

TUNEL DE VIENTO:

Una nueva solución de Trazabilidad para las Mediciones de Velocidad de Gases (Anemometría) en Colombia

Jhon Freddy Alfonso (jalfonso@cdtdegas.com)
Luis Eduardo García (lgarcia@cdtdegas.com)

Corporación CDT de GAS
Piedecuesta - Santander - Colombia



El desarrollo tecnológico de un país está directamente relacionado con la disponibilidad y la calidad de la infraestructura utilizable, por ello conscientes de que Colombia aún se encuentra en etapa de fortalecimiento de su infraestructura tecnológica alineada con estándares internacionales, continuamos en esta sección presentando infraestructuras disponibles a nivel nacional así como a nivel internacional que merezcan destacarse para apoyar el desarrollo productivo en Colombia.

Resumen:

El CDT de GAS, conociendo la importancia de la medición de velocidad de gases en diversos sectores de la industria y la sociedad, ha desarrollado una nueva solución que permite proveer trazabilidad en la medición de velocidad de gases: una facilidad tipo túnel de viento denominada WSL20, la cual se encuentra en proceso de acreditación y cuyos detalles son descritos en el presente artículo.

1. ANTECEDENTES.

Desde su creación en 1999, el Centro de Metrología de Fluidos (CMF) de la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de GAS) ha contribuido al establecimiento de cadenas de trazabilidad en la medición de flujo de fluidos mediante el desarrollo, implementación y acreditación de infraestructura metroológica, y de procedimientos de calibración y medición, acordes con los niveles de incertidumbre requeridos en procesos industriales y de investigación, en regulación y control, y en transferencia de custodia de fluidos, entre otros.

Producto del proceso de vigilancia tecnológica que mantiene el CDT de GAS, se identificó en 2009 la necesidad de ofrecer trazabilidad y aseguramiento metroológico para la magnitud velocidad de gases. Esto condujo a que la Corporación hiciera el primer prototipo Túnel de Viento para aplicaciones metroológicas desarrollado en Colombia [1].

El mencionado prototipo operó en conjunto con el Banco de Alto Caudal (BAC) previamente desarrollado por el CDT [2] para generar la velocidad en la sección de prueba, en forma similar a como lo realizó en su momento el *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* [3] (PTB - Instituto Nacional de Metrología [INM] de Alemania). Sin embargo, la alta ocupación de tiempo en el BAC y el alto consumo energético del *blower* centrífugo del BAC motivaron el desarrollo de mejoras para el prototipo de Túnel de Viento, las cuales iniciaron en 2013, y dieron como resultado una nueva facilidad denominada WSL20, que corresponde a la abreviación de “*Wind Speed Laboratory 20 m/s*”.

El WSL20 se encuentra actualmente disponible para la calibración de instrumentos para la medición de velocidad de gases, contribuyendo a la diseminación de la trazabilidad, y en próximos meses será objeto de evaluación por parte del ONAC como parte del proceso de acreditación, según requisitos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 [4] que se adelanta con el apoyo de Colciencias.

En Colombia existe un considerable número de túneles de viento, pero enfocados en el estudio de la aerodinámica, así que el WSL20 será el primer túnel de viento para metrología, del país, acreditado en medición de velocidad de gases. En la Tabla 1 se presenta el listado de túneles existentes, tanto académicos como empresariales. En las siguientes

Aplicación Aerodinámica	Aplicación Metroológica
<ul style="list-style-type: none"> ● UNAL Bogotá ● UPB Medellín ● UniAndes ● Uni-Libertadores ● Aerocivil ● Fuerza Aérea Colombiana ● Escuela de Aviación INEC - Pereira ● Centro de Estudios Aeronáuticos - CEA ● Eolus Aviation Limitada - Medellín 	<ul style="list-style-type: none"> ● CDT de GAS

Tabla 1. Túneles de viento en Colombia

secciones se describen los detalles técnicos del WSL20, y las capacidades de medición y calibración que estarán disponibles próximamente para atender las necesidades del país en esta magnitud.

2. APLICACIONES, TIPOS DE MEDIDORES Y ALCANCE OBJETIVO

La medición de velocidad de gases es de gran utilidad en diversas aplicaciones, incluyendo la meteorología, la investigación y desarrollo en áreas como la construcción, la dispersión de contaminantes, y los procesos industriales, debido a que en ciertas condiciones es posible inferir el caudal del fluido a partir de la medición de velocidad. Tomando como base este panorama de requerimientos de trazabilidad y la revisión del estado del arte previamente desarrollado para el diseño del primer prototipo de Túnel de Viento [5], se seleccionó el alcance de medición del WSL20 adaptándolo a los intervalos de velocidad de mayor interés para nuestro país. Un resumen de las aplicaciones e intervalos de velocidad típicos es presentado en la Figura 1, donde el área sombreada de color verde corresponde al intervalo cubierto por el nuevo WSL20.

En cuanto a los instrumentos de medición, actualmente para velocidad de gases se encuentra disponible una amplia oferta tecnológica de instrumentos, que varían en intervalos, condiciones de medición, y en niveles de precisión [5]. En cualquier caso, los instrumentos de medición comúnmente utilizados para bajas velocidades se pueden clasificar en tres categorías: 1) tubos de Pitot (basados en la ecuación de Bernoulli), 2) anemómetros rotativos (registran la velocidad por medio de la rotación de partes móviles), y 3) anemóme-

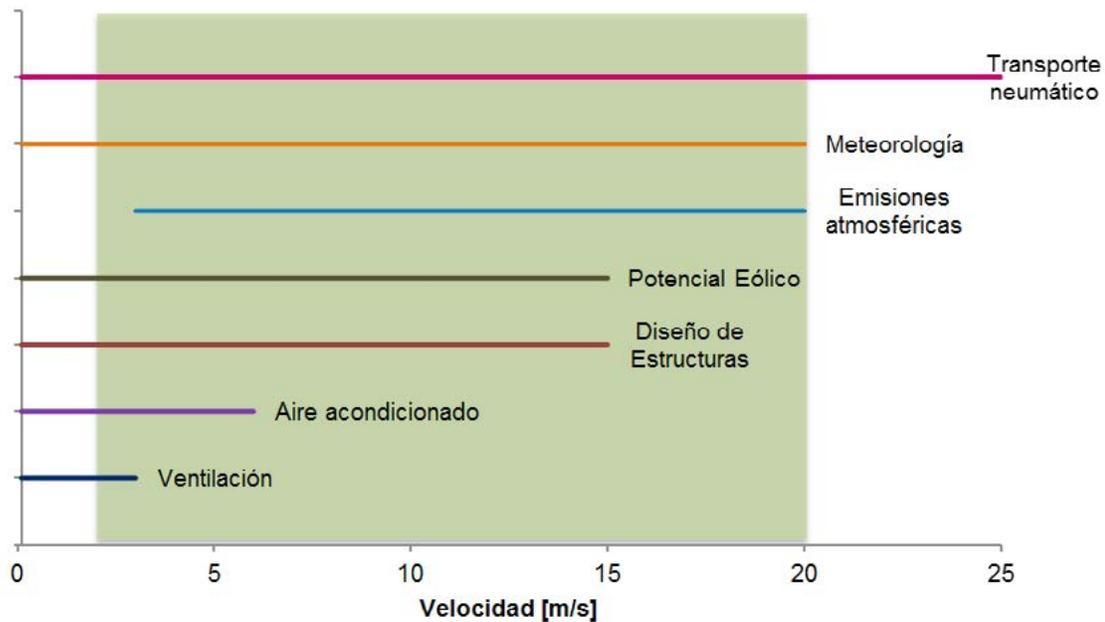


Figura 1. Aplicación e Intervalos de medición de velocidad.

tros térmicos (miden la velocidad a través de la rapidez de enfriamiento de una sección calentada eléctricamente). Estos tres tipos de instrumento fueron considerados en la determinación del alcance operativo del nuevo WSL20.

3. PRINCIPIO, MÉTODO DE CALIBRACIÓN Y MENSURANDO

La calibración de instrumentos de velocidad de gas se hace comúnmente por comparación, donde el *Master Meter* (MM - el instrumento de referencia) y el *Meter Under Test* (MUT - el instrumento que se está calibrando) son expuestos a un mismo flujo de aire, con velocidad estable y homogénea sobre el área efectiva en que los instrumentos sensan la velocidad. Como la velocidad es una magnitud dinámica, necesita un medio para su reproducción y por eso se utiliza un túnel de viento, el cual puede ser de diversas formas, dimensiones, y modos de operación; la Tabla 2 presenta los esquemas de operación de los túneles subsónicos, de los que hace parte el WSL20.

A nivel mundial se han desarrollado otras alternativas para la reproducción de la velocidad de gases a bajas velocidades.

Por ejemplo, el NMIJ (INM de Japón) posee un túnel subterráneo de gran longitud [6], con aire calmo, en cuyo espacio se desplaza el MUT hasta 1,5 m/s, y el INRIM (INM de Italia) desarrolló un *Rotating Arm* (brazo rotativo) sobre el cual se monta el MUT [7] (ver figura 2).

Entre las alternativas existentes para desarrollar y caracterizar el WSL20, se seleccionó el esquema 2 de la Tabla 2, con las ventajas de exponer al MUT y al MM a la misma velocidad de aire (limitado a la homogeneidad en la sección anular) y de reducir la influencia de la estabilidad en la generación de velocidad (porque las mediciones se efectúan simultáneamente). Como referencia técnica se seleccionó y aplicó el *NIST Handbook 150-2G (Calibration Laboratories. Technical Guide for Mechanical Measurements. 2.4 Air Speed Calibrations)*, que posee un enfoque orientado a la reproducción controlada de las calibraciones de velocidad, al especificar la identificación y cuantificación las fuentes de incertidumbre asociadas al proceso de medición, acorde con los niveles de incertidumbre requeridos.

3.1 El mensurando “velocidad”:

En velocidad de gases, el mensurando de medición corresponde generalmente a la velocidad promedio sobre una base de tiempo, debido a que la variabilidad en la velocidad es inherente al fenómeno físico y no es factible realizar la comparación (calibración del instrumento) con base en una sola medición instantánea. Por tal motivo, las indicaciones de velocidad del MM y el MUT se estiman a partir del promedio aritmético de n mediciones registradas a una frecuencia de 1 Hz.



Figura 2. Principios de medición de velocidad en el NMIJ[6] (izquierda) y en el INRIM [7] (derecha)

A partir de estos estimados, se tiene la opción de emitir resultados expresados como un Error en términos absolutos (ecuación 1) o un Factor del medidor (ecuación 2), los cuales deben ser utilizados por el usuario del instrumento para efectuar la respectiva corrección a la indicación. (Ver tabla 3)

Variable	Ecuación	
Error del Medidor	$E_{MUT} = V_{MUT-f} - V_{MM-f}$	Ecuación 1
Factor del Medidor	$MF_{MUT} = \frac{V_{MM-f}}{V_{MUT-f}}$	Ecuación 2

Tabla 3. Variables de calibración de medidores de velocidad.

En la calibración, el registro de la velocidad del instrumento puede realizarse de diversas maneras según la configuración del instrumento, dependiendo de si éste posee salida eléctrica proporcional (lineal o de raíz cuadrada) a su indicación de velocidad [8], si no posee salida

eléctrica, pero tiene capacidad de registro periódico en memoria y posterior descarga a PC, o si el instrumento sólo posee indicación a display analógico o digital (en este caso, se realiza el registro manual de la indicación máxima y mínima).

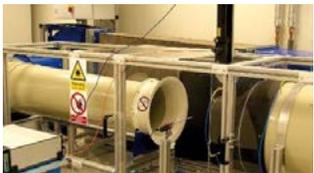
	ESQUEMA 1	ESQUEMA 2	ESQUEMA 3
CARACTERÍSTICA	 Túnel Cerrado de sección semi-abierta con MM tipo LDA	 Túnel Abierto de sección cerrada con MM tipo pitot	 Túnel Abierto de sección cerrada con MM tipo placa de orificio
Posición del MM y el MUT	El MM no intrusivo se instala en una sección aguas arriba del MUT, sobre la misma línea de corriente de flujo.	El MM intrusivo y el MUT se insertan en el área anular, aprovechando la axisimetría del perfil de velocidad.	MM intrusivo que se inserta y luego se realiza la medición con el MUT para medir la velocidad.
Reproducción de velocidad (Área de Prueba)	En una sección del túnel con velocidad caracterizada, generalmente la sección media del túnel donde $V_t = V_{max}$	En un área anular ubicada entre la capa límite perimetral y el área central.	En la sección media del túnel donde $V_t = V_{max}$
Tecnología del MM	Anemómetro Laser Doppler (LDA)	Tubo de Pitot Anemómetro de Temperatura Constante (CTA) Ultrasónico (USM)	Tubo de Pitot Placa de orificio Venturi
Dimensión Sección de prueba	Desde pequeñas áreas con diámetros equivalente de 250 mm hasta grandes secciones con diámetros equivalentes a 1 m	Desde pequeñas áreas con diámetros equivalente de 250 mm hasta grandes secciones con diámetros equivalentes a 1 m	Pequeña, con diámetros equivalentes generalmente ≤ 300 mm

Tabla 2. Configuración y características típicas de túneles de viento para bajas velocidades (menores a 30 m/s)

4. NUEVO TÚNEL DE VIENTO WSL20

Tal como se describió anteriormente, se independizó el Túnel de Viento del Banco de Alto Caudal para flexibilizar la operación del laboratorio para la calibración de medidores de velocidad. Para ello, fue necesario trabajar en los siguientes aspectos:

- Desarrollo y adecuación de un sistema de generación de flujo de aire que integrado a la infraestructura existente permitiera generar velocidades con una estabilidad adecuada dentro del intervalo de operación previsto.
- Adquisición y adecuación de un patrón de referencia en velocidad, un patrón de verificación y de un dispositivo de transferencia para la ejecución de procesos de confirmación intralaboratorial y comparaciones interlaboratoriales.

4.1 Desarrollo del túnel de viento:

Inicialmente, mediante análisis teóricos apoyados en herramientas de dinámica de fluidos computacional (*Computational Fluid Dynamics* - CFD), se consideraron varias alternativas de diseño para el sistema de generación de flujo del WSL20 y el mejoramiento de la sección rectificadora de flujo. Se tuvieron en cuenta factores como la influencia de elementos rectificadores en la adecuación del perfil de velocidad y en la

caída de presión generada, la inclusión de un difusor para la recuperación de presión y la generación de flujo por uno o múltiples ventiladores a partir de la curva de carga del sistema; la Figura 3 presenta un ejemplo de estos análisis. Como resultado, un conjunto de ventiladores axiales de alto caudal y alta eficiencia, sumados a un difusor para recuperación de presión y una sección de adecuación mejorada, permitieron generar flujos de aire en régimen turbulento con velocidades estables hasta los 25 m/s en la sección de pruebas.

4.2 Cadena de trazabilidad y patrón de referencia:

Actualmente como estado del arte, es posible reproducir y medir velocidades en túneles de viento con incertidumbres comprendidas entre 0,1% y 10%, dependiendo principalmente del patrón de referencia y el intervalo de medición. Los anemómetros láser Doppler (LDA) se imponen como patrones de referencia a nivel mundial, debido a su baja incertidumbre, la ventaja de ser una tecnología no intrusiva y la posibilidad de medir la velocidad en los tres ejes coordenados. Para su calibración se utiliza el método del disco en rotación, que consiste en determinar la velocidad tangencial de un elemento ubicado sobre el disco, a un radio conocido, y el cual gira a una velocidad angular conocida [9].

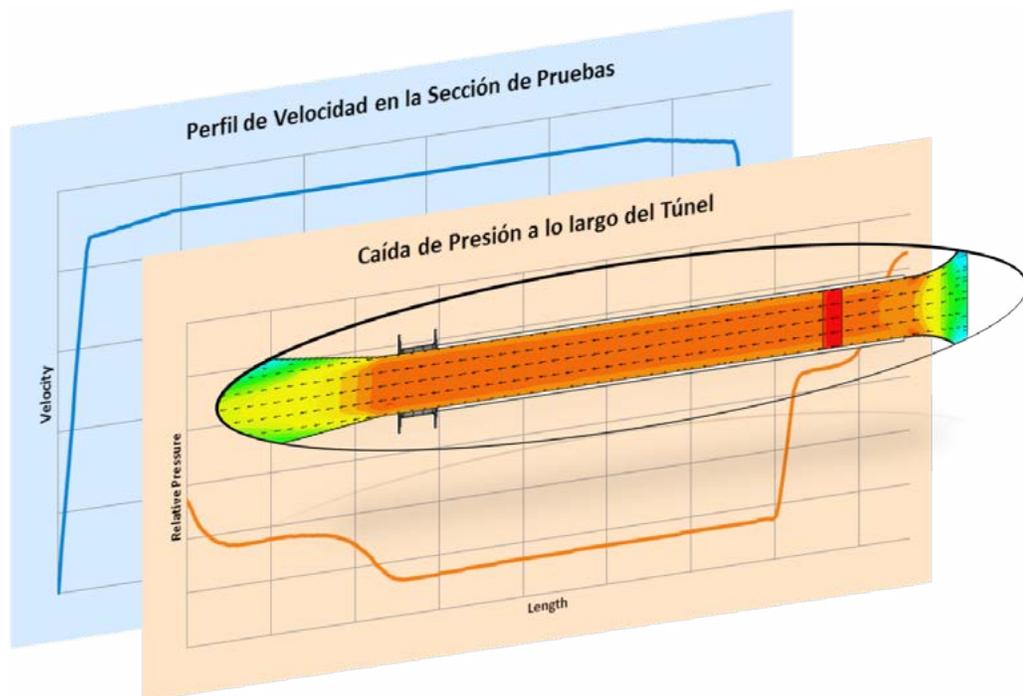


Figura 3. Desarrollo del WSL20 apoyado en herramientas CFD.

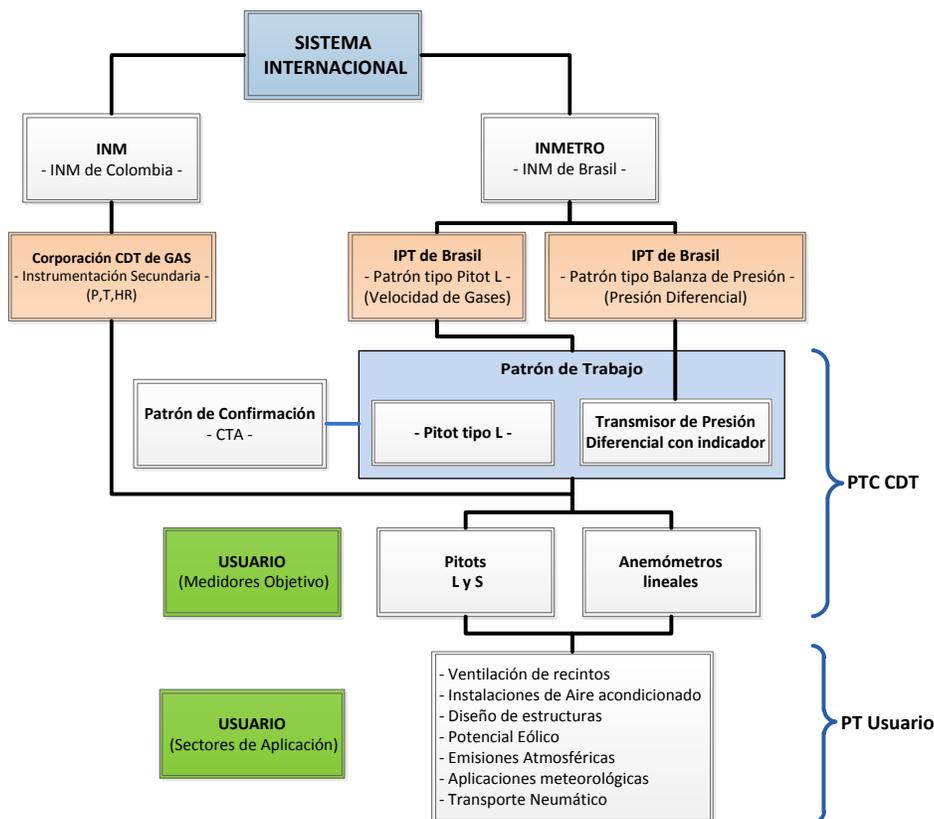


Figura 4. Cadena de trazabilidad del CDT de GAS en medición de velocidad (proyectada).

Aun cuando en entidades como el PTB o el *National Institute of Standards and Technology* (NIST - INM de Estados Unidos) el patrón de referencia es un LDA, siguen empleándose anemómetros de temperatura constante (CTA) o tubos de Pitot asociados a micromanómetros electrónicos como patrones de verificación [9]. Este tipo de patrones poseen desventajas como su mayor incertidumbre, sobre todo a bajas velocidades, debido a la dificultad de medir muy bajas presiones diferenciales (Pitots) y la no linealidad respecto a la velocidad (CTA). A pesar de ello, continúan siendo patrones económicos y fiables para proveer trazabilidad, siendo usados como patrones de trabajo en INMs como los de Turquía o Lituania [10]. Incluso, en la reciente comparación Euromet.M.FF-K3, fueron utilizados como patrones de transferencia un tubo Pitot con amplificador (desarrollado por NMI-VSL) y un anemómetro térmico, para velocidades entre 0,2 m/s y 4,5 m/s [11].

En este contexto, con el fin de disponer de un patrón de trabajo y/o referencia trazable al SI, y luego del análisis de los requerimientos y de realizar comparaciones a partir de las tecnolo-

gías disponibles, se concluyó que tanto los pitots asociados a micromanómetros como los CTA se constituyen en la mejor solución técnico-económica para su implementación como patrones en el CDT de GAS, considerando el nivel tecnológico de nuestro país en relación con la magnitud velocidad, y los niveles de incertidumbre requeridos por los usuarios finales (5% a 20% con $k=2^1$). EL patrón de trabajo seleccionado corresponde a un Pitot L con punta elipsoidal asociado a un transmisor de presión diferencial de Clase 0,25% L.². (Error máximo permisible) con salida analógica, y que permitirá brindar trazabilidad a mediciones de velocidad entre 2 m/s y 20 m/s.

Como patrón de verificación se adquirió un CTA para el mismo intervalo de medición. Un CTA adicional contribuye como dispositivo de transferencia que se usará para procesos de comparación posteriores. El patrón de trabajo será trazable a patrones del IPT de Brasil para finales del 2014. La Figura 4 presenta la cadena de trazabilidad para los resultados de calibración.

¹ Factor de cobertura para un nivel de confianza del 95%.

² Lectura indicada.

4.3 Caracterización y validación del WSL20

Durante el primer semestre de 2014 se llevaron a cabo diversas pruebas técnicas de desempeño, con el fin de validar el diseño del túnel de viento y el método de medición. Con base en criterios típicos referenciados en las normas técnicas para la calibración de medidores de velocidad y validación de métodos, se ejecutaron seis pruebas cuyos resultados se resumen en la Tabla 4. Los efectos combinados de los desarrollos implementados permitieron generar flujos en la sección de pruebas con una estabilidad mejor al 1%, un nivel de turbulencia menor al 0,7%. Gradientes de velocidad transversal menores al 1% en todo el intervalo, y con adecuados niveles de repetibilidad y reproducibilidad.

La Tabla 5 presenta las características del nuevo Túnel de Viento WSL20, que estará disponible para la prestación de servicios de calibración a partir del segundo semestre de 2014, y con acreditación bajo los requisitos de la NTC-ISO/IEC 17025 prevista para inicios del 2015.

5. ACTIVIDADES EN CURSO

Tras culminar el ciclo de desarrollo y caracterización del WSL20, se adelanta un proceso de Comparación Internacional que contará con la participación del laboratorio del CDT de GAS, y dos laboratorios de Brasil (IPT y SKILLTECH), dos entidades acreditadas bajo lineamientos de la ISO/IEC 17025 por la Coordinación General de Acreditación (CGCRE) de INMETRO (INM de Brasil) y con experiencia en programas de comparación en velocidad liderados por la Comisión Técnica de Flujo (CT-13), una de las 12 comisiones que integran la CGCRE.

Para la comparación fue desarrollado un dispositivo de transferencia con sensor CTA, y fueron generados un plan de comparación y el correspondiente protocolo de medición. Cabe aclarar, que aunque este ejercicio de comparación no es considerado válido por el ONAC, para efectos de cumplir con su política CEA-04 [16] de participación en Ensayos de Aptitud (EA), esta comparación se

Objetivo de la Prueba	Referencia Técnica	Criterio típico referenciado	Desempeño Obtenido
Generación de Velocidad (Establecer el alcance operativo del Túnel mediante control de velocidad).	ASTM D5096-02 [12] IEC 61400-12-1 [13] ASTM D3796-09 [14]	0-50% V _{máx} de MUTs objetivo, típicamente 20 m/s	El intervalo objetivo (2 m/s a 20 m/s) está dentro del Intervalo operativo (0,5 m/s a 25 m/s).
Estabilidad de la velocidad (Establecer la capacidad del control de velocidad para un período de tiempo, en todo el intervalo objetivo).	ASTM D5096-02 IEC 61400-12-1	± 0,2 m/s	Se analizaron 5 puntos de velocidad dentro del intervalo objetivo durante 10 min. Estabilidad de ±0,02m/s a ±0,2m/s (Aprox. 1% de la velocidad generada). Estabilidad evaluada a partir de 2 min.
Uniformidad del flujo (Determinar la uniformidad de los perfiles de velocidad dentro de la franja de calibración, en todo el intervalo objetivo).	ASTM D5096-02 IEC 61400-12-1	< 1%	Se analizaron 5 puntos de velocidad dentro del intervalo objetivo Uniformidad entre 0,6% y 1%, sobre la franja de calibración.
Nivel de Turbulencia (Determinar la relación entre la desviación estándar y el promedio de velocidad para un período de tiempo, en todo el intervalo objetivo).	ASTM D5096-02 IEC 61400-12-1	< 2%	Se analizaron 5 puntos de velocidad dentro del intervalo objetivo durante 10 min. Nivel de turbulencia entre 0,3% y 0,7%.
Alineación (Evaluar la respuesta de los medidores ante desviaciones respecto a la dirección del flujo).	IEC 61400-12-1 ASTM D5096-02	Debería ser < 1°	Se analizó la respuesta al desalineamiento dentro de ±20°, con intervalos de 5° a una velocidad de 5 m/s. Desviación en velocidad de 0,2% para MM y de 0,4% con pitot como MUT.
Precisión (Analizar la repetibilidad (r) y la reproducibilidad (R) de las mediciones de velocidad).	ASTM E691-13 [15]	Valores críticos h=1,15 y k=1,61 (para p=3 y n=4)	Se ejecutaron 3 calibraciones (p) de un medidor tipo pitot, por 3 profesionales, y tomando 4 repeticiones (n) por punto. Los valores obtenidos fueron h=1,15 y k=1,22, que están dentro de los límites permisibles.

Tabla 4. Pruebas de caracterización y validación del WSL20.

ejecuta como parte de los procesos de aseguramiento metrológico del CMF del CDT de GAS debido a la imposibilidad de participar en EA, por la no disponibilidad de programas ofertados por Proveedores acreditados según criterios de la NTC-ISO/IEC 17043 [17].

Como etapa final del proyecto que pretende generar la primera oferta de servicios de calibración acreditado para la magnitud velocidad, según requisitos de la norma NTC-ISO/IEC 17025, en Colombia, se preparó y remitió la documentación al ente acreditador ONAC, el cual programó la visita de evaluación en laboratorio para el mes de septiembre de 2014. Así pues, se tiene proyectado cumplir cabalmente con los requisitos de acreditación, lograr el reconocimiento mediante el Certificado de Acreditación en 2014 e iniciar la prestación de servicios acreditados desde el mismo instante en que sea emitido.

Por el momento, se continuarán prestando servicios con garantía de trazabilidad pero fuera del actual alcance de acreditación del CMF⁴.

6. CONCLUSIONES

- El CDT de GAS logró desarrollar un túnel de viento para calibración de medidores de velocidad de gas, denominado WSL20. El control necesario y los requisitos metrológicos de calidad exigieron un minucioso proceso de diseño, integración y caracterización, realizado concienzudamente por el personal de la Corporación, adelantando incluso una comparación internacional con laboratorios metrológicos de Brasil. Las capacidades de calibración del WSL20 se encuentran en proceso de acreditación ante la ONAC.
- El presente desarrollo tecnológico confirma las ventajas de invertir en actividades de investigación y desarrollo como soporte a procesos de medición con escasa o nula oferta de servicios técnicamente válidos, para soportar los procesos de mejora y calidad en diversos sectores productivos.
- La amplia gama de tecnologías, intervalos de medición, dimensiones y configuraciones de los instrumentos de velocidad que actualmente se encuentran disponibles en el mercado, impone la necesidad de ampliar, a

Tipo de Túnel	Abierto de Sección Cerrada
Sección de pruebas	Circular, $\varnothing = 0,3$ m y L = 1 m
Generación de flujo	Ventiladores axiales a succión controlados por voltaje
Alcance operativo del Túnel	0,5 m/s a 25 m/s
Objetivo de Acreditación	2 m/s a 20 m/s
Norma de referencia	NIST Handbook 150-2G
Patrón de referencia/trabajo	Pitot tipo L asociado a micromanómetro electrónico
Patrón de verificación	Anemómetro térmico tipo CTA
Dispositivos de Transferencia	Anemómetro térmico tipo CTA con indicador
CMC proyectada	U = 0,1 m/s a 0,5 m/s (k=1,98), entre 2 m/s y 20 m/s
Instrumentos a Calibrar	Pitot L y S, Anemómetros térmicos y Anemómetros rotativos ³

Tabla 5. Resumen de Características del WSL20 del CDT de GAS.

futuro, las capacidades de medición y calibración y las facilidades para reproducir la magnitud, mediante túneles de viento con secciones de prueba de mayor dimensión e intervalo de operación.

- En la calibración de instrumentos de velocidad no existe un acuerdo único en relación con el método y procedimiento de calibración más apropiado, lo cual ha motivado el desarrollo de normas o referencias técnicas delimitadas para una tecnología de medición o un sector particular de aplicación, dificultando los procesos de desarrollo e implementación de servicios acreditados para la magnitud velocidad.
- El desarrollo y caracterización del nuevo túnel de viento WSL20 ha permitido la apropiación de nuevos conocimientos sobre la velocidad en fluidos y los fenómenos de flujo relacionados, lo cual permitirá apoyar el desarrollo de estudios y aplicaciones tales como; el desempeño metrológico de instrumentos, la eficiencia en ventiladores axiales y centrífugos y la aplicación de la similaridad dinámica para la calibración de tubos pitot que operan con otros fluidos (líquido y vapor).

7. REFERENCIAS

- [1] J. F. Angarita, J. Rugeles, Director, and L. E. García, Codirector, "Diseño y Construcción de una Instalación para la Calibración de Medidores de Velocidad de Aire utilizando como Patrón el Banco de Alto Caudal del CDT de Gas.," Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander -UIS, Escuela de Ingeniería Mecánica, 2010.

³ Limitado por la relación de bloqueo del medidor bajo prueba (15% máximo) y el alcance del Túnel de Viento.

⁴ Código de Acreditación: 10-LAB-013 (2010). [En línea]: < <http://www.onac.org.co/directorios/anexos/archivos/obj011/ALCANCES-LABCALIBRA/archivocertificado-818-525.pdf> >

- [2] L. E. García and G. Covelli, "Desarrollo del Banco de Calibración para Medidores de Gas a Alto Caudal de la Corporación CDT de GAS," presented at the Simposio de Metrología 2010, CENAM, México, 2010, pp. 1-10.
- [3] "Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB): Reconstruction of PTB wind tunnel with 320 mm nozzle completed." [Online]. Available: http://www.ptb.de/cms/en/fachabteilungen/abt1/nachrichten1/news-from-division-1.html?tx_ttnews%5Btt_news%5D=1656&tx_ttnews%5BbackPid%5D=10977&cHash=891e0ce69ea7a8a1e38841372e1afb5a. [Accessed: 21-Jun-2014].
- [4] ICONTEC, "NTC-ISO/IEC 17025. Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.," Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2005.
- [5] Luis E. García S., Jair F. Angarita D., and Omar A. Naranjo, "La Velocidad En Gases: Aspectos Metrológicos," *MET&FLU CIENCIA - TECNOLOGÍA - INNOVACIÓN*, vol. 3, pp. 14-23, Dec-2010.
- [6] "NMIJ - Fluid Flow Division." [Online]. Available: <https://www.nmij.jp/english/info/lab/fluid-flow/>. [Accessed: 21-Jun-2014].
- [7] A. Piccato, R. Malvano, and P. G. Spazzini, "Metrological features of the rotating low-speed anemometer calibration facility at INRIM," *Metrologia*, vol. 47, no. 1, pp. 47-57, Feb. 2010.
- [8] J. M. Cimbala, "Linear Velocity Measurement." Penn State University, 19-Nov-2013.
- [9] T. T. Yeh and J. M. Hall, "Airspeed Calibration Service," *NIST Spec. Publ.*, vol. 250, 2007.
- [10] A. Pedivsuis, V. Januvsas, and A. Bertalvsienė, "Low air velocity measurement characteristics' variation due to flow regime," *Int. J. Fluid Therm. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 25, 2008.
- [11] EURAMET, "Euromet Key Comparison for Airspeed Measurements," European Association of National Metrology Institutes, NMI-Van Swinden Laboratorium, Draft B, Feb. 2008.
- [12] D22 Committee, "Standard Test Method for Determining the Performance of a Cup Anemometer or Propeller Anemometer," ASTM International, 2011.
- [13] TC/SC 88 - Wind Turbines, "IEC 61400-12-1: Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines. Annex H: Power performance testing of small wind turbines," IEC, Dec. 2005.
- [14] D22 Committee, "ASTM D3796 - 09: Standard Practice for Calibration of Type S Pitot Tubes," ASTM International, 2009.
- [15] E11 Committee, "ASTM E691 - 14 : Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method," ASTM International, 2014.
- [16] Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC, "Política para la participación en Ensayos de Aptitud / Comparaciones Interlaboratorios. CEA-04. Versión 02." Abril-2012.
- [17] ICONTEC, "NTC-ISO/IEC 17043:2010. Evaluación de la conformidad – Requisitos generales para los ensayos de aptitud," 2010.