

Sistema de medición de presiones para calibración de sondas multiagujeros

Pressure measurement system for calibration of multi-hole probes

Fabio D. Marano, Pablo M. Aguilar, Nicolás G. Coppolecchia and Pablo A. Caron

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Grupo de Mecánica de Fluidos (GMF)

París 532, (B1706EAH) Haedo, Buenos Aires, Argentina

gmf-layf@frh.utn.edu.ar

Recibido: 12/11/24; Aceptado: 04/02/25

Resumen—La medición de la velocidad es un punto central en todo trabajo experimental de Mecánica de Fluidos, principalmente si se quiere analizar la estela detrás de objetos dentro de un túnel de viento. Un tipo de instrumento disponible es la sonda multiagujeros que infiere el vector velocidad a partir de medir la distribución de la presión en el extremo de una punta especialmente diseñada. Este trabajo describe el proceso de diseño, construcción y calibración de un sistema de adquisición de presiones para medir el vector velocidad en un túnel de viento subsónico.

Palabras clave: Adquisición, Presión, Velocidad, Túnel de viento.

Abstract— Velocity measurement is a central point in all experimental work in Fluid Mechanics, especially if one wants to analyze the wake behind objects inside a wind tunnel. One type of instrument available is the multi-hole probe that infers the velocity vector by measuring the pressure distribution at the tip of a specially designed tip. This work describes the design, construction and calibration process of a pressure acquisition system to measure the velocity vector in a subsonic wind tunnel.

Keywords: Acquisition, Pressure, Speed, Wind tunnel.

I. INTRODUCCIÓN

La velocidad es una de las magnitudes físicas fundamentales en la Mecánica de Fluidos, ya que describe el movimiento de las partículas. Determinar su magnitud y dirección, ya sea teórica o experimentalmente, es equivalente a resolver un problema de fluidos [1].

Conocer y cuantificar experimentalmente la velocidad de un fluido es crucial para analizar y predecir una amplia gama de fenómenos, desde medir la velocidad de una aeronave hasta caracterizar la turbulencia de un determinado flujo.

Existen diferentes dispositivos que miden la velocidad en un punto del seno del fluido, entre los que se encuentran los tubos Pitot, anemómetros por hilo caliente y sondas multiagujeros, entre otros [2]. Cada uno utiliza un fenómeno físico diferente para calcular la velocidad. En el presente trabajo nos enfocamos en las sondas multiagujero, que miden la distribución de presión en la punta de la misma y, a partir de esta, se obtiene el módulo y dirección de la velocidad [3], [4]. Entre los diseños disponibles, muchos propietarios [5]–[7], sobresale la denominada Sonda Oxford, cuyo diseño es libre y es la que se utilizó en el presente trabajo [8].

Para que la sonda sea funcional se debe medir la presión en distintos agujeros de la punta de la sonda de forma precisa, preferentemente con un dispositivo electrónico. Este es el objetivo principal del presente trabajo, desarrollar un sistema de medición de presiones que permita sensar diferentes puntos de la presión y entregue los datos en un formato que luego sean la entrada para el cálculo de la velocidad. Por otro lado, la sonda debe calibrarse y, durante este proceso, el sistema de medición debe funcionar sincrónicamente con un sistema de posicionamiento que varía la incidencia del flujo (ángulos de cabeceo, Alfa, y guiñada, Beta) respecto a la sonda [9], [10].

El desarrollo descripto en el presente documento forma parte de una de las etapas del proyecto de investigación y desarrollo *Desarrollo de un sistema de medición de velocidad tridimensional para túnel de viento subsónico (PID AMPPHA0010086)* [11], financiado por la Universidad Tecnológica Nacional – SCyT y Facultad Regional Haedo.

II. ANTECEDENTES

El Grupo de Mecánica de Fluidos de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Haedo cuenta con cuatro túneles de viento dedicados a la enseñanza y a la investigación. Para medir la presión en distintos puntos de los modelos o de los túneles se disponen de manómetros de columna de agua y un sistema de adquisición de presiones, todos de uso académico. Por otro lado, la velocidad se puede medir usando tubos Pitot y/o sondas multiagujero. Estos diseños previos ya fueron presentados en [12] y se tomaron como base del presente trabajo.

III. DESARROLLO

Los sistemas de medición de presión para túneles de viento se componen de múltiples canales, cada uno equipado con un transductor de presión. Estos transductores convierten las variaciones de presión en señales eléctricas, las cuales son acondicionadas y digitalizadas para su posterior procesamiento. Un sistema de control gestiona la adquisición de datos y permite la medición simultánea de la presión en diversos puntos del flujo.

En este trabajo se presenta el diseño y construcción de un sistema modular. La modularidad del sistema se ha concebido para ofrecer una gran flexibilidad en su configuración, permitiendo adaptar el dispositivo a una amplia variedad de aplicaciones. Se plantea una etapa de adquisición de

datos, compuesta por sensores intercambiables que facilita la integración de transductores con distintas precisiones y rangos de medición. A su vez, la etapa de procesamiento y control permite seleccionar el hardware más adecuado para cada aplicación específica. El sistema se encuentra bajo el control de un software de PC desarrollado a medida, que proporciona una interfaz gráfica intuitiva para la configuración, adquisición y análisis de los datos.

III-A. Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema se basa en una estructura modular compuesta por tres etapas principales. La etapa de adquisición utiliza transductores de membrana para convertir las variaciones de presión en señales eléctricas. Estas señales son acondicionadas mediante circuitos específicos recomendados por el fabricante [13]. La etapa de procesamiento se encarga de digitalizar las señales acondicionadas y realizar cálculos adicionales, mientras que la etapa de visualización presenta los resultados en una interfaz de usuario en PC.

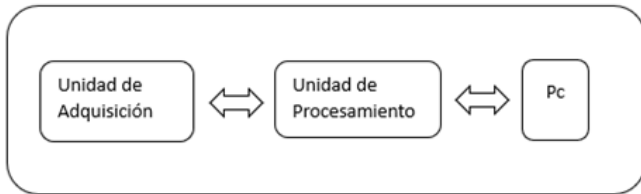


Fig. 1: Arquitectura del sistema. Diagrama en bloques.

Se tomó la decisión de incorporar en esta etapa el módulo de conversión analógico-digital y que la interfaz entre los sensores y el procesamiento de datos sea a través de un bus I2C [14].

Esto nos dio la posibilidad de resolver el sector analógico del circuito en una superficie reducida minimizando la longitud de las conexiones de salida del sensor al conversor y de esa manera disminuir el ruido que podría interferir en ese punto.

Esto es algo que debe tenerse en cuenta debido que los túneles de viento cuentan con ventiladores axiales o centrífugos controlados por variadores de frecuencia que imponen un ambiente eléctricamente ruidoso.

La etapa de procesamiento está conformada por un microcontrolador Cortex-M4 de la familia STM32F4 [15], una fuente de alimentación de bajo *ripple* de salida, un puerto de conexión a la unidad de adquisición y un puerto de conexión a una computadora personal (PC).

Cada etapa se montó en gabinetes separados que nos permitieron respetar la modularidad planteada. De esta forma quedaría definida una unidad de adquisición con sensores, con la libertad de cambiar en función de los valores a medir, una unidad de procesamiento, que también puede cambiar y/o migrar a otra tecnología en función de la evolución de las placas de adquisición disponibles y un software de PC desarrollado en lenguaje Python.

III-B. Selección de Sensor

Se optó por el sensor MPXV5004DP de NXP debido a que su rango de presión operativa (0-3.92 kPa) y precisión del 1.5 % se ajustan perfectamente a los requerimientos de la aplicación. Esta elección garantiza una medición precisa

y confiable dentro del rango de interés, sin comprometer la resolución ni exceder los límites de error permitidos. Este tipo de sensores genera una tensión proporcional a la diferencia de presión medida en una membrana piezoresistiva. La función transferencia que relaciona la tensión de salida V_{out} con la diferencia de presión P se muestra en la Fig. 2 [13].

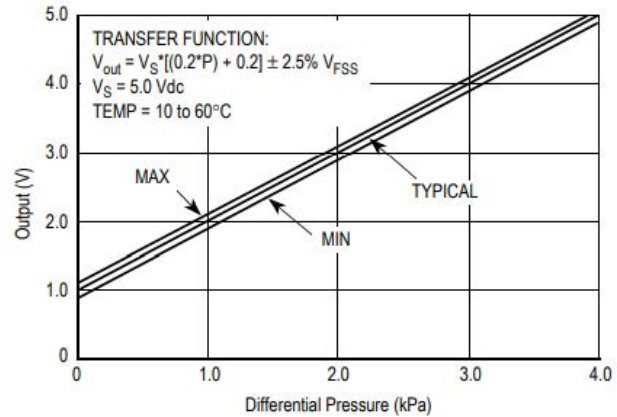


Fig. 2: Función transferencia del sensor elegido [13].

Para calcular el valor de presión en función de la tensión de salida (V_{out}) debemos despejar de la transferencia la presión (P) dando lugar a la Ecuación 1:

$$P = \frac{V_{out}}{0,2V_S} - 1 \quad (1)$$

Con el objetivo de mejorar la precisión del sistema de adquisición de datos y minimizar los errores sistemáticos, se procedió a medir tanto la tensión de alimentación suministrada (V_S) a los sensores como la señal de salida correspondiente a cada medición (V_{out}). Esta información permitió establecer una relación precisa entre la señal de salida del sensor y la magnitud física medida, mejorando así la confiabilidad de los resultados.

A la salida de cada sensor se incorpora un circuito de adaptación de señal compuesto por un filtro pasa bajos de primer orden para eliminar componentes de señal por arriba de la frecuencia de línea (50 Hz) y un amplificador operacional utilizado como *buffer* para adaptar el nivel de señal a los requerimientos del conversor analógico-digital. La etapa de adaptación de señal se basó en el circuito recomendado por el fabricante del sensor como se ve en la Fig. 3.

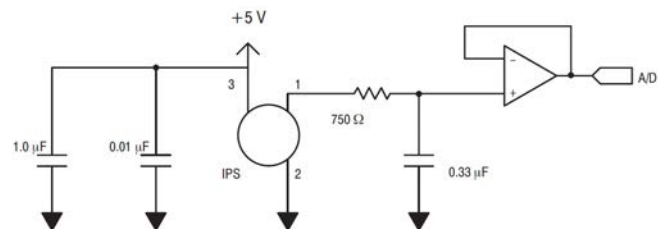


Fig. 3: Circuito de aplicación recomendado para el sensor.

III-C. Selección de Conversor Analógico-Digital (ADC)

Como criterio de elección *cambiar a selección* se analizó disponibilidad, resolución, velocidad, cantidad de canales e

interfaz de comunicación. Se eligió el ADS1115 de Texas Instruments que tiene las siguientes características [16]:

- Sigma-Delta de 16bits
- 4 canales
- 860 muestras por segundo
- Amplificador de ganancia programable (PGA) configurable por software
- Referencia de tensión interna
- Comunicación I2C

El PGA permite configurar el valor de fondo de escala con el que vamos a trabajar y esto define el mínimo valor de tensión por cuenta de conversor. Al trabajar con 4,096 V el valor del bit menos significativo (LSB) será de 125 μ V. Esto representa 0,125 Pa para la transferencia del sensor elegido, si el margen de error los permitiera. Se define una tensión de bus I2C de 3,3 V para conectar a dispositivos adquirentes, aunque la alimentación principal de cada sensor es 5 V. Teniendo en cuenta que el conversor tiene 4 entradas analógicas y una entrada de direccionamiento que permite 4 dispositivos por bus I2C, se optó por diseñar el sistema como muestra el esquema de la Fig. 4.

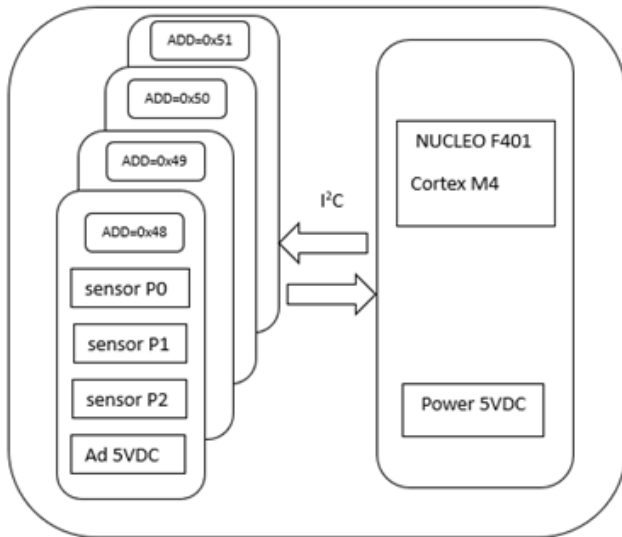


Fig. 4: Etapa de adquisición y procesamiento.

De esta manera tenemos 3 sensores y una referencia de alimentación por cada conversor analógico-digital generando un máximo 12 tomas de presión por cada puerto I2C.

III-D. Diseño y Construcción del Circuito Impreso

Las sondas multiagujeros pueden tener 2, 3, 5 o 7 tomas de presión. Para definir una carta de calibración además necesitamos vincular estos datos de presión tomados por la sonda con valores de presión estática y presión total en el túnel de calibración. Con lo cual el número mínimo de canales será de 9 entradas para cubrir todos los tipos de sondas que pueden usarse. Para la unidad de adquisición se planteó el diseño de una Placa de Circuito Impreso (PCB, por sus siglas en inglés) que contenga 3 sensores, un ADC y la medición de referencia de alimentación.

Se dejó la configuración de la dirección del ADC con resistores de 0 Ω en formato de puente a cuatro potenciales diferentes. De esta forma podemos interconectar 12 sensores con 4 cuatro circuitos impresos iguales, pero con una

dirección de bus configurable por hardware como muestra la Fig. 5.

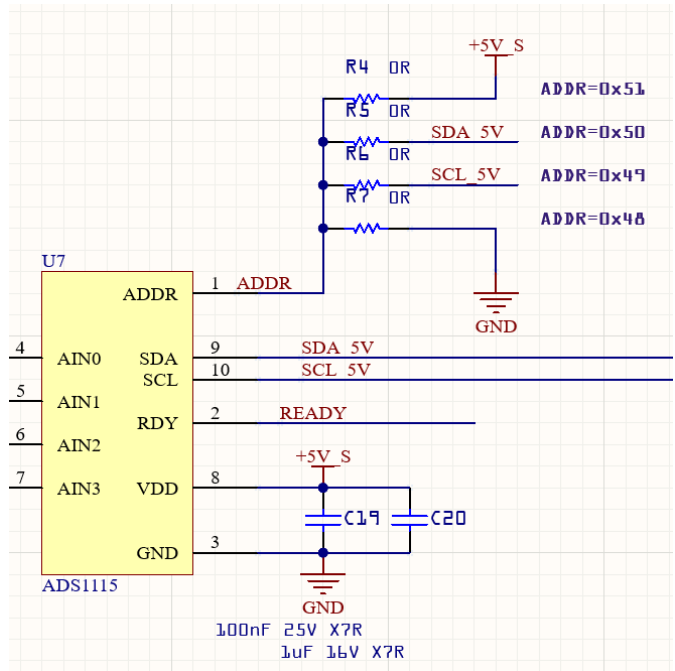


Fig. 5: Circuito de direccionamiento del conversor analógico-digital.

Se diseñó el circuito impreso con el software Altium Designer usando un stack doble faz con agujeros metalizados. Los componentes se adoptaron en cápsulas de montaje superficial debido a que nos permiten realizar una distribución compacta y trazado corto.

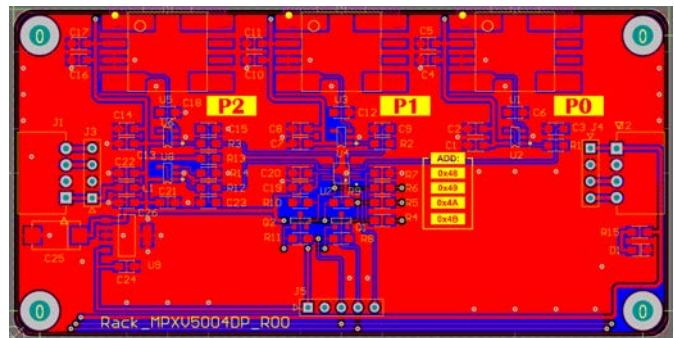


Fig. 6: Vista del circuito impreso.

Se sectorizó el circuito impreso de forma tal que queden separadas las secciones analógica, digital y alimentación (ver Fig. 7 y de esa manera evitar que el ruido generado por los componentes digitales afecte a las señales analógicas sensibles [17].

El circuito impreso se fabricó a través de la firma PCB-Way [18] en China y se ensambló utilizando una estación de soldadura Pace ST-25 [19].

III-E. Unidad de Procesamiento

El dispositivo de procesamiento de datos está conformado por una placa Nucleo-F401 [20] que contiene un microcontrolador Cortex-M4 de 84 MHz y conexión a PC. Se incorporó una fuente de alimentación Mean Well RS-15-5 [21] con una salida de 5 V DC, 80 mV_{p-p} de ripple para energizar el rack de sensores y la unidad de procesamiento.

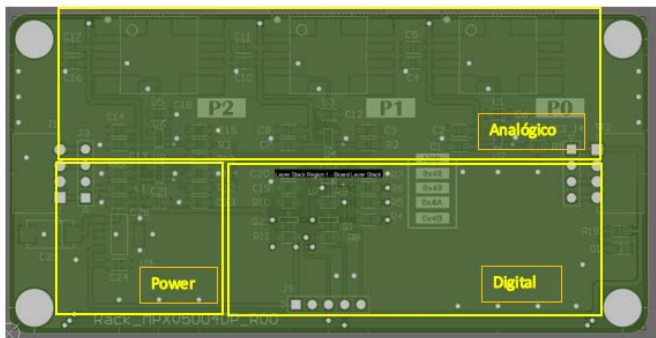


Fig. 7: Separación de etapas.



Fig. 8: Circuitos impresos ensamblados e interconectados.

III-F. Firmware

La unidad de procesamiento está encargada de recibir comandos desde la PC con el objetivo de parametrizar las características de la medición, iniciar y detener la adquisición de datos. Se desarrolló un firmware ad hoc para el uso del ADC por I2C en lenguaje C, implementando además, una aplicación que permite recibir comandos por el puerto serie y devolver los valores medidos, facilitando así su empleo para el usuario final. El firmware está basado en una máquina de estados finitos que accede al hardware utilizando la librería provista por el fabricante del semiconductor [22]. Se escribió un controlador para el manejo del conversor analógico-digital teniendo en cuenta las necesidades de configuración y funcionamiento de la aplicación. Para desarrollar este software se utilizó el entorno STM32Cube IDE [23] por simplicidad y corto tiempo de desarrollo en función de la capacidad de los integrantes del laboratorio, pero podría haberse utilizado cualquier dispositivo con I2C.

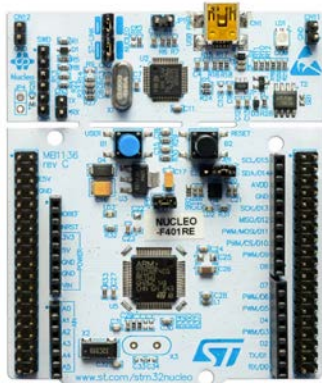


Fig. 9: Placa Nucleo-F401.

Por ejemplo, Arduino.

III-G. Diseño de Gabinetes

Se diseñó un gabinete para la unidad de adquisición y otro para la unidad de procesamiento utilizando la plataforma de diseño mecánico en la nube OnShape [24]. El diseño se pensó para poder fabricar ambos gabinetes con impresión 3D.

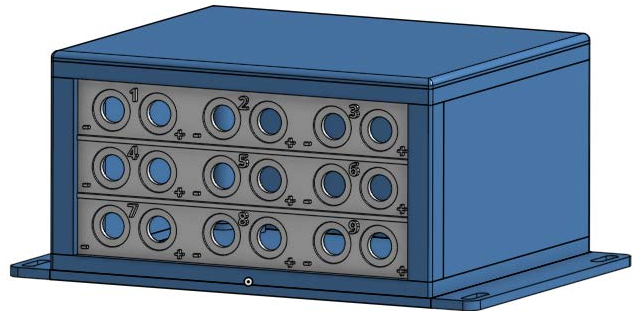


Fig. 10: Gabinete Unidad de adquisición.

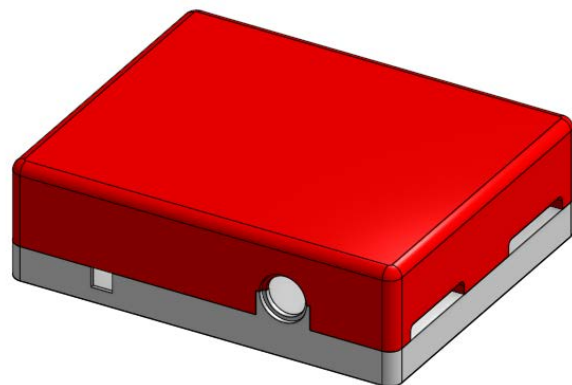


Fig. 11: Gabinete Unidad de procesamiento.

III-H. Software para PC

Se desarrolló un software en Python que permite operar la placa de adquisición y guardar los datos en archivos para su post procesamiento. Este software tiene dos tipos de funcionamiento. El primero permite adquirir datos para post procesarlos de manera que se pueda seleccionar el o los sensores para operar, definir la cantidad de muestras a tomar por sensor, y administrar el comienzo y fin de la medición. El segundo modo permite visualizar las presiones en tiempo real en forma de columnas verticales para hacer un análisis rápido y cualitativo de los fenómenos.

IV. PRUEBAS Y ENSAYOS

IV-A. Prueba estática del diseño electrónico

Como primera medida de prueba, luego del proceso de armado, se energizó cada circuito impreso con una fuente de alimentación de laboratorio y se midió tensión y corriente en puntos fundamentales para el correcto funcionamiento.

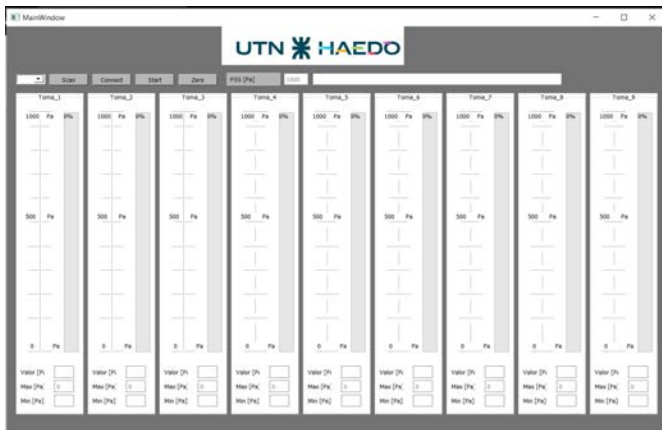


Fig. 12: Software de visualización en tiempo real.

IV-B. Ensayo de túnel de viento

En segundo lugar, realizaron mediciones en uno de los túneles de viento con los que cuenta el laboratorio y se compararon los valores obtenidos con el manómetro de mano Fluke 922 que se utiliza como referencia en cada ensayo [25]. Se realizó una comparación de los datos procesados de las presiones obtenidas por el módulo de medición y los valores de presión del instrumento de referencia. Para esto se generaron dos análisis complementarios:

- Tablas con los datos de cada canal de presión con su estimado e incertidumbre en Pascales y en forma porcentual, el valor estimado del Fluke 922 y la diferencia entre estos instrumentos en Pascales y en forma porcentual absoluta.
- Gráfico con la comparación entre los valores del Fluke 922 y los obtenidos por cada toma de presión junto con la curva de regresión lineal para determinar el paralelismo de lectura entre ambos.

Tabla I: Comparación de presión con Fluke 922

Fluke 922	Toma 1 presión		Comparación	
Valor estimado [Pa]	Valor estimado [Pa]	Incert rel [%]	Diferencia [Pa]	Diferencia [%]
-801	-795.6	1.52	5.42	0.68
-601	-602.1	1.56	-1.06	0.18
-501	-501.4	1.59	-0.37	0.07
-401	-401.9	1.6	-0.82	0.2
-301	-301.7	1.56	-0.65	0.22
-201	-199.3	1.55	1.69	0.84
-100	-100.1	1.73	-0.16	0.16
-50	-50.4	1.85	-0.34	0.68

Este análisis se realizó por cada sensor del módulo de adquisición de presiones.

El análisis arrojó una diferencia porcentual de sus valores con respecto al Fluke 922 menor al 3%. Los valores de incertidumbre obtenidos en todas las tomas se mantuvieron por debajo del 2% promedio, por lo que el instrumento presenta valores muy bajos de incertidumbre en las mediciones.

IV-C. Comparación con carta de calibración existente

Se realizaron procesos de calibración utilizando la sonda multiagujero existente en las instalaciones del Laboratorio de Aerodinámica y Fluidos de UTN FRH y se compararon las cartas obtenidas, encontrando curvas y variaciones compatibles con ensayos existentes [12]. En la Fig. 14 se

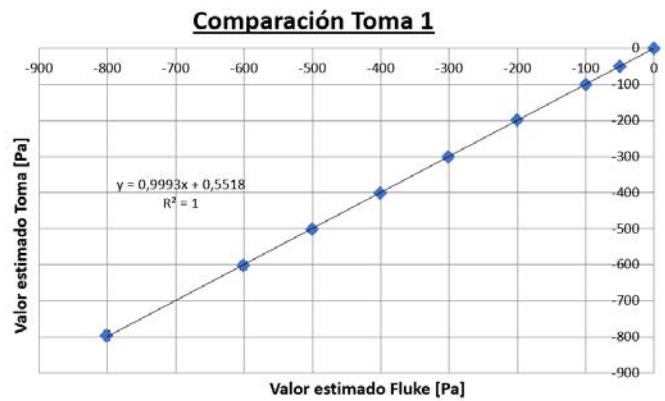


Fig. 13: Paralelismo de lectura.

aprecia la carta de calibración asociada al coeficiente de presión total.

Coeficiente Total=F(Alfa,Beta)

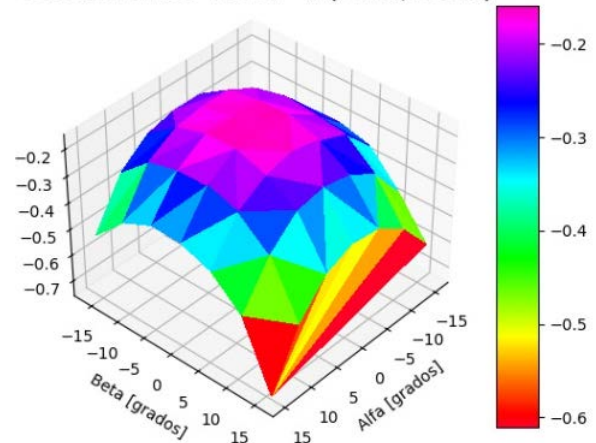


Fig. 14: Carta de Calibración – Coeficiente Presión total en función de Alfa y Beta.

IV-D. Calibración en Laboratorio certificado

El sistema de adquisición se contrastó en el laboratorio de Testo Argentina [26] utilizando dos patrones [27] y un protocolo de calibración certificado por INTI en el rango 5 Pa a 1000 Pa. La incertidumbre de medición fue evaluada de acuerdo al procedimiento descrito en la norma IRAM 35050 [28]. Los resultados se muestran en las Tablas II y III.

Tabla II: Tabla de calibración ascendente con valores medidos, corrección e incertidumbre

Punto Calibración [Pa]	Valor Medido [Pa]	Corrección [Pa]	Incertidumbre [Pa]
0	-0.2	0.2	0.7
5	4.9	0.1	0.7
15	14.8	0.2	0.7
25	24.5	0.5	0.7
50	50.5	-0.5	0.9
100	99.9	0.1	0.7
200	199.0	0.6	3.7
300	297.9	0.5	2.0
400	398.3	1.7	3.2
500	497.6	1.1	2.0
1000	994.8	3.6	2.0

Tabla III: Tabla de calibración descendente con valores medidos, corrección e incertidumbre

Punto Calibración [Pa]	Valor Medido [Pa]	Corrección [Pa]	Incertidumbre [Pa]
1000	994.1	4.2	2.0
500	497.4	2.3	2.0
400	395.5	2.9	3.2
300	297.7	1.9	2.0
200	195.8	3.9	3.7
100	100.0	0.0	0.7
50	49.8	0.2	0.9
25	24.7	0.3	0.7
15	14.8	0.2	0.7
10	4.6	0.4	0.7
5	-0.2	0.2	0.7

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se diseña y construye un dispositivo de adquisición de presiones cuyo uso está orientado a procesos de calibración de sondas multiagujeros. Se pudo integrar distintas disciplinas como el diseño y fabricación de dispositivos electrónicos, el desarrollo de firmware y software de alto nivel. Se incorporó la capacidad de diseño mecánico orientado a impresión en 3D. Se realizaron comparaciones por medio de ensayos en túnel de viento, obteniendo valores satisfactorios de presión en los rangos necesarios con un error aceptable para la aplicación. Se calibró en un laboratorio certificado bajo norma logrando valores de corrección e incertidumbre bajos.

Podemos concluir que el dispositivo es apto para realizar las tareas de medición en el proyecto “Desarrollo de un sistema de medición de velocidad tridimensional para túnel de viento subsónico (PID AMPPHA0010086)” [11].

VI. TRABAJOS A FUTURO

Se llevarán adelante las siguientes etapas del proceso de calibración con las nuevas sondas fabricadas por el personal del Grupo de Mecánica de Fluidos.

Se utilizará el estado del desarrollo existente para construir un dispositivo con mayor cantidad de tomas de presión y de esa manera poder medir modelos a escala en túnel de viento.

VII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional, por el financiamiento del Proyecto de Investigación y Desarrollo AMPPHA0010086. Y en particular a la UTN Facultad Regional Haedo, por el apoyo y recursos dados.

REFERENCIAS

- [1] F. M. White, *Fluid mechanics*, 6th ed., ser. McGraw-Hill series in mechanical engineering. New York, NY: McGraw-Hill, 2009.
- [2] J. B. Barlow, W. H. Rae, and A. Pope, *Low-speed wind tunnel testing*. John Wiley & sons, 1999.

- [3] S. Chue, “Pressure probes for fluid measurement,” *Progress in aerospace sciences*, vol. 16, no. 2, pp. 147–223, 1975.
- [4] D. Sumner, “A comparison of data-reduction methods for a seven-hole probe,” *J. Fluids Eng.*, vol. 124, no. 2, pp. 523–527, 2002.
- [5] V. GmbH. Vectoflow. [Online]. Available: <https://vectoflow.de/>
- [6] A. Corporation. Aeroprobe. [Online]. Available: <https://www.aeroprobe.com/>
- [7] S. S. Ltd. Surrey sensors. [Online]. Available: <https://www.surreysensors.com/>
- [8] B. F. Hall and T. Povey, “The oxford probe: an open access five-hole probe for aerodynamic measurements,” *Measurement Science and Technology*, vol. 28, no. 3, p. 035004, 2017.
- [9] G. G. Ziliac, “Calibration of seven-hole pressure probes for use in fluid flows with large angularity,” National Aeronautics and Space Administration, Tech. Rep., 1989.
- [10] A. L. Treaster and A. M. Yocum, “The calibration and application of five-hole probes,” in *24th International Instrumentation Symposium*, 1978, pp. 255–266.
- [11] UTN SCyT. (2023) Homologación de los Proyectos de Investigación y Desarrollo correspondientes a la Convocatoria PID UTN 2023. [Online]. Available: <https://utn.edu.ar/images/Secretarias/SCTYP/Disposicin-32.pdf>
- [12] J. Ruscio, M. Aguirre, F. Santonja, B. Domecq, M. Saavedra Sanchez, M. Vicharelli, E. Fernandez Vesovo, V. Caballini, and C. Olmedo, “Construcción y calibración de sondas direccionales multiagujero.” Departamento Mecánica, 2016.
- [13] NXP Semiconductors. (2024) MPXV5004DP. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPXV5004G.pdf>
- [14] NXP Semiconductors. (2014) I2C Bus Specification. [Online]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
- [15] ST Microelectronics. (2024) STM32F4 Series. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f4-series.html>
- [16] Texas Instruments. (2024) ADS1115. [Online]. Available: <https://www.ti.com/product/ADS1115>
- [17] H. W. Ott, “Partitioning and layout of a mixed-signal pcb,” *Printed Circuit Design*, vol. 18, no. 6, pp. 8–11, 2001.
- [18] Pcbway. (2024) Pcbway website. [Online]. Available: <https://www.pcbway.com>
- [19] Pace Worldwide. (2024) ST25 Soldering Station with PS-90 High Capacity Soldering Iron. [Online]. Available: <https://paceworldwide.com/st25-soldering-station-ps-90-high-capacity-soldering-iron>
- [20] ST Microelectronics. (2024) Nucleo-F401RE. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/evaluation-tools/nucleo-f401re.html>
- [21] Mean Well. (2024) 15W Switching Power Supply. [Online]. Available: <https://www.meanwellusa.com/webapp/product/search.aspx?prod=RS-15>
- [22] ST Microelectronics. (2024) UM1725. [Online]. Available: https://www.st.com/resource/en/user_manual/um1725-description-of-stm32f4-hal-and-lowlayer-drivers-stmicroelectronics.pdf
- [23] ST Microelectronics. (2024) STM32CubeIDE. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>
- [24] Onshape. (2024) Onshape website. [Online]. Available: <https://www.onshape.com>
- [25] Fluke. (2024) Fluke 922 airflow meter/micromanometer. [Online]. Available: <https://www.fluke.com/en/product/building-infrastructure/indoor-air-quality-testing/fluke-922>
- [26] Testo. (2024) Testo website. [Online]. Available: <https://www.testo.com/es-AR>
- [27] Testo. (2024) Calibración – Presión. [Online]. Available: <https://static.testo.com/image/upload/v1700079488/AR/AR-Calibraciones-Presion.pdf>
- [28] IRAM, *Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre de la medición*. IRAM, 2001.