tenga que hacer)**

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

En la práctica se va a comprobar la presión ejercida por los pulmones al **soplar/aspirar de forma natural pausada y no forzada** con la boca (expirar o inspirar con la nariz) en una de las entradas del sensor, con respecto a la presión atmosférica. **El Sistema de Medida debe permitir variaciones en ambos sentidos de la señal a partir del estado de reposo (ΔP = 0 kPa).** **si la respiracion humana va desde los 12 hasta los 25 mbar: 1200:2500 Pa. Vamos de sobra (rango permitido sería 0:10k)**  
**se obtendría una salida de 24,2 mV a 28,75mV**

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**. **Con el op.amp: 1,21:1,437 V**

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.

Para tomar las decisiones adecuadas en su diseño le facilitamos la siguiente guía que debe tener en cuenta para el acondicionamiento de la señal a la salida del sensor:

- Procure **minimizar el número de fuentes de alimentación utilizadas**.
- En el diseño, debe **eliminar el offset** asociado a la salida analógica del sensor, para que la señal sea simétrica respecto a cero voltios.
- En el diseño, debe amplificar el rango de tensiones a la salida del sensor, con una ganancia total **G = 50**.
- En el diseño y debido a las limitaciones a la entrada del ADC ( $-0,3 \text{ V} < V_{\text{AINX}} < V_{\text{CC}}+0,3 \text{ V}$ ) debe eliminar la componente **negativa asociada al acto de la aspiración**, elevando la tensión a la salida al nivel que considere adecuado.

**Nota:** Para satisfacer de forma adecuada las condiciones 2, 3 y 4 es necesario el uso de 2 amplificadores de instrumentación.

**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 del 1 al 4 de este estudio previo.

En dicho esquema debe quedar claro las conexiones realizadas entre los distintos elementos, señalando el número y nombre de los pines de los elementos activos (operacionales) así como las ganancias utilizadas, los valores de las fuentes de alimentación y los valores de los elementos pasivos (resistencias y condensadores) implicados.

**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.

### ***Manos a la obra. Montaje práctico (parte analógica): Sensor MPX10DP + AI***

Para probar el funcionamiento del sistema de medida, en primer lugar, complete el montaje utilizando únicamente el sensor y el/los operacionales de instrumentación que necesite para obtener la salida analógica del sistema. Para las resistencias externas necesarias para alcanzar la ganancia calculada en el apartado 2.2 de las cuestiones previas, utilice en cada caso una única resistencia entre las que se disponga, cuyo valor sea el más próximo al valor teórico calculado para obtener una ganancia de  $G \sim 50$ .

Para probar el diseño, expulse y aspire aire **de forma natural sin forzar sostenida durante ~2"** entre 2 y 3 veces por el tubo asociado al sensor y visualice con el osciloscopio conectado a la salida del segundo INA126 el rango de presión que ejercen sus pulmones con ambas acciones. Observará que, sobre un nivel de tensión en estado de reposo, esta tensión crecerá o se reducirá en función de la expulsión o aspiración de aire respectivamente. La amplitud de la señal varía en función de la fuerza con la que efectúen ambas operaciones. Para una medida correcta (no forzada) el pico de la señal no debe superar los  $\pm 1V$ . Esta señal es la respuesta analógica del Sistema de Medida diseñado.

**2<sup>º</sup> hito de evaluación:** Una vez alcanzado este punto, debe mostrar al profesor la imagen obtenida en el osciloscopio (20%).

### ***Manos a la obra. Montaje práctico (digitalización y procesado): Sensor MPX10DP + AI + Módulo ADS1115 + Arduino***

La señal analógica media es útil para ver los niveles a la salida del circuito, pero no es útil para extraer información de forma automática. Para ello es preciso digitalizar y procesar dicha señal.

Conocidos los valores máximos de la señal analógica representados en el osciloscopio ( $V_{OUT} \leq 1V$ ) y conocido el rango para las entradas de los ADC del módulo DFRobot-DS1115, modifique el nivel de la señal analógica para adaptarlos a dicho rango.

Repita la operación de expulsar y aspirar aire **de forma natural sin forzar sostenida durante ~2"** entre 2 y 3 veces por el tubo asociado al sensor y visualice con el osciloscopio conectado a la salida del segundo INA126 el rango de presión que ejercen sus pulmones con ambas acciones. Observará que, sobre un nivel de tensión en estado de reposo de valor +1 voltio aproximadamente, que la señal crece o se reduce en función de la expulsión o aspiración de aire respectivamente. La amplitud de la señal varía en función de la fuerza con la que efectúen ambas operaciones. Para una medida correcta (no forzada) el pico de la señal no debe superar los  $\pm 1V$  alrededor del nivel de reposo. Observará una gráfica parecida a la anterior en donde el valor de la señal es siempre positivo.

**3<sup>er</sup> hito de evaluación:** Una vez alcanzado este punto, debe mostrar al profesor la imagen obtenida en el osciloscopio (15%).

Arduino es una plataforma de procesado que, con los datos recibidos, hace cálculos y plantea soluciones de actuación sobre el sistema sensado, como, por ejemplo, calcular y mostrar parámetros de interés en el proceso o activar alarmas cuando la media lo requiere. Hasta ahora los valores mostrados estaban referidos al voltaje sensado, pero el interés de la medida es conocer los valores de presión, tanto en su evolución como en el valor máximo y mínimo alcanzado.

**ATENCIÓN:** Mientras que la librería <Wire> para manejar la comunicación I<sup>2</sup>C, suele estar ya incorporada al IDE básico de Arduino, para poder utilizar los comandos facilitados en el código, para el módulo DFRobot, debe cargar desde su Arduino, (Menú Herramientas/Gestionar bibliotecas...), la librería <DFRobot\_ADS1115.h> cada vez que apague su PC.

Antes de proceder al proceso de digitalización, para optimizar la resolución de la medida en este proceso, conviene modificar el programa para Arduino que se le ha facilitado en la Guía de usuario del módulo DFrobot-ADS1115 prestando atención a:

1. El valor de la ganancia del DFRobot para obtener la mejor resolución para la señal de entrada dada.
2. Modifique el programa anterior para que Arduino muestre el valor en milibares la de la medida realizada y de los valores máximo y mínimo alcanzados y que estos los imprima por pantalla.

Una vez modificado y cargado el programa en Arduino, conecte al sistema anterior el módulo DFRobot-ADS1115 y este a la placa Arduino por medio de la conexión I<sup>2</sup>C. Repita el experimento de soplar/aspirar por el tubo facilitado en las mismas condiciones de los dos experimentos anteriores y observe la señal gráfica que se representa utilizando la funcionalidad gráfica del propio Arduino o con cualquier otra aplicación de representación gráfica.

**4<sup>º</sup> Hito de evaluación:** Una vez alcanzado este punto, debe mostrar al profesor la representación gráfica obtenida (25%).