

COMPARABILIDAD INTERNACIONAL DE LAS MEDICIONES DE VELOCIDAD DE GASES DEL CDT DE GAS

Jhon Freddy Alfonso Serrano *

Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas. Parque Tecnológico UIS Guatiguará, km 2 vía El Refugio. Piedecuesta. Santander. Colombia.

Resumen: En este artículo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de un ejercicio de comparabilidad internacional para la magnitud Velocidad de Gases. Esta comparación fue realizada a partir de los resultados de calibración obtenidos por los laboratorios del Centro de Metrología de Fluidos del Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de Brasil y de la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de GAS) de Colombia, empleando un tubo pitot asociado a un transmisor de presión diferencial como Dispositivo de Transferencia (DT). A partir de los estadísticos de desempeño denominados números En empleados en este ejercicio y descritos en la norma ISO/IEC 17043:2010, se demuestra la comparabilidad entre los resultados obtenidos por el CDT de GAS y los obtenidos por el IPT. De esta forma, se confirma la competencia del CDT de GAS, brindando soporte a sus mediciones, más aun considerando que el CDT de GAS es actualmente el único laboratorio acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) para brindar trazabilidad a las mediciones de velocidad de gases en el país.

Palabras clave: Comparabilidad, velocidad de gases, dispositivo de transferencia, túnel de viento, números En.

Abstract: In this article the results obtained in the development of an international comparability exercise in Gas Velocity are described. This comparison was made based on the calibration results obtained by the laboratories of the Fluids metrology center from the Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) in Brazil and the Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de GAS) from Colombia, using a pitot tube associated to a differential pressure transmitter as the Transfer standard. Based on the performance statistics called En numbers used in this exercise and described in ISO/IEC 17043:2010 standard, comparability between the results obtained by CDT de GAS and those obtained by IPT is demonstrated. In this way, CDT de GAS competence is confirmed, providing support to its measurements, even more considering that CDT de GAS is currently the only laboratory accredited by Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) for provide traceability to the gas velocity measurements in Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

En 2009, a raíz de un proceso de vigilancia tecnológica que mantiene el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de GAS), se identificó la necesidad de ofrecer trazabilidad en la magnitud velocidad de gases para Colombia. Desde entonces, con recursos provistos por el Estado a través del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias) y el respaldo de sus asociados tecnológicos, el CDT de GAS ha realizado avances en este campo que han conducido al desarrollo de la primera instalación tipo Túnel de Viento para la calibración de medidores de velocidad de gases en el país, denominada WSL20, acreditada por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC) bajo los requisitos de la norma NTC-ISO/IEC 17025 [1], a partir de 2015.

* jalfonso@cdtdegas.com





Como parte de las actividades de formación de personal, en agosto de 2014 dos profesionales del CDT de GAS realizaron una estancia técnica en el Laboratorio de Aerodinámica Industrial del Centro de Metrología de Fluidos (CMF) del Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de Brasil, laboratorio que se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Metrología de Brasil (INMETRO) en ISO/IEC 17025 y que actualmente coordina el Comité Técnico de Flujo (CT-13) de la Coordinación General de Acreditación (CGCRE) en ese país.

Dentro de los requisitos para el otorgamiento de la acreditación por parte del ONAC, están los relativos a la validación de métodos dados en el numeral 5.4.5 de la ISO/IEC 17025. Así, como herramienta clave para la confirmación de la Capacidad de Medición y Calibración (CMC) del CDT de GAS declaradas para la magnitud, se realizó la calibración de un Dispositivo de Transferencia (DT). El dispositivo fue integrado por el CDT de GAS, como elemento base para el ejercicio de comparabilidad entre ambos laboratorios, y como soporte para la validación de la exactitud del método empleado. Bien sabido es que este tipo de ejercicios permiten conocer en detalle el desempeño metrológico de las infraestructuras, métodos, procedimientos y personal responsable de mantener y diseminar una magnitud [2].

Aunque este ejercicio de comparación no es aceptado por el ONAC para efectos de cumplir con su política CEA-04 circular 2 [3], ya que no constituye propiamente un Ensayo de Aptitud (EA), se ejecutó como parte de los procesos de aseguramiento metrológico del CMF del CDT de GAS, considerando que el Laboratorio de velocidad del IPT se encuentra acreditado por INMETRO en la magnitud de velocidad de gases para un amplio intervalo con CMCs de alrededor del 1% ($k=2$), y con experiencia en programas de comparación liderados por el CT-13, única entidad organizadora de actividades con fines de acreditación para la magnitud de velocidad de gases en Latinoamérica desde 2008 [4].

2. METODOLOGÍA

En el presente ejercicio, el CDT de GAS y el IPT, dos laboratorios líderes en metrología de fluidos en sus propios países, ejecutaron la calibración de un DT entre los meses de agosto y septiembre del 2014. Empleando los resultados reportados por ambos participantes, el CDT de GAS, como laboratorio coordinador, se encargó de realizar el análisis estadístico para este ejercicio de comparabilidad, con el objeto de estimar el grado de equivalencia de las mediciones de velocidad de gases entre ambos laboratorios, facilitar y asegurar los procesos de medición, y apropiar conocimientos para continuar garantizando trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI). En este caso, el IPT, que posee trazabilidad directa, ejerce como laboratorio de referencia. Un resumen de la infraestructura metrológica de cada laboratorio se presenta en la Tabla 1.

2.1. *Mensurando empleado*

El mensurando objeto de la comparación correspondió al Error del Medidor (Ec. 1), obtenido por los laboratorios participantes al calibrar el DT sobre un conjunto de 3 puntos de velocidad de aire (Tabla 2).

$$X_i = V_{DT} - V_{Lab@DT} = \left(C_p * \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_f}} \right) - V_{Lab@DT} = \left(C_p * \sqrt{\frac{\Delta P_{m\acute{a}x} \times (I_{\Delta P} - 4_{[mA]})}{8_{[mA]} \times \rho_f}} \right) - V_{Lab@DT} \quad (Ec. 1)$$

Dónde:

X_i [m/s]	Error del medidor, reportado por el laboratorio participante i
V_{DT} [m/s]	Velocidad del medidor tipo pitot a condiciones de flujo (DT). Velocidad de flujo deducida partir del principio de Bernoulli [5]. Ecuación empleada en


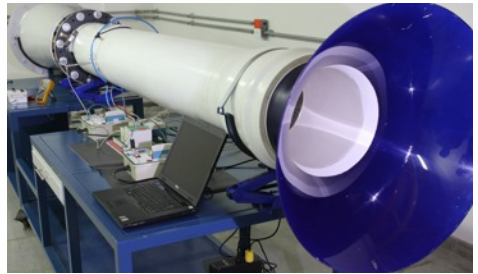
Descriptor	IPT	CDT de GAS
País	Brasil	Colombia
Nombre Legal	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo	Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas
Medio de generación de velocidad de aire	Túnel de Viento subsónico abierto de sección abierta	Túnel de Viento subsónico abierto de sección cerrada
		
Método de calibración	Comparación directa	Comparación directa
Intervalo	0,2 m/s a 45,0 m/s	2,0 m/s a 20,0 m/s
CMC del método empleado (k=2)	0,05 m/s (0,2 a 1,99 m/s) 0,06 m/s (2,0 a 9,99 m/s) 0,11 m/s (10,0 a 45,0 m/s)	0,24 m/s a 0,69 m/s
Patrón de Trabajo	Tubo pitot L asociado a un patrón de baja presión tipo vasos comunicantes, trazable a barras patrón de IPT	Anemómetro térmico de temperatura constante (CTA), trazable a Skilltech de Brasil
Procedimiento interno	CMF-LV-PC-03	PTC-041
Acreditación ISO/IEC 17025	INMETRO	ONAC

Tabla 1. Infraestructura metroológica de los laboratorios participantes

$V_{Lab@DT}$ [m/s]	procedimientos estandarizados, como los desarrollados por ASTM [6]. Velocidad indicada por el patrón del laboratorio participante a condiciones de flujo.	$\Delta P_{m\acute{a}x}$ [Pa]	Escala Total del diferencial de presión acoplado al pitot y correspondiente a su salida de Corriente
C_p Adimensional	Coefficiente del Pitot. Considerado igual a 1 para calibración en lazo cerrado	$I\Delta P$ [mA]	Corriente de salida del transmisor de presión (4 mA a 20 mA) proporcional al diferencial de presión ΔP generado en el pitot
ΔP [Pa]	Diferencial de presión generado en el pitot		
ρ_f [kg/m ³]	Densidad del Aire a condiciones del Túnel de Viento: P_f (Presión absoluta del aire), T_f (Temperatura del aire), % HR (Humedad relativa del aire). Para el CDT de GAS es calculada a partir de la ecuación del Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM) [7]		

Velocidad No.	1	2	3
Valor Nominal	$V_{m\acute{i}n}$	$0,5V_{m\acute{a}x}$	$V_{m\acute{a}x}$
Velocidad [m/s]	2	10	20

Tabla 2. Velocidades de comparación

2.2. Dispositivo de transferencia

Para este ejercicio, y para futuros procesos de comparación, fue desarrollado un DT integrado por un tubo pitot tipo L, un transmisor de presión diferencial y un indicador escalable (Tabla 3). Se empleó este tipo de medidor ya que los tubos pitot son reconocidos como patrones de trabajo fiables para proveer trazabilidad a las mediciones realizadas en túneles de viento, a pesar de poseer desventajas tales como su alta incertidumbre, que radica en la dificultad de medir muy bajas presiones. A su vez, son comúnmente empleados a nivel internacional como dispositivos de transferencia en comparaciones interlaboratorios. Tal es el caso, que en la comparación Euromet.M.FF-K3 [8], ejecutada entre 2005 y 2008, fue utilizado como patrón de transferencia un tubo pitot con amplificador, desarrollado por NMI-Van Swinden Laboratorium (NMI-VSL) de Holanda.

2.3. Condiciones de instalación

Para la calibración del DT los laboratorios emplearon sus propios procedimientos, considerando la tecnología de medición del dispositivo. Aunque el DT posee un indicador de corriente escalable a velocidad, ambos laboratorios utilizaron directamente la salida de corriente del transmisor. Adicionalmente, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones de acondicionamiento e instalación:

- Los elementos deberán permanecer en el laboratorio al menos 12 horas antes de empezar las mediciones. A su vez, los componentes electrónicos deberán permanecer encendidos al menos una hora antes de iniciar las mediciones.
- Conectar el tubo pitot a la caja de integración del DT usando los conectores y mangueras flexibles suministradas. Realizar las conexiones mecánicas garantizando hermeticidad en el montaje.



Tipo	Pitot tipo L asociado a transmisor de presión diferencial.
Fabricante	Dwyer Instruments
Modelo	160E-01 (Pitot) / HADP-UC-01 (Transmisor)
Identificación	SL-004 (Pitot) / PL-213 (Transmisor)
Alcance del transmisor	0"H ₂ O a 1"H ₂ O (0 Pa a 249,09 Pa)
Clase del transmisor	0,14 % de la Escala Total
Deriva del transmisor	0,1 % de la Escala Total @ 6 meses
Temp. de Operación	-18°C a 71°C
Salida del transmisor	4 mA - 20 mA
Otros componentes del DT	Indicador alimentado por bucle, marca Dwyer, modelo LPI-111. Fuente de alimentación de 24VDC, marca Mean Well, modelo MDR-20-24. Conectores adicionales.

Tabla 3. Características del Dispositivo de Transferencia integrado por el CDT de GAS

- Emplear los conectores eléctricos suministrados para obtener la salida de corriente del transmisor de presión.
- Seguir las indicaciones y recomendaciones adicionales mencionadas en el Manual de Operación del DT, facilitado por el CDT de GAS, con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.

En la Figura 1 se observan los montajes finales de cada laboratorio. Particularmente para el CDT de GAS, el Túnel de Viento posee una sección de pruebas cerrada, por lo que se garantiza la reproducibilidad de la velocidad mediante la instalación de DT y patrón sobre una misma línea de acción y perfil de velocidad.

2.4. Tratamiento de los datos

2.4.1. Valores de Referencia

Dentro del análisis estadístico, se toman los resultados emitidos por IPT para cada valor de velocidad, como los valores de referencia contra los cuales se realiza la comparación.

2.4.2. Incertidumbre

Cada laboratorio estimó y declaró la incertidumbre de medición para los resultados de la calibración del DT, siguiendo las directrices de la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM) [9]. Éstas fueron reportadas en su respectivo certificado de calibración emitido por cada laboratorio.

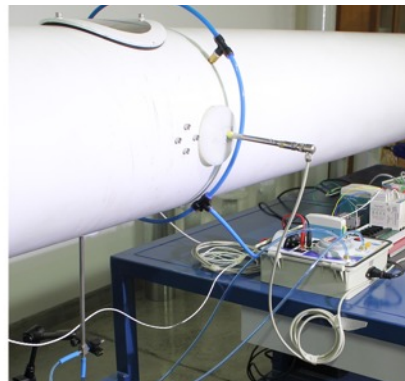
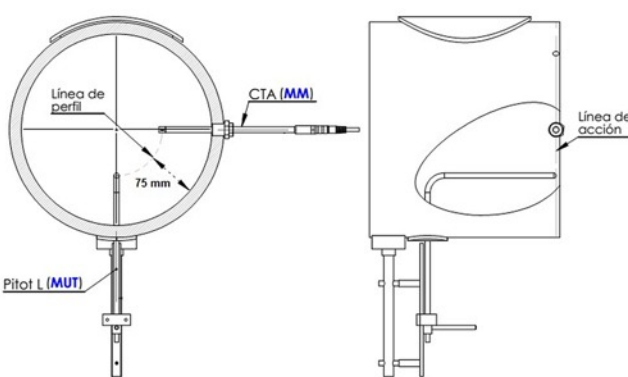


Figura 1. Instalación del DT: CDT de GAS (Izquierda y centro), IPT (derecha)

2.4.3. Estadísticas de Desempeño

Como modelo estadístico para la evaluación de los resultados obtenidos, se usaron los números E_n , referenciados en las normas ISO/IEC 17043 [10] e ISO 13528 [11], y que representan el grado de equivalencia respecto al valor convencional:

$$E_n = \frac{D}{U(D)} = \frac{X - Y}{\sqrt{U_X^2 + U_Y^2}} \quad (Ec. 2)$$

Dónde; D es la diferencia simple entre el resultado X de un participante y el valor de referencia Y, denominada también estimación de la tendencia o sesgo del laboratorio. U_X es la incertidumbre expandida del resultado X y U_Y la incertidumbre expandida del valor de referencia Y. Para el caso analizado, los valores de X corresponden a los obtenidos por el CDT de GAS y los de Y a los obtenidos por IPT.

2.4.4. Evaluación de resultados

Cuando las incertidumbres son estimadas de forma coherente y siguiendo las directrices de la GUM, los números E_n expresan la validez de la incertidumbre expandida estimada para cada resultado. Un valor de $|E_n|$ menor o igual a uno (1) indica que la diferencia entre el valor medido por un laboratorio

participante y el laboratorio de referencia es menor o igual que la incertidumbre combinada de ambos laboratorios.

Así, de acuerdo al resultado obtenido del E_n , se define el desempeño del laboratorio participante de la siguiente manera:

$|E_n| \leq 1,0$ Desempeño Satisfactorio, comparación exitosa 

$|E_n| > 1,0$ Desempeño Insatisfactorio, comparación no exitosa 

3. RESULTADOS

El DT fue calibrado por IPT empleando un patrón tipo pitot asociado a un manómetro diferencial de vasos comunicantes, en presencia de profesionales del CDT de GAS. Una vez en Colombia, se realizó la calibración del DT en el Laboratorio de Velocidad de Gases del CDT de GAS, empleando un patrón tipo anemómetro térmico. Las curvas de calibración obtenidas para el DT, se observan en la Figura 2,

siendo los puntos en rojo los reportados por IPT en el Certificado de Calibración 140 077-101, tomados como valores de referencia, y los puntos en azul los reportados por el CDT de GAS en el Certificado de Calibración INFC-14-OTM-091-2317. La Tabla 4 muestra los resultados de E_n , todos menores a uno (1), mediante lo cual se puede afirmar que la comparación fue exitosa y que sus mediciones son comparables, según los criterios de evaluación de resultados mencionados anteriormente.

4. CONCLUSIONES

Se confirmó la comparabilidad entre las mediciones del CDT de GAS y del IPT, con valores de E_n menores a uno (1) para los tres puntos de velocidad evaluados, validando la incertidumbre expandida asociada a cada resultado. Esto proporciona evidencia objetiva de que la incertidumbre estimada es consistente con la definición de incertidumbre expandida dada por la GUM, y que el laboratorio tiene un desempeño aceptable y por lo tanto, es competente.

2,0 m/s	Laboratorio	Error X_i	U Expandida U_{X_i} ($k=2,0$)	D	$U(D)$	$ E_n $	Desempeño
		m/s	m/s	m/s	m/s		
	Valor de Referencia	0,36	0,07	-0,19	0,25	0,76	Satisfactorio
	CDT de GAS	0,17	0,24				
10,0 m/s	Laboratorio	Error X_i	U Expandida U_{X_i} ($k=2,0$)	D	$U(D)$	$ E_n $	Desempeño
		m/s	m/s	m/s	m/s		
	Valor de Referencia	0,2	0,11	0,202	0,44	0,46	Satisfactorio
	CDT de GAS	0,4	0,43				
20,0 m/s	Laboratorio	Error X_i	U Expandida U_{X_i} ($k=2,0$)	D	$U(D)$	$ E_n $	Desempeño
		m/s	m/s	m/s	m/s		
	Valor de Referencia	0,29	0,2	0,411	0,73	0,56	Satisfactorio
	CDT de GAS	0,7	0,7				

Tabla 4. Resultados de la Comparación

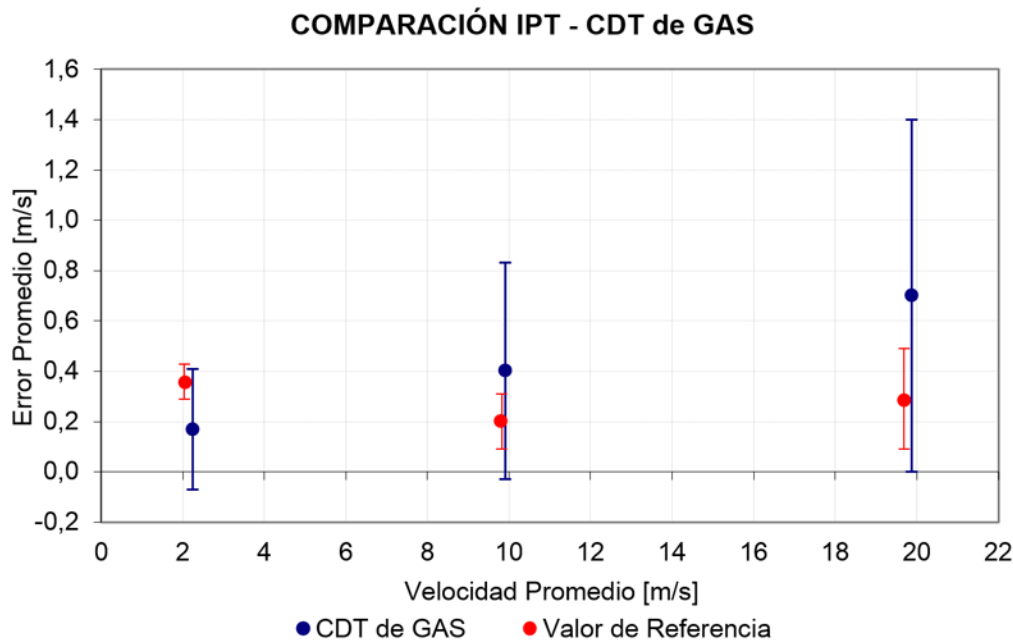


Figura 2. Resultados de calibración obtenidos

Los grados de equivalencia obtenidos entre ambos laboratorios para este ejercicio de comparación son excelentes, considerando que en la reproducción de la magnitud Velocidad de gases, ambos laboratorios poseen diferencias marcadas, tales como infraestructura desarrollada, experiencia, medidores patrón con diferente principio de medición, trazabilidad de la magnitud principal y las de influencia, y diferentes procedimientos acreditados por entes diferentes, entre otros [12]. De esta forma, se asegura la estrategia de trazabilidad al SI de los resultados obtenidos en las calibraciones en velocidad de gases por parte del CDT de GAS, un avance importante para el país, considerando que el CMF del CDT de GAS es actualmente el único acreditado en Colombia para brindar trazabilidad a las mediciones de velocidad de gases.

5. REFERENCIAS

- [1] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC-ISO/IEC 17025 - Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración; 2005.
- [2] Ruiz J, García LE, Abril H. Comparaciones Interlaboratorios en Medición de Alto Volumen y Flujo de Gas Importancia, Aspectos Prácticos y Perspectivas

para el Contexto Latinoamericano. *Met&Flu Ciencia - Tecnología - Innovación* 2011; 2: 60-69.

[3] Organismo Nacional de Acreditación de Colombia. Política para la participación en Ensayos de Aptitud/ Comparaciones Interlaboratorios. CE-A-04 v.2; 2012.

[4] Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. CT-13: Vazão. Disponible en: <http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/CT13.asp#null>. Accedido abril 24, 2015.

[5] Anderson J Jr. *Fundamentals of Aerodynamics* (2 ed.), McGraw-Hill, Inc.; 1991: 170-174.

[6] Subcommittee D22.03 on Ambient Atmospheres and Source Emissions. ASTM D3796-09 - Standard Practice for Calibration of Type S Pitot Tubes. ASTM International; 2004.

[7] Picard A, Davis RS, Gläser M, Fujii K. Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007). *Metrologia* 2008; 45: 149-155.

[8] NMI-Van Swinden Laboratorium. Euromet Key Comparison for Airspeed Measurements (Draft B). European Association of National Metrology Institutes; 2008.

[9] Joint Committee for Guides in Metrology. JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Bureau International des Poids et Mesures; 2008.

[10] ISO/CASCO Committee on conformity assessment. ISO/IEC 17043:2010 Conformity assessment -- General requirements for proficiency testing. International Organization for Standardization; 2010.

[11] ISO/TC 69/SC 6 Measurement methods and results. ISO 13528:2005 - Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. International Organization for Standardization; 2005.

[12] García LE, Abril H. Comparabilidad Internacional de las Mediciones Colombianas en Alto Flujo de Gas. *Met&Flu Ciencia - Tecnología - Innovación* 2011; 5: 40-49.