

HACIA UN PATRÓN NACIONAL DE VELOCIDAD DE AIRE EN MÉXICO

⁽¹⁾René Tolentino E., ⁽²⁾Guilbaldo Tolentino E. ⁽²⁾Florencio Sánchez S.

⁽¹⁾IPN-ESIME Zacatenco, Departamento de Ingeniería en Control y Automatización

⁽²⁾IPN-ESIME Zacatenco, Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP®)

rtolentino@ipn.mx, gtolentino@ipn.mx, fsanchezs@ipn.mx

Resumen: Se presenta la descripción del túnel de viento de velocidad baja del Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica Aplicada (LABINTHAP®) y el sistema de medición de velocidad de referencia para establecer el patrón nacional de velocidad de aire en un intervalo de 3 m/s a 35 m/s. La calidad del flujo del aire en la sección de pruebas del túnel de viento cumple con la normatividad y características de otras instalaciones tales como uniformidad de la velocidad menor al 1% y turbulencia menor a 0.7%.

1. INTRODUCCIÓN

Los patrones de velocidad de aire emplean túneles de viento como el INRIM (Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica) [1] que tiene un túnel de circuito abierto de succión con velocidad máxima ($V_{m\acute{a}x}$) de 33 m/s y turbulencia (Tu) menor a 0.67%, el NIST (National Institute of Standard and Technology) cuenta con un túnel de circuito cerrado con $V_{m\acute{a}x}$ de 70 m/s y $Tu < 0.07\%$ [4], el CAI (Central Aerohydrodynamic Institute) de Rusia [5] usa un túnel de circuito abierto con sección de pruebas de succión que alcanza una $V_{m\acute{a}x}$ de 60 m/s y $Tu < 0.37\%$. Laboratorios con instalaciones similares son en el IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) [2] y el NMC (National Metrology Centre) [3]. La velocidad de referencia se mide con tubos Pitot o Anemómetros Láser Doppler (ALD). Las normas ASTM D5096, IEC 61400-2012, ISO 16622, ISO 17713 y el procedimiento MEASNET (Measuring Institutes Network of European) [6], proporcionan características del flujo para calibrar anemómetros. La velocidad es importante en monitoreo de fuentes fijas, evaluación del potencial eólico, ventilación y pruebas aerodinámicas. Para lo anterior, se usan anemómetros de copas, propela, térmicos, ultrasónicos y tubos de Pitot (tipo L y S). En México no se tiene un patrón de velocidad, por lo que se presentan las características de flujo en el túnel de viento del LABINTHAP®, para ser laboratorio designado en esta variable desde 3 m/s a 35 m/s.

2. PATRÓN DE VELOCIDAD DE AIRE

El patrón de velocidad lo integra de un túnel de viento, un tubo de Pitot para medir la velocidad de referencia e instrumentación auxiliar para determinar la presión diferencial, presión total, temperatura y humedad, los cuales se describen a continuación.

2.1. Túnel de Viento de Velocidad Baja

Es de circuito abierto con sección de pruebas en la succión (0.80 m por 0.60 m) y descarga (1.25 m por 1.00 m). El flujo de aire se genera con un ventilador centrífugo acoplado a un motor eléctrico de 134 kW (100 hp). La $V_{m\acute{a}x}$ en la succión es de 65 m/s. El aire entra por una cámara estabilizadora que reduce la turbulencia y uniformiza el flujo [7]. La $Tu < 0.7\%$ y la uniformidad de velocidad es $< 1\%$ [8].

2.2. Tubo de Pitot tipo L

La referencia de velocidad es un tubo de Pitot tipo L de 8 mm de diámetro y 0.40 m de longitud calibrado en el PTB desde 1.997 m/s hasta 35.365 m/s. El coeficiente mínimo es de 1.0013 para 5.055 m/s y el máximo de 1.0065 para la velocidad mínima.

2.3. Instrumentación Auxiliar

La presión dinámica del Pitot se mide con un indicador de presión diferencial RUSKA con alcance de 10 in H₂O/30 in H₂O. La presión absoluta con un transductor DHI de 110 kPa de alcance. La temperatura con un RTD de Pt conectado a un indicador de temperatura ASL. Un termohigrómetro VAISALA mide la humedad relativa. Los instrumentos de presión se calibraron en el CENAM, el RTD en el laboratorio de termometría de la ESFM (Escuela Superior de Físico Matemáticas) del IPN y la humedad en un laboratorio secundario. Los instrumentos se integraron en un sistema de adquisición de datos y se comunicaron a una computadora por el puerto serial RS-232. La figura 1 muestra la infraestructura del patrón de velocidad.

2.4. Modelo Matemático de Velocidad

El modelo matemático se basa la ecuación del tubo de Pitot para un fluido subsónico compresible el cual está en función de la presión total, presión estática y presión dinámica. La densidad del aire se determina con la ecuación CIPM 2007 [9].

$$V = K \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{p_t}{\rho_t} \left[1 - \left(1 - \frac{p_t - p_e}{p_t} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \quad (1)$$

K es el factor de calibración del Pitot; γ es la relación de calores específicos; p_t es la presión total; ρ_t es la densidad medida con la ecuación del CIPM 2007; $p_t - p_e$ es la presión dinámica.



Fig. 1. Tubo de Pitot e instrumentación auxiliar.

3. RESULTADOS

Con el modelo matemático de la velocidad y el sistema de adquisición de datos se determinó la relación frecuencia del variador y velocidad en la sección de pruebas. Posteriormente se midió la turbulencia en la sección de pruebas empleando un anemómetro de hilo caliente. La frecuencia y tiempo de muestreo fueron de 30 kHz y 30 s respectivamente. La figura 2 muestra la comparación de Tu en el túnel del LABINTHAP® con otros laboratorios y normas mencionadas.

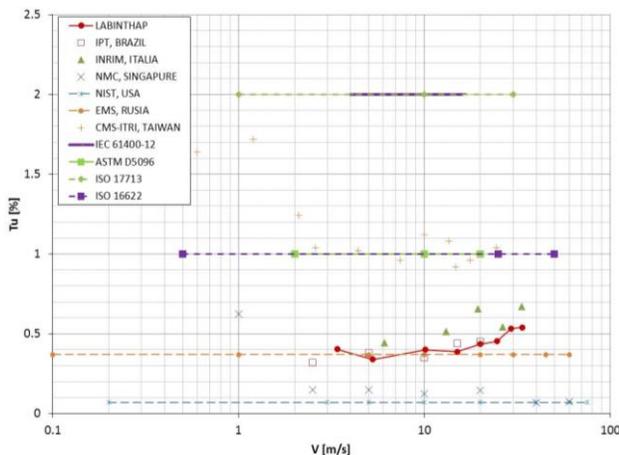


Fig. 2. Tu en laboratorios nacionales y normas.

4. DISCUSIÓN

Este patrón permitirá dar trazabilidad a las mediciones de velocidad en México, por otro lado se está desarrollando un disco giratorio para calibrar un ALD con trazabilidad a patrones nacionales y no depender de patrones extranjeros.

5. CONCLUSIONES

Se desarrolló la infraestructura para establecer un patrón de velocidad de aire en el LABINTHAP® del IPN-ESIME Zacatenco. Se tiene una $Tu < 0.5\%$ en el túnel, que representa una característica similar a algunos patrones nacionales. Las características del flujo del túnel cumplen con la normatividad que se requiere para calibrar anemómetros hacia aplicaciones eólicas. Se desarrolló un sistema de adquisición de datos que integra toda la instrumentación y permite medir 120 datos por min.

REFERENCIAS

- [1] Piccato A., Spazzini P. G., et al., Mapping of Flow Features in a Wind Tunnel, 7th ISFFM, 2009.
- [2] Shinder I. I., Crowley C. J., et al. Improvements to NIST's Air Speed Calibration Service. Flow Measurement and Instrumentation. Vol. 44, pp. 19-26, 2015.
- [3] Samoilenko A. I., Maskaev V. K. EMS-0.1/60: Standard Test Ring for Air Flow Speed. Automation and Remote Control. Vol. 71, pp. 2483-2490, 2010.
- [4] Nader G., Dos Santos C., et al, Characterization of Low Turbulence Wind Tunnel, XVIII IMEKO, 2006.
- [5] Jian W. Realisation of a Primary Air Velocity Standard Using Laser Doppler Anemometer and Precision Wind Tunnel, XIX IMEKO, 2009.
- [6] MEASNET, Cup Anemometer Calibration Procedure, Version 1, September 1997.
- [7] Tolentino Eslava R., Tolentino Eslava G., Toledo Velázquez M., 2008, The Low Speed Wind Tunnel at LABINTHAP. Preliminary Evaluation, FEDSM 2008 Proceedings. ASME, August 2008.
- [8] Tolentino-Eslava R., Tolentino-Eslava G., Sánchez-Silva F. Improvement and Measurement of Velocity Distribution in a Wind Tunnel. 9th ISFFM, April 2015.
- [9] Picard A., Davis R. S., et al, Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007), Metrologia Vol. 45 (2008), 149-155.