

Facilidades Tecnológicas para Brindar Trazabilidad a las Mediciones de Gases en Colombia

Germán José Covelli gcovelli@cdtdegas.com
Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas

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, a partir de este momento en esta nueva sección, se presentarán infraestructuras disponibles a nivel nacional así como a nivel internacional que merezcan destacarse para apoyar el desarrollo productivo nacional.

Resumen:

La Ciencia, la Tecnología y la Innovación son una fuente de desarrollo y crecimiento económico, según se hizo evidente en el Consejo Nacional de Política Económica y Social -CONPES 3582 "Política Nacional de Ciencia y Tecnología". Igualmente lo son en la "Visión 2019, Colombia II Centenario" para convertir las ventajas comparativas de nuestro país, en ventajas competitivas y por ello se destaca y se resalta el apoyo que decide dar el Departamento Administrativo de Ciencia e Innovación – COLCIENCIAS a los procesos de fortalecimiento y certificación de laboratorios de universidades y centros de investigación y de desarrollo tecnológico en el documento "Colombia Construye y Siembra Futuro". La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas - CDT de GAS, desde hace 10 años contribuye con este esfuerzo tecnológico y en el presente artículo se describe la infraestructura disponible a nivel nacional, que merece destacarse, debido a su aporte al mejoramiento de los procesos productivos, en razón a la transversalidad de la metrología. Se presenta la importancia de realizar aseguramiento metrológico en los equipos involucrados en procesos de medición de gases y los beneficios que esto trae. Finalmente se describe parte del proceso llevado a cabo para consolidar dicha infraestructura metrológica, y para la transformación del CDT de GAS, de un laboratorio de metrología, a un Centro de Desarrollo de Soluciones Tecnológicas que hace uso eficiente de la metrología aplicada en los procesos productivos y en general en la sociedad colombiana.

1 INTRODUCCIÓN

A través de la historia, el hombre ha utilizado la medición como una herramienta que le permite conocer la cantidad de producto comercializado. Con el paso del tiempo, se han mejorado los procesos de medición así como los equipos usados para este fin. Hoy en día se cuenta con gran cantidad de tecnologías que permiten medir casi cualquier fenómeno al que se le pueda atribuir un mensurando¹, y la medición de gases no es la excepción. Dentro de los instrumentos disponibles para la medición de flujo y volumen de gases existen diferentes tipos de tecnologías que se pueden dividir por su alcance en bajos, medios y altos caudales. En aquellas utilizadas para medir bajos caudales se encuentran los medidores máscicos, los térmicos y los caudalímetros en general, además de las boquillas sónicas y los orificios críticos, que igualmente se encuentran disponibles para todos los alcances de medición. En medios caudales vale la pena resaltar las tecnologías de diafragma, cámaras húmedas, rotativos y pequeñas turbinas. Para los altos caudales se encuentran entre otros las turbinas, los medidores ultrasónicos -USM por sus siglas en inglés- sin dejar a un lado la tecnología de placas de orificio, que es útil para cuantificar el gas manejado generalmente en plantas de proceso.

Con respecto a los campos de aplicaciones de las tecnologías utilizadas para medición de bajos caudales de gases, se debe hacer referencia a las mediciones realizadas por grupos y centros de investigación, porque de los resultados emitidos en este tipo de escenarios, dependen grandes inversiones y apuestas tecnológicas que transforman una industria, un proceso. Tampoco puede omitirse el hacer referencia a las mediciones de bajos caudales de gases, realizadas para el control ambiental de emisiones, detección de fugas, y nunca y de ninguna forma, aquellas mediciones realizadas en sector médico o biomédico, específicamente en aplicaciones de flujo de gases medicinales, en la cual se realiza la medición de gases como el N_2O ² y el O_2 , además de otro tipo de gases como el CO_2 , aire, N_2 , He, etc. Se resalta al respecto que los volúmenes medidos con estas tecnologías, son pequeños en comparación con procesos de medición de gas natural, pero al igual que estos, las consecuencias de realizar una medición errónea, puede generar, desde un inadecuado control de proceso, hasta pérdidas humanas.

En el campo de acción de los medios caudales de gases se destacan las mediciones residenciales, es-

¹Se define como mensurando, según el VIM[1] a la magnitud que se desea medir.

²Oxido Nitroso (N_2O), utilizado comúnmente en pequeñas dosis como analgésico en partos.

³Se define trazabilidad, según el VIM como propiedad de un resultado de medida por el cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

⁴Se define exactitud, según el VIM como la proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.

⁵Para Colombia Presión=14,65psi y T=60°F [3] (En producción y transporte de gas natural aún se utilizan unidades del sistema inglés).

tablecimientos comerciales y pequeñas industrias, en donde generalmente se busca asegurar trazabilidad³ por medio de los fabricantes de medidores, que realizan pruebas de funcionamiento en fábrica para garantizar su correcta medición. Este concepto ha venido cambiando en los países latinoamericanos y especialmente en Colombia, dado que una buena medición, depende también de una calibración inicial, de las condiciones de operación y del paso del tiempo, factores que afectan directamente la exactitud⁴ de los medidores. Una forma de garantizar una correcta medición es por medio de la implementación de un programa de aseguramiento metrológico en el cual se establezcan periodos de calibración de acuerdo a las características metrológicas y del tipo de proceso. Ahora bien, la trazabilidad del patrón utilizado es imprescindible para generar un ambiente de confianza y seguridad en torno al proceso de calibración. Es por ello que la calibración se debe realizar en un laboratorio competente que brinde trazabilidad a patrones nacionales o internacionales reconocidos.

Y finalmente, la medición de gases a altos caudales, que es quizás la mayor problemática que enfrentaba el país en materia de medición de flujo de gases en la pasada década, y estaba relacionada con la escasa infraestructura metrológica que permitiera a las empresas verificar el estado metrológico de sus equipos y obligaba a tomar dos acciones: (1) el enviar medidores de gas desde Colombia hacia países que contaban con esta infraestructura como Estados Unidos, Canadá, Alemania y Holanda, con sus respectivas cargas económicas, trámites aduaneros y riesgos asociados ó (2) no calibrar simplemente éstos importantes equipos, colocando en riesgo la confiabilidad de sus mediciones. Actualmente esta situación se ha venido solucionando, dado que el CDT de GAS, proyectó con la colaboración de sus asociados tecnológicos internacionales, un programa con horizontes a mediano y largo plazo, encaminado hacia la consolidación de la infraestructura metrológica colombiana en materia de medición de flujo de gases, apoyando a la industria en los procesos de aseguramiento de sus mediciones.

Es de anotar que la medición de gases representa un gran reto debido a las variables de influencia que pueden afectar la medición, por ejemplo la variación de la presión y/o la temperatura, ó la variación de la compresibilidad del gas, es por ello que se establecen condiciones estándar⁵ para brindar confiabilidad a su comercialización. En este sentido para medir gases generalmente se hace imprescindible contar con equipos para medir la presión, la temperatura, y otras propiedades del fluido, que permiten llevar el volumen medido de condiciones de flujo a condiciones estándar. Sin duda entonces, en grandes volúmenes de gases y en especial en procesos de transferencia de custodia, la medición del flujo de gas es equivalente al flujo de dinero, es por ello que un pequeño error asociado a la medición, puede traer como consecuencia una enorme pérdida económica[2] .

Por consiguiente, los sectores involucrados en me-

dición de gases, sea cual sea su aplicación, deben garantizar transparencia en sus mediciones seleccionando equipos adecuados al tipo de proceso y manteniéndolos dentro de los límites de error e incertidumbre⁶ permisibles y aplicables a cada uno de ellos.

2 MINIMIZACIÓN DE RIESGOS Y MEDICIÓN SEGURA A PARTIR DE CALIBRACIÓN

Está muy claro que existe la necesidad de medir el flujo de gases, ya sea para realizar facturación (pequeña, mediana y gran industria), para realizar control en procesos ó para investigación y desarrollo (laboratorios, clínicas, centros de investigación y universidades). Un pequeño error en la medición puede generar consecuencias tales como:

- Pérdidas económicas, si se está llevando a cabo medición para facturación o si no se puede realizar un adecuado control de procesos donde el flujo de gas es insumo o producto.
- Desbalances en procesos de transferencia de custodia.
- Consecuencias irreversibles en la salud de un paciente y hasta pérdidas humanas, si se está llevando a cabo un proceso de medición con objeto de dosificar gases medicinales a pacientes[3] .
- Incapacidad de reproducir procesos de investigación y desarrollo debido a carencia de resultados técnicamente validos.
- Pérdida de productos en procesos industriales por no cumplir con las especificaciones de calidad.

Actualmente se enfrenta un problema de falta de aseguramiento metrológico, pues son pocas las empresas de los sectores productivos que tienen claras las

consecuencias que puede ocasionar un pequeño error en la medición; generalmente son las que manejan grandes volúmenes de gases o están regidas por alguna normativa de carácter obligatorio. En la mayoría existe la noción de que el instrumento «mide bien» durante toda su vida útil, cuando su proveedor da garantía de ello diciendo: “nuestros medidores no requieren calibración”. En otras, en donde se es medianamente consciente, se piensa en un programa de calibración periódica, pero aún viene a la mente, más gasto que beneficio. Estas convicciones ponen en grave riesgo la confiabilidad de los resultados emitidos. No basta con realizar la calibración inicial, los cuidados de un equipo calibrado deben ser extremos, cualquier incidencia puede variar los resultados obtenidos. Está demostrado que con el simple paso del tiempo los medidores pueden presentar desviaciones [5] , es decir, lo que verdaderamente ingresa puede ser significativamente diferente a lo registrado por el medidor.

Las características de desempeño metrológico que inciden directamente sobre los diferentes tipos de tecnologías utilizadas para medir el volumen o caudal de gases son: el error⁷ y la repetibilidad⁸. Estas son especificadas en normativas de referencia asociadas a organismos internacionalmente reconocidos como AGA, ISO, ANSI y OIML entre otros. En la Tabla 1 se presentan los límites de error establecidos por algunas de las normativas mencionadas anteriormente según el tipo de medidor.

Los sistemas de medición poseen diferentes exigencias de acuerdo al tipo de proceso que se está llevando a cabo. En Colombia, para procesos de transferencia de custodia la CREG¹⁰, estableció el control sobre “los márgenes de error en la medición”, para

Tecnología	Intervalo de medición				REF
	Qmin≤Q<Qt		Qt≤Q≤Qmax		
	Nuevo	Servicio	Nuevo	Servicio	
Diafragma	±3%	-6%, +3%	±1,5%	±3%	NTC 2728[6]
	±3%	±6%	±1,5%	±3%	OIML 137-1[7]
	±2%	±2%	±1%	±1%	ANSI B109.1[8] ANSI B109.2[9]
Rotativo	±1%	±1%	*	*	ANSI B109.3[10]
Turbina	±1,5%	±1,5%	±1%	±1%	AGA 7[11]
	±2%	±2%	±1%	±1%	ISO 9951[12]
Másico	*	±1,5%	*	±1%	AGA 11[13]
Ultrasónico	±1,4%	±1,4%	±1%	±1%	AGA 9[14]

Tabla 1 Límites de Error normativos⁹.

⁶El VIM define incertidumbre como el parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

⁷Se define error, según el VIM a la diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

⁸Se define repetibilidad, según el VIM como la condición de medición, dentro de un conjunto de mediciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones

de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un corto periodo de tiempo.

⁹Tecnologías como cámaras húmedas, caudalímetros y flujómetros no fueron presentadas en la tabla, debido a que estas generalmente tienen como referencia los límites estipulados por los fabricantes.

¹⁰Comisión de Regulación de Energía y Gas, aplicable para Colombia.

¹¹Reglamento Único de Transporte de Gas para Colombia[4] .

ello el RUT¹¹ especifica un margen de error máximo permisible del 1,0% en los equipos involucrados en la medición de variables de proceso. Si los equipos se encuentran por fuera de este límite, la medición se considera inexacta y los equipos deben ser ajustados con una exactitud acorde a los márgenes de error establecidos. También se establece un control sobre el error combinado de los equipos involucrados en la medición, si esto afecta el volumen medido, con una desviación permisible de $\pm 1,0\%$.

Por otra parte, las empresas que desarrollan procesos productivos, investigación o desarrollo y que pretenden ser competitivas en su entorno, siempre buscan que su sistema de aseguramiento de la calidad esté certificado bajo normas como la ISO 9000 o la ISO 17025; ahora bien, los laboratorios clínicos van un poco más allá y buscan certificación bajo la ISO 15189 (en Colombia la Norma Técnica NTC 5250), como lo referencia el ICONTEC¹²[15] [5]. Para todas ellas, sea cual sea la norma que aplique, siempre lleva consigo el requisito de aseguramiento metrológico.

El aseguramiento metrológico establece entre otros aspectos periodos de calibración que permiten conocer el error del medidor, la repetibilidad y un estimado de la incertidumbre asociada a la cadena de trazabilidad y al desempeño metrológico propio del medidor (repetibilidad), de esta forma facilita la toma de decisiones y reduce las pérdidas económicas derivadas de mediciones deficientes. Por otro lado, se garantiza que los equipos estén operando dentro de los límites permisibles, cumpliendo con las normativas aplicables y con los requisitos de calidad de proceso.

A continuación se presentan dos ejemplos en los cuales se puede ver la importancia de realizar aseguramiento metrológico en los equipos involucrados en procesos de medición de gases y los beneficios que esto trae asociado.

2.1 EJEMPLO 1: MEDICIÓN A BAJOS Y MEDIANOS CAUDALES

Caso: Un reconocido Centro Médico suministra oxígeno medicinal a pacientes con dificultades respiratorias. El equipo para suministrar el gas posee un caudalímetro utilizado para succionar el aire del medio ambiente y mezclarlo con el oxígeno en proporciones adecuadas¹³.

¹²Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

¹³Generalmente se suministran porcentajes de oxígeno del 24 - 28% (3 - 6 L/min), si el paciente tiene antecedentes de insuficiencia respiratoria crónica y de 40 - 50% (12 - 15 L/min) para casos de patología cardíaca y asma[18].

¹⁴Verificaciones realizadas a diferentes caudalímetros han evidenciado errores de hasta $\pm 25\%$ en la lectura de caudal[16].

¹⁵El ejemplo supone que se presenta el error máximo permisible estipulado por el fabricante de $\pm 5\%$, pero puede llegar a ser mayor.

¹⁶Según ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation), la competencia técnica de un laboratorio depende de un número de factores incluyendo: calificaciones, entrenamiento y experiencia del personal, equipo apropiado - calibrado y mantenido correctamente, procedimientos adecuados de aseguramiento de la calidad, métodos y procedimientos de pruebas válidos y apropiados, trazabilidad de la medición a normas nacionales y/o internacionales, procedimientos apropiados para reportar y registrar resultados y facilidades apropiadas para efectuar pruebas.

¹⁷Se toma una equivalencia de US\$1 como \$2000 pesos colombianos.

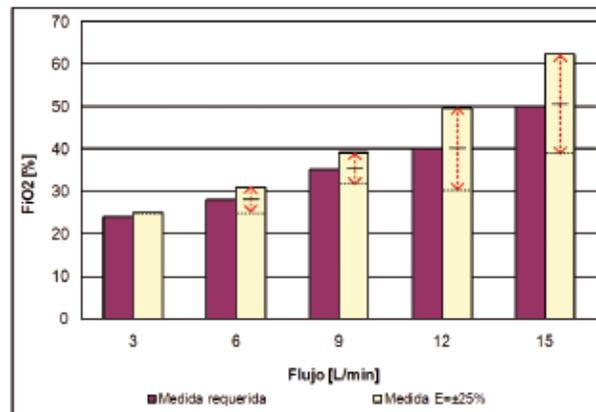


Figura 1 Suministro de FiO₂ – Diferencia entre las mediciones del caudalímetro sin calibrar¹⁵ y calibrado.

Problema: El caudalímetro no ha sido calibrado. Se pone en grave riesgo la salud de los pacientes debido a que se desconoce la exactitud real del equipo; según el proveedor esta puede llegar a ser de $\pm 5\%$ ¹⁴.

Consecuencias: El oxígeno, como cualquier medicamento debe ser suministrado en dosis exactas. El suministro de dosis que contienen altas concentraciones de oxígeno (superiores al 50%) en tiempos prolongados pueden provocar deficiencias respiratorias[17].

Solución: Calibración periódica del medidor en un laboratorio acreditado o competente¹⁶ que brinde trazabilidad y un nivel de incertidumbre adecuado para el proceso.

Costo de la solución: La calibración en un laboratorio nacional que opera a condiciones cercanas a las atmosféricas puede llegar a costar alrededor de \$500.000 pesos colombianos (US\$250¹⁷) para este tipo de medidores.

Resultado de la solución: Se conoce el estado metrológico del medidor (Error e incertidumbre). El caudalímetro puede ser ajustado dentro de la exactitud especificada por el fabricante.

Conclusión: Seguridad y confianza en las mediciones, disminución de riesgos, tanto para el paciente como para el centro médico, gracias a que la dosis suministrada es la adecuada para cada tratamiento.

2.2 EJEMPLO 2: MEDICIÓN A ALTOS CAUDALES

Caso: Facturación para un consumidor industrial que maneja 1'500.000m³ por mes. Una empresa XX adquirió un medidor tipo turbina con calibración en un laboratorio extranjero reconocido, Error=0,01% con U=0,12% para el intervalo de operación.

Costos asociado al consumo: \$584,64 pesos por m³, es decir \$876'960.000 por mes (US\$438.000/mes).



Figura 2 Incremento del error de un medidor con el paso del tiempo.

Normativa aplicable: Reglamento Único de Transporte – RUT. Límite Error máximo permitido=±1,0%, referenciado al AGA 7.

Problema: No se cuenta con un adecuado programa de aseguramiento metrológico. El medidor utilizado no ha sido calibrado después de su adquisición hace más de 5 años. Al calibrarlo se detectó un error de -1,5%. (Ver figura 2)

Consecuencias: Pérdida estimada en \$157'852.800 de pesos por año (US\$78.925/año). El proceso de transferencia de custodia se puede ver deteriorado por el continuo desbalance en la medición. El medidor se encuentra fuera del límite permisible por la normativa poniendo en riesgo el suministro por parte del remitente.

Solución: Calibración periódica del medidor¹⁸ en un laboratorio reconocido que brinde trazabilidad y un nivel de incertidumbre adecuado para el proceso.

Costo de la solución: La calibración en un laboratorio nacional que opera a condiciones cercanas a las atmosféricas puede llegar a costar alrededor de \$4'000.000 de pesos (US\$2000). La pérdida máxima asociada a la incertidumbre (0,2% k=2) sería de \$21'047.040 pesos por año. (US\$10.523/año).

Resultado de la solución: Se conoce el estado metrológico del medidor (Error, repetibilidad e incertidumbre).

Conclusión: Si a la pérdida estimada inicialmente, se le restan las pérdidas asociadas a la incertidumbre y el costo anual de la calibración podemos hablar de \$134'805.760 pesos ahorrados por año (US\$67.400/año), además de la confianza, transparencia de la medición y el cumplimiento de las normativas y regulaciones aplicables.

Debe quedar claro que el error puede ser corregido, pero la incertidumbre no; esta última debe ser el principal punto de atención en los procesos de medición, entre más baja sea la incertidumbre asociada a una medición menor es el riesgo asumido en producción, balances, pérdidas, eficiencia, etc. Por lo anterior se hace importante que a nivel nacional se cuente con in-

fraestructura metrológica que permita llevar a cabo la calibración de medidores con niveles de incertidumbre adecuados para cada proceso [19] .

3 INFRAESTRUCTURA METROLÓGICA AL ALCANCE DE SUS NECESIDADES.

El estudio prospectivo realizado por el CDT de GAS a finales del año 2002 [20] [15] , tuvo como objetivo principal identificar el plan de desarrollo tecnológico para el sector gas en Colombia; en esa época ya se tenía la noción de la exactitud para procesos de transferencia de custodia o contrato de propiedad. Según este documento, centros de investigación nacional estudiaban la posibilidad de desarrollar proyectos que involucraban infraestructura para la calibración de medidores de gas a bajo caudal, orientados a prestar servicios que garantizaran exactitud en la medición. El CDT de GAS apoyaba este proceso gracias a que en este año, ya contaba con un (1) patrón primario tipo campana gasométrica y tres (3) patrones secundarios tipo cámara húmeda que le permitían apoyar los procesos nacionales mediante la calibración de medidores de gas a bajo caudal (0,016m³/h a 25 m³/h).

La Corporación CDT de GAS fue un paso adelante, e inició un estudio de factibilidad técnica y económica para el desarrollo de la totalidad de la infraestructura requerida en Colombia para asegurar las mediciones de volumen y caudal de gases, incluyendo patrones para la calibración de medidores de gas a bajo, medio y alto caudal. De esta forma, y con apoyo del Estado a través de las convocatorias abiertas por COLCIENCIAS-SENA, en una primera fase se desarrolló la infraestructura metrológica para la calibración de medidores hasta un alcance máximo de 250 m³/h.

Desde entonces y durante siete (7) años, con la colaboración de asociados tecnológicos nacionales e internacionales, se emprendió el desarrollo de la Infraestructura provista de patrones primarios y bancos de calibración con patrones secundarios necesarios para brindar trazabilidad en flujo de gases a los diferentes sectores de la economía nacional, y en razón a la transversalidad de la metrología se logró consolidar un proceso global e integral que ha permitido el posicionamiento de Colombia en el entorno internacional, destacándose que la infraestructura disponible se encuentra a la par de la existente en Brasil y Argentina actualmente. En la Figura 3 se aprecia el plan de acción y los logros obtenidos.

Como es evidente, el plan de acción se desarrolla desde el año 2000 y tiene vigencia hasta el año 2013. Se destaca el acercamiento del proceso con el marco normativo nacional e internacional, el cual dio inicio con la comprensión conceptual de los fenómenos que afectan la medición, y a la fecha se concreta un Centro de Desarrollo especializado en la búsqueda de Soluciones Tecnológicas a partir de las necesidades de la sociedad. Un análisis particular, se muestra a continuación.

¹⁸Para el ejemplo, se consideró una calibración cada dos años

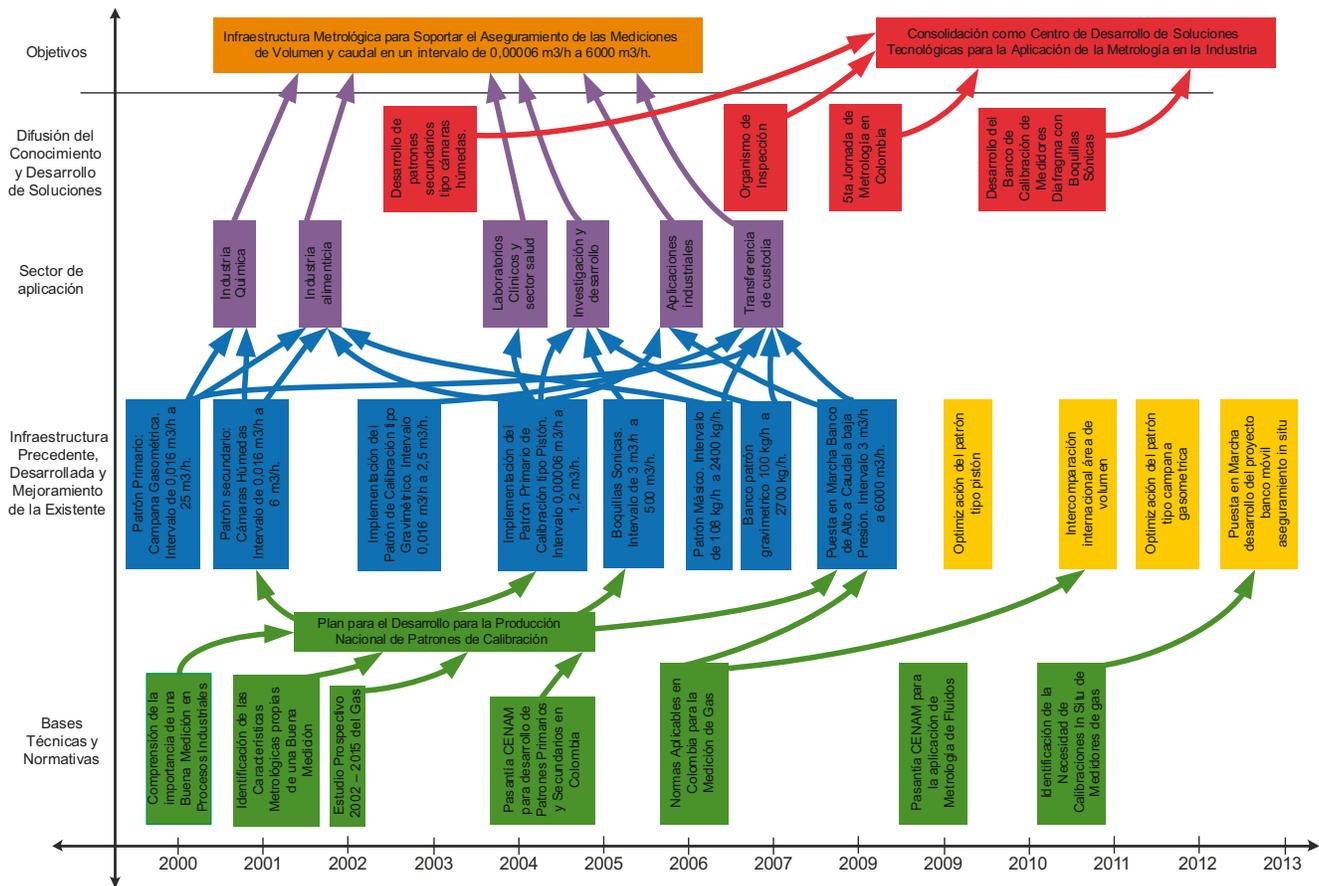


Figura 3 Consolidación de la infraestructura en el CDT de GAS.

3.1 BASES TÉCNICAS Y NORMATIVAS

El CDT de GAS inició un proceso de apropiación y generación de conocimiento a partir del estudio de las tecnologías de medición y los principios de calibración disponibles en los principales países líderes en medición de fluidos, además del estudio de las normativas aplicables a los sectores relacionados con la medición de gases. Gracias a las buenas relaciones establecidas con el Centro Nacional de Metrología de México CENAM¹⁹ y con el IPT²⁰, el CDT de GAS ha fomentado el conocimiento de sus profesionales a través de pasantías internacionales que han servido para afianzar conocimientos y compartir experiencias en relación a situaciones encontradas durante el desarrollo de su infraestructura metrológica y en la prestación de los servicios tecnológicos. Hoy en día cuenta con el personal competente que le ha permitido consolidar su infraestructura metrológica en beneficio de la medición de gases en Colombia.

Un aspecto que debe ser resaltado es la gran diferencia que existe entre adquirir infraestructura y desarrollarla. Con la adquisición es probable que se resuelva la necesidad, pero el know-how se queda en manos de terceros, y como consecuencia se inicia una dependencia tecnológica que estanca el desarrollo nacional. El desarrollo propio de patrones –tal como lo viene haciendo el KRIS²¹ de Corea- trae consigo la

¹⁹Centro Nacional de Metrología - México

²⁰Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Brasil.

²¹Korea Research Institute of Standards and Science

apropiación de conocimiento relacionado con la mecánica de fluidos, fenómenos de flujo, instrumentación y control, métodos numéricos, diseño e innovación en procesos de manufactura, y otras tantas áreas que soportan el desarrollo de este tipo de patrones y bancos de calibración.

3.2 INFRAESTRUCTURA DESARROLLADA

En el 2003, se desarrolló el patrón tipo gravimétrico por aspiración, con el cual se logró disminuir la incertidumbre a bajos caudales en comparación a las obtenidas con los patrones tipo cámara húmeda con los que contaba la Corporación. Con base en estudios sobre la tecnología de medición tipo cámara húmeda, se desarrolló el primer producto tecnológico: un patrón secundario tipo cámara húmeda, el cual hoy es comercializado en Colombia, Perú y Ecuador. Este producto integró la fabricación y el ensamble de todos los componentes mecánicos con el apoyo de la industria metalmeccánica local, con lo cual se comprobó que se podían realizar innovaciones tecnológicas de este tipo en Colombia.

En el 2004 se desarrolló el banco de calibración con patrones tipo boquillas sónicas, con el cual se lograba, en ese momento, ampliar el intervalo de calibración al doble de la capacidad con que contaba el país, pero lo más importante es que se inició la apropiación de conocimiento en fenómenos relacionados con flujo crítico. Paralelo a este desarrollo y debido al rápido

avance del Gas Natural Vehicular (GNV) en Colombia, se iniciaron estudios acerca de la tecnología de medición tipo coriolis (medidores másicos). Como parte del estudio, se adquirió un patrón másico y se integró a un sistema de automatización y control, conformando un patrón de referencia para la calibración de surtidores de GNV. Gracias al conocimiento adquirido en el perfeccionamiento del patrón gravimétrico, se desarrolló un banco de calibración que opera con este principio y que permite la calibración de esta tecnología de medición.

Hacia finales de ese mismo año, se presentó como novedad el desarrollo del primer patrón primario tipo pistón orientado a la calibración de medidores de gases a bajo caudal. La industria regional mostró su po-

tencial en la manufactura de componentes mecánicos con alto grado de precisión y ajuste dimensional; su desarrollo involucró el conocimiento de nuevos materiales y la integración de software para la automatización de todo el proceso de calibración.

En el año 2008 se culminó el desarrollo del banco de alto caudal, el cual utiliza patrones tipo turbina y rotativo (inclusive se está integrando actualmente un patrón tipo ultrasónico de última tecnología), y fue diseñado con el firme propósito de convertirse en la primera facilidad desarrollada en Colombia, para estudiar los fenómenos de flujo que afectan las mediciones. Esta facilidad permitió acumular conocimiento y aplicarlo para el diseño y construcción de termopozos, platinas de orificio, placas restrictoras de flujo, acondiciona-

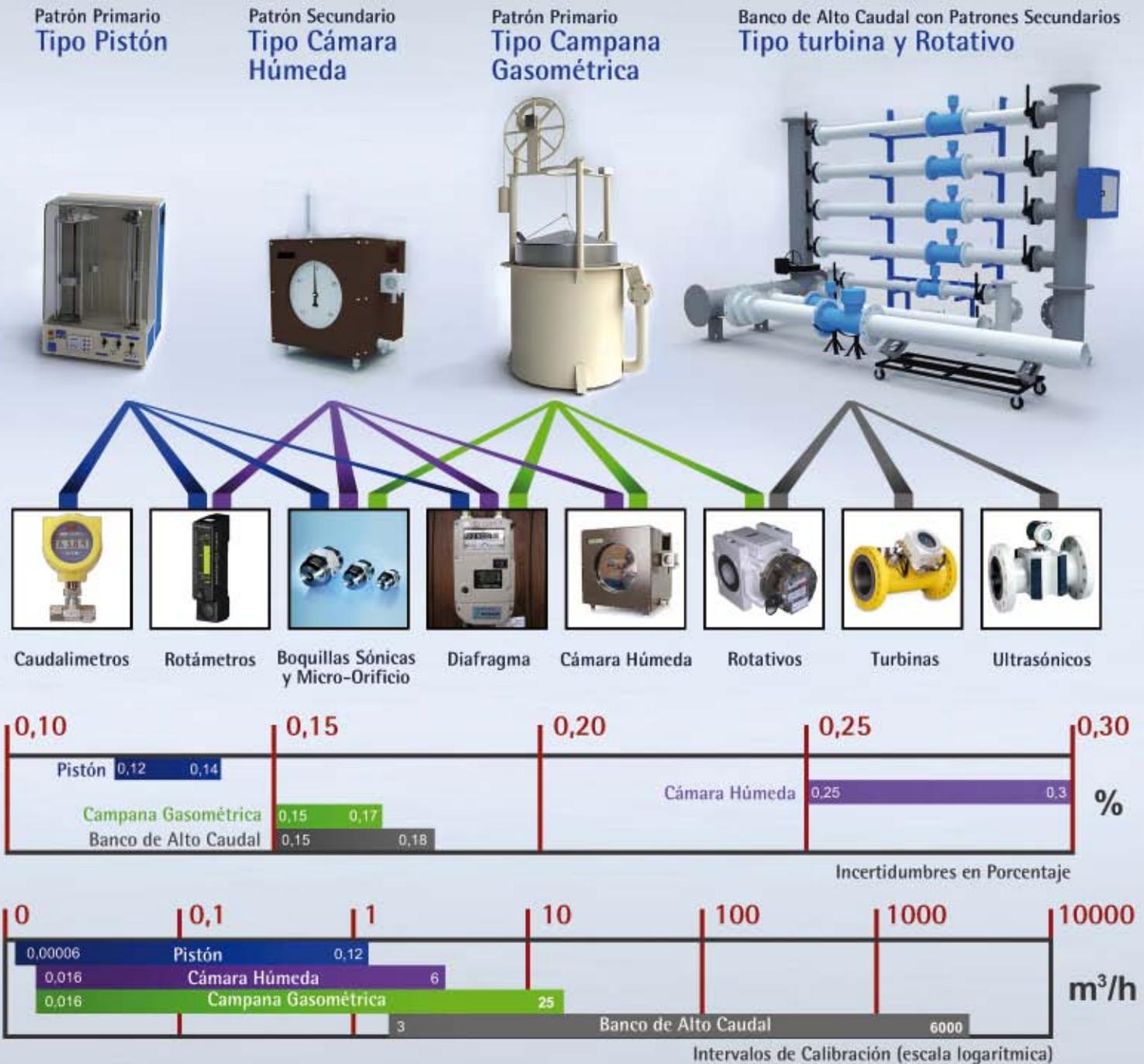


Figura 4 Capacidad metrológica para la Calibración de medidores de Volumen en el CDT de GAS.

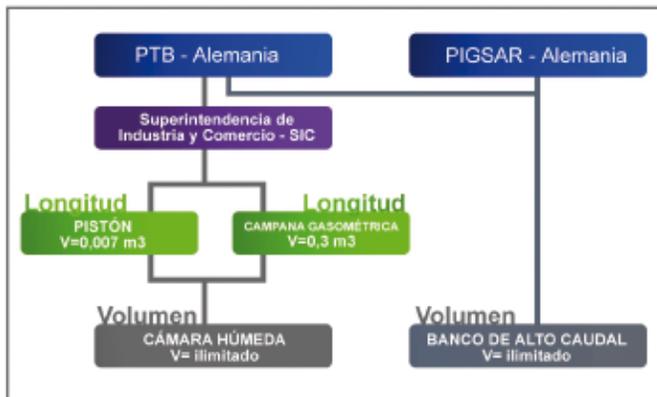


Figura 5 Trazabilidad de las mediciones en Volumen del CDT de GAS.

res de flujo para montaje entre bridas, y últimamente los tubos de medición con lo cual se dio un gran paso para la oferta de Skid de Medición para procesos operativos comunes y/o para transferencia de custodia de líquidos y gases dando cumplimiento a los parámetros establecidos en los estándares de referencia y en la regulación vigente.

Una descripción del trabajo realizado puede verse en la Figura 4, en donde se presentan los patrones y bancos de calibración que integran la infraestructura metrológica del CDT de GAS y los diferentes tipos de tecnologías que pueden ser calibradas con cada uno de ellos. Se incluyen dos escalas: una presenta los intervalos de operación y la otra la incertidumbre típica que puede obtenerse con cada uno de estos patrones.

Como resultado de todo este proceso, la Corporación CDT de GAS en la actualidad, posee facilidades tecnológicas para el aseguramiento de las mediciones de flujo y volumen de gases con un intervalo de calibración amplio (0,00006 m³/h hasta los 6000 m³/h), con niveles de incertidumbre adecuados a los procesos de la industria o transferencia de custodia y con infraestructura de calibración trazable a patrones nacionales e internacionales.

En la Figura 5 se muestra la carta de trazabilidad de las mediciones en volumen del CDT de GAS. Como se puede observar, los patrones primarios tipo pistón y campana gasométrica son calibrados por método dimensional conocido como “strapping” [21], los instrumentos de medición utilizados en este proceso tienen trazabilidad a patrones dimensionales de la SIC²² y al PTB²³ de Alemania. Los patrones secundarios tipo cámara húmeda son calibrados a su vez, con los patrones tipo campana gasométrica y tipo pistón del CDT de GAS, siguiendo la cadena de trazabilidad a la SIC y al PTB. Los patrones tipo turbina y rotativo del banco de alto caudal, tienen trazabilidad a los patrones de volumen del PTB y PIGSAR²⁴.

El siguiente paso tecnológico está orientado a crear la

²²Superintendencia de Industria y Comercio.

²³Physikalisch Technischen Bundesanstalt.

²⁴German High-Pressure National Standard

infraestructura requerida para satisfacer las necesidades in-situ; es decir trasladar los equipos de medida y los profesionales competentes hasta los procesos. En síntesis el proyecto tiene como meta conjugar toda la infraestructura disponible en un laboratorio móvil que llegue directamente a solventar dichas necesidades y permita el aseguramiento de las mediciones.

3.3 FACILIDADES, TECNOLOGÍAS Y SECTORES DE APLICACIÓN

El patrón tipo pistón (ver Figura 3 y 4) permite realizar el aseguramiento metrológico de diferentes equipos de medición como por ejemplo: micro-orificios o venturis, los cuales son utilizados como medidores de flujo de aire para el monitoreo ambiental, en aplicaciones medicinales o en la industria automotriz en donde se utiliza para realizar la medición del flujo de aire inductor; los caudalímetros son utilizados para la medición de gases en múltiples aplicaciones de las industrias químicas y alimenticias.

El patrón tipo cámara húmeda puede realizar la calibración de caudalímetros y rotámetros y gracias a la diversidad de materiales con que son construidas pueden ser utilizadas en la medición de caudal en procesos corrosivos, sanitarios y en la industria alimenticia. También permite la calibración de medidores tipo diafragma G1.6 utilizados para la medición de gas natural residencial.

El patrón primario tipo campana gasométrica se concibe dentro del CDT de GAS como el Patrón de Referencia para Colombia por sus características especiales. En sus principios y debido a la escasa disponibilidad de patrones fue utilizado para la calibración de cámaras húmedas y boquillas sónicas, e inclusive para la calibración de medidores tipo diafragma, desde G1.6 hasta G6.0, los cuales generalmente se encuentran en aplicaciones industriales como calentadores, hornos y marmitas.

El banco patrón tipo gravimétrico permite la calibración de medidores tipo coriolis, los cuales son utilizados en estaciones de servicio para realizar la medición de gas natural, gasolina y diesel. También son muy utilizados para medir aceites, aditivos, comprimidos y licuados, pinturas, colorantes, entre otras aplicaciones y desde luego en procesos de transferencia de custodia de líquidos o gases.

El banco de alto caudal permite realizar el aseguramiento metrológico de medidores rotativos, turbinas y ultrasónicos (con acople a baja presión), medidores que generalmente son utilizados en procesos de transferencia de custodia. Los medidores rotativos son muy utilizados en la industria química y en aplicaciones industriales y con gran asiduidad para la medición de gas natural y GLP.

Igualmente el CDT de GAS cuenta con un laboratorio de metrología dimensional que permite realizar la verificación dimensional de placas de orificio, teniendo

en cuenta la normativa aplicable (AGA 3), tubos de medición, placas restrictoras y en general elementos similares asociados a estos procesos, brindando una alternativa a la industria colombiana.

3.4 DIFUSIÓN DE CONOCIMIENTO Y DESARROLLO DE APLICACIONES

El CDT de GAS tiene muy claro que el eje estratégico para su desarrollo y el de la industria es la difusión del conocimiento; de nada serviría tener la mejor infraestructura metrológica encerrada en una caja negra que solo aporte a la industria resultados emitidos en certificados de calibración. El CDT de GAS tiene las puertas abiertas a la industria nacional que desee optimizar sus procesos de medición de fluidos en general, brindando el apoyo tecnológico y poniendo a su servicio la infraestructura desarrollada y el conocimiento adquirido en materia de metrología aplicada.

4 CONCLUSIONES

- Los primeros esfuerzos de la Corporación CDT de GAS por satisfacer una necesidad imperativa para el progreso, han dado como resultado la consolidación de un laboratorio que permite brindar trazabilidad a las mediciones y facilitar la identificación de los niveles de exactitud de los equipos involucrados, dotando a Colombia de una herramienta valiosa, en la constante búsqueda de la transparencia de las mediciones y efectividad de procesos.
- El proceso de calibración con patrones que ofrezcan trazabilidad y bajos niveles de incertidumbre, permiten el cumplimiento de las regulaciones aplicables a los diferentes tipos de tecnologías.
- En un buen programa de aseguramiento metrológico se deben establecer periodos de calibración que permitan conocer el estado metrológico de los equipos, de esta manera lograr transparencia en las mediciones realizadas reduciendo al máximo las consecuencias ocasionadas por una mala medición y permitiendo a su vez, la toma de decisiones que permitan el mejoramiento continuo de la calidad en los procesos.
- El medidor es uno de los equipos que puede ocasionar error en la medición; igualmente lo son otros equipos asociados que deben ser controlados, es el caso de los instrumentos de presión, de temperatura, e inclusive aquellos utilizados para determinar las propiedades del gas. En otro documento, se tratarán a fondo aspectos en los cuales se demuestra que el CDT de GAS ha fortalecido su infraestructura metrológica y que también cuenta con laboratorios de manometría, termometría, señales eléctricas y calidad del gas, que fomentan la correcta medición de los gases.
- Existe en Colombia una infraestructura metrológi-

ca con cadenas de trazabilidad claras y definidas que pueden sustentar la buena actitud en cultura de medición, para la formación de una sociedad que busca el desarrollo y la mayor productividad.

- El desarrollo de conocimiento logrado por el CDT de GAS, es comparable con el de algunos países iberoamericanos que antes servían de referencia. Es por ello que el CDT de GAS se encuentra en proceso de formación de personal a nivel de maestrías y doctorados, con los cuales se espera el desarrollo y la ampliación de sus campos de aplicación.

5 REFERENCIAS

- [1] Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). 1ra edición en español – 2008.
- [2] FLEGEL, Damian. “¿Why Calibrate Custody Transfer Meters?”. Pipeline & Gas Journal. 2001. http://findarticles.com/p/articles/mi_m3251/is_7_228/ain25035482/
- [3] Organización panamericana de la Salud – “Cuidado con la anestesia, puede causar la muerte”. <http://www.ops.org.bo/servicios/?DB=B&S11=3210&SE=SN>
- [4] Resolución No. 071 de 1999 “Reglamento Único de Transporte de Gas Natural”, CREG.
- [5] COOMET Project N° 219/Sk – 00/B. “Final Report Level B” - 2007.
- [6] NTC 2728 (2005-06-29) “Medidores de Gas Tipo Diafragma”.
- [7] OIML R137 1 – 2006 “Medidores de Gas” Parte 1 – Requisitos.
- [8] ANSI B109.1 - 2000 “Diaphragm-Type Gas Displacement Meters (Under 500 Cubic Feet Per Hour Capacity)”
- [9] ANSI B109.2 - 2000 “Diaphragm-Type Gas Displacement Meters (500 Cubic Feet Per Hour Capacity and Over)”
- [10] ANSI B109.3 - 2000 “Rotary-Type Gas Displacement Meters”
- [11] AGA-7 Report “Measurement of Natural Gas by Turbine Meter” - 2006).
- [12] ISO 9951 “Measurement of Gas Flow in Closed Conduits – Turbine Meters” - 1993.
- [13] AGA-11 Report “Measurement of Natural Gas by Coriolis Meter” - 2003
- [14] AGA-9 Report “Measurement of Gas by Multipath Ultrasonic Meter” - 2007).
- [15] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. <http://www.icontec.org/Catalogo/G/gtc%20135/gtc%20135.asp?CodIdioma=ESP>
- [16] KADUR, Diego. “Evaluación y Optimización del Consumo de Oxígeno en una Institución de Salud”. <http://www.cam-mantenimiento.com.ar/down.php?id=22>
- [17] GIL, María. “Oxigenoterapia” <http://www.eccpn.aibarra.org/temario/seccion5/capitulo94/capitulo94.htm>
- [18] BOTELLO, Carolina. “Oxigenoterapia: Administración en Situaciones de Hipoxia Aguda”. <http://www.fisterra.com/material/tecnicas/oxigenoterapia/oxi.asp>
- [19] GARCÍA, Luis Eduardo – FUENTES, José Augusto. “Incertidumbre para la toma de decisiones gerenciales”. 5ª Jornada Técnica Internacional de Medición de Fluidos – 2008.
- [20] CDT DE GAS - “Prospectiva Tecnológica del Sector Gas en Colombia” - 2002.
- [21] NIST Special publication 250-49. “NIST Calibration Services for Gas Flow Meter – Piston Prover and Bell Prover Gas flow facilities” - 1998.