

MET&FLU

Ciencia - Tecnología - Innovación

Automatización del proceso de calibración y caracterización de bloques secos

Publicación anual de la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas



Corporación CDT de GAS
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS

Tabla

De Contenido

04 | Editorial

06 | Automatización del proceso de calibración
y caracterización de bloques secos

18 | Aplicativo de gestión web para el control
metrológico de sistemas de medición

34 | Comparación del caudal a través de los
capilares del dispositivo generador de trazas

Met&Flu (ISSN: 2145-5716) es una revista con periodicidad anual editada por la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de Gas), que presenta resultados de trabajos investigativos originales, escritos de revisión y artículos de reflexión relacionados con ciencia, tecnología, innovación, regulación y normatividad, y está orientada tanto a los sectores académico y científico como al sector industrial.

Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas.

*Sede Administrativa: Carrera 23 # 106-08, Bucaramanga, (57) +7 6915244 / 6915493. Laboratorios: Parque Tecnológico UIS Guatiguará, Piedecuesta, (57) +7 6543800 / 6542266.
<http://www.cdtdegas.com>*

Descargo de responsabilidad: Las afirmaciones y opiniones que aparecen en Met&Flu son exclusiva responsabilidad de los respectivos autores, y la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas no se hace responsable por ellas. Ni el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, ni el Comité Editorial, ni los Revisores, pueden ser responsabilizados por errores o cualquier consecuencia producto del uso de la información contenida en esta publicación.

Sitio de la revista:

<http://www.cdtdegas.com/index.php/met-flu/nuestrarevista>



EDITOR GENERAL /

Carlos Eduardo García Sánchez, Ph.D.

Líder del Área de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CDT de Gas

Comité Editorial/

Henry Abril Blanco

Director - CDT de Gas

Jose Augusto Fuentes Osorio

Gestor Técnico - CDT de Gas

Luis Eduardo García Sánchez

Gerente - Inline Fluid Systems

Arlex Chaves Guerrero, Ph.D.

Docente e Investigador - Universidad Industrial de Santander

Juan Manuel Ortiz Afanador

Gerente - Polygon Energy

Dionisio Antonio Laverde Cataño, Ph. D.

Docente e Investigador - Universidad Industrial de Santander

Diseñador/

Leonardo Manzano Paredes

Diseñador Industrial

Editorial

Con motivo del lanzamiento reciente de una nueva "Misión de Sabios", que busca en un plazo de 9 meses generar documentos que orienten las decisiones que debe tomar Colombia en materia de ciencia, tecnología e innovación (CTel), vale la pena revisar qué sucedió con las recomendaciones que realizó la Misión Ciencia, Educación y Desarrollo, informalmente conocida como Misión de Sabios, de 1994 [1]. En 2015 un grupo de investigadores, entre los que se encontraban varios de los integrantes de la Misión de Sabios original, publicó bajo edición del Instituto de Estudios del Ministerio Público un análisis con motivo de los 20 años de dicha Misión [2]. No es el objetivo del presente escrito resumir el detallado análisis incluido en la referencia mencionada, pero sí mostrar unas pocas conclusiones de la misma, y complementarlas con algunos otros cambios posteriores en la gestión de la CTel en el país.

En términos generales, se puede concluir que el país avanzó de acuerdo a las recomendaciones expedidas por la Misión de Sabios, pero de manera insuficiente en todos los aspectos. A continuación se muestran comparaciones entre algunas de las principales recomendaciones hechas por la Misión y lo realmente acontecido en el país:

- La Misión recomendó fortalecer al Sistema de Ciencia y Tecnología, y a Colciencias. Respecto al Sistema, se ha modificado a lo largo de los años fusionándolo con otras estructuras, siendo hoy en día el Sistema Nacional de Competitividad, Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCCTel). Sin embargo, la expresión SNCCTel se ha convertido simplemente en una forma de mencionar colectivamente a los actores de competitividad y CTel, sin haberse establecido realmente como algún tipo de estructura que contribuya a

coordinarlos. En cuanto a Colciencias, su presupuesto ha sufrido constantes oscilaciones en los diferentes años de los varios gobiernos, dejando claro que ninguno de ellos ha mantenido una verdadera apuesta por la CTel en el país. En relación a su estructura, en 2009 fue transformado en Departamento Administrativo, y recientemente se ha aprobado su conversión en ministerio, aunque dejando claro que no se incrementará su presupuesto. En cada una de estas transformaciones parte de los actores del SNCCTel han manifestado temores respecto a la disminución de la independencia de la institución.

- La Misión recomendó incrementar la inversión en investigación y desarrollo (I+D) hasta un 2% del PIB. El panorama que se aprecia en este aspecto es desalentador; se puede considerar que la inversión en I+D se encuentra estancada desde hace más de 20 años, representando un 0,2% del PIB, que crece a un 0,5% si se incluyen algunas otras actividades complementarias a CTel en el cálculo. En cualquier caso, la realidad está muy por debajo de la recomendación de la Misión. Otras consecuencias relacionadas han sido el desarrollo de una tendencia a menospreciar las investigaciones básicas y aplicadas, y un limitado avance respecto a la protección y aprovechamiento económico de la propiedad intelectual, a pesar de que el incremento en el número de publicaciones (que es una medida de la generación de nuevo conocimiento) no ha sido tan malo, considerando el número de investigadores activos.
- La Misión recomendó lograr una base de investigadores con doctorado en Colombia de 8000 personas en el año 2004. Datos del 2012 mostraban que 18 años después aún no se había alcanzado la meta, contabilizándose algo más de 7000 investigadores con doctorado en ese año.

[1] Aldana E, Chaparro LF, García Márquez G, Gutiérrez R, Llinás R, Patarroyo ME, Posada E, Restrepo A y Vasco CE. 1994. Colombia al filo de la Oportunidad - Informe conjunto de la Misión Ciencia, Educación y Desarrollo. República de Colombia.

[2] Aldana E, Chaparro F, Posada Flórez E, Restrepo A, Vasco CE, Villaveces Niño MP. 2015. Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo - Balance 20 años después. Instituto de Estudios del Ministerio Público de la Procuraduría General de la Nación, Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia.

- La Misión recomendó crear 60 centros de investigación y desarrollo tecnológico que absorbieran 3600 investigadores en 10 años, incluyendo centros dedicados a la investigación aplicada y el apoyo a la industria en un sector particular. En 2014, 20 años después de la Misión, se encontraban reconocidos 57 centros de investigación o desarrollo tecnológico, aunque con un número de investigadores mucho más bajo que el mencionado en la recomendación. Esto se debe a que desde hace varios años el apoyo que reciben estos Centros por parte del Estado es prácticamente nulo, lo que los obliga a priorizar los proyectos sobre la investigación para ser autosostenibles, y también ha ocasionado que varios de ellos hayan desaparecido. En el documento de balance de la Misión que se está referenciando en el presente escrito, se considera que se requeriría un apoyo sostenido de al menos 30 % de los costos de funcionamiento de los centros autónomos para no poner en riesgo su capacidad investigativa.

Para mencionar un par de recomendaciones que condujeron a resultados muy positivos, podría mencionarse la necesidad de contar con indicadores de la actividad científica, que dio origen al Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología en 1994 y sigue activo, y la recomendación relacionada con la creación de programas nacionales de maestría y doctorado en ciencias e ingenierías, que ha conducido al establecimiento de una capacidad instalada en el territorio nacional para formación de personal de alto nivel. Por ejemplo, los programas de doctorado nacionales pasaron de 10 en 1995, a 167 en 2012.

El panorama de resultados mixtos respecto a las recomendaciones de la Misión de Sabios de 1994, que se supone que orientarían las decisiones nacionales sobre CTel, refleja el principal problema estructural del país en la temática en cuestión: Colombia sigue careciendo de una verdadera política de Estado sobre CTel, quedando sometidos

todos sus actores y los avances que pueden generar a los vaivenes de las decisiones de los gobiernos de turno. Hay algunos avances estructurales importantes, como el esfuerzo de Colciencias creando la Política de Actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (fue creada antes de la adición de "Competitividad" al nombre del Sistema), que define a las diferentes entidades relacionadas con CTel en el país y establece las pautas para su reconocimiento. Pero al mismo tiempo, siguen presentándose cambios frecuentes, como la ya mencionada transformación de Colciencias en ministerio, o el cambio en la ejecución de los recursos del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías. Esta modificación se implementa desde 2019, y consiste en definir los proyectos en que se ejecutarán los recursos mencionados por medio de convocatorias públicas, con lo que se espera una mejor selección de los proyectos y una mayor inversión de los recursos de regalías para CTel.

De esta manera, la nueva Misión es una iniciativa interesante, y de hecho tiene una estructura más ambiciosa que aquella de 1994, contando con más integrantes y asignándolos en grupos para trabajar sobre diferentes temas. Sin embargo, indudablemente habrá una baja expectativa respecto a la implementación de las orientaciones que surjan, teniendo en cuenta lo acontecido con las recomendaciones de la Misión de Sabios de los años 90.



CARLOS EDUARDO GARCÍA SÁNCHEZ, PhD

Editor General
Revista **Met&Flu**

Automatización del proceso de calibración y caracterización de bloques secos

Laura Juliana Vargas Escobar¹, Christian Alexander Rovira Quijano^{2,*}

¹ Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana, km 7 vía Piedecuesta, Floridablanca, Colombia.

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

* crovira@cdtdegas.com

Abstract

The Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de Gas) carries out calibration processes for isothermal media of dry block temperature. Currently this activity is carried out manually, which generates a considerable operating cost. This process can be automated through the implementation of a computational tool that, in conjunction with the RS-232 serial communication available on the equipment, allows controlling the dry block and acquiring the temperature generated in said equipment. In this paper the results are presented with the development and development of the computer tool programmed in Excel Visual Basic for applications (VBA Excel), to achieve the automation of the calibration process. This article presents the methodology used, description of the process and verification of the validity of the results obtained.

Keywords: Automation, dry blocks, calibration, characterization, VBA Excel.



Resumen

La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas (CDT de Gas) realiza procesos de calibración de medios isotérmicos de temperatura tipo bloque seco. Actualmente dicha actividad es realizada manualmente, lo cual genera un costo operativo considerable. Este proceso puede ser automatizado mediante la implementación de una herramienta computacional que en conjunto con la comunicación serial RS-232 disponible en el equipo, permite controlar el bloque seco y adquirir las mediciones de temperatura generada en dicho equipo. En este trabajo se presenta los resultados obtenidos con el desarrollo e implementación de la herramienta computacional programada en Visual Basic for applications para Excel (VBA Excel), para lograr la automatización del proceso de calibración. El presente artículo presenta la metodología empleada, descripción del proceso y la verificación de la validez de resultados obtenidos.

Palabras clave: Automatización, bloques secos, calibración, caracterización, VBA Excel

1 Introducción

La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas (Corporación CDT de Gas) se especializa en procesos de metrología, investigación y desarrollo en el sector Gas. Entre los servicios que ofrece se encuentra la calibración [2] de medios isotérmicos de temperatura tipo bloque seco. De acuerdo con la guía de calibración número 13 de la European Association of National Metrology Institutes (EURAMET CG N°13) [4], el proceso se divide en dos etapas: caracterización y calibración. La caracterización consiste en determinar el comportamiento térmico de la zona de inserción, donde se controla la temperatura (uniformidad espacial y temporal). La calibración consiste en establecer la relación entre la temperatura generada (medida a partir de un sensor de temperatura patrón) en un lugar dado (zona de inserción con un volumen definido) y el valor de temperatura leído

en el indicador del bloque seco y es necesaria la caracterización previa del dispositivo, para asociar una incertidumbre a la calibración.

El proceso de calibración y caracterización de bloques secos requiere aproximadamente ocho horas, en este lapso un operario debe establecer puntos de evaluación de temperatura y hacer las mediciones correspondientes [3]. En caso que los errores de medida se encuentren fuera de especificaciones, el equipo debe ajustado y por consiguiente es necesario repetir el trabajo, por lo tanto, el proceso podría durar aproximadamente 16 horas de trabajo. En este tiempo el metrólogo no posee disponibilidad para otras actividades, a pesar de los intervalos de espera entre puntos de calibración. Con el objeto de aprovechar eficientemente el recurso humano, se han planteado alternativas que permitan que estas actividades puedan ser automatizadas y que el

funcionario se destine a actividades de mayor relevancia como el análisis de resultados.

Teniendo en cuenta lo anterior, se ejecutó un proyecto que consistió en desarrollar e implementar una herramienta computacional en Visual Basic for applications para Excel (VBA Excel) que, en conjunto con la comunicación serial RS-232, permite establecer, controlar y registrar de manera automática, los puntos de temperatura a evaluar en el bloque seco, logrando disminuir significativamente la intervención del operario. Durante la actividad se incluyó un proceso de confirmación el cual consiste en comparar los resultados del nuevo proceso de automatización contra el resultado obtenido con el procedimiento manual.

2 Metodología

La metodología empleada para el proceso de automatización consistió en cuatro etapas:

1. La descripción de los elementos: el dispositivo bloque seco y características que debe tener para ser calibrado automáticamente, el cable utilizado para comunicación con computador y por último especificación de la herramienta computacional.
2. Descripción del software y desarrollo del proceso de calibración (diagrama de flujo).
3. Proceso de calibración y

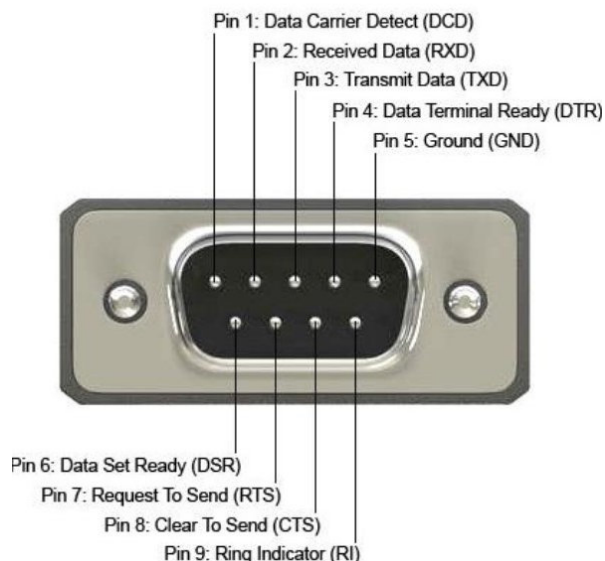


Figura 1. Terminales de conexión RS-232 [11].

caracterización manual y automática.

4. Confirmación de la validez de los resultados comparando la calibración en modo manual contra modo automático.

3 Descripción de los elementos

- Estándar de comunicación RS-232

Actualmente los equipos de medida, y en general diversos dispositivos electrónicos, poseen interfaces de comunicación que les permiten establecer comunicación con un computador con el fin de intercambiar información. Una interfaz hardware de comunicación comúnmente usada es la



Figura 2. Bloque seco PRESYS T-25N [9].

RS-232 [1]. El estándar RS-232 se aplica a las comunicaciones con velocidades iguales o menores a 20 kbps, con una longitud de cable igual o menor a 15 metros [5]. Esta interfaz de comunicación físicamente es un cable con 25 terminales de conexión; sin embargo, en algunos casos no se requiere de todos los terminales de conexión para establecer comunicación, por ejemplo, las comunicaciones asíncronas requieren un máximo de 9 o 12 conectores, y las comunicaciones síncronas requieren 12 o 16 conectores. Los equipos con los que cuenta la Corporación CDT de Gas poseen un conector RS-232 de 9 terminales. En la Figura 1 se muestra la

distribución de los terminales un conector RS-232 de 9 conectores.

- **Bloque seco**

En procesos industriales y en laboratorios es necesario un medio isotérmico para controlar la temperatura, uno de los equipos más usados es el bloque seco. El principio de funcionamiento del bloque seco está basado en el efecto Peltier. Este efecto es una propiedad termoeléctrica que consiste en la creación de una diferencia térmica a partir de una diferencia de potencial eléctrica. Ocurre cuando una corriente pasa a través de dos metales diferentes o semiconductores que están conectados entre sí, en dos soldaduras (uniones Peltier). La corriente produce una transferencia de calor desde una unión que se enfría hasta la otra que se calienta.

Dentro de los equipos de la Corporación CDT de Gas se dispone de bloques secos marca PRESYS. Una de las referencias empleadas en el proceso de automatización es el Presys T-25N, tiene un rango de operación de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $125\text{ }^{\circ}\text{C}$, una resolución de $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y estabilidad de $\pm 0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$ en todo el rango de medida, cuenta con un puerto RS-232 que permite la comunicación con el computador para hacer calibraciones automáticas y documentadas. En la Figura 2 se puede observar este instrumento.

- **RTD patrón**

Este es un termómetro de precisión empleado para la medición y calibración

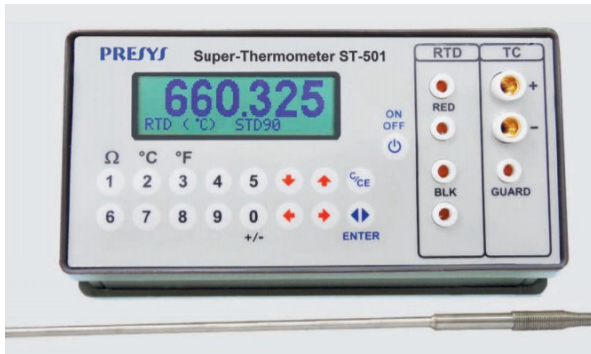


Figura 3. Súper termómetro PRESYS ST-501 [10].

de termómetros de resistencia de platino, termistores y termopares; tiene un rango de operación entre $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiene una resolución de $0,001^{\circ}\text{C}$, tiene puertos de comunicación RS-232. Este termómetro se observa en la Figura 3.

- Visual Studio

Visual Studio es un conjunto de herramientas de desarrollo para la generación de aplicaciones web, de escritorio y aplicaciones móviles. Soporta los lenguajes de programación Visual Basic, C# y C++ [7]. El propósito principal de este proyecto es automatizar el proceso de calibración de bloque secos, para ello se deben tomar datos del equipo y, empleando comunicación RS-232, enviar estos datos al computador. Mediante Visual Studio se puede crear una aplicación que permita leer datos mediante el puerto RS-232 y guardarlos en un documento de Excel, para su posterior procesamiento y análisis [8]. El alcance de esta aplicación solo contempla los equipos marca PRESYS.

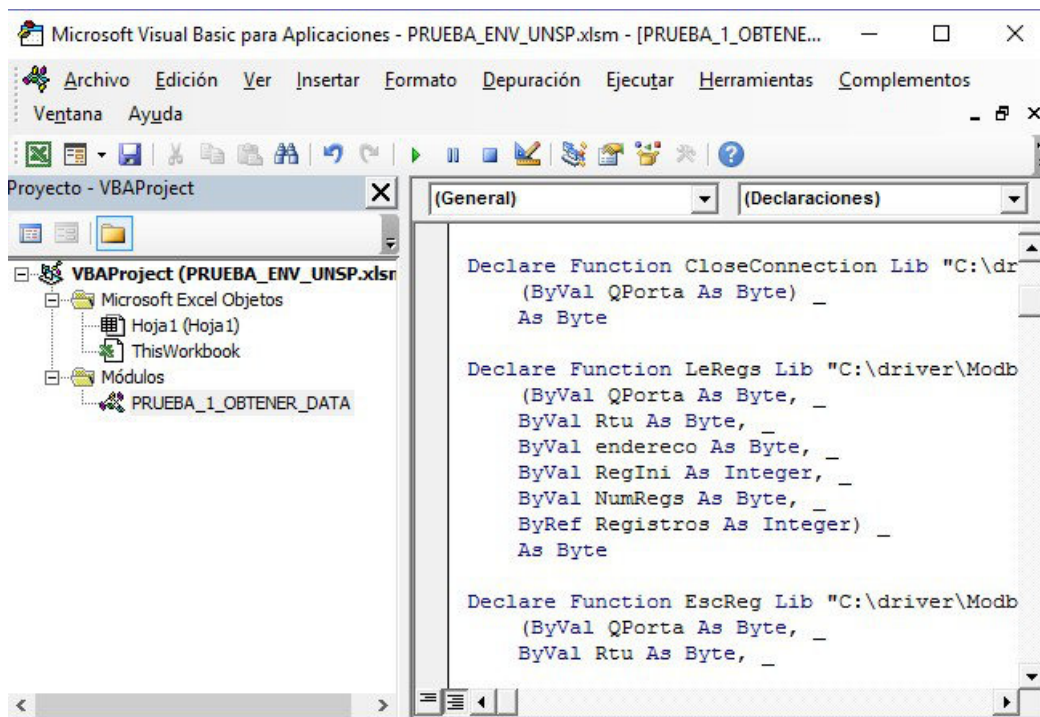


Figura 4. Entorno de programación de Visual Basic de Excel.

4 Descripción del software

Para el desarrollo de este proyecto se empleó la herramienta VBA Excel. En la Figura 4 se observa el entorno de trabajo, en la sección inferior izquierda de la figura se encuentra la información acerca del proyecto sobre el cual se está trabajando y en la sección inferior derecha se encuentra el espacio en el cual se escribe el código del archivo. Se observa que en la sección de información del proyecto se puede seleccionar entre el módulo y el objeto del archivo. En el módulo se definen las funciones que se emplearán en el programa y en la sección de objetos se definen las acciones que desarrollan los diferentes elementos que conforma el archivo. Es decir, si en la interfaz se tiene un botón para enviar datos, en la Hoja 1 de la sección de Objetos, se define a que función llamará ese botón o que acción realizará.

Para el desarrollo de la aplicación se emplearon los pasos mostrados en la Figura 5. El proceso se divide por módulos, para implementación se emplearon códigos específicos de la marca PRESYS reduciendo el alcance solo a este fabricante.

Como mejoras futuras se podrá tomar la

programación como base para ampliar a otras marcas del sector industrial, mejorando el alcance del desarrollo.

5 Proceso de calibración y caracterización de un bloque seco

El proceso de calibración de un bloque seco consiste en establecer la relación entre la temperatura generada en la zona de inserción (medida con patrón de temperatura) y el valor leído en la temperatura indicador del bloque seco. Esta comparación se realiza en varios puntos de temperatura específicos, que abarquen todo el intervalo de medición del instrumento. En cada punto de calibración se realizan dos series de medidas y luego se realiza un promedio de ellas. La secuencia de calibración para cada punto se hace cuando la temperatura se incrementa y otra cuando la temperatura se disminuye [3].

Posteriormente con los datos recopilados se realiza el proceso de estimación de incertidumbre y error. Si estos parámetros no se encuentran dentro de los errores máximos permisibles establecidos para el instrumento, se debe hacer un ajuste y repetir proceso de calibración [9].

Por otro lado, en el proceso de



Figura 5. Pasos para la programación del proceso de calibración y caracterización.

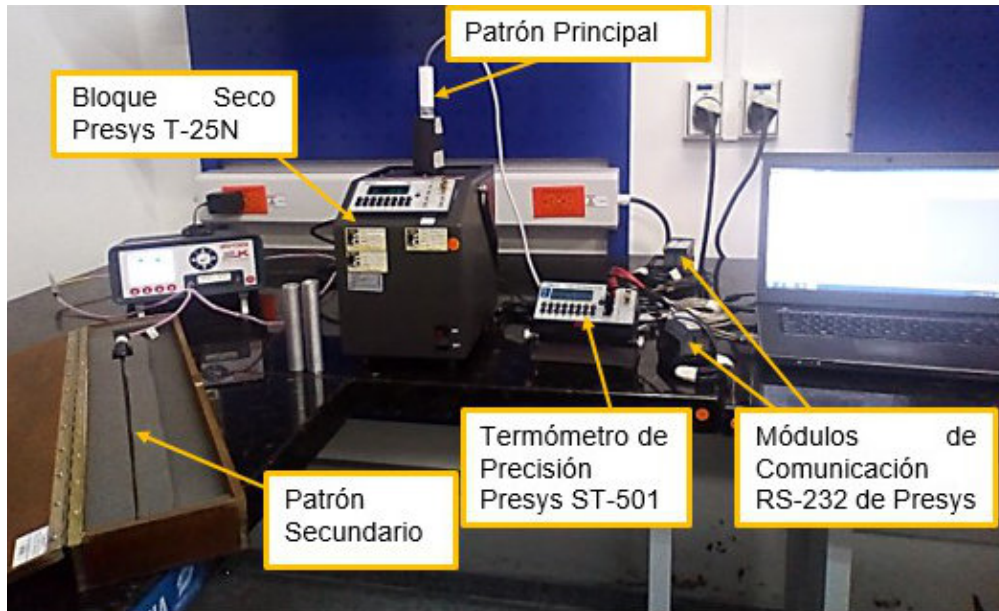


Figura 6. Montaje para calibrar y caracterizar bloques secos

caracterización se realizan las pruebas de homogeneidad axial, homogeneidad radial, influencia de carga y estabilidad en el tiempo. Cada una de estas pruebas se define a continuación.

- **Homogeneidad axial**

Este procedimiento consiste en tener un detector resistivo de temperatura (RTD por sus siglas en inglés) insertado en el bloque seco a una profundidad máxima, y luego medir el valor de temperatura máximo en ese punto. Después el RTD se eleva 40mm y se mide el valor máximo de temperatura. Tras tener caracterizados el punto máximo de temperatura del bloque seco, se fija el punto mínimo de temperatura y se realiza la medición con el RTD elevada. Finalmente el RTD se inserta hasta el fondo del orificio de medida y se mide la temperatura en ese punto [4].

- **Homogeneidad radial**

En este procedimiento se deben insertar al menos dos RTD en el bloque seco, una en el orificio opuesto de la otra, haciendo que tengan la mayor distancia de separación entre los sensores. Posteriormente se hace la medición de temperatura y se comparan los datos de las dos RTD para observar si existe diferencia entre medir en un orificio del bloque seco u otro [4].

- **Influencia de Carga**

Para este paso se tiene una RTD inserta en el bloque seco y los demás orificios para medida se llenan con otras RTD o con varas de metal o cerámica. Este procedimiento se realiza para conocer cómo se afecta la medida cuando se emplean todos los orificios del bloque seco al mismo tiempo. Este procedimiento se realiza en los puntos de temperatura máximo y mínimo del bloque seco [4].

- **Estabilidad en el tiempo**

Tabla 1. Resultados de calibración realizando la toma de datos manualmente.

Indicación Promedio Patrón	Indicación Promedio Instrumento	Error de Indicación	±U
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
-19,97	-20,00	-0,03	0,36
0,00	0,00	0,00	0,37
40,05	40,00	-0,05	0,40
80,11	80,00	-0,11	0,43
125,13	125,00	-0,13	0,46

Cuando se realiza un proceso de calibración de bloque seco se debe esperar a que el instrumento se estabilice. En el proceso de caracterización se fija la temperatura mínima del equipo y se mide la temperatura durante 30 minutos, en este tiempo se observa cómo oscila la temperatura del instrumento. Luego se hace el mismo procedimiento para el punto de máxima temperatura [4].

5.1 Calibración en modo manual

Los procesos anteriormente descritos se realizaron con el bloque seco Presys T-25N, el termómetro de precisión Presys ST-501 y como instrumento de medida del patrón secundario se empleó el termómetro de precisión Millik. El montaje usado se observa en la Figura 6.

En la Figura 6, el bloque seco Presys T-25N tiene inmerso el patrón principal que es una RTD empleada para procesos de calibración en CDT de Gas; la RTD se conecta a un termómetro de precisión Presys ST-501, que permite observar la

temperatura medida por la RTD. Los módulos de comunicación RS-232 de Presys son los que permiten al computador comunicarse con el bloque seco y con el termómetro de precisión. El patrón secundario es necesario para realizar la prueba de homogeneidad radial durante el proceso de caracterización, en la imagen este patrón está conectado a un termómetro de marca Millik.

Para hacer la prueba de forma manual un profesional competente y autorizado para estas actividades en el CDT de Gas, debe introducir manualmente el punto de temperatura a evaluar en el bloque seco, luego esperar a que pase el tiempo de estabilización del equipo y registrar en una plantilla de Excel el valor medido por el bloque seco y por el instrumento patrón; luego se debe introducir el siguiente valor de temperatura y repetir el proceso hasta finalizar la calibración. Posteriormente, se procede a realizar las pruebas de caracterización, ya descritas con la particularidad que los tiempos de estabilización son más prolongados que

en el proceso de calibración, debido a que es necesario realizarlo a la temperatura mínima y máxima al cual puede operar el bloque seco bajo prueba. Posteriormente, se deben registrar los datos de temperatura del instrumento bajo prueba y del patrón, y luego pasar a la siguiente prueba hasta completar el procedimiento. La Tabla 1 muestra los resultados de calibración de forma manual.

Los puntos de temperatura evaluados en este proceso fueron: -20, 0, 40, 80 y 125 °C; cubriendo de esta manera todo el rango de operación del bloque seco [9]. La primera columna de la Tabla 1 corresponde al promedio de las lecturas realizadas por el instrumento patrón para cada uno de los puntos evaluados. La segunda columna corresponde al promedio de las mediciones realizadas por el bloque seco, la tercera columna es el error de indicación, este es la resta entre los valores de las dos primeras columnas; finalmente se tiene la columna de la incertidumbre calculada para el proceso.

5.2 Calibración en modo automático

Para realizar el proceso de forma automática, se emplea el mismo montaje de la Figura 6, pero para realizar las pruebas se ejecuta el programa desarrollado; este realiza la función de cambiar el punto de temperatura a evaluar y después del tiempo de estabilización mide la temperatura del bloque seco, de la misma forma como se realiza de forma manual; a intervalos de un segundo aproximadamente. La Tabla 2 muestra los resultados del proceso de forma automática.

6 Verificación de la validez de los resultados realizando la calibración en modo manual versus modo automático.

Para la implementación del método automático de calibración es necesario demostrar la eficacia y la comparabilidad de las medidas, para este proyecto es

Tabla 2. Resultados de calibración realizando la toma de datos de forma automática.

Indicación Promedio Patrón	Indicación Promedio Instrumento	Error de Indicación	$\pm U$
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
-19,98	-20,00	-0,02	0,36
0,00	0,00	0,00	0,37
40,05	40,00	-0,05	0,39
80,11	80,00	-0,11	0,43
125,13	125,00	-0,13	0,46

necesario evaluar el desempeño de los dos procesos, uno cuando se emplea el método de calibración de forma manual versus el método de calibración de forma automática, esto permite comprobar que el método automático es adecuado para el uso dentro de los fines previstos. Para ello se empleó el estadístico E_n [6]. En algunos métodos de calibración, esta prueba puede ser suficiente para confirmar la veracidad del método.

Los valores mostrados en la Tabla 1 y Tabla 2 fueron calculados con las plantillas empleadas por CDT de Gas. Luego se procede a calcular el estadístico de desempeño E_n , este parámetro se calcula restando los errores de indicación y dividiendo el resultado en la suma del cuadrado de las incertidumbres expandidas [6]. A continuación, se muestra esta ecuación:

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Si este parámetro es menor a 1 se considera que la evaluación fue exitosa [6]. La Tabla 3 muestra el error porcentual calculado para cada punto de temperatura.

Para el análisis se empleó como referencia los resultados de calibración de forma manual (Tabla 1) dado que es el método que actualmente se encuentra acreditado en el Laboratorio del CDT de Gas y como laboratorio se emplearon los resultados de la calibración automática (Tabla 2).

Se observa en la Tabla 3 que el estadístico de desempeño E_n es menor a 1 en todos los casos, por lo cual se puede concluir que la evaluación es exitosa y el programa desarrollado es apto para realizar con él procesos de calibración y caracterización de bloques secos.

7 Discusión

De acuerdo a los resultados observados

Tabla 3. Estadístico de desempeño E_n .

Indicación Promedio Instrumento	x	X	U_{ref}	U_{ref}	E_n
[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	-
-20,00	-0,02	-0,03	0,36	0,36	0,02
0,00	0,00	0,00	0,37	0,37	0,00
40,00	-0,05	-0,05	0,39	0,40	0,00
80,00	-0,11	-0,11	0,43	0,43	0,00
125,00	-0,13	-0,13	0,46	0,46	0,00

en la Tabla 1 y Tabla 2, y al cálculo del estadístico de desempeño En de la Tabla 3, se tiene que el programa desarrollado es apto para realizar los procesos de calibración y caracterización de bloques secos. Sin embargo para este proceso aún es necesario la colaboración de operarios para la inserción de los diferentes sensores en el proceso de caracterización, en particular en la prueba de homogeneidad radial, ya que hasta el momento el programa implementado está diseñado para funcionar con los módulos de Presys ST-501 y PC-507, lo cual indica que si se tiene otro instrumento patrón conectado a un termómetro de precisión como el MilliK, los datos de este último deben ser medidos de forma manual y en el mismo tiempo que el programa mide los del instrumento Presys, a menos que se empleen sólo los instrumentos de Presys para este proceso.

8 Conclusiones

El resultado satisfactorio del En demuestra el correcto desempeño del método de calibración de forma automática, permitiendo al Laboratorio de Temperatura del CDT de Gas continuar con su implementación mejorando la eficiencia en los procesos de calibración.

En este proyecto se incursionó en la automatización y caracterización de bloques secos, permitiendo el desarrollo de un programa en la herramienta software VBA Excel, haciendo que el proceso desarrollado pueda ser

empleado en cualquier computador que cuente con Excel de 32 bits.

En este momento la Corporación CDT de Gas cuenta con una herramienta computacional en Excel el cual se puede emplear en procesos de caracterización y calibración de bloques secos Presys T-25N, de acuerdo a la prueba de validación realizada el programa es apto para estos procesos.

Se debe automatizar el proceso con otros termómetros de precisión y otros bloques secos de marcas industriales. Actualmente se está trabajando en la comunicación de los sensores de temperatura y medios isotérmicos marca ISOTECH, dado que son patrones empleados en nuestro laboratorio para que el sistema sea más robusto y versátil.

Agradecimientos

Los autores agradecen al ingeniero Jhon Angulo de la Corporación CDT de Gas por su colaboración en la realización de este proyecto.

También se agradece a la Corporación CDT de Gas y a la Universidad Pontificia Bolivariana, por el espacio brindado para la elaboración de este trabajo.

Referencias

- [1] Caballar J. 1997. La Interfaz Serie, de El Libro de las Comunicaciones del PC, México, Alfaomega, pp. 24-36.
- [2] Comité Conjunto de Guías en Metrología. 2008. Vocabulario Internacional de Metrología - Conceptos Fundamentales y Generales y Términos Asociados.
- [3] Corporación CDT de Gas. 2017. Capacitación en Estimación de Incertidumbre para la Calibración de Instrumentos de Temperatura.
- [4] European Association of National Metrology Institutes. 2015. Calibration of Temperature Block Calibrators - EURAMET cg-13 Version 3.0.
- [5] Forero N. 2012. Normas de Comunicación en Serie: RS-232, RS-422 y RS-485. Ingenio Libre, pp. 86-94.
- [6] Icontec Internacional. 2010. Norma Técnica Colombiana NTC-17043. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los ensayos de aptitud.
- [7] Microsoft. Introducción a Visual Studio. Disponible en: [https://msdn.microsoft.com/es-es/library/fx6bk1f4\(v=vs.100\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/fx6bk1f4(v=vs.100).aspx). Revisado en Febrero, 2017.
- [8] Microsoft. Métodos para transferir datos a Excel desde Visual Basic. Disponible en: <https://support.microsoft.com/es-es/help/247412/methods-for-transferring-data-to-excel-fromvisual-basic>. Revisado en Febrero, 2017.
- [9] PRESYS. Baños térmicos tipo bloque seco. Disponible en: <http://www.presys.com.br/es/produtos/calibradores/temperatura/bloco-seco/insert-solido/t-25n-t-35n-t-50n>. Revisado en Febrero 2017.
- [10] PRESYS. Súper Termómetro. Disponible en: <https://www.presys.com.br/en/products/calibrators/temperature/electrical-simulator/st-501>. Revisado en Febrero, 2017
- [11] Punto Flotante S.A. Estándares de comunicaciones RS232, RS422, RS485 [En línea]. Disponible en: <http://www.puntoflotante.net/serial.htm>. Revisado en 09 Febrero 2017.

Aplicativo de gestión web para el control metrológico de sistemas de medición

Luis Alejandro Duarte Martínez¹*, Jose Augusto Fuentes Osorio¹

¹ Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas. Parque Tecnológico Guatiguará, km 2 vía El Refugio, Piedecuesta, Colombia.

* lduarte@cdtdegas.com



Abstract

This paper describes an application denominated GEMESIS, developed under a web environment, for the oil and gas industry as a tool that facilitates the metrological management of custody transfer and control measurement systems. The application adapts to the requirements established by the national regulations recently integrated by the Ministry of Mines and Energy of Colombia, and allows the management of measurement, loading / displaying of calibration certificates, graphical display of control chart, instrument's data sheet, calibration date prediction and assurance programs; also includes a program of metrological management that serves to monitor control curves, limits of repetitiveness and acceptance, among others.

Keywords: management, metrology, regulation, custody, calibration.

Resumen

El presente artículo describe un aplicativo denominado GEMESIS, desarrollado bajo ambiente web, para la industria del petróleo y gas como una herramienta que facilita la gestión metrológica de los sistemas de medición de transferencia de custodia y fiscalización. El aplicativo se adapta a los requerimientos establecidos por las regulaciones nacionales recientemente integrados por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia, y permite la gestión diaria de medición, carga/visualización de certificados de calibración, visualización gráfica de la carta de control, ficha técnica del instrumento, predicción de la fecha de calibración y programas de aseguramiento; incluye también un programa de administración metrológica que sirve para llevar curvas de control, límites de repetibilidad y de aceptación, entre otros.

Palabras clave: gestión, metrología, regulación, custodia, calibración.

1. Introducción

Para el Estado colombiano, las compañías de producción, transporte y distribución de petróleo y gas, así como la sociedad en general, las mediciones realizadas en boca de pozo y transferencia de custodia corresponden a uno de los procesos claves en el desarrollo de la industria y en la preservación de la sostenibilidad económica del país, debido a que con estas mediciones:

- Las entidades del estado realizan los cálculos de ingresos por concepto de regalías debido a la explotación de recursos no renovables,
- Son realizadas las transacciones comerciales entre actores de la cadena del petróleo y gas natural,
- Son monitoreados y controlados los balances de masa y energía de petróleo y/o gas dentro de los límites establecidos para cumplimiento de la regulación nacional y para optimizar los procesos de medición que

garanticen las menores pérdidas de la actividad.

Debido a estas razones, los procesos de control metrológico que realiza cada empresa para cubrir los sistemas de medición y los resultados derivados de esta gestión, son de crucial importancia porque garantiza la transparencia en los procesos de medición, así como la confianza de los diferentes actores relacionados con la medición y transacciones comerciales.

Ante este panorama, los entes regulatorios, han recientemente realizado cambios sustanciales en la regulación nacional y normatividad colombiana, relacionados con requisitos enfocados a la gestión necesaria para garantizar el control metrológico de los procesos de medición:

- En el caso de la industria de producción petróleo y gas, en diciembre de 2016 nació la Resolución 41251 de 2016 [1] de Ministerio de Minas y Energía, “Por la cual se reglamenta la medición del volumen y

la determinación de la calidad de los hidrocarburos producidos en el país para la adecuada liquidación de las regalías y contraprestaciones económicas en favor del Estado”. En dicha resolución, además de establecer los requisitos técnicos que deben cumplir las tecnologías de medición de flujo de hidrocarburos líquidos, gaseosos y multifásicos; se establece en el capítulo 7 que todo productor debe implementar una gerencia metrológica que se encargue de:

- Mantener un Sistema de Gestión Metrológica que integre la gestión documental de los procesos de manejo de cálculos de volúmenes, inventarios, balances de hidrocarburos, trazabilidad de las mediciones, información sobre auditorías de medición entre otras, que permita contar con la información actualizada de la contabilización de los recursos explotados.
- Contar con una bitácora de actividades diarias de medición que corresponde a una herramienta física o digital que permita el seguimiento y control en la ejecución de las actividades de calibración, auditorías, inspecciones, verificaciones, entre otras relacionadas con mediciones fiscales y de boca de pozo de acuerdo a unos planes de mantenimiento y aseguramiento metrológico específicos.
- Contar con un programa de administración metrológica que permita monitorear curva de control, límites de repetibilidad y de aceptación.
- En el caso de puntos de transferencia de custodia de gas natural, el Reglamento Único de Transporte – RUT [2] y sus actualizaciones establecen los lineamientos para transporte de gas natural y los requisitos metrológicos que deben cumplir los puntos transferencia de custodia al cual se le han realizados cambios e inclusiones significativas en los últimos cinco (5) años. La última inclusión ha sido la Norma Técnica Colombiana NTC 6167 [3] que especifica los requisitos metrológicos que debería cumplir un sistema de medición utilizado como transferencia de custodia. En el numeral 6, la NTC 6167 establece los lineamientos que se deben seguir para garantizar el control metrológico de los sistemas de medición en los cuales se incluye:
 - La estrategia para garantizar la trazabilidad de las mediciones y la metodología para evaluar que los equipos se encuentran dentro de los errores máximos permisibles.
 - la inclusión de un programa de confirmación metrológica de acuerdo a la ISO 10012 y establecimiento de frecuencias de calibración de acuerdo a la OIML D10.
 - El establecimiento de programas

de calibración, verificación metrológica e inspección a cada equipo de medición que integra el sistema, que permitan brindar el conocimiento técnico suficientes sobre el desempeño metrológico de los equipos, para considerarlos aptos para las mediciones.

Para la implementación de estos requerimientos regulatorios y que permiten mejorar los procesos de transacciones comerciales, gran parte de las compañías típicamente utiliza la gestión de documentación de información de manera física, haciendo que algunos procesos sean complejos y tediosos a la hora de realizarlos dado que se requiere varios formatos de registros, tablas de cálculos, y documentos de control desde el ingreso en la operación de los sistemas de medición y que se debe monitorear

diariamente para lograr el control metrológico requerido. Esta condición genera en algunos casos, un costo de personal requerido para realizar dicho proceso de gestión.

Una de las alternativas para brindar una solución a esta necesidad, es el desarrollo de una herramienta computacional que permita realizar la gestión documental y los cálculos estadísticos para cumplir con las diferentes tareas de control metrológico y con la característica adicional que sea ubicua, es decir, que pueda ser consultada de en cualquier momento y en cualquier lugar que garantice la seguridad y confidencialidad de las información.

Por lo anterior, la Corporación CDT de Gas desarrolló un herramienta web para la **G**Estión **M**etrológica de **S**istemas de medición - **GEMESIS** que facilita la gestión

Tabla 1. Satisfacción de los requisitos regulatorios por parte de la aplicación GEMESIS

	Elementos a evaluar	Requisitos Regulatorios para control Metrológico		Facilidades que permite GEMESIS para dar cumplimiento
		Resolución 41251	NTC 6167	
1	Sistema de medición global	Bitácora de actividades de medición	-	Estructura GEMESIS
		Monitoreo de incertidumbre de medición	Monitoreo error máximo permisible	Cartas de control virtuales
		Inspecciones periódicas	Inspecciones periódicas	Programa de inspección periódica y almacenamiento de los informes
2	Instrumentos de medición que integran el sistema; volumen, presión, temperatura, propiedades, etc.	Límites máximos dados por fabricante	Error máximo permisible de cada instrumento	Cartas de control virtuales
		Calibraciones periódicas	Calibraciones periódicas	Programa de calibración periódica y almacenamiento de los informes
		Verificaciones intermedias	Verificaciones intermedias	Programa de verificación periódica y almacenamiento de los informes
3	Gestión documental del sistema	Visualización, descripción y característica técnica de los equipos		Fichas técnicas virtuales
		Cartas de control de cada equipo	Cartas de control de cada equipo	Cartas de control virtuales

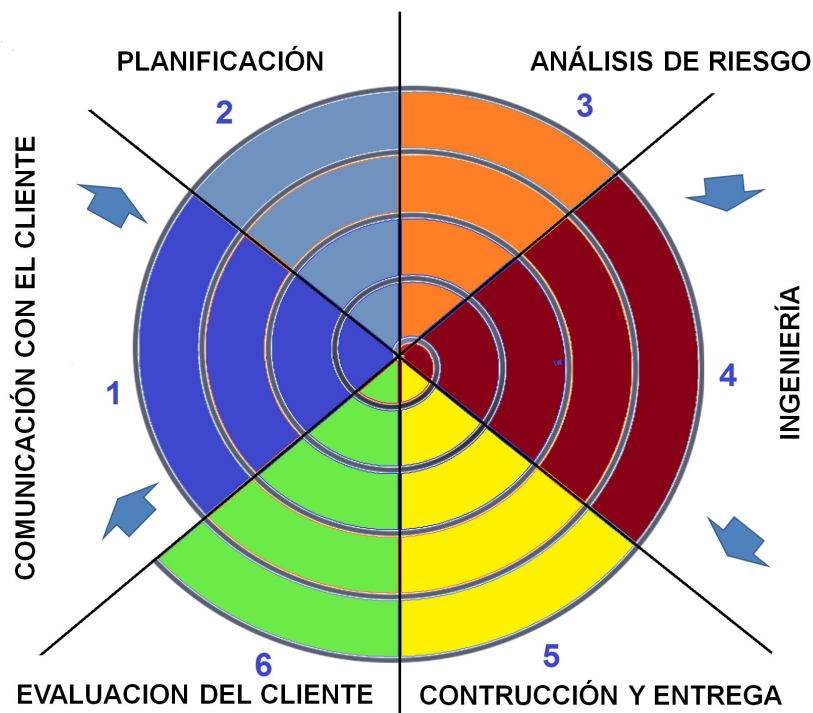


Figura 1. Descripción del método espiral. Tomado de [4].

documental y el control metrológico de sistemas de medición de gas y petróleo para fiscalización o transferencia de custodia, el cual se puede consultar y operar desde cualquier dispositivo fijo o Móvil.

2. Requerimientos de diseño para GEMESIS

GEMESIS es una herramienta web diseñada en una plataforma informática desarrollada bajo Visual Studio .NET, que se enfoca en ser gestor documental que facilita la organización de la información relacionada con el desempeño metrológico de los equipos de medición y cuenta con herramientas estadísticas que permiten la generación y visualización de cartas de control, evaluación de errores máximos permisibles, entre otros. La

Tabla 1 muestra el alcance de GEMESIS que permite dar cubrimiento a las necesidades.

3. Metodología

Para el desarrollo del aplicativo GEMESIS, se utilizó el desarrollo en espiral que corresponde a un modelo de ciclo de vida del software [4], donde las actividades de este modelo se conforman en una espiral, en la que cada bucle o iteración representa un conjunto de actividades. Las actividades no están fijadas a ninguna prioridad, sino que las siguientes se eligen en función del análisis de riesgo, como se muestra en la Figura 1.

Cuentan con la ventaja que el software se desarrolla en una serie de versiones

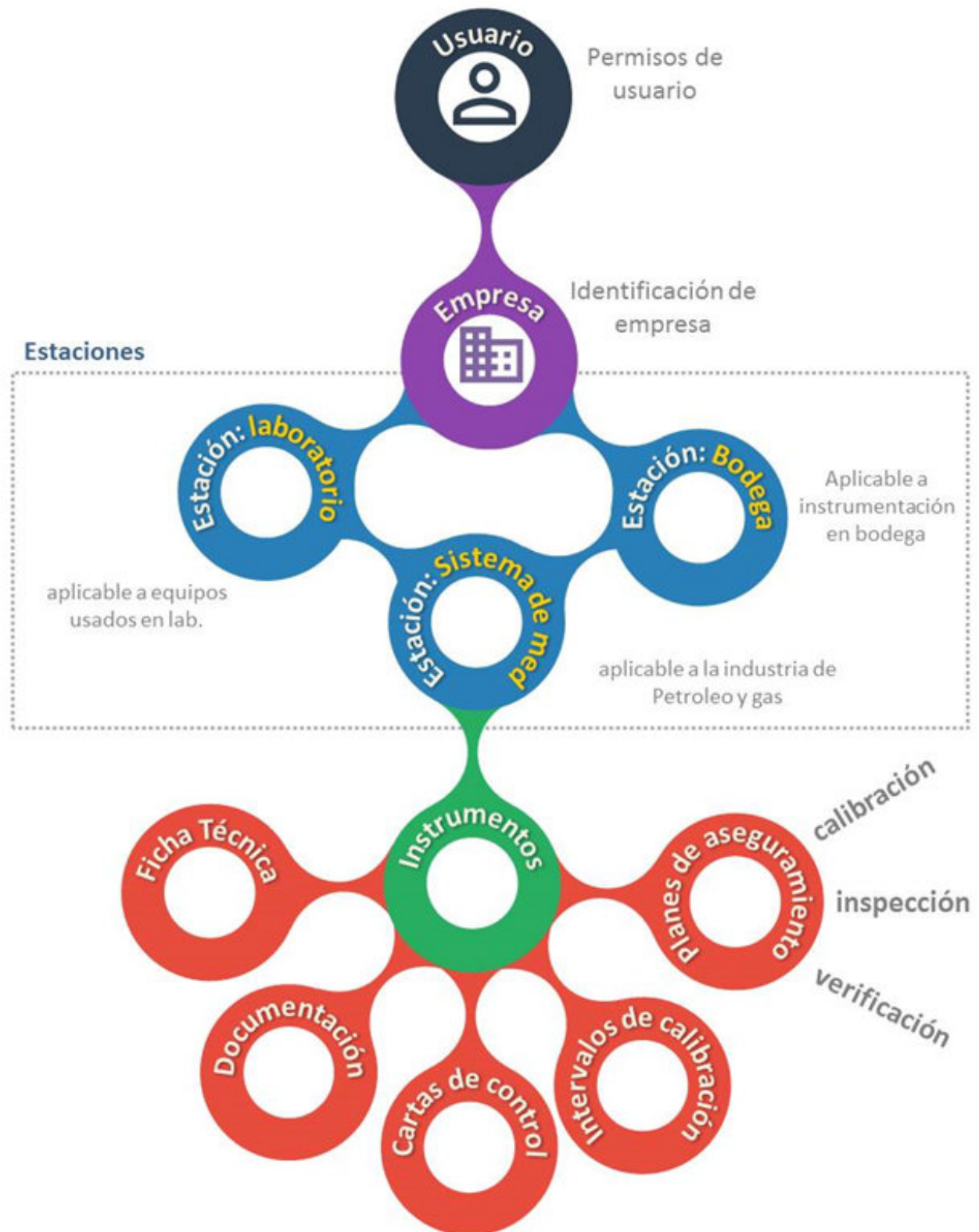


Figura 2. Descripción de la estructura del aplicativo GEMESIS.

incrementales, en el cual en las primeras iteraciones la versión incremental podría ser un modelo en papel o un prototipo; mientras que durante las últimas iteraciones se producen versiones cada vez más completas del sistema diseñado, lo que genera una continua evolución de la herramienta.

4. Arquitectura de la herramienta

GEMESIS está desarrollada bajo la herramienta Visual Studio .NET de Microsoft, y la base de datos se construyó bajo el motor Microsoft SQL Server. Estos servicios están operando bajo Windows Azure, un sistema que garantiza

operatividad y confianza durante todo el tiempo. Bajo estas herramientas se programaron y establecieron diferentes módulos, que se representan gráficamente en la Figura 2 y permiten atender los diversos requerimientos ya mencionados.

4.1 Usuarios

Es el módulo que permite identificar quien es el usuario que está ingresando para brindar los permisos de acceso de información y bases de datos, previo al ingreso de un nombre de usuario y clave definida. Una compañía que utilice el aplicativo GEMESIS puede contar con diferentes usuarios que poseen



Figura 3. Listado de empresas, y visualización de estaciones de la empresa seleccionada.

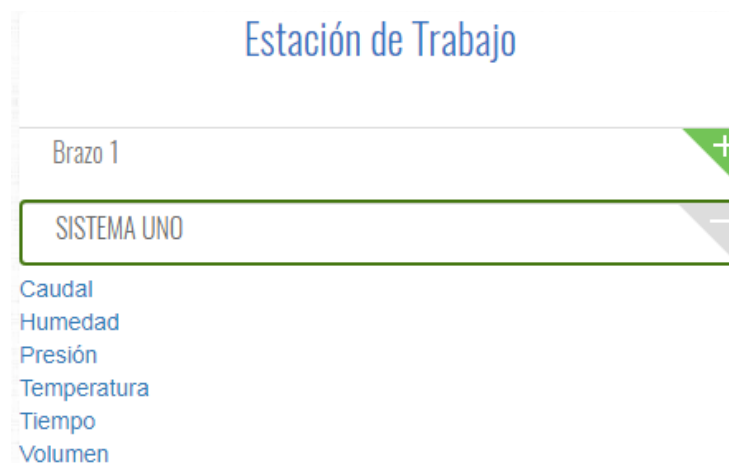


Figura 4. Listado de tipo de magnitudes seleccionados por tipo de estación

diferentes permisos para crear, modificar, editar, eliminar, descargar documentos, o simplemente visualizar información.

4.2 Empresas

Módulo donde se listan y se crean los datos de cada una de las empresas, a estas empresas se le relaciona un usuario para que particularmente al entrar al aplicativo podrá visualizar solo la información de ella y los demás datos cargados como son las estaciones, tipos de estación e instrumentos. En la Figura 3 se presenta la interfaz de esta sección en el momento de la escritura del presente documento.

4.3 Estación

Una empresa puede contar con diferentes tipos de estación, las cuales representan un conjunto de instrumentos de medición

que requieren ser monitoreados para su control. Por lo tanto, GEMESIS tiene un módulo denominado Estación, que permite identificar la característica del sitio en las tres opciones mencionadas. Esto permite subdividir los instrumentos y equipos de acuerdo a la división organizacional de la empresa, o alguna otra clasificación que desee usarse. Para el caso específico de los puntos de fiscalización y transferencia de custodia de petróleo y gas, se puede utilizar el esquema de estaciones para representar cada sistema de medición. La Figura 4 muestra la apariencia de la interfaz de usuario del módulo Estación, en el presente momento.

4.4 Instrumentos

Después de que un usuario (con permisos suficientes) ha definido o consultado una estación específica, aparece un módulo denominado

Empresa
PRUEBA EMPRESAS

Instrumentos de Presión

Estación de Trabajo
Brazo I
SISTEMA UNO
Caudal
Humedad
Presión
Temperatura
Tiempo
Volumen

Listado de Instrumentos

	Instrumento	Serial	Marca	Modelo	Fabricante
☒	PT-0012	1234	asas	modelo2	fabricante
☒	PT-002	5678	asas	modelo	fabricante
☒	PT-003	546	asas	modelo	fabricante

Figura 5. Listado de instrumentos seleccionados por magnitud.

Ficha Técnica
Documentos



Nombre del equipo o instrumento:
PT-0012

Inicio de Operación:
1 enero 2016

Marca:
asas

Modelo:
modelo2

Serie:
1234

Fabricante:
fabricante

Clase de exactitud:
5

Unidad:
psig

Código(TAG):
código

Próxima calibración:
1 enero 2017

Rango de Operación:
rango

Unidad de Medida:
unidad

Escala Mínima:
escala

Descripción General:

Observaciones:
Observaciones

Actualizar

Figura 6. Descripción de la ficha técnica del instrumento.

Ficha Técnica
Documentos

Certificados
Mantenimientos
Inspección
Diagnóstico

Nombre	Fecha	Error(AsFound)	U(AsFound)	Error(AsLeft)	U(AsLeft)	Unidad	Descargar	Eliminar
T1.pdf	Jun. 2017	0.34000	0.30000			psig		
INFG-16-GEN-431-2611pdf(7-7-2016-561606463259).pdf	Nov. 2016	0.25000	1.20000			psig		
INFG-16-GEN-431-2611pdf(7-7-2016-561606463259).pdf	Nov. 2016	0.25000	1.20000			psig		
INFG-16-GEN-431-2611pdf(7-7-2016-561606463259).pdf	Nov. 2016	0.25000	1.20000			psig		
07_2016_0000020022.pdf	Nov. 2017	0.25000	1.20000			psig		
Patrones_de_escalalidatad_en_Microsoft_Azure_SQL_Dat	Sep. 2016	0.23450	0.12345			psig		
Boletín semillero GIFE 2016 09.pdf	Dic. 2016	0.23450	0.12345			psig		
Instructivo_Consultas_GEMESISpdf(13-9-2016-8074724	Jul. 2021	0.23000	1.20000			psig		

Mostrando desde 1 hasta 10 - En total 13 resultados
 resultados por página

Actualizar

Figura 7. Listado de certificados de calibración por cada instrumento.

“instrumentos” el cual permite ingresar o consultar los diferentes instrumentos o equipos de medición que hacen parte de la estación y que van hacer monitoreados. En el caso de una estación que representa un sistema de medición (aplicable a puntos de fiscalización y transferencia de custodia de petróleo y gas) típicamente se tienen preestablecidos los instrumentos: medidores de volumen, presión, temperatura, computador de flujo y analizadores de calidad del fluido que son los instrumentos que normalmente se encuentran en los sistemas de medición objeto de la presente lectura.

Cuando se consulta un instrumento determinado se tiene varias opciones de consulta, las cuales se muestran en la Figura 5.

4.4.1 Ficha técnica

Cuando se selecciona en el instrumento, la opción ficha técnica se puede ingresar y/o visualizar (dependiendo del permiso del usuario) las características técnicas requeridas para identificar claramente los instrumentos (serie, fecha de instalación, modelo, etc.) y sus características de operación y desempeño metrológico como es el caso de los errores máximos permisibles establecidos en la regulaciones. En la Figura 6 se puede observar una captura de pantalla de la ficha técnica de un instrumento.

4.4.2 Documentación

Cuando se selecciona la opción

documentación, es utilizada para el ingreso de carga o visualización de documentos que describen los resultados de actividades metrológicas obtenido para el instrumento especificado. Este módulo cuenta con varias opciones, que se pueden ver en la Figura 7.

Calibración: Opción donde se pueden adjuntar y visualizar los diferentes certificados de calibración o verificaciones intermedias emitidas para el instrumento específico a lo largo de su operación en el sistema de medición. Los documentos adjuntos puede tener formato *.doc, *.xls o *.pdf siendo preferible este último.

Inspección: en esta opción se adjuntan y visualizan los diferentes informes de inspección o auditorías metrológicas aplicables al instrumento de medición y que se han realizado a lo largo de su operación en el sistema de medición.

Mantenimientos: Opción donde se registran y visualizan los diferentes reportes de mantenimiento del instrumento.

Diagnósticos: se refieren a la opción donde es posible adjuntar o visualizar los reportes de diagnóstico que se realizan para evidenciar la correcta operación del equipo o una potencial falla. Esta opción es principalmente aplicable para medidores de volumen como el caso de ultrasónicos/másicos con la emisión de autodiagnósticos, turbina con reporte de la prueba de spin time, desplazamientos positivos con la prueba del diferencial de presión o

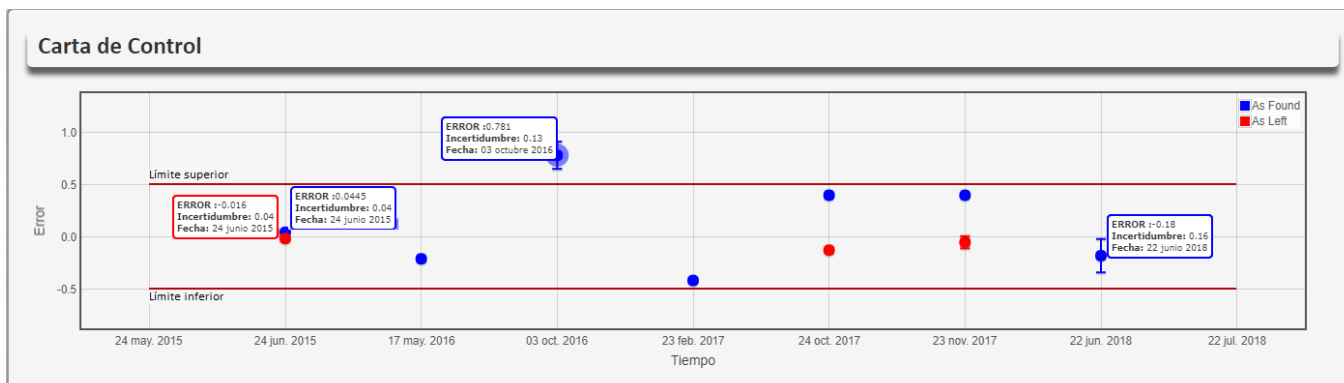


Figura 8. Visualización de la carta de control de acuerdo a los certificados ingresados.

computadores de flujo con el reporte de eventos.

4.4.3 Carta de control

A partir de esta opción GEMESIS suministra, para cada uno de los instrumentos de medición, gráficos de error máximo de medición contra tiempo, lo que permite evidenciar cómo es el comportamiento de la exactitud del instrumento a lo largo del tiempo. Esto permite contar información para predecir el comportamiento en el futuro y adicionalmente en conjunto con la inclusión de los errores máximos permisibles, se puede evidenciar gráficamente el cumplimiento del desempeño de instrumento con respecto a dichos límites. La Figura 8 muestra la presentación actual de la carta de control.

4.4.4 Intervalos de calibración

Con este módulo, GEMESIS estima el intervalo de calibración y por lo tanto,

sugiere una próxima fecha de calibración aplicando los métodos descritos en la OIML D10, obteniendo el período acorde a la confiabilidad metrológica propia del instrumento bajo evaluación y tener evidencias para el ajuste con respecto a los definidos en la resolución 41251 de 2016 y la norma NTC 6167. Para lograrlo, utiliza la información de los históricos de desempeño metrológico del instrumento obtenido con los diferentes certificados de calibración y verificación intermedia, y tiene en cuenta el error máximo permisible por la regulación aplicable.

4.4.5 Planes de control

Con este módulo se tiene acceso a los diferentes planes y cronogramas con fechas establecidas para las calibraciones, verificaciones, mantenimientos e inspecciones o auditorías metrológicas. Dicha opción cuenta con alarmas que permiten dar aviso con anterioridad cuando se encuentra cerca una fecha para realizar cualquiera de estas actividades.

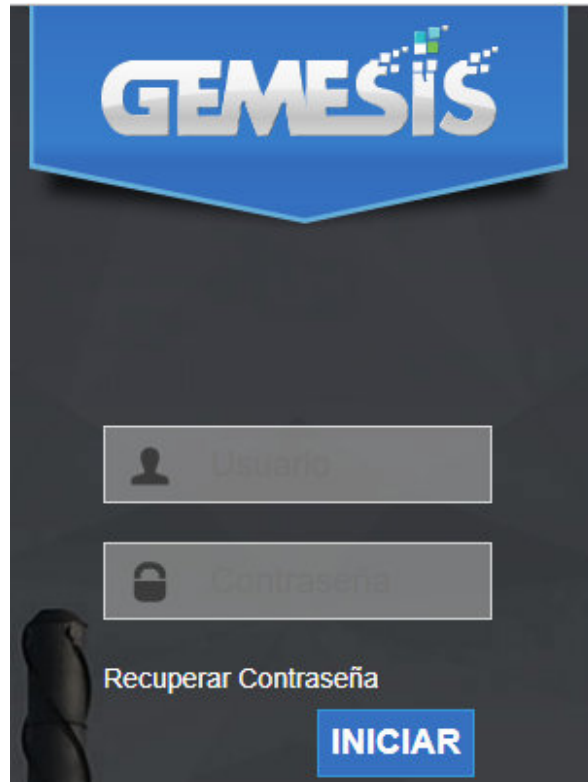


Figura 9. Visualización inicio del aplicativo.

5. Resultados

Como resultado, se desarrolló el aplicativo GEMESIS basado en una estructura administrativa para el control metrológico de los sistemas de medición, que se opera de la siguiente forma. A continuación se describe someramente el

proceso de uso.

Por medio de un usuario y contraseña el usuario ingresa al aplicativo como se muestra en la Figura 9.

Al dar clic en iniciar se visualiza el menú principal, de acuerdo a los permisos de



Figura 10. Visualización del menú principal.

Nombre	Identificación	Dirección	Teléfono
ACERIAS PAZ DEL RIO, BELENCITO-BOYACA	8600299951	Planta Industrial, Belencito-Boyaca	57(8) 7730200
AIR CLEAN SYSTEMS S.A.S	900112539	AV CALLE 3 No. 70 B-66	4824404
ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P	891101577	Carrera 9 No. 7 - 25	(8) 8714416 EXT 275
ANALQUIM LTDA	830055841	Cra 25 N 73-60	6309945
ARTESANIAS METALICAS DISEÑOS INNOVADORES SAS	900768826	CRA 11 No. 14-55	6718180Marian Roa
CALIDAD Y ESTADÍSTICA APLICADA S.A.S.	9008171227	CALLE 53A 28 -80	(1) 322 3485
CARRAO ENERGY SUCURSAL COLOMBIA S.A.	9003987673	Calle 113 No. 7-45 Of 1501, Piso 15	(57-1) 6211747
COINAT SAS	900599075	CALLE 7 No. 27 - 85 OF 202	(1) 4572050 3124530855
COLOMBIANA DE EXTRUSION S.A. - EXTRUCOL S.A.	800022371	PARQUE INDUSTRIAL KM 3 VÍA PALENQUE	6761940-6761941
CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS	804009247	PARQUE TECNOLÓGICO GUATIGUARÁ - KM 2 VÍA EL REFUGIO	6543800

Mostrando desde 1 hasta 10 - En total 46 resultados 10 resultados por página

Figura 11. Visualiza el listado de empresa.

cada usuario, se listarán los diferentes accesos directos como son: empresa, estación, instrumento, adjuntar documento y personas. La Figura 10 muestra un fragmento de la interfaz.

Al dar clic sobre empresa se visualizarán el listado de empresas, en esta pantalla tendrá la opción de crear empresa y de editar los datos de la empresa. La Figura 11 muestra la apariencia actual del formulario.

En caso de tener los permisos correspondientes, al dar clic sobre el menú en estación se visualiza una lista desplegable de empresas donde se selecciona una de ellas, y de acuerdo a esta selección se muestran las diferentes estaciones relacionadas con la empresa seleccionada.

Habitualmente, un usuario sólo tendrá acceso a su propia empresa. La Figura 12 presenta el listado de estaciones, en la versión actual del aplicativo.

Al dar clic sobre el menú en instrumentos se listarán todos los instrumentos, al ser seleccionada la empresa correspondiente. La Figura 13 muestra la presentación actual de los instrumentos.

Al dar clic en adjuntar documento le permite al usuario seleccionar la empresa (si aplica), seleccionar el instrumento y guardar el certificado de calibración, se incluyen los puntos de calibración y la fecha. La Figura 14 muestra la interfaz en la versión actual del aplicativo.

Al dar clic en el menú personas, donde se crean los usuarios con permisos sobre el aplicativo. La Figura 15 ilustra la apariencia actual del listado de usuarios.

6. Discusión

Como se describió en el esquema de desarrollo seleccionado, el proceso de desarrollo del aplicativo es un proceso

Empresa

TEXICAN OIL Y GAS S.A.

Nueva Estación

Estación	Dirección	Teléfono	Tipo	
Sistema de Transferencia de Custodia Brazo 1	Cuatro Vientos	(1) 6209311	Sistema de Medición	
Sistema de Transferencia de Custodia Brazo 2	Cuatro Vientos	(1) 6209311	Sistema de Medición	
Sistema Cabeza de Pozo Compae 1	Cuatro Vientos	(1) 6209311	Sistema de Medición	
Sistema Entrada a Membrana	Cuatro Vientos	(1) 6209311	Sistema de Medición	
Sistema Salida de Membrana	Cuatro Vientos	(1) 6209311	Sistema de Medición	
Sistema Cabeza de Pozo Compae 2	Cuatro Vientos	(1) 6209311	Sistema de Medición	
Calidad de Gas	Cuatro Vientos	(1) 6209311	Sistema de Medición	

Figura 12. Visualiza el listado de estaciones.

Empresa

ACERIAS PAZ DEL RIO, BELENCITO-BOYACA

Nuevo Instrumento

Instrumento	Serial	Tag	Estación	Marca	Fabricante	Próxima Calibración	Fecha Ingreso	
Medidor tipo Turbina	12291701	N/A	CENTRAL TERMO ELECTRICA PDR	INVENSYS TM	INVENSYS TM		Abr. 19 2016	
TRANSDUCTOR DE PRESIÓN CON INDICADOR	SN: 318578G (Transductor) - S/N: 0311378 (Indicad	No posee	CENTRAL TERMO ELECTRICA PDR	MERCURY INSTRUMENTS (Indicador)	MERCURY INSTRUMENTS (Indicador)		Abr. 20 2016	
RTD CON INDICADOR	ID: T-311378 (RTD) - S/N: 0311378 (Indicador)	N/A	CENTRAL TERMO ELECTRICA PDR	MERCURY INSTRUMENTS	MERCURY INSTRUMENTS		Abr. 21 2016	

Figura 13. Visualización de instrumentos.

Empresa

ACERIAS PAZ DEL RIO, BELENCITO-BOYACA

Certificados

Mantenimientos

Inspección

Diagnóstico

Seleccionar Plantilla de Calibración

Eliminar

AS FOUND

AS LEFT

ID	Estación	Magnitud	Instrumento	Serial	Tag	
229	CENTRAL TERMO ELECTRICA PDR	Volumen	Medidor tipo Turbina	12291701	N/A	
230	CENTRAL TERMO ELECTRICA PDR	Presión	TRANSDUCTOR DE PRESIÓN CON INDICADOR	SN: 318578G (Transductor) - S/N: 0311378 (Indicad	No posee	
231	CENTRAL TERMO ELECTRICA PDR	Temperatura	RTD CON INDICADOR	ID: T-311378 (RTD) - S/N: 0311378 (Indicador)	N/A	

Mostrando desde 1 hasta 3 - En total 3 resultados

Adjuntar PDF Calibracion

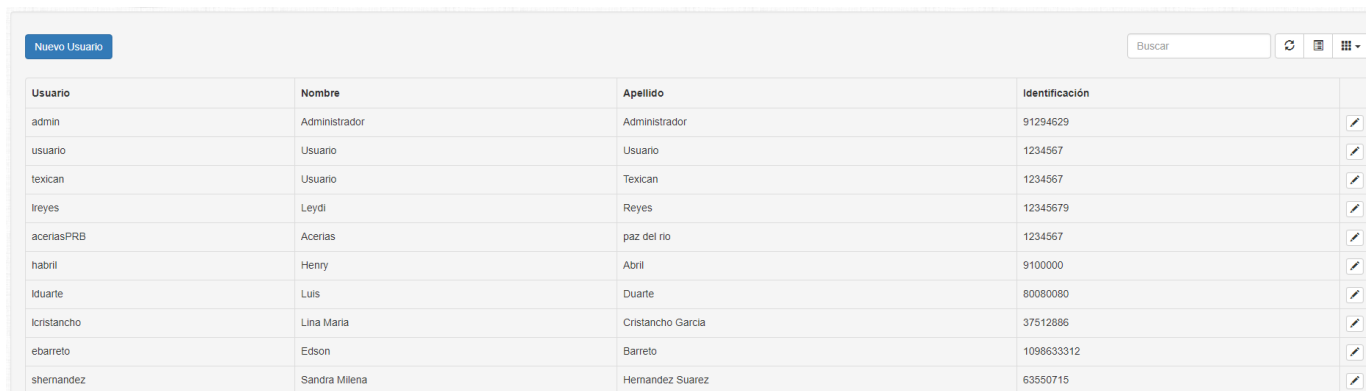
Subir

Cancelar

Eliminar

Sair

Figura 14. Visualización de los certificados de calibración.



Usuario	Nombre	Apellido	Identificación	
admin	Administrador	Administrador	91294629	✓
usuario	Usuario	Usuario	1234567	✓
texican	Usuario	Texican	1234567	✓
Ireyes	Leydi	Reyes	12345679	✓
acernasPRB	Acernas	paz del rio	1234567	✓
habril	Henry	Abril	9100000	✓
Iduarte	Luis	Duarte	80080080	✓
Icristancho	Lina Maria	Cristancho Garcia	37512886	✓
ebarreto	Edson	Barreto	1098633312	✓
shernandez	Sandra Milena	Hernandez Suarez	63550715	✓

Figura 15. Visualiza el listado de usuarios para el ingreso al aplicativo.

continuo, en el cual paulatinamente se van generando nuevas versiones que incrementen la robustez, confiabilidad y seguridad, y que adicionen nuevas características que se estimen convenientes.

Una de las posibles nuevas características consistiría en implementar un módulo de estimación de incertidumbre usando el método GUM, para facilitar dicha estimación para empresas y procesos que lo requieran.

7. Conclusiones

La Corporación CDT de Gas ha desarrollado un nuevo software, llamado GEMESIS, orientado a facilitar el control metrológico para los instrumentos de calibración.

GEMESIS es una herramienta web diseñada para facilitar las actividades de control metrológico que actualmente se están exigiendo mediante las regulaciones nacionales que permiten

lograr procesos de medición con un nivel de confianza aceptable y por lo tanto transparencia en los procesos de transacciones comerciales de petróleo y gas. Igualmente, es adecuada para cumplir varios requisitos de gestión y de aseguramiento de calidad de las mediciones en laboratorios de calibración y ensayos.

El desarrollo de este aplicativo, se planteó como una solución de estructura administrativa, que organiza y controla de acuerdo a los requisitos regulatorios para el control metrológico NTC 6167.

El diseño del software fue pensado en espiral, para que a partir de la realimentación que puedan hacer los usuarios en cuanto a usabilidad e identificación de oportunidades de mejora pueda ser eventualmente modificado.

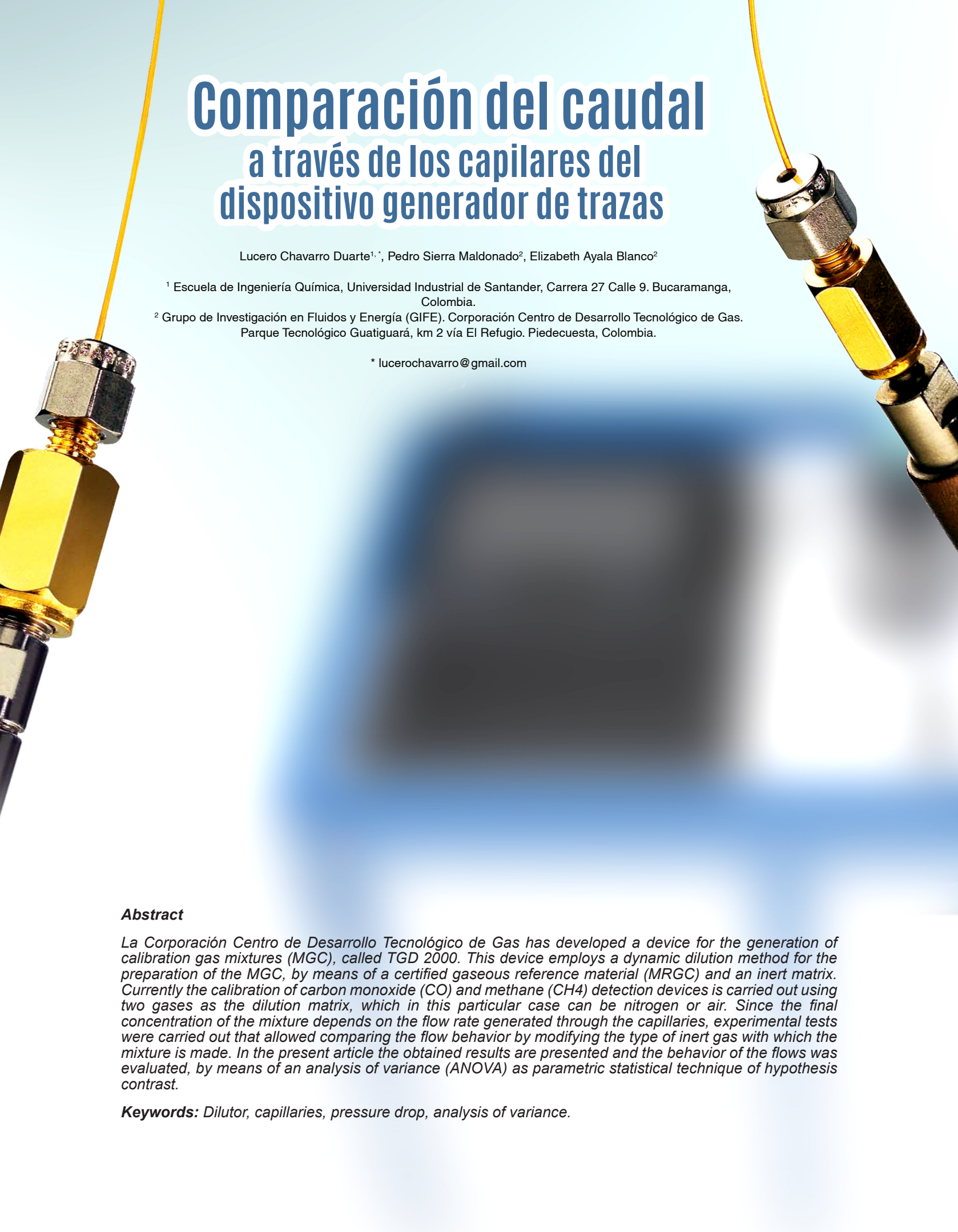
Bibliografía

[1] República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. 2016. Resolución No. 41251 de 2016 - Reglamento de medición de volumen y determinación de la calidad de hidrocarburos producidos en Colombia.

[2] República de Colombia, Comisión de Regulación de Energía y Gas. 1999. Resolución CREG-071 de 1999, Reglamento Único de Transporte de Gas – RUT.

[3] Icontec Internacional, 2016. NTC 6167 Medición de transferencia de custodia de gas natural en gasoductos.

[4] Fariño G. 2011. Modelo Espiral de un proyecto de desarrollo de software.



Comparación del caudal a través de los capilares del dispositivo generador de trazas

Lucero Chavarro Duarte^{1,*}, Pedro Sierra Maldonado², Elizabeth Ayala Blanco²

¹ Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Carrera 27 Calle 9. Bucaramanga, Colombia.

² Grupo de Investigación en Fluidos y Energía (GIFE). Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas. Parque Tecnológico Guatiguará, km 2 vía El Refugio. Piedecuesta, Colombia.

* lucerochavarro@gmail.com

Abstract

La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas has developed a device for the generation of calibration gas mixtures (MGC), called TGD 2000. This device employs a dynamic dilution method for the preparation of the MGC, by means of a certified gaseous reference material (MRGC) and an inert matrix. Currently the calibration of carbon monoxide (CO) and methane (CH₄) detection devices is carried out using two gases as the dilution matrix, which in this particular case can be nitrogen or air. Since the final concentration of the mixture depends on the flow rate generated through the capillaries, experimental tests were carried out that allowed comparing the flow behavior by modifying the type of inert gas with which the mixture is made. In the present article the obtained results are presented and the behavior of the flows was evaluated, by means of an analysis of variance (ANOVA) as parametric statistical technique of hypothesis contrast.

Keywords: Dilutor, capillaries, pressure drop, analysis of variance.

Resumen

La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas ha desarrollado un equipo para la generación de mezclas de gases de calibración (MGC), denominado TGD 2000. Este dispositivo emplea un método de dilución dinámica para la preparación de la MGC, por medio de un material de referencia gaseoso certificado (MRGC) y una matriz inerte. Actualmente la calibración de dispositivos detectores de monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄), se realizan utilizando dos gases como matriz de dilución que en este caso particular puede ser nitrógeno o aire. Dado que la concentración final de la mezcla depende del caudal generado a través de los capilares, se realizaron pruebas experimentales que permitieron comparar el comportamiento del caudal al modificar el tipo de gas inerte con el que se realiza la mezcla. En el presente artículo se presenta los resultados obtenidos y se evaluó el comportamiento de los caudales, mediante un análisis de la varianza (ANOVA) como técnica estadística paramétrica de contraste de hipótesis.

Palabras clave: Dilutor, capilares, caída de presión, análisis de varianza.

1. Introducción

Durante varias décadas el estudio de los fluidos a escala microscópica ha generado gran interés, debido a que se presentan comportamientos en términos de los efectos de no-equilibrio, tales como la rarefacción y las interacciones gas-superficie [1], que no suceden en fluidos en escala macroscópica. El CDT de Gas ha desarrollado un dispositivo generador de trazas (TGD 2000) para la obtención de MGC a partir del método de dilución dinámica, en donde las mezclas generadas deben tener una composición definida y estable para utilizarse como un patrón de trabajo de concentración, que debe cumplir requerimientos especiales de tolerancia en la preparación, incertidumbre y pureza de los componentes empleados [2].

El método de dilución dinámica del TGD

2000 se basa en la norma ISO 6145-5, por medio del cual para poder realizar la dilución es necesario utilizar un capilar para el MRGC y uno para el gas matriz, por medio de un ajuste de caídas de presión a través de los capilares (ver Figura 1) [3]. Inicialmente el equipo usó como gas inerte el nitrógeno para realizar las calibraciones de los equipos y analizadores de monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄), sin embargo para el caso de los detectores de CH₄ que cuentan con sensores potenciométricos y de estado sólido presentaban interferencias en sus lecturas. Esas interferencias se presentan principalmente a que esta clase de sensores poseen dos electrodos, uno de referencia y uno de medición, y la obtención de su señal está dada en función de la diferencia de presiones parciales de oxígeno. Por lo tanto se realizaron pruebas experimentales y un análisis de varianza, para evaluar el

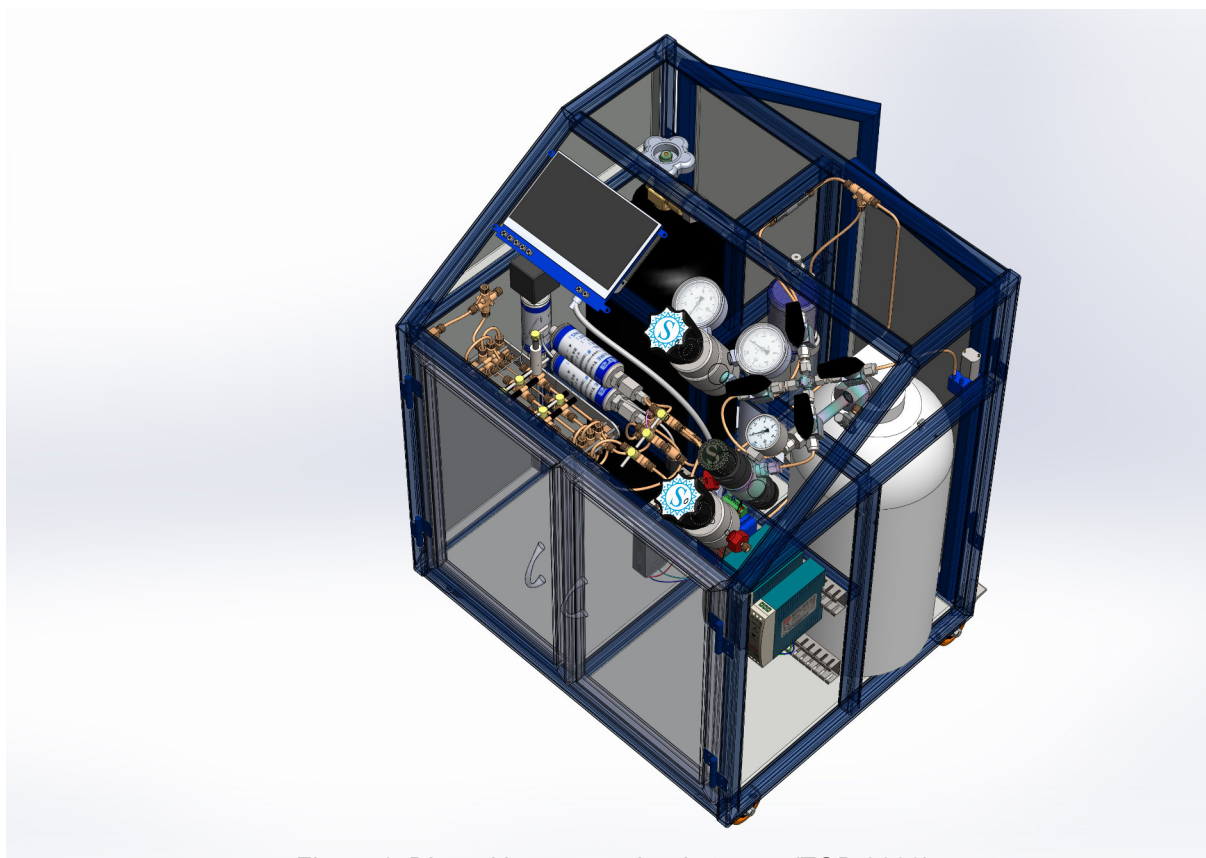


Figura 1. Dispositivo generador de trazas (TGD 2000)

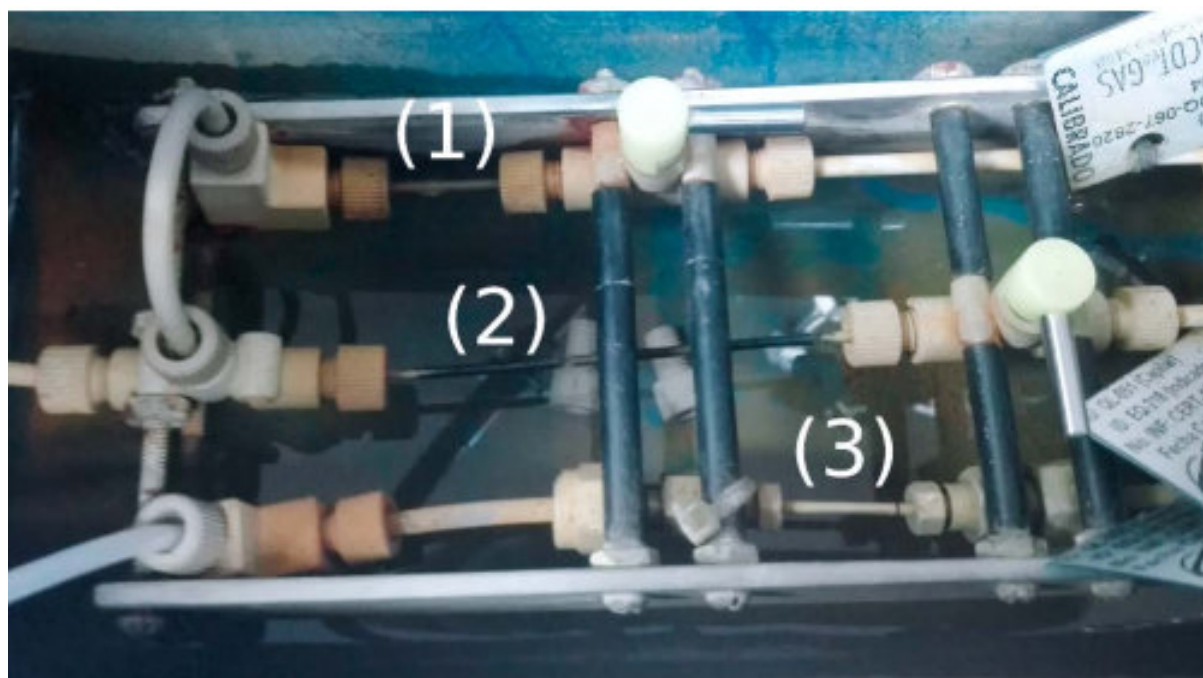


Figura 2. Sistema de capilares TGD 2000, (1) Capilar de 50 μm , (2) Capilar de 75 μm y (3) capilar de 250 μm .

comportamiento del caudal a través de una comparación entre los gases matrices de dilución nitrógeno (99% N2) y aire (80% N2 y 20% O2). Los modelos ANOVA son técnicas de Análisis Multivariantes de dependencia, utilizados para analizar datos procedentes de diseños con una o más variables independientes que pueden ser de tipo cualitativo o cuantitativo. Estas variables independientes se denominan factores y pueden estar en diferentes estados posibles o niveles, y la variable dependiente es la respuesta.

2. Metodología

Para realizar el estudio de la influencia de la variación del gas matriz en los microflujos que atraviesan el sistema de capilares del TGD 2000 (ver Figuras 1 y 2), se realizaron pruebas experimentales

utilizando un diseño de experimentos por bloques con una réplica para 4 caídas de presión en el intervalo de 144 790 Pa a 551 581 Pa (21 psi a 80 psi) manteniendo la temperatura constante a 293,15 K (20 °C). En la primera etapa se preparó el sistema de dilución TGD 2000 realizando la respectiva prueba de hermeticidad, y posteriormente se dio apertura de la válvula del capilar de 250 µm utilizando gas nitrógeno. Las caídas de presión se ajustaron de manera ascendente de menor a mayor, y este mismo repitió el procedimiento con aire.

En la segunda etapa se generaron las mismas caídas de presión para los gases a evaluar, pero conectando la salida del TGD 2000 a un medidor de caudal que para este caso fue un patrón primario tipo pistón desarrollado por el CDT de Gas [4], el cual es un equipo que permite realizar el aseguramiento metrológico de diferentes dispositivos medidores de flujo. Finalmente los caudales generados a

Tabla 1. Resultados de las pruebas experimentales.

<i>Presión entrada</i>	<i>Presión salida</i>	<i>Diferencial de presión (ΔP)</i>	<i>Caudal aire</i>	<i>Caudal nitrógeno</i>
[Pa]	[Pa]	[Pa]	[m³/s]	[m³/s]
524 093	93 102	430 991	2,02x10 ⁻⁵	2,00x10 ⁻⁵
448 274	92 574	355 701	1,72x10 ⁻⁵	1,67x10 ⁻⁵
344 761	91 999	252 762	1,35x10 ⁻⁵	1,37x10 ⁻⁵
248 303	91 493	156 810	9,48x10 ⁻⁶	9,50x10 ⁻⁶

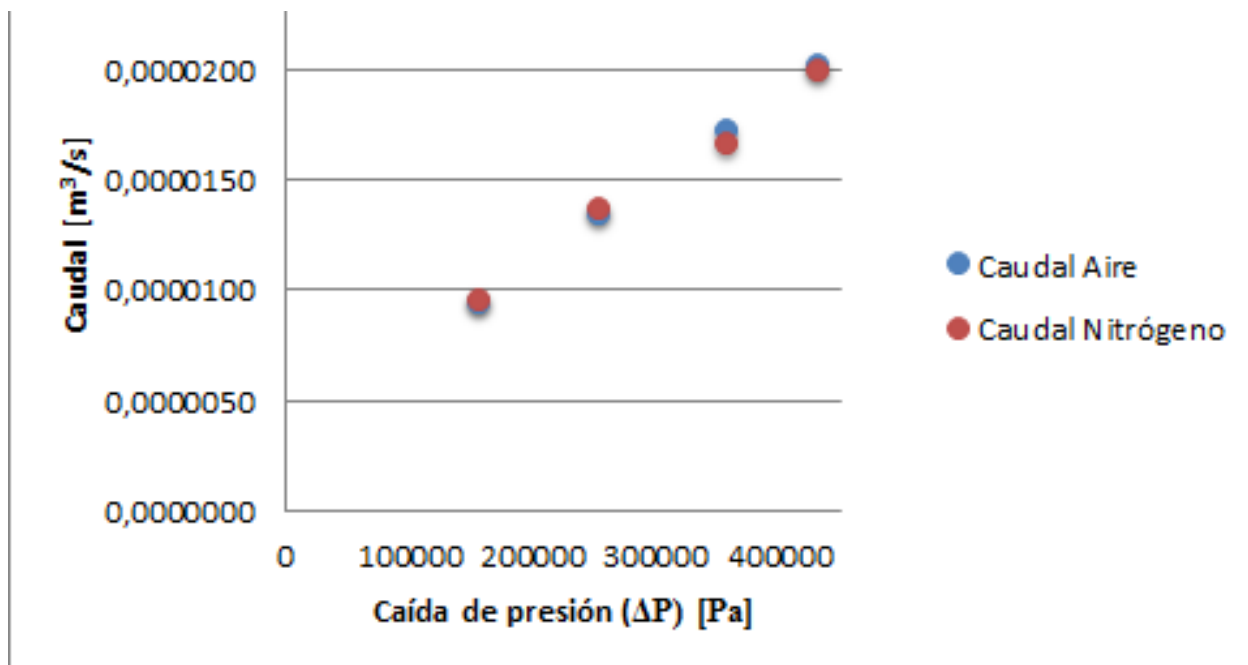


Figura 3. Caudal de los gases matrices en función de la caída de presión.

través del dilutor y del pistón fueron comparados y evaluados por medio de un análisis de varianza ANOVA.

3. Resultados

Los resultados obtenidos durante las pruebas experimentales para las 4 caídas de presión (430 991 Pa, 355 701 Pa, 252 762 Pa y 156 810 Pa) se presentan en la Tabla 1.

A cada diferencial de presión que se presenta anteriormente se registró el caudal para los gases matrices nitrógeno y aire, y así comparar su comportamiento a través del capilar.

En la Figura 3 se presenta el

comportamiento de los caudales en función de la caída de presión, en donde se puede observar que el comportamiento es directamente proporcional. Por lo tanto a medida que se genera un incremento en la presión, se produce un incremento en el caudal generado, sin embargo esta variación en el caudal no se ve significativamente alterada al utilizar diferente gas matriz. El comportamiento del caudal al utilizar gas nitrógeno como matriz es muy similar al utilizar aire.

4. Discusión

Para poder determinar si los caudales generados con diferentes gases muestran

Tabla2. Resumen del diseño de experimentos

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Aire	4	$6,04 \times 10^{-5}$	$1,51 \times 10^{-5}$	$2,15 \times 10^{-11}$
Nitrógeno	4	$5,99 \times 10^{-5}$	$1,50 \times 10^{-5}$	$1,99 \times 10^{-11}$

Tabla 3. Análisis de varianza del diseño de experimentos

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Razón-F	Valor-P	Valor crítico para F
Entre grupos	$2,88 \times 10^{-14}$	1	$2,88 \times 10^{-14}$	0,0014	0,971	5,987
Dentro de los grupos	$1,24 \times 10^{-10}$	6	$2,07 \times 10^{-11}$			
Total	$1,24 \times 10^{-10}$	7				

diferencias significativas o en caso contrario que sus medias poblacionales no difieren se realizó un análisis de varianza por un factor. Este análisis es de un factor, el cual es el diferencial de presión (ΔP) a través del capilar y para ello se planteó la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

H_0 : Los caudales se comportan igual al variar el gas matriz de dilución.

H_1 : Los caudales se comportan diferente al variar el gas matriz de dilución.

Por medio de la herramienta Análisis de Datos de Microsoft Office Excel 2016 se realizó el análisis de varianza que se presenta en las Tablas 2 y 3.

En la Tabla 3 se evidencia el comportamiento de los gases en el capilar, y los resultados de las medias poblacionales permiten evidenciar que se falla en rechazar la hipótesis nula, es decir, no hay evidencia de que los caudales se comporten diferentes al variar el gas matriz de dilución. El rechazo de la hipótesis planteada se determinó a través de los estadísticos P y F, con valores de 0,971 y 0,0014 respectivamente. El valor-P representa el

nivel de significancia más pequeño posible que permite rechazar la hipótesis nula planteada con las observaciones actuales, y se basa en el nivel de riesgo que se establezca. Como se observa, el valor-P es muy grande; teniendo en cuenta que la significancia es un número entre 0 y 1, en este caso para rechazar la hipótesis nula habría que utilizar un nivel de confianza menor a 2,9 %. De esta manera, se evidencia que no hay evidencia fuerte de que existan diferencias significativas en los caudales generados de acuerdo al gas usado como matriz, considerando únicamente las opciones “aire” y “nitrógeno”.

capilares se ve afectado por otros factores como la temperatura y la presión, pero no por utilizar diferente gas matriz de dilución.

5. Conclusiones

- Por medio del análisis de varianza se comprobó que el comportamiento del caudal no varía al cambiar el gas matriz de dilución utilizado en el TGD 2000, y por lo tanto no se generaría un cambio en la concentración generada.
- El caudal presenta un comportamiento directamente proporcional a la caída de presión, por lo tanto a medida que el diferencial de presión se incrementa, el caudal generado a través del TGD 2000 aumenta.
- Dado que los gases inertes son considerados gases no reactivos bajo determinadas condiciones de presión y temperatura, el nitrógeno y/o aire utilizado en la preparación de los MRG no modifican su comportamiento. El caudal generado a través del sistema de

Bibliografía

[1] Barber RW, Emerson DR. 2006. Challenges in modeling gas-phase flow in microchannels: From slip to transition. *Heat Transfer Engineering* 27(4): 3-12.

[2] International Organization For Standardization. 2007. Gas analysis - Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures. ISO 6143:2001 (2a ed). Madrid, España: AENOR.

[3] International Organization For Standardization. 2008. Gas analysis - Preparation of calibration gas mixtures using dynamic volumetric methods. Part 1: Methods of calibration. ISO 6145-1:2003 (2a ed). Madrid, España: AENOR.

[4] Adaniya Higa BJ. 2013. Metodología para la Estimación de la Incertidumbre asociada a los medidores de Flujo de Gas Natural de Tipos: Ultrasónico y por Presión Diferencial. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, p. 202.



Corporación CDT de GAS
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS

www.cdtdegas.com