

Diseño de un sistema experimental de bajo costo para el aprendizaje de la caracterización de las condiciones de un flujo compresible

F. Romero¹, C. Guillén¹, E. Cabrera¹, J. Valencia², D. Echeverría², V. Henríquez¹, A. Ramos²

¹Departamento de Ingeniería de Procesos

²Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Campus Universitario de Tafira, 35017 Las Palmas de Gran Canaria (España)

RESUMEN

En este trabajo se expone un sistema experimental para favorecer el aprendizaje y entendimiento de la comunidad estudiantil sobre la caracterización de un flujo, haciendo uso de un sistema embebido de bajo coste (Arduino). Este diseño forma parte del Trabajo Final de Grado de un estudiante del Grado en Ingeniería Química, que se imparte en la Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. La utilización de software y herramientas de código abierto facilitan modificar las condiciones del ensayo mostrando al alumnado distintas situaciones de medición. Al mismo tiempo se muestra los resultados de una de las pruebas realizadas con las que finalmente se obtiene la caracterización de las propiedades del flujo compresible. Con este prototipo experimental se pretende introducir al alumno en procedimientos para el estudio de fluidos haciendo uso de nuevas tecnologías de bajo coste, basadas en TIC, que programarán para tal fin.

Palabras clave: Régimen turbulento, Caracterización de un flujo, Sistema embebido, Innovación Educativa, Temperatura de parada.

1. INTRODUCCIÓN

Establecer las condiciones de flujo juega un papel básico, no solo para tratar con exactitud los problemas del movimiento del fluido, sino también para el estudio del flujo de calor y de la transferencia de materia en muchos procesos industriales. Es por esto, que conocer el comportamiento del fluido interpretando los datos aportados por un sensor inmerso en la corriente del mismo es de vital interés en la preparación en materias como la Mecánica de Fluidos o la Termodinámica. En Termodinámica, la temperatura es la variable principal de la energía térmica y mide el grado de calentamiento de los cuerpos. La caracterización térmica de un fluido permite estudiar las variaciones de su temperatura al sufrir cambios en alguna de sus propiedades.. Al modificar la velocidad de un flujo se entra en el concepto de régimen, donde la Mecánica de Fluidos diferencia las condiciones de flujo en régimen laminar, régimen turbulento y régimen amortiguado o de transición.

Para introducir al alumnado en el análisis del fluido sería necesario diseñar un método que ayude a aprender y comprender los parámetros importantes relacionados con el estado energético de un flujo, así como su variación ante diversas situaciones de operación. Esta estrategia podría estar basada en el uso de diseños experimentales, de laboratorio, que los propios alumnos montarían siguiendo lo aprendido en un ámbito teórico y que favorece la adquisición y verificación de competencias mejorando así la evaluación del aprendizaje por parte del profesorado. La propuesta educativa está basada en las teorías de aprendizaje psicológicas expuestas en diversos trabajos,³⁻⁷ los cuales refieren que los estudiantes refuerzan sus conocimientos a través del uso de adecuados ambientes de aprendizaje, y además a través de la construcción y uso de instrumentos diseñados para tal fin.

Este artículo muestra un diseño experimental para ayudar a los estudiantes de ingeniería a entender la caracterización del flujo de aire a través de un conducto, relacionando la temperatura y la velocidad del mismo utilizando los instrumentos y los elementos de medida adecuados, prestando especial atención al efecto de parada o estancamiento del aire.

Información adicional del autor:

Email: francisco.romero108@alu.ulpgc.es

Teléfono: +34 928451933

2. MAGNITUD DE PARADA O ESTANCAMIENTO

El punto de parada o estancamiento, es el estado teórico que alcanzaría la corriente si se frenara por vía isentrópica (adiabática reversible) y sin intercambio de trabajo hasta velocidad nula. En la Figura 1 se observa cómo para un sistema isentrópico el aumento de la velocidad del fluido supone un incremento en la temperatura debido al estancamiento.

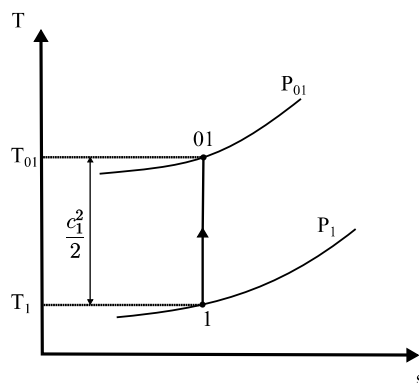


Figura 1. Evolución del fluido desde un estado inicial 1 a un estado de estancamiento 01.

Dicho comportamiento se explica mediante la ecuación 1, donde la temperatura de parada (T_{01}) es superior a la temperatura del fluido en movimiento (T_1).

$$T_{01} = T_1 + \frac{c_1^2}{2 c_p} \quad (1)$$

Esto ocurre en los conductos destinados a la compresión del fluido, aprovechándose la transformación de la energía cinética en energía térmica sobre las superficies con las que mantiene contacto¹⁻². Para la medición de estas condiciones en el laboratorio, se instala en el interior del conducto una carcasa que favorezca el estancamiento del fluido sobre sí misma.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para conseguir el objetivo de este experimento, se diseña el sistema experimental con el que realizar distintas pruebas y obtener así una serie de datos representativos. En esta sección se muestran los materiales y el método utilizado.

2.1 Materiales

En la Figura 2 se representa un diagrama del diseño experimental. Este sistema está compuesto por los siguientes elementos:

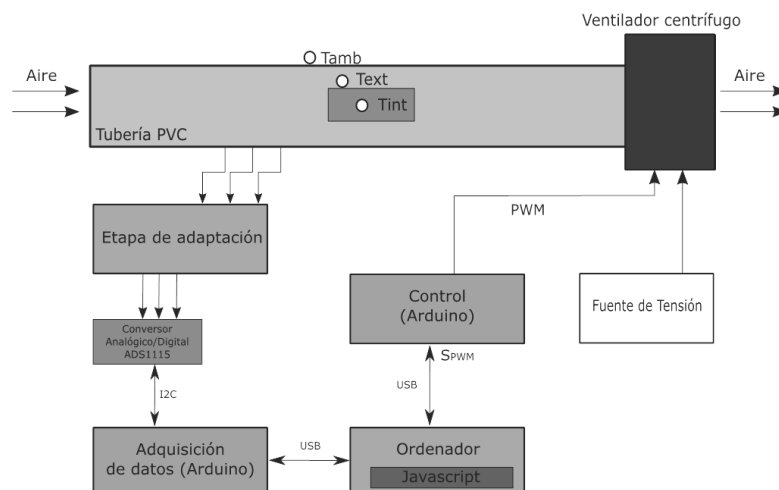


Figura 2. Diagrama básico del diseño experimental.

1. Tres termistores tipo NTC (Negative Temperature Coefficient). Son sensores que disminuyen el valor de su resistencia de forma no lineal a medida que aumenta la temperatura. Cada termistor será instalado de manera que se obtenga:

- T_{amb} : La temperatura ambiente se mide con el termistor NTC situado fuera del conducto, expuesto a las condiciones del laboratorio, Figura 3.
- T_{ext} : La temperatura exterior se mide con el termistor NTC instalado en la superficie de la carcasa de estancamiento, donde se encuentra expuesto a la circulación del aire.
- T_{int} : La temperatura interior se mide con el termistor NTC instalado en la zona de estancamiento, donde se recoge datos en condiciones de parada del aire.



Figura 3. Termistor NTC para la medición de la temperatura ambiente.

2. Una etapa de adaptación de la señal con un circuito acondicionador (divisor de tensión), como se muestra en la Figura 4.

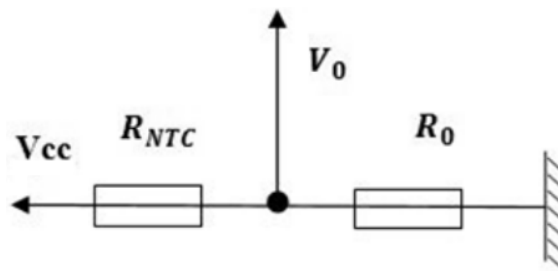


Figura 4. Divisor de tensión.

La casa comercial U.S. Sensor proporciona unas tablas con los valores de temperatura y resistencia calculados para $T_N = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un rango amplio de temperaturas para el termistor. Extrayendo los datos correspondientes de resistencia para temperaturas desde $10\text{ a }40\text{ }^{\circ}\text{C}$ se calcula las tensiones de salida con la ecuación 2:

$$V_0 = R_0 \left(\frac{V_{CC}}{R_{NTC} + R_0} \right) \quad (2)$$

Con los valores de tensión obtenidos y sus correspondientes valores de temperatura, se ajusta a un polinomio de segundo orden del tipo:

$$T = 0,5507 V^2 + 17,69 V - 22,65 \quad (3)$$

A partir de esta ecuación se obtienen los valores de temperatura correspondiente a las señales suministradas por los NTC instalados.

3. Dos conversores analógico/digital, Figura 5, basados en el convertidor de precisión **ADS1115** (Texas Instruments) instalado sobre una placa de Adafruit Industries³. Reciben la señal analógica que pasa por la etapa de adaptación correspondiente a los tres termistores NTC instalados. Disponen de una resolución de 16 bits y transfieren la señal digital vía I²C al sistema de adquisición de datos.

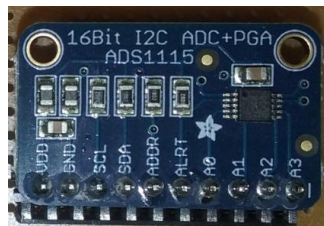


Figura 5. Conversor analógico/digital ADS1115.

4. Un sistema de adquisición de datos formado por un microcontrolador Atmel modelo **ATmega32U4** implementado en una placa Arduino Uno, Figura 6, cuya función será la recogida de la señal que proviene de los conversores analógico/digital.



Figura 6. Arduino Uno

Al mismo tiempo se utiliza un microcontrolador de las mismas características en una placa Arduino Micro, Figura 7, como sistema de control del ventilador centrífugo. Ambos se comunican con el PC mediante USB.



Figura 7. Arduino Micro

5. Un ordenador cuya función es configurar el Arduino Micro y almacenar los datos suministrados por el Arduino Uno. Utilizando el software **Processing** (Processing Foundation) se crea un código de programación en lenguaje javascript, que genera una interfaz que comunica el PC con el sistema embebido. Y con el software **Scilab** (Scilab Enterprises) se realiza el tratamiento de los datos obtenidos.

6. Un ventilador centrífugo de 12V instalado en un extremo del conducto en modo aspiración que se encargará de generar la corriente de aire. Será controlado para trabajar a diferentes velocidades de giro.

7. Dos fuentes de alimentación. Una de ellas tendrá como fin generar una tensión V_{cc} destinada al divisor de tensiones para la adaptación de la señal. Otra fuente se destina a la alimentación del ventilador centrífugo.

En la Figura 8 se muestra una imagen del diseño experimental.



Figura 8. Montaje del sistema experimental.

2.2 Procedimiento

La experimentación presenta una ejecución sencilla y repetitiva. En todos los ensayos lo que se hace es aportar una tensión al ventilador situado en un extremo del conducto que pondrá en marcha la aspiración del aire por el otro extremo, haciendo que circule por el interior. De esta forma el fluido en su movimiento entrará en contacto con los sensores situados de forma concéntrica en la tubería y que enviarán las señales al microcontrolador. Para favorecer el estancamiento del aire se instala una carcasa donde se distribuyen los tres termistores.

El Arduino Micro será el encargado de controlar la tensión aportada al ventilador, variando así la velocidad con la que trabaja. Al mismo tiempo el Arduino Uno leerá las señales de los termistores tipo NTC para enviarlas al ordenador donde se almacena. Para ello se desarrollan dos entornos:

- Entorno Arduino para construir el algoritmo lógico de control del ventilador que se introduce en el microprocesador de la placa.
- Entorno Processing para construir una interfaz gráfica donde activar/desactivar la toma de datos por parte del Arduino. El Processing será el responsable de tomar los datos que aporta el microprocesador y generar un fichero para su posterior tratamiento.

También se construye una subrutina con el programa **Scilab** (Scilab Enterprises) que leerá el archivo donde se guardan los datos recibidos por el Arduino Uno y se calculará los valores de temperaturas medidas por los sensores mediante la ecuación 3. En esta misma subrutina y haciendo uso de la ecuación 1 se obtendrá el valor de la velocidad del fluido en cada instante de medición para una capacidad calorífica a presión constante (c_p) dada, correspondiente al fluido.

4. RESULTADOS

Las mediciones se realizan a diferentes velocidades de giro del ventilador centrífugo y las señales de cada NTC se adaptan con la ecuación 2 y 3 a los valores de la temperatura.

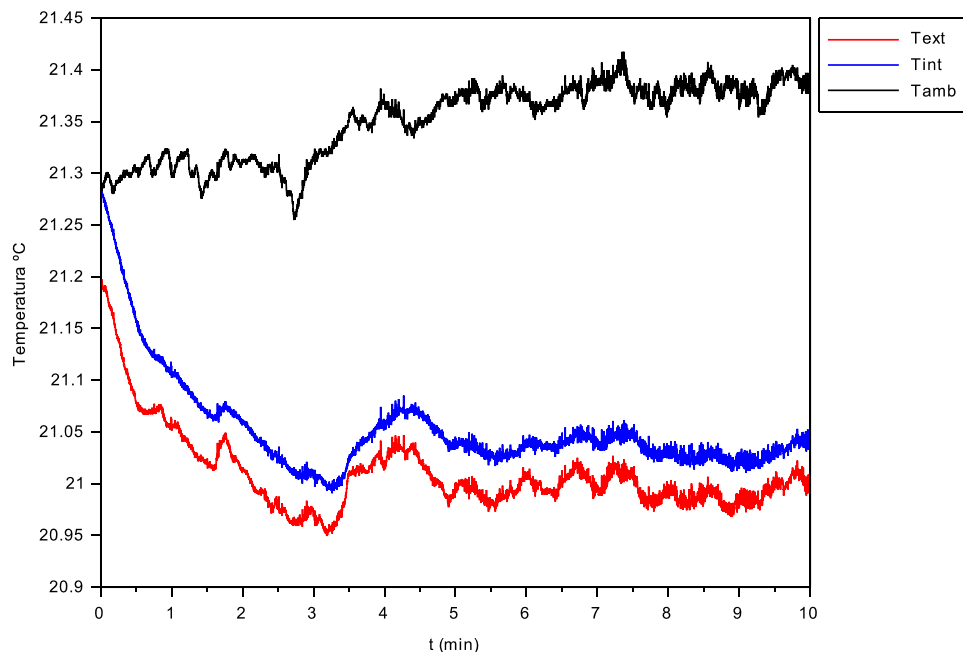


Figura 9. Evolución de las temperaturas a velocidad de 8,80 m/s del ventilador centrífugo.

En la Figura 9 se muestran los valores de temperatura a velocidad mínima del ventilador centrífugo en 10 minutos de muestreo con una frecuencia de 10 datos por segundo. Estos valores de temperatura se sustituyen en la ecuación 4 para determinar la velocidad del flujo, v :

$$v = \sqrt{2 \cdot c_p (T_{int} - T_{ext})} \quad (4)$$

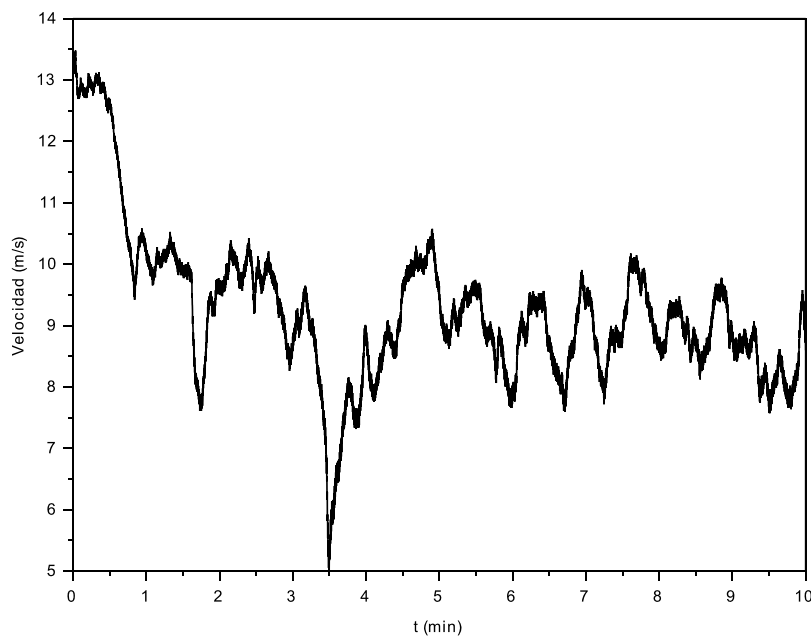


Figura 10. Distribución de la velocidad en el conducto para una velocidad de giro de 8,80 m/s del ventilador centrífugo.

A partir de los valores de la velocidad mostrados en la Figura 10, se puede caracterizar el régimen del fluido mediante el tratamiento de los datos.

En la Figura 11 se muestra en la parte superior la representación de la velocidad media junto a la velocidad de la capa de amortiguación. La gráfica intermedia muestra la velocidad en la capa turbulenta. La tercera representación es la aplicación del Teorema del valor medio a los datos obtenidos, validando así el tratamiento matemático.

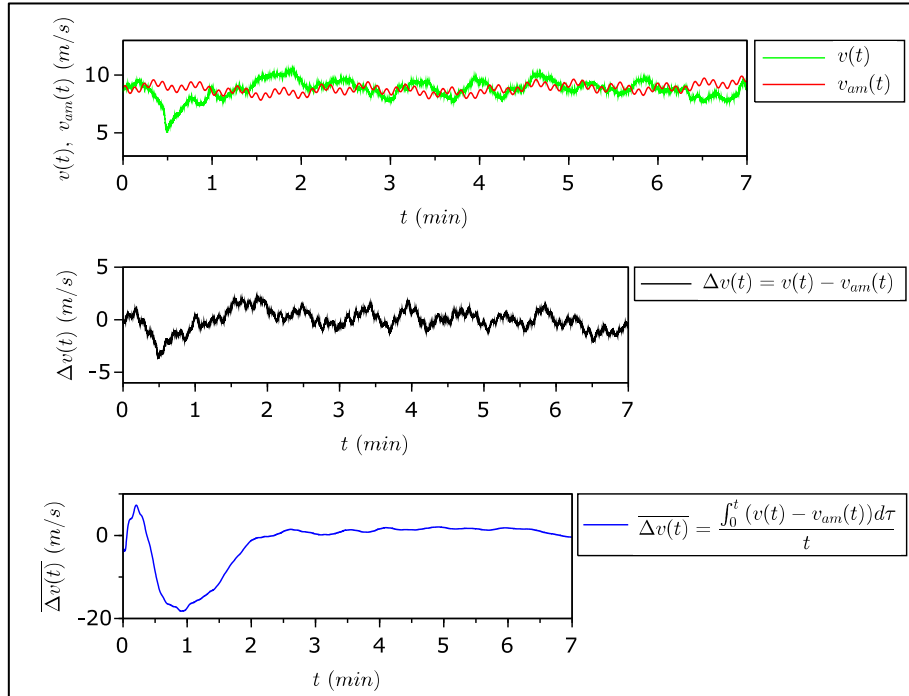


Figura 11. Caracterización del flujo en un ensayo con velocidad media de 8,80 m/s.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un sistema experimental para la caracterización de un flujo compresible en el que se ha utilizado dos sistemas embebidos (Arduino Uno y Arduino Micro). Se muestra los resultados obtenidos para la determinación a una velocidad de 8,8 m/s y la caracterización correspondiente al régimen del flujo.

El diseño permite a la comunidad de estudiantes de ingenierías disponer de metodologías y recursos para aprender y entender los cambios en el estado energético del fluido y en las condiciones del régimen ocasionados por la variación de la velocidad del flujo a través de un conducto. Además del bajo coste del montaje, se hace uso de software y hardware libre que favorece al aprendizaje del alumno por las facilidades a la hora de aplicar distintas condiciones de ensayo. Actualmente, este diseño está siendo utilizado para la elaboración de Trabajo de Fin de Máster.

6. REFERENCIAS

- [1] Valencia, J. A., Henríquez, V., Ramos, A., Cabrera, E. F. y Echeverría, D., "Characterization of surge phenomenon by the temperature tracking in power plants turbochargers", Electrical Engineering Electronic Journal 1(3), (2016).
- [2] Echeverría, D., Henríquez, V., Ramos, A., Cabrera, E. F. y Valencia, J. A., "Methodological Approach for Estimation of Surge Line on Turbochargers used in Turbocharged Diesel Groups in Small and Isolated Electric Power Systems", Electrical Engineering Electronic Journal 1(3), (2016).
- [3] Martín, J., Ávila, V., Deniz, F., Quintana, J. y Ramos, A., "Inexpensive experimental design to learn energetic parameters of supercapacitors", Electrical Engineering Electronic Journal 1(3), (2016).
- [4] Mekic, E., Djokic, I., Zejnelagic, S. y Matovic, A., "Constructive approach in teaching of voip in line with good laboratory and manufacturing practice", Computer Applications in Engineering Education, (2015).

- [5] García, I. y Cano, E., "Designing and implementing a constructionist approach for improving the teaching-learning process in the embedded systems and wireless communications areas", *Computer Applications in Engineering Education* 22(3), 481-493, (2014).
- [6] Cano, E., Ruiz J. y Garcia, I., "Integrating a learning constructionist environment and the instructional design approach into the definition of a basic course for embedded systems design", *Computer Applications in Engineering Education* 23(1), 36-53, (2015).
- [7] Sorathia, K. y Servidio, R., "Learning and experience: Teaching tangible interaction and edutainment", *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 64, 265-274 (2012). 12th International Educational Technology Conference - {IETC} (2012).