

ANEMÓMETRO PARA MEDIR VELOCIDAD DE FLUIDOS BASADO EN ARDUINO

Tatiana Duran^{1*}; Facundo Olea¹; Rodolfo Dematte^{1, 2}; Josefina Huespe¹
y Raúl Pérez¹

¹ Unidad Investigativa: Epistemología, Lógica y Ciencias Básicas.

Grupo IEMI Grupo orientado a la realización de Investigaciones en Matemática Aplicada
a la Ingeniería y Gestión.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza Coronel Rodríguez 273,
M5500 Mendoza, Argentina

² Instituto de Energías Naturales y Renovables. Centro de Investigación e Innovación
Tecnológica. UNLaR. Gdor. Luis Vernet & Apóstol Felipe, M5300, La Rioja, Argentina

* andretatiduran@gmail.com

Resumen: Este estudio detalla el diseño y la implementación de un anemómetro para la medición precisa de la velocidad de fluidos, destacando el uso de Arduino y una tarjeta SD como mejoras significativas en el proceso. El dispositivo utiliza componentes electrónicos simples y sensores especializados para capturar con precisión la velocidad del flujo de aire y otros fluidos. El anemómetro se construye en torno a un eje giratorio equipado con hélices que responden al flujo de fluido. Estas hélices están conectadas a sensores ópticos o magnéticos que registran la frecuencia de rotación. El algoritmo de toma de datos, implementado en Arduino, convierte esta frecuencia en velocidad lineal del fluido utilizando ecuaciones físicas derivadas. La inclusión de una tarjeta SD permite almacenar los datos de velocidad para análisis posteriores. La implementación del dispositivo se llevó a cabo en el marco del grupo IEMI, donde se realizan pruebas exhaustivas para evaluar su precisión y fiabilidad. Las pruebas comparan las lecturas del anemómetro con velocidades conocidas y analizan la estabilidad y sensibilidad del dispositivo bajo diferentes condiciones de flujo. Los resultados preliminares destacan la precisión y consistencia de las mediciones del anemómetro, validando tanto el diseño mecánico como el algoritmo implementado en Arduino. Este enfoque no solo mejora la precisión de las mediciones, sino que también facilita su aplicación en diversas áreas como la investigación científica, la monitorización ambiental y la ingeniería industrial.

Palabras claves: Anemómetro; Arduino; Algoritmo; Velocidad de fluidos.

INTRODUCCIÓN

Un anemómetro es un instrumento empleado para la medición de la velocidad del viento y es un instrumento crucial en la medición de la velocidad del aire dentro de un túnel de viento. En estos entornos controlados, se utiliza para obtener datos precisos sobre el flujo de aire y su comportamiento alrededor de los objetos en estudio, como modelos de vehículos, aviones o estructuras arquitectónicas. Los datos recogidos por el anemómetro permiten evaluar la aerodinámica, identificar áreas de alta resistencia y optimizar diseños para mejorar la eficiencia y la estabilidad. Su uso es esencial en la investigación y desarrollo en ingeniería aeroespacial, automotriz, y en la construcción, donde la comprensión detallada del comportamiento del flujo de aire es fundamental. Existen diversos tipos dependiendo del contexto en el que se utilice. Algunos de ellos se presentan a continuación.

Anemómetros rotatorios

Dentro de este tipo de anemómetros podemos encontrar los de cazoleta y de hélice. El principio de medición del anemómetro de cazoleta se basa en la velocidad angular como una función lineal de la velocidad del viento. Aunque este tipo de instrumento tiene una calibración simple y lineal, su respuesta dinámica a las fluctuaciones del viento no es lineal ya que responde más rápido al aumento de la velocidad que a la disminución. El anemómetro de hélice combina una hélice y una veleta, que proporciona tanto la dirección como la velocidad del viento. Si bien su dinámica y calibración se asemeja al anemómetro de cazoleta, el exceso de velocidad resulta menos grave para este tipo de anemómetros (Suomi & Vihma, 2018).

Anemómetros ultrasónicos

Estos anemómetros utilizan frecuencias ultrasónicas y tasas de repetición de pulsos del orden de 50-100 Hz, que luego se promedian en bloques para proporcionar frecuencias de salida de 1-20 Hz. Superan en muchos aspectos a otros instrumentos ya que las velocidades del viento se miden directamente y no hay inercia del anemómetro involucrada en la medición. Las altas frecuencias de medición permiten realizar una buena cobertura de las fluctuaciones turbulentas de todas las escalas. Sin embargo, tienen varias fuentes de error como los transductores que contienen, su alta sensibilidad a los cambios de temperaturas, los problemas que pueden tener en la lluvia y nieve que afectan la propagación de pulsos de sonido y hasta errores internos de los componentes electrónicos (Suomi & Vihma, 2018).

Anemómetros de presión

Se pueden distinguir dos grupos, los anemómetros de placa de presión y los de tubo de presión. Los de placa de presión ya no se utilizan debido a su compleja respuesta dinámica a las fluctuaciones de la velocidad del viento. Pero los de tubo de presión son ampliamente utilizados. El método de medición consiste en tomar la diferencia entre las presiones total y estática, que representa la presión dinámica causada por el viento. Dicha diferencia es proporcional a la velocidad del viento al cuadrado. Sin embargo, la calibración de este anemómetro es compleja debido a la relación no lineal entre la presión de velocidad y el caudal de aire. Además, no es utilizado en la investigación de ráfagas de viento (Suomi & Vihma, 2018).

Anemómetros basados en la tasa de enfriamiento causada por el viento

El principio de medición de estos anemómetros consiste en el efecto de enfriamiento del viento sobre un hilo caliente. Son los más sensibles a las fluctuaciones del viento por lo que pueden proporcionar mediciones de alta precisión. Sin embargo, al ser muy frágiles no pueden ser utilizados para vientos fuertes y mediciones a largo plazo. Además, requieren calibración frecuente ya que son muy sensibles a los cambios de temperatura (Suomi & Vihma, 2018).

Debido a los altos costos y la complejidad asociados con los anemómetros de hilo caliente, así como a la necesidad de almacenar datos específicos sobre la velocidad del viento, se desarrolló un prototipo de bajo costo utilizando componentes electrónicos sencillos y sensores diseñados para este propósito. Este artículo describe el desarrollo de dicho prototipo, desde su construcción hasta su implementación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Hardware del prototipo

Para la construcción del prototipo se analizaron varias opciones determinando que Arduino y sus complementos eran los elementos más sencillos y adecuados debido a que es una placa muy versátil y adaptable a distintos fines con la ayuda de una gran variedad de sensores. Los elementos utilizados fueron un sensor óptico y una placa para lectura y escritura de una tarjeta SD. A continuación, se detalla cada uno de ellos.

Arduino

Arduino es una placa de software libre que contiene un microcontrolador programable y una serie de pines que permiten conectar de forma sencilla, diversos complementos, sensores y placas para distintos fines (Carrillo, 2021, Flores Cortez, 2014). El software programado en el microcontrolador está basado en el lenguaje de programación C, el cual junto con una gran variedad de librerías open source permite controlar los distintos complementos conectados a la placa de Arduino. Para el anemómetro desarrollado se utilizaron placas de Arduino UNO y MEGA (Figura 1) que son las más utilizadas en diversos proyectos y prototipos.

Figura 1

Arduino MEGA



Sensor óptico o encoder

Es un dispositivo que se encarga de transformar el movimiento angular o lineal en pulsos eléctricos que pueden ser interpretados por el controlador de Arduino. Realiza la medición con un haz de luz infrarroja que se ve interrumpido por las ranuras de un disco acoplado a un eje (Ingeniería Mecafenix, 2022). El funcionamiento básico de este sensor

es crear un pulso digital en el pin conectado al Arduino cada vez que el haz de luz se ve interrumpido por el disco ranurado (Figuras 2 y 3).

Figura 2

Sensor óptico

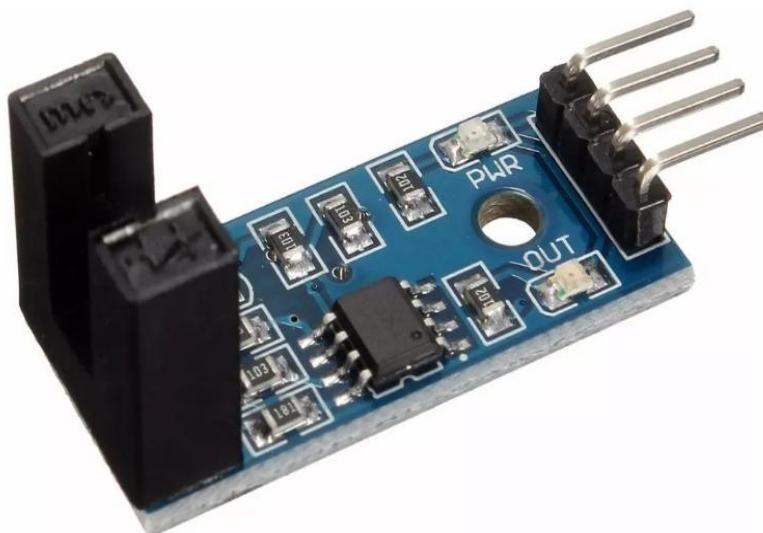


Figura 3

Discos ranurados

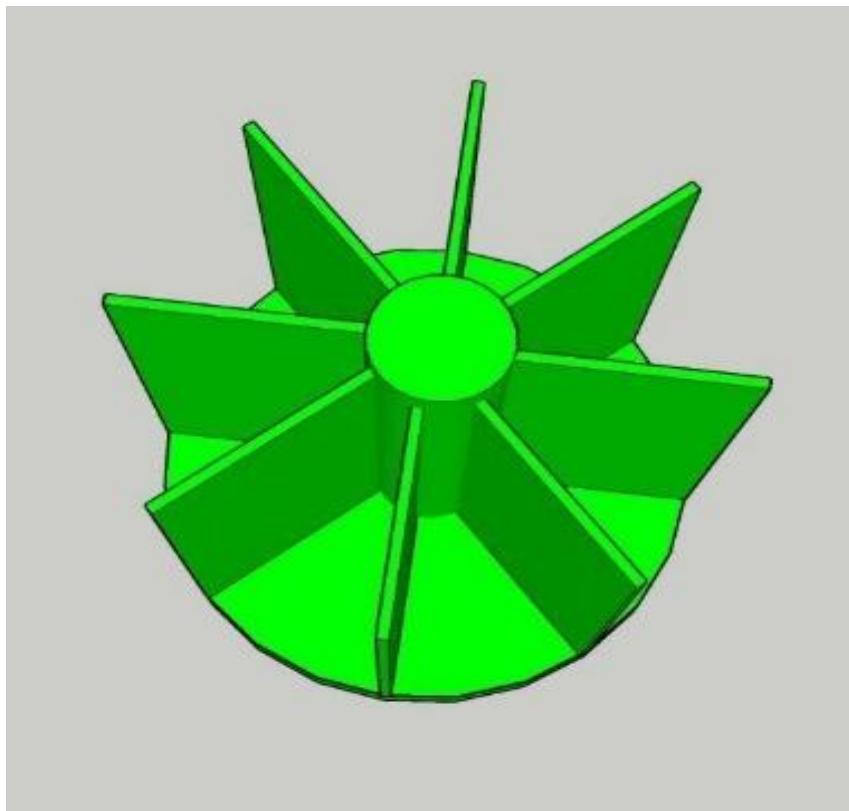


Eje giratorio

El disco ranurado utilizado para la lectura del sensor óptico se unió a un eje giratorio con hélices (Figura 4) que responden al flujo del viento para facilitar las mediciones. Esta estructura toma como base el principio utilizado por los anemómetros rotatorios.

Figura 4

Eje giratorio modelo 3D

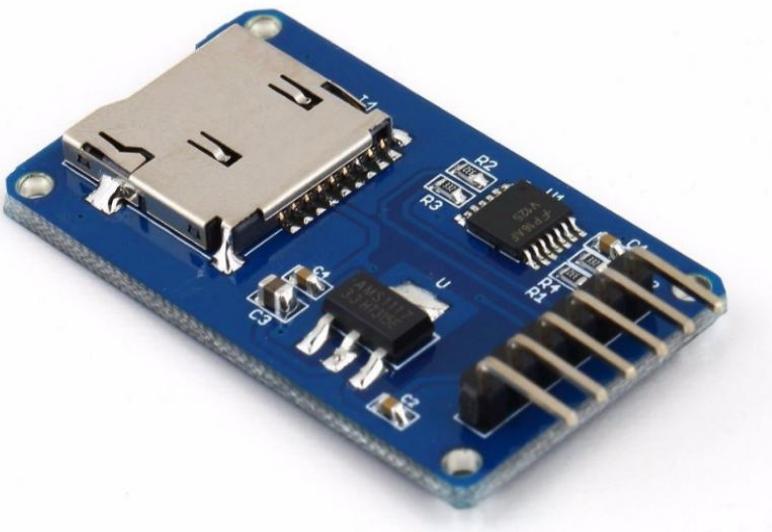


Tarjeta SD y Módulo SD para Arduino

La tarjeta SD es un tipo de memoria de tamaño pequeño pero gran capacidad que permite el almacenamiento de un volumen de datos significativo a los propósitos de este proyecto. El módulo SD para Arduino (Figura 5) es una placa que sirve como complemento para la lectura/escritura de la tarjeta SD. Esta placa se conecta al Arduino el cual se configura para que grabe y lea archivos en la tarjeta SD (Flores Cortez, 2014).

Figura 5

Módulo SD para Arduino



RESULTADOS

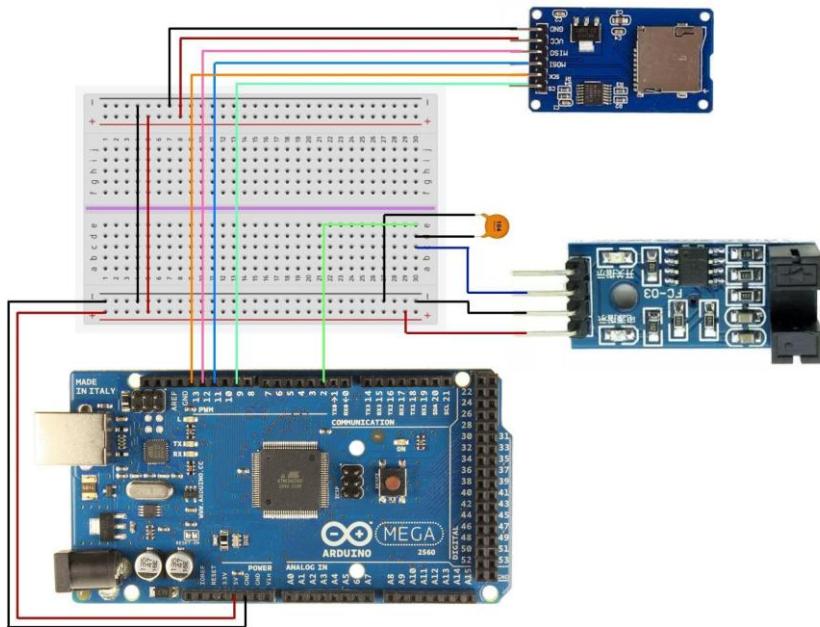
Diagrama de conexión

Como se mencionó anteriormente, Arduino cuenta con una gran cantidad de pines. A través de ellos se realizó la conexión entre Arduino, el sensor óptico y el módulo SD. Debido a que cada complemento necesita energía, cada uno se conecta a un pin de salida de 5V y uno de GND. El sensor óptico cuenta con un pin de señal digital de pulsos de salida el cual se conecta al Arduino por el pin de interrupción.

El módulo SD se conecta al Arduino a través de la interfaz SPI que contiene 4 pines. Para esto se configuran 4 pines en Arduino para que se correspondan con los del módulo SD. Además, se agregó un condensador cerámico de lenteja para corregir el ruido producido por el sensor óptico. En la figura 6 puede verse cómo se realiza dicha conexión.

Figura 6

Diagrama de conexión del prototipo



Software del prototipo

Se desarrolló un algoritmo en el lenguaje de programación C soportado por Arduino para realizar la toma y el almacenamiento de datos de las mediciones obtenidas con el anemómetro construido. Dicho algoritmo contiene 4 funciones principales que son `setup`, `encoder`, `saveData` y `loop`.

Dentro de la función *setup* se setean todas las configuraciones iniciales de Arduino para establecer la conexión con los distintos componentes electrónicos utilizados. Además, se indica el pin que debe recibir la interrupción por parte del pulso digital enviado por el encoder, la función que se ejecutará al producirse dicha interrupción y el tipo de interrupción producido.

La función *encoder* registra el tiempo transcurrido cada cierta cantidad de interrupciones, ese tiempo es utilizado para calcular la frecuencia de interrupción. Para obtener dicha frecuencia se saca un promedio de los tiempos transcurridos almacenados en un vector.

En la función *loop* se toma el tiempo en que se produce cada interrupción y a partir de la frecuencia calculada en la función *encoder* se calcula la velocidad angular utilizando la Ecuación 1

$$\omega = \text{frecuencia} \cdot 2\pi/N \quad (1)$$

donde la frecuencia es 1 dividido el tiempo promedio transcurrido y N es la cantidad de ranuras que tiene el disco que produce la interrupción en el sensor óptico.

A partir de esta velocidad angular podemos obtener la velocidad lineal utilizando la Ecuación 2

$$v = \omega \cdot r \quad (2)$$

donde ω es la velocidad angular calculada y r es el radio de la hélice unida al disco rasurado. Además, se llama a la función que guarda los datos obtenidos. Por último, la función *saveData* realiza la apertura del archivo que contiene la tarjeta SD, graba los datos y cierra el archivo.

Pruebas del dispositivo

Durante el desarrollo del prototipo se realizaron varias pruebas para revisar su comportamiento. Además, se realizaron los ajustes pertinentes para asegurar la fiabilidad de los resultados hasta conseguir lo descrito anteriormente. Actualmente nos encontramos en la fase de prueba dentro del túnel de viento para finalmente obtener las mediciones que necesitamos para comprobar la precisión del anemómetro.

CONCLUSIONES

El estudio de los distintos tipos de anemómetros nos brindó las características que debía tener el prototipo para que se ajustara a las mediciones que buscamos realizar de una manera precisa y eficiente. A partir de dicho estudio, se construyó un prototipo de anemómetro de bajo costo con Arduino y elementos electrónicos simples que nos permitiera almacenar los resultados obtenidos. El uso de Arduino como base permite la flexibilidad y adaptación del prototipo, así como también mejoras futuras para desarrollar mayor robustez del hardware acompañado de un refinamiento del algoritmo para que pueda adaptarse a escenarios variables. Aunque aún continúan las pruebas, se puede asegurar que es un dispositivo exacto en mediciones de velocidad en túneles de viento.

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional por permitirnos desarrollar esta investigación. Al grupo IEMI en donde desarrollamos nuestros trabajos de investigación.

REFERENCIAS

- Carrillo, M. V. (2021). Introducción de Arduino. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria* No. 4, 9(17), 4-8. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/6625/7531>
- Flores Cortez, O. O. (2014). *Aprende Arduino. Guía Teórico Práctica*. IGNAC.
- GreeLane (04 de abril de 2017). *Historia del anemómetro. La velocidad o velocidad del viento se mide con un anemómetro. Historia y Cultura*. https://www.greelane.com/es/humanidades/historia-y-cultura/history-of-the-anemometer-1991222/#google_vignette.
- Ingeniería Mecafenix (12 de julio de 2022). *Que es un encoder y cómo funciona*. Ingeniería Mecafenix. La enciclopedia de la ingeniería. Recuperado el 06/08/2024 de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/encoder/>
- Suomi, I., & Vihma, T. (2018). *Wind gust measurement techniques—From traditional anemometry to new possibilities*. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 18(4), Article Number 1300. <https://doi.org/10.3390/s18041300>

* * * * *

