

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO TIPO PROVER PARA
CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE GAS INDUSTRIALES Y COMERCIALES**

CÉSAR AUGUSTO SIERRA VARGAS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO TIPO PROVER PARA
CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE GAS INDUSTRIALES Y COMERCIALES**

CÉSAR AUGUSTO SIERRA VARGAS

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

JAVIER RUGELES PÉREZ

Ingeniero Mecánico

Codirector

JOSE AUGUSTO FUENTES OSORIO

Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2012

DEDICATORIA

A mis padres Martha Vargas y Gilberto Sierra,
Por todo el esfuerzo que hicieron para permitirme estar hoy aquí.

A mis hermanos Leidy Johana, Oscar Javier y Carlos Alberto.

AGRADECIMIENTOS

A Javier Rugeles Pérez, ingeniero mecánico y director del proyecto, por la colaboración oportuna y respaldo en la elaboración del mismo.

A la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, y todo el personal que hizo posible la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1 SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO	18
1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN DE CAUDAL	19
1.3 PROCESOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL	20
1.3.1 Transferencia de custodia	20
1.3.2 Otros sistemas de medición	21
2. CALIBRACIÓN CON MEDIDORES DE REFERENCIA	23
2.1 INTRODUCCIÓN	23
2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CALIBRACIÓN TIPO PROVER	24
2.3 CALIBRACIÓN CON AIRE ATMOSFÉRICO	24
3. DISEÑO DEL BANCO DE CALIBRACIÓN	27
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO	27
3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	27
3.3 SELECCIÓN DE LOS MEDIDORES PATRÓN	29
3.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE FLUJO	35
3.4.1 Escenario crítico de operación	36

3.4.2	Análisis de pérdidas	38
3.4.3	Selección del ventilador	42
3.5	DISEÑO DEL MÓDULO MASTER METER	45
3.6	DISEÑO DE LAS LÍNEAS DE FLUJO	47
3.6.1	Líneas de flujo para medidores tipo turbina	48
3.6.2	Líneas de flujo para medidores rotativos	51
3.6.3	Líneas de flujo para medidores tipo diafragma	52
3.6.3.1	Selección de las válvulas	54
3.6.3.2	Diseño del sistema de conectores	54
3.7	SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN	56
3.8	DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO	60
3.9	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE	61
3.9.1	Estructura principal	62
3.9.2	Distribución de los elementos en el banco	63
3.9.3	Cubiertas y láminas	67
4.	CONSTRUCCIÓN E INTEGRACIÓN DEL BANCO	69
4.1	FABRICACIONES DEL PROVER	69
4.1.1	Construcción del módulo Master Meter	69
4.1.2	Construcción del sistema de conectores	71
4.1.3	Fabricación de la estructura	72
4.1.4	Fabricación de las tuberías de medición	73
4.2	CALIBRACIÓN DE MEDIDORES	74
4.2.1	Calibración de la instrumentación	74

4.2.2 Calibración de los medidores patrón	76
4.3 INTEGRACIÓN DEL BANCO	77
5. PRUEBAS DE OPERACIÓN	81
5.1 PRUEBA DE FUGAS	81
5.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN	84
5.2.1 Calibración de un medidor tipo turbina	86
5.2.2 Calibración de un medidor tipo rotativo	89
5.3 CARACTERÍSTICAS DEFINITIVAS DEL BANCO DESARROLLADO	91
6. CONCLUSIONES	92
7. RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	97

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tasas de flujo máximas y mínimas establecidas.	30
Tabla 2. Valores para el flujo transicional.	31
Tabla 3. Errores máximos permisibles.	31
Tabla 4. Comparación de alternativas para medidores patrón.	33
Tabla 5. Características técnicas de los medidores seleccionados.	34
Tabla 6. Potenciales medidores cliente.	37
Tabla 7. Especificaciones blower Elektror.	43
Tabla 8. Características del variador de velocidad.	45
Tabla 9. Especificaciones de las válvulas mariposa adquiridas.	48
Tabla 10. Especificaciones de las válvulas de proceso.	54
Tabla 11. Especificaciones del cilindro neumático.	56
Tabla 12. Instrumentación seleccionada para el banco.	58
Tabla 13. Listado de componentes neumáticos adquiridos.	60
Tabla 14. Tasa de fuga permisible en relación con la caída de presión.	82
Tabla 15. Resultados de la prueba de hermeticidad.	83
Tabla 16. Datos del MUT tipo turbina.	86
Tabla 17. Resultados del MUT turbina en el Banco de Alto Caudal.	87
Tabla 18. Resultados del MUT turbina obtenidos en el Prover.	87
Tabla 19. Datos del medidor rotativo utilizado.	89
Tabla 20. Resultados del MUT rotativo en el Banco de Alto Caudal.	89
Tabla 21. Resultados del MUT rotativo obtenidos en el Prover.	90
Tabla 22. Especificaciones finales del Transfer Prover.	91

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Elementos de un sistema de medición de flujo.	18
Figura 2. Factores que afectan la medición de caudal.	19
Figura 3. Proceso de transferencia de custodia.	21
Figura 4. Estación de medición y regulación.	22
Figura 5. Calibración con medidores de referencia.	23
Figura 6. Esquema de calibración con aire atmosférico.	25
Figura 7. Diagrama de flujo de proceso del banco.	28
Figura 8. Rango de trabajo del banco y sus patrones.	32
Figura 9. Detalle del diseño del medidor TWIN.	34
Figura 10. Medidores patrón adquiridos.	35
Figura 11. Esquema del montaje experimental.	39
Figura 12. Montaje experimental realizado.	39
Figura 13. Curva de comportamiento del sistema de prueba.	41
Figura 14. Curva de caída de presión para el patrón G400.	41
Figura 15. Curvas del blower Elektror a condiciones estándar.	44
Figura 16. Curva del blower Elektror a condiciones de operación.	44
Figura 17. Blower y variador adquiridos.	45
Figura 18. Componentes del Módulo MM.	46
Figura 19. Materiales utilizados en el Módulo MM.	47
Figura 20. Instalación recomendada por AGA para medidores en línea.	49
Figura 21. Líneas de flujo para medidores tipo turbina.	50
Figura 22. Líneas de flujo para turbinas de 6".	50
Figura 23. Líneas de flujo para medidores rotativos.	52
Figura 24. Líneas de flujo para medidores de diafragma.	53

Figura 25. Componentes del sistema de conectores.	55
Figura 26. Materiales del sistema de conectores.	56
Figura 27. Instrumentación en cada escenario de calibración.	59
Figura 28. Diagrama neumático del banco.	61
Figura 29. Diseño conceptual del banco de calibración.	62
Figura 30. Detalle de la estructura principal.	63
Figura 31. Ubicación del módulo Master Meter y el ventilador.	65
Figura 32. Ubicación de la instrumentación.	65
Figura 33. Ubicación módulos de automatización, de potencia y hardware.	66
Figura 34. Ubicación módulo MUT.	66
Figura 35. Cubiertas y láminas del banco.	67
Figura 36. Vista global del ProverGMP-650.	68
Figura 37. Fabricación del módulo Master Meter.	70
Figura 38. Fabricación sistema de conectores.	71
Figura 39. Fabricación de la estructura.	72
Figura 40. Verificación dimensional de las tuberías de medición.	73
Figura 41. Resultados de la calibración de los transmisores de temperatura.	74
Figura 42. Resultados de la calibración de los transmisores de presión absoluta.	75
Figura 43. Resultado de la calibración del transmisor de presión diferencial.	75
Figura 44. Resultados de la calibración de los medidores patrón.	76
Figura 45. Montaje del módulo de patrones y el blower.	77
Figura 46. Montaje del sistema de conectores.	77
Figura 47. Montaje del módulo de automatización.	78
Figura 48. Montaje de los paneles de instrumentación.	78
Figura 49. Transfer Prover Completo.	79
Figura 50. Diferentes vistas del Prover.	80
Figura 51. Esquema de la prueba de fugas.	83
Figura 52. Realización de la prueba de fugas.	84
Figura 53. Resultados para el MUT tipo turbina.	88
Figura 54. Resultados para el MUT tipo rotativo.	90

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. CARTA DE TRAZABILIDAD METROLÓGICA EN VOLUMEN Y CAUDAL DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS	97
ANEXO B. CARTA DE TRAZABILIDAD EN PRESIÓN DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS	98
ANEXO C. CARTA DE TRAZABILIDAD EN TEMPERATURA DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS	99
ANEXO D. PLANOS DE FABRICACIÓN	100

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO TIPO PROVER PARA CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE GAS INDUSTRIALES Y COMERCIALES.*

AUTOR:

César Augusto Sierra Vargas.**

PALABRAS CLAVE:

Medidor de gas, calibración, incertidumbre, error de medición, patrón.

CONTENIDO:

El objetivo de este proyecto es dotar a la Corporación CDT de GAS de un banco para calibración de medidores de gas de tipo rotativo, turbina y diafragma del sector industrial y comercial, fortaleciendo de esta manera la infraestructura metrológica nacional y generando a su vez desarrollo tecnológico.

Para el desarrollo del banco se siguieron los lineamientos que rigen en el país para medidores de gas tipo diafragma, rotativo y turbina, además de los reglamentos y las recomendaciones aplicables a este tipo de bancos de calibración.

Los medidores patrón son de tipo rotativo, y fueron calibrados en el banco de alto caudal de la Corporación CDT de GAS, obteniéndose así bajos niveles de incertidumbre en su calibración, y brindando al banco trazabilidad a patrones internacionales.

El Proyecto fue desarrollado por la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, con el apoyo de Colciencias y la Universidad Industrial de Santander, con el fin de ampliar la infraestructura metrológica existente en Colombia mediante el desarrollo de un banco para la calibración de medidores de gas a presión atmosférica, dentro del alcance de 2 a 650 m³/h, reportando incertidumbres relativas a la estimación del error menores que 0,4% (k=2) para caudales de 2 a 6,5 m³/h, y menores que 0,3% (k=2) para caudales mayores.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Javier Rugeles. Codirector: Ing. Jose Fuentes.

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROVER TYPE BENCH FOR CALIBRATION OF COMMERCIAL AND INDUSTRIAL GAS METERS.*

AUTHOR:

César Augusto Sierra Vargas.**

KEY WORDS:

Gas meter, calibration, uncertainty, measurement error, master meter.

DESCRIPTION:

This work aims to develop a test bench for calibration of diaphragm, rotary and turbine gas meters in the commercial and industrial sector, for CDT de GAS Corporation, in order to strengthen the national metrological infrastructure and to generate technological development.

In the bench development, the applicable guidelines for diaphragm, rotary and turbine gas meters were followed, as well as the regulations and recommendations applicable to this type of calibration benches.

The master meters for this bench are rotary type gas meters, and were calibrated at the High Flow Calibration Bench of CDT de GAS Corporation, thereby obtaining low levels of uncertainty, and providing traceability to the International System of Units.

This work was developed for CDT de GAS Corporation, supported by Colciencias and the Industrial University of Santander, in order to expand the existing metrological infrastructure in Colombia, by means of the development of a calibration bench for gas meter at atmospheric pressure, within the range of 2 to 650 m³/h, reporting measurement error uncertainties smaller than 0,4% (k=2) for flow rates of from 2 to 6,5 m³/h, and less than 0,3% (k=2) for higher flow rates.

* Degree work.

** Physics-Mechanics Engineering Faculty. School of Mechanical Engineering. Director: Javier Rugeles. Co-director: Jose Fuentes.

INTRODUCCIÓN

En Colombia el actual uso extendido del gas natural como fuente energética en el sector industrial, comercial, residencial y automotriz, ha de estar regulado por normas orientadas hacia el desarrollo sostenible, la preservación del medio ambiente y el uso racional de los recursos naturales. Alcanzar el nivel de los estándares internacionales conlleva a la necesidad de implementar métodos de optimizar el consumo de gas y evitar cualquier ineficiencia inherente a prácticas inadecuadas en el proceso de transporte y distribución de este elemento.

Como resultado de un completo análisis realizado por la Corporación CDT de GAS en el año 2008¹, relacionado con la determinación de los componentes de la cadena del gas natural, se encontró una carencia de estrategias de control y de procesos de estimación de incertidumbre en los balances de las redes de distribución de gas natural. Los resultados del mencionado estudio permitieron concluir que la principal fuente de los desbalances en estas redes son las pérdidas por medición, producto de la desviación en la lectura de los contadores de gas. Esto último es consecuencia del deterioro de los equipos y de una inadecuada estrategia de aseguramiento metrológico, debida a la falta de una infraestructura que permita mantener los medidores bajo control, de manera continua y económica.

Esta deficiencia tiene consecuencias económicas tanto para las compañías distribuidoras de gas como para el usuario final, e incluso consecuencias legales

¹ CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS. Solución tecnológica integral, basada en metrología, estadística y TIC, para el aseguramiento de las mediciones en Gases de Occidente S.A. ESP. Piedecuesta: CDT de GAS, 2008. 68 p.

para dichas compañías, debidas al incumplimiento de la reglamentación vigente para la prestación del servicio.

Con el objetivo de contribuir a la solución de esta deficiencia, la Corporación CDT de GAS y la Universidad Industrial de Santander desarrollaron una facilidad tecnológica para la calibración de medidores de gas industriales y comerciales tipo rotativo, turbina y diafragma, contribuyendo así con el fortalecimiento de la infraestructura metrológica nacional.

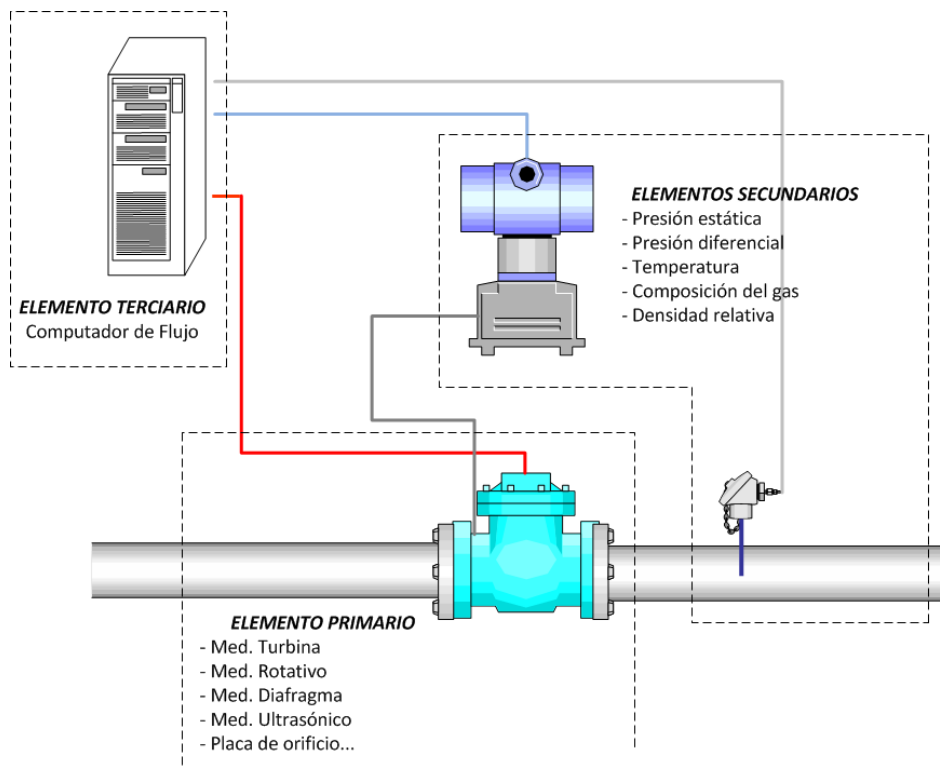
En el presente libro se muestra el proceso de desarrollo del mencionado banco, desde la concepción inicial hasta el resultado final, pasando por cada una de las etapas de diseño y construcción del mismo.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 SISTEMAS DE MEDICIÓN DE FLUJO

Los sistemas de medición de flujo, comunes en los procesos de control y operación de plantas industriales y en puntos de transferencia de custodia (procesos de facturación), están compuestos de manera general por: un *elemento primario*, que incluye un medidor, sus tuberías de medición, y accesorios adicionales; un *elemento secundario*, con sistemas de medición de presión, temperatura y densidad, entre otros; y un *elemento terciario*, designado como computador de flujo.

Figura 1. Elementos de un sistema de medición de flujo.

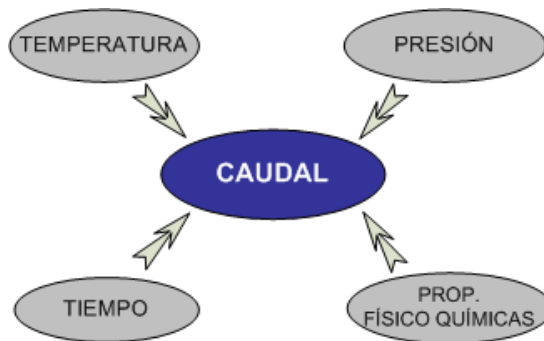


Fuente: El autor.

1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN DE CAUDAL

El alto grado de complejidad característico del proceso de medición de caudal y/o volumen de fluidos surge de la naturaleza del flujo, el cual es una magnitud derivada que representa un fenómeno dinámico, calculado a partir de relaciones matemáticas que involucran diferentes parámetros, como presión, temperatura, tiempo y propiedades físico-químicas del fluido (densidad específica, compresibilidad, viscosidad, entre otras).²

Figura 2. Factores que afectan la medición de caudal.



Fuente: TAPIAS CHÁVEZ, Erik S. y NARANJO MAYORGA, Omar A. Conceptos Claves en la Medición de Fluidos.

Adicionalmente, en la medición intervienen otros factores como:

- ☞ El tipo de fluido, el régimen de flujo y las condiciones de instalación.
- ☞ La gama extensa de principios de operación y técnicas de medición comercialmente disponibles.
- ☞ Rangos amplios en las condiciones de operación.

² TAPIAS CHÁVEZ, Erik S. y NARANJO MAYORGA, Omar A. Conceptos Claves en la Medición de Fluidos. En: Jornada Técnica Internacional de Medición de Fluidos (5: 1-2, octubre, 2008. Bogotá D.C.) Memorias. Piedecuesta: Corporación CDT de GAS, 2008. p. 2.

- ☞ La imposibilidad de intercambiar muestras de cantidad medida.
- ☞ La incertidumbre asociada a medición es relativamente alta, comparada con la reportada en medición de magnitudes fundamentales.

1.3 PROCESOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL

En el sector del transporte y distribución de gas natural la adquisición de datos de flujo adquiere relevancia debido a las implicaciones financieras, operacionales y de regulación (pronóstico de demanda, planeación de inversión en infraestructura, etc.). Sin embargo el valor de estos datos para el operador puede ser indeterminado debido a la alta incertidumbre inherente a las mediciones, problema que se resuelve ya sea con la compra de equipos más exactos (pero costosos), o mediante la aplicación de métodos estadísticos (análisis de incertidumbre y conciliación de datos), que permiten a su vez aprender acerca del comportamiento de los equipos de medición.

1.3.1 Transferencia de custodia

Las operaciones de medición en procesos de transferencia de custodia revisten gran importancia en las industrias del petróleo y del gas, debido a la gran cantidad de dinero en juego. Por tal razón existen disposiciones regulatorias y contractuales para asegurar la confiabilidad de resultados y la transparencia del proceso. En la Figura 3 se muestra el esquema del proceso de transferencia de custodia.

Las mediciones se pueden asegurar en diferentes niveles, caracterizados todos por el nivel de incertidumbre admisible (tolerancia) asociada a los resultados. Así, el nivel de incertidumbre permisible disminuye a medida que el proceso requiere de mayor confiabilidad, tanto por razones económicas como operativas. Es claro así que de todos los procesos involucrados en el transporte de gas natural, la medición en transferencia de custodia debe tener la incertidumbre más baja,

teniendo en cuenta que se manejan enormes volúmenes de gas y cualquier duda respecto a la medición representa pérdidas para los actores del proceso, tanto económicas como de confianza en las empresas involucradas.

Figura 3. Proceso de transferencia de custodia.



Fuente: Corporación CDT de GAS.

1.3.2 Otros sistemas de medición

Corresponden a sistemas como estaciones de medición y regulación ubicadas internamente en las redes de distribución de gas natural, utilizados para realizar mediciones intermedias que permitan identificar probables pérdidas de cantidad de gas.

Estos sistemas típicamente poseen medidores tipo turbina o rotativo, dependiendo del alcance de caudal de gas y de las presiones de operación. En la Figura 4 se muestra un sistema de medición típico.

Figura 4. Estación de medición y regulación.



Fuente: Corporación CDT de GAS.

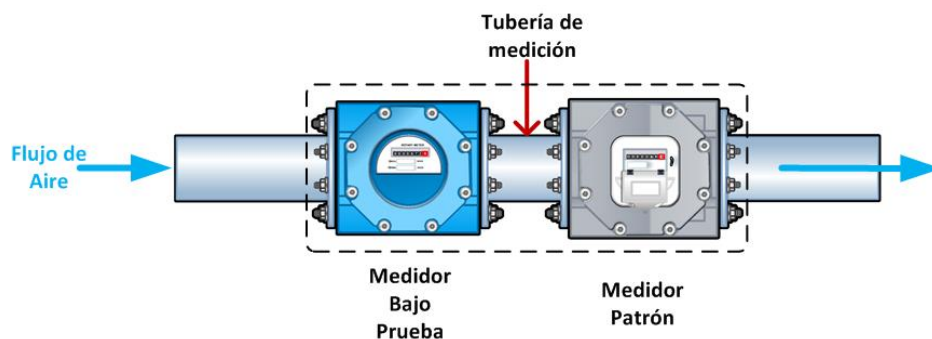
2. CALIBRACIÓN CON MEDIDORES DE REFERENCIA

2.1 INTRODUCCIÓN

La calibración con medidores de referencia es un método que utiliza un medidor calibrado para verificar la precisión de otro. El equipo de referencia (medidor patrón) es ubicado a la salida del equipo a calibrar (meter under test, MUT), de tal manera que el mismo volumen de gas pase por ambos dispositivos (Ver Figura 5). Comparando la lectura de ambos medidores es posible determinar la precisión del MUT. Los bancos de calibración que funcionan bajo este principio se conocen como *Transfer Prover*.

Se deben realizar correcciones relacionadas con la diferencia en presión y temperatura del gas que pasa por el patrón y por el MUT. Por tanto, el banco de calibración debe permitir la medición de estas magnitudes.

Figura 5. Calibración con medidores de referencia.



Fuente: El autor.

Los medidores de referencia usados en cualquier banco de este tipo deben ser calibrados con un patrón que tenga trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades.

El sistema de calibración es independiente de la gravedad específica del gas y de su humedad relativa ya que, bajo condiciones normales de operación, no ocurrirá cambio en el contenido de humedad, o condensación en el gas que pasa del MUT al patrón. Además, al ser una prueba volumétrica, el tiempo de prueba no es una variable crítica. El medio de prueba puede ser aire atmosférico o gas natural a alta presión.³

2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CALIBRACIÓN TIPO PROVER

Un banco tipo Prover es suministrado con facilidades para el acople del MUT al medidor patrón. Se tienen transmisores de pulsos en cada medidor, cuya señal va a un contador encargado de determinar el volumen medido.

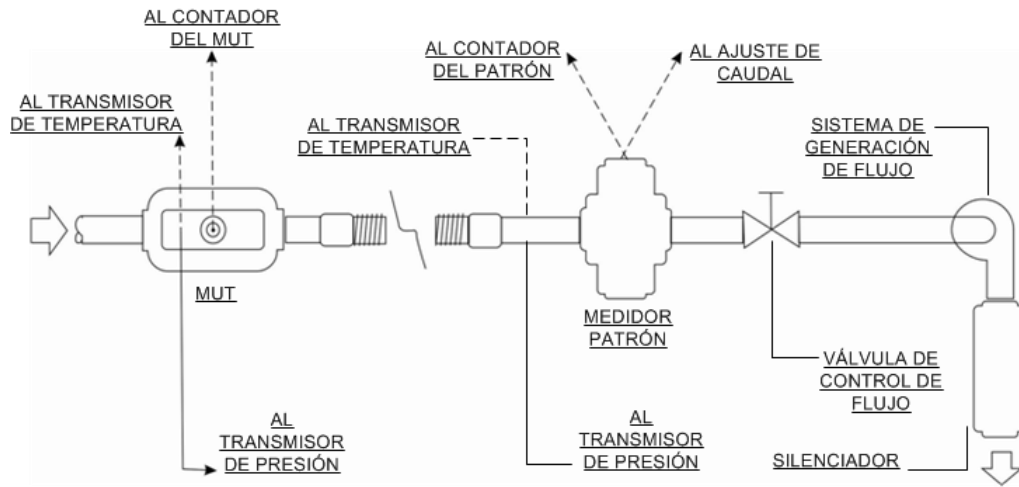
Se instalan sensores de temperatura en el MUT y en el patrón. Con ellos se obtienen las temperaturas que se utilizan en la corrección del volumen que atraviesa los medidores. Las presiones utilizadas en esta corrección se obtienen de los sensores de presión instalados en cada equipo. Para el ajuste del caudal se instala generalmente una válvula de control de flujo aguas abajo del patrón. Los anteriores componentes se ilustran en la Figura 6.

2.3 CALIBRACIÓN CON AIRE ATMOSFÉRICO

En los bancos de calibración con aire atmosférico el flujo es generado por un ventilador centrífugo. Para evitar la transferencia de calor del ventilador al fluido de prueba, éste es instalado a la salida del sistema, de tal manera que el flujo es inducido a través de los medidores. En la Figura 6 se presenta el esquema correspondiente.

³ American Gas Association. Gas Measurement Manual: Meter Proving – Part. N° Twelve. [s.l.]: AGA, 1999. p. 12.2.1.

Figura 6. Esquema de calibración con aire atmosférico.



Fuente: AMERICAN GAS ASSOCIATION. Gas Measurement Manual.

AGA (American Gas Association) establece en su Manual para Medición de Gas⁴ unos lineamientos generales para la definición de un procedimiento adecuado para calibración con aire.

- ☞ Purgar el medidor bajo prueba, MUT. Se deben seguir las reglas de seguridad adecuadas.
- ☞ Instalar el transmisor de pulsos en el MUT.
- ☞ Instalar el sensor de temperatura a la salida del MUT, tan cerca de él como sea necesario para obtener una temperatura representativa del aire medido.
- ☞ Conectar el sensor de presión a la entrada del MUT.
- ☞ Realizar la prueba de fugas al sistema y sus tuberías correspondientes.
- ☞ Energizar el sistema de control y adquisición de datos, el ventilador, y ajustar las válvulas de control de flujo para operar el MUT al caudal requerido.

⁴ Ibíd., p. 12.2.6.

- ☞ Establecer el tiempo de prueba para el MUT, el cual depende de la salida se pulsos del mismo.
- ☞ Insertar el dato del error para el medidor patrón de acuerdo a la información suministrada con el equipo de calibración.
- ☞ Iniciar la prueba.
- ☞ Registrar los resultados.
- ☞ Calcular y registrar el resultado de la prueba (error del MUT). Dicho resultado está afectado por los siguientes factores: error del MM, corrección por presión, corrección por temperatura, y error no corregido del MUT.

El resultado del proceso de calibración es el error porcentual del medidor bajo prueba. El modelo matemático utilizado en este cálculo es el registrado en la siguiente ecuación.

$$E_m \% = \frac{V_m}{V_p} \times \frac{P_m \times T_p}{P_p \times T_m} \times \left(1 + \frac{E_p \%}{100} \right) - 1 \times 100\%$$

El procedimiento descrito puede variar de un sistema de calibración a otro, dependiendo en gran medida del grado de automatización con que se cuente, el sistema de control de flujo que se tenga y las facilidades para el montaje de los medidores a calibrar que se puedan implementar.

3. DISEÑO DEL BANCO DE CALIBRACIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BANCO

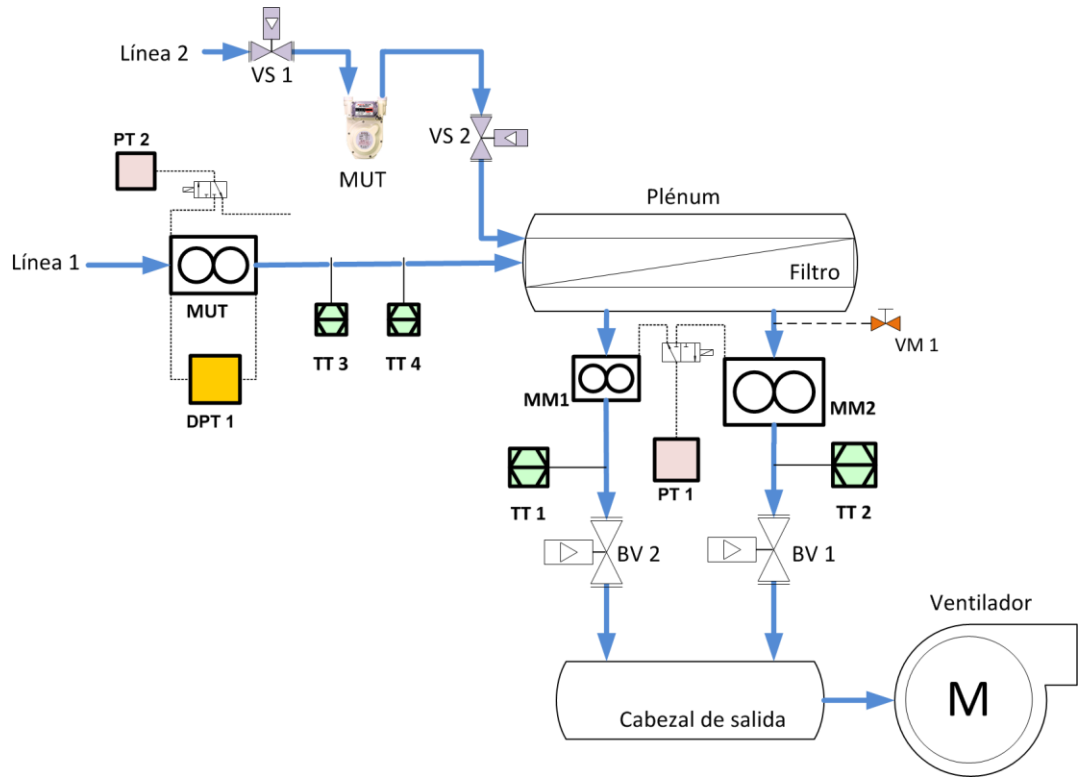
El banco a desarrollar en el presente proyecto es una facilidad tecnológica para la calibración de medidores de gas, que usa como medidores patrón contadores de gas tipo rotativo de muy buenas condiciones metrológicas. El banco estará compuesto principalmente por:

- ☞ Módulo de medidores patrón (módulo master meter): con dos medidores rotativos patrones, sus líneas de flujo, instrumentación asociada y demás dispositivos necesarios para su normal operación.
- ☞ Módulo de medidores bajo prueba (módulo MUT): con las líneas de flujo y dispositivos adecuados para permitir el fácil montaje de los medidores a calibrar. Al igual que el anterior, dispone de una instrumentación asociada.
- ☞ Módulo de generación de flujo: encargado de inducir el flujo de aire a través del banco.
- ☞ Módulo de automatización: encargado de realizar la adquisición y el procesamiento de datos, así como de brindar cierto grado de automatización a los procesos desarrollados en el banco.
- ☞ Elementos estructurales adecuados para dar soporte a todos los componentes antes descritos.

3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

Con base en los requerimientos y alcances planteados en el numeral anterior, y en la experiencia de la Corporación CDT de GAS en procesos de calibración de medidores de gas, se desarrolló el diagrama de flujo de proceso para el banco, donde se incluyen los componentes principales del mismo. Este diagrama se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Diagrama de flujo de proceso del banco.



Fuente: El autor.

- *MM1* y *MM2*: son los medidores patrón. Como se explica más adelante,...en el numeral 3.3..., se utilizan dos medidores, que operan independientemente, para cubrir el rango de trabajo del banco.
- *BV1* y *BV2*: son válvulas tipo mariposa, cada una correspondiente a un patrón. Permiten seleccionar cuál de los medidores entra en operación en determinado instante del proceso de calibración.
- El *plenum* es un cabezal de gran volumen situado entre el medidor bajo prueba y el patrón. Reduce las pulsaciones inducidas en el flujo por medidores de desplazamiento positivo. El *filtro* se ubica adentro del plenum. Su función es proteger a los patrones del material particulado.

- ☞ El *cabezal de salida* sirve de conexión entre los patrones y el sistema de generación de flujo.
- ☞ El *ventilador* es el encargado de inducir el flujo a través del banco, necesario para el proceso de calibración.
- ☞ Se tienen dos líneas de flujo diferentes para los medidores a calibrar: la *Línea 1* para medidores rotativos y de turbina, que tienen conexión bridada generalmente; la *Línea 2* para medidores tipo diafragma, que cuentan con conexiones roscadas verticales y requieren de accesorios especiales.
- ☞ *VS1* y *VS2*: son válvulas que controlan el paso de aire de calibración a través de la línea de flujo para diafragmas.
- ☞ *VM1*: es una válvula que da paso de aire a presión hacia el interior del banco, para realizar pruebas de hermeticidad.
- ☞ *PT1* y *PT2*: Son transmisores que permiten determinar la presión del aire medido en los patrones (*PT1*), en el MUT (*PT2*), así como la presión atmosférica local.
- ☞ *DPT1*: Es un transmisor de presión diferencial, que permite evaluar el estado de los medidores de desplazamiento positivo (rotativos y diafragmas).
- ☞ *TT1* y *TT2*: Son transmisores que indican la temperatura del aire medido en los patrones. Se tiene uno para cada patrón.
- ☞ *TT3* y *TT4*: Son transmisores de temperatura para los medidores bajo prueba. Se tienen dos debido a la variedad de tamaños de los MUT. Permiten además medir la temperatura ambiente.

Con estos lineamientos claramente establecidos, se procedió a seleccionar o diseñar cada uno de los componentes del banco de calibración.

3.3 SELECCIÓN DE LOS MEDIDORES PATRÓN

Con base en los requerimientos planteados para el banco se establecieron los siguientes lineamientos para la selección:

- ☞ El rango de trabajo que deben cubrir los patrones es de 2 a 650 m³/h.
- ☞ Las incertidumbres de calibración de estos medidores han de ser menores o iguales a 0,2% (k=2).
- ☞ Sus características metrológicas deben estar de acuerdo a la normalización vigente.

Para la selección de los medidores patrón se tuvieron en cuenta los lineamientos de la Norma Técnica Colombiana NTC 4136:2008⁵.

La *capacidad de flujo* es la mayor tasa de flujo a la cual un medidor rotativo puede ser operado. En la Tabla 1 se muestran los valores establecidos⁶.

Tabla 1. Tasas de flujo máximas y mínimas establecidas.

Designación G	Q máx. [m ³ /h]	Rango de trabajo			
		1:10	1:20	1:30	1:50
		Q mín. [m ³ /h]			
16	25	2,5	1,3	0,8	0,5
25	40	4	2	1,3	0,8
40	65	6	3	2	1,3
65	100	10	5	3	2
100	160	16	8	5	3
160	250	25	13	8	5
250	400	40	20	13	8
400	650	65	32	20	13
650	1000	100	50	32	20
1000	1600	160	80	50	32

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 4136:2008.

⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Medidores de Gas Tipo Rotatorio. NTC 4136. Bogotá D.C.: El Instituto, 2008. 71 p.

⁶Ibíd., p. 15.

La *rangeabilidad*, o rango de trabajo, corresponde a la relación de caudal mínimo a caudal máximo ($Q_{\text{mín}}$ a $Q_{\text{máx}}$) del medidor. En la Tabla 1 se muestran los rangos de trabajo usuales, aunque actualmente es posible encontrar equipos con rangeabilidad de 1:100 e incluso de 1:160.

La *tasa flujo transicional* (Q_t) es el valor de caudal –dentro del rango de trabajo del medidor– en el cual el error máximo permisible cambia de valor. Es recomendable operar siempre los medidores por encima de este valor, donde su comportamiento metrológico es mejor. En la Tabla 2 se muestran los valores de flujo transicional para medidores rotativos, y en la Tabla 3, los errores permisibles.

Tabla 2. Valores para el flujo transicional.

Rango de trabajo	Q_t
1:10	0,20 $Q_{\text{máx}}$.
1:20	0,20 $Q_{\text{máx}}$.
1:30	0,15 $Q_{\text{máx}}$.
1:50	0,10 $Q_{\text{máx}}$.
>1:50	0,05 $Q_{\text{máx}}$.

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 4136:2008.

Tabla 3. Errores máximos permisibles.

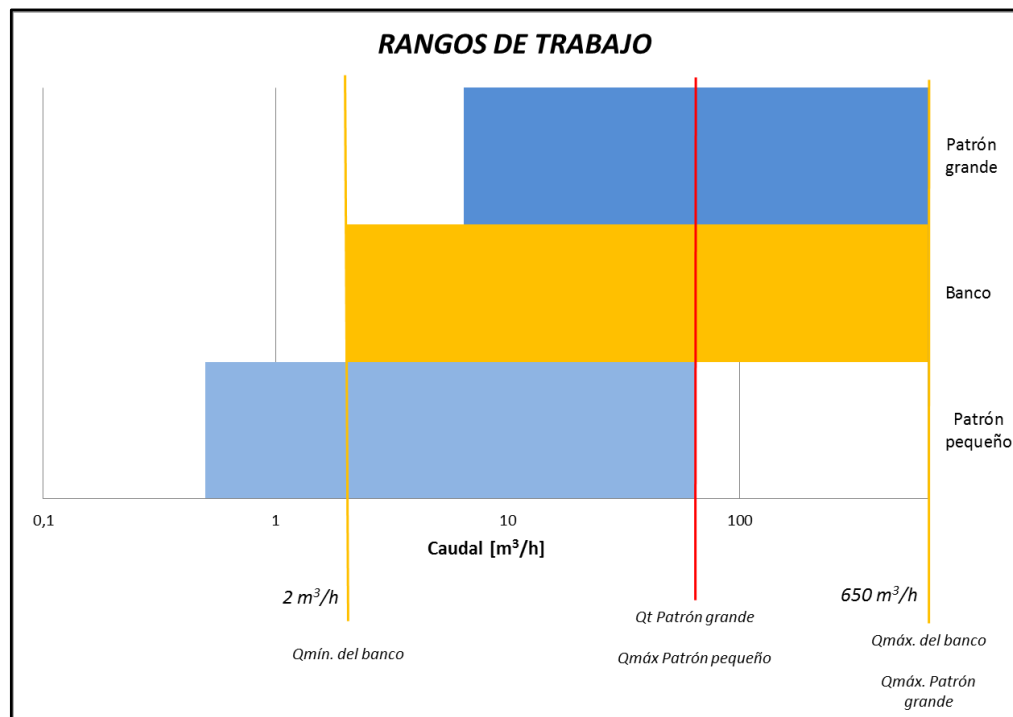
Tasa de flujo Q m^3/h	Errores máximos permisibles	
	En la verificación inicial	En servicio
$Q_{\text{mín.}} \leq Q \leq Q_t$	$\pm 2 \%$	$\pm 3 \%$
$Q_t \leq Q \leq Q_{\text{máx.}}$	$\pm 1 \%$	$\pm 1,5 \%$

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 4136:2008.

Como el rango de trabajo del banco es de 2 a 650 m³/h, se requiere al menos un patrón rotativo G400, que permita alcanzar el caudal máximo del banco. Sin embargo, aún con un medidor G400 de alta rangeabilidad no se cubre todo el alcance del banco; se debe por tanto seleccionar un medidor adicional de menor capacidad de flujo para cubrir el rango faltante.

El Q_t del patrón grande debe ser tal que coincida con el $Q_{m\acute{a}x}$ del medidor pequeño. De esta manera, el patrón G400 es utilizado sólo en su intervalo de mejor desempeño ($Q_t \leq Q \leq Q_{m\acute{a}x}$). En cambio, el Q_t del medidor pequeño debe ser de 6,5 m³/h (caudal desde donde se requiere el mejor desempeño metrológico del banco) o menor. En la Figura 8 se ilustran estos requerimientos.




Figura 8. Rango de trabajo del banco y sus patrones.



Fuente: El autor.

Con base en la experiencia de la Corporación CDT de GAS, se realizó una revisión de los equipos disponibles en el mercado. Las alternativas encontradas se presentan en la Tabla 4.

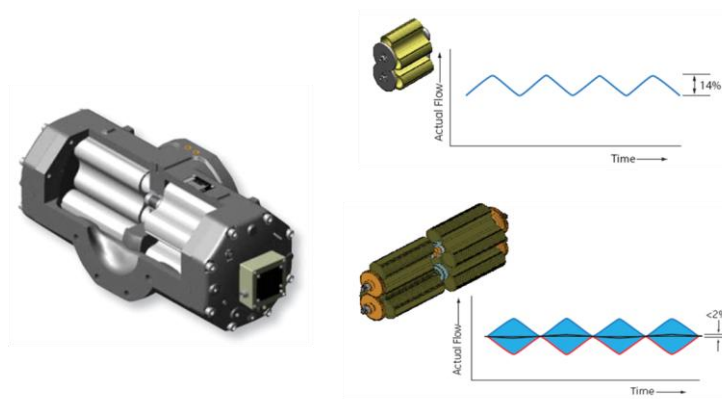
Tabla 4. Comparación de alternativas para medidores patrón.

				
Modelo	IM-RM TWIN REF	DKZ 04	Delta S Flow	IRM-3 DUO
Fabricante	i-Meter-Dresser-GE	RMG	Itron	Instromet
Pais de origen	Holanda	Alemania	Alemania	Alemania
Denominación	G400	G400	G400	G400
Caudal máximo [m³/h]	650	650	650	650
Rangoabilidad	1:100	1:30	1:100	1:100
Caudal mínimo [m³/h]	6,5	20	6,5	6,5
Error	1% o mejor (Qt a Qmáx.)	1% o mejor (Qt a Qmáx.)	1% o mejor (Qt a Qmáx.)	1% o mejor (Qt a Qmáx.)
Diámetro Nominal	150	150	150	100
Diferencial de presión [mbar]	7,93	5	2,03	4
Clase ANSI	ANSI 150	ANSI 150	ANSI 150	ANSI 150
Salida de pulsos	HF	LF y HF	HF	HF
Peso [kg]	53	90	84	50
Certificado	Trazable a NMI	Trazable a PTB	Trazable a PTB	Trazable a PTB
Distribuidor	Premac (Colombia)	TI Gas (Colombia)	Equisol (Colombia)	Alcanos (Colombia)
Tiempo de entrega	10 semanas	18 semanas	14 semanas	18 semanas
Precio DDP	EUR 8.858,00	EUR 11.888,00	EUR 7.370,00	EUR 11.200,00

Fuente: El autor.

Dentro de las alternativas evaluadas, se seleccionó el medidor de la marca Dresser, el cual, entre otras ventajas, cuenta con la tecnología de Impulsor *TWIN*. En la Figura 9 se puede apreciar el detalle de este diseño. Al tener dos juegos de lóbulos, desfasados entre sí, este medidor genera dos ondas de presión igualmente desfasadas; como resultado, la pulsación del flujo se atenúa y el comportamiento metrológico del equipo no se ve afectado por su interacción con otros medidores.

Figura 9. Detalle del diseño del medidor TWIN.



Fuente: Dresser Series C Rotary Meter. Catálogo del fabricante.

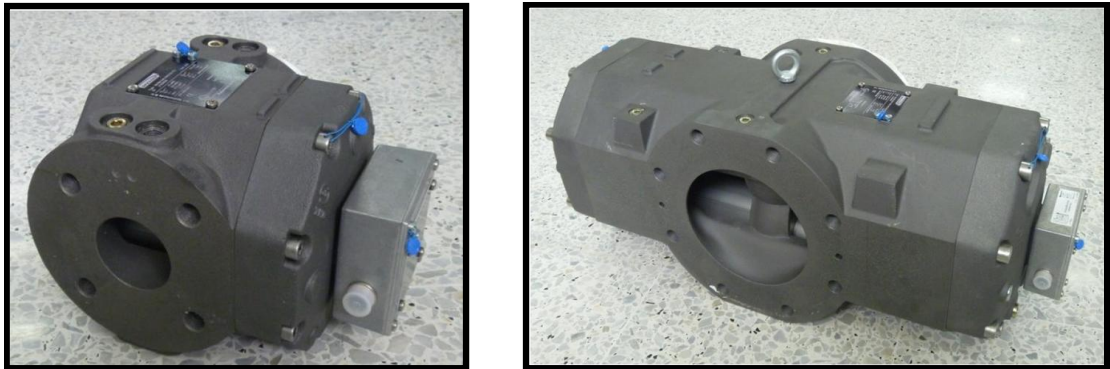
El patrón seleccionado cubre el rango de los $65 \text{ m}^3/\text{h}$ (Q_t del medidor), hasta los $650 \text{ m}^3/\text{h}$. Para el rango faltante, se seleccionó un medidor de la misma serie, designación G40, que opera desde $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ hasta $65 \text{ m}^3/\text{h}$, con un Q_t de $6,5 \text{ m}^3/\text{h}$. En la Tabla 5 se resumen las especificaciones de los medidores seleccionados, y en la Figura 10 se presentan las fotografías de los medidores adquiridos.

Tabla 5. Características técnicas de los medidores seleccionados.

Modelo	IM-RM G40 ANSI 150 REF	IM-RM G400TWIN ANSI 150 REF
Fabricante	Dresser-GE	Dresser-GE
País de origen	Holanda	Holanda
Denominación	G40	G400
Caudal máximo [m^3/h]	65	650
Rangeabilidad	1:100	1:100
Caudal mínimo [m^3/h]	0,5	6,5
Caudal de transición [m^3/h]	6,5	65
Diámetro nominal	50	150
Diferencial de presión [mbar]	0,77	7,93
Clase ANSI	ANSI 150	ANSI 150
Salida de pulsos	HF	HF
Incertidumbre de calibración	Menor que 0,25%	Menor que 0,25%
Certificado	Trazable a NMI	Trazable a NMI

Fuente: El autor.

Figura 10. Medidores patrón adquiridos.



Fuente: El autor.

Aunque los patrones son adquiridos con certificado de fábrica, la incertidumbre de calibración es mayor que 0,2% (K=2). Por tal razón fueron calibrados en el Banco de Alto Caudal de la Corporación CDT de GAS, el cual está en capacidad de reportar incertidumbres de hasta 0,16% en sus resultados⁷.

3.4 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE FLUJO

Este sistema tiene como función inducir el flujo de aire a vacío a través del medidor bajo prueba y el patrón. Los requerimientos para su selección son los siguientes:

- ☞ Bajo consumo de energía.
- ☞ Características de desempeño que permitan cubrir todo el rango operativo del banco.

⁷ ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA. Alcance de Acreditación Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas - CDT de GAS [online]. Código de acreditación 10-LAB-013. Actualización 2010-08-19 [Citado en 2012-11-07]. Disponible en internet: <<http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=164&idmoduloreferer=200&pagina=5&objid=818&tipoec=Laboratorio%20de%20Calibraci%F3n>>.

- ☞ Tamaño compacto y bajo peso.
- ☞ Bajo nivel de vibraciones.

3.4.1 Escenario crítico de operación

Cada potencial medidor cliente del banco establece un escenario distinto, determinado por ciertas condiciones de caudal y caída de presión. Esta situación hace que el sistema de generación de flujo se deba adaptar a condiciones variables de operación. Por tanto su selección se realizó considerando el escenario crítico.

Para la determinación del escenario crítico se generó una base de datos con los medidores que recibió la Corporación CDT de GAS para servicio de calibración en el año 2010, los cuales se constituyen en potenciales medidores cliente del Prover. En la Tabla 6 se presenta el listado generado.

Del listado de potenciales medidores cliente se evidencia que el equipo crítico es un medidor tipo turbina de 4" con un caudal máximo de 650 m³/h, teniendo en cuenta que:

- ☞ De acuerdo a los datos recopilados, los medidores tipo turbina generan los más altos diferenciales de presión. Además su instalación requiere tramos de tubería que producen pérdidas adicionales.
- ☞ Los medidores tipo turbina que llegan al alcance máximo del banco son generalmente de 6 y 4 pulgadas, siendo estos últimos los que generan un mayor diferencial de presión.

Tabla 6. Potenciales medidores cliente.

TIPO	MARCA	MODELO	DESIGNACIÓN	Qmax [m3/h]	DN [mm]	ΔP [mbar]@ Qmax
Turbina	AMERICAN	GT	4GT	650	100	10
	AMERICAN	GT	6GT	650	150	5,77
	ELSTER-INST	Q-Series	6Q	650	150	4,62
	SENSUS	Mark II	4T-18	510	100	7,46
	SENSUS	Mark II	6T-35	650	150	4,23
	iMeter	iMTM-C	G250	400	100	5,8
	iMeter	iMTM-C	G400	650	150	2,6
Rotativo	AMERICAN	RPM	G65	98	50	2
	INSTROMET	RVG	G40	65	50	3,42
	INSTROMET	RVG	G65	100	50	8,55
	INSTROMET	RVG	G160	250	80	2,8
	ELSTER-AMCO	RVG	G100	160	80	2,95
	DRESSER ROOTS	G-Rated	G40	65	50	3,42
	DRESSER ROOTS	B-Series	2M175	56,6	50	2,49
	DRESSER ROOTS	B-Series	3M175	85	50	4,04
	DRESSER ROOTS	B-Series	5M175	141,5	80	4,04
	DRESSER ROOTS	B-Series	7M175	200	80	6,22
	ROMET	STD-CTR	G40	65	50	4,04
	ROMET	STD-CTR	G65	100	50	4,2
	ROMET	STD-CTR	G100	160	80	5,13
	ROMET	STD-CTR	G160	250	80	5,44
	ROMET	STD-CTR	G250	400	100	6,99
	iMeter	iMRM	G65	50	50	2
	iMeter	iMRM	G100	80	80	2
	iMeter	iMRM	G160	80	80	3,5
iMeter	iMRM	G250	100	100	4	
Diafragma	AMERICAN	AL	AL-425	12	25	1,87
	AMERICAN	AC	AC-630	17,8	25	1,87
	AMERICAN	AL	AL-800	22,7	30	1,87
	AMERICAN	AL	AL-1000	28,3	40	1,87
	AMERICAN	AL	AL-1400	39,6	50	1,87
	AMERICAN	AL	AL-2300	65	100	1,87
	SENSUS	Cubix	MR12	12	25	1,94
	EQUIMETER	-	1000	62,3	40	3,11

Fuente: El autor.

3.4.2 Análisis de pérdidas

Para la selección del sistema de generación de flujo se realizó una estimación de las pérdidas de presión a través de los componentes del banco, con el sistema operando a su caudal máximo bajo el escenario crítico.

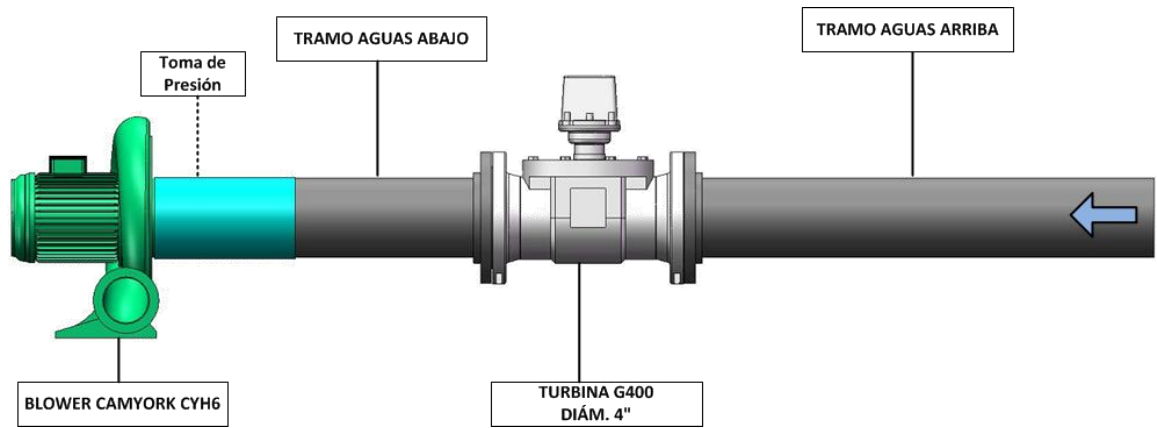
Para facilitar la estimación, el sistema se analizó por partes:

- ⊗ Medidor bajo prueba: compuesto por un medidor tipo turbina de 4 pulgadas, con $Q_{\text{máx}}$ de 650 m³/h y sus respectivos tramos de tubería.
- ⊗ Elemento filtrante.
- ⊗ Medidor patrón G400.

Para el medidor bajo prueba el análisis se realizó de manera experimental, ya que la caída de presión de los medidores cliente puede diferir de la reportada por el fabricante. Esto debido al estado de desgaste que el equipo pueda presentar.

Para la estimación de este diferencial de presión se realizó el montaje experimental mostrado en la Figura 11 y la Figura 12. Consta de un medidor tipo turbina G400 de 4 pulgadas y sus respectivas líneas de medición aguas arriba y aguas abajo. El flujo fue inducido por un ventilador centrífugo con un motor de 1 HP. La presión se tomó a la entrada del ventilador.

Figura 11. Esquema del montaje experimental.



Fuente: El autor.

Figura 12. Montaje experimental realizado.



Fuente: El autor.

Como resultado de las anteriores pruebas se obtuvo un estimado del comportamiento del sistema MUT a condiciones locales de Bucaramanga, reflejado en la curva de diferencial de presión contra caudal presentada en la Figura 13. Se estimó en base a esta curva una pérdida de 27 *mbar* a caudal máximo para el MUT.

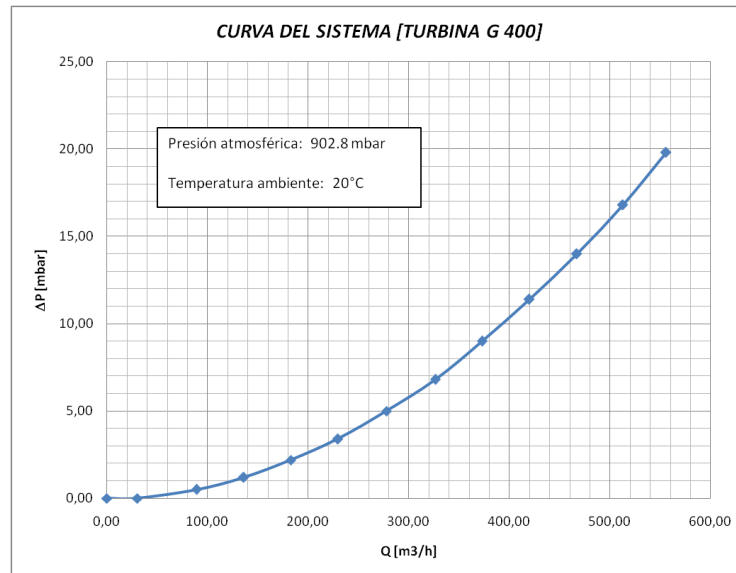
Los datos de caída de presión en el patrón se tomaron del catálogo del fabricante. El ΔP generado por el patrón Dresser G400 es de 7,93 *mbar* a caudal máximo, para gas natural a 1 bar absoluto. Para determinar el diferencial a diferentes presiones, diferentes caudales y con diferentes gases se utiliza la siguiente expresión, tomada del mismo catálogo:

$$\Delta P = \frac{\rho_n}{\rho_{n_ng}} \times \frac{P_b}{P_{atm}} \times \frac{Q_b}{Q_{m\acute{a}x}}^2 \times \Delta P_{@ Q_{m\acute{a}x} GN 1 bar}$$

En la anterior ecuación, P_b y Q_b son las condiciones de presión y caudal a las cuales se quiere calcular el ΔP , ρ_n es la densidad del gas de trabajo, y ρ_{n_ng} es la densidad del gas natural. Con esta expresión se puede determinar la curva de desempeño para el patrón operando con aire a presión atmosférica, la cual se presenta en la Figura 14. Se estima en base a esta curva una pérdida de 12,32 *mbar* para el patrón a caudal máximo.

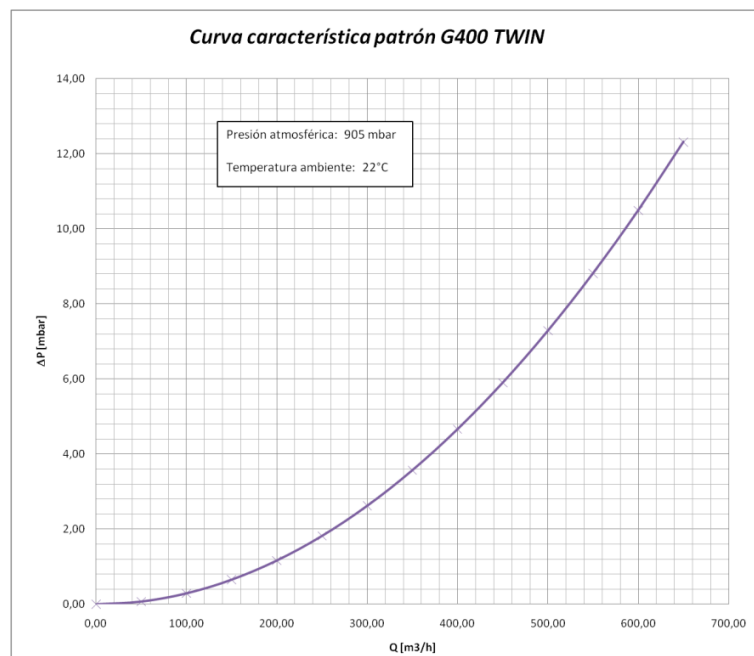
La pérdida en el filtro, debido a que será fabricado localmente, se estableció como un límite máximo de trabajo para el elemento filtrante. Luego, este valor máximo fue requisito para el diseño del mismo.

Figura 13. Curva de comportamiento del sistema de prueba.



Fuente: El autor.

Figura 14. Curva de caída de presión para el patrón G400.



Fuente: El autor.

Se decidió entonces establecer un valor de caída presión tolerable en el filtro de *12 mbar*, teniendo en cuenta que el patrón requiere un nivel de filtrado estricto, del orden de los 20 a 50 μm . Este valor es el límite al cual el filtro se debe limpiar o remplazar, y fue tomado como referencia para la selección del sistema de generación de flujo.

La suma de las pérdidas globales, incluyendo módulo MUT, patrón y filtro, está dada por:

$$\Delta P_{Principales} = 27 + 12,32 + 12 = 51,32 \text{ mbar}$$

Se decidió entonces sobre estimar este valor, para cubrir las pérdidas de presión en los tramos de conexión faltantes. Esta sobre estimación se fijó en el 50%. Se tiene por tanto:

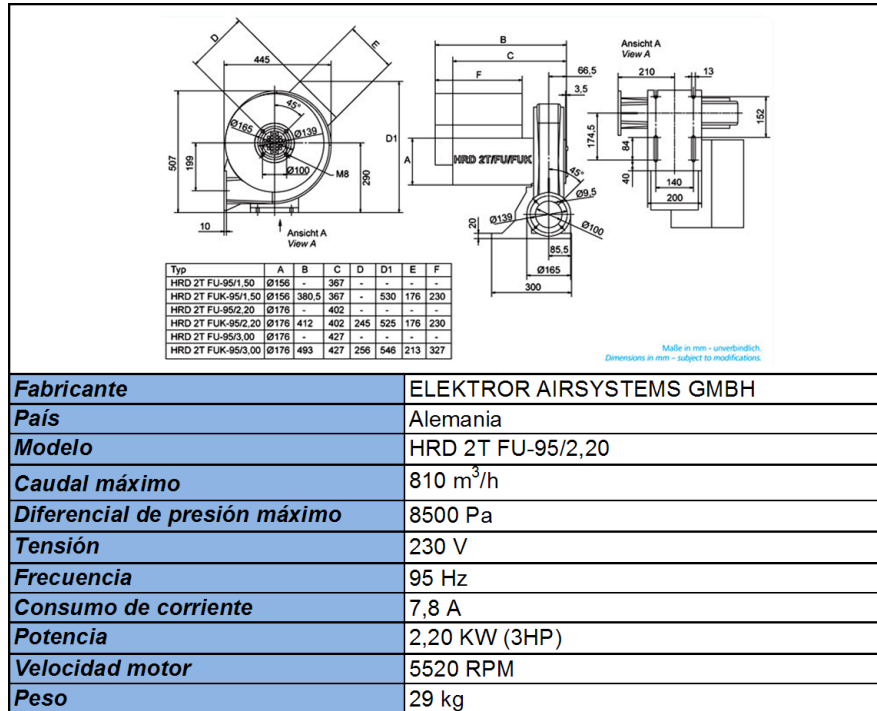
$$\Delta P_{Global@Q_{m\acute{a}x.}} = \mathbf{76,98 \text{ mbar}}$$

3.4.3 Selección del ventilador

Con los resultados obtenidos se pasó a seleccionar un ventilador que en su máxima capacidad pueda inducir un flujo de $650 \text{ m}^3/\text{h}$, con una carga de *76,98 mbar* de vacío en la succión, condición a la cual operará en el banco.

Se encontró en el mercado un ventilador centrífugo de alta presión, para operación con variador de frecuencia, con muy buen desempeño y una buena relación capacidad / tamaño, que permite tener una alta capacidad operativa en un sistema todavía compacto. En la Tabla 7 se muestran las principales especificaciones del equipo.

Tabla 7. Especificaciones blower Elektor.

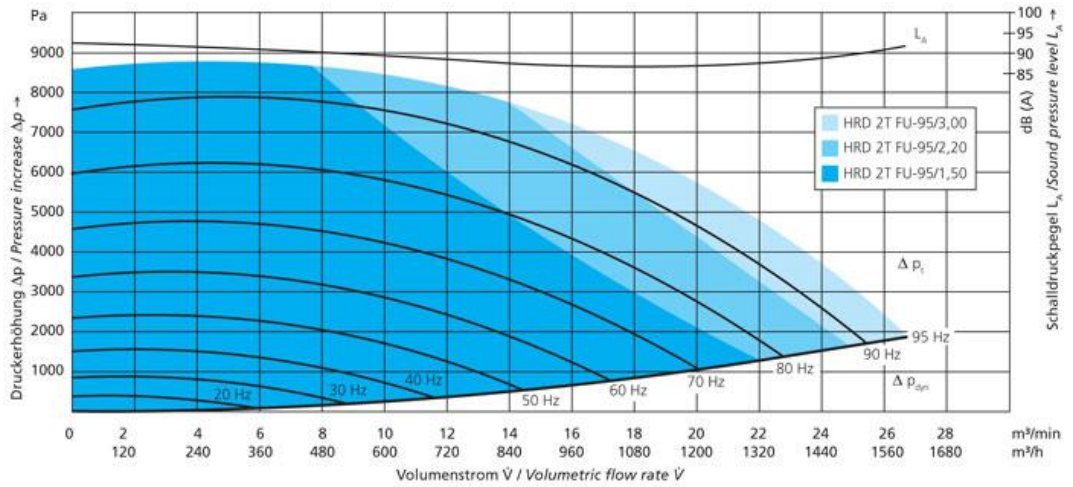


Fuente: El autor.

En la Figura 15 se muestra la curva de operación del blower a presión positiva y condiciones estándar. En la Figura 16 se muestra la curva de operación corregida por la operación a vacío en condiciones de presión atmosférica local de la ciudad de Bucaramanga (Santander).

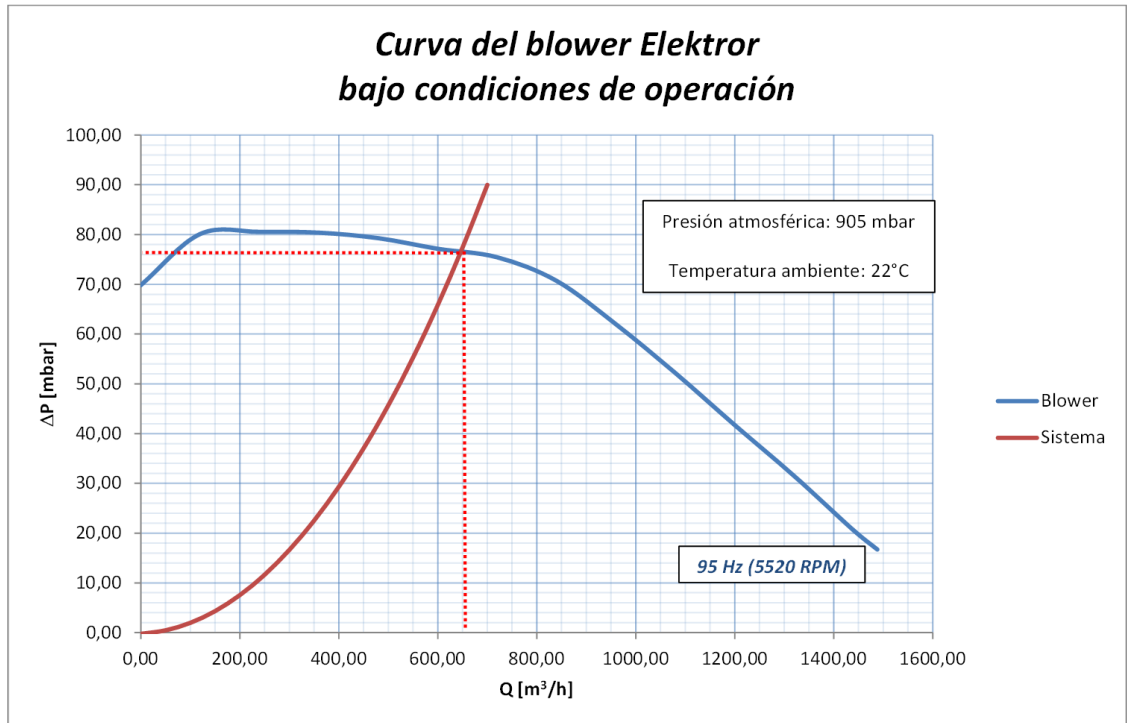
El blower seleccionado, en su máxima capacidad, es capaz de generar el caudal requerido bajo las condiciones de carga estimadas. El equipo fue finalmente adquirido junto con el variador de velocidad necesario para su operación. Las especificaciones del variador se muestran en la Tabla 8. En la Figura 17 se muestran las fotografías de los equipos.

Figura 15. Curvas del blower Elektror a condiciones estándar.




Fuente: Elektror Airsystems gmbh. Catálogo del fabricante.

Figura 16. Curva del blower Elektror a condiciones de operación.



Fuente: El autor.

Tabla 8. Características del variador de velocidad.

Fabricante	Omron	
Modelo	3G3MX2-A2022	
Potencia	2.2 kW	
Voltaje de entrada	200/240 V-60 Hz-1 Fase	
Voltaje de salida	Max. Voltaje de entrada-3 Fases	
Frecuencia de Salida	0,1 - 1000 Hz	
Entradas de Control	4-20 mA, 0-10VDC, RS 485 Modbus	
Funciones de Protección.	Sobre tensión, baja tensión, sobre corriente, aumento de temperatura	

Fuente: El autor.

Figura 17. Blower y variador adquiridos.

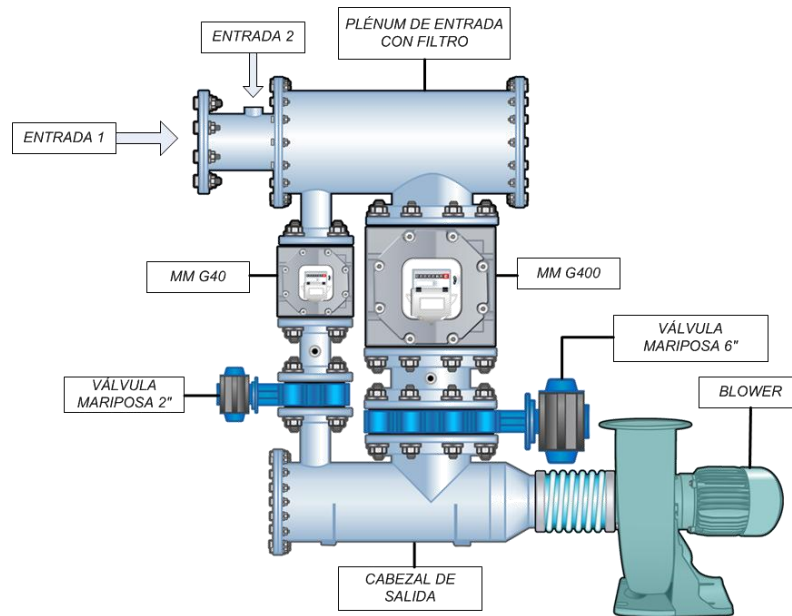


Fuente: El autor.

3.5 DISEÑO DEL MÓDULO MASTER METER

El módulo Master Meter contiene los medidores patrón, sus líneas de flujo, el elemento filtrante y los equipos y facilidades adicionales, necesarias para su normal operación. Siguiendo los lineamientos planteados en el diagrama de flujo del proceso,...en el numeral 3.2..., se planteó el diseño del módulo mostrado en la Figura 18.

Figura 18. Componentes del Módulo MM.

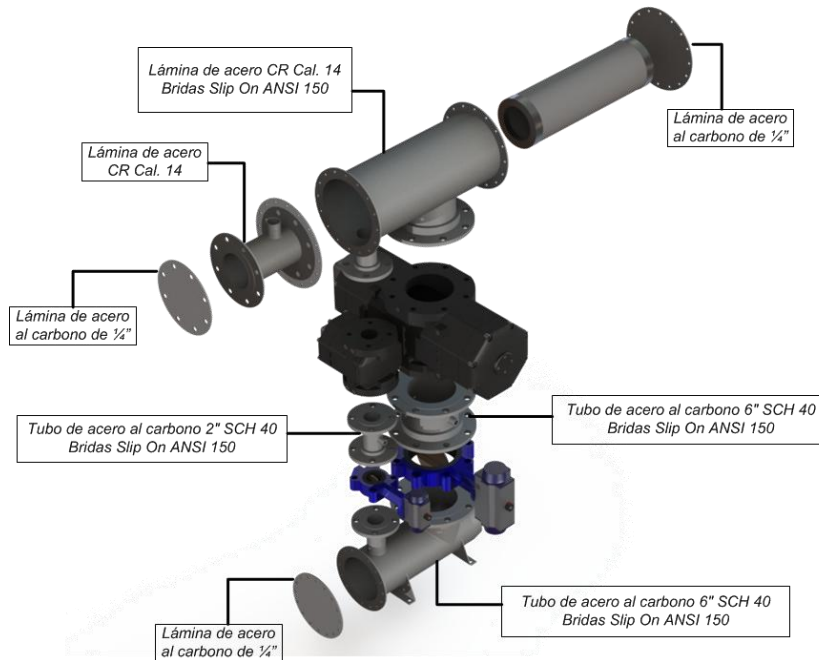


Fuente: El autor.

- ☞ Entrada 1: es la entrada para medidores tipo rotativo y turbina.
- ☞ Entrada 2: es la entrada para medidores tipo diafragma, con conexión vertical.
- ☞ El plenum es un cabezal de volumen considerable, con el que se atenúan las pulsaciones de flujo producidas por medidores rotativos. Cuenta con un filtro interno.
- ☞ El cabezal de salida une las líneas de cada patrón con el blower.
- ☞ Las válvulas mariposa permiten seleccionar cuál de los dos patrones entra en operación.
- ☞ Los tramos de unión entre patrón y válvula cuentan con puertos para la conexión del instrumento de temperatura. El instrumento de presión se instala en el cuerpo del patrón.

En la Figura 19 se detallan los materiales utilizados para cada componente fabricado.

Figura 19. Materiales utilizados en el Módulo MM.





Fuente: El autor.

Se seleccionan dos válvulas tipo mariposa, una para cada patrón. Con el fin de tener un buen nivel de automatización en el banco, se buscan válvulas con actuador neumático. En la Tabla 9 se muestran sus principales características.

3.6 DISEÑO DE LAS LÍNEAS DE FLUJO

Para el diseño de las líneas de flujo de los medidores a calibrar se siguieron los lineamientos dados por la normatividad nacional vigente. Se tiene en cuenta además la gran variedad existente en cuanto a tipos de conexión, tamaños, clases ANSI, entre otros parámetros importantes.

Tabla 9. Especificaciones de las válvulas mariposa adquiridas.

		
Fabricante	Dwyer	Dwyer
Marca	W. E. Anderson	W. E. Anderson
Referencia	ABFV-202-LTB-331-SR4-C –SV	ABFV-206-LTB-331-SR8C –SV
Tamaño nominal	2"	6"
Material disco	Acero Inox. 316 SS	Acero Inox. 316 SS
Material cuerpo	Acero fundido - recubrimiento epóxico	Acero fundido - recubrimiento epóxico
Material empaques	EPDM	EPDM
Presión máx. de trabajo	225 PSI	225 PSI
Tipo actuador	Neumático de retorno por resorte	Neumático de retorno por resorte
Presión neumática de accionamiento [PSI]	80 PSI	80 PSI

Fuente: El autor.

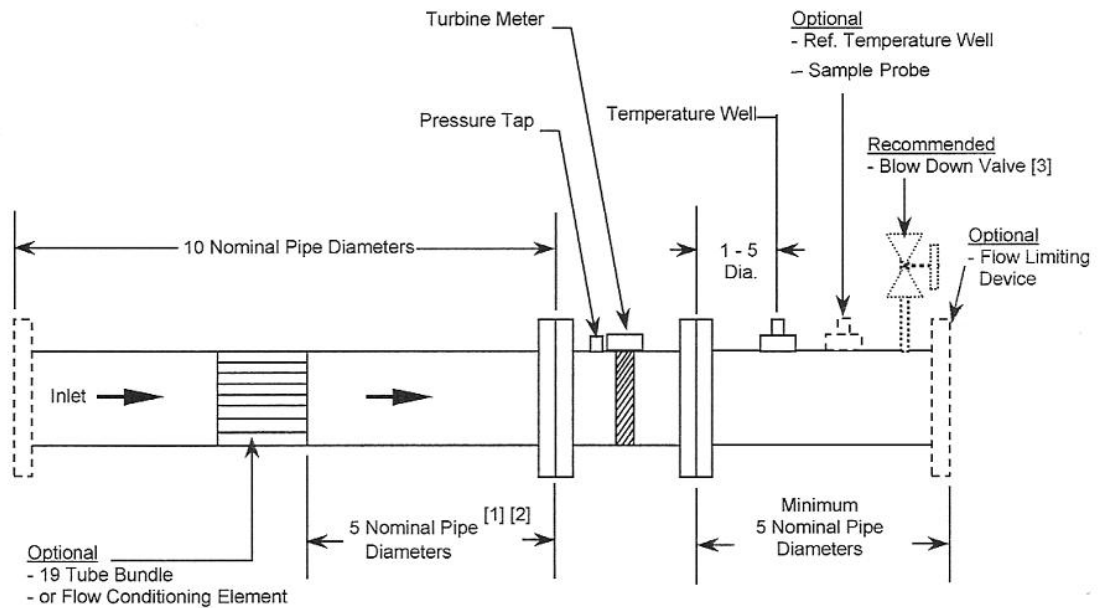
3.6.1 Líneas de flujo para medidores tipo turbina

Para el diseño de las líneas de flujo de medidores tipo turbina se siguen los lineamientos dados por la norma AGA 7 (American Gas Association), donde se recomienda el esquema de instalación mostrado en la Figura 20.

Con base en la norma AGA 7, en el listado de medidores cliente, y en la experiencia de la Corporación CDT de GAS, se establecen los siguientes lineamientos para el diseño de las líneas de medición:

- ☞ El tubo aguas arriba del medidor requiere al menos una longitud equivalente a 10 diámetros nominales.
- ☞ El tubo aguas abajo del medidor requiere al menos una longitud equivalente a 5 diámetros nominales, y una toma de temperatura a una distancia de entre 1 y 5 diámetros de la salida del medidor.
- ☞ La toma de presión se realiza en el cuerpo del medidor.

Figura 20. Instalación recomendada por AGA para medidores en línea.



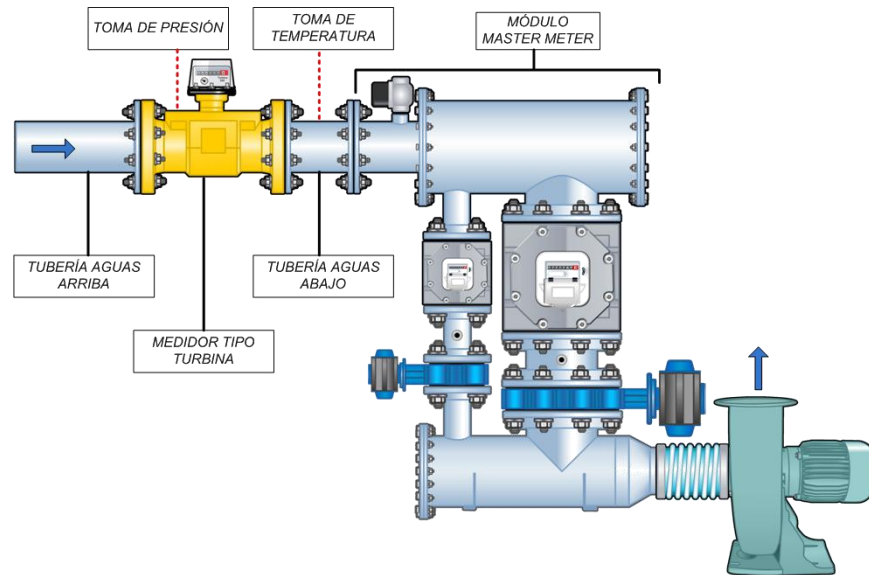
NOTES: [1] Recommended spacing, unless otherwise supported by published test data for the flow conditioning element.
 [2] No pipe connections or protrusions allowed within this upstream section.
 [3] For recommended size of blow down valve, see Table 1. Locate downstream of meter.

Fuente: AMERICAN GAS ASSOCIATION. Measurement of Natural Gas by Turbine Meters. AGA Report N° 7.

- ⊗ No se utiliza acondicionador de flujo, ya que aguas arriba del medidor no se tienen elementos que generen perturbaciones en el perfil de velocidades.
- ⊗ Las bridas de los tubos no son estándar; se fabrican en lámina de acero, con las perforaciones necesarias para permitir el acople de medidores con clase ANSI 150, 300 y 600.
- ⊗ Se utiliza un expansor a la entrada del tubo aguas arriba del MUT, para disminuir la pérdida de presión en la entrada del aire de calibración.

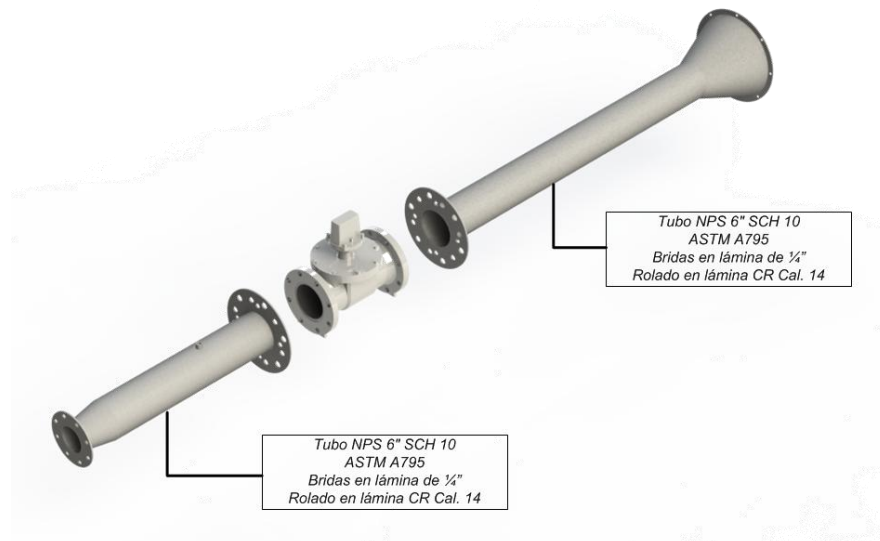
En la Figura 21 se muestra el esquema conceptual de las líneas. En la Figura 22 se muestra el diseño CAD de las líneas de flujo de 4 pulgadas, así como los materiales empleados. El diseño de las demás líneas es similar.

Figura 21. Líneas de flujo para medidores tipo turbina.



Fuente: El autor.

Figura 22. Líneas de flujo para turbinas de 6".



Fuente: El autor.

3.6.2 Líneas de flujo para medidores rotativos

La norma técnica vigente en el país para medidores rotativos es la NTC 4136⁸. En ésta se establecen requerimientos de instalación en cuanto a tuberías, derivaciones, filtros, tomas de presión y protección contra velocidad excesiva.

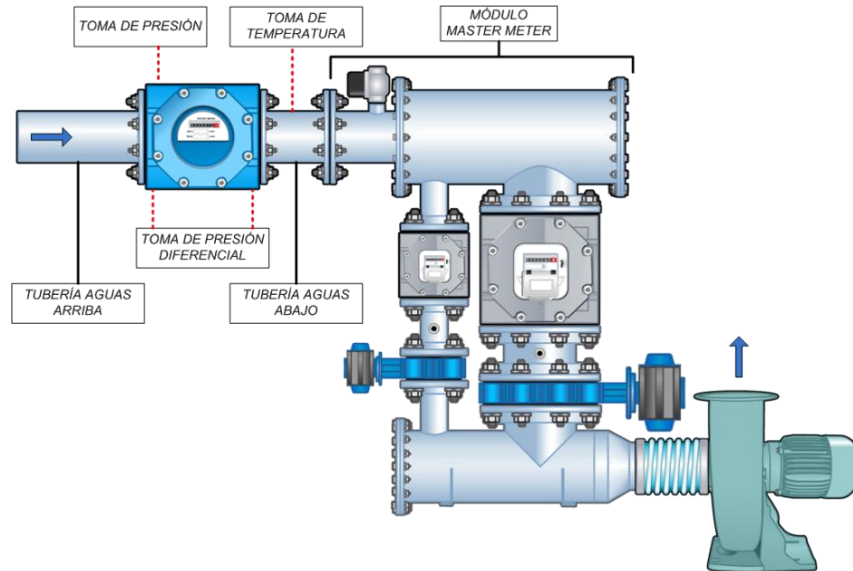
Se decidió utilizar para los medidores rotativos las mismas líneas de medición que se usan con los medidores tipo turbina de 2, 3, 4 y 6 pulgadas, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- ☉ Los medidores de desplazamiento positivo no son sensibles a perturbaciones en el perfil de flujo, por lo que no requieren de tramos de tubería recta aguas arriba ni aguas abajo.
- ☉ No se requiere filtro, ya que el fluido de calibración es aire atmosférico a condiciones de laboratorio, libre de material particulado.
- ☉ Las tomas de presión se ubican en el cuerpo del medidor, por lo que no se requieren tomas adicionales en las tuberías.
- ☉ No se requiere protección contra velocidad excesiva, ya que el variador controla el flujo generado por el blower de manera segura.

En la Figura 23 se muestra el esquema conceptual de las líneas de flujo utilizadas para los medidores rotativos.

⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Medidores de Gas Tipo Rotatorio. NTC 4136. Bogotá D.C.: El Instituto, 1997. 68 p.

Figura 23. Líneas de flujo para medidores rotativos.



Fuente: El autor.

3.6.3 Líneas de flujo para medidores tipo diafragma

Para el diseño de las líneas de flujo de los medidores de diafragma se siguieron los lineamientos de la norma NTC 2728⁹. Con base en esta norma, y en los requerimientos generales para el banco, los requisitos para las líneas de flujo fueron los siguientes:

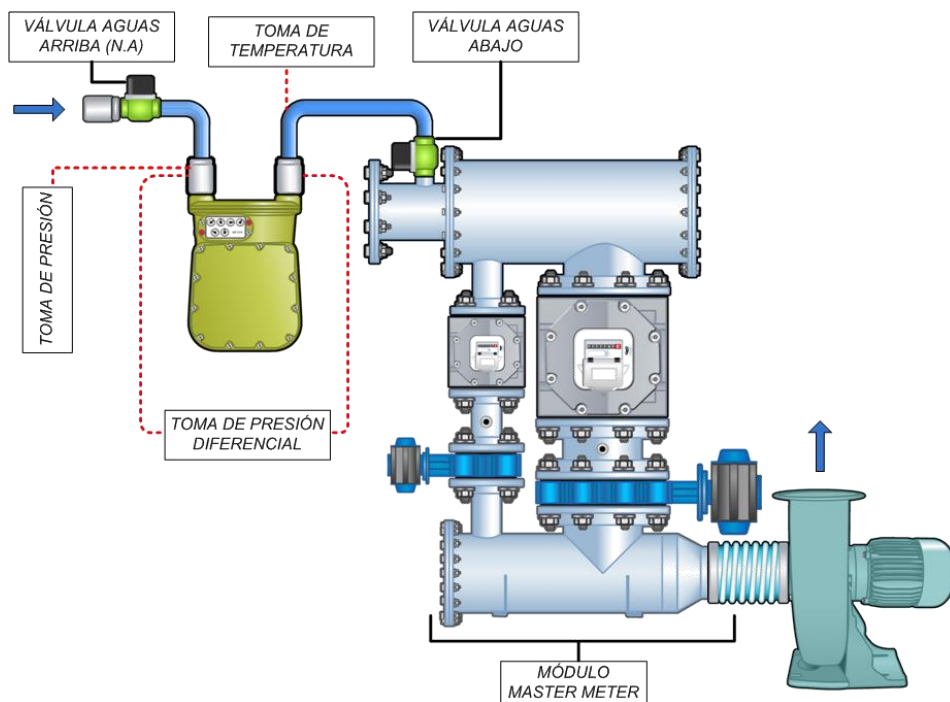
- ☒ El aire de calibración debe estar limpio y libre de aceite.
- ☒ Se deben tener tomas de presión aguas arriba y aguas abajo del medidor, a una distancia de un diámetro de la conexión del MUT.
- ☒ Se debe tener toma de temperatura a la salida del medidor.
- ☒ Debe haber una longitud recta de mínimo un diámetro nominal, tanto aguas arriba de la toma de presión de entrada como aguas abajo de la toma de presión de salida.

⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Medidores de Gas Tipo Diafragma. NTC 2728. Bogotá D.C.: El Instituto, 2005. 25 p.

- ❖ Los orificios para la toma de presión deben ser perpendiculares a la tubería, tener al menos 3 mm de diámetro y estar libres de rebabas.
- ❖ Se debe cubrir la gran variedad de tamaños y tipos de conexiones de los medidores cliente.
- ❖ Se debe tener alguna facilidad para realizar pruebas de hermeticidad.
- ❖ Se debe garantizar el fácil y rápido montaje y desmontaje de los medidores.

En la Figura 24 se muestra el esquema conceptual de las líneas de flujo para medidores tipo diafragma. Este sistema consta de un sistema de conexión al medidor, una válvula a la entrada, una a la salida y uniones flexibles con mangueras.

Figura 24. Líneas de flujo para medidores de diafragma.



Fuente: El autor.


3.6.3.1 Selección de las válvulas

Para controlar el paso por las líneas de flujo se seleccionaron dos válvulas, una a la entrada y otra a la salida del medidor.

- La válvula de entrada se utiliza para sellar el sistema en la prueba de hermeticidad, por lo que su cierre es poco frecuente. Su configuración es normalmente abierta.
- La válvula de salida se utiliza para aislar la entrada al módulo de patrones, en caso de que se estén calibrando medidores de conexión horizontal. Su apertura sólo se da en calibraciones de medidores de diafragma, por lo que su configuración es normalmente cerrada.

Se seleccionaron válvulas de accionamiento neumático directo debido a que la presión del fluido de proceso es muy baja, y a que una válvula eléctrica podría producir calentamiento indeseado en el aire de calibración. En la Tabla 10 se muestran las principales especificaciones de las válvulas seleccionadas.

Tabla 10. Especificaciones de las válvulas de proceso.

Tipo	Válvula de proceso	Válvula de proceso	
Fabricante	SMC	SMC	
Referencia	VNB501AL-32A	VNB501AL-32A	
Configuración	Normalmente abierta	Normalmente cerrada	
Presión de accionamiento neumático	0,25 a 0,7 Mpa	0,25 a 0,7 Mpa	
Rango de trabajo	Bajo vacío hasta 0,5 Mpa	Bajo vacío hasta 1,0 Mpa	
Material cuerpo	Aluminio	Aluminio	
Material sellos	NBR	NBR	

Fuente: El autor.

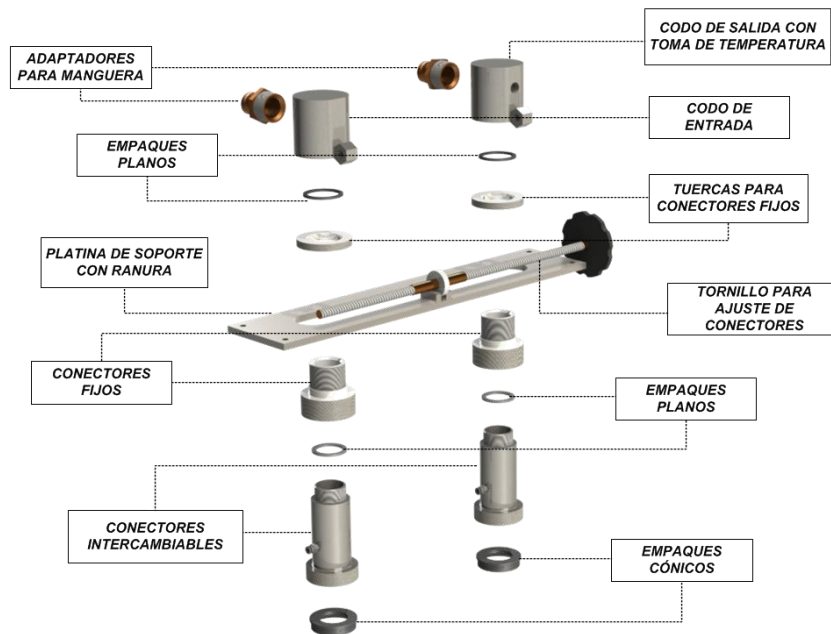
3.6.3.2 Diseño del sistema de conectores

El sistema de conectores consta básicamente de tres partes.

- Un sistema de soporte de separación variable, para ajustar la distancia entre conectores en función del tamaño del MUT.
- Tres juegos de conectores intercambiables, para realizar la conexión con el medidor. Cada juego cuenta con empaques de caucho para garantizar el sello.
- Un sistema de soporte y elevación para el MUT, con cilindro neumático telescópico que se adapta al tamaño del medidor, y que lo presiona contra los sellos del conector para garantizar la hermeticidad del sistema de calibración.

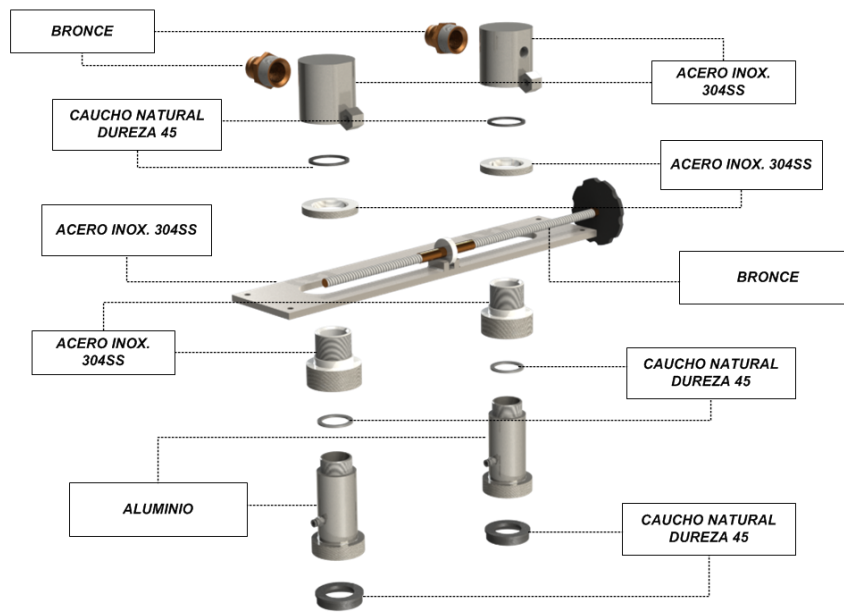
En la Figura 25 se detallan los componentes del sistema, y en la Figura 26 se especifican los materiales de cada componente. Las especificaciones del cilindro seleccionado se presentan en la Tabla 11.

Figura 25. Componentes del sistema de conectores.



Fuente: El autor.

Figura 26. Materiales del sistema de conectores.



Fuente: El autor.

Tabla 11. Especificaciones del cilindro neumático.

Tipo	Cilindro neumático telescópico de doble efecto	
Nº etapas	2	
Marca	TRD Manufacturing	
Modelo	TRD-TC-MF1-1.5X13X2S	
Diámetro pistón mayor	1-1/2"	
Carrera	15"	
Presión normal de operación	120 PSI	
Montaje	Brida frontal	

Fuente: El autor.

3.7 SELECCIÓN DE LA INSTRUMENTACIÓN

El resultado final del proceso de calibración resulta ser un informe en el que básicamente se reporta el error de medición del MUT. La expresión matemática de este error permite deducir las variables que se deben medir y monitorear durante el proceso:

$$E_m \% = \frac{V_m}{V_p} \times \frac{P_m \times T_p}{P_p \times T_m} \times \left(1 + \frac{E_p \%}{100} \right) - 1 \times 100\%$$

Donde:

- ☞ V_m es el volumen indicado por el MUT.
- ☞ V_p es el volumen indicado por el medidor patrón.
- ☞ P_m y T_m son la presión y la temperatura en el MUT, respectivamente.
- ☞ P_p y T_p son la presión y la temperatura en el patrón, respectivamente.
- ☞ E_p es el error de medición del patrón.

Dado que el volumen indicado por el MUT y el patrón se obtienen de su salida de pulsos (u odómetro, según corresponda), y que el error del patrón se toma de su curva de calibración, las variables que se requieren medir son la *presión* y *temperatura*, tanto en el MUT como en el medidor patrón.

Adicionalmente, de acuerdo al reglamento de prueba aplicable al proceso, PTB Tomo 4, se deben medir las condiciones de *temperatura ambiente* y *presión atmosférica* local en el lugar de la calibración¹⁰, así como la *presión diferencial* para medidores de desplazamiento positivo tipo rotativo y diafragma¹¹.

Igualmente se plantearon otras consideraciones de diseño, según las cuales:

- ☞ Durante la calibración sólo opera uno de los dos patrones, dependiendo del caudal de prueba; se decidió entonces utilizar un solo instrumento de presión absoluta y conmutarlo entre los Master Meter por medio de una válvula 3 vías / 2 posiciones con solenoide.

¹⁰ PHYSIKALISCH-TECHNISCHEBUNDESANSTALT.Reglamento de Prueba del PTB, Tomo 4: Contadores Volumétricos de Gas. 2 ed. Braunschweig, Alemania: PTB, 1992. p. 19.

¹¹ *Ibíd.*, p 15.

- ☉ La presión atmosférica solamente se toma al inicio de la prueba; se decidió utilizar un único instrumento de presión absoluta para el MUT y la P_{atm} , conmutándolo mediante una válvula 3 vías /2 posiciones con solenoide.
- ☉ Cada patrón debe contar con su propio instrumento de temperatura.
- ☉ Se utilizan dos instrumentos de temperatura para el MUT, uno de mayor longitud que el otro, buscando cubrir así todos los tamaños de tubería. Durante una calibración, el instrumento que no se esté utilizando en el MUT se usa para medir la temperatura ambiente.

Para la selección de los instrumentos se tuvo en cuenta principalmente su desempeño metrológico, siempre en balance con el costo, ya que lo ideal es tener instrumentos de muy buenas cualidades, cuya contribución a la incertidumbre de calibración con el banco sea la mínima requerida para mantener los niveles establecidos de desempeño. En la Figura 27 se muestra la ubicación de los instrumentos dentro del banco de calibración, y en la Tabla 12 se presentan las especificaciones de los instrumentos finalmente seleccionados y adquiridos.

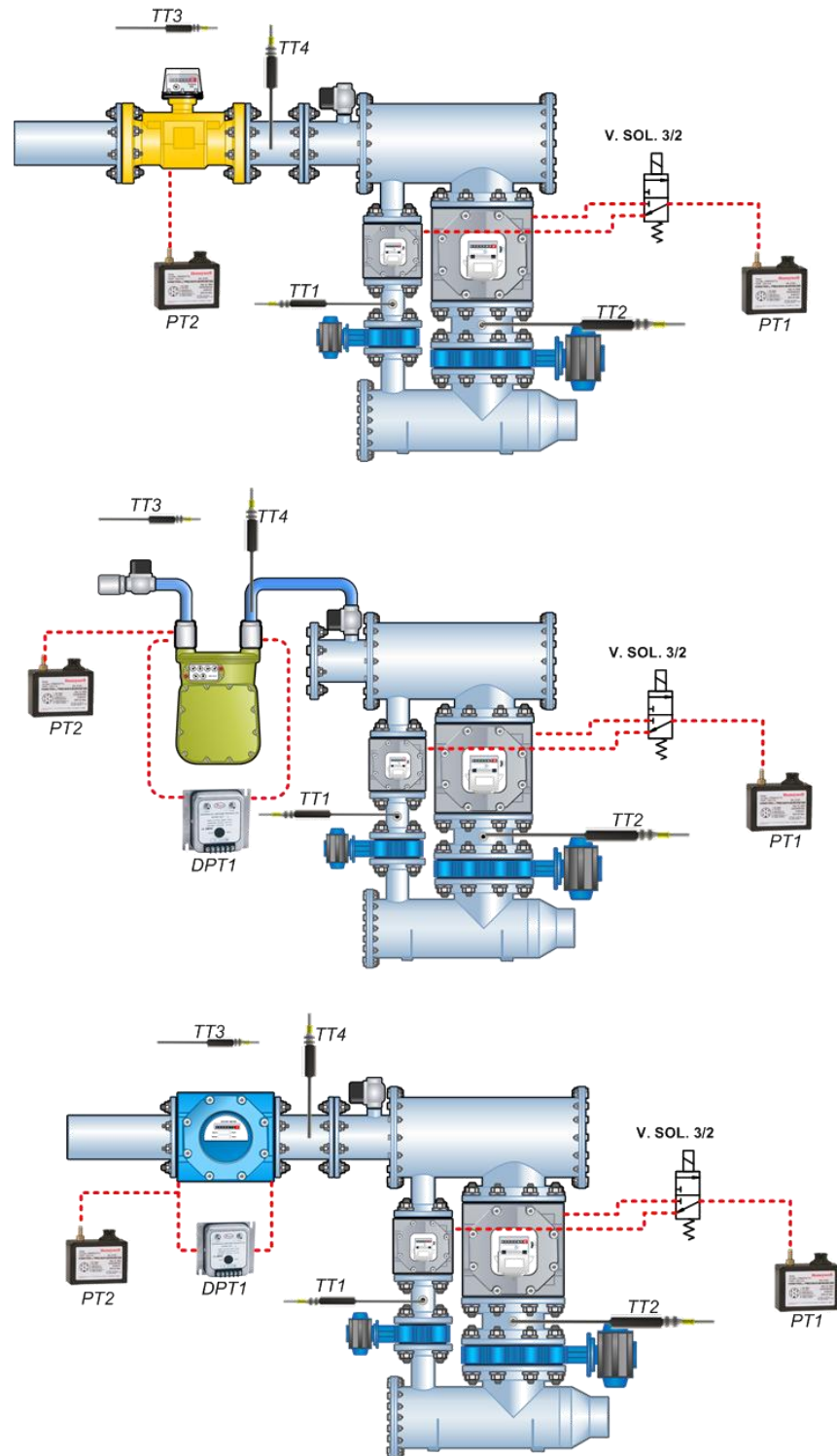
Tabla 12. Instrumentación seleccionada para el banco.

TRANSMISORES DE TEMPERATURA							
IDENTIFICACIÓN	FABRICANTE	MODELO	ALCANCE	CLASE	DERIVA	TIPO SENSOR	SEÑAL DE SALIDA
TT1	Pyromation	R3T185L384-03-00-45,T-450-00	-51 a 160°C	0,1°C	±0,1 °C/año	PT100	4-20 mA
TT2	Pyromation	R3T185L384-05-00-45,T-450-00	-51 a 160°C	0,1°C	±0,1 °C/año	PT100	4-20 mA
TT3	Pyromation	R3T185L384-03-00-45,T-450-00	-51 a 160°C	0,1°C	±0,1 °C/año	PT100	4-20 mA
TT4	Pyromation	R3T185L384-05-00-45,T-450-00	-51 a 160°C	0,1°C	±0,1 °C/año	PT100	4-20 mA
TRANSMISORES DE PRESIÓN ABSOLUTA							
IDENTIFICACIÓN	FABRICANTE	MODELO	ALCANCE	CLASE	DERIVA	SALIDA	
PT1	Honeywell	HPB100W2DA-ABF	500 a 1200 mbar(a)	0,3% F.S.*	±0,25 mbar/año	RS232	
PT2	Honeywell	HPB100W2DA-ABF	500 a 1200 mbar(a)	0,3% F.S.*	±0,25 mbar/año	RS232	
TRANSMISORES DE PRESIÓN DIFERENCIAL							
IDENTIFICACIÓN	FABRICANTE	MODELO	ALCANCE	CLASE	DERIVA	SALIDA	
DPT1	Dwyer	607-71	0 a 12,45 mbar	0,5% F.S.*	±0,5% F.S.*/año	4-20 mA	

* Full Scale

Fuente: El autor.

Figura 27. Instrumentación en cada escenario de calibración.



Fuente: El autor.

3.8 DISEÑO DEL SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático es un sistema auxiliar que cumple, entre otras, las siguientes funciones:

- ☞ Suministrar presión a los actuadores de las válvulas mariposa automáticas del módulo Master Meter.
- ☞ Suministrar presión a las válvulas de accionamiento neumático de las líneas de flujo para medidores de diafragma.
- ☞ Suministrar presión al cilindro neumático del sistema de elevación para medidores de diafragma.
- ☞ Suministrar la presión requerida para el desarrollo de la prueba de hermeticidad del sistema de calibración.

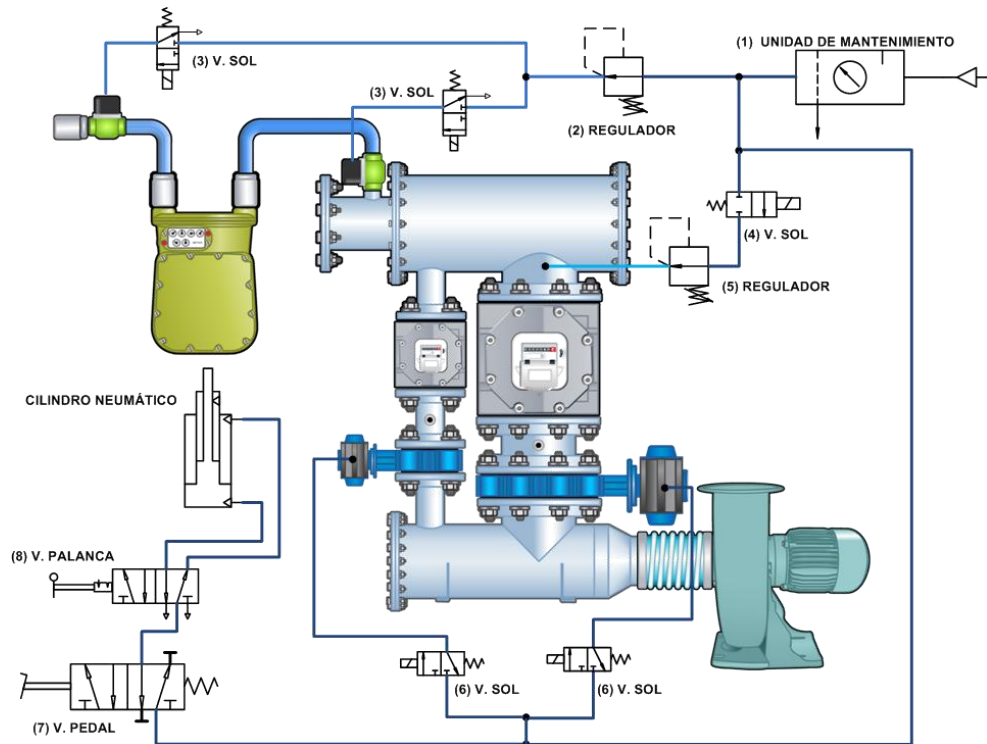
En la Figura 28 se presenta el esquema neumático del banco, y en la Tabla 13, el listado de componentes adquiridos.

Tabla 13. Listado de componentes neumáticos adquiridos.

Nº	Descripción	Marca	Modelo	Configuración	Presión máxima de trabajo
1	Unidad de mantenimiento	Chelic Pneumatic	NBC200-A	Filtro+Regulador+Lubricador	135 PSI
2	Regulador de presión	Chelic Pneumatic	NBR200	-	135 PSI
3	Válvula electroneumática	Az Pneumatica	321ME	3/2 - Retorno resorte - N.C.	145 PSI
4	Válvula solenoide	Chelic Pneumatic	SUD-8-110VAC	2/2 - Retorno resorte - N.C.	135 PSI
5	Regulador para gas natural	METREX	M4	-	60 PSI
6	Válvula electroneumática	Bi-Torq	AV-SOL-4	3/2 - Retorno resorte - N.C.	150 PSI
7	Válvula de pedal	Az Pneumatica	PED502B	5/2 - Retorno resorte	145 PSI
8	Válvula de palanca	Az Pneumatica	522LL90	5/2 - Bi-estable	145 PSI

Fuente: El autor.

Figura 28. Diagrama neumático del banco.



Fuente: El autor.

3.9 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

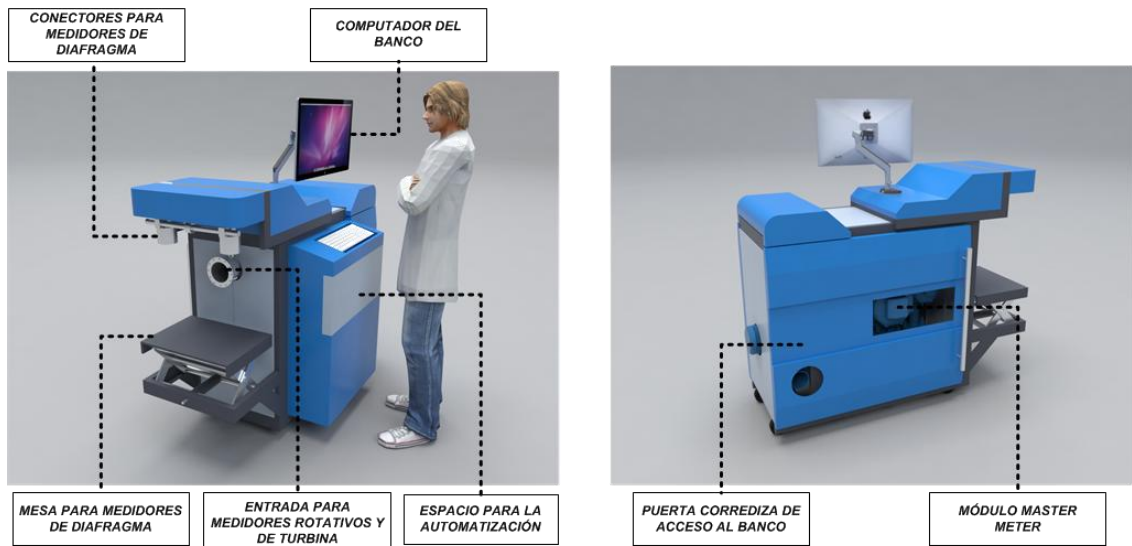
De acuerdo a los requerimientos generales que se tienen para el banco, el diseño de los componentes estructurales se debe guiar por los siguientes lineamientos:

- ☞ La estructura principal requiere robustez suficiente para soportar el peso de los componentes internos.
- ☞ Se requiere además una estructura compacta, para que el equipo ocupe el menor espacio posible en el lugar de instalación.
- ☞ Se necesitan facilidades para la adecuada integración de los módulos, componentes y demás elementos que constituyen el banco.
- ☞ Se requieren las facilidades necesarias para el montaje de los medidores a calibrar.

Se debe mantener un buen aspecto estético en el producto final.

Teniendo como base los anteriores requerimientos, y luego del análisis de diferentes propuestas, se llega a un diseño conceptual básico (ver Figura 29), sobre el cual se empieza a desarrollar la propuesta detallada para la estructura y sus componentes afines.

Figura 29. Diseño conceptual del banco de calibración.

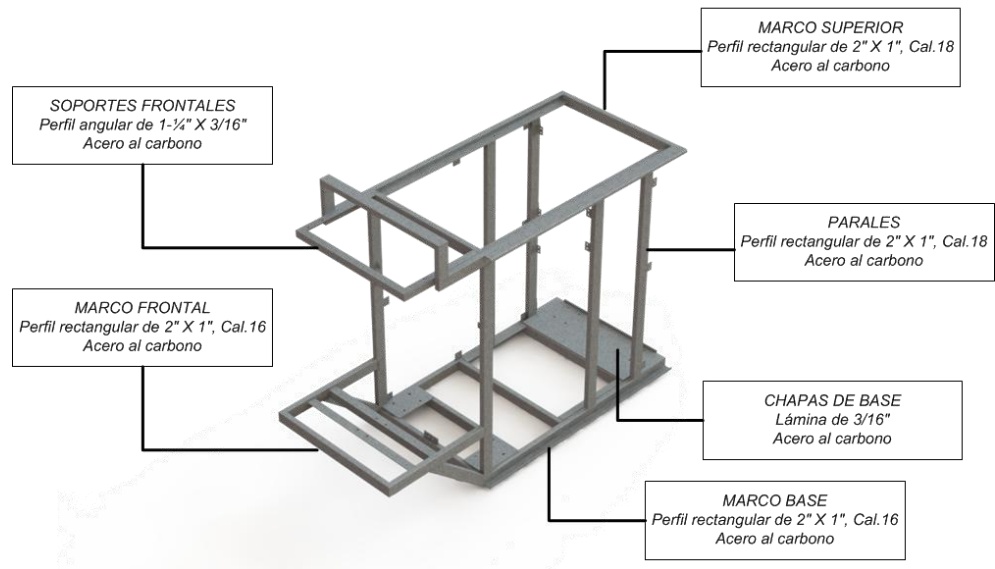


Fuente: Corporación CDT de GAS.

3.9.1 Estructura principal

Con el fin de integrar adecuadamente los componentes que se detallan...en el numeral 3.9.2..., y de mantener la estética definida en el diseño conceptual de la Figura 29, se diseña la estructura principal del banco, presentada en la Figura 30.

Figura 30. Detalle de la estructura principal.



Fuente: El autor.

3.9.2 Distribución de los elementos en el banco

Luego de analizar la mejor ubicación de los componentes del banco, teniendo en cuenta la funcionalidad, la frecuencia de uso, el nivel de manipulación, la seguridad para el usuario, la ergonomía, y demás aspectos importantes, se realizó la siguiente distribución:

Módulo Master Meter, el cual se ubica en la parte interna del banco, ya que el nivel de manipulación por parte del usuario es mínimo y de forma periódica.

Módulo MUT, el cual consta de dos secciones: la zona de montaje para medidores tipo diafragma, con una mesa elevadora y un sistema de conectores ajustable; la zona de montaje de medidores tipo turbina y rotativo, con los soportes requeridos para la fácil instalación de los mismos.

Panel de automatización, el cual contiene la plataforma de automatización y demás componentes eléctricos y electrónicos necesarios para la operación del banco. Está ubicado en la parte posterior del banco.

Panel de potencia, con el variador de frecuencia y los elementos de distribución eléctrica auxiliares. Se encuentra ubicado en la parte posterior del banco.

Computador y hardware adicional, ubicado sobre el banco, donde permite el fácil acceso por parte del usuario.

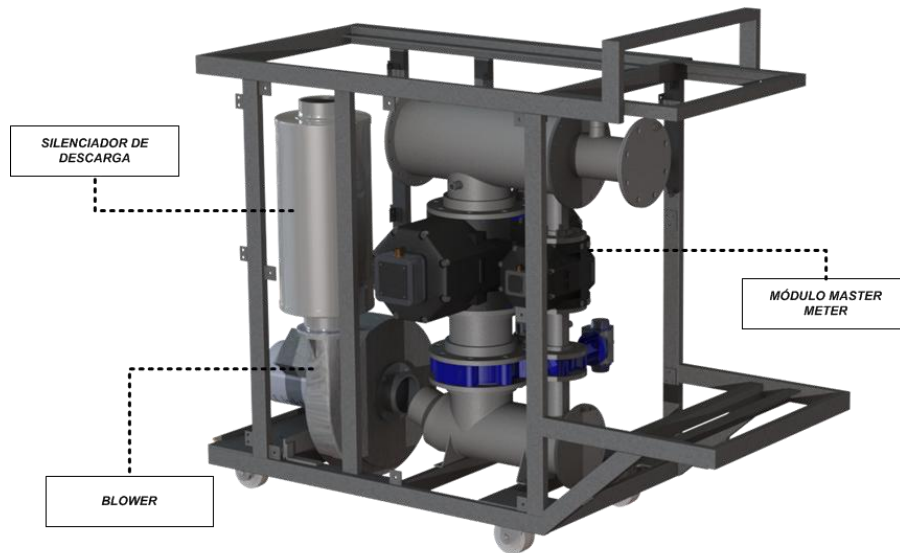
Componentes de distribución eléctrica y de señales, ubicados en la parte interna del banco, para protegerlos contra daños por manipulación accidental.

Componentes neumáticos, ubicados en la parte interna del banco, pero con la accesibilidad necesaria para su manipulación periódica.

Panel de instrumentación, dividido en dos partes: un *panel lateral de instrumentación*, con los transmisores de presión, y un *panel frontal de instrumentación*, con los transmisores de temperatura y demás tomas y conectores requeridos para el MUT.

Desde la Figura 31 hasta la Figura 34 se ilustra la distribución definida para los componentes del Prover.

Figura 31. Ubicación del módulo Master Meter y el ventilador.



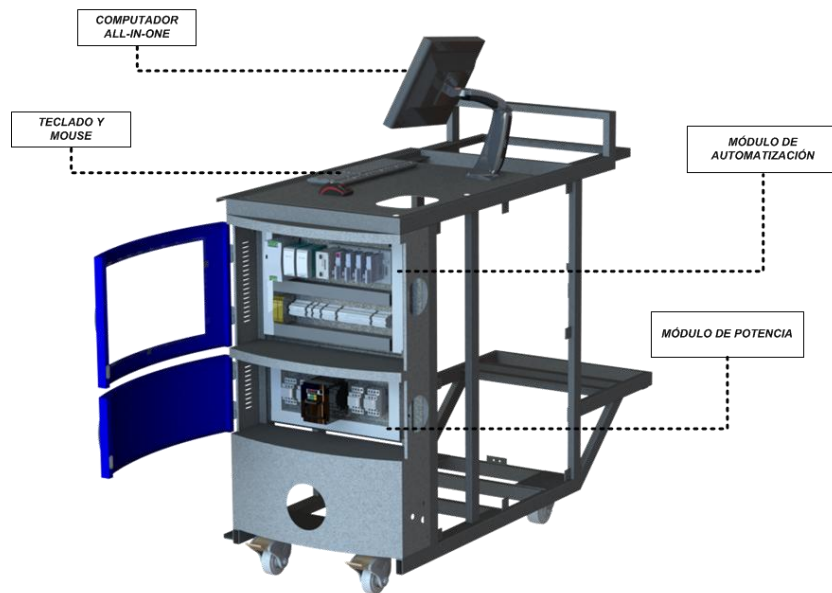
Fuente: El autor.

Figura 32. Ubicación de la instrumentación.



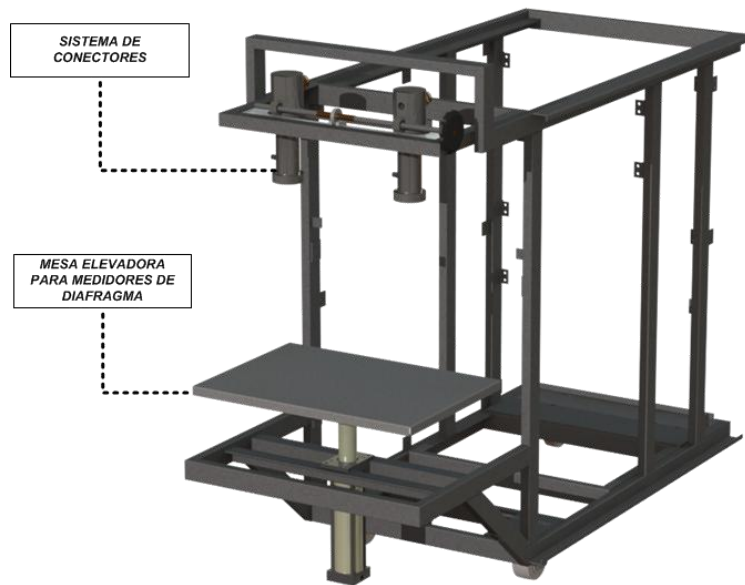
Fuente: El autor.

Figura 33. Ubicación módulos de automatización, de potencia y hardware.



Fuente: El autor.

Figura 34. Ubicación módulo MUT.

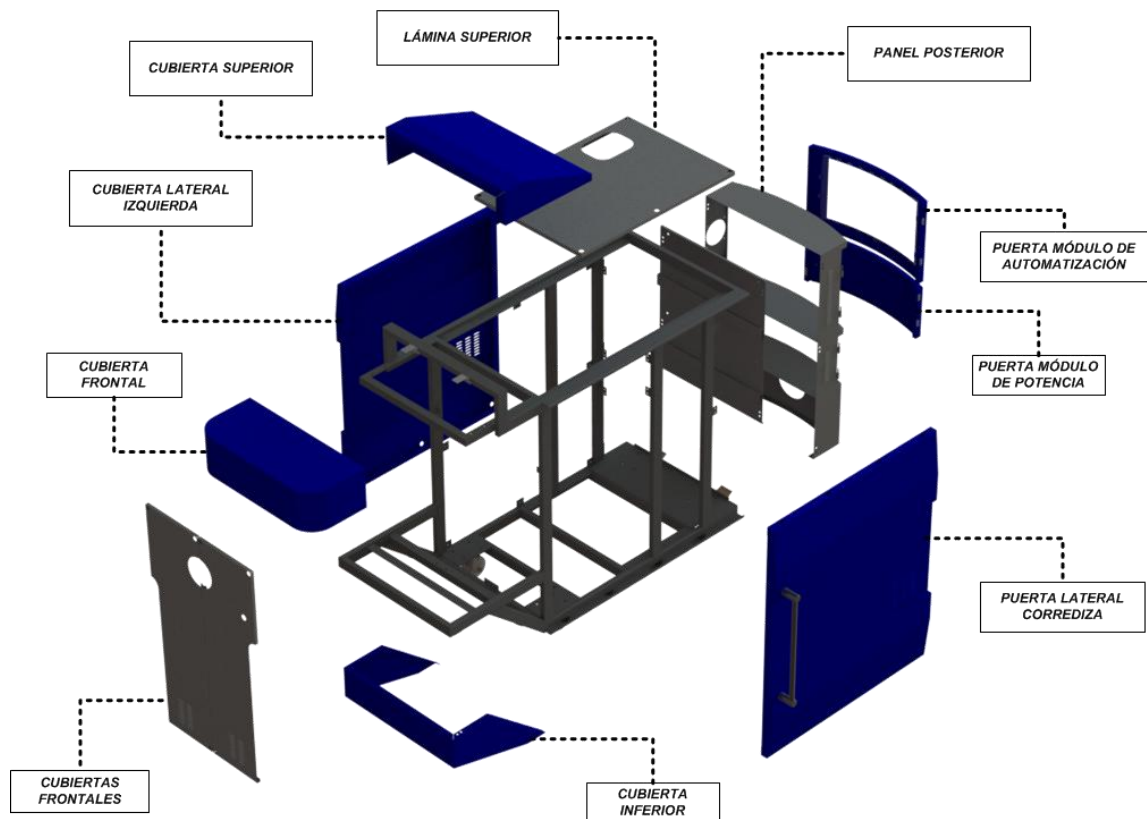


Fuente: El autor.

3.9.3 Cubiertas y láminas

Las cubiertas tienen la función de proteger los componentes internos más susceptibles del banco, de brindar soporte a algunos de los componentes electrónicos y de hardware informático, y brindar cierto nivel de aislamiento para disminuir el ruido que pueda generar la operación del banco. En la Figura 35 se muestra el detalle del conjunto de láminas y cubiertas principales.

Figura 35. Cubiertas y láminas del banco.



Fuente: El autor.

Figura 36. Vista global del Prover *GMP-650*.



Fuente: El autor.

4. CONSTRUCCIÓN E INTEGRACIÓN DEL BANCO

La construcción del banco, debido a la variedad de actividades implicadas, se desarrolló en diferentes etapas, de acuerdo a la complejidad de cada parte y su importancia dentro del banco:

- ☞ Las fabricaciones se llevaron a cabo con diferentes proveedores, dependiendo de la configuración del elemento a fabricar.
- ☞ Simultáneamente se realizó la adquisición de los diferentes equipos, elementos y sistemas requeridos en la etapa de diseño.
- ☞ Posteriormente, se realizaron las pruebas a los componentes más críticos, y se calibraron los medidores patrón y la instrumentación secundaria, actividades de gran relevancia para garantizar la trazabilidad del Prover.
- ☞ Una vez que estas actividades concluyeron, se realizó la completa integración del banco y su puesta a punto.

4.1 FABRICACIONES DEL PROVER

4.1.1 Construcción del módulo Master Meter

La construcción del módulo de patrones se desarrolló de acuerdo a las especificaciones delimitadas en el numeral 3.5. En la Figura 37 se muestran algunas fotografías del proceso. Los requisitos de la fabricación, entre otros, fueron:

- ☞ Dimensiones de acuerdo a planos de fabricación.
- ☞ Superficies internas pulidas y libres de rebabas.

☒ Prueba de hermeticidad a baja presión, para comprobar la estanqueidad del sistema.

☒ Pintura electrostática, tanto interna como externa, en todos los componentes.

Los requerimientos para la fabricación de los cartuchos filtrantes fueron:

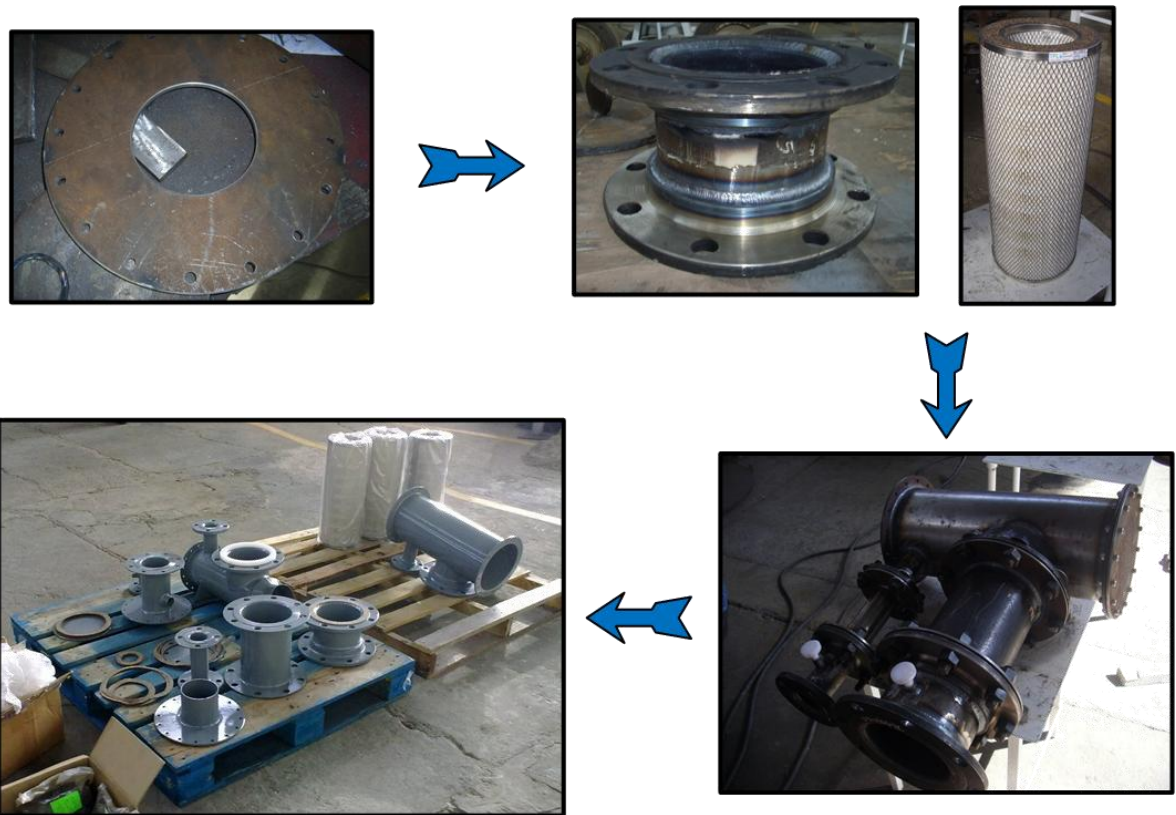
☒ Medio: Aire atmosférico a condiciones controladas de laboratorio.

☒ Caudal máximo: 650 m³/h.

☒ Tamaño de partícula: 40 micrómetros.

☒ Caída de presión máxima admisible: 12 mbar.

Figura 37. Fabricación del módulo Master Meter.



Fuente: El autor.

4.1.2 Construcción del sistema de conectores

El sistema de conexión para medidores de diafragma se construyó de acuerdo a lo especificado en el numeral 3.6.3. Algunas fotografías del proceso son mostradas en la Figura 38. Entre otros, los requerimientos de fabricación fueron los siguientes:

- Dimensiones y materiales según planos de fabricación.
- Pre ensamble de los elementos para verificar su correcto funcionamiento.

Figura 38. Fabricación sistema de conectores.



Fuente: El autor.

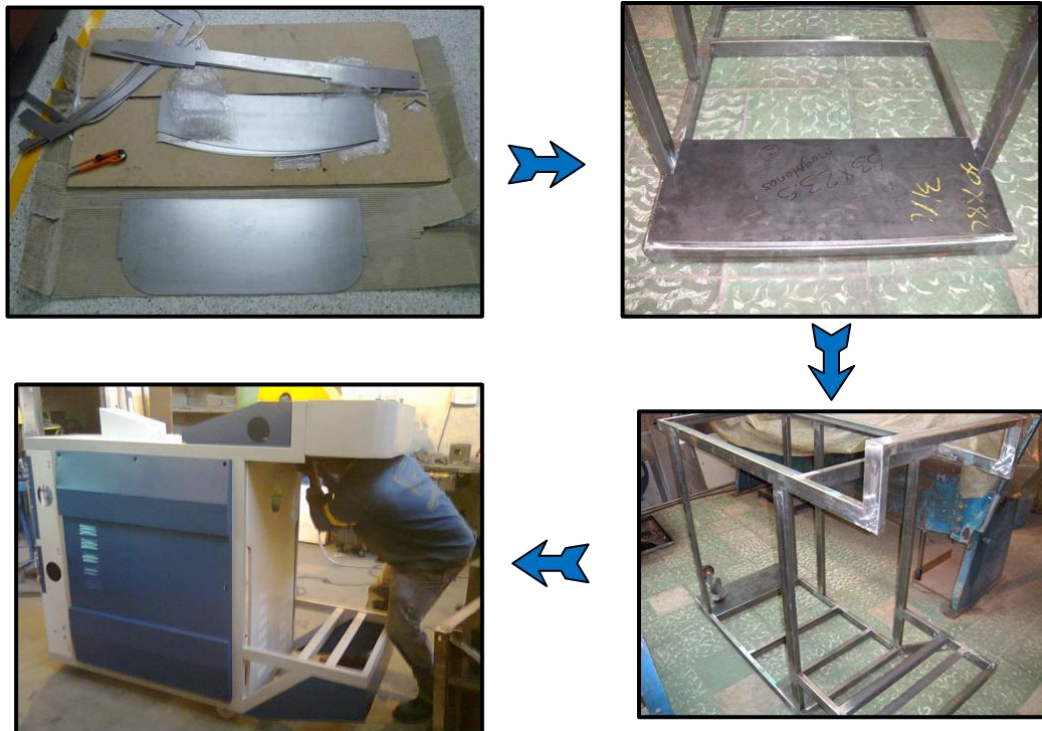
4.1.3 Fabricación de la estructura

Para la fabricación de la estructura de soporte del Prover se siguieron los requerimientos planteados en el numeral 3.9, tanto para la estructura principal, como para las diferentes láminas y cubiertas.

- ☞ Dimensiones y materiales según planos de fabricación.
- ☞ Uniones soldadas pulidas y libres de rebaba.
- ☞ Pre ensamble de los componentes antes de pintura, para verificar dimensiones y ajustes.
- ☞ Acabado en pintura electrostática, según colores especificados.

La evidencia fotográfica de este proceso se presenta en la Figura 39.

Figura 39. Fabricación de la estructura.



Fuente: El autor.

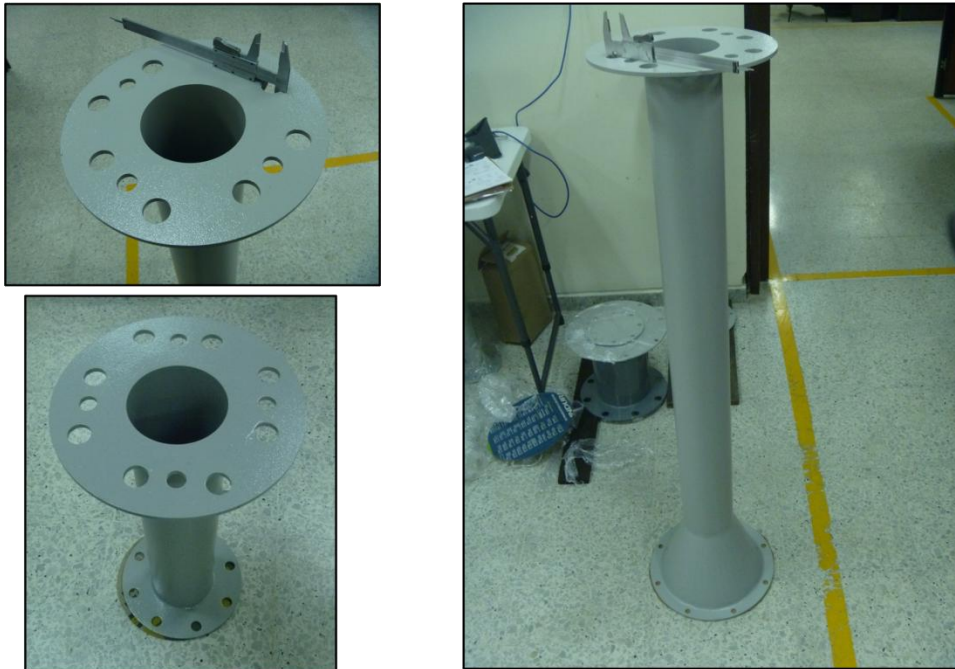
4.1.4 Fabricación de las tuberías de medición

Las líneas de flujo para medidores rotativos y de turbina, denominadas tuberías de medición, se construyeron de acuerdo a lo especificado en el numeral 3.6.1. Entre otros, los requerimientos de fabricación fueron los siguientes:

- ☞ Dimensiones y materiales según planos de fabricación.
- ☞ Acabado interno y externo en pintura electrostática.

Al concluir la fabricación de estas tuberías se realizó una verificación dimensional para comprobar que éstas cumplen con los requerimientos establecidos previamente. En la Figura 40 se muestran algunas fotografías de los elementos fabricados en esta etapa.

Figura 40. Verificación dimensional de las tuberías de medición.



Fuente: El autor.

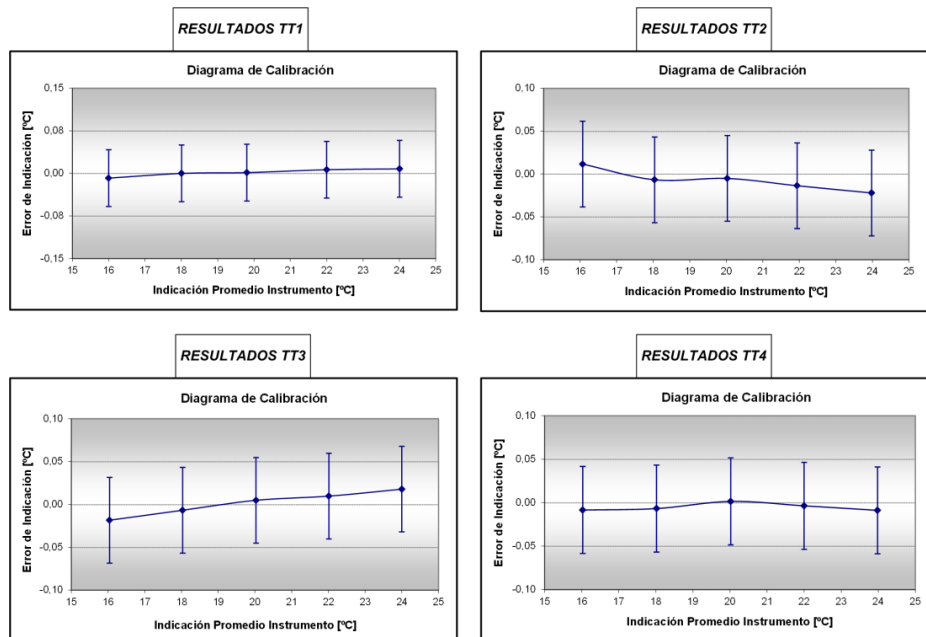
4.2 CALIBRACIÓN DE MEDIDORES

Para garantizar los resultados y dar trazabilidad a las calibraciones realizadas con el Prover, es necesario que los medidores patrón y la instrumentación asociada al proceso estén calibrados por un organismo acreditado, que tenga trazabilidad a patrones reconocidos internacionalmente. Por esta razón, los instrumentos y medidores son debidamente calibrados en el laboratorio de la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas.

4.2.1 Calibración de la instrumentación

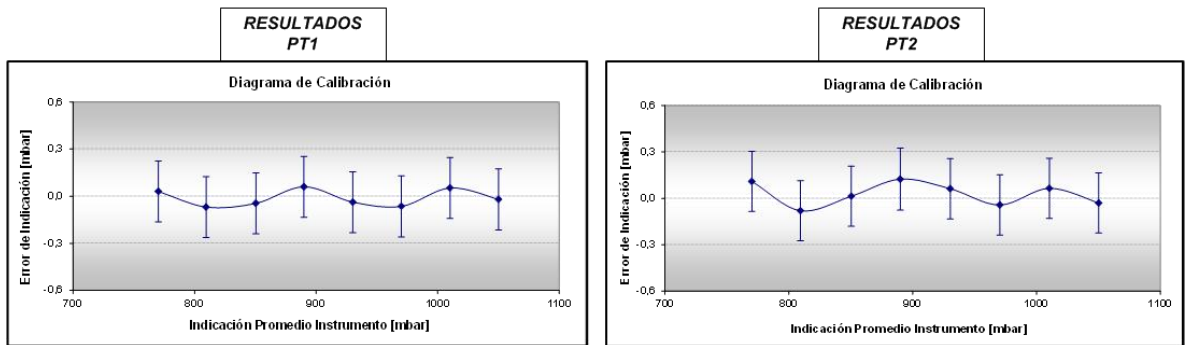
La instrumentación asociada al banco, tanto de presión como de temperatura, fue calibrada en lazo cerrado. Esta calibración es hecha con los instrumentos montados en el banco, con los cables, conectores y demás accesorios con los que operarán normalmente.

Figura 41. Resultados de la calibración de los transmisores de temperatura.



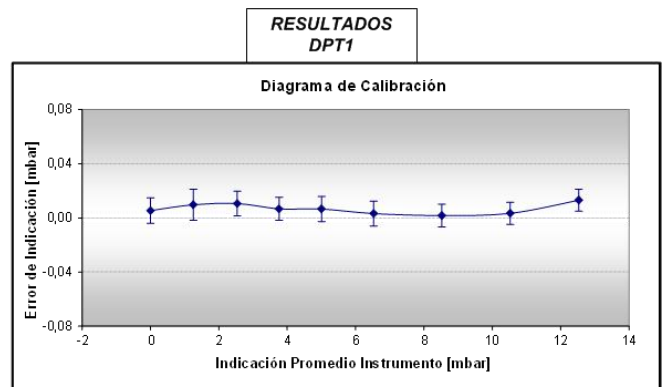
Fuente: El autor.

Figura 42. Resultados de la calibración de los transmisores de presión absoluta.



Fuente: El autor.

Figura 43. Resultado de la calibración del transmisor de presión diferencial.

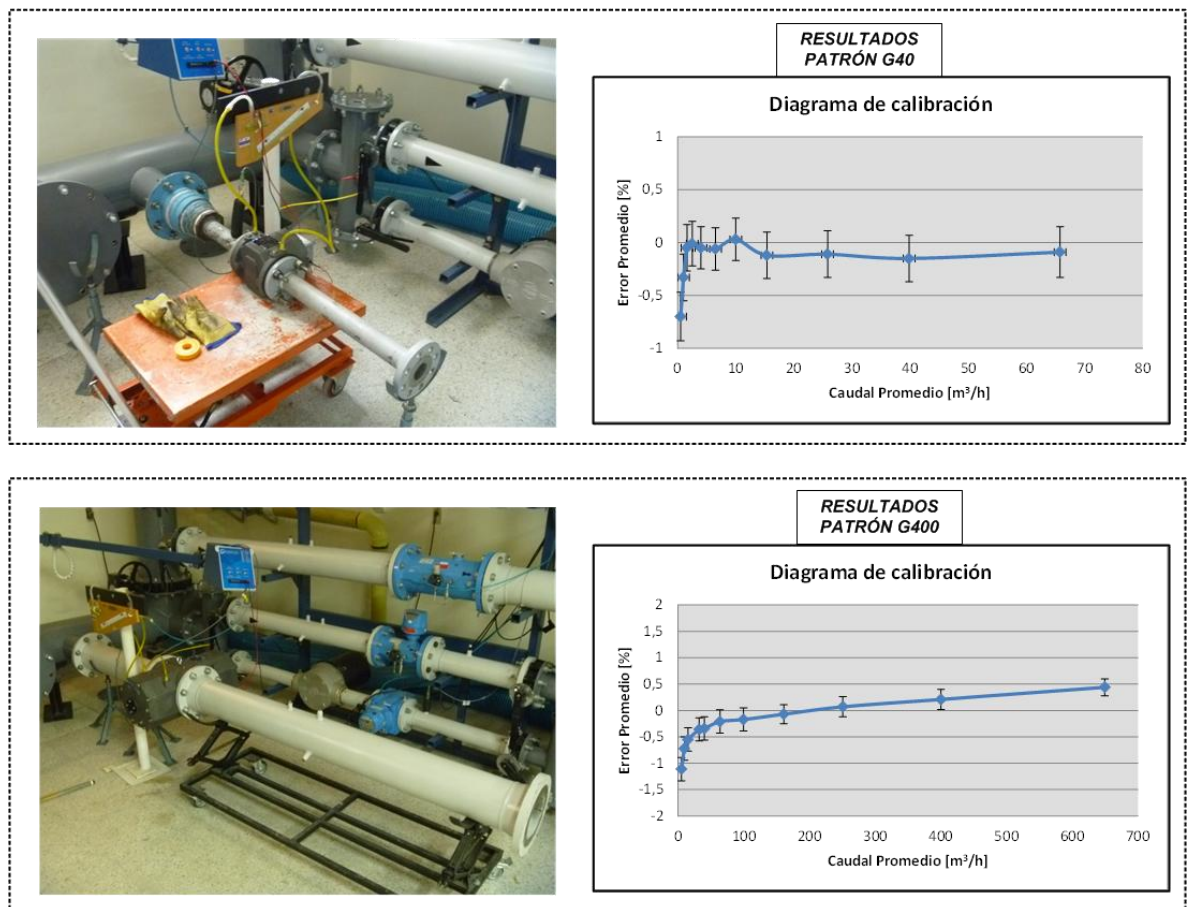


Fuente: El autor.

4.2.2 Calibración de los medidores patrón

La calibración de los medidores patrón, además de garantizar la trazabilidad de sus mediciones, debe suministrar resultados con una incertidumbre menor o igual que 0,2% ($k=2$) – siendo k el factor de cobertura – para garantizar que el aporte del patrón a la incertidumbre de calibración con el Prover esté dentro de los límites previamente establecidos en el numeral 3.3. Esta calibración fue realizada en el Banco de Alto Caudal de la Corporación CDT de GAS, y los resultados obtenidos para cada patrón se muestran en la Figura 44.

Figura 44. Resultados de la calibración de los medidores patrón.



Fuente: El autor.

4.3 INTEGRACIÓN DEL BANCO

La integración del banco se llevó a cabo una vez finalizada la etapa de pruebas a equipos y calibraciones. Desde la Figura 45 hasta la Figura 48 se ilustra el proceso de montaje del Prover.

Figura 45. Montaje del módulo de patrones y el blower.



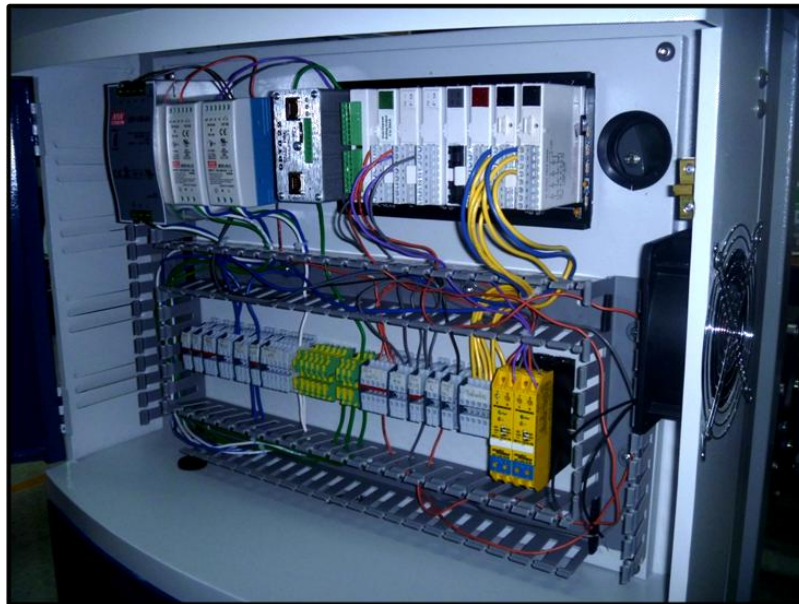
Fuente: El autor.

Figura 46. Montaje del sistema de conectores.



Fuente: El autor.

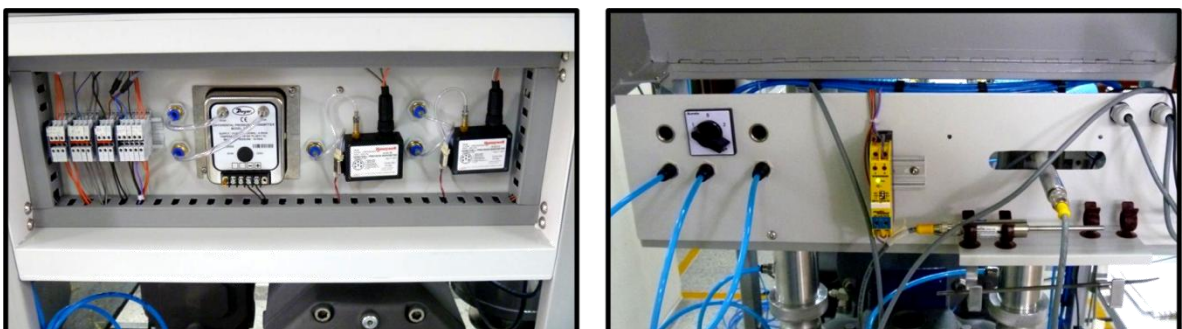
Figura 47. Montaje del módulo de automatización.



Fuente: El autor.

La instrumentación, como se describe en el numeral 3.9.2, se distribuyó en dos paneles, uno para instrumentos de presión y otro para instrumentación del MUT.

Figura 48. Montaje de los paneles de instrumentación.

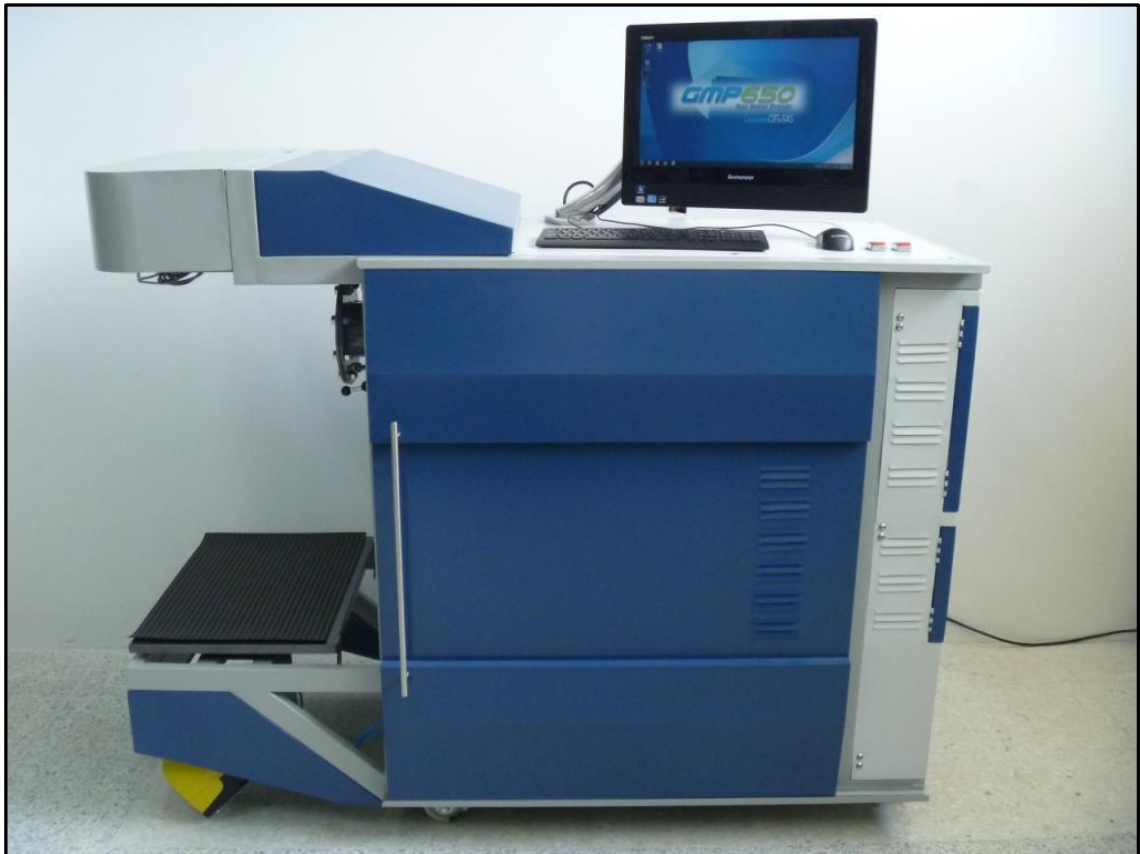


Fuente: El autor.

Finalmente se integran todos los componentes adicionales, como el sistema neumático, dispositivos eléctricos y electrónicos, hardware informático y demás elementos necesarios para el adecuado desempeño del Prover.

Una vez finalizado el montaje, se realizó la puesta a punto del sistema, verificando su normal operación. Se realizaron los ajustes pertinentes y se obtuvo como resultado final un banco de calibración en condiciones de iniciar con las pruebas de operación. En la Figura 49 se presenta una fotografía del banco totalmente integrado, y en la Figura 50 se presentan diferentes vistas del mismo.

Figura 49. Transfer Prover Completo.



Fuente: El autor.

Figura 50. Diferentes vistas del Prover.



Fuente: El autor.

5. PRUEBAS DE OPERACIÓN

Con el objetivo de verificar que el Prover opera adecuadamente, y que su desempeño metrológico está de acuerdo a lo especificado en cuanto al alcance y nivel de incertidumbre en los resultados de las calibraciones. Para esto, se realizaron las siguientes pruebas al banco:

- ☉ Prueba de fugas, con la cual se evaluó la hermeticidad del sistema de calibración.
- ☉ Prueba de operación, bajo dos escenarios diferentes: la calibración de un medidor tipo turbina y de un medidor rotativo.

5.1 PRUEBA DE FUGAS

La hermeticidad del banco de calibración reviste gran importancia al garantizar que el volumen de aire que pasa por el medidor bajo prueba es el mismo que pasa el patrón. Para evaluar esta característica se siguen los lineamientos establecidos por el reglamento de pruebas del PTB de Alemania¹². Según este reglamento, la prueba de fugas para el banco de calibración debe considerar las siguientes condiciones:

- ☉ La presión de prueba debe ser de por lo menos 10 mbar y llegar a lo sumo al triple de la presión de operación.
- ☉ Una vez establecida esta presión se da un lapso de 5 minutos para la adaptación térmica del sistema.
- ☉ A lo largo del ensayo la temperatura en el tramo de prueba no debe variar dentro de lo que se pueda apreciar de forma medible.

¹²PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT.Reglamento de Prueba del PTB, Tomo 4: Contadores Volumétricos de Gas. 2 ed. Braunschweig, Alemania: PTB, 1992. p. 29.

- El ensayo de hermeticidad debería ser realizado de tal manera que la tasa de fuga Q_L genere una variación de presión en el tramo de prueba de por lo menos ΔP , según los valores indicados en la Tabla 14.
- El intervalo de tiempo después del cual se permite que la variación de presión alcance el valor límite ΔP está dado por la siguiente ecuación:

$$\Delta t_{prueba} = \frac{60 \times \Delta p \times V_c}{0,001 \times Q_{min} \times p_{abs}}$$

Donde:

Δt_{prueba} es el tiempo de ensayo en minutos.

V_c es el volumen comprendido en m^3 .

Q_{min} es la menor carga de ensayo en m^3/h .

Δp es el valor de la variación de presión en mbar (tomado de la Tabla 14).

p_{abs} es el valor de la presión inicial de prueba como presión absoluta en mbar.

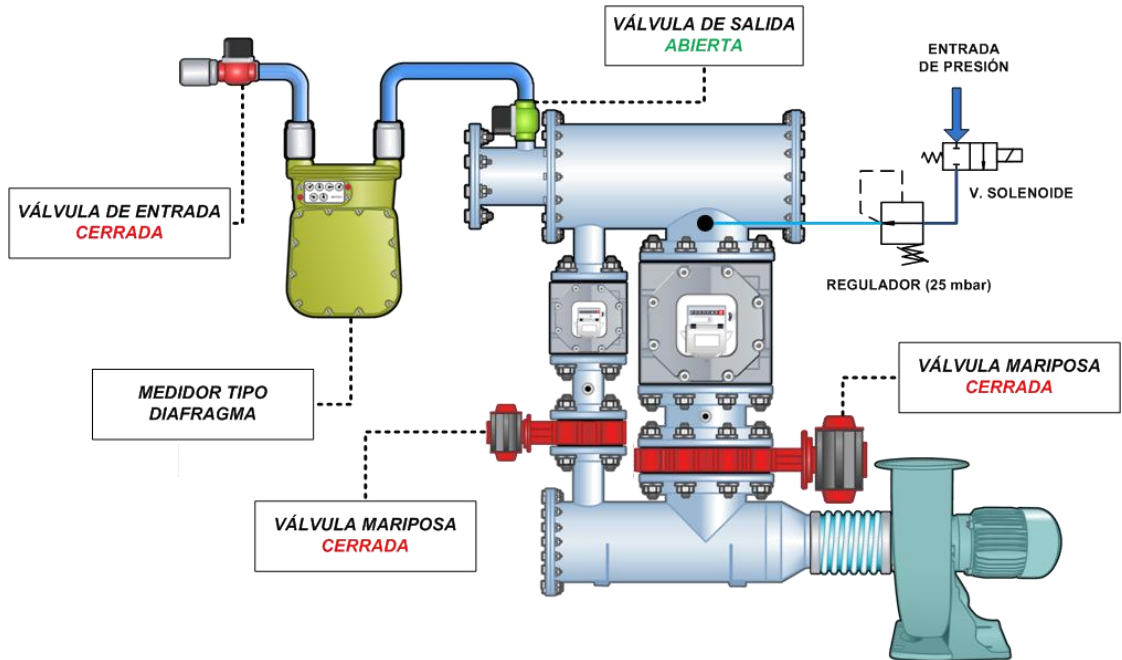
Tabla 14. Tasa de fuga permisible en relación con la caída de presión.

	Tasa de fuga permitida por sección Q_L	Tasa de fuga total permitida ΣQ_L	ΔP en el tramo de prueba de al menos mbar	Intervalo de ensayo Δt_{prueba} minutos
Contadores de gas a diafragma	0,001 Q_{min}	0,003 Q_{min}	0,2	3 a 12
Contadores de gas rotativos Contadores de gas de turbina Contadores de gas por vorticidad		0,001 Q_{min}	1,0	3 a 12

Fuente: PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT. Reglamento de Prueba del PTB, Tomo 4: Contadores Volumétricos de Gas.

De acuerdo a los anteriores requerimientos se establecieron los valores iniciales y se ejecutó la prueba de fugas de acuerdo al esquema presentado en la Figura 51 y en la Figura 52. Los resultados obtenidos se sintetizan en la Tabla 15.

Figura 51. Esquema de la prueba de fugas.



Fuente: El autor.

Tabla 15. Resultados de la prueba de hermeticidad.

Condiciones iniciales	Caudal mínimo del sistema	Q_{\min}	2 m ³ /h
	Volumen de prueba	V_c	0,08 m ³
	Caudal de fugas admisible	Q_L	0,002 m ³ /h
	Presión inicial de prueba	$p_{\text{abs-inicial}}$	923,9664 mbar
	Tiempo de estabilización	t_{est}	5 min
	Tiempo de ensayo	ΔT_{prueba}	3 min
Condiciones finales	Caída de presión admisible	Δp_{adm}	1,3485 mbar
	Presión final de prueba	$p_{\text{abs-final}}$	923,3174 mbar
	Caída de presión registrada	Δp_{reg}	0,649 mbar
Resultado de la prueba		Sistema hermético	

Fuente: El autor.

Figura 52. Realización de la prueba de fugas.



Fuente: El autor.

5.2 PRUEBAS DE OPERACIÓN

Para validar los resultados emitidos por el banco desarrollado se realiza un proceso de comparación entre el Prover y el Banco de Alto Caudal de la Corporación CDT de GAS, para lo cual este último cuenta con las siguientes características:

- ☒ Trazabilidad demostrada al Sistema Internacional de Unidades.
- ☒ Proceso de calibración acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia¹³.

¹³ ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA. Alcance de Acreditación Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas - CDT de GAS [online]. Código de acreditación 10-LAB-013. Actualización 2010-08-19 [Citado en 2012-11-07]. Disponible en internet: <<http://www.onac.org.co/modulos/contenido/default.asp?idmodulo=164&idmoduloreferer=200&pagina=5&objid=818&tipooec=Laboratorio%20de%20Calibraci%F3n>>.

- ☞ Validación de la trazabilidad mediante un programa de comparación internacional en metrología de flujo de gas con otros laboratorios acreditados¹⁴.

Para realizar la validación de los resultados se programaron las siguientes actividades:

- ☞ Calibración de un medidor tipo turbina en el Banco de Alto Caudal.
- ☞ Calibración de este mismo medidor en el Prover.
- ☞ Emisión y evaluación de resultados.
- ☞ Repetición del procedimiento con un medidor tipo rotativo.

Para evaluar el grado de equivalencia de los resultados obtenidos durante las pruebas se utiliza el método estadístico para ensayos de aptitud de la norma NTC-ISO/IEC 17043¹⁵. Se utiliza el error normalizado, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{u^2 + u_{ref}^2}}$$

Donde:

x es el resultado de la medición.

X es el valor asignado.

u es la incertidumbre asociada al resultado de la medición.

u_{ref} es la incertidumbre asociada al valor asignado.

¹⁴ GARCÍA, Luis E. y ABRIL BLANCO, Henry. Comparabilidad Internacional de las Mediciones Colombianas en Alto Flujo de Gas. *En: Met&Flu*. 2011. no. 5. p. 40-49.

¹⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Evaluación de la conformidad. NTC 2728. Bogotá D.C.: El Instituto, 2005. p. 34.

Los errores normalizados obtenidos son evaluados utilizando los siguientes criterios¹⁶:

☉ | E_n | ≤ 1: Desempeño satisfactorio.

☉ | E_n | > 1: Desempeño insatisfactorio.

5.2.1 Calibración de un medidor tipo turbina

En la Tabla 16 se muestran las características principales del medidor usado para la validación de los resultados.

Tabla 16. Datos del MUT tipo turbina.

Fabricante	Itron
Designación	G250
Qmín.	20 m ³ /h
Qmáx.	400 m ³ /h
K-factor	1 pulso/m ³
Tipo de señal de salida	Namur
Estado del medidor	Nuevo

Fuente: El autor.

En la Tabla 17 se presentan los resultados emitidos por el Banco de Alto Caudal, y en la Tabla 18, los resultados obtenidos con el Prover de tres calibraciones, realizadas todas al mismo medidor. En la Figura 53 se presentan los resultados de las pruebas realizadas.

¹⁶ *Ibíd.*, p. 40.

Tabla 17. Resultados del MUT turbina en el Banco de Alto Caudal.

Caudal Promedio	Volumen de Prueba	Error Promedio	Desviación Estándar	U	k
[m³/h]	[m³]	[%]	[%]	[%]	--
20,10	3,00	0,49	0,02	0,22	1,97
101,90	5,00	0,26	0,04	0,23	1,97
160,30	8,00	-0,01	0,05	0,19	1,98
281,60	14,00	0,13	0,02	0,19	1,97
400,10	20,00	0,25	0,00	0,19	1,97

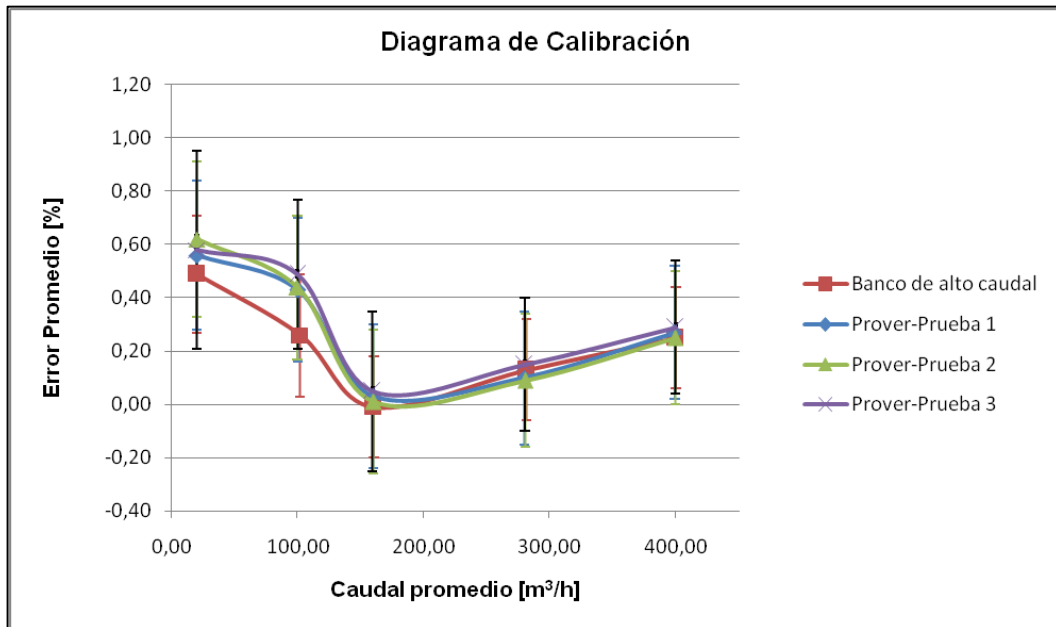
Fuente: El autor.

Tabla 18. Resultados del MUT turbina obtenidos en el Prover.

Resultados Prover-Prueba 1						
Caudal Promedio	Volumen de Prueba	Error Promedio	Desviación Estándar	U	k	 E_n
[m³/h]	[m³]	[%]	[%]	[%]		
19,90	3,00	0,56	0,06	0,28	1,97	0,207
100,30	5,00	0,43	0,01	0,27	1,97	0,472
160,10	8,00	0,03	0,01	0,27	1,97	0,123
279,80	14,00	0,10	0,01	0,25	1,97	0,100
399,20	20,00	0,27	0,01	0,25	1,97	0,064
Resultados Prover-Prueba 2						
Caudal Promedio	Volumen de Prueba	Error Promedio	Desviación Estándar	U	k	 E_n
[m³/h]	[m³]	[%]	[%]	[%]		
19,90	3,00	0,62	0,08	0,29	1,98	0,361
99,60	5,00	0,44	0,02	0,27	1,97	0,502
160,20	8,00	0,01	0,02	0,27	1,97	0,070
280,60	14,00	0,09	0,02	0,25	1,97	0,120
399,50	20,00	0,25	0,00	0,25	1,97	0,004
Resultados Prover-Prueba 3						
Caudal Promedio	Volumen de Prueba	Error Promedio	Desviación Estándar	U	k	 E_n
[m³/h]	[m³]	[%]	[%]	[%]		
19,80	3,00	0,58	0,17	0,37	2,11	0,217
99,80	5,00	0,49	0,03	0,28	1,97	0,616
159,40	8,00	0,05	0,01	0,30	1,99	0,179
280,20	14,00	0,15	0,01	0,25	1,97	0,044
400,00	20,00	0,29	0,01	0,25	1,97	0,111

Fuente: El autor.

Figura 53. Resultados para el MUT tipo turbina.



Fuente: El autor.

De acuerdo los resultados obtenidos, se puede observar:

- El banco desarrollado presenta una buena reproducibilidad, reflejada en la similitud de los resultados obtenidos en las tres calibraciones.
- Los niveles de incertidumbre (U) obtenidos con el Prover están de acuerdo a los planteados como objetivo, es decir, menores que 0,4% ($k=2$) para caudales entre 2 y 6,5 m³/h, y menores que 0,3% ($k=2$), para caudales entre 6,5 y 650 m³/h.
- Se comprobó la comparabilidad de las mediciones del Prover con las del Banco de Alto Caudal, ya que el error normalizado es menor que 1 para todos los puntos de calibración.

5.2.2 Calibración de un medidor tipo rotativo

En la Tabla 19 se presentan las características principales del medidor usado para la validación de los resultados.

Tabla 19. Datos del medidor rotativo utilizado.

Fabricante	Dresser
Designación	2M
Q_{mín.}	3 m ³ /h
Q_{máx.}	65 m ³ /h
K-factor	52209,21 pulso/m ³
Tipo de señal de salida	Colector abierto
Estado del medidor	Usado

Fuente: El autor.

Los resultados obtenidos en la prueba, con el medidor rotativo como MUT, se muestran en la Tabla 20 para el Banco de Alto Caudal, y en la Tabla 21 para el Prover. Una gráfica con los resultados es presentada en la Figura 54.

Tabla 20. Resultados del MUT rotativo en el Banco de Alto Caudal.

Caudal Promedio	Volumen de Prueba	Error Promedio	Desviación Estándar	U	k
[m³/h]	[m³]	[%]	[%]	[%]	--
3,00	0,17	1,31	0,08	0,25	2,00
16,00	0,80	1,38	0,01	0,22	1,97
26,00	1,30	1,37	0,01	0,22	1,97
45,10	2,28	1,31	0,00	0,22	1,97
65,70	3,25	1,53	0,01	0,22	1,97

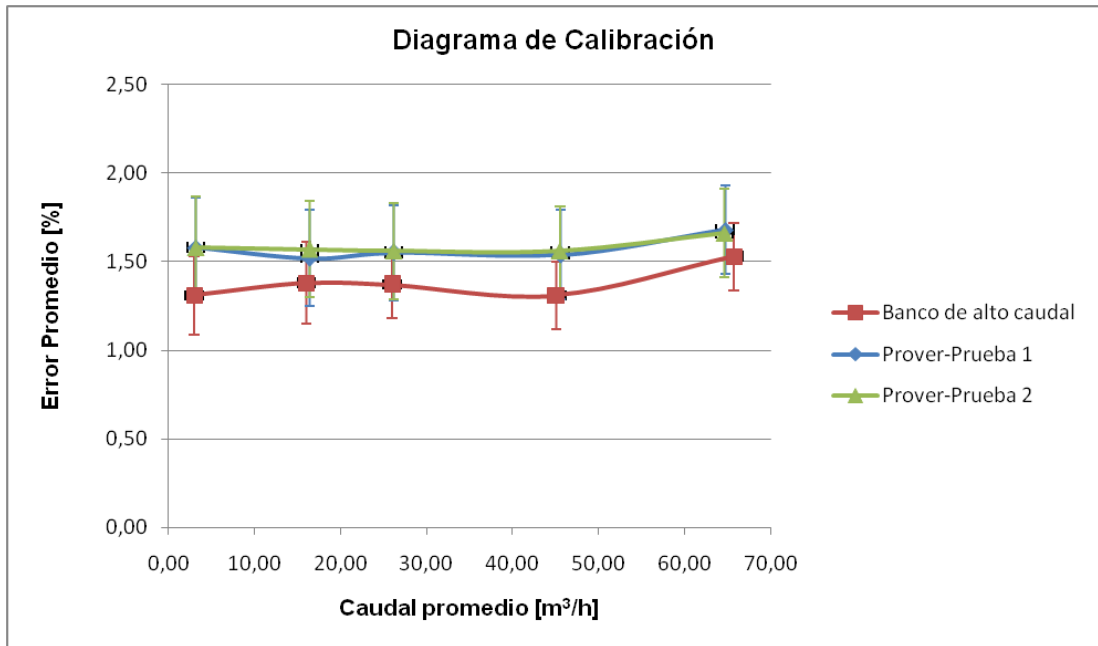
Fuente: El autor.

Tabla 21. Resultados del MUT rotativo obtenidos en el Prover.

Resultados Prover-Prueba 1						
Caudal Promedio [m³/h]	Volumen de Prueba [m³]	Error Promedio [%]	Desviación Estándar [%]	U [%]	k	 E_n
3,20	0,50	1,58	0,02	0,27	1,97	0,748
16,40	1,00	1,52	0,02	0,27	1,97	0,393
26,20	1,30	1,55	0,01	0,27	1,97	0,507
45,60	2,28	1,54	0,01	0,29	1,97	0,646
64,70	3,25	1,68	0,00	0,29	1,97	0,406
Resultados Prover-Prueba 2						
Caudal Promedio [m³/h]	Volumen de Prueba [m³]	Error Promedio [%]	Desviación Estándar [%]	U [%]	k	 E_n
3,20	0,50	1,58	0,01	0,27	1,97	0,746
16,40	1,00	1,57	0,02	0,27	1,97	0,533
26,20	1,30	1,56	0,01	0,27	1,97	0,538
45,50	2,28	1,56	0,01	0,29	1,97	0,702
64,60	3,25	1,66	0,01	0,29	1,97	0,366

Fuente: El autor.

Figura 54. Resultados para el MUT tipo rotativo.



Fuente: El autor.

Con base en los resultados obtenidos, se pueda afirmar:

- ☞ El banco desarrollado presenta una buena reproducibilidad, reflejada en la similitud de los resultados obtenidos en las tres calibraciones.
- ☞ Los niveles de incertidumbre obtenidos con el Prover están de acuerdo a los proyectados, es decir, menores que 0,4% (k=2) para caudales entre 2 y 6,5 m³/h, y menores que 0,3% (k=2), para caudales entre 6,5 y 650 m³/h.
- ☞ Se comprobó la comparabilidad de las mediciones del Prover con las del Banco de Alto Caudal, ya que el error normalizado es menor que 1 para todos los puntos de calibración.

5.3 CARACTERÍSTICAS DEFINITIVAS DEL BANCO DESARROLLADO

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 22.

Tabla 22. Especificaciones finales del Transfer Prover.

GMP-650	
Tipo de medidores a calibrar	Rotativo, turbina y diafragma
Rango de operación	2 a 650 m ³ /h
Master Meter	IM-RM G40 ANSI 150 REF
	IM-RM G400TWIN ANSI 150 REF
Efecto de la temperatura	Compensado
Efecto de la presión	Compensado
Prueba de fugas	Automática
Secuencia de la prueba	Semiautomática
Interfaz de usuario	Computador <i>All-in-one</i> integrado
Alimentación eléctrica	110 VAC/60 Hz/1 fase
	220 VAC/60 Hz/1 fase

Fuente: El autor.

6. CONCLUSIONES

Se seleccionaron y adquirieron patrones tipo rotativo con incertidumbres de calibración menores a 0,23% (K=2) las cuales, aunque un poco más altas de las especificadas inicialmente, permitieron obtener resultados con los niveles de incertidumbre proyectados.

Las calibraciones realizadas en la Corporación CDT de GAS, con trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades, garantizan la trazabilidad de los resultados del banco a patrones internacionales.

La facilidad tecnológica desarrollada permite realizar calibraciones con incertidumbres relativas a la estimación del error de medición, menores que 0,4% (K=2) para caudales entre 2 y 6,5 m³/h, y menores que 0,3% para caudales entre 6,5 y 650 m³/h, como lo evidencian las pruebas operativas realizadas.

Las líneas de flujo diseñadas y construidas para la calibración de los medidores bajo prueba permiten realizar la instalación de los medidores de gas tipo rotativo, turbina y diafragma de acuerdo a los lineamientos planteados por la normativa nacional vigente.

Los sistemas de conexión integrados a las líneas de flujo desarrolladas permiten realizar la rápida instalación de medidores, cubriendo un amplio rango de tamaños y tipos de conexión.

El sistema de generación de flujo seleccionado y adquirido, aunque presenta un consumo energético máximo superior al proyectado, permite la calibración de los medidores objetivo del banco cubriendo el rango total de operación.

La integración de los componentes mecánicos, los elementos electrónicos y las herramientas computacionales permitieron obtener una facilidad de calibración compacta, estética, funcional y de fácil operación, que cumplió con los requerimientos de desempeño proyectados.

Con el desarrollo del proyecto se logró que la Universidad Industrial de Santander continuara liderando procesos de cambio para el progreso, así como se fortaleció la infraestructura metrológica de la Corporación CDT de GAS para la prestación de servicios de calibración a la industria del gas.

7. RECOMENDACIONES

Realizar estudios más detallados con el banco de calibración, enfocados a detectar los efectos de posibles interacciones entre los medidores bajo prueba y los patrones rotativos, que puedan afectar su desempeño metrológico.

Incorporar cuando sea posible, sensores de presión y temperatura de mejor clase metrológica, con el fin de disminuir la contribución de las magnitudes secundarias dentro de la incertidumbre total.

Seguir los lineamientos del Reglamento de Pruebas del PTB Tomo 4, como guía en cuanto a las consideraciones sobre las condiciones del recinto y el medio de calibración.

Realizar pruebas de inter comparación entre la facilidad tecnológica desarrollada y otros sistemas de calibración similares.

Promover el uso de esta herramienta de calibración entre las empresas del sector gas en Colombia; para generar de esta manera cambios en la cultura metrológica del país.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN GAS ASSOCIATION. Measurement of Natural Gas by Turbine Meters. AGA Report N° 7. Washington D.C.: AGA, 2006. 71 p.

CRANE, División de Ingeniería. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México: McGraw Hill, 1987. p 7-12.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Evaluación de la conformidad. REQUISITOS GENERALES PARA LOS NTC 2728. Bogotá D.C.: El Instituto, 2005. 47 p.

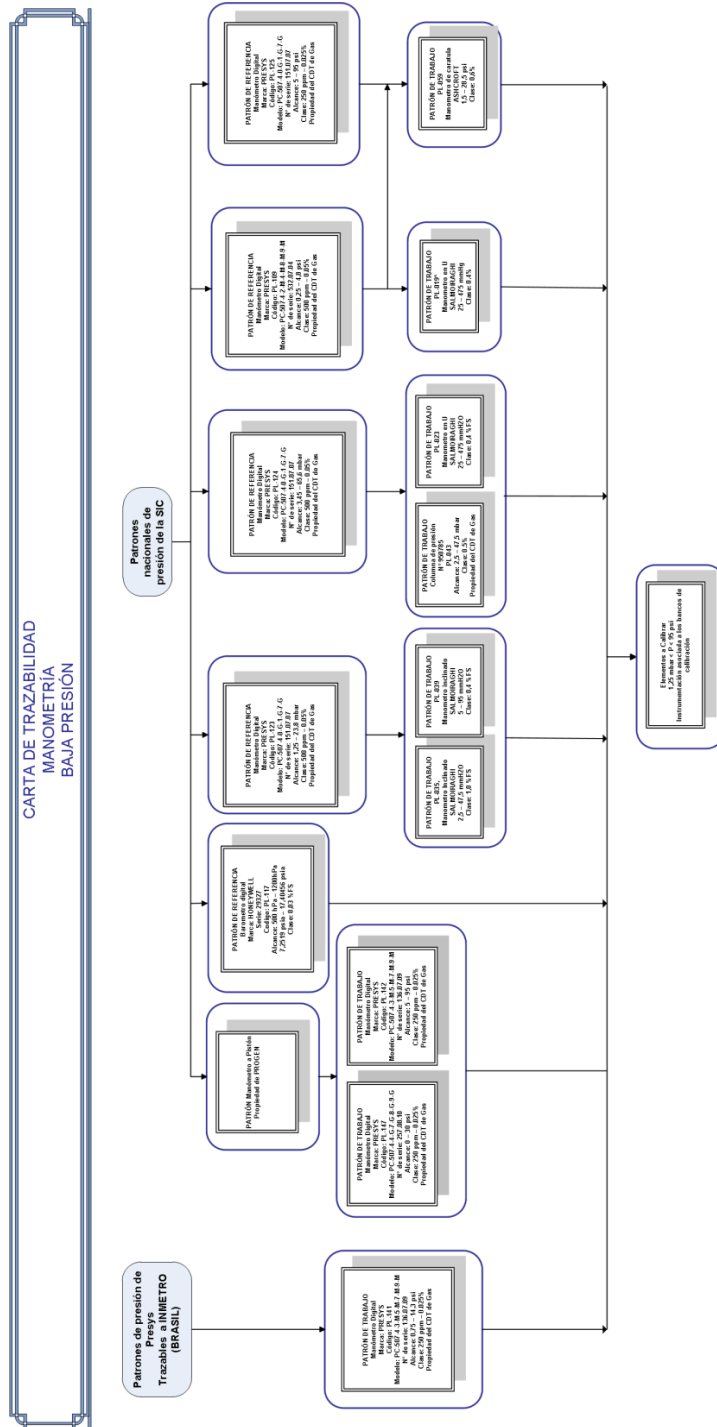
INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Medidores de Gas Tipo Rotatorio. NTC 4136. Bogotá D.C.: El Instituto, 1997. 68 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Medidores de Gas Tipo Diafragma. NTC 2728. Bogotá D.C.: El Instituto, 2005. 25 p.

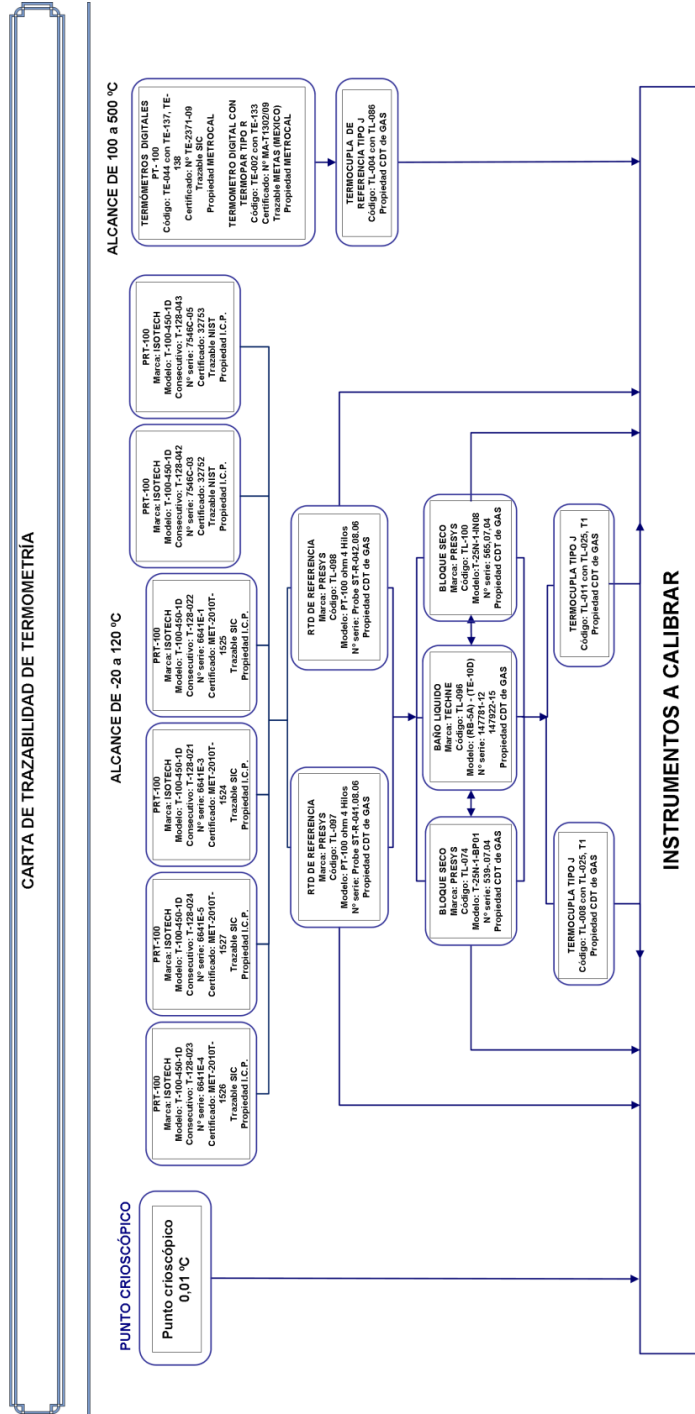
INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos Fundamentales, Generales y Términos Asociados (VIM). GTC-ISO/IEC 99. Bogotá D.C.: El Instituto, 2009. 52 p.

PHYSIKALISCH-TECHNISCHE BUNDESANSTALT. Reglamento de Prueba del PTB, Tomo 4: Contadores Volumétricos de Gas. 2 ed. Braunschweig, Alemania: PTB, 1992. 79 p.

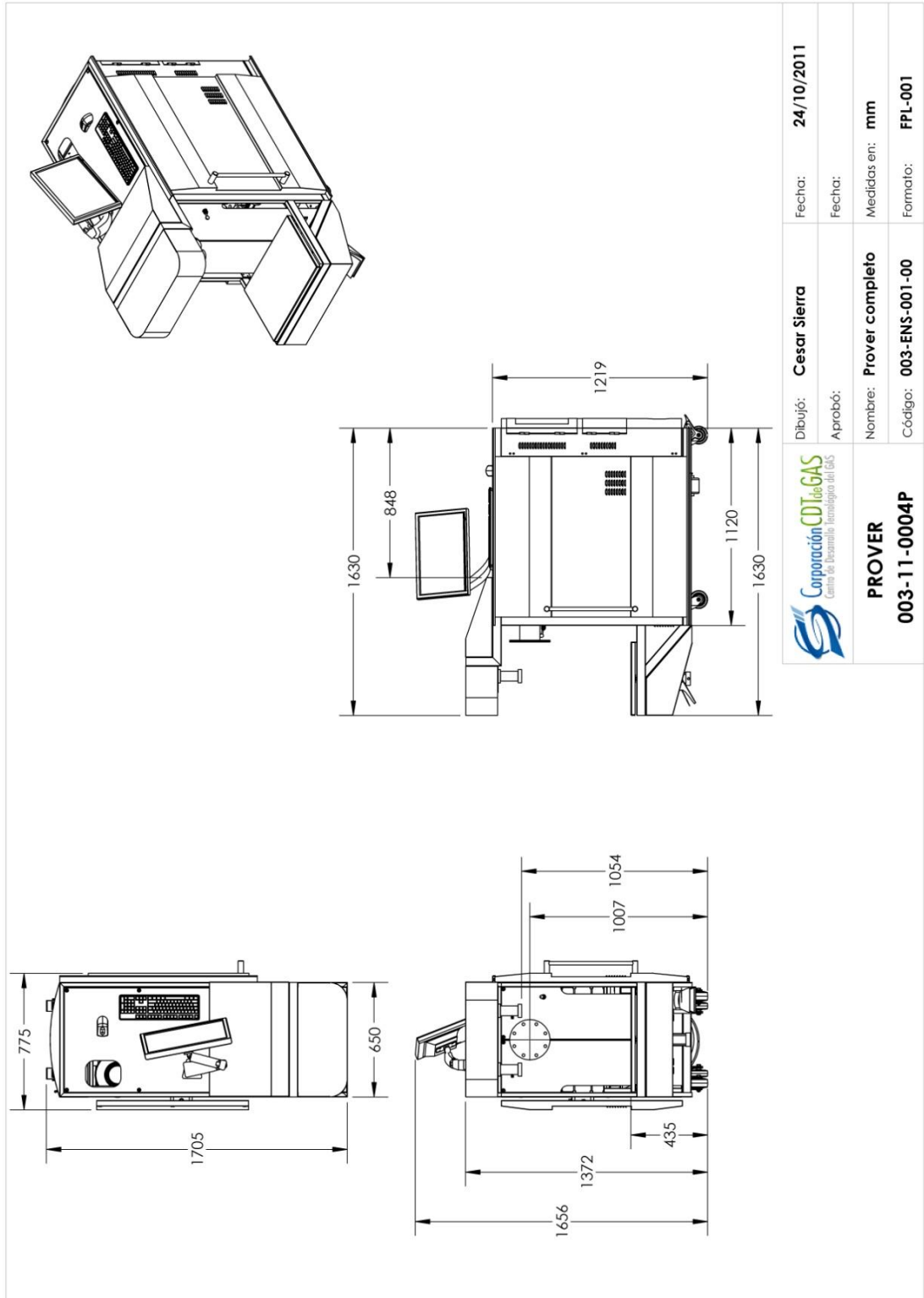
ANEXO B. CARTA DE TRAZABILIDAD EN PRESIÓN DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS

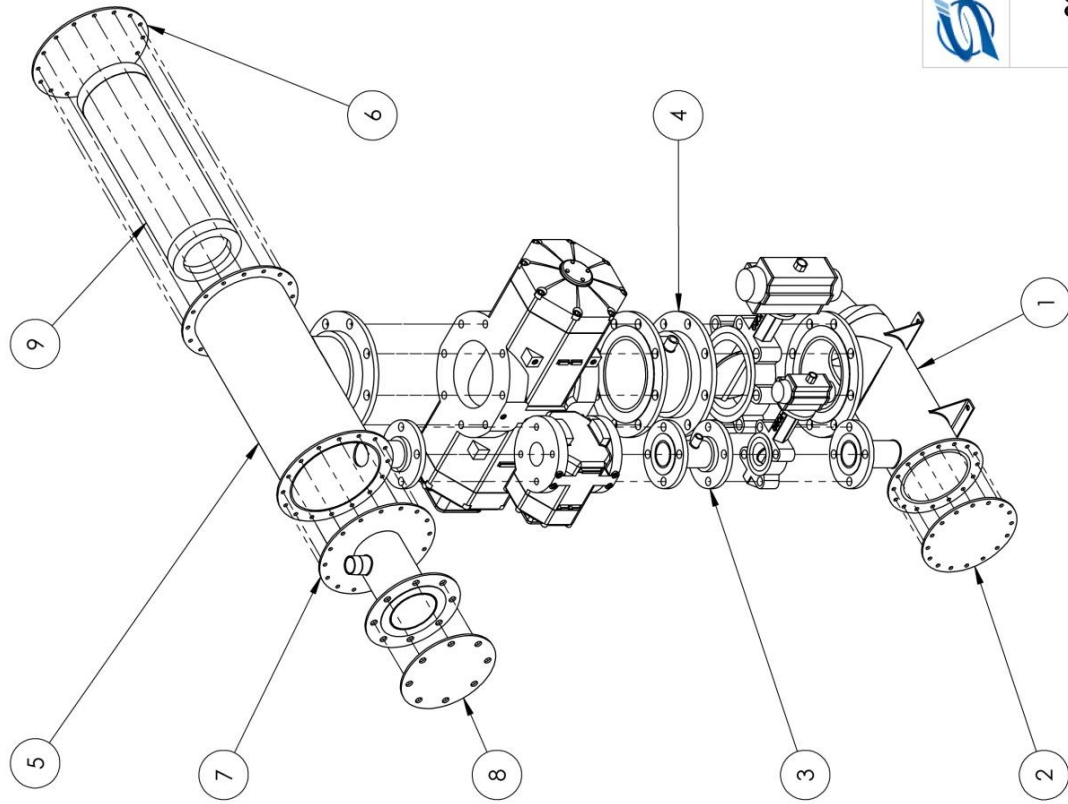


ANEXO C. CARTA DE TRAZABILIDAD EN TEMPERATURA DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS



ANEXO D. PLANOS DE FABRICACIÓN



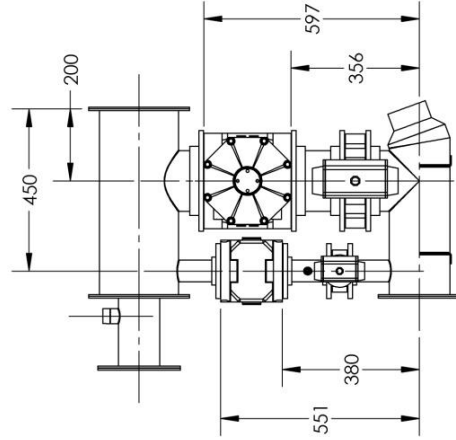
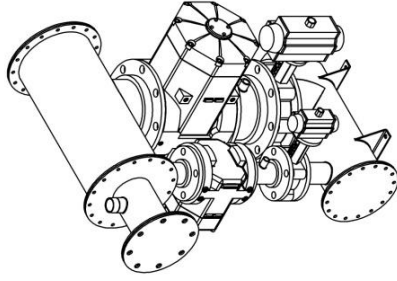
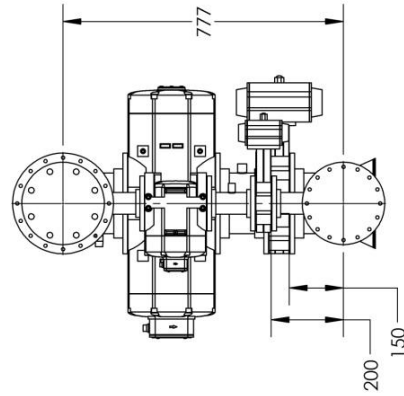
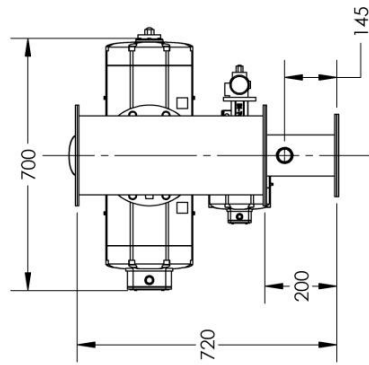



Nº.	CÓDIGO	MATERIAL	CANT.
1	003-MMM-ENS-002-00	AISI 1020	1
2	003-MMM-013-00	AISI 1020	1
3	003-MMM-ENS-005-00	AISI 1020	1
4	003-MMM-ENS-006-00	AISI 1020	1
5	003-MMM-ENS-003-00	AISI 1020	1
6	003-MMM-017-00	AISI 1020	1
7	003-MMM-ENS-004-00	AISI 1020	1
8	003-MMM-FIL-005-00	AISI 1020	1
9	003-MMM-020-00	AISI 304 SS	1

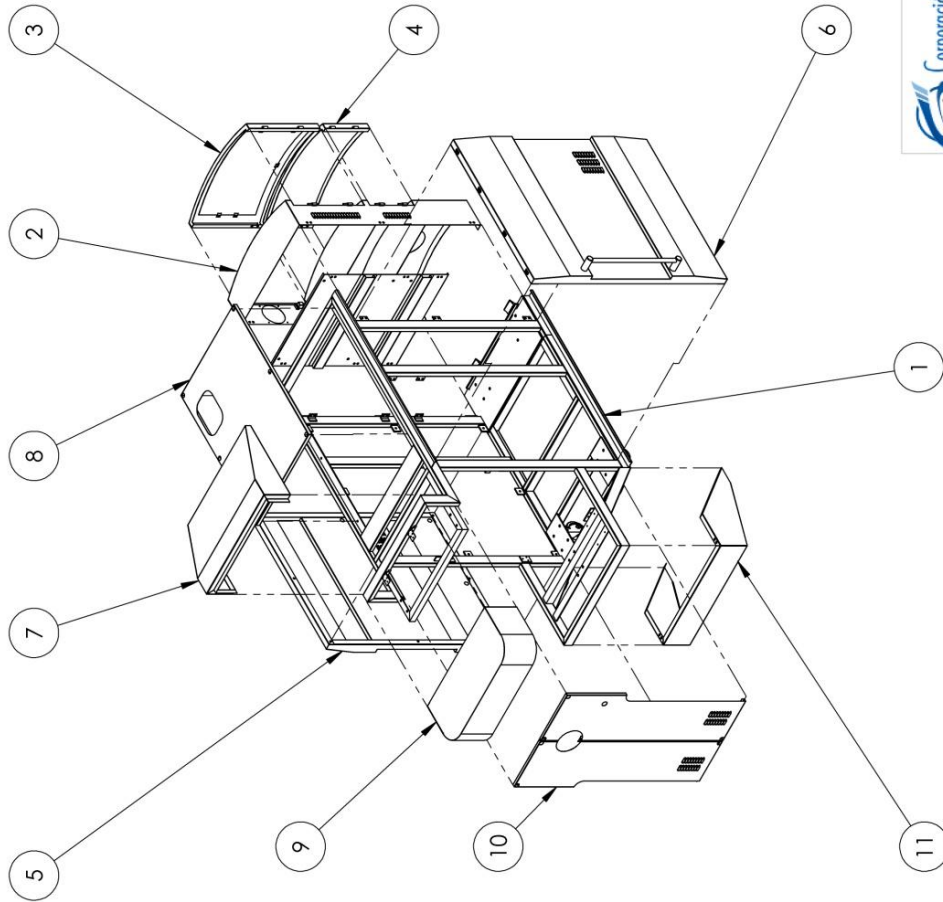


PROVER
003-11-0004P

Dibujó: Cesar Sierra	Fecha: 24/10/2011
Aprobó:	Fecha:
Nombre: Módulo patrones	Medidas en: mm
Código: 003-MMM-ENS-001-00	Formato: FPL-001



	Dibujó: Cesar Sierra	Fecha: 24/10/2011
	A probó:	Fecha:
PROVER 003-11-0004P	Nombre: Módulo patrones	Medidas en: mm
	Código: 003-MMM-ENS-001-00	Formato: FPL-001



Nº.	CÓDIGO	MATERIAL	CANT.
1	003-EST-001-00	AISI 1020	1
2	003-EST-ENS-002-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
3	003-EST-ENS-003-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
4	003-EST-ENS-004-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
5	003-EST-ENS-005-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
6	003-EST-ENS-006-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
7	003-EST-LAM-019-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
8	003-EST-LAM-018-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
9	003-EST-ENS-007-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1
10	003-EST-LAM-022-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	2
11	003-EST-LAM-023-00	LÁMINA ACERO CR CAL. 18	1



PROVER
003-11-0004P

Dibujó: **Cesar Sierra**

Fecha: **24/10/2011**

Aprobó:

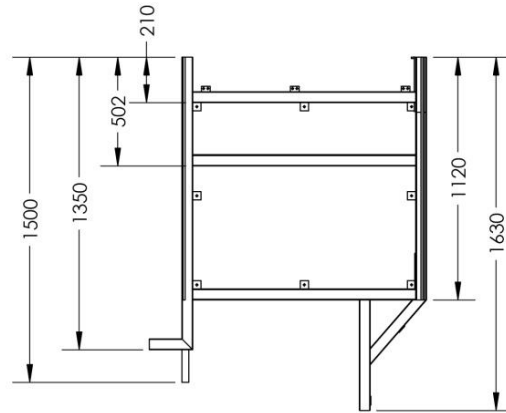
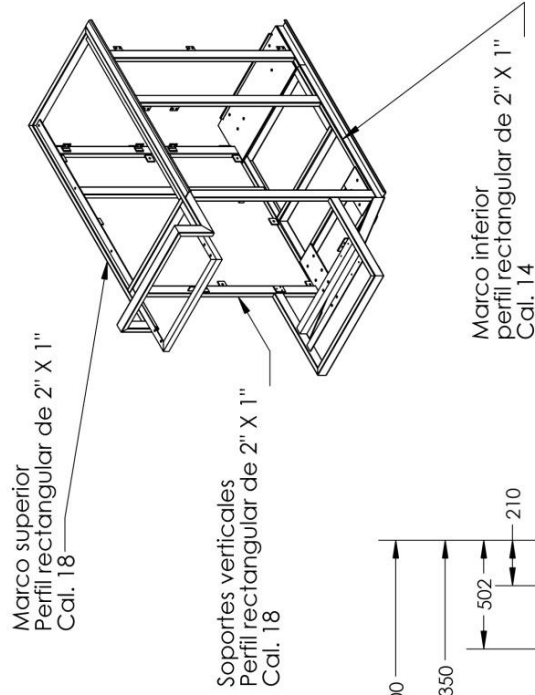
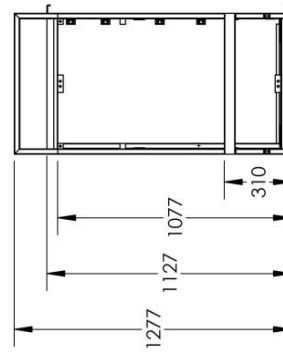
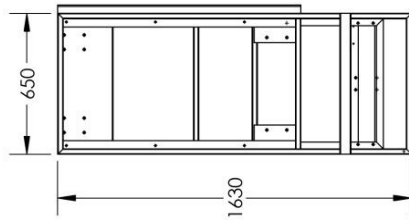
Fecha:


Nombre: **Estructura de soporte**

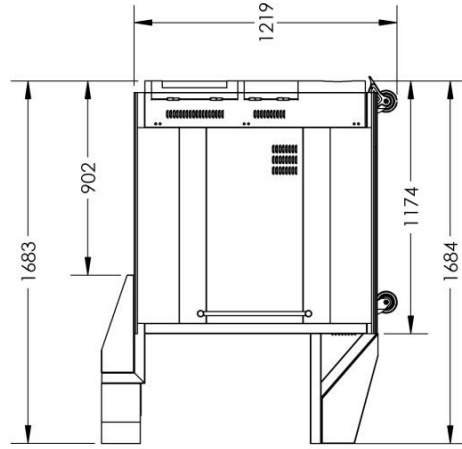
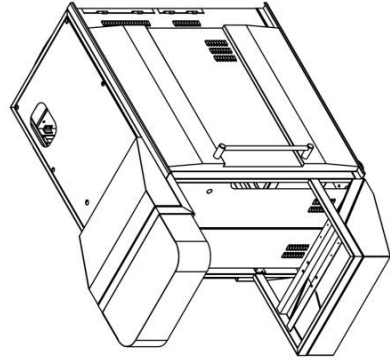
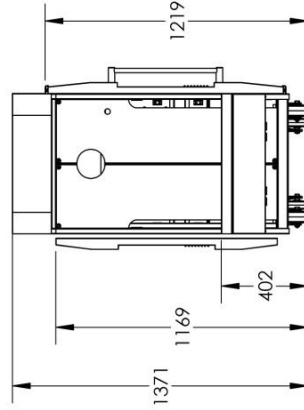
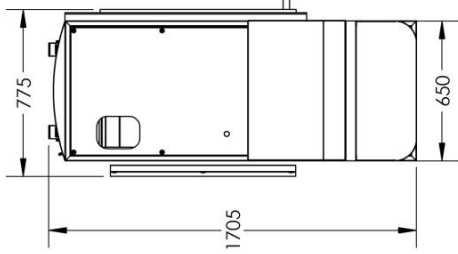
Medidas en: **mm**

Código: **003-EST-ENS-001-00**

Formato: **FPL-001**

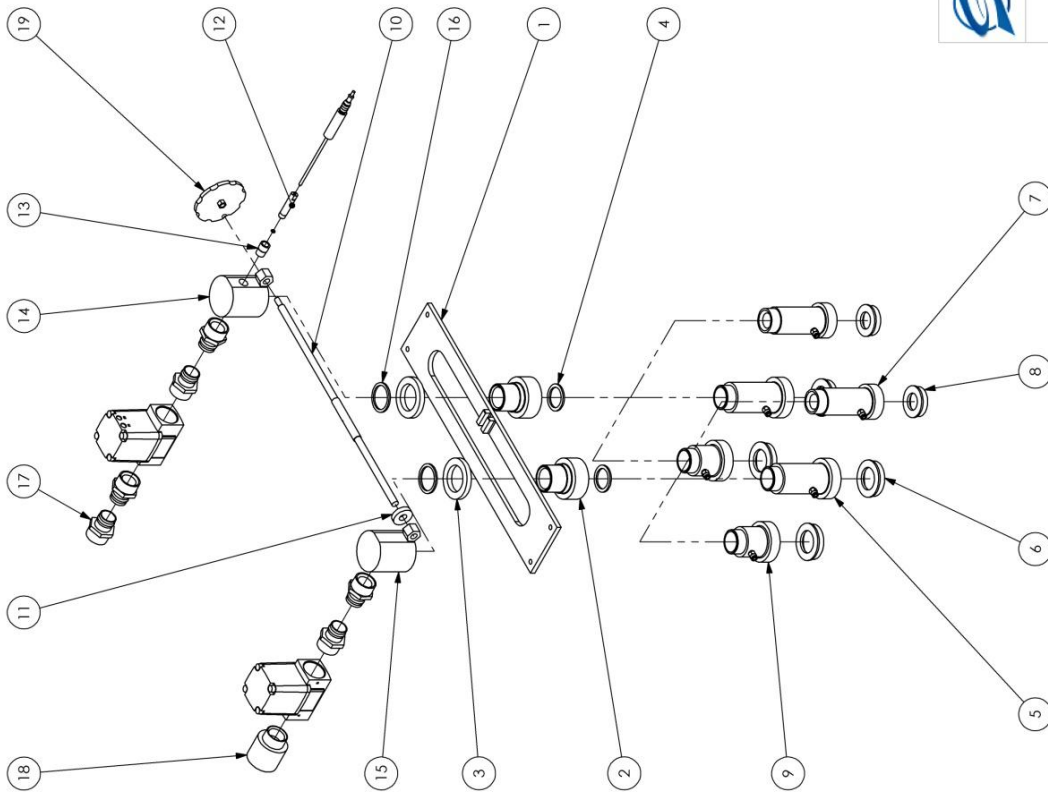


	Dibujó: Cesar Sierra	Fecha: 10/24/2011
	Aprobó:	Fecha:
PROVER 003-11-0004P	Nombre: Estructura principal	Medidas en: mm
	Código: 003-EST-001-00	Formato: FPL-001



PROVER
003-11-0004P

Dibujó: Cesar Sierra	Fecha: 24/10/2011
Aprobó:	Fecha:
Nombre: Estructura de soporte	Medidas en: mm
Código: 003-EST-ENS-001-00	Formato: FPL-001



N.º	CÓDIGO	MATERIAL	CANT.
1	003-DFG-001-00	Acero Inox. 304	1
2	003-DFG-005-00	Acero Inox. 304	2
3	003-DFG-009-00	Acero Inox. 304	2
4	003-DFG-017-00	Neopreno	2
5	003-DFG-002-00	Aluminio	2
6	003-DFG-006-00	Neopreno	4
7	003-DFG-003-00	Aluminio	2
8	003-DFG-007-00	Neopreno	2
9	003-DFG-004-00	Aluminio	2
10	003-DFG-013-00	Bronce	1
11	003-DFG-014-00	Acero Inox. 304	1
12	003-DFG-BSH-002-00	Acetal	1
13	003-DFG-BSH-001-00	Acetal	1
14	003-DFG-011-00	Acero Inox. 304	1
15	003-DFG-010-00	Acero Inox. 304	1
16	003-DFG-008-00	Neopreno	2
17	003-DFG-015-00	Bronce	6
18	003-DFG-012-00	Bronce	1
19	003-DFG-018-00	Acetal	1



PROVER

003-11-0004P

Dibujó: **Cesar Sierra**

Fecha: **24/10/2011**

Aprobó:

Fecha:

Nombre: **Sistema conectores**

Medidas en: **mm**

Código: **003-DFG-ENS-001-00**

Formato: **FPL-001**