

# Incorporación de caudalímetros (electrónicos) de bajo coste a prácticas de laboratorio de fluidos

Francisco E. Jarabo Friedrich<sup>a1</sup>, Francisco J. García Álvarez<sup>a</sup>, Nicolás Elórtégui Escartín<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ingeniería Química - Universidad de La Laguna, 38200 La Laguna (Santa Cruz de Tenerife); <sup>b</sup>Catedrático de Enseñanza Secundaria jubilado

## RESUMEN

Como complemento a un estudio teórico sobre flujo de fluidos realizado con anterioridad, se ha llevado a cabo el diseño y la construcción de sendos dispositivos para la medida del caudal de líquidos y de gases. Se han utilizado caudalímetros clásicos y sensores de caudal electrónicos adaptables al microcontrolador *Arduino*, procediéndose a los calibrados correspondientes y a la adaptación del software de medida. Con ello se sientan las bases para el montaje de prácticas de laboratorio de gran fiabilidad y muy bajo coste.

Palabras Clave: Flujo de fluidos, prácticas de laboratorio, caudalímetros, Arduino

## 1. INTRODUCCIÓN: INDUSTRIA VERSUS LABORATORIO

La industria química o, lo que es lo mismo, la obtención de productos útiles a partir de materias primas mediante reacciones químicas, se diferencia en muchos aspectos de la química de laboratorio. Uno de ellos es el **tamaño**: al transformarse en la industria grandes cantidades de productos, los recipientes que los contienen han de ser de tamaños mucho mayores que los que se manejan en el laboratorio. Y el aumento de tamaño, o cambio de escala, lleva a otra de las diferencias importantes: el **modo de operación**. Si en el laboratorio se manejan casi siempre de forma discontinua material en cantidades discretas (masas, volúmenes), en la industria generalmente se operan las grandes unidades de forma continua, es decir, se alimentan y descargan continuamente, estableciéndose flujos o caudales que circulan de unas instalaciones a otras.

Las transformaciones de la industria química se llevan a cabo en las plantas de proceso, cuya característica principal es su gran tamaño, ya que se manejan en ellas grandes cantidades de productos. Ello da lugar a problemas específicos, principalmente relacionados con el transporte de los materiales y que influyen de forma muy importante en el proceso de fabricación. En un laboratorio se manejan gramos de productos, mientras que en una planta de proceso suelen manejarse toneladas de productos. ¡Un millón de veces más! “llevar a cabo un proceso de laboratorio a gran escala para producción comercial requiere más que sólo comprar matraces más grandes”<sup>1</sup>.

Esto hace que, por un lado, los aparatos que se utilizan en el laboratorio sean totalmente diferentes a los usados en una planta de proceso y, por otro lado, la forma de operación también lo sea: en un laboratorio se llevan a cabo operaciones discontinuas, mientras que la mayoría de las plantas químicas operan en régimen continuo, intentando obtener el mayor rendimiento posible. Todo ello ha hecho que se hayan desarrollado técnicas de tratamiento de sustancias que difieren absolutamente de las que pueden utilizarse en un laboratorio<sup>2</sup>.

Los puntos de vista relativos al tamaño y a los modos de operación raramente se contemplan en los currículos no universitarios y podría ser de interés plantear un grupo de ejemplos comparando una serie de procedimientos físicos para acercar la comprensión del funcionamiento de los grandes dispositivos continuos usados en la industria. Todos estos procedimientos pueden ser llevados a cabo a pequeña escala, en un laboratorio, y permitirán introducir conceptos muy relacionados con la escala industrial, que son unos grandes desconocidos en los trabajos de laboratorio<sup>3</sup>. Muchos de estos conceptos pueden estudiarse experimentalmente de forma muy sencilla y reforzarán la idea del transporte de materia en régimen continuo, fundamental para entender el funcionamiento de las grandes instalaciones industriales.

Así, podría concluirse que la mayor parte de las operaciones industriales funcionan de manera continua e involucran fases fluidas. Esto hace que las operaciones de transporte y medida de fluidos adquieran una importancia fundamental en la comprensión de los procesos industriales. Por ello parece conveniente introducir los conceptos básicos de la circulación de fluidos, haciendo hincapié en la medida de caudales, que puede ser abordada mediante pequeños y sencillo dispositivos experimentales. También será necesario recordar conceptos transversales, como son los relacionados con la geometría

---

<sup>1</sup> fjarabo@ull.es

(superficies y volúmenes), así como con la representación gráfica de funciones matemáticas.

## 2. CIRCULACIÓN DE FLUIDOS: FLUJO Y CAUDAL

La velocidad de un objeto en movimiento se mide fácilmente relacionando el espacio recorrido con el tiempo que ha tardado en hacerlo. Cuando se mueve un fluido (gas o líquido) no existe un punto de referencia para medir el espacio, por lo que se utiliza el concepto de caudal, o volumen que atraviesa una superficie transversal de conducción en la unidad de tiempo:

$$Q \left[ \frac{m^3}{s} \right] = S [m^2] \cdot v \left[ \frac{m}{s} \right]$$

siendo  $Q$  el caudal,  $S$  la superficie transversal de la conducción y  $v$  la velocidad del fluido. Se tendrá así que, para un tubo cilíndrico:

$$v \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{Q}{S} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D_i^2}$$

siendo  $D_i$  el diámetro interior del tubo cilíndrico.

Así pues, puede conocerse la velocidad del fluido midiendo el diámetro interno del tubo (con un calibrador, una regla o una cinta métrica) y midiendo el caudal del fluido.

### 2.1 Medidores de caudal clásicos

Se han ideado numerosos métodos para medir el caudal de un fluido, tanto en el laboratorio como a escala industrial, muchos de ellos coincidentes en ambos ámbitos. De forma general, se denominan caudalímetros o medidores de caudal. Los más sencillos (medidores primarios) son los basados en la determinación directa de la cantidad de fluido que atraviesa la conducción en la unidad de tiempo. Se trata de contador de paletas y del medidor de burbuja.

El **contador de paletas** (contador de agua doméstico), mide el volumen de líquido que lo ha atravesado. Si se mide el tiempo (con un cronómetro) transcurrido entre dos lecturas de contador, se podrá calcular el caudal (para pequeños caudales puede utilizarse directamente una probeta, midiendo el tiempo que tarda en llenarse hasta un volumen determinado).

El **medidor de burbuja** o “medidor de pompas de jabón” se utiliza para medir el caudal de un gas: se genera una burbuja de detergente en un tubo cilíndrico por el que se hace pasar el gas y se mide el tiempo que tarda en recorrer esta burbuja entre dos marcas establecidas en el tubo.

Estos sencillos medidores de caudal se utilizan muy frecuentemente para calibrar otros medidores más sofisticados (medidores secundarios), basados en métodos dinámicos como los de presión variable (diafragmas) o de área variable (rotámetros).

Los **diafragmas** son placas con orificio interpuestas en la conducción, que provocan en ésta una caída de presión que se relaciona con el caudal circulante mediante una gráfica de calibrado. La caída de presión puede medirse mediante dos ramas manométricas y como la obtención de la gráfica de calibrado es experimental, no es necesario conocer el diámetro del orificio. Su construcción es muy sencilla y exige el calibrado correspondiente, igualmente sencillo.

Los **rotámetros** son medidores de caudal de fluidos en una amplísima gama de valores, por lo que su uso se extiende desde el laboratorio hasta la industria. Consisten en un flotador dispuesto en el interior de una escala graduada que marca más o menos directamente el caudal del fluido que lo atraviesa. Su construcción es relativamente sofisticada, por lo que generalmente se adquieren en los circuitos comerciales, que los proporcionan ya calibrados. La mayor ventaja que presenta su uso es que pueden ser instalados en la línea del fluido y proporcionan una lectura del caudal que lo atraviesa con una elevada precisión. Se utilizan ampliamente en la industria y son los preferidos para utilizar en los laboratorios que disponen de instalaciones para estudiar el flujo de fluidos.

### 2.2 Medidores de caudal electrónicos

Con el uso cada vez más generalizado de los ordenadores, se intenta medir todas las variables con dispositivos que generen una señal electrónica que pueda ser tratada de forma automática. Así, para la medida de caudales de líquidos se utiliza un sistema compuesto por un rotor de paletas movido por el paso del líquido, cuyo giro produce una onda de frecuencia variable,

mientras que en la medida de caudales de gases se utiliza un conjunto de termistores que cambian su resistencia eléctrica en función de la temperatura, que a su vez varía con la velocidad del gas que atraviesa la conducción.

El **caudalímetro de líquidos** consta de una turbina o hélice que gira al pasar el líquido a través de ella. Un imán situado en la turbina genera un campo magnético que produce pulsos eléctricos por “efecto Hall”, detectados por un sensor que los envía como una onda cuadrada a través de un circuito eléctrico como señal digital. Cuanto mayor es el flujo del líquido, más rápidamente girará la turbina, provocando un aumento de la frecuencia de la onda, que es proporcional al caudal.

Como la relación entre la frecuencia (**f**) y el caudal (**Q**) depende de los parámetros constructivos del dispositivo, será necesario calibrarlo para obtener el factor de conversión correspondiente (**K**), según la ecuación:

$$f = K \cdot Q$$

El calibrado puede obtenerse directamente del fabricante o realizarlo en el laboratorio, midiendo la frecuencia de los pulsos mediante un microcontrolador y el caudal con un caudalímetro clásico.

El **caudalímetro de gases** más asequible está basado en una pareja de termistores tipo NTC (**Negative Temperature Coefficient**), que son sensores que disminuyen el valor de su resistencia (de forma no lineal) a media que aumenta su temperatura. Uno de los termistores se alimenta con corriente eléctrica, por lo que se calienta a una temperatura constante por encima de la temperatura del gas. Cualquier flujo de gas sobre el termistor lo enfriará, necesitando más corriente para mantener la temperatura constante. El segundo termistor se usa como referencia para evitar que cambios de temperatura en el gas parezcan cambios en su velocidad. Obsérvese que, aunque el comportamiento de los termistores no es lineal, utilización de tecnología MEMS (**MicroElectroMechanical Systems**) permite obtener relaciones lineales de la tensión de salida con el caudal de gas.

La diferencia de tensión produce una señal continua (analógica) que es recogida por un microcontrolador. La relación entre la tensión de salida y el caudal de gas se obtendrá por calibrado, bien a partir de la hoja de datos del fabricante, o bien utilizando un caudalímetro clásico.

### 2.3 La plataforma *Arduino*

Arduino es una plataforma de desarrollo computacional extraordinariamente versátil, basada en una placa electrónica y un entorno de programación encargado de crear el software para dicha placa, compilarlo y grabarlo en su microcontrolador. Tanto la placa como el entorno de programación son de código abierto (*open source*) de tal manera que el acceso a ellos es totalmente libre.

Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de dispositivos capaces de interactuar entre el mundo físico real y el mundo virtual de los ordenadores, creando una herramienta de enorme potencial para el desarrollo de todo tipo de dispositivos.

El **hardware** consiste en un microcontrolador conectado sobre una placa de circuito impreso a la que se pueden conectar placas de expansión (*shields*) a través de puertos de entrada y salida que configuran la funcionalidad del modelo agregando diversos módulos a la placa original. Generalmente se alimenta la placa por un puerto USB tipo B y puede ser programada a través del puerto serie que incorpora, haciendo uso del cargador de arranque (*bootloader*) que trae programada por defecto. Hay una gran cantidad de canales de distribución de los componentes del hardware, tanto nacionales como internacionales. El coste de las placas es realmente bajo y no suele haber problemas de aprovisionamiento, lo que facilita poder disponer de los elementos necesarios para desarrollar cualquier proyecto en plazos cortos y costes muy reducidos.

La normalización de las extensiones ha permitido crear una gran cantidad de placas accesorias para cubrir muchas necesidades habituales en electrónica. Son fácilmente asequibles a través de los mismos canales de distribución y suelen venir acompañadas con ejemplos de uso o rutinas integrables en el software, lo que aumenta mucho el potencial de la plataforma.

El **software** consiste en dos elementos: un entorno de desarrollo (basado en un lenguaje C modificado) y el cargador de arranque, que se ejecuta de forma automática dentro del microcontrolador cada vez que éste se enciende.

La posibilidad de programar los dispositivos electrónicos es muy alta, lo que permite realizar muchas operaciones, incluso complejas. La limitación la produce el comportamiento de las bibliotecas (*libraries*) de código o la funcionalidad de la circuitería disponible. Generalmente se parte de bibliotecas de código ya desarrolladas por una gran comunidad de usuarios, aunque a veces será necesario realizar modificaciones para aportar nuevas funcionalidades o mejoras en el rendimiento.

En definitiva, el aprendizaje de Arduino es realmente rápido. Dispone de gran cantidad de documentación, oficial y no oficial, la comunidad de usuarios es enorme, accesible y colaborativa y hay gran cantidad de ejemplos de uso y proyectos hechos con licencia abierta, lo que permite reaprovechar todo lo que ya funciona.



Figura 1. Detalles de sensores de caudal electrónicos y su conexión a la placa Arduino con módulo de pantalla.

### 3. OBJETIVOS

En un proyecto de innovación educativa anterior<sup>4</sup> se elaboró un completo estudio sobre mecánica de fluidos basado en el análisis de la ecuación de conservación de la energía y una colección de problemas aplicados a las distintas situaciones. La presentación de parte de este trabajo a las IV Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el Ámbito de las TIC<sup>5</sup>, nos permitió incorporar una importante sugerencia de algunos colegas: el diseño de prácticas de laboratorio para reforzar los conceptos desarrollados teóricamente, y eso con ayuda de las TIC, uno de cuyos elementos que más se está implantando actualmente es el sistema Arduino. La mayor ventaja de este sistema es el hecho de ser un soporte de “hardware” libre, de muy bajo coste, que permite obviar la dependencia económica de la administración en el desarrollo de este proyecto, si bien no está asegurado su buen fin debido a las restricciones provocadas por las guías docentes y las *autoridades* que las supervisan.

Para llevar a cabo el objetivo propuesto se montará, como punto de partida para desarrollos futuros, un sistema de medida de caudal basado en la adquisición de datos con Arduino junto a un sistema clásico de medida de esta variable, con objeto de comprobar los resultados y realizar un posible calibrado. Para ello se han adquirido en el mercado internacional los elementos necesarios para el montaje del sistema Arduino, así como los medidores electrónicos de caudal adecuados al rango que se desea medir.

En principio, este sistema se desarrollará para los alumnos de la asignatura “Ingeniería Química” del Grado en Química de la Universidad de La Laguna. No obstante, la importancia que tiene el flujo de fluidos en todas las áreas de la Ingeniería Química, puede aconsejar extender el campo de aplicación a otras asignaturas de la titulación del Grado en Ingeniería Química Industrial.

### 4. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la puesta a punto de la medida de caudal de líquidos se utiliza una instalación de agua corriente a la que se incorporan los componentes que se describen en el siguiente apartado. Para la puesta a punto de la medida de caudal de gases se utiliza una instalación de aire comprimido dispuesta con un manorreductor que proporciona un flujo de aire a 1,5 bar y a la que se incorporan los componentes que se describen asimismo a continuación.

#### 4.1 Caudal de líquidos

Como la instalación está formada por una tubería de ½ “ (DN25) se adquiere un sensor de caudal electrónico **OKY3430-0** del tipo YF-S201 (3,44 euros) que soporta caudales de 1 a 30 l/min operando a voltajes entre 5 y 18 V DC. Dicho sensor se conecta a una placa **Arduino UNO R3** (12,79 euros) a la que se ha acoplado un módulo de pantalla **Arduino Shield LCD** (8,09 euros). Mediante un cable USB se lleva la salida de datos a un ordenador donde se ha instalado el programa **Arduino**

**1.8.5 IDE, Integrated Development Environment** (código abierto y gratuito), que permite programar y compilar cualquier tipo de placa y así controlar el sistema en estudio.

Aunque el fabricante proporciona un factor de calibrado del sensor de caudal, con objeto de comprobar su valor y de paso lograr una mayor familiarización con el sistema, se incorpora a la instalación un rotámetro de bajo coste (11,53 euros), con un rango de caudales comprendido entre 120 y 1.200 l/h, previamente recalibrado con un rotámetro profesional de laboratorio de alta precisión.

El programa de lectura y tratamiento de los datos del sensor se desarrolla basándose en varios modelos que pueden encontrarse en diversos proyectos de internet. El sistema muestrea los pulsos digitales generados por el sensor de efecto Hall y asigna su número a una variable, *Pulsos*, obtenida a través de la función *PulseCounter* de la interrupción de lectura, durante un tiempo definido por la función *delay*, función de espera, en milisegundos, que se suministra a través de la variable *tMuestreo*, en segundos, multiplicada por 1.000. Así pues, el “caudal medido” sería la relación entre *Pulsos* y *tMuestreo*, y el caudal volumétrico, definido por la variable *FlowRate* se expresará como:

$$FlowRate \left[ \frac{l}{min} \right] = \frac{Pulsos [-]}{tMuestreo [s]} \cdot \frac{1}{K} \left[ \frac{l}{min} \right]$$

siendo **K** el factor de calibrado, proporcionado por el fabricante o determinado experimentalmente mediante otro medidor de caudal.

En nuestro caso, el factor proporcionado por el fabricante es **K = 7,50**, mientras el que hemos determinado experimentalmente es de **K = 7,15** (1/s)/(l/min).

También se calcula el volumen total que ha pasado en cada ciclo de medida para poder obtener el volumen total acumulado. Como datos de salida, el programa proporcionará el número de pulsos medidos, el caudal (l/min) y el volumen total (l). Obsérvese que la variable *Pulsos* solo puede contener valores enteros, por lo que puede haber oscilaciones de  $\pm 1$  pulso en el intervalo de medida. Si éste es de 1 s, el error máximo, 12,5% (1 pulso en 8) se producirá cuando el caudal es de 1 l/min. Cuando el caudal es de 15 l/min (en el centro del rango de medida), el error será de apenas el 1% (1 pulso en 108). En cualquier caso, este nivel de error sistemático puede reducirse utilizando intervalos de medida mayores, establecidos mediante la variable *tMuestreo*. Así, por ejemplo, si el valor de éste es de 3 s, el valor máximo del error al medir caudales de 1 l/min sería del 4,5% (1 pulso en 22).

## 4.2 Caudal de gases

Se adquiere un sensor de caudal electrónico **Winsen F1012** (47,53 euros), que soporta caudales de aire de 100 a 1.000 ml/min en condiciones normales, operando a voltajes entre 7 y 14 V DC. El diámetro de paso es de 3,5 mm, por lo que la instalación se monta con los tubos adecuados a este dispositivo. El sensor se conecta a una placa **Arduino UNO R3** (12,79 euros), a la que se ha acoplado un módulo de pantalla **Arduino Shield LCD** (8,09 euros). Como el voltaje de alimentación del sensor es superior al que proporciona la placa Arduino, se incorpora una pila de 9 V (6LR61) para la alimentación del sensor, aunque también se puede utilizar un transformador AC/DC que genere el voltaje adecuado. Mediante un cable USB se lleva la salida de datos a un ordenador, donde se ha instalado el programa **Arduino 1.8.5 IDE** (Código abierto y gratuito), que permite programar y compilar cualquier tipo de placa y así controlar el sistema en estudio.

Aunque el fabricante proporciona una ecuación de calibrado para el sensor de caudal, con objeto de comprobar su valor y de paso lograr una mayor familiarización con el sistema, se incorpora a la instalación un rotámetro de bajo coste (11,03 euros) con un rango de caudales comprendido entre 500 y 5.000 ml/min, previamente recalibrado con un medidor de burbuja profesional de laboratorio, de alta precisión.

El programa de lectura y tratamiento de los datos se desarrolla basándose en varios modelos que pueden encontrarse en diversos proyectos de internet. El sistema muestrea los valores analógicos de tensión que proporciona el sensor y los convierte en valores numéricos comprendidos entre 0 y 1023, que se almacenan en la variable *Lect*. Aunque el fabricante sugiere convertir esta lectura a una diferencia de potencial comprendida entre 1 y 5 V DC, para luego relacionar ésta con el caudal (ml/min), hemos considerado más sencillo calcular el caudal directamente a partir de los valores de la variable *Lect*.

El fabricante basa su recta de calibrado en los dos extremos de la escala de voltajes (0,98 y 4,88 voltios; *ddp*) y lo relaciona con el flujo nominal del sensor (1.000 ml/min), proporcionando la ecuación de calibrado:

$$\frac{Q - 0}{1.000 - 0} = \frac{ddp - 0,98}{4,88 - 0,98}$$

o bien:

$$Q \left[ \frac{ml}{min} \right] = 256,4 \cdot ddp - 251,3$$

Nuestra experiencia en el laboratorio con datos reales caudal / lectura nos permite obtener, utilizando dos puntos de la escala (260, 388; 1.061, 988) la ecuación de calibrado:

$$\frac{Q - 260}{1.061 - 0} = \frac{Lect - 388}{988 - 398}$$

o, lo que es lo mismo:

$$Q \left[ \frac{ml}{min} \right] = 1,34 \cdot Lect - 258$$

o bien, haciendo un calibrado de ocho puntos y un ajuste por regresión lineal ( $r^2 = 0,9992$ ), la ecuación resultante es:

$$Q \left[ \frac{ml}{min} \right] = 1,344 \cdot Lect - 259,8$$

expresión que se utilizará finalmente como ecuación de calibrado del sensor de aire.

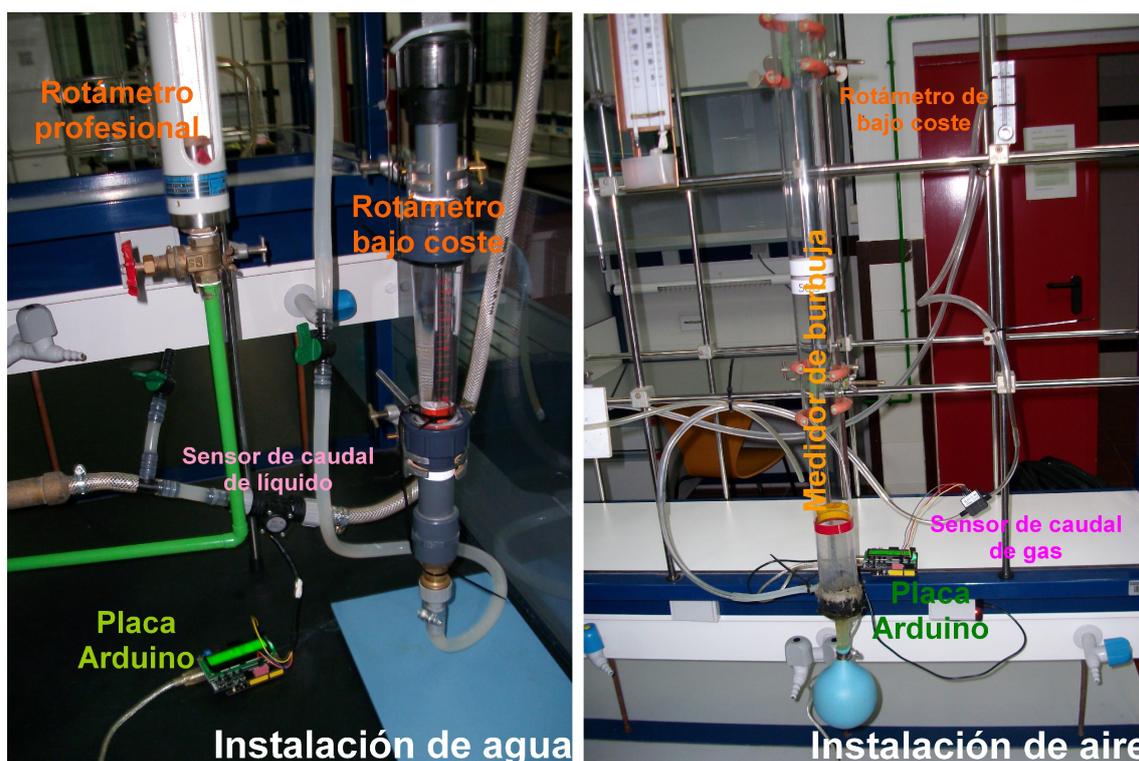


Figura 2. Instalaciones experimentales completas para líquidos y para gases.

## 5. RESULTADOS

Se ha llevado a cabo el montaje de sendas instalaciones para medir caudales de líquido (agua) y gas (aire) equipadas tanto con medidores clásicos (rotámetros) como con sensores conectados al sistema microcontrolador Arduino, que ha permitido volcar los datos en un ordenador personal.

La instalación de agua ha dado como resultado la obtención del calibrado del dispositivo con un factor que difiere en menos del 5% del proporcionado por el fabricante. El análisis de los posibles errores sistemáticos en la medida permite afirmar que

al aumentar el intervalo de muestreo (mayor número de pulsos generados por el sensor al paso de un caudal determinado) se pueden reducir dichos errores.

La instalación de aire ha dado como resultado la obtención de una recta de calibrado para el dispositivo, que se ha expresado en lecturas directas del puerto analógico del sensor en vez de voltajes proporcionados por el fabricante. Un ajuste por regresión lineal de una serie de puntos en el intervalo de medida proporciona un excelente coeficiente de correlación, que permite obviar el error introducido al utilizar la transformación de voltaje del sensor que sugiere el fabricante, debido a que la lectura máxima del sensor (1.023) no es un múltiplo de los 5 V a los que se supone que equivale.

## 6. CONCLUSIONES

El montaje y puesta a punto de los sistemas de medida de caudal de líquidos y gases ha permitido comprobar que actualmente se pueden diseñar y montar prácticas de laboratorio para el estudio de propiedades de fluidos de gran fiabilidad y bajísimo coste. Así, el sistema líquido tiene un coste inferior a los 40 euros, mientras que el de gas ronda los 80 euros (el sensor es diez veces más caro). Todo ello nos permite vislumbrar un futuro inmediato en el que puedan estudiarse otras variables (presión, temperatura, conductividad, etc.) con modernos sensores de medida de bajo coste que permitan renovar ampliamente el material de prácticas e implicar a los alumnos en el manejo de nuevas tecnologías de adquisición y análisis de datos en sus estudios más básicos.

## 7. RECONOCIMIENTO

El presente trabajo forma parte del proyecto de innovación educativa “Aplicación de la tecnología Arduino para reforzar los conocimientos en Mecánica de Fluidos”, concedido por el Vicerrectorado de Docencia de la Universidad de La Laguna para el curso 2018-2019.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Murphy, R.M., “Introducción a los procesos químicos”, McGraw-Hill Interamericana, México D.F. (2007).
- [2] Jarabo, F. y García, F.J., “Ingeniería Química para torpes”, Instituto de Investigaciones Científicas y Ecológicas, Salamanca, (2016)
- [3] Riu, F., “El currículo en la LOGSE y en la LOE”, en “Currículos y proyecto educativo”, Fundación EDEBÉ, Barcelona (2009).
- [4] Jarabo, F. García, F.J. y Marrero, M.C., “Aproximación a la Mecánica de fluidos mediante la ecuación general de conservación e la energía”, en “De la innovación imaginada a los procesos de cambio”, Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna (2018).
- [5] Jarabo, F. y García, F.J., “La mecánica de fluidos, esa gran olvidada en las enseñanzas preuniversitarias”, IV Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el Ámbito de las TIC, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (2017).