

# Desarrollo de un instrumento para estudios termodinámicos de gases mediante el método de la velocidad del sonido utilizando LabVIEW.

Pedro A. Galera Gómez.

Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Farmacia, Departamento de Química Física II, 28040 Madrid.

## Resumen

Se ha desarrollado un instrumento para el estudio de propiedades termodinámicas de los gases basado en el tubo de Kundt, para lo cual se han fabricado los dispositivos electrónicos y mecánicos correspondientes. Las medidas de la frecuencia y de la longitud de onda de las ondas sonoras así como de la temperatura del gas se realiza electrónicamente. Para dichas medidas se ha utilizado una tarjeta de adquisición de datos como interfaz con ordenador personal. La adquisición y análisis de datos se ha realizado mediante programas desarrollados en el lenguaje LabVIEW. El instrumento se puede utilizar para estudios en gases mono y poliatómicos y así comparar resultados. El sistema se puede termostatar mediante alguna pequeña modificación en el dispositivo original y de esta forma ampliar los estudios termodinámicos y cinéticos. Este trabajo ayudará al alumno familiarizarse con uno de los métodos más modernos de adquisición y análisis de datos, a su aplicación al estudio de las ondas sonoras y termodinámica de gases y al diseño y fabricación de dispositivos experimentales.

## Fundamento teórico

La relación de capacidades caloríficas en los gases  $\gamma=C_p/C_v$  se puede determinar con buena aproximación mediante medida de la velocidad del sonido, que a su vez, como es conocido depende de la temperatura.

Para un gas ideal la relación de capacidades calorífica viene dada por

$$\gamma = \frac{Mc^2}{RT} \quad (1)$$

donde M es la masa molar del gas, c es la velocidad de propagación de la onda sonora en el mismo, R es la constante de los gases y T la temperatura absoluta. Para una onda que se propaga en dirección x en un medio material homogéneo de densidad  $\rho$  la ecuación de onda que describe el comportamiento del sonido es

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial s}{\partial x^2} \quad (2)$$

donde  $s$  representa el desplazamiento de un pequeño elemento de volumen. Si consideramos una capa de fluido de área transversal  $A$  y espesor  $\Delta x$  su volumen es  $V=A \Delta x$ . El cambio de volumen que acompaña al cambio de presión es  $\Delta V=A\Delta s$  donde  $\Delta s =s(x+ \Delta x)-s(x)$ . De la definición del módulo volumétrico se tiene que

$$\Delta p = -B \frac{\Delta V}{V} = -B \frac{A\Delta s}{A\Delta x} = -B \frac{\Delta s}{\Delta x} = B \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (3)$$

$$-\Delta p = B \frac{\partial s}{\partial x} \quad (4)$$

La fuerza acústica neta que actúa sobre la masa contenida en un elemento de volumen de espesor  $\delta x$  y superficie unitaria es  $(-\partial \Delta p / \partial x) \delta x$ , que de acuerdo con la segunda ley de Newton es igual a  $(\rho \delta x) \partial^2 s / \partial t^2$

$$\frac{\partial \Delta p}{\partial x} = -\rho \frac{\partial^2 s}{\partial t^2} \quad (5)$$

o bien

$$\frac{\partial^2 s}{\partial t^2} = \frac{B}{\rho} \frac{\partial^2 s}{\partial x^2} \quad (6)$$

de la ecuación 2 y 6 se tiene que  $\rho c^2 = B$  y de la ecuación 3 se tiene  $\Delta p = \rho c^2 (\Delta \rho / \rho) = c^2 \Delta \rho$ . Esta variación de densidad con la presión tiene lugar a entropía,  $S$ , constante

$$c^2 = \left( \frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_S \quad (7)$$

la densidad del gas es  $\rho = M / V_m$ , siendo  $M$  y  $V_m$  la masa y volumen molar del gas. La ecuación (7) se puede escribir como

$$c^2 = -\frac{V_m}{\rho} \left( \frac{\partial p}{\partial V_m} \right)_S \quad (8)$$

si en la ecuación (8) se utiliza la relación termodinámica  $pv^\gamma = \text{constante}$  y la ecuación de estado del gas ideal, se obtiene la siguiente expresión

$$c^2 = \gamma \frac{p}{\rho} = \gamma \frac{RT}{M} \quad (9)$$

Para un gas ideal la velocidad cuadrática media está relacionada con  $\gamma$  y  $c$

$$c = \left(\frac{\gamma}{3}\right)^{1/2} v_{av} \quad (10)$$

donde  $v_{av}$  representa la raíz cuadrada de la velocidad cuadrática media.

Para un gas de van der Waals se tiene que

$$c^2 = \gamma \frac{p}{\rho} \left(1 - \frac{a}{pV_m^2} + \frac{b}{V_m}\right) = \gamma \frac{RT}{M} \left(1 - \frac{2a}{pV_m} + \frac{2b}{V_m}\right) \quad (11)$$

## Dispositivo experimental

La longitud de onda de las ondas estacionarias producidas en el interior de un tubo como el mostrado en la Figura 1 se ha determinado del análisis de la señal amplificada que es captada por un micrófono. La frecuencia y la longitud de onda de la señal se ha determinado electrónicamente, utilizando una tarjeta de adquisición de datos (DAQ) de bajo coste de National Instruments como es la USB 6009 que permite adquirir 48000 muestras por segundo (48kS/s) o bien mediante una tarjeta mas avanzada como la PCI 6036E de 16 bits y que permite adquirir 250 kS/s. Las ondas sonoras eran generadas por un pequeño altavoz, el cual es alimentado con un oscilador basado en el circuito integrado NE 555N. El oscilador que se ha construido permite generar frecuencias de interés simplemente cambiando la capacidad de un condensador; en nuestro estudio se ha utilizado frecuencias próximas a 1kHz y a 2 kHz. Igualmente para generar las ondas sonoras se ha utilizado un generador de funciones basado en le circuito ICL 8038 donde la señal se amplificaba utilizando el amplificador operacional 741 junto con un transistor NPN, en este equipo se usó el BC 140.

El tubo utilizado para la propagación de las ondas es de acero inoxidable y tiene una longitud de 1.5 m y un diámetro interno 5 cm, también se puede utilizar tubos de material plástico, disponibles a bajo coste en el comercio. El tubo, el pistón y soporte del altavoz se fabricó en los talleres de la UCM. Detalles de cómo se pueden construir el generador de pulsos o de funciones para alimentar el altavoz se pueden encontrar en la hoja de datos del fabricante de los mencionados circuitos integrados y son fáciles de construir.

## Tubo de Kundt y detección electrónica

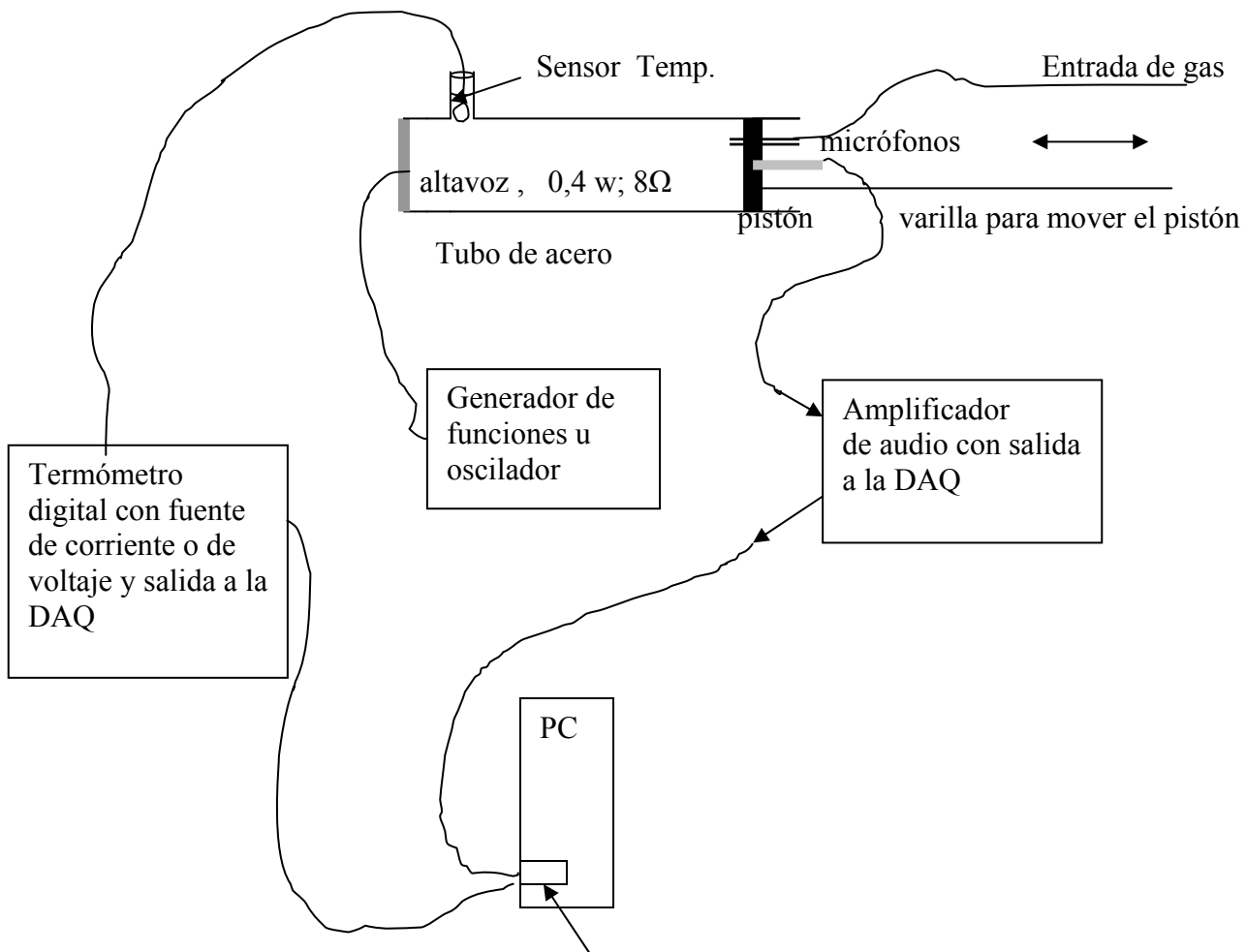


Figura 1. Esquema del dispositivo experimental para la determinación de la velocidad de sonido en gases. En la fotografía adjunta al final del artículo se muestra el dispositivo experimental que he se ha desarrollado.

En la Figura 2 se da el esquema del circuito de entrada y amplificación de la señal que es captada por el micrófono; el micrófono utilizado aquí era un micrófono de bajo coste normalmente usado con las tarjetas de sonido del ordenador. El amplificador de señal está basado en el amplificador LM 386.

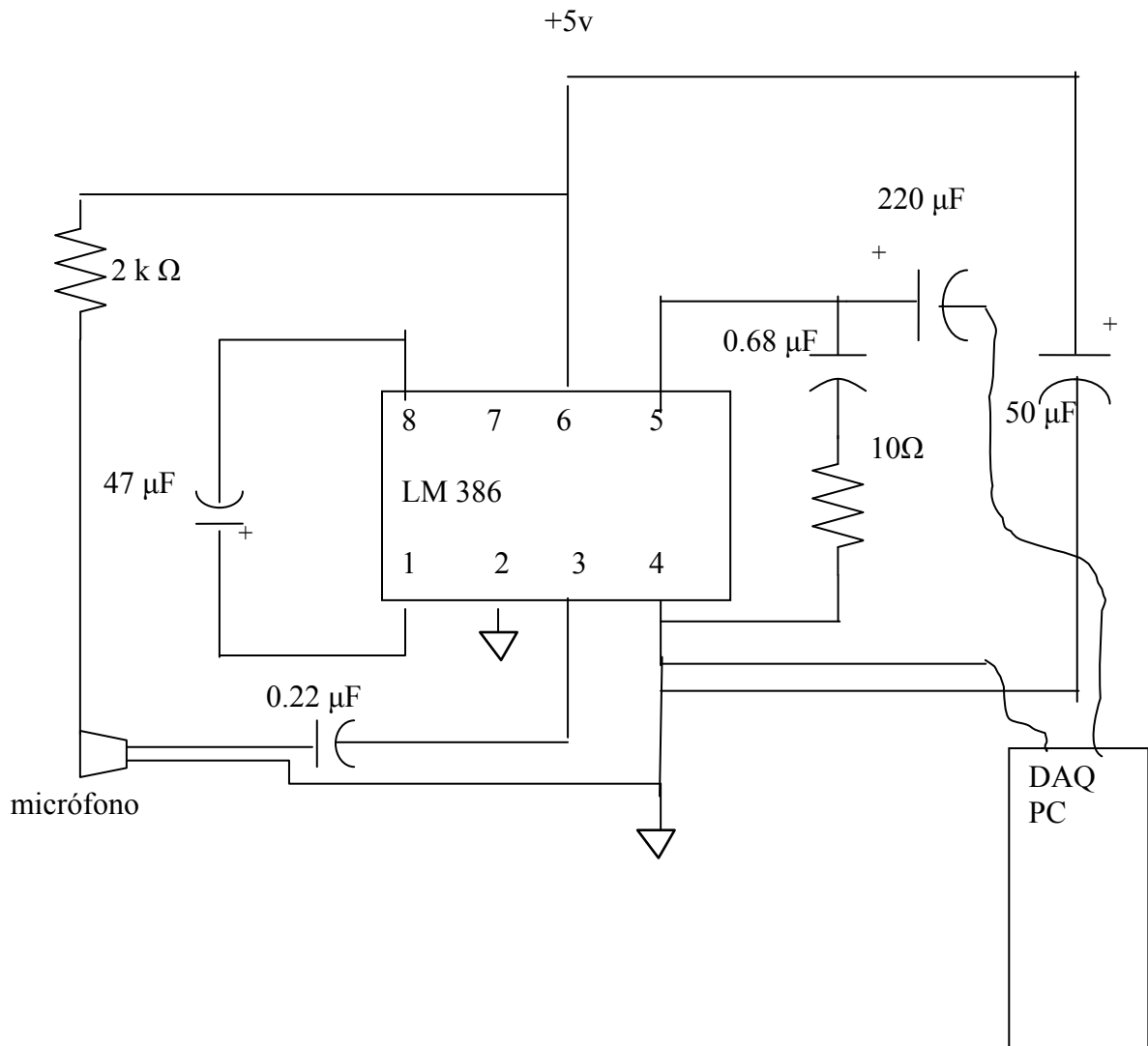


Figura 2. Circuito para la amplificación entrada de la señal recogida por el micrófono con salida a la tarjeta de adquisición de datos.

En la figura 3 se muestra el panel frontal del programa de adquisición de la señal amplificada que se capta con el micrófono. La amplitud en el espectro de frecuencia disminuye a un mínimo cuando en el desplazamiento del pistón que contiene el micrófono se alcanza un nodo y un máximo cuando se alcanza un antinodo en dicho desplazamiento. La separación de dos nodos o dos antinodos tiene lugar cuando el desplazamiento del pistón equivale a una semilongitud de onda  $\lambda/2$ .

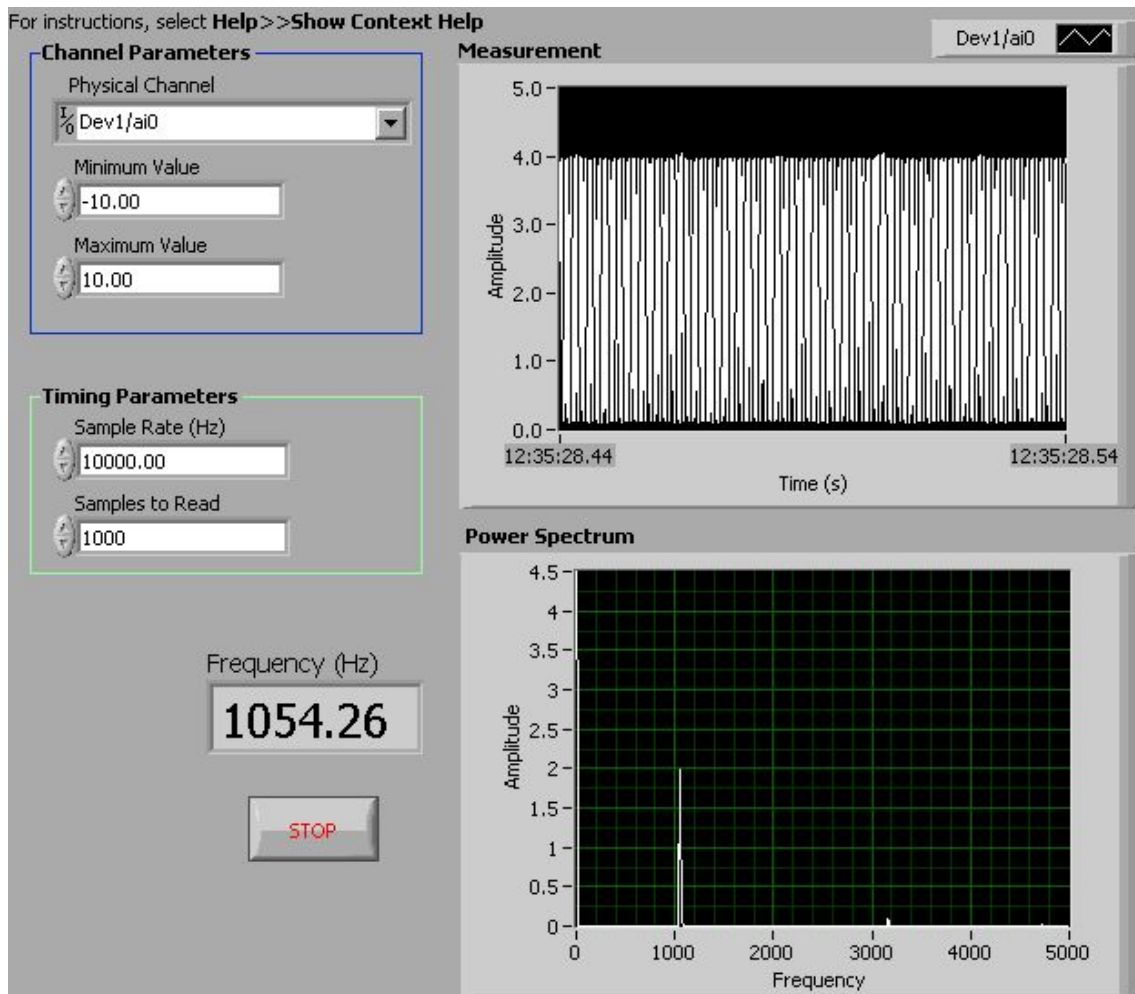


Figura 3. Señal captada por el micrófono y amplificada , la gráfica superior representa la dependencia de la señal frente al tiempo y la inferior representa amplitud frente a la frecuencia calculada mediante la transformada de Fourier de la señal.

### *Medida de la temperatura con un termómetro digital*

En la figura 4 se muestra el circuito de acondicionamiento de señal para medida de la temperatura utilizando un sensor de temperatura AD22100. Este dispositivo que se alimenta con un regulador LM 7805 que proporciona un voltaje de 5 voltios.

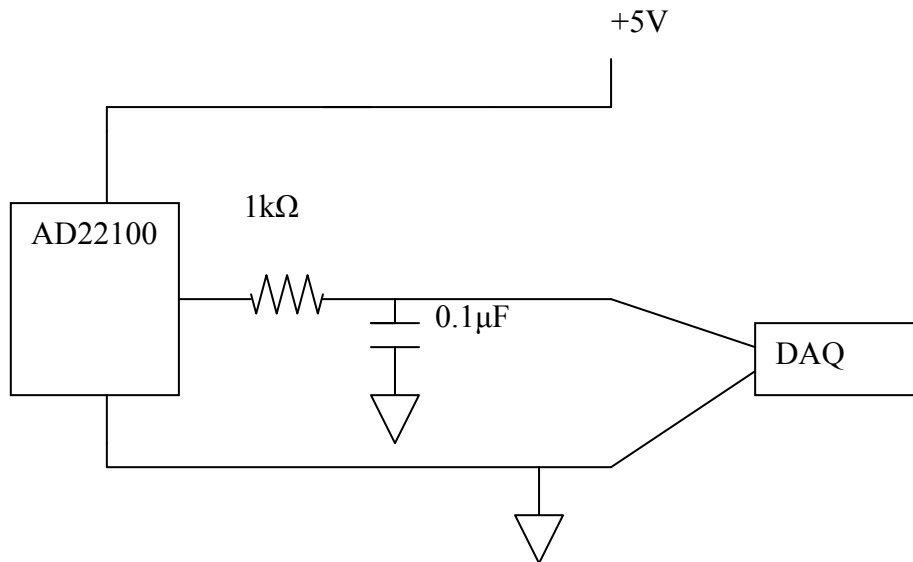


Figura 4. Esquema del sistema de medida de temperatura con el sensor AD22100.

El sistemas de medida de temperatura como el indicado en la figura 4 es de utilidad en procesos donde se requiere un control de temperatura con el ordenador o establecer automatización con relación a alguna variable. Los dispositivos que se han construido permiten controles de temperatura en intervalo desde  $-50$  a  $150$  °C. La precisión de las medidas de temperatura próximas a temperatura ambiente es de  $\pm 0.1$ °C.

En la figura 5 se muestra el panel frontal del programa en LabVIEW de adquisición de datos temperatura en función del tiempo usando el sensor AD22100.

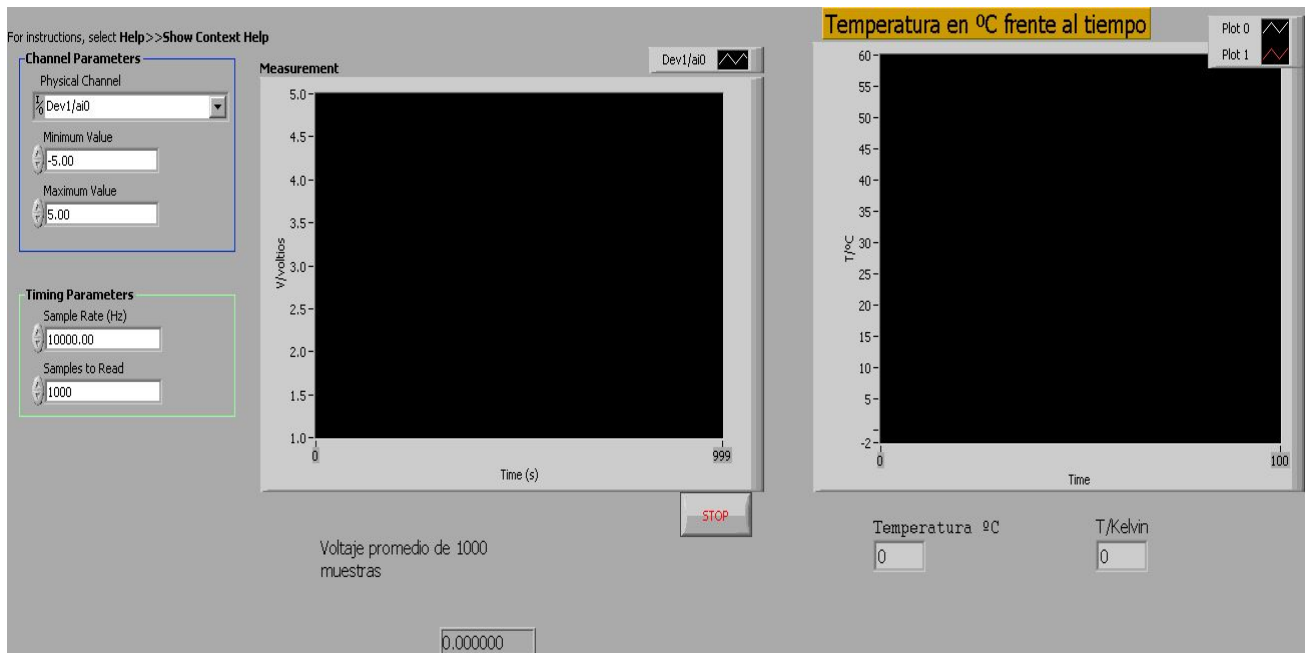


Figura 5 Panel frontal para los datos de voltaje y temperatura medidos en función del tiempo utilizando el sensor AD22100.

## Procedimiento de trabajo y Cálculos

Se hace pasar durante unos minutos una corriente del gas en estudio por el tubo con objeto de evacuar el aire. La conducción de gas se realiza por un tubo conectado al pistón que contiene el micrófono. La temperatura se mide con el termómetro digital conectado al ordenador, ver el esquema de la figura 1.

Moviendo el pistón despacio desde la distancia máxima de separación con el altavoz se anotan la distancia donde se producen antinodos, es decir máximos en el espectro de frecuencia; la separación de los mismos que se mide con un metro e indica un desplazamiento del embolo una distancia  $\lambda/2$ . Repitiendo las medidas varias veces y promediando se calcula  $\lambda$ . También se podría utilizar un osciloscopio para determinar la fase entre la señal del altavoz y del micrófono de modo que la señal oscilador se conectara al barrido horizontal y la señal recibida por el micrófono y amplificada al barrido vertical. La diferencia de fase se determinaría de las figuras de Lissajous al mover el embolo que contiene el micrófono. El cambio de la línea con inclinación de  $45^\circ$  a la derecha en la pantalla del osciloscopio que indica un ángulo de fase de  $0^\circ$  (en fase) a una línea inclinada a la izquierda  $45^\circ$  indica un desfase de  $180^\circ$ , es decir tal cambio indica un desplazamiento de  $\lambda/2$  del embolo que contiene el micrófono.

La frecuencia de la onda sonora,  $\nu$ , se determina como se ha indicado utilizando el programa cuyo panel frontal se da en la figura 3. La velocidad del sonido  $c (= \nu\lambda)$  se calcula con estos datos experimentales de  $\nu$  y  $\lambda$  y mediante la ecuación (1) se calcule  $\gamma$ . Compáre los valores de  $\gamma$  con los valores teóricos que predice el teorema de equipartición de la energía en el caso de  $N_2$  y  $CO_2$  Calcule la anterior relación



considerando o no los grados de libertad de vibración. Utilice las constantes de de van der Waals y calcule el coeficiente  $\gamma$  y compare el valor teórico con el experimental.

## Referencias

- (1) C.W Gardland, J.W. Nibler y D.P. Shoemaker, “ Experiments in Physical Chemistry”, 7ª Edic. McGraw-Hill N.Y., 2002, pags. 112-115.
- (2) R.A. Serway y R.J. Beichner “ Física para Ciencias e Ingeniería” 5ª Ed. Vol. 1 McGraw-Hill, 2000.
- (3) R. Feynman, R.B. Leighton y M. Sand “ Lectures on Physics” Vol.I, Addison Wesley 1963.
- (4) R. Bishop “ LabVIEW 7 Express “, Student Edition. Prentice Hall, 2003.

*Agradecimientos.* El autor agradece al Vicerrectorado de Innovación y Espacio Europeo de Educación Superior por la financiación del proyecto de Innovación Educativa N° 207, también agradezco al personal de los talleres de la UCM por su atención y colaboración.



Tubo de Kundt para el estudio de propiedades termodinámicas de los gases, provisto de detección electrónica de las señales mediante una tarjeta de adquisición de datos y programas desarrollados en LabVIEW.

