

AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE BOQUILLAS SÓNICAS PARA LA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE GAS

OSCAR YAZIT SALAH GARCÍA



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICAS, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2010

**AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE BOQUILLAS SÓNICAS PARA LA
CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE GAS**

OSCAR YAZIT SALAH GARCÍA

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**DIRECTOR
ALFREDO RAFAEL ACEVEDO PICÓN**

**CODIRECTOR
JORGE ANDRÉS REYES VALDÉS**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2010**

AGRADECIMIENTOS

EN PRIMER LUGAR AGRADEZCO A MIS PADRES, ELÍAS Y MARTHA, Y A MI HERMANO FABIO POR BRINDARME APOYO Y PACIENCIA EN CADA MOMENTO.

A ALFREDO ACEVEDO Y JORGE REYES POR DIRIGIR ESTE PROYECTO, APORTARLE SU EXPERIENCIA, PERO ANTE TODO POR DAR MOTIVACIÓN EN CADA ETAPA DE SU REALIZACIÓN.

A LA CORPORACIÓN CDT DE GAS POR LA OPORTUNIDAD DE ESTA EXPERIENCIA. AL EQUIPO INTERDISCIPLINARIO DE TRABAJO: LUÍS GARCÍA, RAÚL ANAYA, GERMAN COVELLI, CHRISTIAN ROVIRA, YENNY PEÑA Y LEONARDO MANZANO POR LA SINERGIA Y UN AMBIENTE PROPICIO PARA EL INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS.

CONTENIDO

Introducción	11
1. El banco de calibración basado en boquillas sónicas	12
1.1. Calibración	12
1.2. La boquilla sónica.....	13
1.3. Banco de boquillas sónicas	14
1.4. Proceso de calibración de medidores de gas.....	15
1.4.1. El medidor de gas tipo diafragma	15
1.4.2. Calibración con boquilla sónica como patrón.....	16
1.5. Descripción del banco de calibración a automatizar	18
2. Instrumentación del banco de calibración.....	22
2.1. El modelo matemático aplicado en la calibración e identificación de variables.....	22
2.2. Selección de los instrumentos del banco de boquillas sónicas	25
2.2.1. Presión Absoluta.....	26
2.2.2. Presión Diferencial.....	27
2.2.3. Temperatura	29
2.2.4. Humedad	30
2.2.5. Sensor de fibra óptica	31
2.3. Actuadores	32
2.3.1. Bomba de vacío.....	32
2.3.2. Válvulas solenoides	33
3. Automatización del banco de boquillas sónicas.....	35
3.1. Plataforma Snap PAC System™ de OPTO22™	35
3.2. Arquitectura SNAP PAC SYSTEM para el banco de calibración.....	37
3.2.1. Los controladores	37
3.2.2. Los módulos Entrada/Salida	39
3.2.3. Las tarjetas de montaje (<i>racks</i>).....	43

3.3. Aseguramiento Metrológico.....	45
3.4. Procedimiento de calibración	47
3.5. Estrategia de automatización	52
4. Pruebas de operación.....	54
4.1. Pruebas Estrategia de Aseguramiento Metrológico	54
4.2. Pruebas Estrategia de Calibración de Medidores	56
4.3. Características Definitivas de Banco de Calibración	58
5. Conclusiones y recomendaciones	60
6. Referencias bibliográficas	61

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Boquilla Sónica	13
Figura 2. a) Boquilla Sónica. b) Boquilla sónica instalada en tubería.	14
Figura 3. Banco de Boquillas sónicas	15
Figura 4. Medidor tipo diafragma	16
Figura 5. Esquema de calibración involucrando una sola boquilla.....	17
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso banco de calibración	19
Figura 7. Esquema SNAP PAC System TM	36
Figura 8. Arquitectura SNAP PAC System TM del banco de boquilla sónicas	37
Figura 9. Estrategia de control Aseguramiento Metrológico	46
Figura 10. Ventana de la Interfaz de usuario de la estrategia de Aseguramiento Metrológico	47
Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de calibración automatizado.....	52
Figura 12. Chart de la estrategia calibración de medidores en controlador R1	52
Figura 13. Configuración OPTO DATALINK TM para adquisición datos de entada de la estrategia de automatización del banco de boquillas sónicas.....	53
Figura 14. Ventana calibración transmisores de temperatura de la estrategia de Aseguramiento Metrológico	54
Figura 15. Calibración transmisores de temperatura	55
Figura 16. Ventana calibración transmisores de presión diferencial de la estrategia de Aseguramiento Metrológico	56
Figura 17. Calibración transmisores de Presión Diferencial	56
Figura 18. Ventana interfaz de usuario estrategia de calibración de medidores....	57
Figura 19. Instalación de los medidores durante el proceso de calibración usando el banco	58
Figura 20. Instalación de los medidores durante el proceso de calibración usando el banco	59

RESUMEN

TÍTULO: AUTOMATIZACIÓN DE UN BANCO DE BOQUILLAS SÓNICAS PARA LA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE GAS¹

Autor: Oscar Yazit Salah García²

Palabras claves: Calibración, Boquillas Sónicas, instrumentación Automatización

En el presente trabajo se desarrolló e implementó la automatización de un banco de boquillas sónicas para la calibración de medidores de volumen de gas tipo diafragma. Para llevar a buen término el proyecto se identificaron las variables a medir de acuerdo con los modelos matemáticos que rigen este proceso de calibración. Una vez identificadas estas variables se realizó la selección de los instrumentos que se requiere para medirlas. Simultáneamente se seleccionaron los actuadores necesarios para la operación automatizada del banco.

La automatización se desarrollo utilizando controladores PAC de OPTO22™. Para esto se configuró una arquitectura de controladores, tarjetas de montaje y módulos de entrada-salida adecuados para el proceso. Se seleccionaron controladores apropiados para proporcionar robustez en cada etapa de la calibración. Se escogió un conjunto de tarjetas de adquisición de datos necesarias para tomar las lecturas de los instrumentos seleccionados y módulos de señales de salida para el control de los actuadores. Se desarrollaron las estrategias de control e interfaces de usuario (HMI) necesarias para el aseguramiento metrológico y la operación del banco de calibración. Adicionalmente se realizó la documentación de los instrumentos y actuadores del banco utilizando la norma ISA 5.1 y ISA 20. Como resultado final de este proyecto se cuenta con un banco automatizado para calibrar hasta de 10 medidores de gas tipo diafragma simultáneamente.

¹ Proyecto de Grado

² Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctricas, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Alfredo Rafael Acevedo Picón. Codirector: Jorge Andrés Reyes Valdés.

ABSTRACT

TITLE: AUTOMATION OF A SONIC NOZZLES FACILITY FOR CALIBRATION OF GAS METER³

Author: Oscar Yazit Salah García⁴

Key words: Calibration, Sonic Nozzles, Automation, Instrumentation, OPTO22

This work is about the development and the implementation of the automation of a sonic nozzles facility for calibration of gas meter. To the successfully implementation of this project were identified all variables to measure according to the mathematical models governing the process of calibration. Once these variables identified were selected the instruments to measure them. Simultaneously, were selected actuators needed for automated operation of the facility.

The automation was developed using PAC controller of OPTO22™. To do it, was configured an architecture composed of controllers, mounting cards and input/output modules suitable for the process. Appropriate controllers were selected to provide robustness at every stage of the calibration. A set of data acquisition cards necessary to take readings of the instruments and modules output signals to control actuators was chosen. Control strategies and user interfaces (HMI) required for metrological assurance and operation of the calibration facility were developed. Additionally the documentation of the instruments and actuators of the facility was performed by using the standards ISA 5.1 and ISA 20. The end result of this project has an automated facility to calibrate up to 10 diaphragm type gas meters simultaneously.

³ Degree Work

⁴ Physics-Mechanics Engineering Faculty. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director: Alfredo Rafael Acevedo Picón. Co-director: Jorge Andrés Reyes Valdés.

INTRODUCCIÓN

La industria de la distribución del gas enfrenta varios desafíos. Entre otros el suministro a nivel industrial y domiciliario, donde tiene el compromiso de proporcionar confianza en los resultados de los instrumentos de medición existentes, sustentar transparencia en entrega del gas y cumplir con la reglamentación vigente. Siendo las anteriores exigencias suficiente motivación, se diseñó y se construyó dentro de la Corporación CDT de Gas un banco para la calibración de medidores de este importante fluido.

En particular el banco está enfocado a la calibración de medidores tipo diafragma, ya que son estos los de mayor uso a nivel domiciliario y en pequeñas industrias. Para que el proceso de calibración de estos medidores sea seguro, confiable, mantenga incertidumbre dentro de una tolerancia establecida y posea poca intervención por parte del operario, es importante que el banco de boquillas sónicas sea automatizado. Por las razones anteriormente expuestas, se planteó y ejecutó el presente proyecto de grado encaminado a la automatización de dicho banco. Las actividades llevadas a cabo y los resultados obtenidos en este proyecto de grado son descritos en este documento.

El tema se inicia presentando conceptos básicos relacionados con la tecnología utilizada para el desarrollo del banco (boquillas sónicas), el tipo de medidores a calibrar (tipo diafragma) y definiciones generales de calibración. En el segundo capítulo se muestran los aspectos más relevantes asociados a la instrumentación del banco (requerimientos, selección y características técnicas). Continuando el tema en el tercer capítulo se tratan la plataforma utilizada y la automatización desarrollada para el banco. En capítulo cuatro se describen las pruebas de operación para comprobar la correcta operación de la automatización desarrollada. Por último en el capítulo cinco se encuentran las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado. La documentación elaborada para describir el banco de calibración utilizando como referencia la normas ISA es un resultado de este trabajo que se presenta en el ANEXO B.

1. EL BANCO DE CALIBRACIÓN BASADO EN BOQUILLAS SÓNICAS

El tema central de este documento es la automatización de un banco de boquillas sónicas para la calibración de medidores domiciliarios de gas natural. Por esto es indispensable que antes de describirse cualquier actividad orientada al desarrollo de la automatización, debe presentarse el sistema con el cual se trabaja. Con el propósito de ubicar al lector en el contexto del banco de calibración en este primer capítulo se realiza una descripción de la estructura que se automatiza y del proceso de calibración para el cual es diseñada. Se inicia con una definición de calibración y otros conceptos relevantes para el tema en base al vocabulario internacional de metrología VIM[1]. Se continúa el tema con una breve explicación del dispositivo boquilla sónica y detalles de su uso como patrón de medición. Se presenta el medidor de gas tipo diafragma como medidor bajo prueba. Para finalizar se da a conocer el banco de calibración a automatizar, sus componentes y su funcionalidad.

1.1 Calibración

El banco de boquillas sónicas se construye y se automatiza para realizar con él un proceso de “calibración” de medidores de gas. Es importante, en este punto inicial del documento, aclarar que calibración se define como: “Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de las magnitudes que indique un instrumento de medición o un sistema de medición, o valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes determinados por medio de los patrones”[1].

En particular el objetivo por el cual se diseña el banco de boquillas sónicas es el de establecer la relación entre las mediciones de volumen entregadas por un grupo de medidores de gas tipo diafragma y los valores de volumen determinados a partir de los caudales del patrón de boquillas sónicas. En consecuencia este proceso requiere de la medición de dos tipos de magnitudes, caudal y volumen.

El Caudal es la cantidad de fluido, expresada en masa o en volumen, que pasa a través de una sección transversal de referencia por unidad de tiempo. El parámetro caudal se expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo (m^3/h , caudal volumétrico) o de masa por unidad de tiempo (Kg/h , caudal másico). El volumen que pasa por una sección transversal en un lapso de tiempo determinado utilizando un medidor de caudal, se obtiene midiendo simultáneamente el caudal y el tiempo[2].

Además es importante en este proceso tener en cuenta que los resultados de las mediciones en mención están compuestos por el valor de una magnitud y una

incertidumbre de medición. La Incertidumbre se puede definir de manera sencilla como la duda que existe del resultado de cualquier medición[3].

1.2 La boquilla sónica

La boquilla sónica es un dispositivo que se usa en metrología de fluidos como patrón secundario. Su principal característica es que se diseña para proveer un caudal de valor fijo. Este tipo de boquilla, es un conducto convergente-divergente (ver Figura 1), que separa las condiciones de velocidad y presión de un fluido a la entrada de esas mismas condiciones del fluido a la salida. Como la presión de salida, P_{OUT} , es reducida en comparación con la presión de entrada, P_{IN} , el fluido acelerará desde la tubería de entrada en el sentido del flujo a través de la garganta (región más estrecha o de menor área transversal), y luego se descarga en la tubería de salida. Para unas condiciones de entrada dadas, en las que diferencia de presión, P_{IN} menos P_{OUT} , es incrementada, la velocidad aumenta hasta alcanzar su máximo valor que es igual a la velocidad local del sonido en la garganta. En este punto, cualquier reducción que se presente en P_{OUT} no generará un incremento en el caudal. El flujo en esta condición es llamado sónico o crítico[4].

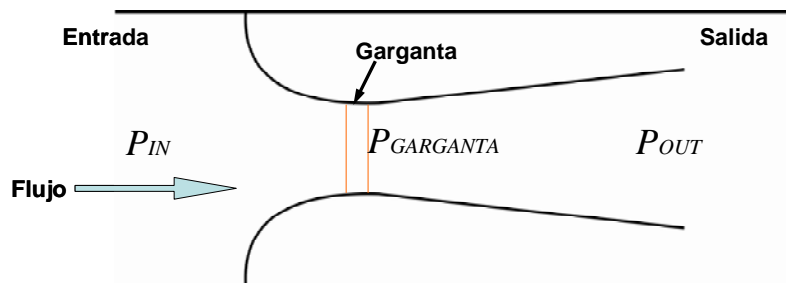


Figura 1. Boquilla Sónica

Cuando en una boquilla se alcanza la condición de flujo crítico se garantiza que por esta fluye un caudal másico que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$q_m = \frac{P_o A^* C^* C_d}{\sqrt{(R/M)T_o}} \quad \text{Ecuación 1}$	A^* Área de la garganta C^* Factor de flujo crítico C_d Coeficiente de descarga R Constante universal del gas M Masa molecular del gas
q_m Caudal másico boquilla sónica P_o Presión absoluta a la entrada T_o Temperatura a la entrada	

El factor de flujo crítico es una corrección que se hace al cálculo del caudal que atraviesa la boquilla realizando las mediciones de variables (temperatura, y presión) a la entrada y no en la garganta de la misma. Las mediciones se realizan a la entrada del dispositivo debido a limitaciones físicas propias; tales como el diámetro a través de la garganta que tiende a ser infinitesimal imposibilitando la inserción de un sensor de temperatura sin causar perturbaciones en el flujo. El factor de flujo se calcula haciendo algunas suposiciones a cerca de los gases, sin embargo para trabajo con aire se estima con una incertidumbre 0,1 por ciento a presiones menores a 100 atmósferas y temperatura ambiente [4].

De acuerdo a lo anterior se tiene que si se logra la medición de T_o y P_o , se consigue determinar el área de la garganta y se conocen las propiedades del gas, se puede utilizar la boquilla sónica como medidor de caudal. Para que el modelo matemático (Ecuación 1) pueda aplicarse con éxito debe tenerse especial cuidado de asegurarse que la condición de flujo crítico haya sido alcanzada en la boquilla.

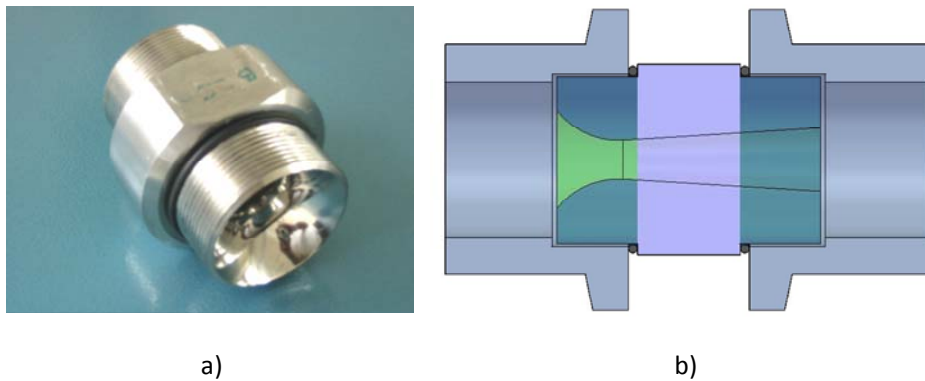


Figura 2. a) Boquilla Sónica. b) Boquilla sónica instalada en tubería.

En conclusión se tiene que la boquilla sónica es un dispositivo que posee, respecto a otros principios de medición de flujo, la desventaja de trabajar a un único valor de caudal pero es usado como patrón de medición gracias a unas reconocidas bases teóricas y la ventaja de no poseer partes móviles y tener un comportamiento estable en tiempo (baja deriva)[4].

1.3 Banco de boquillas sónicas

Es notable que la principal característica de una boquilla sónica, la de mantener un único caudal, es una limitante en una aplicación en la que se requiera reproducir diferentes valores de esta magnitud. Pero si se elige la tecnología de boquillas sónicas la posibilidad de obtener diferentes valores fijos de caudal no deja de existir. Para tal finalidad se usa un banco de boquillas.

Un banco es un arreglo de boquillas en las que el flujo pasa en paralelo a través de éstas. Cada una de las boquillas se diseña para entregar un valor de caudal particular. De esta manera es posible hacer combinaciones de boquillas para

lograr mediante la suma de sus caudales nominales un valor de caudal específico en cada combinación. En la figura 3. se observa un esquema de banco de boquillas. Este esquema esta compuesto de cinco boquillas cada una instalada sobre una tubería. Las tuberías se encuentran instaladas en medio de dos contenedores llamados *plenum*, uno identificado como el de entrada y el siguiente como de salida. Para que las boquillas de un banco alcancen una condición de flujo crítico debe existir una determinada relación de presión entre su *plenum* de entrada y el *plenum* de salida. Luego de conseguirse tal relación se garantiza que por cada una de las boquillas esta pasando una caudal igual al valor nominal. En la figura 3. también se muestra que cada boquilla esta acompañada de una respectiva válvula. Mediante la apertura o cierre de estas válvulas se elige la combinación de boquillas que da origen a un cierto caudal[5].

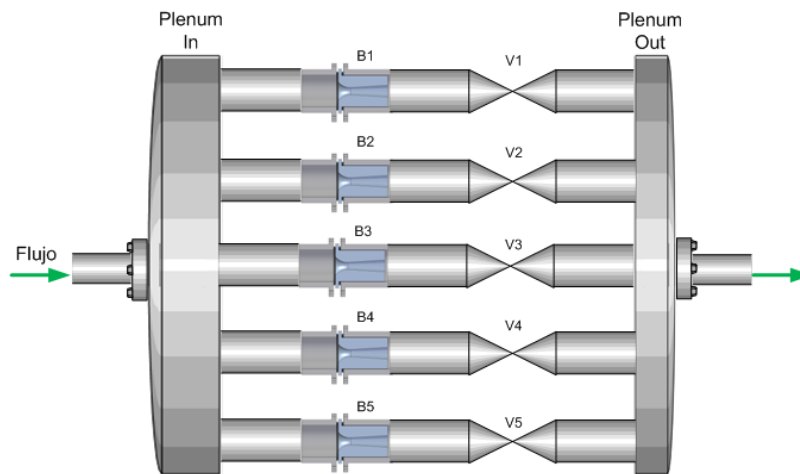


Figura 3. Banco de Boquillas sónicas

1.4 Proceso de calibración de medidores de gas

La comparación entre los resultados que registran unos medidores de gas tipo diafragma y los valores de volumen inferidos a partir de las boquillas sónicas son el fin último de la operatividad del banco de calibración. Previamente se explicó el funcionamiento de la boquilla, es necesario una descripción del medidor tipo diafragma para tener una noción de los dos medidores protagonistas en proceso de la calibración. Estos conocimientos previos son el punto de partida para que se inicie en esta sección una descripción del proceso de calibración así como del banco que se automatiza.

1.4.1 El medidor de gas tipo diafragma

El medidor de gas tipo diafragma que es el medidor bajo prueba, se caracteriza dentro de la variedad de tecnologías para medir volumen de gas por ser de uso masivo. Esta clase de medidor se encuentra instalado desde el nivel domiciliario,

hasta el comercial e industrial. Dentro de las razones principales que han favorecido su popularidad se encuentran: bajo costo, buen desempeño y requerimientos de instalación simples, entre otros.

Este tipo de medidor esta compuesto por una caja de metal que tiene una sección superior y sección inferior. La sección inferior consiste en cuatro cámaras, dos de las cuales están encerradas por diafragmas flexibles (o fuelles) que se expanden y contraen tanto como son cargados con el gas que esta siendo medido (ver Figura 4). Conforme el gas pasa un mecanismo permite que de forma coordinada, en cada ciclo, que un diafragma se llene a la vez que el otro se vacía y viceversa. La lectura mecánica es obtenida por conexión de los diafragmas a un conjunto de engranajes adaptados que relacionan cada ciclo de descarga del diafragma con una cantidad de gas conocida. La indicación se hace por medio de un odómetro que señala con cada una de sus vueltas el volumen de gas que ha pasado a través del medidor [6].

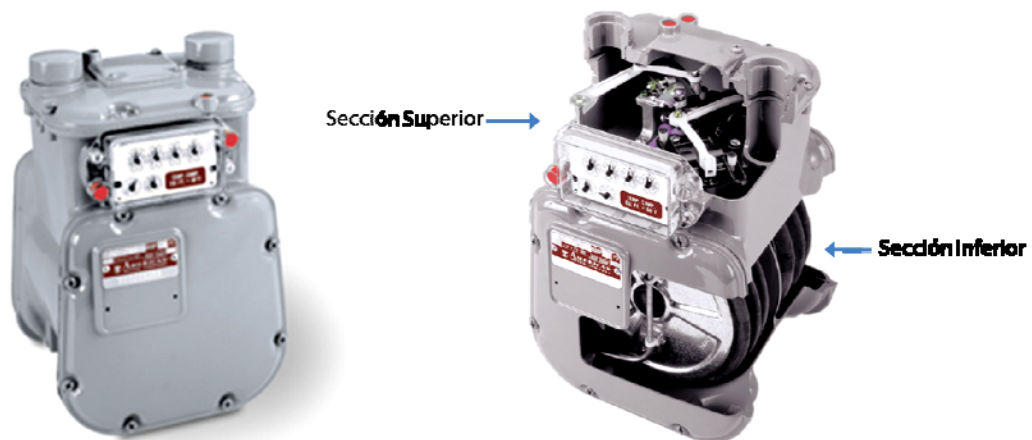


Figura 4. Medidor tipo diafragma

Los medidores tipo diafragma se encuentran comercialmente en diferentes denominaciones asignadas de acuerdo a las tasas máximas de flujo. Para citar algunos ejemplos se tienen los medidores “G1.6”, “G2.5”, “G4.0” y “G6.0” los cuales corresponden a medidores con caudales máximos de 2.5 ,4, 6 y 10 m³/h respectivamente. La capacidad de un modelo particular de medidor, esta establecida en normas y recomendaciones tales como las Normas Técnicas Colombianas NTC 2826 y NTC2728 [7] [8].

|

1.4.2 Calibración con boquilla sónica como patrón

El método de calibración de medidores de gas tipo diafragma utilizando un patrón de boquillas sónicas se basa en la comparación entre el volumen registrado por el medidor objeto de calibración y el volumen determinado a partir de la conversión

de los caudales de referencia de cada una de las boquillas del banco. De forma gráfica método de calibración se puede esquematizar como lo muestra la Figura 5.

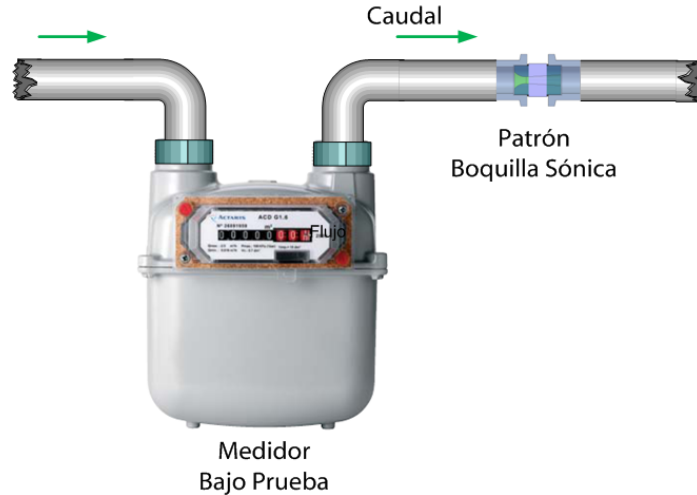


Figura 5. Esquema de calibración involucrando una sola boquilla.

Para inferir los volúmenes a comparar se usan las directrices y ecuaciones de trabajo establecidas en el Reglamento de Pruebas del PTB. Tomo 25, Medidores de Gas – Bancos de prueba con toberas críticas [9]. De acuerdo a este reglamento se tiene que de manera teórica el flujo volumétrico de cada boquilla se modela a través de la siguiente expresión matemática:

$$Q_{V,P} = \frac{\rho_{Boq}}{\rho_{med}} \cdot (1 + 0.169 \cdot x_v) \cdot \sqrt{\frac{T_{Boq}}{293,15}} \left[1 + C_{PE} \cdot (p_{Boq} - 1000mbar) \right] \cdot Q_{V,20,tr,1000} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Como la magnitud a comparar es volumen se debe multiplicar el caudal determinado en la ecuación 2. por el respectivo tiempo de medición t conforme a la siguiente expresión:

$$Vp = Q_{V,P} \cdot \frac{t}{3600s} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Para usar estas expresiones se requiere de los valores ρ_{Boq} , ρ_{med} que corresponden a densidad del aire en la boquilla y el medidor respectivamente, el factor de corrección C_{PE} , el caudal de referencia $Q_{V,20,tr,1000}$, la presión y la temperatura a la entrada de la boquilla, p_{Boq} y T_{Boq} y de la fracción molar de vapor de agua x_v , que requiere a su vez de la presión atmosférica, la temperatura del ambiente y de humedad relativa del aire p_a , T_a y h , para ser calculada. Además

la necesidad de calcular volumen implica obtener el tiempo transcurrido para el paso del volumen de prueba [9].

Para realizar calibraciones basándose en las anteriores expresiones matemáticas se especifica que el banco debe poseer una estrategia de automatización. De esta estrategia se requiere que por medio de una serie de instrumentos de medición, se adquieran datos de magnitudes como presión, temperatura, humedad y tiempo. Además que ejecute determinadas acciones que proporcionen operatividad al proceso de calibración. La implementación de esta estrategia debe enfocarse en alcanzar ciertas especificaciones como incertidumbre dentro de un rango permisible, poca intervención del operario y un alto nivel seguridad. Adicionalmente se requiere que el manejo y configuración del proceso se ejecute mediante una interfaz de usuario.

1.5 Descripción del banco de calibración a automatizar

El banco de calibración de medidores de gas tipo diafragma a automatizar es una estructura metrológica que se diseña para calibrar entre 1 y 10 medidores de gas en una sola rutina de calibración. Se pueden calibrar en esta facilidad medidores tipo diafragma de las denominaciones G1.6, G2.5, G 4.0 y G6.0.

La estructura comprende dos zonas de calibración, cada una con capacidad para 5 medidores. De acuerdo a la demanda de calibración se permite habilitar cada zona de manera independiente o usar las dos zonas al tiempo. Esto permite realizar la calibración a 5 medidores mientras que se disponen otros 5 para la siguiente calibración. Cuando la demanda es suficiente se calibran de 6 a 10 medidores usando las dos zonas de manera simultánea.

El funcionamiento del banco se describe mediante el diagrama de flujo de proceso que se muestra en la figura 6. En principio se observa que los medidores siempre están conectados en serie, independientemente de la zona que se desee usar. Para la habilitación de una zona en particular se restringe el recorrido del flujo por medio de las válvulas identificadas en el diagrama como "Vpnn" (Vpn1,Vpn2, Vpn3,Vpn4 y Vpn5).

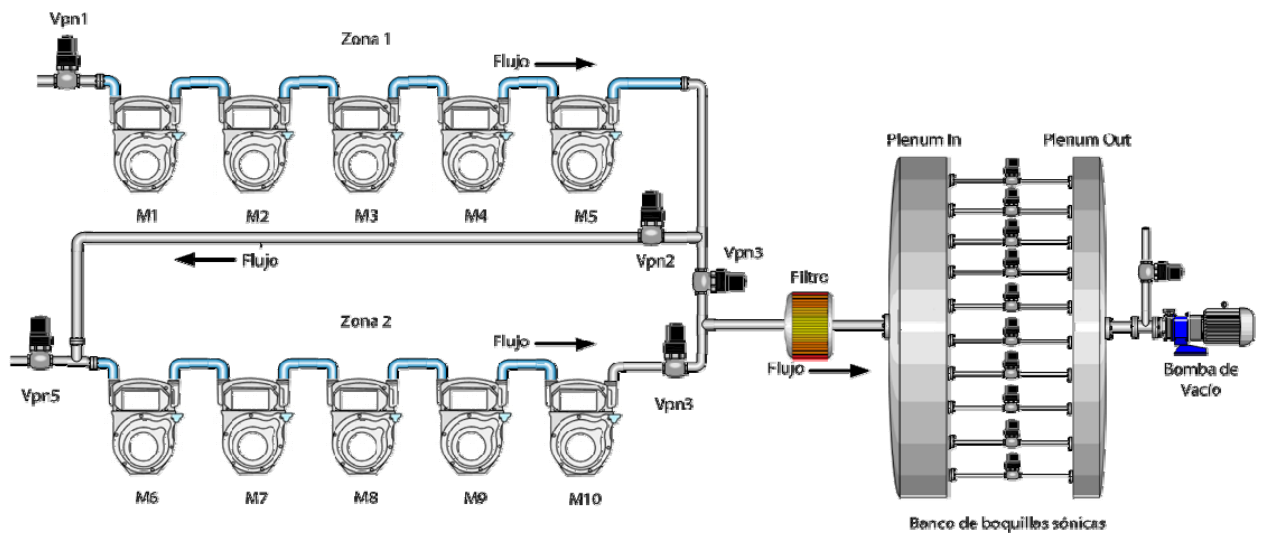


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso banco de calibración

Este banco se diseña para trabajar a succión, para lo cual una bomba de vacío aspira aire desde cualquiera de las entradas de flujo posibles (la entrada de la zona 1 o la entrada de la zona 2). El fluido pasa a través de los medidores y luego fluye por las boquillas sónicas habilitadas hasta llegar a la bomba de vacío. De esta manera se logra que por los medidores a calibrar pase el mismo caudal que atraviesa las boquillas y sea posible la comparación.

El paso del fluido por cada uno de los medidores implica una determinada pérdida de presión. La succión generada por la bomba debe superar las pérdidas atribuidas a los medidores, las pérdidas de presión en las líneas de flujo y además debe mantener la relación de presión de bloqueo que permita que en las boquillas se alcance el flujo sónico.

El rango de caudales de trabajo de la facilidad de calibración está determinado por la capacidad del banco de boquillas. El banco está compuesto por 10 boquillas sónicas de caudales nominales de 0,016 m³/h hasta 6 m³/h como lo muestra la Tabla 1.

Boquilla	Caudal Q [m ³ /h]
B1	0,016
B2	0,025
B3	0,05
B4	0,125
B5	0,25

B6	0,5
B7	1
B8	2
B9	4
B10	6

Tabla 1. Caudales nominales del banco de boquillas sónicas.

Este banco brinda la posibilidad de obtener 1024 valores de caudales en el, pero las diferencias entre algunos caudales es despreciable. Por tal motivo la funcionalidad que se le da al banco esta basada en la reproducción de solo 25 caudales que se consideran representativos para la calibración de los medidores de diafragma dentro de las denominaciones especificadas para el banco. La norma NTC2728 especifica para cada uno de estos medidores el caudal máximo (Qmax) y el caudal mínimo (Qmin) de trabajo. Además establece que las curvas de error se deben determinar para todos los medidores en diferentes caudales, dentro de los cuales se debe incluir Qmin, 3Qmin, 0,1Qmax, 0,2Qmax, 0,4Qmax, 0,7Qmax y Qmax. La tabla 2 muestra los valores de cada uno de estos caudales para cada medidor así como las combinaciones de boquillas que se usan con el fin de reproducirlos mediante el banco[8].

No	Q [m ³ /h]	Combinación de Boquillas	G 1,6	G 2,5	G4,0	G 6,0
1	0,016	B1	Qmin			
2	0,025	B2		Qmin		
3	0,04	B1+B2			Qmin	
4	0,048	B3	3Qmin			
5	0,06	B1+B3				Qmin
6	0,075	B2+B3		3Qmin		
7	0,12	B4			3Qmin	
8	0,18	B3+B4				3Qmin
9	0,25	B5	0,1Qmax			
10	0,40	B2+B4+B5		0,1Qmax		
11	0,50	B6	0,2Qmax			
12	0,60	B4+B6			0,1Qmax	
13	0,80	B3+B5+B6		0,2Qmax		

14	1,00	B7	0,4Qmax			0,1Qmax
15	1,20	B5+B7			0,2Qmax	
16	1,60	B4+B6+B7		0,4Qmax		
17	1,75	B5+B6+B7	0,7Qmax			
18	2,00	B8				0,2Qmax
19	2,5	B6+B8	Qmax		0,4Qmax	
20	2,80	B5+B6+B8		0,7Qmax		
21	4,00	B9		Qmax		0,4Qmax
22	4,20	B5+B9			0,7Qmax	
23	6,0	B10			Qmax	
24	7,00	B7+B10				0,7Qmax
25	10,0	B9+B10				Qmax

Tabla 2. Caudales de prueba para medidores G1.6, G2.5, G4.0 y G6.0

2 INSTRUMENTACIÓN DEL BANCO DE CALIBRACIÓN

El uso de instrumentación electrónica en el banco de calibración esta destinado a dar cumplimiento a tres actividades del proceso de comparación. La primera de ellas es obtener las variables secundarias (presión, temperatura, humedad) que requiere el modelo matemático de caudal para la boquilla sónica. La segunda actividad es registrar para el sistema de automatización la medición de volumen que entrega cada uno de los medidores. Como una ultima actividad la medición del tiempo que se hace para obtener la comparación directa entre el caudal que entregan las boquillas y el volumen indicado por los medidores de gas en términos de volumen. Este capitulo se enfoca en mostrar al lector la instrumentación que se selecciona para el banco así como la justificación de su uso. Adicionalmente se consideran los actuadores necesarios para la correcta operación del banco.

2.1 El modelo matemático aplicado en la calibración e identificación de variables

Como se especificó en la sección 1.4.2. el modelo matemático con el cual se calcula el caudal de una boquilla sónica es el presentado en el reglamento de pruebas PTB 25. El modelo lo describen de manera sencilla la Ecuación 2 y la ecuación 3. Una breve inspección de estas ecuaciones permite hacer un inventario del total de variables físicas que se requiere medir.

$$Q_{V,P} = \frac{\rho_{Boq}}{\rho_{med}} \cdot (1 + 0.169 * x_v) * \sqrt{\frac{T_{Boq}}{293,15}} [1 + C_{PE} * (p_{Boq} - 1000mbar)] * Q_{V,20,tr,1000} \quad \text{Ecuación 4.}$$

4.

$$Vp = Q_{V,P} * \frac{t}{3600s} \quad \text{Ecuación 5.}$$

$Q_{V,P}$ Caudal Volumétrico del patrón de boquillas sónicas

ρ_{Boq} Densidad del aire en la boquilla

ρ_{med} Densidad del aire en el Medidor de gas

x_v Fracción molar de vapor de agua

P_{Boq} Presión a la entrada de la boquilla

T_{Boq} Temperatura a la entrada de la boquilla

P_{med}	Presión a la entrada del medidor
T_{med}	Temperatura a la entrada del medidor

En primer lugar se observa que se requiere la densidad del aire en dos puntos, a la entrada de la boquilla ρ_{Boq} y a la entrada del medidor bajo prueba ρ_{med} . Estas densidades son función de la temperatura y la presión en cada uno de estos puntos y la humedad relativa del aire (P_{Boq} , T_{Boq} , P_{med} , T_{med} y hr respectivamente). Igualmente se aprecia de manera explícita que la Ecuación 2 requiere de valores de temperatura y presión a la entrada de la boquilla. Otro requerimiento de la expresión matemática es la densidad molar de vapor de agua x_v . Esta variable a su vez es función de la presión atmosférica P_a , la temperatura ambiente T_a así como del valor de la humedad de aire hr .

Con el fin de generalizar el uso de la Ecuación 2 para el caso de este banco de calibración en el cual pueden existir hasta 10 medidores de gas se requiere tener algunas consideraciones prácticas. Se usan transmisores de presión diferencial entre el punto de entrada y el punto de salida de cada medidor. Esto permite inferir la presión absoluta a la entrada de cada uno de los mismos. La medición de la presión diferencial tiene otra prestación en este caso, permite determinar si la pérdida de presión en un medidor esta dentro de lo especificado para cada modelo de medidor de acuerdo con la norma correspondiente (por ejemplo NTC 2728).

De otra parte, para el correcto funcionamiento de las boquillas sónicas como patrón de medición se requiere garantizar que las boquillas trabajan a condiciones de flujo sónico. El modelo que representa la Ecuación 2 solo es válido si se conoce que se mantiene relación de presión de bloqueo entre la entrada y salida de las boquillas (entre plenum de entrada y plenum de salida), para lo cual se debe cumplir la Ecuación 6. Lo anterior implica que requiere del uso de instrumentos de presión que permitan a través de sus indicaciones calcular la relación de presión de bloqueo. Con este fin se determino la utilización de un medidor de presión diferencial ubicado entre los dos plenum.

$$\frac{P_o}{P_i} \leq 0,5 \text{ Ecuación 6.}$$

P_o	Presión plenum Out
P_i	Presión Plenum In

Hasta este momento se tiene en cuenta instrumentación relacionada con el patrón de boquillas sónicas. Adicionalmente se debe considerar la medición del volumen que pasa a través de cada uno de los medidores de gas. Para la funcionalidad que

debe tener el banco, esta medición se debe hacer de manera automática. En ese propósito se usa una característica especial que poseen los odómetros de los medidores de gas tipo diafragma. En la cifra menos significativa de su indicación estos poseen una franja reflectiva (niquelada). Esta franja se usa como la indicación que por cada vuelta de esa cifra del odómetro ha fluido a través del medidor una determinada cantidad de gas. Para la detección de estas franjas reflectivas en el sistema de automatización se seleccionó de un sensor de fibra óptica. El sensor se encarga de convertir en señales digitales, tipo pulso, los eventuales pasos de la franja reflectiva por en frente del sensor.

De acuerdo a lo anterior se obtiene un primer listado de variables a ser medidas:

Variables		Abreviatura
Presión	Presión Absoluta In Boquilla	P_{Boq}
Temperatura	Temperatura In Boquilla	T_{Boq}
Presión	Presión Absoluta In medidor bajo prueba	P_{med}
Presión	Presión diferencial medidor bajo prueba	DP_{med}
Temperatura	Temperatura In Medidor Bajo Prueba	T_{med}
Presión	Presión Atmosférica	P_a
Temperatura	Temperatura Ambiente	T_a
humedad	Humedad del aire	h
Presión	Presión diferencial entre Plenum In y Plenum Out	DP_{plenum}
Volumen	Sensor óptico. Conteo de Pulsos	SO

Tabla 3. Variables a medir para el banco de calibración de medidores de gas con patrón de boquillas sónicas

2.2 Selección de los instrumentos del banco de boquillas sónicas

El análisis del modelo matemático del patrón de boquillas sónicas y la revisión de los requerimientos del banco para su correcto funcionamiento arroja como resultado el reconocimiento de las variables que deben ser medidas en el proceso de calibración. Luego de esta identificación se especifica cada uno de los instrumentos con los que debe ser dotado el banco. De este proceso resulta el siguiente listado de instrumentos:

Instrumento	Abraviatura	Variable a medir	Ubicación
Barómetro	PT1	Presión Absoluta	Salida Zona 1
	PT2		Salida Zona 2
	PT3		Plenum In
	PT4		Succión Zona 1 y 2
Transmisores de presión diferencial	DPT1	Presión diferencial	Presión diferencial medidor de gas 1
	DPT2		Presión diferencial medidor de gas 2
	DPT3		Presión diferencial medidor de gas 3
	DPT4		Presión diferencial medidor de gas 4
	DPT5		Presión diferencial medidor de gas 5
	DPT6		Presión diferencial medidor de gas 6
	DPT7		Presión diferencial medidor de gas 7
	DPT8		Presión diferencial medidor de gas 8

	DPT9		Presión diferencial medidor de gas 9
	DPT10		Presión diferencial medidor de gas 10
Transmisor de presión diferencial	DPT11	Presión diferencial	Presión Diferencial Penum In/Out
Transmisor de Temperatura	TT1	Temperatura	Salida zona 1
	TT2		Salida zona 2
	TT3		Plenum In
	TT4		Succión Zona 1 y 2 (Ambiente)
Higrómetro	MT	Humedad	Antes del filtro

Tabla 4. Listado de instrumentos banco de calibración

Para la selección de los instrumentos existen varios criterios que se debe tener en cuenta. Por una parte, el tipo de señal que entregan, la clase, la deriva son características fundamentales de los instrumentos de este banco de calibración porque están directamente relacionadas con el desempeño metrológico y la estimación de la incertidumbre. Además el criterio del costo, siempre que se busca las mejores prestaciones del instrumento al menor precio. A continuación muestran posibles instrumentos para cada magnitud (resultado de una preselección cualitativa) y la selección definitiva, considerado los parámetros anteriormente descritos de acuerdo con los requerimientos del banco.

2.2.1 Presión Absoluta

El banco requiere barómetros para medir presión absoluta en un rango cercano a la presión atmosférica, aproximadamente entre 800 a 1000 mbar. De estos instrumentos se tiene las siguientes opciones:




		
Modelo: HPB100W2DA-AF	Modelo: HPB210B	Modelo: Digiquartz. 1650-001
Fabricante: Honeywell	Fabricante: Vaisala	Fabricante: Paroscientific
Alcance: 500 a 1200 mbar	Alcance: 500 a 1100 mbar	Alcance: 0 a 1034 mbar
Clase: $\pm 0,8$ mbar	Clase: $\pm 0,35$ mbar	Clase: $\pm 0,1$ mbar
Deriva: 0,25 mbar / año	Deriva: 0,1 mbar / año	Deriva: No reportada
Señal de salida: RS-232	Señal de salida: RS-232	Señal de salida: RS-232
Precio: \$825 USD	Precio: \$1147 USD	Precio: \$5200 USD

Tabla 5. Tabla de comparación barómetros

Entre las tres opciones se optó por el barómetro de marca Honeywell. Si bien este no es el de mejor clase y deriva, su desempeño es adecuado para los requerimientos del banco y presenta la mejor opción económica.

2.2.2 Presión Diferencial

Como se explico anteriormente se requieren transmisores de presión diferencial para dos rangos de trabajo diferentes. Se muestra a continuación las alternativas que se tiene para medir presión diferencial entre *plenum in* y *plenum out* y en cada medidor de gas:

Presión diferencial entre los *plenum*




		
Modelo: 616-8	Modelo: IX-5-F02-42-ST-200IW	Modelo:
Fabricante: Dwyer	Fabricante: Ashcroft	Fabricante: Omega
Alcance: 0 a 689.5 mbar	Alcance: 0 a 498,2 mbar	Alcance: 0 a 1378, 9 mbar
Clase: $\pm 1,72$ mbar	Clase: $\pm 2,491$ mbar	Clase: $\pm 10,31$ mbar
Deriva: $\pm 6,895$ mbar / año	Deriva: $\pm 1,246$ mbar / año	Deriva: No reportada
Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA
Precio: \$99 USD	Precio: \$ 656 USD	Precio: \$475 USD

Tabla 6. Tabla de comparación transmisores de presión diferencial (Plenum In - Plenum Out)

Entre las tres opciones se optó por el diferencial de marca Dwyer. Presenta un mejor alcance (más ajustado al rango de trabajo requerido) y una mejor clase dentro de los transmisores similares. Aunque presenta una deriva que no es la más favorable este instrumento representa también la mejor opción económica.

Presión diferencial en cada medidor




 <p>Modelo: 616-0</p>	 <p>Modelo: DX3-FO1-42-ST-2IW-XLC</p>	 <p>Modelo: PX663-2DI</p>
Fabricante: Dwyer	Fabricante: Ashcroft	Fabricante: Omega
Alcance: 0 a 5 mbar	Alcance: 0 a 5 mbar	Alcance: 0 a 5 mbar
Clase: $\pm 0,0125$ mbar	Clase: $\pm 0,0125$ mbar	Clase: $\pm 0,025$ mbar
Deriva: $\pm 0,05$ mbar / año	Deriva: $\pm 0,0125$ mbar / año	Deriva: $\pm 0,025$ mbar / año
Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA
Precio: \$99 USD	Precio: \$865 USD	Precio: \$ 600 USD

Tabla 7. Tabla de comparación transmisores de presión diferencial (Medidores de gas)

Entre las tres opciones se opto por el diferencial de marca Dwyer. Este posee un clase igual al de marca Ashcroft y mejor que el de marca Omega. En cuanto a la deriva si un poco más alta que la de las otras dos opciones, no obstante, su desempeño es adecuado para los requerimientos del banco y presenta la mejor opción económica.

2.2.3 Temperatura

Para medir temperatura se necesita un instrumento de buenas características metrológicas para trabajar a valores cercanos a la temperatura ambiente. Dentro de las posibles se discuten las siguientes opciones:



		
Modelo: R1T185L-384-C45,T-450	Modelo: MO3-L-LP	Modelo: MBT 5260
Fabricante: Pyromation	Fabricante: Intempco	Fabricante: Danfoss
Alcance: -51 a 160 °C	Alcance: -50 a 200°	Alcance: - 50 a 200°C
Clase: $\pm 0,1$ °C	Clase: $\pm 0,2$ °C	Clase: ± 1 °C
Deriva: 0,1°C / año	Deriva: 0,1°C / año	Deriva: 0,1°C / año
Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA
Tipo de sensor: Pt100	Tipo de sensor: Pt100	Tipo de sensor: Pt100
Precio: \$198 USD	Precio: \$233 USD	Precio: \$170 USD

Tabla 8. Comparación transmisores de temperatura

Como se muestra en la tabla comparativa el transmisor de temperatura Pyromation representa la mejor opción ya que a un bajo costo reporta la mejor clase de las tres opciones.

2.2.4 Humedad

		
Modelo: RHU-R008	Modelo: HX15-W	Modelo: HMT100

Fabricante: Dwyer	Fabricante: Omega	Fabricante: Vaisala
Alcance: 0 a 100% HR	Alcance: 0 a 100% HR	Alcance: 0 a 100% HR
Clase: $\pm 2\%$ HR	Clase: $\pm 2\%$ HR	Clase: $\pm 2\%$ HR
Deriva: mbar / año	Deriva: mbar / año	Deriva: mbar / año
Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA	Señal de salida: 4- 20 mA
Precio: \$225 USD	Precio: \$510 USD	Precio: \$ 530 USD

Tabla 9. Comparación transmisores de humedad

Dado que las tres opciones presentan las mismas características de desempeño, se optó por el girómetro marca Dwyer por ser el de menor precio.

2.2.5 Sensor de fibra óptica

El sensor de fibra óptica es un dispositivo que consta de dos componentes, el amplificador y la fibra óptica. El amplificador convierte señales ópticas captadas de superficies opacas o reflectivas en señales digitales de bajo o alto respectivamente. La fibra transmite la señal óptica desde el punto de detección hasta el amplificador. El uso que se le da al sensor de fibra óptica es que se describió en la sección 2.1. es facilitar la cuantificación de volumen a partir de un reflector en el odómetro de los medidores de gas. A continuación se muestran tres configuraciones posibles de sensor óptico que pueden seleccionarse para el banco:

		
Fabricante: Autonics	Fabricante: Omron	Fabricante: Sunx (Panasonic)
Modelo Amplificador: BF4R	Modelo Amplificador: E3X- NA11	Modelo Amplificador: FX - 311

Alimentación: 12 – 24 V DC	Alimentación: 12 – 24 V DC	Alimentación: 12 – 24 V DC
Señal de salida: NPN Colector abierto	Señal de salida: NPN Colector abierto	Señal de salida: NPN Colector abierto
Modelo fibra :FD – 320-05	Modelo fibra : E32 - D11	Modelo fibra : FD – T80
Rango de detección: 40 mm	Rango de detección: 45 mm	Rango de detección: 22 mm
Objetivo mínimo detectado: 0,03 mm	Objetivo mínimo detectado: 0,03 mm	Objetivo mínimo detectado: 0,02 mm
Precio Total : \$95 USD	Precio Total : \$165 USD	Precio Total : \$ 190 USD

Tabla 10. Comparación sensores de fibra óptica

Entre las tres opciones se optó por el conjunto marca Autonics. Si bien este no es el de mejor rango de detección, su desempeño es adecuado para los requerimientos del banco y presenta la mejor opción económica.

2.3 Actuadores

Como se menciona en secciones anteriores la operación del banco de calibración depende directamente de dos tipos de actuadores. La bomba de vacío como fuente de succión y las válvulas solenoides como elementos de control del flujo.

2.3.1 Bomba de vacío

La bomba cumple la importante función de generar el flujo de aire a través de toda la trayectoria del banco. Estando en acción esta bomba establece una diferencia de presión entre la entrada de aire al sistema y el final del banco. De esta forma se tiene a la entrada presión atmosférica y al final del banco la presión de vacío que genera de manera estable la bomba. Es por acción de ésta diferencia de presión que se mantiene el flujo a través del banco. La bomba que se usa en este banco de calibración tiene capacidad suficiente para sostener la presión de bloqueo de las boquillas sónicas aún cuando en el banco se estén calibrando 10 medidores.


	Fabricante: Becker
	Modelo: VT 4,16
	Alcance: 846.597 mbar
	Alimentación: 110 V AC
	Potencia: 0,94 HP

Tabla 11. Especificaciones bomba de vacío

2.3.2 Válvulas solenoides

La habilitación de cualquiera de las zonas del banco para una calibración así como la activación de las boquillas para reproducir diferentes caudales se hace por medio de válvulas solenoides. Estas válvulas se actúan automáticamente según sea el caso. Para esta aplicación se eligen los tipos de válvulas que se muestran en la Tabla 2Tabla 12 y la Tabla 13 porque son para aire como fluido, son válvulas solenoides que trabajan a la misma tensión de alimentación del banco 110 V AC. El resto de criterios son requerimientos de diseño mecánico del banco.

Para la habilitación de las boquillas sónicas se tiene la válvula SMC que se muestra en la Tabla 12 tipos de válvula de tamaño de 1/2 y 3/8 de pulgada, de un diámetro de paso de 10 mm.

	Fabricante: SMC
	Modelo: VCA41-3G-10-03N,VCA41-3G-10-04N
	Fluido: Aire
	Orificio: Ø 10mm
	Tamaño conexión: 03 (3/8 pulg), 04 (1/2 pulg)
	Rosca: N (NPT)
	Alimentación: 110 V AC , 50/60 Hz
	Consumo de potencia: 10 VA
	Tipo de válvula: Solenoide Normalmente

	cerrada - NC.
--	---------------

Tabla 12. Especificaciones válvulas solenoides

Para el control del paso del flujo a través de las zonas de calibración se decide usar válvulas pilotadas neumáticamente de acuerdo a criterios del diseño mecánico del banco. Este tipo de válvula requiere del paso de una determinada presión neumática para ser actuadas. Esta decisión implica tener un circuito neumático, con válvulas actuadas por aire a presión, que no se describen en este libro. Para activar el aire a presión que requieran las válvulas cada vez que deban ser actuadas se elige usar válvulas AZ Pneumatic como las que se muestran en la Tabla 13. Estas válvulas son tipo solenoide, son normalmente cerradas y actuadas a 110 V AC.


	Fabricante: AZ Pneumatic
	Modelo: 322 ME
	Fluido: Aire
	Orificio: 7,5 mm
	Tamaño conexión:
	Rosca: N (NPT)
	Alimentación: 110 V AC , 50/60 Hz
	Consumo de potencia: 10 VA
	Tipo de válvula: Solenoide Normalmente cerrada - NC.

Tabla 13. Especificaciones válvula solenoide

3 AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE BOQUILLAS SÓNICAS

3.1 Plataforma Snap PAC System™ de OPTO22™

De acuerdo a lo que plantea este proyecto la actividad de comparación entre los resultados de los medidores antes descritos se debe automatizar. Para automatizar este proceso de calibración se requiere de un conjunto de instrumentos y actuadores ya tratados en el numeral anterior, junto con una plataforma de control y adquisición de datos. La herramienta con la que se desarrolla la automatización del banco de boquillas sónicas es SNAP PAC SYSTEM™ de la compañía OPTO22™ que es un sistema integrado de software y hardware para control industrial, monitoreo y adquisición de datos. Consiste en 4 elementos básicos: el software, controladores, cerebros (brain) y módulos de entradas/salida [10].

El software llamado PAC PROJECT™ esta compuesto de los siguientes componentes:

PAC CONTROL™: Es una herramienta basada en diagramas de flujo que junto a un lenguaje de programación llamado OPTO SCRIPT™ sirve para desarrollar las estrategias de control y adquisición de datos. Una estrategia de control se define como el software creado usando PAC CONTROL™, que contiene todas las definiciones e instrucciones necesarias para el proceso de control. Está compuesta por un conjunto de diagramas de flujo denominados “charts”.

PAC DISPLAY™: Es un software para desarrollar interfaces gráficas HMI (*Human Machine Interface*).

OPTOSERVER™: En procesos OLE (*Object Linking and Embedding*) permite la comunicación por medio del estándar OPC (*OLE for Process Control*) hacia clientes OPC o programas compatibles con el estándar.

OPTODATALINK™: Herramienta del software que permite el intercambio de información entre SNAP PAC SYSTEM y bases de datos. Además puede intercambiar información con archivos planos de texto.

Para la automatización del banco de boquillas se utiliza PAC PROJECT Profesional 8.2, versión del software que permite el acceso a todos los componentes anteriormente mencionados.

Los controladores de tecnología PAC (*Programmable Automation Controller*); son los encargados de ejecutar la estrategia de control, se comunican con los módulos de entrada salida y proveen datos a la HMI. Los Cerebros (*Brains*) son procesadores de señales de entrada/salida ya sean analógicas o digitales. Los módulos entrada/salida manejan y adecuan las señales analógicas y digitales que pueden ser adquiridas por el sistema (entrada) o también para controlar un actuador (salida)[10].

En la figura 7 se puede observar una arquitectura de automatización con Hardware de SNAP PAC SYSTEM™. La imagen muestra un esquema sencillo de conexión en el que usan los cuatro elementos de la plataforma (controlador, Cerebro, módulos de entrada/salida y el software instalado en la estación de trabajo).

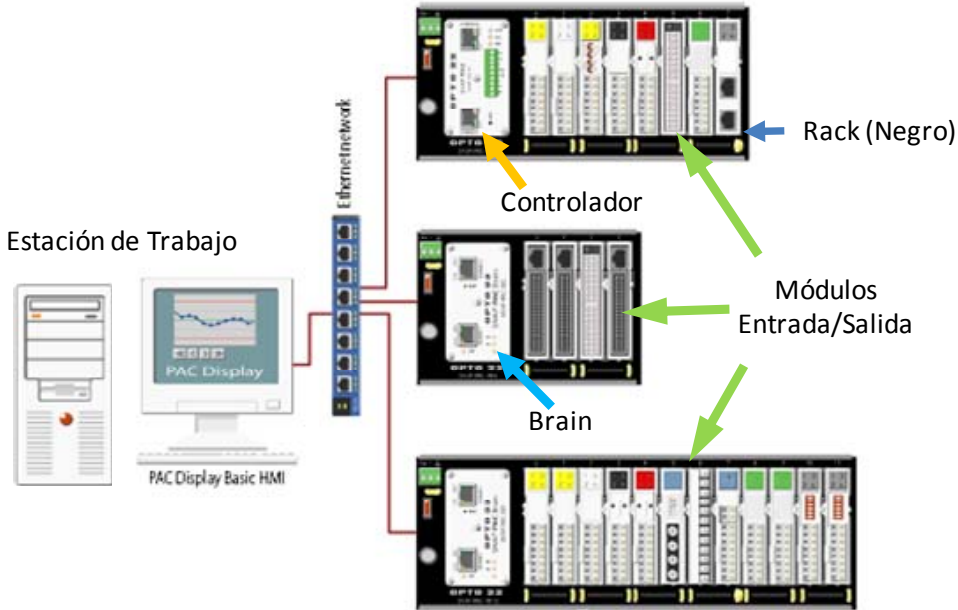


Figura 7. Esquema SNAP PAC System™

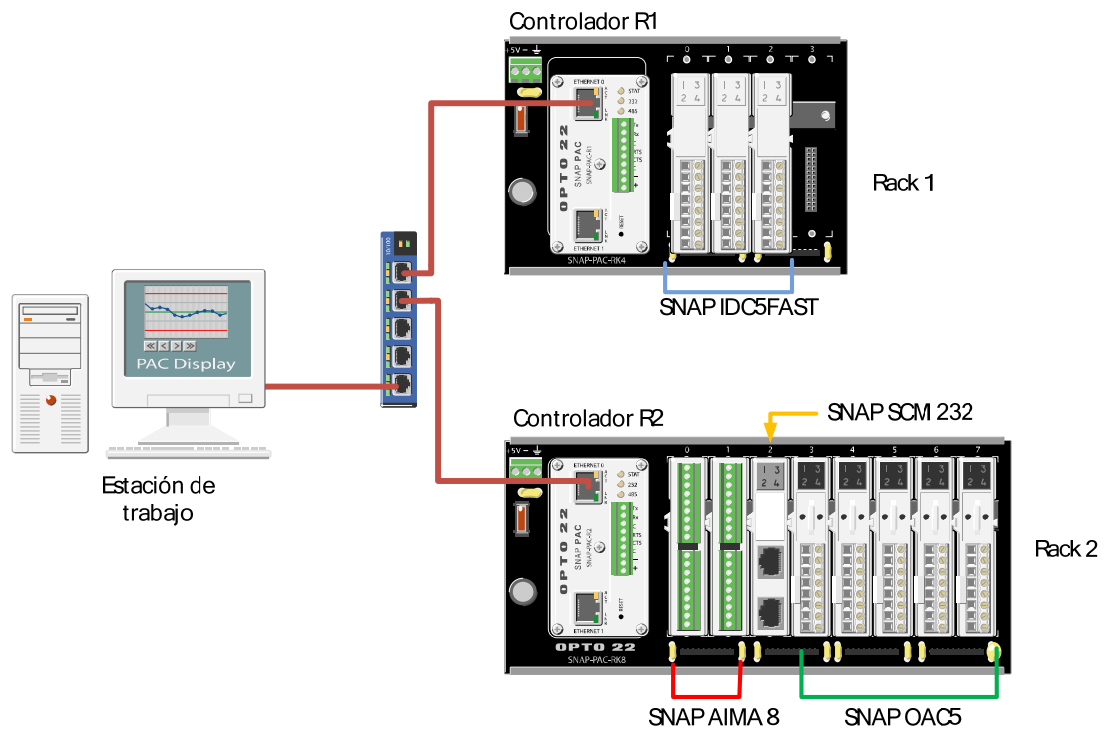


Figura 8. Arquitectura SNAP PAC System™ del banco de boquilla sónicas

3.2 Arquitectura SNAP PAC SYSTEM para el banco de calibración

La automatización del banco de boquillas sónicas requiere una arquitectura de SNAP PAC SYSTEM™ apropiada para realizar las actividades de control y adquisición de datos que demanda el proceso de calibración. Para proporcionarle robustez a la ejecución de estas tareas se elige una configuración compuesta por dos controladores. El propósito principal de esta elección es distribuir en dos procesadores las operaciones de la estrategia de automatización. La arquitectura también está compuesta por los módulos de E/S (Entrada/Salida) que se requieren tanto para la adquisición de datos como para la ejecución de los actuadores. Además se requieren las tarjetas de montaje (*racks*) que soportan e interconectan los controladores con los módulos E/S.

La arquitectura de automatización completa está compuesta por dos controladores, dos tarjetas de montaje y un conjunto de módulos (*Snaps*) de E/S como lo muestra la figura 8. Cada uno de estos elementos tiene unas características particulares y cumple con una tarea específica como se describe a continuación.

3.2.1 Los controladores

La arquitectura de automatización tiene un controlador PAC R1 y un controlador PAC R2. Los dos controladores están provistos de varios servicios entre los que se enumeran: Un Puerto para comunicación RS-232, dos puertos independientes para comunicación vía ethernet, un slot para una tarjeta de memoria *MicroSD*. Además estos dos controladores comparten las especificaciones que se muestran en la Tabla 14. Especificaciones técnicas controladores R1 y R2. El controlador R1 permite conteo de pulsos de alta velocidad (Frecuencias cercanas a los 20 kHz), conteo en cuadratura, medición de pulsos y medición de frecuencia; características que no posee el controlador R2. Adicionalmente se tiene que el precio de un controlador R1 es aproximadamente un 20% mayor que el precio del controlador R2.

Los dos controladores trabajan de manera simultánea en cada una de las etapas del proceso de calibración ejecutando las tareas de control o de adquisición de datos para las que han sido programados. Estas tareas se ejecutan unas de manera conjunta ente los dos dispositivos y otras de manera independiente por cada controlador. En función a las diferencias que existen entre los controladores R1 y R2 se decide usar un controlador tipo R1 para la adquisición y conteo de pulsos relacionados con la medición de volumen que pasa a través de los medidores de gas y el tiempo de prueba. La decisión se toma en razón a que estas dos tareas son las que están relacionadas con las variables primarias en el proceso de calibración (volumen y caudal). Se elige un controlador R2 para que permanezca realizando la adquisición de los datos de la variables secundarias (presión, temperatura y humedad), junto con el control de los actuadores durante todo le proceso de calibración. El control de la secuencia del proceso se realiza de forma compartida en los controladores.

Controladores R1 y R2



SNAP PAC R1

Ítem	Especificación
Unidad Central de Procesamiento	200 MHz 32-bit ColdFire® 5475 con unidad integrada de punto flotante (FPU)
Memoria: -Total RAM -Battery-backed RAM -Flash	-32 MB (5 MB disponible para estrategia de PAC Control; 2 MB para almacenamiento de archivos) -2 MB (1 MB disponible para estrategia de PAC Control) -8 MB (3.25 MB para estrategia de PAC Control ; 384 KB disponible para



SNAP PAC R2

	almacenamiento de archivos)
Batería de Backup	Recargable
Alimentación	5,0–5,2 VDC @ 1,5 A
Temperatura de operación	0 °C to 60 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C to 85 °C
Humedad	0% to 95% HR

Tabla 14. Especificaciones técnicas controladores R1 y R2

3.2.2 Los módulos Entrada/Salida

Los módulos E/S se seleccionan en función al tipo de señal que entrega cada uno de los instrumentos de medición o al tipo señal que requieran los actuadores para ser activados. Para elegir los módulos E/S y definir las cantidades requeridas de cada uno se considera realizar un resumen del listado de instrumentos. En este resumen solo se hace un inventario de los instrumentos de medición y actuadores junto a sus respectivas señales. El resultado de este resumen se muestra en la Tabla 15. La información consignada permite evaluar cuales módulos dentro de los que ofrece SNAP PAC SYSTEM son los adecuados para realizar la adquisición de datos y ejecución de las acciones que el banco requiere. Finalizada la evaluación se elige usar los módulos que se muestran en la última columna (“Tipo de módulo”) de la Tabla 15 .

Instrumentos	Cantidad	Tipo de Señal	Tipo de módulo
Barometro Honeywell Modelo HPB100	4	RS-232	SNAP SCM 232
Transmisor de presión diferencial Dwyer Modelo 616-8	1	4-20 mA	SNAP-AIMA 8
Transmisor de presión diferencial Dwyer Modelo 616-0	10	4-20 mA	SNAP-AIMA 8
Transmisor de temperatura Pyromation	4	4-20 mA	SNAP-AIMA 8
Higrometro Dwyer	1	4-20 mA	SNAP-AIMA 8
Sensores Opticos	10	0-12 VDC	SNAP IDC5 FAST A
Actuadores			
Válvulas Solenoide	17	On/Off 110VAC	SNAP OAC5

Bomba de Vacío (Relé)	1	On/Off 110VAC	SNAP OAC5
-----------------------	---	------------------	-----------

Tabla 15. Inventario de instrumentos, actuadores y sus respectivas señales

Dentro de las características de cada uno de los módulos se especifica el número de canales, especificación indica el número de señales, ya sea de entrada o de salida, que puede manejar un módulo. En función del número de canales se realiza la cuantificación de los módulos que se requieren de cada uno de los previamente elegidos. Los tipos de módulos y las respectivas cantidades se muestran en la Tabla 16.

Módulos	Descripción	E/S Requeridas	canales por módulo	Cantidad Módulos
SNAP-AIMA-8	Entradas 4-20 mA	16	8	2
SNAP IDC5- FAST-A	Entradas S. Ópticos	10	4	3
SNAP SCM 232	Barómetros	2	2	1
SNAP-OAC5	Válvulas Solenoides	17	4	3

Tabla 16. Lista de módulos y cantidades

Con el proceso descrito queda conformado el conjunto de módulos que usa la arquitectura de automatización. Como se observa se elige el SNAP AIMA 8 (ver Tabla 17) para la adquisición de las señales analógicas de los lazos de corriente de 4-20 mA de los instrumentos que entregan sus mediciones en este tipo de señal.



Item	Especificación
Rango de entrada	-20 mA to +20 mA
Resolución	0,8 uA
Actualización de lectura	0,28 seg

SNAP AIMA 8

(Max)	
Rechazo en modo común en DC	>-120 dB
Rechazo en modo común en AC	>-120 dB @ 60 Hz
Máxima Entrada	36 mA or 9 VDC
Clase	0,05% (10 uA)
Resistencia de Entrada	200 ohms
Temperatura de Operación	0 °C to 70 °C
Canales por módulo	8

Tabla 17. Especificaciones del módulo SNAP PAC AIMA 8

Los barómetros usados en el banco a automatizar entregan los valores de sus mediciones en protocolo RS-232. Como se tiene cuatro barómetros se decide conectar dos de ellos a los puertos que ofrece cada uno de los controladores para este tipo de señales. Para adquirir mediciones de los dos restantes se usa un modulo SNAP SCM 232 (ver Tabla 18).



SNAP SCM 232

Item	Especificación
Tasa de transmisión	300–115,200 Bauds
Aislamiento de canal a canal	750 VRMS
Voltaje de alimentación Lógica	5,0 VDC
Corriente de Alimentación Lógica	250 mA DC
Número de puntos por módulo	2
Máxima longitud del cable punto a punto	50 feet
Temperatura operación	0 to 70 °C
Temperatura Almacenamiento	-30 to 85 °C

Tabla 18. Especificaciones del Módulo SNAP PAC SCM 232

Las señales digitales entregan los amplificadores ópticos son adquiridas para el sistema de adquisición por módulos SNAP IDC5 FAST (ver Tabla 19). La versión “fast” de este modulo de entrada digital provee mayor rapidez en la adquisición de pulsos.



SNAP IDC 5 FAST

Item	Especificación
Característica clave	Alta velocidad
voltaje nominal de entrada	5 VDC
Aislamiento de canal a canal	300 VAC
Rango de voltaje de entrada	2,5–16 VDC
Voltaje umbral de Alto digital	2,5 VDC
Voltaje umbral de Bajo digital	1 VDC
Resistencia de Entrada	440 ohms (nominal)
Voltaje de alimentación Lógica	5 VDC \pm 0,25 VDC
Corriente de Alimentación Lógica	50 mA máximo
Verdadero en Lógica negativa	TTL 74 Series = 1 UL
Salida Digital	TTL 74LS Series = 5 UL
Tiempo conmutación a alto	0,025 ms
Tiempo de Conmutación a bajo	0,025 ms
Aislamiento óptico	4000 volts (transient)
Temperatura operación	0 °C to 70 °C
Temperatura Almacenamiento	-30 °C to 85 °C, storage
Número de canales por módulo	4

Tabla 19. Especificaciones del Módulo SNAP PAC IDC5 FAST

Los módulos SNAP OAC5 funcionan como un interruptor para cuatro cargas de AC. En este proyecto estos módulos permiten a la automatización accionar las válvulas solenoides que posee el banco. Además es por medio de una canal de de un modulo OAC5 que se enciende la bomba de vacío cuando es necesario.



SNAP OAC5

Ítem	Especificación
Voltaje máximo de línea	250 VAC
Voltaje de línea nominal	120/240 VAC
Rango de Corriente	3A por módulo
Frecuencia de Operación	25-65 Hz
Voltaje de alimentación	5VDC +/- 5%, 50mA
Lógica	(máximo)
Temperatura de operación	0 °C a 70 °C
Temperatura de almacenamiento	-30 °C a 85°C
Número de canales por módulo	4

Tabla 20. Especificaciones del Módulo SNAP PAC OAC5

3.2.3 Las tarjetas de montaje (*racks*)

La selección de una tarjeta de montaje se hace en función del tipo del controlador seleccionado. El tamaño se determina de acuerdo al número de módulos que se quiere interconectar al controlador. Teniendo en cuenta lo expuesto en las dos secciones anteriores donde se definen las características de los controladores y de los módulos, así como también sus respectivas cantidades, se puede afirmar que la automatización requiere de dos *racks*.

El primer *rack*, el del controlador R1 es un rack de cuatro módulos. Este tamaño es suficiente dado que este controlador se asigna principalmente para conteo de pulsos en los diez medidores de gas a calibrar. Esto implica que solo se interconectan a R1 tres módulos IDC5 FAST.

El segundo *rack*, el de R2, es para 8 módulos porque se asigna a este controlador la adquisición de datos de señales de 4-20 mA, la recepción de las señales RS-232 de los barómetros y la ejecución de los actuadores. De esta manera al

segundo *rack* se conectan 2 módulos AIMA 8, un módulo SCM 232 y cinco módulos OAC5.

Con estos datos se realiza la configuración final de la plataforma SNAP PAC SYSTEM que se instala en el banco. Esta arquitectura es la que muestra la Figura 8, en donde se esquematiza cada uno de los *racks* junto a cada uno los módulos que se le instalan. Sobre cada módulo están enumerados cada uno de los canales donde de manera organizada se asigna a cada uno de los instrumentos un canal dentro de un módulo específico. Esta asignación de canales se describe en la Tabla 21.

Para finalizar se realizan los esquemas de conexiones eléctricas de toda la plataforma SNAP PAC SYSTEM, la instrumentación, los actuadores y todo lo relacionado con el suministro de potencia al banco. Estos planos se presentan en el ANEXO A

RACK NUMERO 1	
Entradas Digitales	
[0]	SNAP IDC5-FAST-A
[00]	Óptico SO1
[01]	Óptico SO2
[02]	Óptico SO3
[03]	Óptico SO4
[1]	SNAP IDC5-FAST-A
[00]	Óptico SO5
[01]	Óptico SO6
[02]	Óptico SO7
[03]	Óptico SO8

RACK NUMERO 2	
Entradas Analógicas	
[0]	SNAP-AIMA-8
[00]	DPT1
[01]	DPT2
[02]	DPT3
[03]	DPT4
[04]	DPT5
[05]	DPT6
[06]	DPT7
[07]	DPT8
[1]	SNAP-AIMA-8

RACK NUMERO 2	
Salidas On/Off	
[3]	SNAP-OAC5
[00]	Vpn1
[01]	Vpn2
[02]	Vpn3
[03]	Vpn4
[4]	SNAP-OAC5
[00]	Vpn5
[01]	Vs1
[02]	Vs2
[03]	Vs3

[2]	SNAP IDC5-FAST-A
[00]	Óptico SO9
[01]	Óptico SO10
[02]	VACÍO
[03]	VACÍO

NOTA: La posición [3] del Rack 1 se encuentra vacía.

[00]	DPT9
[01]	DPT10
[02]	DPT11
[03]	TT1
[04]	TT2
[05]	TT3
[06]	TT4
[07]	THR (Higómetro)
[2]	SNAP-SCM-232
[00]	PT1
[01]	PT2
[02]	VACÍO
[03]	VACÍO

[5]	SNAP-OAC5
[00]	Vs4
[01]	Vs5
[02]	Vs6
[03]	Vs7
[6]	SNAP-OAC5
[00]	Vs8
[01]	Vs9
[02]	Vs10
[03]	Vs11
[7]	SNAP-OAC5
[00]	Vs12
[01]	BV (Bomba Vacío)
[02]	VACÍO
[03]	VACÍO

Tabla 21. Asignación de Instrumentos o actuadores para cada módulo

3.3 Aseguramiento Metrológico

Como parte de las labores de automatización del banco, se desarrolló una estrategia de control y su respectiva interfaz de usuario para ejecutar el aseguramiento de metrológico de la instrumentación del banco de calibración. En términos generales esta estrategia permite verificar el estado de los instrumentos

del banco, además de adquirir y almacenar a través de archivos históricos las lecturas de estos con el fin de poder calibrarlos. Adicionalmente a través de esta estrategia se pueden ejecutar pruebas de operación de los actuadores que posee el banco. En la Figura 9 se puede observar una imagen de la estrategia programada en el controlador R2 para aseguramiento metrológico. De igual forma en la Figura 10 de muestra una ventana de la interfaz de usuario desarrolla para el mismo fin.

El aseguramiento metrológico es una función preventiva que integra en un orden lógico los distintos procesos de obtención y análisis de datos utilizados en la industria con el fin de minimizar la probabilidad de tomar decisiones incorrectas. En las figuras 9 y 10 se muestra la estrategia de aseguramiento metrológico y una ventana de su respectiva interfaz de usuario.

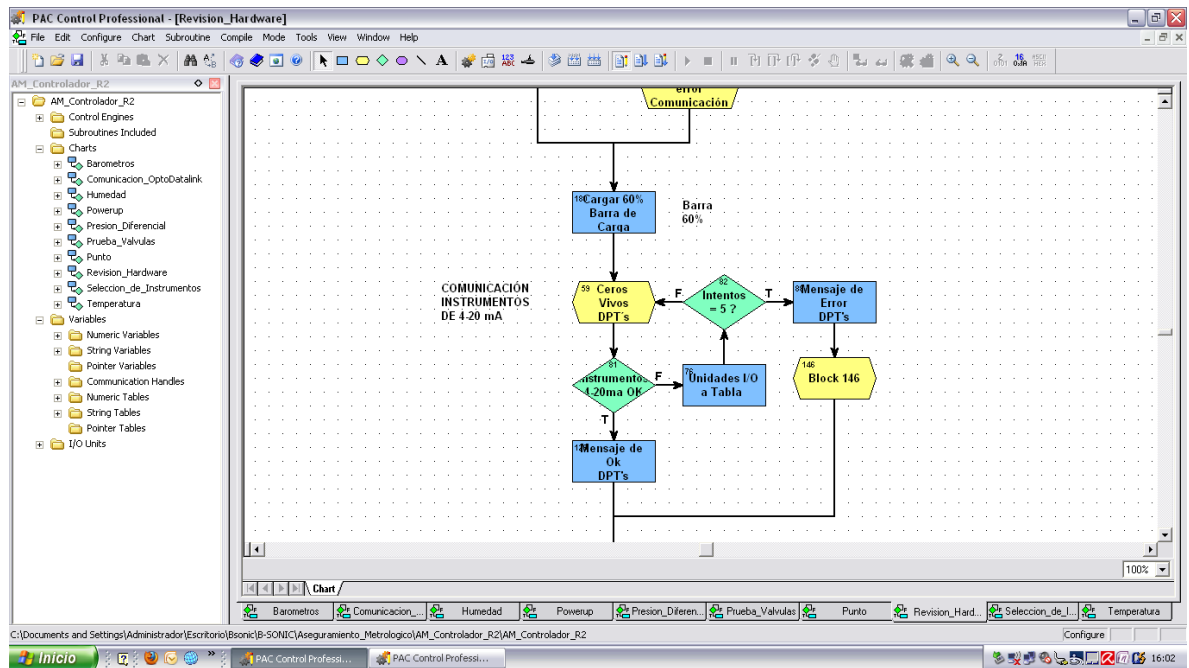


Figura 9. Estrategia de control Aseguramiento Metrológico



Figura 10. Ventana de la Interfaz de usuario de la estrategia de Aseguramiento Metrológico

3.4 Procedimiento de calibración

El procedimiento de calibración de medidores de gas con patrón de boquillas sónicas está compuesto por una serie de actividades que se realizan sistemáticamente con el fin de obtener un conjunto de datos que permitan determinar el porcentaje de error en la indicación de volumen de los medidores de gas respecto al patrón. Estas actividades se dividen en tres grupos: las actividades preliminares a la calibración, la calibración y por ultimo el análisis de datos y generación de un informe o certificado de calibración.

Las actividades que son objeto de automatización son exclusivamente las de la calibración, pero son igualmente importantes las actividades que anteceden por que dan las pautas para la calibración y las actividades posteriores porque requieren de la calibración unos resultados aptos para el análisis metrológico.

Dentro de las actividades preliminares se encuentran la recepción de los medidores por parte del laboratorio metrología, la asignación de una identificación interna (código de barras) y la creación de un servicio en el que se especifican las condiciones de la calibración. Los servicios se programan en una herramienta software creada específicamente para este fin. Para el caso del banco a automatizar este software es diseñado y desarrollado por departamento de sistemas de la Corporación CDT de Gas.

En un servicio de calibración se consignan varios datos entre los que se encuentran el numero y los valores de caudales sobre los cuales se va ha ejecutar la calibración, y el número de repeticiones por cada uno. En la Tabla 22 se

muestra el listado con todos los datos que contiene un servicio de calibración. Estos datos son requisitos indispensables para iniciar la prueba.

No.	Dato	Descripción
1	Zona	Zona del banco en la que se instalan los medidores de gas.
2	Número de Medidores	Cantidad de medidores a ser calibrados.
3	Tipo de Medidor	La denominación del medidor G1.6, G2.5, G4.0 o G6.0
4	K factor	Dato particular de cada denominación de medidor de gas que indica el equivalente en volumen de un pulso del medidor en unidades de dm ³
5	Puntos Calibración	Valores de caudal que se deben ejecutar en la calibración. Los valores de caudal que se pueden ejecutar son los que se muestran en la tabla 2. Además este dato permite inferir el número de caudales de la calibración.
6	Número de Repeticiones	Número de veces que se debe repetir un determinado caudal. El número mínimo de repeticiones es 3.
7	Volumen calibración (pulsos)	Valores de volumen, dados en pulso, que se determina pasar en cada punto de calibración programado.
8	Orientación Flujo	Dato particular de un medidor de gas que indica si el sentido de flujo es derecho o izquierdo.
9	Códigos de barras	Numero de código de barras con el que se identifica un determinado medidor de gas en el laboratorio metrológico.
10	Nombre del Histórico	Nombre que se le da al archivo en donde se historizan los valores de variables adquiridos durante la prueba.

Tabla 22. Datos de un servicio de calibración

En un turno de trabajo un operario tiene programado varios servicios. De esa forma posee conocimiento de los detalles de cada uno de estos. De acuerdo a esa información se inicia uno de los servicios con el montaje de los medidores de gas que se van a calibrar. Una vez instalados se procede a enfocar el sensor óptico directamente sobre la cifra menos significativa del odómetro de cada medidor.

El proceso de calibración comienza cuando el sistema de automatización adquiere y publica en pantalla los datos propios del servicio que esta próximo a iniciarse. En ese momento el profesional encargado decide dar acuse para que se realicen automáticamente las actividades de calibración en la secuencia del diagrama de flujo que se muestra en la Figura 11.

Esta secuencia se inicia ejecutando desde la HMI el inicio de calibración. Cuando el operario acepta que se inicie el proceso el sistema adquiere, interpreta y publica los datos del servicio de calibración. El operario revisa si el servicio que ve en pantalla coincide con el que tiene programado en ese momento. Una vez confirmado se da la orden para que se sigan ejecutando las actividades. Se continúa con una prueba de fugas. Esa prueba consiste en diagnosticar fugas de aire del sistema atribuidas a la instalación de los medidores de gas. Si se diagnostican fugas se revisa la instalación de los medidores y se repite la prueba de fugas hasta que el sistema se herméticamente óptimo para la calibración.

La finalización de la prueba de fugas con resultados favorables enmarca el inicio del bucle central del proceso de calibración. Este bucle ejecuta cada uno de los puntos de calibración programados. Cada uno de los puntos debe ser calibrado un número determinado de veces (“Repeticiones totales”). Cada vez que se ejecuta un punto de calibración se hace pasar un determinado volumen por los medidores y el patrón. Este volumen se cuantifica por el conteo de un número determinado de pulsos (“Pulsos totales”) sobre cada uno de los medidores a calibrar.

La ejecución de un punto y sus todas sus repeticiones inicia con la apertura de las válvulas que habilitan las boquillas sónicas que se requiere para reproducir el caudal correspondiente. De inmediato se enciende la bomba de vacío para que se inicie el paso de flujo a través de toda la trayectoria de calibración. Con flujo circulando se debe evaluar dos condiciones importantes para este proceso. La primera condición es que se debe alcanzar la relación de presión crítica sobre los patrones (Presión de bloqueo), ya que sin ésta no se garantiza que por las boquillas este pasando el caudal nominal. La segunda condición es que se debe alcanzar una estabilidad térmica para garantizar la homogeneidad del fluido (aire) en todo el circuito de calibración. Una vez se alcanzan estas condiciones se inicia la historización (registro) de los valores de las variables físicas que requiere el modelo matemático detallado en la sección 2.1. Al tiempo que se historizan las variables físicas se lleva a cabo la contabilización de pulsos de los medidores bajo prueba así como la medición del tiempo que se demora cada medidor en registrar tales pulsos. Una vez se termina de contabilizar los pulsos de una repetición se

inicia el conteo para la repetición siguiente; así hasta que se culmine el total de las repeticiones. El final de todas las repeticiones se reinicia el bucle para hacer la calibración del siguiente punto (caudal de prueba). De manera simultánea al proceso de calibración la HMI va mostrando el estado del proceso junto con el número de punto, repetición y pulsos registrados por cada medidor.

Luego que se ejecuten todos los puntos de calibración se da fin a al proceso de historización, se desactivan todos los actuadores del banco y se reporta el final de la calibración. En este punto se toman los datos registrados en el archivo histórico para realizar las actividades relacionadas con el análisis de datos.

Para finalizar el procedimiento de calibración el análisis de datos recibe los datos historizados en la calibración y desarrolla con estos una serie de cálculos que permiten generar el informe o certificado de calibración.

Bucle de calibración

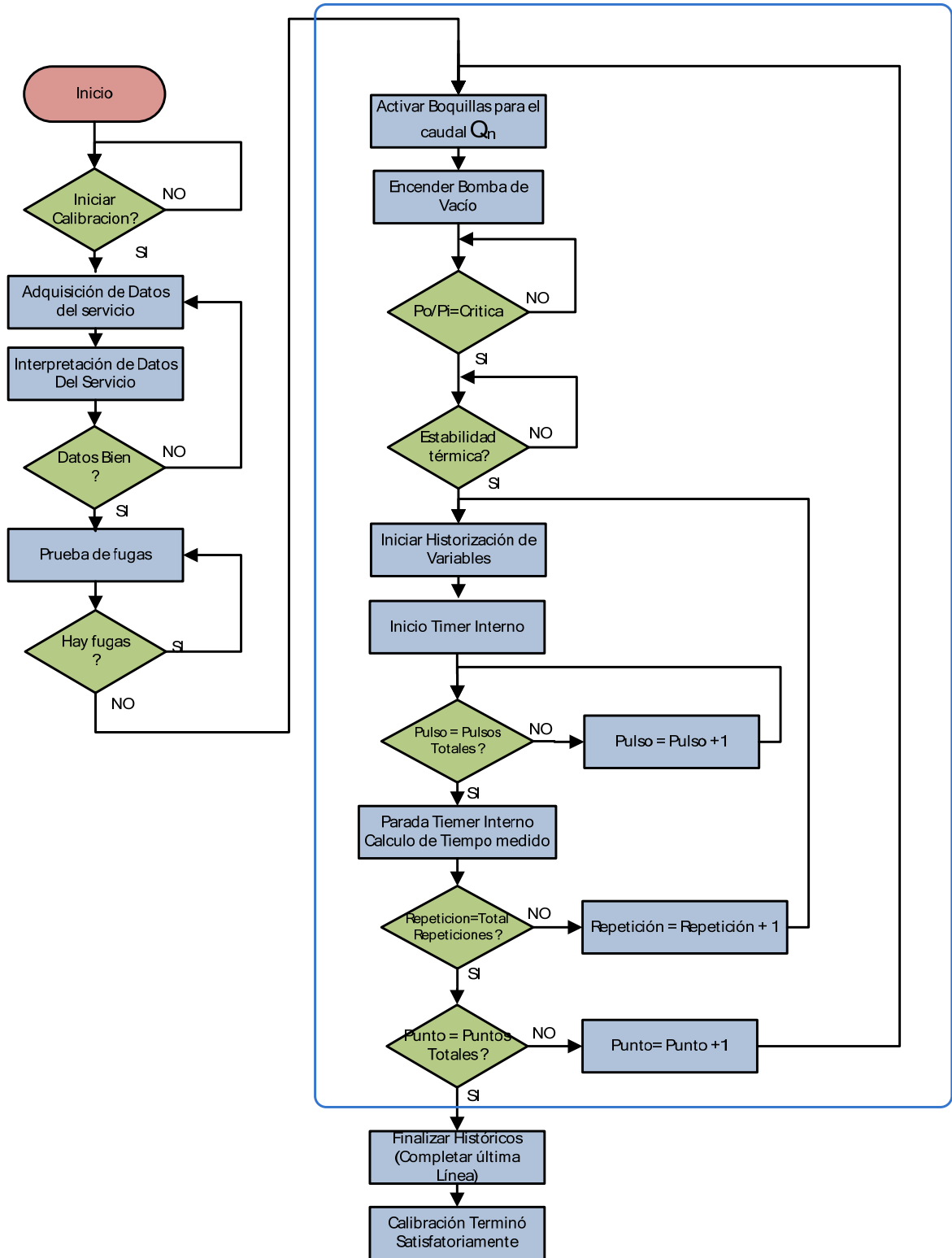


Figura 11. Diagrama de flujo del proceso de calibración automatizado

3.5 Estrategia de automatización

Para que el banco posea la funcionalidad que requiere el proceso de calibración de medidores de gas se realiza la programación de la estrategia de automatización. La estrategia se programa en PAC CONTROL™. Con la estrategia se busca asignarle a cada uno de los controladores del banco las instrucciones suficientes para que se ejecuten automáticamente las actividades del proceso de calibración descritas en el la sección anterior.

La estrategia de automatización esta compuesta por varios charts, cada uno pensado y programado para cumplir una actividad específica. En PAC CONTROL™ los charts se programan en forma de diagramas de flujo. De esta forma la programación es una fiel reproducción del flujo de la automatización. En la Figura 12 Se observa uno de los charts programados para una actividad dentro del proceso de calibración.

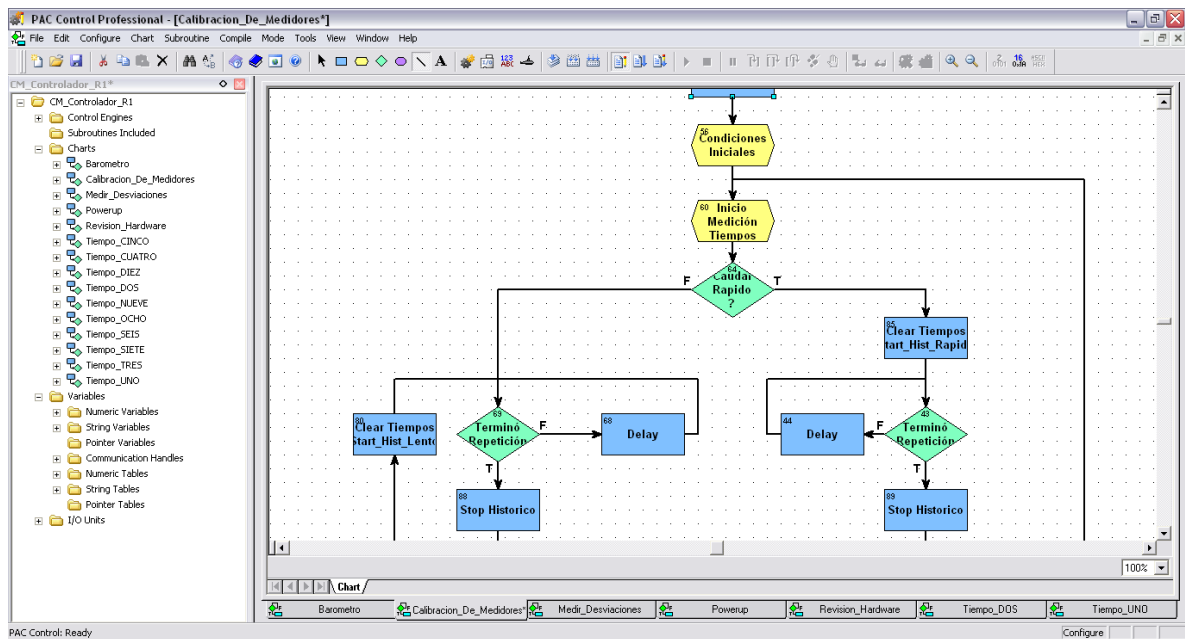


Figura 12. Chart de la estrategia calibración de medidores en controlador R1

Los charts de la estrategia de automatización del banco de calibración de boquillas sónicas se distribuyen entre los controladores R1 y R2. Como se menciona en secciones anteriores la actividad principal del controlador R1 es la adquisición de pulsos de los medidores de gas y la medición de tiempo. La actividad principal de R2 es la adquisición de variables secundarias de proceso. Estas actividades en realidad acompañan al desarrollo de las otras que se ejecutan en el proceso que

son realizadas de manera conjunta por los dos controladores. Esto implica que cada una de las actividades que se programan en la estrategia deben mantener la sincronización a la hora de realizarse. Esta coordinación esta basada en una continua comunicación entre los dos controladores desde del el inicio hasta la finalización de la calibración.

Para dar un seguimiento a los acontecimientos del proceso y para mostrar los valores de variables importantes en la calibración se diseña y implementa la interfaz de usuario (HMI por sus siglas en inglés “Human Machine Interface”). Esta interfaz está dotada de botones que permiten al operador interactuar con el sistema de control y dar los acuses necesario para la correcta ejecución de la calibración.

Para finalizar la descripción de la automatización es importante mencionar que la estrategia de automatización requiere de manera indispensable de los datos de un servicio de calibración para poder iniciar. Además que el resultado de la calibración es un conjunto de datos historizados durante el proceso. Los datos de entrada son organizados por la herramienta de software externa a la automatización en un archivo plano de texto y son adquiridas para la plataforma de automatización por la herramienta OPTO DATALINK™(ver Figura 13). Los archivos históricos se entregan en un archivo listo para que pueda usarse en el análisis de datos posterior a la calibración.

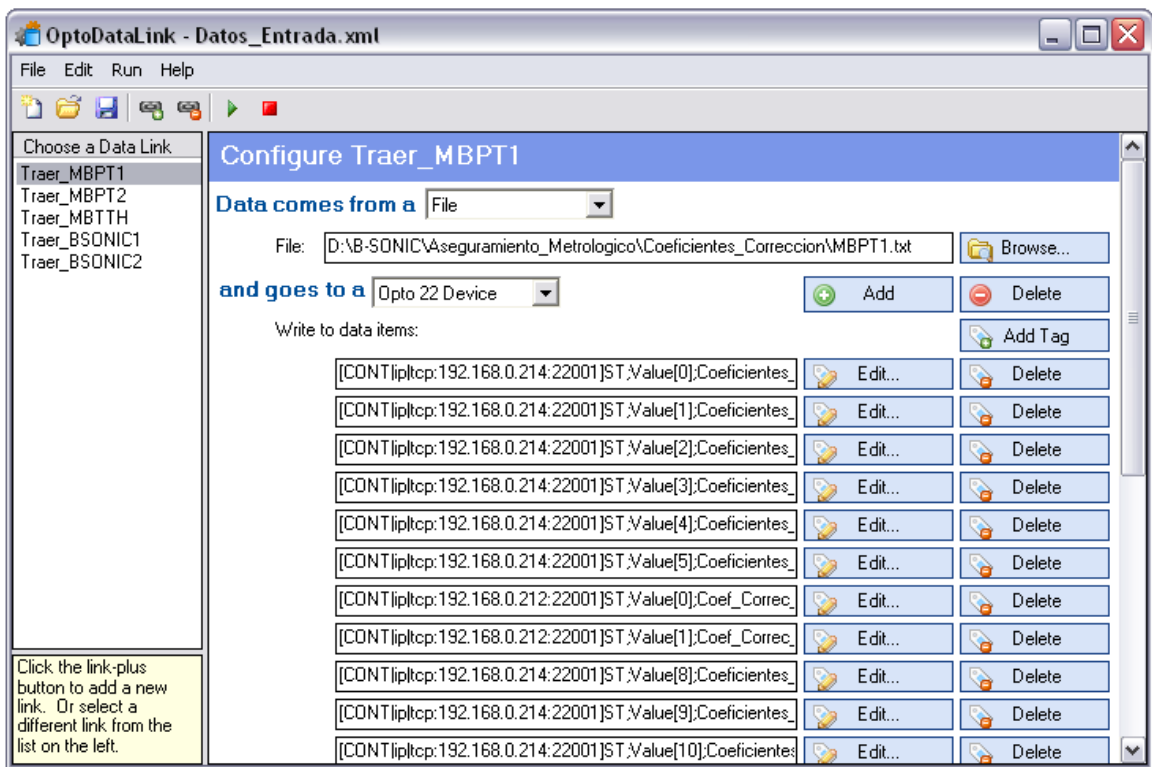


Figura 13. Configuración OPTO DATALINK™ para adquisición datos de entada de la estrategia de automatización del banco de boquillas sónicas

4 PRUEBAS DE OPERACIÓN

Finalmente dentro de las labores ejecutadas dentro del presente proyecto de grado se realizaron pruebas de operación a las dos estrategias desarrolladas (Aseguramiento Metrológico y Calibración de Medidores). La descripción de las pruebas ejecutadas se presenta en los siguientes numerales.

4.1 Pruebas Estrategia de Aseguramiento Metrológico

Las pruebas ejecutadas sobre la estrategia de aseguramiento metrológico consistieron en la calibración de los instrumentos de temperatura y presión diferencial del banco. En el caso de los instrumentos de temperatura la lectura se realizó utilizando la estrategia e interfaz desarrolla (ver Figura 14) y se utilizó como patrón una RTD Pt-100 de cuatro hilos con indicador digital marca PRESYS (ver Figura 15).

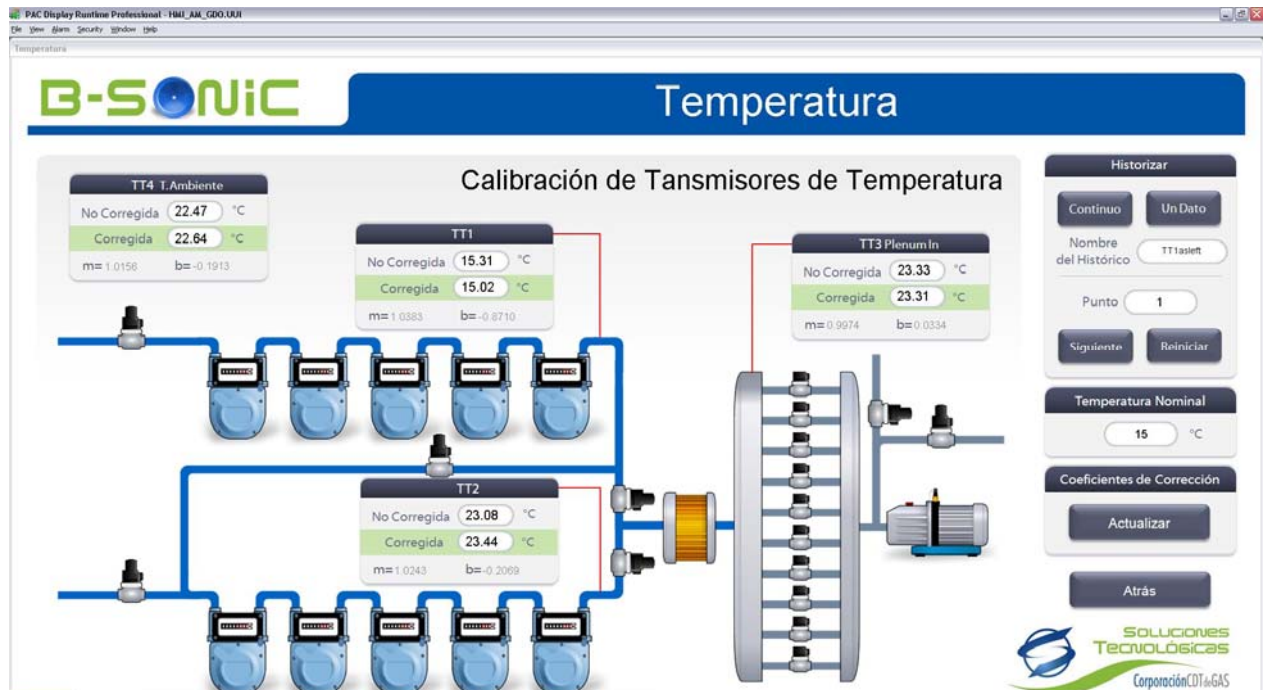


Figura 14. Ventana calibración transmisores de temperatura de la estrategia de Aseguramiento Metrológico



Figura 15. Calibración transmisores de temperatura

De igual forma la calibración de los instrumentos de presión diferencial la lectura de estos se llevo a cabo utilizando la estrategia e interfaz desarrolla (ver Figura 16). Como patrón se utilizo una celda de presión con indicador digital marca PRESYS (ver Figura 17).

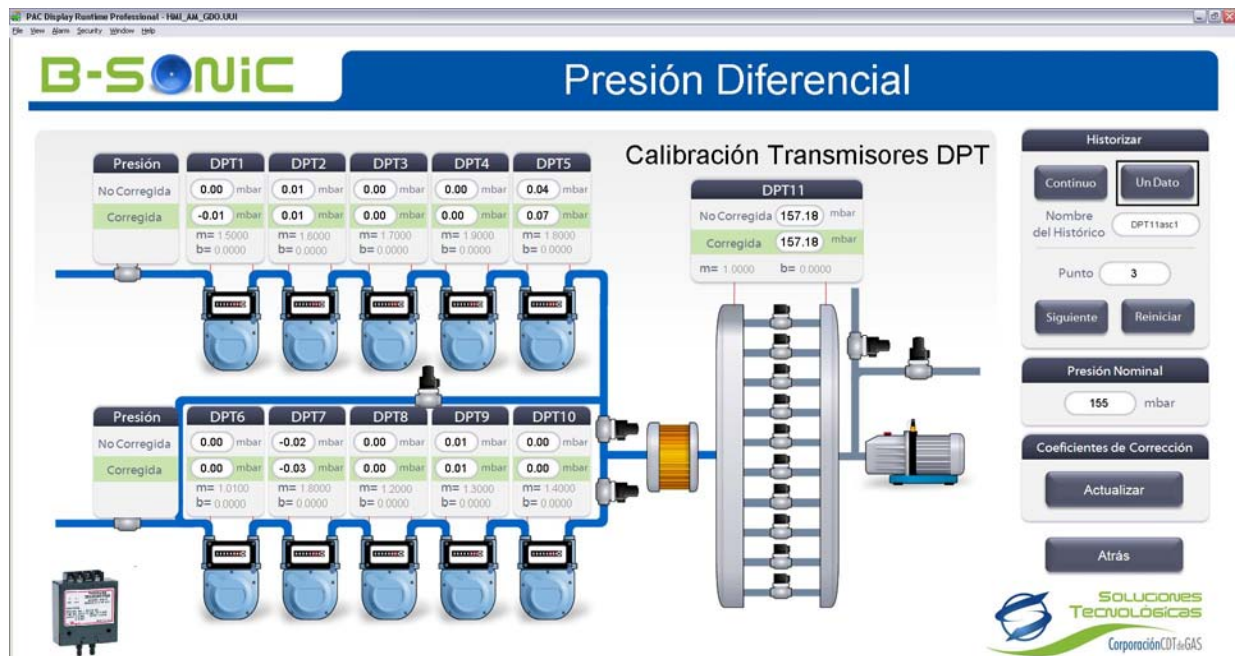


Figura 16. Ventana calibración transmisores de presión diferencial de la estrategia de Aseguramiento Metrológico



Figura 17. Calibración transmisores de Presión Diferencial

Adicionalmente se ejecutaron pruebas de operación para las otras funciones de la estrategia de aseguramiento metrológico (prueba de tiempo, calibración de barómetros y prueba de válvulas). La ejecución de estas pruebas permitió comprobar la completa funcionalidad de la estrategia y la interfaz desarrolladas.

4.2 Pruebas Estrategia de Calibración de Medidores

De la misma manera que se ejecutaron pruebas para garantizar la correcta operación de la estrategia de aseguramiento metrológico se llevaron a cabo pruebas para la estrategia y la interfaz para la calibración de los medidores. Esta prueba consistió en la calibración de cuatro medidores de diafragma G1.6 en cuatro caudales. En las figuras 18 y 19 se pueden observar una ventana de interfaz de usuario y los medidores instalados en banco de calibración durante la prueba.

Con la ejecución de esta prueba se comprobó el correcto funcionamiento de la automatización desarrolla para el banco de calibración.

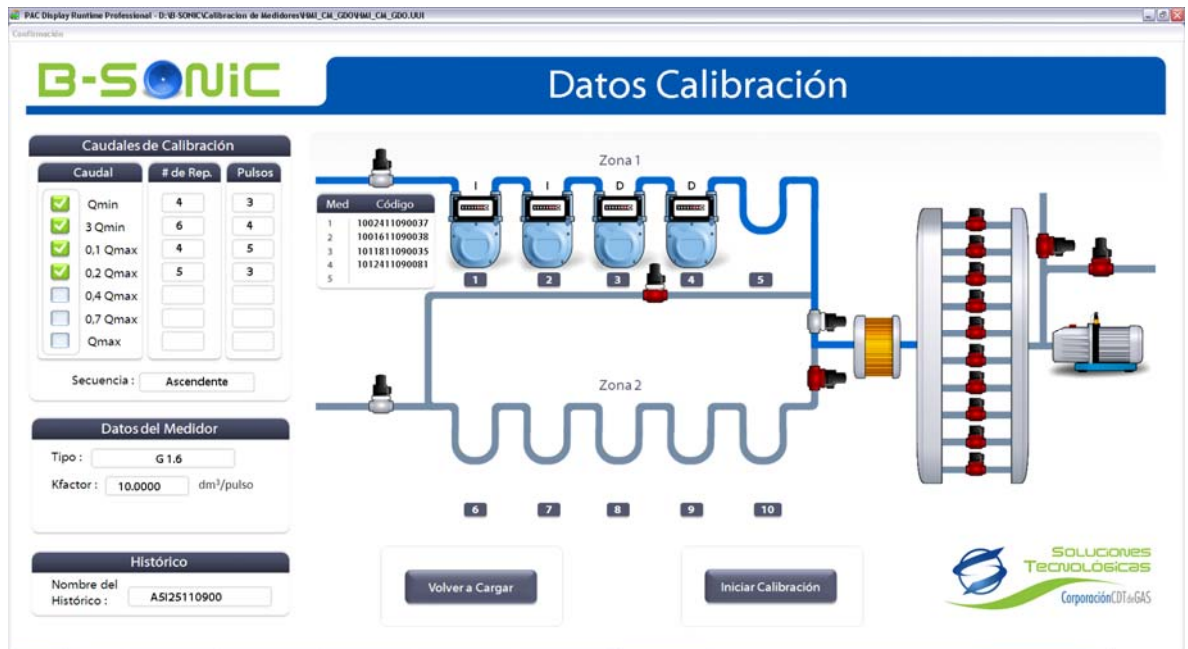


Figura 18. Ventana interfaz de usuario estrategia de calibración de medidores



Figura 19. Instalación de los medidores durante el proceso de calibración usando el banco

4.3 Características Definitivas de Banco de Calibración

Una vez finalizadas las actividades propuestas, se puede afirmar que el banco de calibración cuenta con las especificaciones y características que se resumen en la Tabla 23. En la Figura 20 se puede apreciar el nuevo banco de calibración de medidores.

Ítem	Especificación
Fluido de Calibración	Aire
Caudal Mínimo	0,016 [m ³ /h]
Caudal Máximo	10 [m ³ /h]
Numero de Medidores a Calibrar por Prueba	1 a 10
Alimentación Eléctrica	110 VAC
Comunicación a PC	TCP/IP
Modo de Operación	Automatizado

Tabla 23. Característica Definitivas del Banco de Calibración



Figura 20. Instalación de los medidores durante el proceso de calibración usando el banco

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sistema de control y adquisición de datos implementado con tecnología SNAP PAC SYSTEM de OPTO 22™ permite el funcionamiento automático del banco, además de realizar un monitoreo constante de la variables de influencia, haciendo que la calibración sea un proceso confiable y seguro, facilitando no solo su ejecución sino la generación de resultados de la misma.
- Se logra equipar el banco de boquillas sónicas con la instrumentación y actuadores necesarios para su óptimo funcionamiento en el proceso de calibración de medidores de gas, luego de someter las opciones posibles a un proceso de selección en el que fueron prioridad el desempeño metrológico en los elementos de medición, la funcionalidad proyectada para el banco y el criterio del costo.
- La información técnica que describe el proceso de automatización del banco de boquillas sónicas es documentada de una manera organizada y estándar como lo proponen las normas ISA existentes para tal finalidad.
- Se fortalece el vínculo existente entre la Universidad Industrial de Santander a través del grupo CEMOS de la escuela de ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, y el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, obteniéndose excelentes resultados a nivel personal y profesional, reflejados en el conocimiento adquirido por ambas partes en la rama automatización y medición de flujo de fluidos compresibles.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Vocabulario de Términos Técnicos Básicos y Generales en Metrología*, Norma Técnica Colombiana NTC 2194 (Segunda Actualización).
- [2] W. M. Miller. *Flow Measurement Engineering Handbook*, McGrawHill, United States of America.1996.
- [3] S. Bell, *A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement*, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, United Kingdom, 2001.
- [4] D.W. Spitzer, Editor. *Flow Measurement*, ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society. United States of America. 2001.
- [5] R.C. Baker. *Flow Measurement Handbook: Industrial designs, operating principles, performance, and applications*. Cambridge University Press. 2000.
- [6] " *Instrumentation Reference Book*" .3rd ed, Elsevier Science, Butterworth-Heinemann Publications, 2003.
- [7] Norma Técnica Colombiana. NTC2826. Disposiciones Generales Para Medidores de Volumen de Gas. ICONTEC. 1990.
- [8] Norma Técnica Colombiana. NTC 2728. *Medidores de Gas Tipo Diafragma*. ICONTEC. 2005.
- [9] *Reglamentos de Prueba del PTB*. Tomo 25, Medidores de Gas – Bancos de prueba con toberas críticas- 1998. Editorial Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB).
- [10] Acerca de Opto 22. Documento introductorio. Disponible: www.opto22.com.
- [11] Practica PIC001. *Piping and Instrumentation Diagram Documentation Criteria*. PIP,Process Industry Practices. Abril, 2008.

ANEXOS

Anexo A. Metrología y conceptos básicos.....	63
Anexo B. Documentación del sistema automatizado.....	68

Anexo A. Metrología y conceptos básicos

La percepción inicial de metrología deriva de su etimología: del griego *metros* medida y *logos* tratado. Concepto que debe ser casi tan antiguo como el ser humano: “*tengo nada*”, “*tengo algo*”, “*tengo mucho*”; expresiones que reflejan una comparación muy primitiva pero que perdura en la raza humana bajo muchos aspectos, al punto que actualmente podemos decir que metrología es la ciencia de las mediciones y que medir es comparar con algo (*unidad*) que se toma como base de comparación.

A menudo es necesario referirse a otras unidades de medida que, por hacer uso o basarse en las anteriores, se denominan derivadas. Las unidades derivadas son las más numerosas. Una unidad es un valor en términos del cual, puede definirse la magnitud medida

Patrón

Anteriormente se citó algo con que comparar; ese algo se conoce como patrón. Originalmente, se entendía por patrón a una representación o materialización física de la unidad. En la actualidad, y dado que los avances de la ciencia han permitido definiciones más exactas y confiables de las unidades basadas en constantes físicas universales, se define como patrón a: una medida materializada, instrumento de medir, material de referencia o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud, a fin de transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medir.

Los patrones pueden clasificarse inicialmente según sus cualidades metroológicas en:

Patrón primario

Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las mas altas cualidades metroológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud. El concepto de patrón primario es igualmente valido para magnitudes de base (masa, temperatura, tiempo, etc.) o para magnitudes derivadas (densidad, presión, etc.)

Patrón secundario

Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud. Es obvio que la incertidumbre que manejan estos patrones es mayor que las de los primarios.

Patrón de transferencia

Patrón intermediario para comparar patrones primarios.

Patrones de trabajo

Patrón que se utiliza rutinariamente para calibrar o comprobar instrumentos de medición, en el sitio de trabajo.

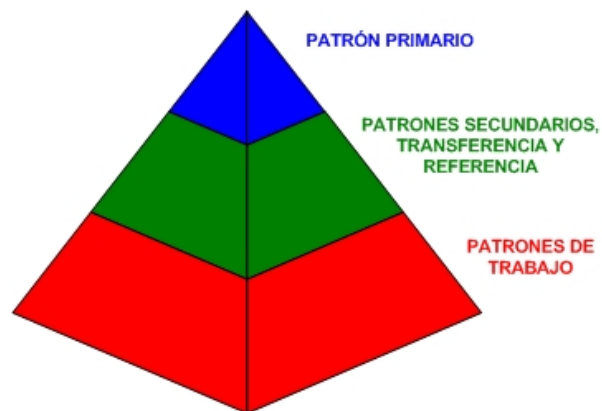


Figura 21.

patrones

Jerarquia de los

Si ahora vemos la estructura jerárquica de los patrones, notamos que podemos describirla como una pirámide en cuyo vértice tenemos el conjunto de patrones que corresponden a las unidades de base del SI. La segunda posición corresponde al conjunto de patrones nacionales. En el siguiente nivel se localizan los patrones de referencia, conjunto que sirve para preparar los patrones de trabajo a nivel operativo. El conjunto de patrones del nivel operativo (*patrones de trabajo*) constituye la base de la pirámide.

Estructura metrológica internacional

La cadena de instituciones encargadas de operar el SI está encabezada por el BIPM, le siguen los Laboratorios Nacionales de Metrología, a continuación están los Laboratorios de Calibración y por último los Laboratorios de Trabajo.

Los laboratorios nacionales de metrología, custodian los patrones nacionales y tienen la responsabilidad de disseminar las unidades SI a los laboratorios acreditados de calibración de sus respectivos países. Los laboratorios de calibración aseguran que los equipos de medición así como los patrones de referencia y de trabajo estén acordes con los patrones nacionales. Los laboratorios de ensayos, en el nivel de trabajo, son los encargados de evaluar la conformidad de productos que van a ser certificados. Para sus trabajos, utilizan patrones de referencia, que son calibrados contra los patrones nacionales del estrato anterior.

Finalmente, encontramos las organizaciones o instituciones que utilizan los patrones de trabajo, empleados por la industria y otros sectores, los cuales suelen ser calibrados contra patrones de referencia y éstos a su vez contra patrones nacionales.

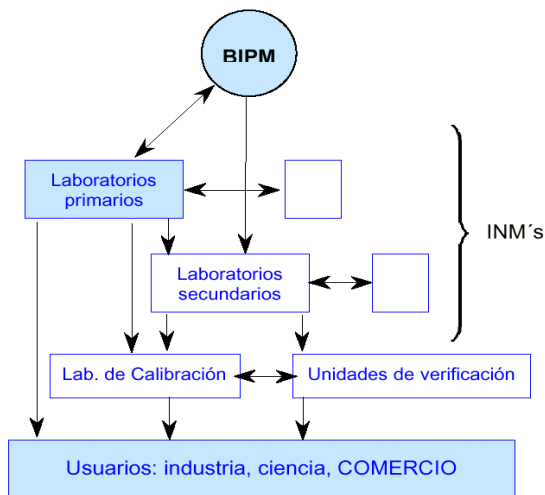


Figura 22. Estructura metrológica internacional

Trazabilidad

Un concepto importante en la metrología es el de la llamada trazabilidad. Por ello se entiende la propiedad de una medición o del valor de un patrón, de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas. La posibilidad de determinar la trazabilidad de cualquier medición descansa en el concepto y las acciones de calibración y en la estructura jerárquica de los patrones de la que ya hablamos.

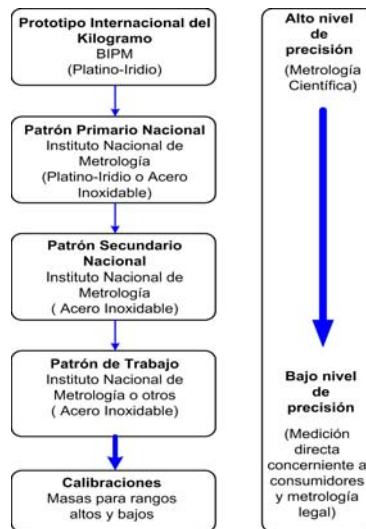


Figura 23. Concepto de trazabilidad en las mediciones (Cadena de trazabilidad)

Calibración

Para los metrologos, se entiende por calibración: un conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición, valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los valores correspondientes a las magnitudes establecidas por los patrones. Algunos, indebidamente, le llaman calibración a un proceso de comprobación o verificación que permite asegurar que entre los valores indicados por un aparato o un sistema de medición y los valores conocidos correspondientes a una magnitud medida, los desvíos sean inferiores a los errores máximos tolerados.

Incertidumbre

Se parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que, con fundamento, pueden ser atribuidos al mensurando. Dicho de otra forma es el intervalo de confianza de los resultados de las mediciones.

La incertidumbre, al contrario del error, puede calcularse, siendo la misma un estimativo del error. Errores aleatorios y sistemáticos generan

correspondientemente incertidumbres aleatorias y sistemáticas en los resultados de una medición.

Debe quedar clara la distinción, las incertidumbres aleatorias pueden estimarse estadísticamente y tienen asociadas a las mismas un nivel de probabilidad, las incertidumbres sistemáticas, se estiman normalmente por otros medios.

Anexo B. Documentación del sistema automatizado

En todo proyecto la documentación es una etapa indispensable que permite consignar información relevante del mismo. Se busca que la información que se registra pueda ser fácilmente entendida por personal que no estuvo en la elaboración del proyecto pero que quizás sea el encargado del mantenimiento o requiera hacer alguna mejora del mismo.

Este proyecto por su naturaleza se documenta bajo las recomendaciones normas ISA (Instrumentation, Systems, and Automation Society) destinadas para este [11]:

- ISA 5.1. Instrumentation Symbols and Identification
- ISA 20. Specification Forms for Process Measurement and Control Instruments, Primary Elements, and Control Valves.

Bajo la aplicación de estas normas se desarrolla un grupo de documentos que esta compuesto por:

- Diagrama de flujo de proceso (PFD).
- Diagrama de tubería e instrumentación (P&ID)
- Listado de Instrumentos
- Hojas de datos de los instrumentos
- Planos de conexiones eléctricas

Diagrama de Flujo de Proceso

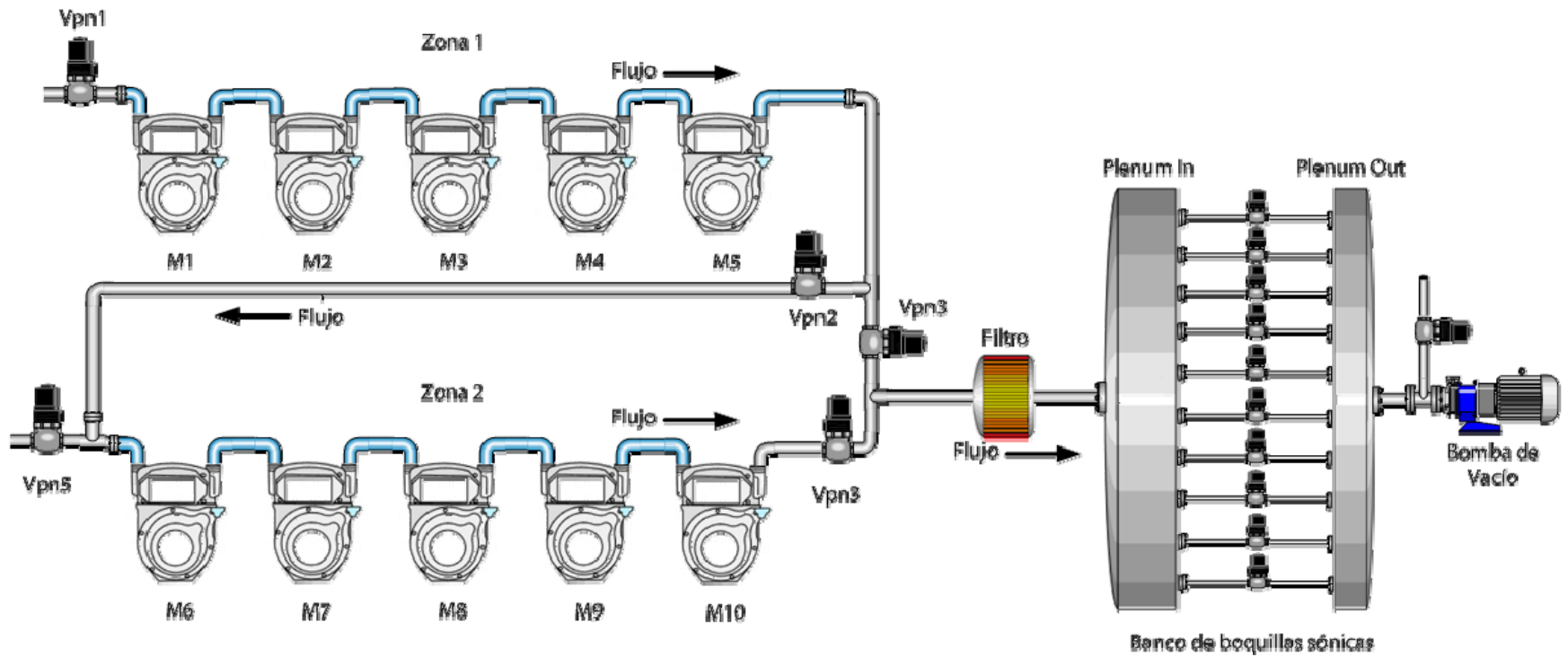
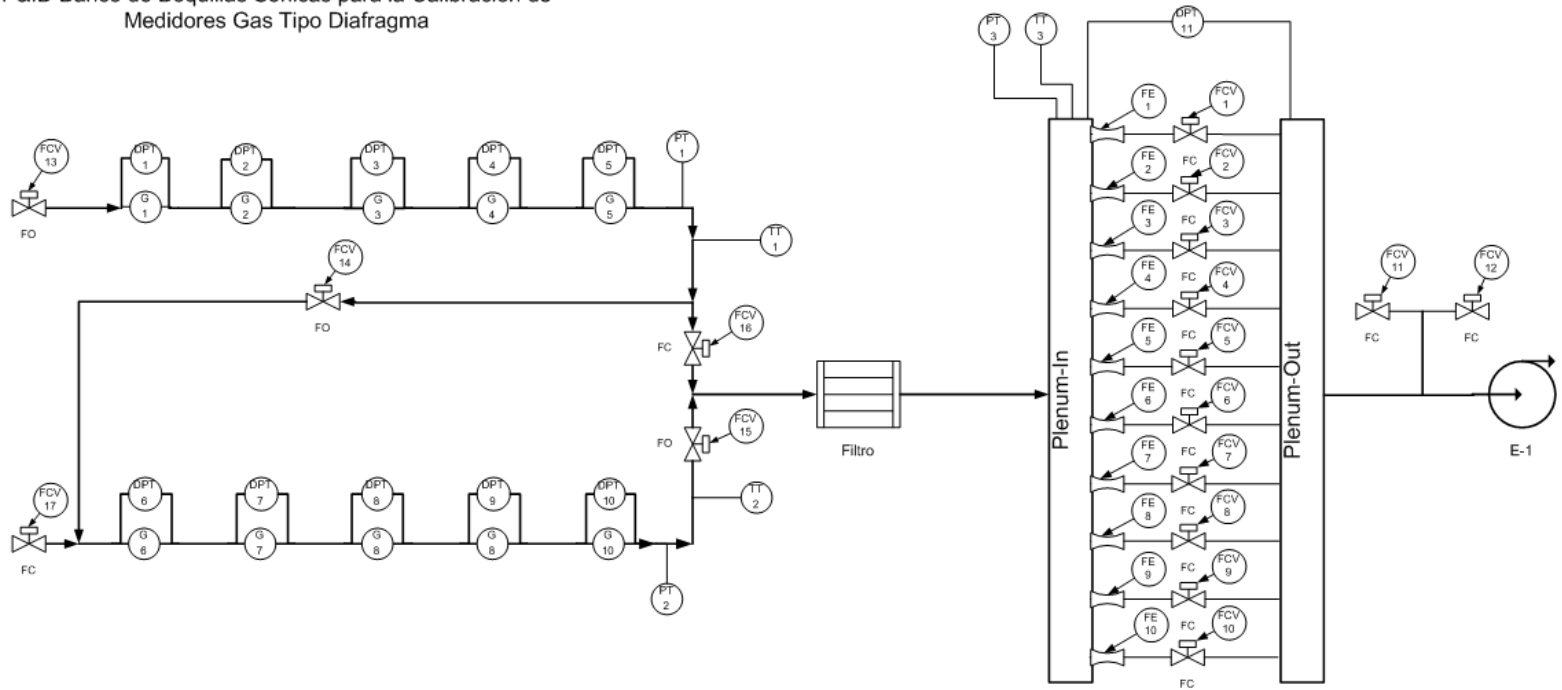


Diagrama de tubería e instrumentación (P&ID)

P&ID Banco de Boquillas Sónicas para la Calibración de Medidores Gas Tipo Diafragma



Listado de instrumentos y actuadores

Accesorio	TAG	Ubicación/Aplicación	Señal	Fabricante	Modelo	Alcance original	Alcance de Medición	Zero	Span	Clase	Deriva	Alimentación	#
BAROMETRO	PT1	Salida Zona 1	RS-232	Honeywell	HPB100W2DA-AF	500 - 1200 mbar	800-900 mbar	500 mbar	1200 mbar	0,8 mbar	0,25 mbar	12 V DC	1
	PT2	Salida Zona 2	RS-232	Honeywell	HPB100W2DA-AF	500 - 1200 mbar	800-900 mbar	500 mbar	1200 mbar	0,8 mbar	0,25 mbar	12 V DC	2
	PT3	Plenum In	RS-232	Honeywell	HPB100W2DA-AF	500 - 1200 mbar	800-900 mbar	500 mbar	1200 mbar	0,8 mbar	0,25 mbar	12 V DC	3
	PT4	Succión Zona 1 y 2	RS-232	Honeywell	HPB100W2DA-AF	500 - 1200 mbar	800-900 mbar	500 mbar	1200 mbar	0,8 mbar	0,25 mbar	12 V DC	4
TRANSMISORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL	DPT1	Presión Diferencial medidor 1	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	5
	DPT2	Presión Diferencial medidor 2	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	6
	DPT3	Presión Diferencial medidor 3	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	7
	DPT4	Presión Diferencial medidor 4	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	8
	DPT5	Presión Diferencial medidor 5	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	9
	DPT6	Presión Diferencial medidor 6	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	10
	DPT7	Presión Diferencial medidor 7	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	11
	DPT8	Presión Diferencial medidor 8	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	12
	DPT9	Presión Diferencial medidor 9	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	13
	DPT10	Presión Diferencial medidor 10	4-20 mA	Dwyer	616-0	0 -2 in.w.c.	0-2 mbar	0 mbar	5 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	14
	DPT11	Presión Diferencial Penum In/Out	4-20 mA	Dwyer	616-8	0-10 PSID	0-2 mbar	0 mbar	690 mbar	0,25% FS	1%	24 V DC	15
TRANSMISORES DE TEMPERATURA	TT1	Salida zona 1	4-20 mA	Pyromation	R1T185L384-02-00-45.T-450-00	-51 - 160 °C	20-26 °C	0 °C	50 °C	0,1 °C	0,1 °C	24 V DC	16
	TT2	Salida zona 2	4-20 mA	Pyromation	R1T185L384-02-00-45.T-450-00	-51 - 160 °C	20-26 °C	0 °C	50 °C	0,1 °C	0,1 °C	24 V DC	17
	TT3	Plenum In	4-20 mA	Pyromation	R1T185L384-05-00-45.T-450-00	-51 - 160 °C	20-26 °C	0 °C	50 °C	0,1 °C	0,1 °C	24 V DC	18
	TT4	Succión Zona 1 y 2 (Ambiente)	4-20 mA	Pyromation	R1T185L384-02-00-45.T-450-00	-51 - 160 °C	20-26 °C	0 °C	50 °C	0,1 °C	0,1 °C	24 V DC	9
HIGROMETRO	MT	Filtro	4-20 mA	Dwyer	RHL-R008	0-100%	30%-70%	0%	100%	2%	1%	24 V DC	20
SENSOR DE FIBRA OPTICA	OS1	Puesto de trabajo 1	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	21
	OS2	Puesto de trabajo 2	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	22
	OS3	Puesto de trabajo 3	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	23
	OS4	Puesto de trabajo 4	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	24
	OS5	Puesto de trabajo 5	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	25
	OS6	Puesto de trabajo 6	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	26
	OS7	Puesto de trabajo 7	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	27
	OS8	Puesto de trabajo 8	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	28
	OS9	Puesto de trabajo 9	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	29
	OS10	Puesto de trabajo 10	DIG 12V	Autonics	BF4R							12 V DC	30
VÁLVULAS SOLENOIDES	FCV1	Salida boquilla 1	110 V AC	SMC	VCA21-3DL-5-02N							110 V AC	31
	FCV2	Salida boquilla 2	110 V AC	SMC	VCA21-3DL-5-02N							110 V AC	32
	FCV3	Salida boquilla 3	110 V AC	SMC	VCA21-3DL-5-02N							110 V AC	33
	FCV4	Salida boquilla 4	110 V AC	SMC	VCA21-3DL-5-02N							110 V AC	34
	FCV5	Salida boquilla 5	110 V AC	SMC	VCA21-3DL-5-02N							110 V AC	35
	FCV6	Salida boquilla 6	110 V AC	SMC	VCA41-3DL-10-04N							110 V AC	36
	FCV7	Salida boquilla 7	110 V AC	SMC	VCA41-3DL-10-04N							110 V AC	37
	FCV8	Salida boquilla 8	110 V AC	SMC	VCA41-3DL-10-04N							110 V AC	38
	FCV9	Salida boquilla 9	110 V AC	SMC	VCA41-3DL-10-04N							110 V AC	39
	FCV10	Salida boquilla 10	110 V AC	SMC	VCA41-3DL-10-04N							110 V AC	40
	FCV11	Bypass Bomba de Vacio	110 V AC	SMC	VCA21-3DL-5-02N							110 V AC	41
	FCV12	Bypass Bomba de Vacio	110 V AC	SMC	VCA41-3DL-10-04N							110 V AC	42
VALVULAS PILOTADAS NEUMATICAMENTE Y ACTUADAS ELECTRICAMENTE	FCV13	Succión zona 1	110 V AC	AZ Pneumatic	5213C EE							110 V AC	43
	FCV14	Entre zona 1 y zona 2	110 V AC	AZ Pneumatic	5213C EE							110 V AC	44
	FCV15	Entre Zona 2 y Filtro	110 V AC	AZ Pneumatic	5213C EE							110 V AC	45
	FCV16	Entre zona 1 y Filtro	110 V AC	AZ Pneumatic	5213C EE							110 V AC	46
	FCV17	Succión Zona 2	110 V AC	AZ Pneumatic	5213C EE							110 V AC	47
BOMBA DE VACIO	BV	Aguas abajo plenum OUT	110 V AC	US Vacuum	VT4,16							110 V AC	48

Hojas de Datos de los Instrumentos

BAROMETRO			
IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO DE PRESIÓN			
Tipo: Absoluto	Fabricante: Honeywell	Modelo: HPB100W2DA-AF	TAG: PT1
Serial: 50290	Fecha: 2009		
CONFIGURACIÓN Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Alcance: 500,0 mbar	a 1200,0 mbar	Div. Esc.: 0,07 mbar	Clase: 0,06 %FS
Ubicación: Salida Zona 1		Estabilidad/año: 0,02%	%FS
CONDICIONES DE PROCESO			
Fluido Interior: Aire	Presión de Operación: Presión Atmosférica	910 mbar	
Estado del Fluido: Gaseoso	Densidad de Operación: 1,2 kg/m3		
Temperatura de Operación: Temperatura Ambiente			
TRANSMISOR			
Aplicación: Medición presión atmosférica	Indicador:		
Señal de Salida: RS - 232	Calibración:		
Alimentación Eléctrica: 12 V DC, 9mA	Margen Ajustable:		
Conexión Eléctrica: Conxall (Switchcraft) P/N 6282-6SG-3XX	Clase: 0,06 % FS		
Modo de Protección Ext.:	Tiempo de Respuesta: 8,33 ms		
	Protocolo Digital: RS-232		
DATOS DE COMPRA			
Fabricante: Honeywell	Suministrador:		
Modelo: HPB100W2DA-AF	Requisición:		
No. De Serie: 50290			
OBSERVACIONES			

TRANSMISOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL			
IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO			
Tipo: Diferencial	Fabricante: Dwyer	Modelo: 616-8	TAG: DPT1
Serial: 50290	Fecha: 2009		
CONFIGURACIÓN Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
Alcance: 0,0 mbar a 700,0 mbar	Div. Esc: mbar	Clase: 0,25 %FS	Estabilidad/año: 1,00% %FS
Ubicación: Plenum In - Plenum Out			%span
CONDICIONES DE PROCESO			
Fluido Interior: Aire	Presión de Operación: Presión Atmosférica, 910 mbar		
Estado del Fluido: Gaseoso	Densidad de Operación: 1,2 kg/m ³		
Temperatura de Operación: Temperatura Ambiente			
TRANSMISOR			
Aplicación: Presión Diferencial Medidor de Gas	Indicador:		
Señal de Salida: 4-20 mA	Calibración:		
Alimentación Eléctrica: 24 V DC, 38 mA	Margen Ajustable:		
Conexión Eléctrica: Borna con tornillo	Clase: 0,25% FS		
Modo de Protección Ext.:	Tiempo de Respuesta:		
	Protocolo Digital:		
DATOS DE COMPRA			
Fabricante: Dwyer	Suministrador: Dwyer Instruments Inc.		
Modelo: 616-8	Requisición:		
No. De Serie:			
OBSERVACIONES			

TRANSMISOR DE TEMPERATURA			
IDENTIFICACION INSTRUMENTO			
Tipo: Absoluto	Fabricante: Pyromation	Modelo: R1T185L-384-C45,T-45	TAG: TT1
Serial:	Fecha: 2009		
CONFIGURACION Y CARACTERISTICAS TECNICAS			
Alcance: -40,0 °C	a 200,0 °C	Div. Esc: °C	Clase: 0,10 °C
Ubicación: Plenum In		Estabilidad/año: 0,1 °C	%span
CONDICIONES DE PROCESO			
Fluido Interior: Aire		Presion de Operación: Presión Atmosférica	910 mbar
Estado del Fluido: Gaseoso		Densidad de Operación: 1,2 kg/m3	
Temperatura de Operación: Temperatura Ambiente			
TRANSMISOR			
Aplicación: Medición temperatura Plenum In		Indicador:	
Señal de Salida: 4-20 mA		Calibración:	
Alimentación Eléctrica: 24 VDC		Margen Ajustable: 240°C	
Conexión Eléctrica: 2 hilos		Clase: 0,1 °C	
Modo de Protección Ext.:		Tiempo de Respuesta: 1 s	
		Protocolo Digital:	
DATOS DE COMPRA			
Fabricante: Pyromation		Suministrador:	
Modelo: R1T185L-384-C45,T-450		Requisición:	
No. De Serie:			
OBSERVACIONES			

HIGRÓMETRO			
IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO			
Tipo:	Fabricante: Dwyer	Modelo: RHU-R008	TAG: MT
Serial:	Fecha: 2009		
CONFIGURACION Y CARACTERISTICAS TECNICAS			
Alcance	0,0 % a 100,0 %	Div. Esc:	Clase: ± 2 %HR Estabilidad/año 0,02% %FS
Ubicación	Salida Zona 1		%span
CONDICIONES DE PROCESO			
Fluido Interior	Aire	Presion de Operación	Presión atmosférica, 910 mbar
Estado del Fluido	Gaseoso	Densidad de Operación	1,2 kg/m ³
Temperatura de Operación	Temperatura Ambiente 22°C		
TRANSMISOR			
Aplicación	Medición de la Humedad relativa	Indicador	
Señal de Salida	4-20 mA	Calibración	
Alimentación Eléctrica	24 V DC	Margen Ajustable	
Conexión Eléctrica	Borna con tornillo	Clase	± 2 % HR
Modo de Protección Ext.		Tiempo de Respuesta	15 s
		Protocolo Digital	
DATOS DE COMPRA			
Fabricante	Dwyer	Suministrador	Dwyer Instruments Inc.
Modelo	RHU-R008	Requisión	
No. De Serie			
OBSERVACIONES			

SENSOR DE FIBRA ÓPTICA			
IDENTIFICACIÓN INSTRUMENTO			
Tipo:	Fabricante: Autonics	Modelo: BF4R	TAG: OS1
Serial:	Fecha: 2008	Clasificación Eléctrica:	Digital, 12 VDC
CONFIGURACIÓN Y CARACTERÍSTICA			
Fibra Óptica	FD - 320-05	Rango de detección:	40 mm
Longitud	2 m	Mínimo objeto detectado	0,03 mm
CONDICIONES DE PROCESO			
Fluido Interior		Presión de Operación	Presión Atmosférica, 910 mbar
Estado del Fluido		Densidad de Operación	
Temperatura de Operación	Temperatura ambiente, 22°C		
TRANSMISOR			
Aplicación	Medición pulsos, totalización volumen	Indicador	LED, Rojo=detección, Verde= Estabilidad
Señal de Salida	Digital, NPN, Colector Abierto	Calibración	
Alimentación Eléctrica	12 V DC, 45 mA	Margen Ajustable	Sensibilidad
Conexión Eléctrica		Clase	
Modo de Protección Ext.		Tiempo de Respuesta	0,5 ms
		Protocolo Digital	Binario
DATOS DE COMPRA			
Fabricante	Autonics	Suministrador	Electricas Bogota
Modelo	BF4R	Requisición	
No. De Serie			
OBSERVACIONES			

Planos de conexiones eléctricas

