

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO PARA LA CALIBRACIÓN DE  
MEDIDORES DE FLUJO DE GAS DE ALTO CAUDAL UTILIZANDO  
PATRONES TIPO TURBINA Y ROTATIVO.**

**HEBERT ARMANDO CÁRDENAS DÍAZ  
GERMÁN JOSÉ COVELLI SOLANO**

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

**2008**

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO PARA LA CALIBRACIÓN DE  
MEDIDORES DE FLUJO DE GAS DE ALTO CAUDAL UTILIZANDO  
PATRONES TIPO TURBINA Y ROTATIVO.**

**HEBERT ARMANDO CÁRDENAS DÍAZ  
GERMÁN JOSÉ COVELLI SOLANO**

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

**Director**

**OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA  
Ingeniero Mecánico**

**Codirector**

**LUIS EDUARDO GARCIA SANCHEZ  
Ingeniero Mecánico**

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

**2008**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres Hermes Cárdenas Mantilla y Luz Marina Díaz Duarte por su infinito amor hacia sus hijos, el cual los lleno de inmensa paciencia, comprensión y sabiduría para apoyarnos en todos nuestros proyectos, dando lo que tenían y lo que no tenían.

A mis hermanos Fabián Leonardo y Sandra Paola Cárdenas Díaz por su ejemplo de superación, mostrándome que para grandes recompensas se deben hacer grande esfuerzos.

A mi familia Cárdenas Mantilla por su cariño y apoyo, mostrándome que no estaba solo.

A mis amigos y compañeros con los cuales compartí en el CDT de GAS, por su apoyo incondicional y por enseñarme a ser un mejor profesional.

**Hebert Armando Cárdenas Díaz**

## **DEDICATORIA**

A mi madre Leonor por su ejemplo y comprensión, pero lo más importante por trasmitirme su nobleza que con el tiempo tal vez pueda alcanzar e igualar pero nunca superar. De forma muy especial espero que recibas esta modesta dedicación como un pequeño agradecimiento por haberme dado la vida.

A mi padre Germán por su comprensión y apoyo. Por guiarme y recorrer conmigo mis primeros pasos en el difícil camino de la vida.

A mis hermanos Ana Maria, Juan Diego y Carmen Leonor por estar siempre conmigo y por su paciencia.

A Luz Stella Gélvez por su apoyo incondicional durante todo este tiempo y por enseñarme que la amistad no se mide en minutos ni en años, se mide en lealtad, comprensión y colaboración.

A mis amigos por brindarme su comprensión, compañía y sobre todo su amistad incondicional en las situaciones buenas y malas.

**Germán José Covelli Solano**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Omar Gévez Arocha, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por esta gran oportunidad que gracias a él tuvimos, por su respaldo, confianza, comprensión y colaboración oportuna.

A Henry Abril Blanco director de la Corporación CDT de GAS y a Luís Eduardo García jefe de proyectos de la corporación CDT de GAS por la oportunidad y confianza..

A Heverth Osorio y a Luís Osorio por su colaboración en este proyecto aportando su valiosísimo tiempo, gran conocimiento y paciencia.

A todo el personal de la Corporación CDT de GAS por ese apoyo incondicional recibido en el desarrollo de este proyecto.

**Gracias.**

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	1
1 FLUJO DE FLUIDOS .....	4
1.1 FLUIDO .....	4
1.2 FLUJO .....	5
1.3 CARACTERISTICAS DEL FLUJO .....	7
1.3.1 Flujo Ideal y Flujo Real .....	8
1.3.2 Número de Reynolds .....	8
1.3.3 Flujo Laminar y Flujo Turbulento .....	8
1.3.4 Asimetría del perfil de velocidades. ....	11
1.3.5 Rotación y remolinos (swirl). ....	12
1.3.6 Flujo en régimen permanente y no permanente. ....	14
1.3.7 Flujo compresible e incompresible. ....	15
1.4 PERDIDAS DE CARGA EN CONDUCTOS CERRADOS O TUBERIAS. ....	15
1.4.1 Pérdidas Primarias .....	15
1.4.2 Perdidas Secundarias. ....	19
2 MEDICION DE CAUDAL DE FLUIDOS .....	22
2.1 TIPOS BASICOS DE MEDICION DE CAUDAL .....	22
2.1.1 Medición de la velocidad puntual.....	22
2.1.2 Medición de la velocidad media en tuberías.....	24
2.1.3 Medición del caudal volumétrico.....	25
2.1.4 Medición del volumen total .....	25
2.1.5 Medición de caudal másico .....	26
2.1.6 Medición de la masa total.....	27
2.2 TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDAL .....	27
2.2.1 Medidores de velocidad.....	28
2.2.2 Medidores de desplazamiento positivo.....	29
2.2.3 Medidores de presión diferencial.....	30
2.2.4 Medidores máscos.....	31
CAPITULO 3 .....	32
3 CALIBRACION DE MEDIDORES DE FLUJO DE GAS .....	32
3.1 DEFINICION Y GENERALIDADES .....	32
3.1.1 Curvas de calibración para medidores de flujo de gas. ....	35
3.1.2 Error de indicación del medidor de caudal. ....	35
3.1.3 Trazabilidad.....	36
3.2 CALIBRACION .....	38
3.2.1 Patrones de calibración .....	40

3.2.2	Patrón primario.....	40
3.2.3	Patrón secundario.....	41
3.2.4	Patrón de referencia.....	41
3.2.5	Patrón de trabajo.....	41
3.3	PROPIEDADES DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION.....	42
3.3.1	Resolución.....	42
3.3.2	Repetibilidad.....	43
3.3.3	Reproducibilidad.....	44
3.3.4	Exactitud e incertidumbre.....	44
3.3.5	Alcance de medición y linealidad.....	45
3.3.6	Rangeabilidad.....	46
3.3.7	Zona de calibración.....	46
3.4	FORMAS PARA CALIBRAR MEDIDORES DE GAS.....	47
3.4.1	Calibración con Campana gasométrica.....	49
3.4.2	Calibración con patrón Gravimétrico por aspiración.....	49
3.4.3	Calibración con un Pistón.....	51
3.4.4	Calibración con banco de Boquillas.....	52
3.4.5	Calibración con Cámara Húmeda.....	53
3.4.6	Calibración con Turbinas.....	54
3.5	MEDIDORES PATRON TIPO TURBINA Y ROTATIVO.....	55
3.5.1	Medidores de alto caudal.....	55
3.5.2	Características de los medidores tipo turbina.....	56
3.5.3	Características de los medidores tipo rotativo.....	59
CAPITULO 4.....		62
4	DISEÑO DEL BANCO.....	62
4.1	DESCRIPCION GENERAL DEL BANCO.....	65
4.2	SELECCIÓN DE LOS PATRONES.....	67
4.3	TUBOS DE MEDICION.....	70
4.4	TUBOS DE TRABAJO.....	72
4.5	ELEMENTOS REGULADORES DE FLUJO.....	73
4.6	CABEZALES PRINCIPALES.....	76
4.7	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE SUJECCION.....	78
4.8	DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES DE FLUJO.....	80
4.9	SELECCIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE FLUJO.....	81
4.9.1	Calculo de la caída de presión del banco.....	81
4.9.2	Selección de Blowers.....	86
4.9.3	Selección del sistema de potencia de los Blower.....	88
4.9.4	Selección de los variadores de velocidad.....	90
4.10	DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS Y SOPORTES.....	91
4.10.1	Estructura principal.....	91
4.10.2	Diseño del soporte del cabezal horizontal.....	95
4.10.3	Diseño del soporte de los tubos de trabajo.....	96
4.10.4	Diseño de los soportes de los medidores bajo prueba (MUT).....	96
4.10.5	Diseño de la estructura de almacenamiento de los tubos de trabajo.....	98

4.11	DISEÑO DEL CUARTO DE MAQUINAS.....	101
4.12	DISEÑO DEL DUCTO DE DESCARGA.....	103
4.12.1	Criterio de velocidad.....	103
4.12.2	Criterio de costo.....	104
4.13	REDISEÑO DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL LABORATORIO.....	105
4.13.1	Verificación del sistema de aire acondicionado.....	106
4.13.2	Calculo de la carga térmica.....	108
4.13.3	Actividades de mejora.....	109
4.14	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.....	112
4.14.1	Transmisores de temperatura.....	112
4.14.2	Transmisores de presión.....	113
4.14.3	Barómetro.....	114
4.14.4	Plataforma de control.....	114
4.15	EVOLUCION DEL DISEÑO.....	117
CAPITULO 5.....		124
5	CONSTRUCCION DEL BANCO.....	124
5.1	CONSTRUCCION DEL BANCO DE CALIBRACION.....	124
5.2	CONSTRUCCION DEL ESTANTE PARA TUBOS.....	130
5.3	CONSTRUCCION DE LOS ACONDICIONADORES DE FLUJO.....	133
5.4	CONSTRUCCION DEL CUARTO DE MAQUINAS.....	134
5.5	INSTALACION DEL SISTEMA DE INDUCCION DE FLUJO.....	136
CAPITULO 6.....		138
6	PRUEBAS.....	138
6.1	EVALUACION DIMENSIONAL.....	138
6.1.1	Equipo Utilizado.....	138
6.1.2	Procedimiento.....	139
6.1.3	Resultados.....	140
6.2	PRUEBAS DE RUGOSIDAD.....	141
6.2.1	Equipo Utilizado.....	141
6.2.2	Procedimiento.....	141
6.2.3	Resultados.....	142
6.3	PRUEBAS HIDROSTATICAS.....	142
6.3.1	Equipo Utilizado.....	143
6.3.2	Procedimiento.....	144
6.3.3	Resultados.....	146
RECOMENDACIONES.....		147
CONCLUSIONES.....		148
BIBLIOGRAFÍA.....		150
ANEXOS.....		151

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de velocidades del flujo laminar.....	9
Figura 2. Perfil de velocidades del flujo turbulento.....	10
Figura 3. Variación del perfil de velocidad aguas abajo de una curva. ....	11
Figura 4. Fenómeno del flujo secundario.....	12
Figura 5. Flujo helicoidal debido a dos curvas adyacentes en planos .....	13
Figura 6. Perfil de velocidad de un flujo. ....	13
Figura 7. Acondicionador de flujo.....	14
Figura 8. Diagrama de Moody.....	18
Figura 9. Monograma de pérdidas de carga secundarias.....	21
Figura 10. Medición de la velocidad puntual.....	23
Figura 11. Puntos de medición de la velocidad puntual según la regla de Tchebycheff. ....	23
Figura 12. Medición de la velocidad media.....	24
Figura 13. Medición de la velocidad media.....	25
Figura 14. Medidores de volumen.....	26
Figura 15. Medidor de flujo másico.....	27
Figura 16. Clasificación de medidores de flujo.....	28
Figura 17. Medidores de velocidad.....	29
Figura 18. Principio de funcionamiento de un medidor rotativo. ....	30
Figura 19. Medición de flujo con platinas de orificio.....	31
Figura 20. Medidor de coriolis.....	31
Figura 21. Principio de operación cuando se utiliza una turbina.....	34
Figura 22. Curva de calibración de un medidor de flujo.....	35
Figura 23. Carta de trazabilidad de medidores de flujo.....	38
Figura 24. Calibración de medidores de Gas.....	39
Figura 25. Clasificación de patrones de medición.....	40
Figura 26. Resolución para indicadores análogos y digitales. ....	42
Figura 27. Diferencias entre la repetibilidad y la exactitud.....	43
Figura 28. Expresión de la incertidumbre en una medición. ....	45
Figura 29. Zona de calibración.....	47
Figura 30. Campana Gasométrica. ....	50
Figura 31. Método gravimétrico por aspiración.....	50
Figura 32. Calibración con pistón.....	51
Figura 33. Boquilla Sónica. ....	52
Figura 34. Banco de boquillas sónicas. ....	53
Figura 35. Cámara húmeda. ....	54
Figura 36. Medidor tipo turbina. ....	55
Figura 37. Partes de un medidor tipo turbina.....	58

Figura 38. Principio de operación medidor tipo rotativo. ....	59
Figura 39. Esquema general del Banco .....	66
Figura 40. Patrones de referencia.....	69
Figura 41. Alcance de calibración de medidores seleccionados.....	70
Figura 42. Recomendaciones dada por AGA 7/2006.....	71
Figura 43. Tubos de trabajo para medidores de 12 pulgadas y clase 150, 300. .....	73
Figura 44. Válvula mariposa tipo lug. ....	76
Figura 45. Diseño compacto y flexible del banco.....	77
Figura 46. Diseño cabezal horizontal y cabezales verticales.....	78
Figura 47. Brida de trabajo de diámetro nominal 12 pulgadas.....	79
Figura 48. Acondicionador de flujo.....	80
Figura 49. Ejemplo de un escenario de operación para la calibración de un medidor tipo turbina G-2500. ....	82
Figura 50. Comportamiento de los Blowers en operación. ....	87
Figura 51. Ajuste curva de operación Blower al punto de operación. ....	88
Figura 52. Variación de Pot al freno Vs Caudal según fabricante.....	89
Figura 53. Estructura de soporte.....	92
Figura 54. Fuerzas actuantes en el modelo estático.....	93
Figura 55. Factor de seguridad Estructura de soporte.....	94
Figura 56. Soporte cabezales horizontales.....	95
Figura 57. Soporte de tubos del medidor bajo prueba. ....	96
Figura 58. Soporte para medidores bajo prueba.....	97
Figura 59. Análisis estático estructura MUT. ....	97
Figura 60. Análisis estructural del soporte del MUT.....	98
Figura 61. Estructura para almacenar tubos.....	99
Figura 62. Propiedades físicas de los tubos calculadas por software.....	99
Figura 63. Factor de seguridad Estructura para tubos.....	100
Figura 64. Estructura cuarto de maquinas. ....	102
Figura 65. Ensamble de módulos al cuarto de maquinas. ....	103
Figura 66. Dimensiones del ducto de descarga según criterio de velocidad .....	104
Figura 67. Dimensiones del ducto de descarga criterio de costo.....	105
Figura 68. Aire acondicionado del laboratorio del CDT de GAS.....	106
Figura 69. Recarga de refrigerante.....	110
Figura 70. Cambio del aislamiento térmico de la condensadora.....	110
Figura 71. Sistema de ductos de aire mejorado.....	111
Figura 72. RTD's y transmisores.....	113
Figura 73. Transmisores de presión. ....	113
Figura 74. Barómetro calibrado.....	114
Figura 75. Banco de calibración - alternativa 1.....	117
Figura 76. Banco de calibración – Alternativa 2.....	119
Figura 77. Banco de calibración - Alternativa 3.....	119
Figura 78. Banco de calibración – Alternativa 4.....	120
Figura 79. Banco de calibración – Alternativa 5.....	121

Figura 80. Banco de calibración – Alternativa 6.....	123
Figura 81. Construcción tubería en lamina de espesor 2.5 mm.....	125
Figura 82. Fabricación de reducciones.....	126
Figura 83. Tubos de medición.....	127
Figura 84. Tubos de trabajo.....	127
Figura 85. Estructura soporte de tubos de medición y medidores.....	128
Figura 86. Ensamble en fábrica.....	129
Figura 87. Ensamble banco de calibración.....	130
Figura 88. Estante para tubos de trabajo.....	132
Figura 89. Construcción Cuarto de maquinas.....	135
Figura 90. Cimentación de placa e instalación de cuarto para Blowers.....	136
Figura 91. Instalación de Blowers.....	137
Figura 92. Medición longitudinal de tubos.....	139
Figura 93. Medición diametral de tubería.....	140
Figura 94. Medida de espesores de tubería.....	140
Figura 95. Medición de la rugosidad.....	142
Figura 96. Montaje de prueba hidrostática.....	144
Figura 97. Manómetro y toma de presión.....	145
Figura 98. Temperatura y Presión de la prueba.....	145

## LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Dispositivos para la calibración de medidores de gas. ....	48
Tabla 2. Características de algunos medidores de alto caudal.....	56
Tabla 3. Características de desempeño típicas de un medidor tipo turbina..	56
Tabla 4. Denominación de los medidores tipo turbina. ....	58
Tabla 5. Principales características de los medidores tipo rotativo.....	60
Tabla 6. Denominación de los medidores tipo rotativo. ....	60
Tabla 7. Comparación bancos de calibración alto caudal.....	64
Tabla 8. Diferentes opciones para selección de los patrones.....	68
Tabla 9. Tubería para patrones según AGA 7. ....	71
Tabla 10. Medidores cliente.....	74
Tabla 11. Selección de tubería. ....	74
Tabla 12. Comparaciones para la selección de válvulas. ....	75
Tabla 13. Resultado del diseño de Bidas. ....	79
Tabla 14. Caída de presión general del Banco.....	86
Tabla 15. Características de los motores.....	90
Tabla 16. Características de los variadores de velocidad.....	91
Tabla 17. Resultado del análisis estático.....	93
Tabla 18. Masa y centros de masa de lo tubos de trabajo.....	100
Tabla 19. Valores límites permisibles para ruido continuo o intermitente. ...	101
Tabla 20. Principales características de la unidad de aire acondicionado. .	107
Tabla 21. Consideración para el cálculo de la Carga Térmica.....	108
Tabla 22. Características del sistema de adquisición de datos.....	115
Tabla 23. Relación de costos de los elementos del banco. ....	131
Tabla 24. Relación de costos de Estante y soportes. ....	132
Tabla 25. Relación de costos para acondicionadores de flujo. ....	134
Tabla 26. Relación de costos construcción de cuarto de maquinas. ....	135
Tabla 27. Distribución de la prueba hidrostática. ....	144
Tabla 28. Resultados de las pruebas hidrostáticas.....	146

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. ESCENARIOS DE OPERACIÓN.....	152
Anexo 2. CAÍDA DE PRESION PARA CADA MEDIDOR PATRÓN.....	153
Anexo 3. CAÍDA DE PRESIÓN DE LOS MEDIDORES CLIENTE.....	154
Anexo 4. CAÍDA DE PRESIÓN EN LOS ACONDICIONADORES. ....	155
Anexo 5. DESCRIPCION DEL SOFTWARE SF PRESSURE DROP. ....	156
Anexo 6. EJEMPLO DE CALCULO UTILIZANDO EL SOFTWARE SF PRESSURE DROP 6.2. ....	162
Anexo 7. PERDIDA CALCULADAS CON SF PRESSURE DROP. ....	165
Anexo 8. CATALOGO CHICAGO BLOWERS MODELO D1.....	166
Anexo 9. CATALOGO CHICAGO BLOWERS MODELO I1.....	167
Anexo 10. ESPECIFICACIONES DEL BLACK TEATHER. ....	168
Anexo 11. FICHAS TECNICAS TRANSMISORES DE TEMPERATURA. ...	169
Anexo 12. FICHAS TECNICAS TRANSMISORES DE PRESION.....	174
Anexo 13. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL BAROMETRO .....	179
Anexo 14. PROPIEDADES DEL ACERO AISI 304 .....	181
Anexo 15. PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36.....	182

## NOMENCLATURA O GLOSARIO

### NOTACIÓN

A	Área, m <sup>2</sup> .
A <sub>T</sub>	Área total, m <sup>2</sup> .
D	Diámetro, m.
D <sub>N</sub>	Diámetro nominal, mm.
e	Espesor, m.
f	Factor de fricción.
g	Aceleración gravitacional, m/s <sup>2</sup> .
h <sub>L</sub>	Perdida de carga primaria.
h <sub>LS</sub>	Perdida de carga secundaria.
h <sub>LT</sub>	Suma total de pérdidas primarias y secundarias.
k	compresibilidad de un fluido.
K	coeficiente adimensional de perdida de carga.
L	Longitud, m.
L <sub>E</sub>	Longitud equivalente.
m	Masa, kg.
P	Presión.
Q <sub>m</sub>	Caudal masico, kg/h.
Q <sub>M</sub>	Caudal masico de un fluido.
Q <sub>max</sub>	Caudal máximo.
Q <sub>t</sub>	Caudal de transición.
Q <sub>v</sub>	Caudal volumétrico, m <sup>3</sup> /h.
R <sub>e</sub>	Número de Reynold.
T	Temperatura.
t	Tiempo.

$\bar{v}$	Velocidad media de flujo.
V	Volumen, m <sup>3</sup> .
V <sub>i</sub>	Volumen indicado.
V <sub>m</sub>	Velocidad media, m/s.
V <sub>t</sub>	Volumen convencionalmente verdadero.
z	Altura.

## LETRAS GRIEGAS

$\rho$	Densidad.
$\beta$	Coeficiente de expansión térmica volumétrica, 1/°K.
$\delta_h$	Espesor de capa límite hidrodinámica, m.
$\delta_t$	Espesor de capa límite térmica, m.
$\varepsilon$	Error.
$\theta$	Ángulo, grados o radianes.
$\lambda$	Longitud de onda, $\mu\text{m}$ .
$\mu$	Viscosidad dinámica, Kg.m/s.

## SUBÍNDICES

1,2	Se refiera a la entrada y salida de un sistema.
CV	Convencionalmente verdadero.
D	Diámetro.
E	Equivalente.
i	Indicado.
M	Másico.
o	Garganta.

P Presión.  
T Temperatura.  
Transv Transversal.  
V Volumétrico.

## RESUMEN

### TÍTULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO PARA LA CALIBRACION DE MEDIDORES DE FLUJO DE GAS DE ALTO CAUDAL UTILIZANDO PATRONES TIPO TURBINA Y ROTATIVO**

### AUTORES:

Hebert Armando Cárdenas Dais.  
German José Covelli Solano.

### PALABRAS CLAVES:

Medición, flujo de fluidos, Medidores de flujo, Calibración de medidores de flujo, Turbinas.

### DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es dotar a la corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas, de un banco de calibración el cual se utilizara para calibrar medidores de gas de alto caudal. De esta manera se contribuye al avance tecnológico de Colombia en cuanto a infraestructura metrológica y a sistemas de medición de gas se refiere.

El banco de calibración incluye el sistema de tuberías para la conducción de flujo de aire, el sistema generador de flujo, el sistema regulador de flujo, los medidores patrones y un sistema de adquisición de datos en tiempo real el cual presenta una interfaz con la cual el metrológo opera el banco.

Las turbinas y el medidor rotativo fueron calibrados en el Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania, obteniéndose así bajos niveles de incertidumbre y trazabilidad a patrones internacionales.

Todas las partes y accesorios mecánicos del banco de calibración fueron fabricados y/o adquiridos en Colombia.

El proyecto fue desarrollado por el Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas con el apoyo de Colciencias y la Universidad Industrial de Santander, con el fin de ampliar la infraestructura metrológica existente en Colombia para la calibración de medidores de gas de diámetros entre 3" y 12", en un alcance entre 32 m<sup>3</sup>/h a 4500 m<sup>3</sup>/h y una incertidumbre de aproximadamente ±0.3 %. Además el banco de calibración estará en capacidad de ampliar su alcance de operación a 6000 m<sup>3</sup>/h adicionando una turbina patrón con características similares a las adquiridas.

---

\* Proyecto de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Omar Armando Gelvez Arocha.

## SUMMARY

**TITLE:**

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BANK FOR THE CALIBRATION FLOW METERS HIGH GAS FLOW USING PATTERNS TYPES TURBINES AND ROTARY**

**AUTHORS:**

Hebert Armando Cárdenas Diaz.  
German José Covelli Solano

**KEY WORDS:**

Measurement, fluid flow, Flow Meters, Calibration of flow meters, Turbines.

**DESCRIPTION:**

The objective of this project is to endow the Corporation Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas, a bank calibration which was used to calibrate meters high gas flow. This will contribute to technological advancement of Colombia on metrological infrastructure and systems of measurement gas deals.

The bank calibration includes the piping system for driving air flow, the flow generator system, the regulatory system flow meters patterns and data acquisition system in real time which provides an interface with which The Metrology operates the bank.

The turbines and rotating was calibrated meter in the Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) of Germany, thus low levels of uncertainty and traceability to international standards.

All parts and accessories mechanical bank calibration were fabricated and / or acquired in Colombia.

The project was developed by the Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas with support from Colciencias and the Universidad Industrial de Santander, in order to expand the existing metrological infrastructure in Colombia for the calibration of meters of gas diameters between 3 "and 12" , In a range between 32 m<sup>3</sup>/ha 4500 m<sup>3</sup>/hy uncertainty about  $\pm 0.3\%$ . In addition the bank calibration will be able to expand its scope of operation to 6000 m<sup>3</sup> / h adding a turbine pattern similar to those acquired.

---

\* Final Year Project.

\*\* Faculty of Engineering Physical-Mechanics. Engineering Mechanical. Director: Ing. Omar Armando Gelvez Arocha.

## INTRODUCCIÓN

El nivel de desarrollo de un país se mide por el avance de su tecnología y por la capacidad de realizar mediciones con bajos niveles de error. La infraestructura metrológica del país para la medición de gas requiere de sistemas de medición y personal altamente capacitado garantizando seguridad en las mediciones con bajo nivel de incertidumbre con la cual se brinden garantías en los procesos de medición con el fin de obtener mediciones concordantes entre los transportadores, distribuidores, comercializadores de manera que se proteja al pequeño, mediano y gran consumidor.

Frente a esta situación el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas y la Universidad Industrial de Santander con el apoyo de Colciencias desarrollaron un proyecto que representa una alternativa de solución con el cual se presenta una facilidad tecnológica para la calibración de medidores de gas que garantiza el constante avance y desarrollo tecnológico además de la apropiación de nuevos conocimientos en el campo de la medición y el flujo de fluidos en Colombia.

El presente proyecto de grado se desarrolla como parte de una propuesta hecha por el CDT de GAS la cual es financiada por COLCIENCIAS, para realizar el diseño y construcción de una facilidad tecnológica para la calibración de medidores de gas de alto caudal a baja presión, de esta manera se pretende alcanzar y superar el nivel metrológico de países como Brasil y México los cuales actualmente cuentan con tecnologías similares.

El resultado de este proceso es un banco patrón con capacidad de realizar calibración de medidores de gas en un alcance entre  $32 \text{ m}^3/\text{h}$  y  $4500 \text{ m}^3/\text{h}$  y

que opera a presión atmosférica el cual esta en capacidad de obtener incertidumbres inferiores a  $\pm 0.3 \%$ .

El capítulo 1 tiene como fin presentar a ustedes los conceptos fundamentales de la mecánica de fluidos, además presenta los conceptos relacionados con perdidas de cargas en conductos cerrados y tuberías.

En el capítulo 2 presenta un descripción de los diferentes métodos de medición de caudal y los tipos de medidores mas utilizados actualmente en la industria Colombiana.

El capítulo 3 tiene como objetivo describir todo aquello relacionado con la calibración, describiendo los conceptos y las generalidades de los parámetros a tener en cuenta en una calibración, describiendo además las diferentes formas para calibrar medidores y centrando la atención en los medidores tipo turbina y rotativo. Además de esto este capítulo habla de las propiedades de los instrumentos de medición.

En el capítulo 4 se presentan los criterios tenidos en cuenta para el diseño del banco de calibración además de los parámetros requeridos para la selección de los patrones y el dimensionamiento de las líneas de flujo, además se presenta una descripción del diseño de los componentes mas importantes, finalmente se presenta la evolución del diseño y los factores que afectaron dicha evolución.

El capítulo 5 presenta el proceso de construcción del banco de calibración describiendo los materiales y dando un referente a los procesos llevados a cabo durante su fabricación.

Finalmente en el capítulo 6 se presentan las diferentes pruebas realizadas al banco que permitieron verificar su correcto funcionamiento y por ende el cumplimiento de los objetivos propuestos en este trabajo de grado.

## **CAPITULO 1**

### **1 FLUJO DE FLUIDOS**

#### **1.1 FLUIDO**

La definición básica de fluido establece que es una sustancia que debido a su poca cohesión intermolecular carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene, una definición mas conveniente para el tema que nos compete define a un fluido como; una sustancia que se deforma continuamente y experimenta un movimiento relativo entre sus partes elementales, al ser sometida a un esfuerzo cortante por más pequeño que éste sea. Un fluido se puede clasificar según las características que presente en:

- Líquido
- Gas

Según el comportamiento observado de un fluido a una temperatura y presión determinadas se puede decir que; los líquidos ofrecen una gran resistencia al cambio de volumen, pero no de forma y los gases ofrecen poca resistencia al cambio de volumen y de forma. El comportamiento de líquidos y gases es análogo en conductos cerrados (tuberías), pero no en conductos abiertos (canales). También podemos decir que los líquidos son poco compresibles y los gases muy compresibles, aunque cuando las variaciones de presión que entran en juego en el comportamiento del gas son demasiadas pequeñas se puede considerar al fluido como incompresible.

El movimiento de un fluido se puede estudiar mediante las ecuaciones de la dinámica de fluidos, bajo la hipótesis de un medio continuo, de esta forma las variables de estado del fluido tales como la presión, densidad y la velocidad se consideran funciones continuas del espacio y del tiempo.

El transporte de un fluido se puede llevar a cabo según su condición, en un canal abierto, en donde el fluido está expuesto a condiciones atmosféricas, o en un canal cerrado en donde las condiciones del fluido dependen del proceso industrial que se está realizando, siendo esta la forma más comúnmente utilizada a través de una tubería de sección circular.

## 1.2 FLUJO

El flujo se considera como la cantidad de fluido, expresada en masa o en volumen que atraviesa un punto o una sección de referencia, transversal a la tubería, en una cierta cantidad de tiempo. Por lo tanto el parámetro “tasa de flujo o caudal”  $Q$  se expresa en unidades de masa o volumen por unidad de tiempo ( $\text{Kg/h}$  ó  $\text{m}^3/\text{h}$ ). El caudal volumétrico “ $Q_v$ ” también está definido por el producto entre la velocidad media del fluido y la sección transversal de la tubería, como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$Q_v = V_{media} * A_{TRANSV} \quad \text{Ecuación 1.}$$

De igual forma podemos decir que el caudal másico “ $Q_m$ ” también se define como el producto entre el caudal volumétrico y la densidad del fluido “ $\rho$ ”, ver ecuación 2.

$$Q_m = Q_m * \rho \quad \text{Ecuación 2.}$$

La densidad de un fluido esta definida por la relación entre la masa “ $m$ ” y el volumen contenido “ $V$ ”, ver ecuación 3.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 3.}$$

En la práctica de la medición de flujo es difícil llevar acabo la medición directa de la densidad por lo tanto aprovechando el hecho de que la densidad es función de la temperatura y de la presión podemos inferir el valor de esta. Ver ecuación 4.

$$\rho = \rho(T, P) \quad \text{Ecuación 4.}$$

Al derivar esta expresión y dársele un manejo matemático se generan dos términos que representan la compresibilidad de un fluido en términos de estas dos propiedades, como se aprecia en las siguientes ecuaciones. Ver ecuación 5 y 6.

$$d\rho = \left(\frac{\partial\rho}{\partial P}\right) * dP + \left(\frac{\partial\rho}{\partial T}\right) * dT \quad \text{Ecuación 5.}$$

Dividiendo por la densidad.

$$\frac{d\rho}{\rho} = \kappa * dP - \beta * dT \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde el parámetro ( $\beta$ ) se denomina “Coeficiente volumétrico de expansión térmica” de un fluido” este coeficiente proporciona una medida de la cantidad por la cual cambia la densidad como respuesta a un cambio en la temperatura mientras la presión se mantiene constante, (ver ecuación 7), y el parámetro ( $\kappa$ ) representa la compresibilidad de un fluido y relaciona el cambio diferencial de su densidad ocasionado por el cambio unitario en la presión manteniendo una temperatura constante (ver ecuación 8).

$$\beta = \left( -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_P \quad \text{Ecuación 7.}$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial P} \right)_T \quad \text{Ecuación 8.}$$

### 1.3 CARACTERISTICAS DEL FLUJO

Existen varias maneras de clasificar el flujo, pero siempre se encuentran por lo menos tres condiciones que deben considerarse:

- a. La ecuación de continuidad la cual establece que, para un flujo en régimen permanente, el caudal en masa de un fluido es el mismo en cualquiera de las secciones transversales de la tubería y si el fluido es incompresible el caudal volumétrico también se mantiene constante.
- b. La ley del movimiento de Newton aplicada para cada partícula del fluido en cada instante.

- c. En las paredes del tubo. La componente normal de la velocidad es igual a la velocidad del tubo. Para un fluido real la componente tangencial de la velocidad del fluido en la pared es cero, en relación a la pared de la tubería.

### **1.3.1 Flujo Ideal y Flujo Real**

El concepto de flujo ideal es una hipótesis la cual obedece a un modelo idealizado el cual nunca se presenta en la práctica y se define como un flujo en donde no existe atracción entre las partículas móviles adyacentes o lo que se entiende como la no existencia de viscosidad. En un flujo ideal se consideran las fuerzas internas, perpendiculares a cualquier sección. Por el contrario en ningún flujo real la viscosidad es nula.

### **1.3.2 Número de Reynolds.**

Este parámetro adimensional describe el comportamiento del flujo de un fluido a través de una tubería, este parámetro es de gran importancia en la medición de caudal de fluidos, y se define como:

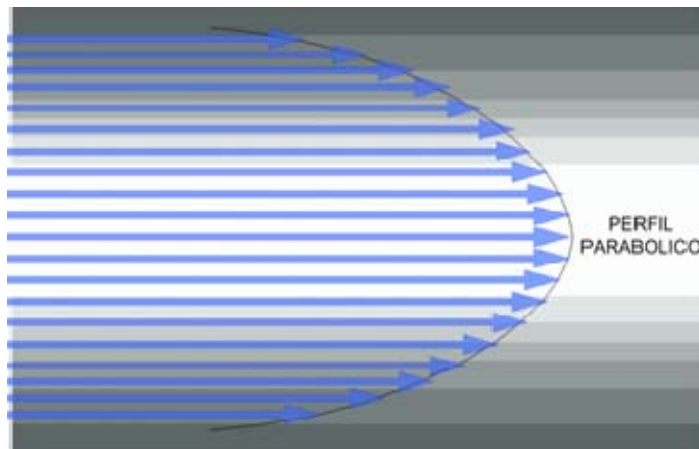
$$Re_D = \frac{\bar{\rho} \bar{v} D}{\mu} \quad \text{Ecuación 9.}$$

### **1.3.3 Flujo Laminar y Flujo Turbulento**

Existen dos regímenes en los cuales un fluido puede fluir por una tubería: flujo laminar y flujo turbulento. En el flujo laminar todas las partículas del

fluido se mueven en líneas rectas diferenciadas, paralelas al eje de la tubería y de modo ordenado. Este régimen es gobernado por la ley de Newton de la viscosidad y ocurre cuando el número de Reynolds ( $Re$ ) es inferior a 2000. En una tubería circular, la velocidad adyacente a las paredes es cero y aumenta hasta un valor máximo en el centro de la tubería. El perfil de velocidades posee la forma de una parábola y el valor de la velocidad media es la mitad del valor de la velocidad máxima la cual se da en el eje central. Ver Figura 1.

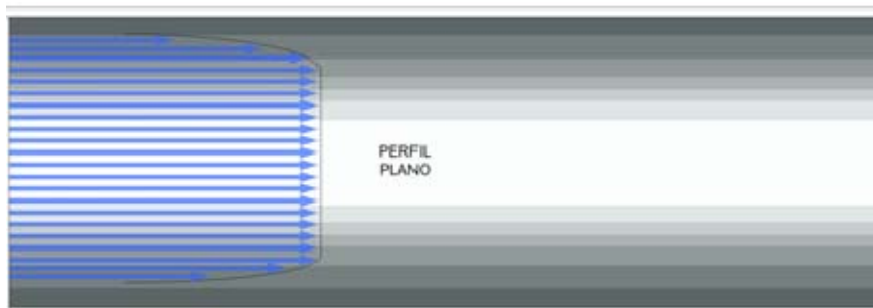
**Figura 1. Perfil de velocidades del flujo laminar.**



Por el contrario el régimen de flujo turbulento teóricamente se produce a números de Reynolds superiores a 2000, sin embargo en algunas situaciones este régimen se puede iniciar o continuar por debajo de números de Reynolds de 2000. En el flujo turbulento las fuerzas de inercia predominan y las fuerzas viscosas son secundarias. En un régimen como este no es posible distinguir líneas de corriente independientes, por lo tanto las partículas del fluido no siguen la misma trayectoria. El perfil de velocidades de un flujo turbulento en un tramo de tubería recto y lo suficientemente largo tiene un forma más achatada que la que se da en el perfil de un flujo laminar

(Ver Figura 2), y la velocidad en el centro es aproximadamente 1.2 veces la velocidad media dependiendo de la rugosidad de la tubería.

**Figura 2. Perfil de velocidades del flujo turbulento.**



En algunos caso el flujo laminar puede sufrir una transformación a flujo turbulento, esto se da cuando se presenta;

- a) Un cambio en la velocidad del flujo
- b) Alteraciones en el flujo propio.
- c) Un cambio en la rugosidad de la superficie por la cual se fluye.
- d) Cambien en el gradiente de presión. Las alteraciones en el flujo se amortiguan cuando la presión estática decrece con la distancia a lo largo del flujo y cuando esta presión aumenta las alteraciones se amplifican.
- e) Cambio en otros factores como la densidad del fluido, la longitud y el coeficiente de viscosidad.

### 1.3.4 Asimetría del perfil de velocidades.

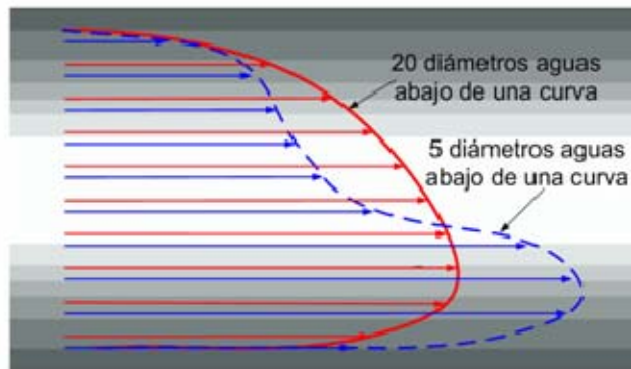
El perfil de velocidad de un flujo se puede distorsionar cuando:

- Existe un cambio de dirección en la tubería
- Al atravesar por diferentes accesorios como lo son; válvulas, reducciones o medidores.

En la Figura 3 se puede observar la variación de un perfil de velocidades a lo largo de una tubería aguas abajo de una curva.

La axisimetría del perfil es vital en el comportamiento de un medidor debido a que la desviación de un perfil obtenido en condiciones de calibración en comparación con uno obtenido en condiciones de operación arrojaría errores de medición de difícil cuantificación.

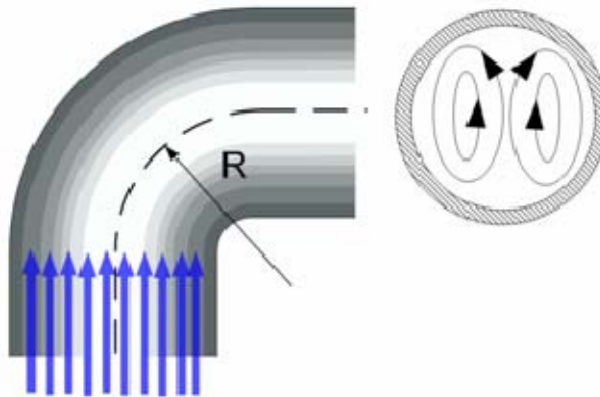
**Figura 3. Variación del perfil de velocidad aguas abajo de una curva.**



### 1.3.5 Rotación y remolinos (swirl).

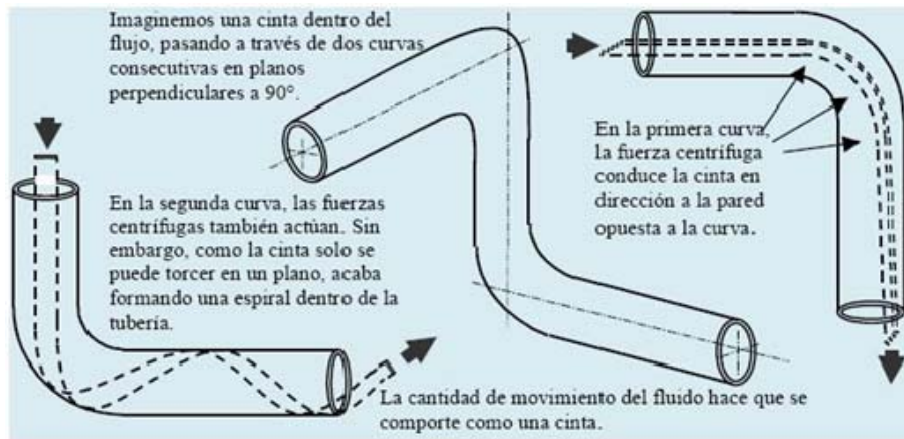
El flujo después de atravesar una curva sufre un fenómeno llamado flujo secundario el cual consiste en una rotación perpendicular al eje de la tubería del flujo, el cual se superpone al movimiento principal en la dirección del eje. Esta rotación se produce debido a la fricción de la tubería combinada con la fuerza centrífuga que experimenta el flujo debido a la curva. Ver Figura 4.

**Figura 4. Fenómeno del flujo secundario**



Otro fenómeno que se encuentra en la medición de flujo es el flujo rotacional en tres dimensiones también conocido como swirl, el cual se produce al existir dos curvaturas adyacentes posicionadas en planos diferentes, este tipo de arreglo produce que el flujo gire de forma helicoidal persistiendo este fenómeno por largas distancias. En la Figura 5 podemos ver una descripción mas detallada.

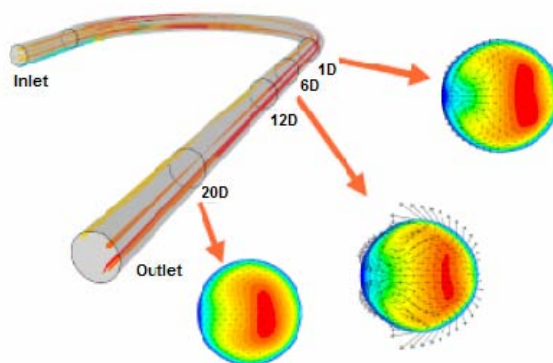
**Figura 5. Flujo helicoidal debido a dos curvas adyacentes en planos diferentes**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

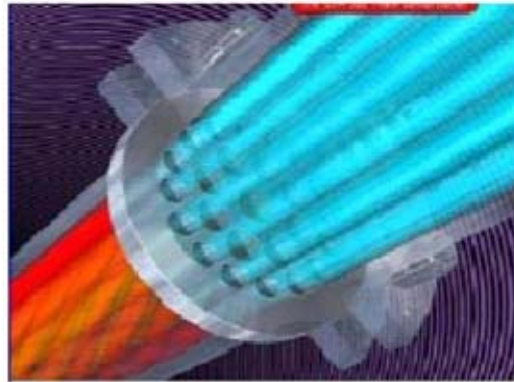
Cuando los números de Reynolds son altos este fenómeno decae a una tasa muy baja y entre mas bajos son los números de Reynolds mas baja es esta tasa, por lo cual es necesario para disminuir este fenómeno, existen 2 formas de contrarrestarlo, la primera dejando suficiente longitud de tubería para lograr la axisimetría (ver Figura 6) y la segunda mediante la instalación de acondicionadores de flujo, (Ver Figura 7) para que el perfil que ingrese al medidor sea lo mas axisimétrico posible.

**Figura 6. Perfil de velocidad de un flujo.**



Fuente: Ph.D Kazuto Kawakita.

**Figura 7. Acondicionador de flujo.**



Fuente: Corporación CDT de GAS

### **1.3.6 Flujo en régimen permanente y no permanente.**

Se dice que un fluido está en régimen permanente cuando en cualquier punto del espacio por donde fluye, sus características no varían con el tiempo. Teóricamente se puede tener un flujo en régimen permanente cuando este pertenece al flujo en régimen laminar, esto debido a que el flujo en régimen turbulento presenta fluctuaciones en la velocidad y en la presión en cada punto.

Un flujo en condiciones de régimen no permanente por el contrario presenta variaciones en sus características a lo largo del tiempo. Para efectos prácticos, cuando las características de un flujo varían de forma simétrica alrededor de un valor constante se puede considerar como flujo en régimen permanente.

### **1.3.7 Flujo compresible e incompresible.**

Otra clasificación que se le puede dar a un flujo es la de compresible e incompresible y esta depende del nivel de variación de la densidad del fluido durante su flujo. El flujo incompresible es una aproximación debido a que hasta los líquidos pueden ser comprimidos cuando se someten a muy altas presiones. Cuando se modela el comportamiento de un líquido como flujo incompresible se incurre en un porcentaje muy bajo, pero cuando son los gases modelados como flujos incompresibles el porcentaje de error depende del número de Mach. Para algunas aplicaciones se considera un flujo incompresible cuando la variación de la densidad es demasiado pequeñas o el número de Mach es igual o menor a 0,3.

## **1.4 PERDIDAS DE CARGA EN CONDUCTOS CERRADOS O TUBERIAS.**

Para el transporte de fluidos se utilizan dos clases de conductos los abiertos o canales y los cerrados o tuberías en los cuales el fluido se encuentra bajo presión o depresión. La pérdida de carga en la tubería puede ser de dos clases; primarias o secundarias. Las pérdidas primarias son las pérdidas de superficie debido al contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de una capa del fluido con otras (flujo laminar) o de las partículas del fluido entre sí (flujo turbulento). Las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma las cuales se presentan en transiciones como reducciones o ampliaciones, válvulas y accesorio de la tubería.

### **1.4.1 Pérdidas Primarias**

La energía de un fluido en movimiento en un punto de una sección 2 será igual a la energía en un punto de una sección 1 menos la energía perdida

entre los puntos 1 y 2 debido al rozamiento. La ecuación de Bernoulli con pérdidas y alturas equivalentes expresa este comportamiento. (Ver ecuación 10).

$$\frac{p_1}{\rho * g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 * g} - h_L = \frac{p_2}{\rho * g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde:

$p$  - Presión.

$\rho$  - Densidad del fluido.

$g$  - Constante de la gravedad.

$z$  - Altura.

$v$  - Velocidad del fluido.

$h_L$  - Pérdida primaria entre los puntos 1-2.

La pérdida “ $h_L$ ” por rozamiento en la tubería desde el punto 1 al punto 2 se expresa como una pérdida de altura en longitud. Esta pérdida causada por el esfuerzo cortante en la pared para un flujo desarrollado esta relacionada con la ecuación de Darcy-Weisbach. (Ver ecuación 11).

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

$f$  - Factor de fricción.

$L$  - Longitud de la tubería.

$D$  - Diámetro interno de la tubería.

La ecuación de Darcy-Weisbach es valida tanto para flujo laminar como para flujo turbulento y se puede utilizar en gases y vapores que fluyen por tuberías de diámetros constantes, si se tiene en cuenta la siguiente restricción:

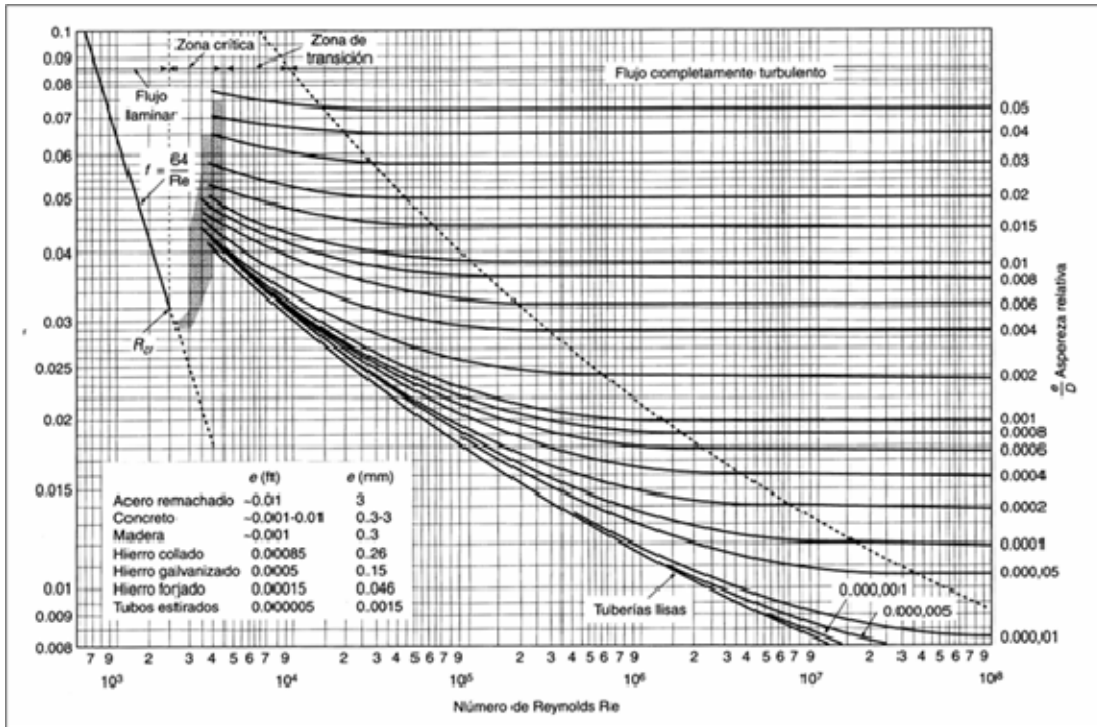
- Si la pérdida de presión calculada ( $P_1 - P_2$ ) es menor que el 10% de la presión de entrada se obtiene una exactitud razonable si el volumen específico que se introduce en la formula se basa en las condiciones de entrada o en las condiciones de salida, cualesquiera que sean conocidas.

La formula de Darcy puede ser deducida por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción “ $f$ ”, el cual debe ser determinado de manera experimental. Se ha encontrado que el factor de fricción para flujo laminar ( $R_e < 2000$ ) es función solamente del número de Reynolds y para condiciones de flujo turbulento ( $R_e > 4000$ ), es función del numero de Reynolds y del tipo de pared de la tubería. Si el flujo es laminar el factor de fricción “ $f$ ” puede ser determinado por la siguiente ecuación llamada la ecuación de Poiseuille. (Ver ecuación 12).

$$f = \frac{64}{R_e} \quad \text{Ecuación 12.}$$

Para flujo turbulento como el factor de fricción depende del numero de Reynolds y de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería “ $\frac{\epsilon}{D}$ ” podemos determinar su valor por medio del diagrama de Moody (Ver Figura 8).

Figura 8. Diagrama de Moody.



Fuente: Claudio Mataix.

El diagrama de Moody presenta las siguientes características:

- Para una aspereza de pared dada “ $\varepsilon$ ”, medida por una aspereza relativa “ $\frac{\varepsilon}{D}$ ” existe un valor para el número de Reynolds por encima del cual el factor de fricción es constante, definiendo el régimen completamente turbulento. Este comportamiento se puede describir de una forma aproximada con la siguiente ecuación. (Ver ecuación 13).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 * \text{Log} \left( 3.7 * \frac{D}{\varepsilon} \right) \quad \text{Ecuación 13.}$$

- Para valores de asperezas relativas “ $\left(\frac{\varepsilon}{D}\right)$ ” mas pequeños se observa que, al disminuir el valor del número de Reynolds, el valor del factor aumenta en la zona de transición y finalmente adquiere el mismo valor que para una tubería lisa. Igualmente este comportamiento se puede observar con la ecuación de Colebrook. (Ver ecuación 14)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \text{Log} \left( \frac{1}{3,7 * \frac{D}{\varepsilon}} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f}} \right) \quad \text{Ecuación 14.}$$

- Los valores de rugosidad dados en el diagrama de Moody son para tuberías nuevas, con el tiempo estas se ensucian y corroen aumentando de esta manera el factor de fricción.

#### **1.4.2 Perdas Secundarias.**

Este tipo de pérdida tienen lugar en los cambios de sección, dirección de la corriente como los que producen los; ensanchamiento, reducciones, codos, válvulas de diferentes tipo y demás accesorios de la tubería. Todos estos elementos producen perturbaciones en el flujo generando remolinos y desprendimiento aumentado de esta manera las pérdidas.

El cálculo de las pérdidas secundarias se puede realizar por dos métodos; el primer método utiliza una fórmula especial y un coeficiente de pérdidas adimensional de pérdidas secundarias y el segundo método utiliza la misma fórmula de pérdidas primarias, sustituyendo en dicha fórmula la longitud de la tubería “ $L$ ”, por una longitud equivalente “ $L_E$ ”.

**Ecuación fundamental de las pérdidas secundarias:** Es análoga a la ecuación de Darcy-Weisbach y se define de la siguiente manera:

$$h_{LS} = K * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

$h_{LS}$  - Pérdida de carga secundaria

$K$  - Coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria o coeficiente de resistencia.

El coeficiente adimensional o de resistencia depende del tipo de accesorio, del número de Reynolds, de la rugosidad y hasta de la configuración antes del accesorio, aunque para números de Reynolds mayores a  $R_e > 1 * 10^5$  no depende prácticamente del número de Reynolds. Los problemas prácticos con fluidos de poca viscosidad suelen entrar en este campo. Los valores del coeficiente adimensional o de resistencia se pueden encontrar en libros y formularios de mecánica de fluidos.

**Longitud de tubería equivalente:** Este segundo método consiste en considerar las pérdidas secundarias como longitudes equivalentes es decir longitudes en metros de un trozo de tubería del mismo diámetro que producirían las mismas pérdidas de carga que los accesorios en cuestión. Por lo tanto cada accesorio se sustituye por su longitud de tubería equivalente " $L_E$ " para el cálculo de pérdidas en un sistema de tuberías quedando la ecuación general de la siguiente forma:

$$h_{LT} = f * \frac{(L + \sum L_E)}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Donde:

$h_{LT}$  - Suma total de pérdidas primarias y secundarias.

$f$  - Factor de fricción. (Diagrama de Moody).

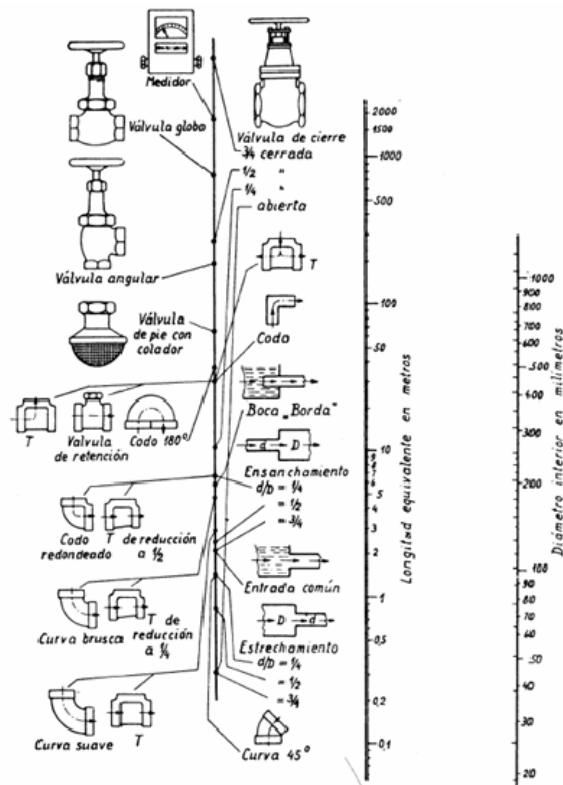
$L$  - Longitud total de los tramos rectos de tubería.

$\sum L_E$  - Suma de todas las longitudes equivalente de los diferentes accesorios.

$v$  - Velocidad media en la tubería.

Existen una serie de tabla y monogramas que muestran la longitud equivalente para cada tipo de accesorio dependiendo de su diámetro interno. Como se puede ver en la siguiente figura. (Ver Figura 9).

**Figura 9. Monograma de pérdidas de carga secundarias.**



Fuente: Gould Pump U.S.A

## CAPITULO 2

### 2 MEDICION DE CAUDAL DE FLUIDOS

#### 2.1 TIPOS BASICOS DE MEDICION DE CAUDAL

La medición de caudal se puede referir a cualquiera de los siguientes tipos de medición más comunes.

##### 2.1.1 Medición de la velocidad puntual.

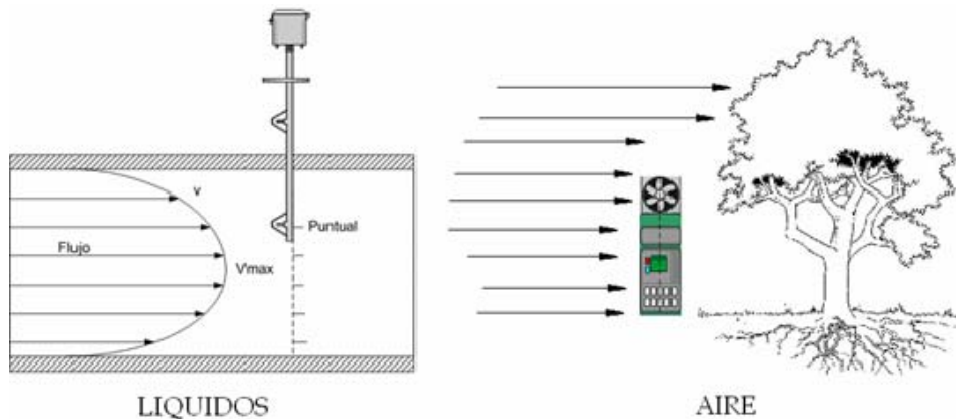
Como su nombre lo indica la idea principal es la medición de la velocidad en un punto “ $v$ ” del fluido cuando este fluye, para lo cual existen diversos instrumentos como lo son; el anemómetro cuando se utiliza para medir la velocidad del aire y los medidores de inserción si se utilizan específicamente dentro de tuberías y ductos (ver

Figura 10). La velocidad puntual se mide en diferentes puntos, ASHRAE estándar 111-88, The Associated Air Balanced Concil (AABC) y The National Environmental Balancing Bureau (NEBB) han adoptado la regla logarítmica de Tchebycheff para medir la velocidad puntual, debido a que la distribución de puntos por medir que considera esta regla, esta asociada con el efecto de la fricción en las paredes y la reducción de velocidad cerca de las paredes del ducto (Ver Figura 11).

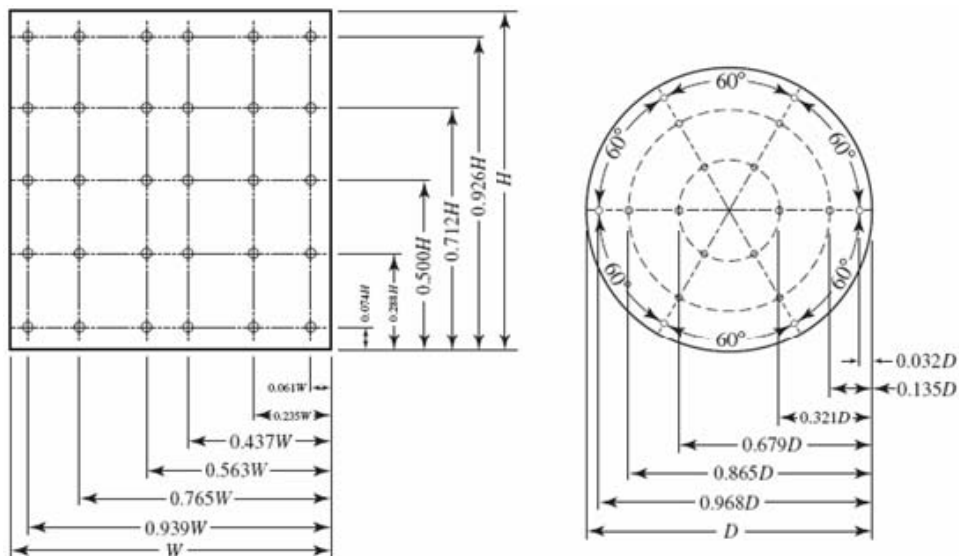
Una vez obtenida la velocidad puntual en estos puntos se puede calcular la velocidad promedio y conociéndose el área transversal del flujo se puede obtener un caudal volumétrico, dado por la ecuación:

$$Q_v = \bar{v} * A_{Transversal} \quad \text{Ecuación 17.}$$

**Figura 10. Medición de la velocidad puntual.**



**Figura 11. Puntos de medición de la velocidad puntual según la regla de Tchebycheff.**



Fuente: The Associated Air Balanced Concl.

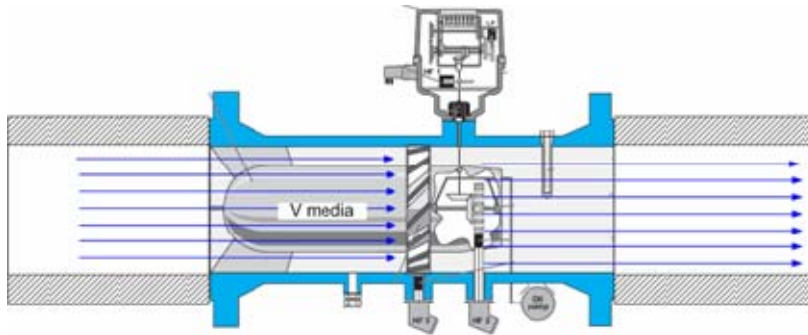
### 2.1.2 Medición de la velocidad media en tuberías.

En algunos casos es importante conocer o determinar la velocidad media de un flujo lo cual se puede lograr de diferentes formas:

1. Midiendo el caudal volumétrico, instalando en la tubería un medidor tipo turbina o rotativo (Ver Figura 12) y conociendo el área de la sección transversal de la tubería, aplicarse la siguiente ecuación.

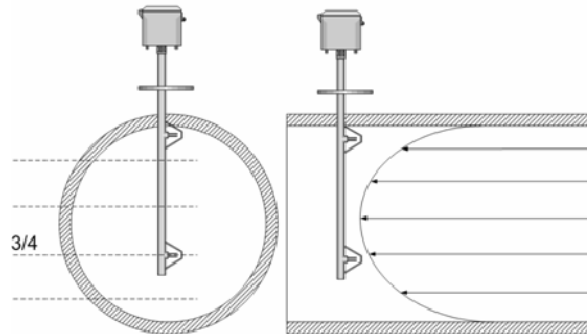
$$\bar{v} = \frac{Q_v}{A} \quad \text{Ecuación 18.}$$

**Figura 12. Medición de la velocidad media.**



2. Medir la velocidad puntual en varios puntos de una sección transversal determinada, obteniendo de esta forma una media ponderada.
3. Por ultimo la forma de menor precisión es midiendo la velocidad en un punto situado a  $\frac{3}{4}$  de distancia entre el centro y la pared de la tubería, debido a que en flujos completamente desarrollados, la velocidad del fluido en ese punto representa aproximadamente la velocidad media del flujo. Esto puede realizarse con un medidor de inserción.

**Figura 13. Medición de la velocidad media.**



### **2.1.3 Medición del caudal volumétrico.**

Consiste en la determinación de la cantidad de volumen que pasa de un fluido en un intervalo de tiempo. Por general los medidores son diseñados para indicar directamente el valor del volumen pero si aplicamos la definición de caudal volumétrico (ver ecuación 18), podemos conocer el valor de esté.

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 19.}$$

El cálculo, dependiendo del nivel de exactitud puede ser realizado con un sistema de adquisición de datos el cual recibe todas las señales que intervienen en el proceso y posteriormente calcula el caudal volumétrico.

### **2.1.4 Medición del volumen total**

Casi todos los medidores se diseñan para indicar directamente el volumen total “V” de fluido que pasa a través del medidor de caudal, este tipo de medidores se conocen como totalizadores. Dentro de este tipo de medidores podemos encontrar turbinas, ultrasónicos, rotativos y diafragma.

**Figura 14. Medidores de volumen.**



### **2.1.5 Medición de caudal másico**

Algunos medidores se encargan de indicar directamente el caudal másico de un fluido “ $Q_M$ ”, estos son conocidos como medidores másico verdaderos, el caudal másico de un fluido “ $Q_M$ ” representa el paso de una determinada masa de fluido durante un intervalo de tiempo, es decir:

$$Q_M = \frac{m}{t} \quad \text{Ecuación 20.}$$

Otra forma de conocer el parámetro  $Q_M$  sería determinando el caudal volumétrico  $Q_V$  y midiendo la densidad del fluido  $\rho$  y aplicando la siguiente relación:

$$Q_M = \rho * Q_V \quad \text{Ecuación 21.}$$

**Figura 15. Medidor de flujo másico.**



### **2.1.6 Medición de la masa total**

Para logra este tipo de medición es necesario medir  $Q_M$  e integrar las mediciones en un tiempo determinado, lo cual podría lograrse con un sistema de recepción de señales el cual realice este calculo de una forma exacta. Otra forma seria medir el volumen total del fluido  $V$  y conocer la densidad de este  $\rho$  y utilizar la ecuación:

$$m = \rho * V \quad \text{Ecuación 22.}$$

Actualmente se pueden encontrar medidores con la capacidad de medir directamente la masa total, como por ejemplo el medidor másico el cual esta en capacidad de realizar la medición de la masa total según la configuración interna del medidor.

## **2.2 TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDAL.**

Para la medición de caudal se pueden encontrar una gran serie de instrumentos en el mercado los cuales pueden ser clasificados según una

gran variedad de criterios como lo son; el rango, la precisión, la pérdida de presión, el tipo de fluido, su calibración, su principio de funcionamiento, etc.

Entre el gran número de clasificaciones, podemos encontrar una en donde todos estos instrumentos se dividen en cuatro grandes grupos (Ver Figura 16).

**Figura 16. Clasificación de medidores de flujo.**



### 2.2.1 Medidores de velocidad.

En este tipo de instrumentos un dispositivo primario genera una señal proporcional a la velocidad del fluido. Entre alguna de sus ventajas encontramos que, algunos medidores de este tipo no presentan mayores interferencias al flujo del fluido y generan una señal lineal de salida con respecto al flujo lo cual permite, el que no se relacionen con la raíz cuadrada del diferencial de presión eliminando de esta forma las potenciales inexactitudes generadas en el calculo de la raíz cuadrada y justificando su gran rango de aplicación con respecto a otros medidores de flujo. Dentro de esta clasificación podemos encontrar los medidores tipo turbina, ultrasónicos y magnéticos. (Ver Figura 17).

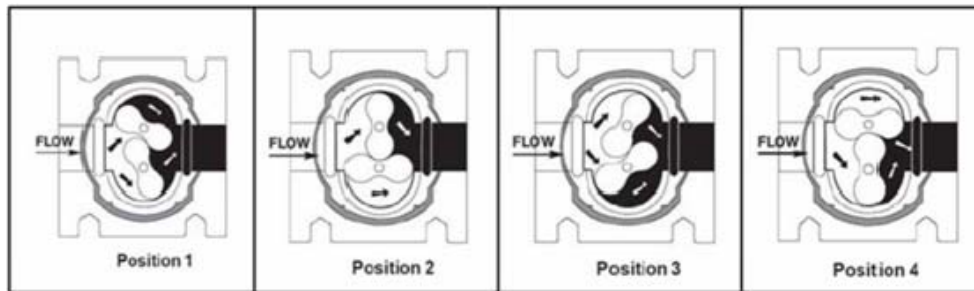
**Figura 17. Medidores de velocidad.**



### **2.2.2 Medidores de desplazamiento positivo.**

Este tipo de medidores como su nombre lo indica, operan bajo el principio de desplazamiento (Ver Figura 18), el fluido al pasar por el contador produce una pérdida de presión entre la entrada y la salida provocando de esta forma el movimiento rotativo de los diferentes elementos que forman la cámara la cual se llena y se vacía con el paso del fluido. Los medidores de desplazamiento positivo frecuentemente totalizan el flujo a través de la cuantificación de una integral pero ellos también pueden generar un pulso de salida el cual puede ser leído por un instrumento o por medio de la transmisión a un cuarto de control. Estos medidores pueden ser menos precisos que otros medidores debido a que se pueden presentar fugas internas entre sus elementos móviles.

**Figura 18. Principio de funcionamiento de un medidor rotativo.**

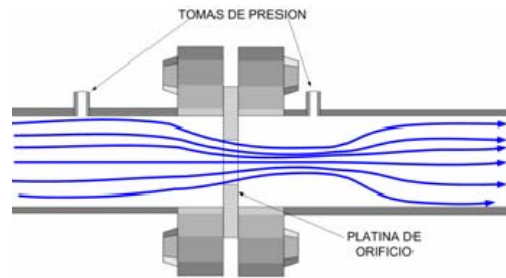


Fuente: Corporación CDT de GAS.

### **2.2.3 Medidores de presión diferencial.**

Miden el flujo de un fluido de forma indirecta gracias a la determinación de la diferencia de presión, producida por una restricción hecha al flujo. (Ver Figura 19). Este tipo de medidores también son conocidos como medidores de cabeza y por lo general son simples y de gran disponibilidad y ofrecen una mayor flexibilidad en diferentes aplicaciones. Este tipo de medidores consta de dos componentes principales; un dispositivo primario y uno secundario. El dispositivo primario el cual se selecciona según la compatibilidad con el fluido específico o la aplicación, se instala en la tubería para restringir el flujo y generar de esta manera una diferencia de presión. El dispositivo secundario mide el diferencial de presión y provee una señal al sistema de control, lo cual hace que el tipo de recepción de señal sea un factor importante para su selección. Una de las principales ventajas de este tipo de medidores es que no requiere de una calibración en laboratorio debido a que el coeficiente de descarga puede ser calculado por medio de relaciones empíricas, esto siempre y cuando su instalación cumpla con los requerimientos de una norma.

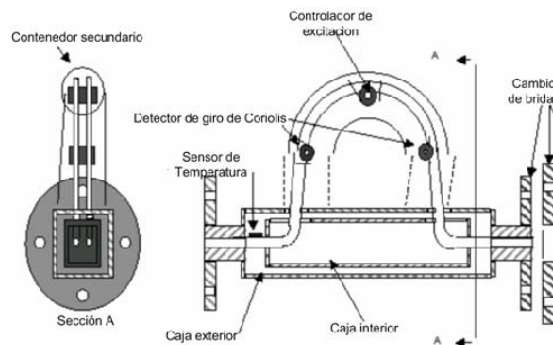
**Figura 19. Medición de flujo con platinas de orificio.**



### 2.2.4 Medidores másicos.

La característica que distingue a esta clase de medidores de las otras clases es el hecho de que, los medidores másicos miden directamente el flujo másico y no el flujo volumétrico. Estos medidores combinan dos dispositivos de medición uno para medir el caudal volumétrico y el otro para medir la densidad del fluido (para líquidos), estas dos entradas o señales son combinadas en un microprocesador el cual arroja como resultado el caudal másico. Se pueden encontrar otros medidores de este tipo, los cuales no necesitan realizar la medición del flujo volumétrico y la densidad del fluido como lo son; los medidores térmicos y los de coriolis.

**Figura 20. Medidor de coriolis**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

## CAPITULO 3

### 3 CALIBRACION DE MEDIDORES DE FLUJO DE GAS

#### 3.1 DEFINICION Y GENERALIDADES

Para determinar la conformidad de un producto o servicio con respecto a las normas existentes, se deben realizar pruebas y ensayos mediante aparatos e instrumentos de medición. La medición correcta de estos instrumentos tiene una gran importancia para las partes involucradas y para el entorno debido a los altos niveles de exigencia y calidad en el contexto mundial. En el campo de la metrología, la cual es la ciencia de las mediciones, se dice que toda medición tiene un error, lo cual hace necesario determinar el error de indicación de este instrumento mediante una comparación de su indicación con la de un patrón de incertidumbre conocida.

La calibración se define como “un conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores de las magnitudes que indique un instrumento de medición o un sistema de medición, y los valores correspondientes determinados por medio de patrones”<sup>1</sup>. El resultado de una calibración permite bien sea asignar a las indicaciones los valores de las magnitudes por medir, o determinar las correcciones con respecto a las indicaciones. Una calibración también puede determinar otras propiedades metrológicas tales como el efecto de las magnitudes de influencia, los resultados de una calibración se pueden

---

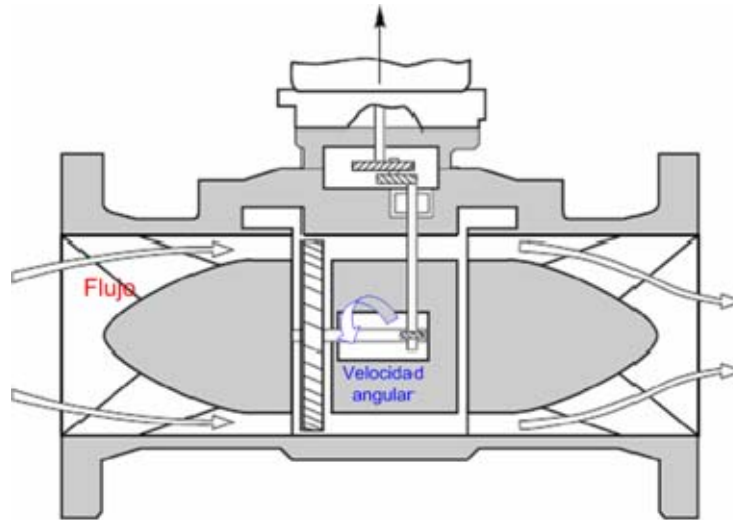
<sup>1</sup> Definición tomada del VIM 6.11 (Vocabulario Internacional de Metrología).

registrar en un documento al cual se le llama certificado de calibración el cual es emitido por un laboratorio de calibración, encargado de asegurar que los equipos de medición, los patrones de trabajo y de referencia estén acordes y trazables a patrones nacionales e internacionales.

Para la realización de una calibración se deben tener en cuenta algunos factores como los siguientes:

- El principio de medición, el cual es el fundamento científico usado para realizar una medición. Por ejemplo en el caso de la medición de caudal utilizando una turbina el principio de medición es la dependencia de la velocidad angular del rotor con respecto al flujo, al aumentar el flujo aumenta la velocidad angular (Ver Figura 21). El conocimiento del principio de la medición es fundamental para poder dominar la medición; permitiéndonos modificarla, diseñar otra, evaluar su conveniencia, además de esto poder estimar la incertidumbre asociada a esta medición.
- El método el cual es la secuencia lógica de operaciones genéricas y el procedimiento de medición que es donde se describe de forma detallada de los pasos a seguir para llevar a cabo la medición y también se describen las condiciones ambientales bajo las cuales se debe realizar la medición.

**Figura 21. Principio de operación cuando se utiliza una turbina.**



- El instrumento que puede ser un equipo de medición (medidor y su sistema de adquisición de datos), un sistema de medición (medidor y todos los elementos que intervienen en la medición como lo son la tubería, medidores de presión y temperatura y el sistema de adquisición de datos), o un dispositivo de medición (turbina).
- Patrón de medición, el cual se define como "medida materializada, instrumento de medición, material de referencia, o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia"<sup>2</sup>. Estos patrones pueden ser primarios, secundarios, de referencia, de transferencia o de trabajo. Un ejemplo de patrón de medición puede ser un medidor tipo turbina con excelentes características metroológicas como baja incertidumbre y gran exactitud.

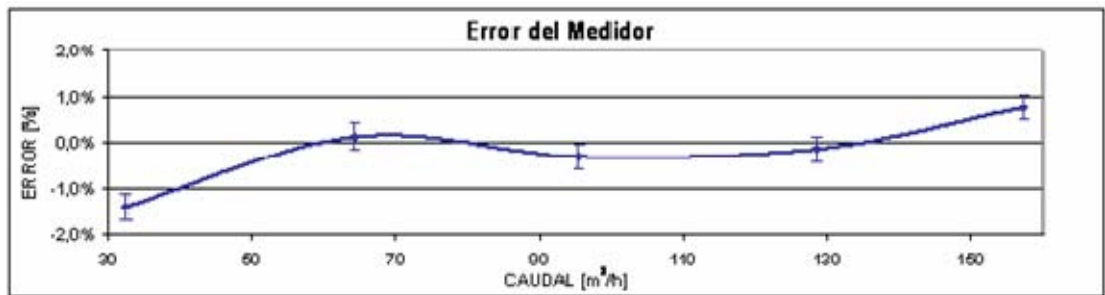
---

<sup>2</sup> Definición tomada del VIM 6.1 (Vocabulario Internacional de Metrología).

### 3.1.1 Curvas de calibración para medidores de flujo de gas.

También conocidas como curvas características o de desempeño, son gráficos en donde se muestra la forma en que puede variar el desempeño de un medidor con respecto al caudal (Ver Figura 22), a la velocidad o al número de Reynolds. El desempeño de un medidor está asociado al porcentaje de error registrado en una calibración, en la cual se realizan una serie de pruebas a lo largo de todo el alcance o rango de operación del medidor, comparando las lecturas de este contra las de un medidor de clase o exactitud mayor.

Figura 22. Curva de calibración de un medidor de flujo.



Fuente: Corporación CDT de GAS.

### 3.1.2 Error de indicación del medidor de caudal.

Se define como:

$$\varepsilon = \frac{V_i - V_{CV}}{V_{CV}} \text{ O porcentualmente, } \varepsilon = \frac{V_i - V_{CV}}{V_{CV}} * 100 \quad \text{Ecuación 23.}$$

Donde:

$V_t$  - Volumen convencionalmente verdadero.

$V_i$  - Volumen indicado.

Generalmente, el error se expresa en términos de porcentajes respecto al valor convencionalmente verdadero.

### **3.1.3 Trazabilidad.**

Definida como la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, en virtud de la cual ese resultado se puede relacionar con referencias estipuladas, generalmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena interrumpida de comparaciones que tengan todas incertidumbres determinadas<sup>3</sup>. Para entender mejor este concepto se puede observar la carta de trazabilidad mostrada en la siguiente figura,(Ver

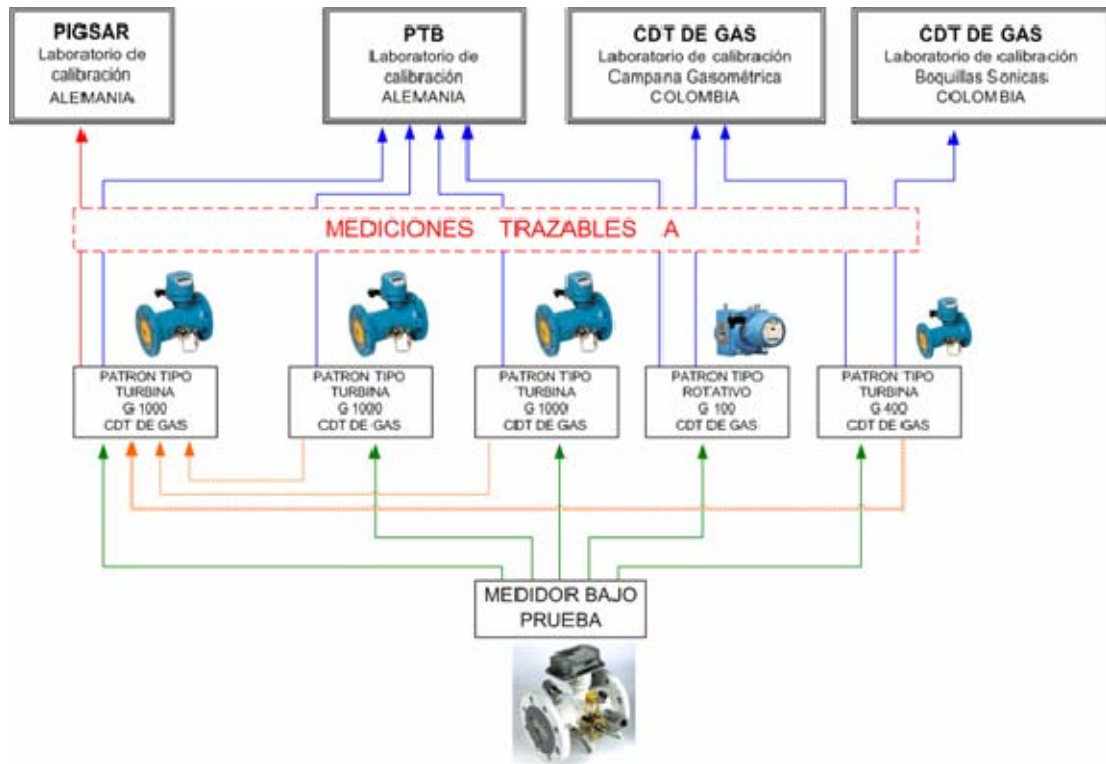
---

<sup>3</sup> Definición dada por el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología)

Figura 23), en donde se puede observar la relación que existe entre las mediciones realizadas por un medidor bajo prueba y un patrón, cuando existe esta relación podemos decir que las mediciones son trazables, por lo cual cualquier medidor de gas de alto caudal calibrado en el CDT de GAS tendrá trazabilidad a patrones del CDT de GAS los cuales a su vez tienen trazabilidad a laboratorios internacionales como PIGSAR y el PTB de Alemania.

Al tener un patrón con trazabilidad a dos laboratorios diferentes se cuenta con la ventaja de poder dar trazabilidad a los demás patrones (Trazables a un solo laboratorio), realizando calibraciones internas, pudiéndose de esta manera implementar un aseguramiento metrológico más económico.

Figura 23. Carta de trazabilidad de medidores de flujo.



### 3.2 CALIBRACION

La calibración es sencillamente la comparación de un sistema de medición con respecto a otro de mejor calidad. El proceso de calibración de medidores de gas consiste básicamente en medir un flujo de aire o de gas inducido por un ventilador, este flujo es medido tanto por un medidor bajo prueba como por un medidor patrón los cuales están instalados en serie y unidos por tubería, el medidor patrón puede ser primario o secundario. Cada sistema de medición esta compuesto por tres grupos principales:

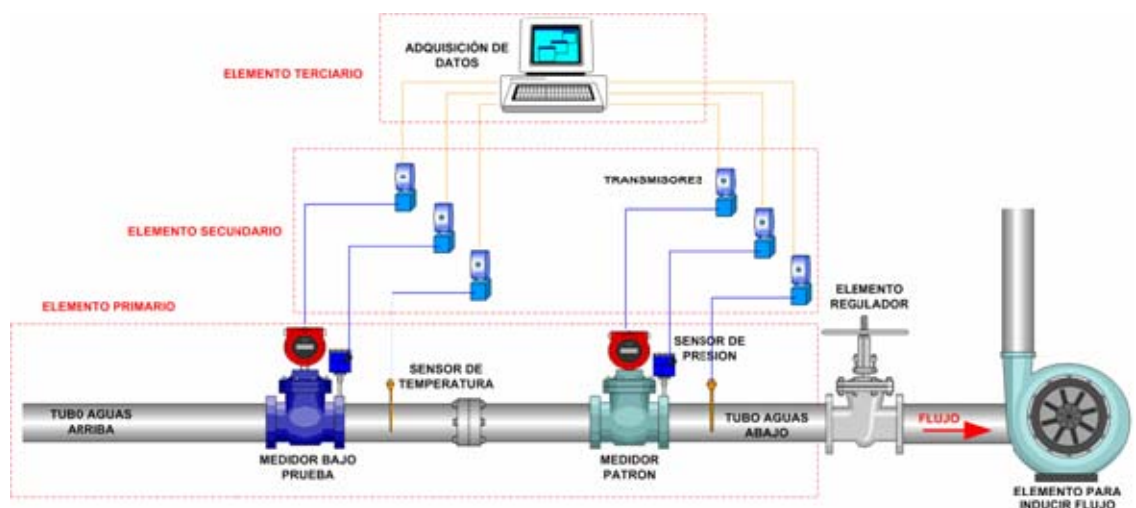
*Elemento primario:* esta compuesto por los tubos aguas arriba, aguas abajo y el medidor de flujo, este grupo se caracteriza por que sus elementos tiene relación directa con la magnitud que se esta midiendo, en este caso el flujo.

*Elemento secundario:* Se nombra así a los elementos encargados adquirir y transmitir las señales generadas por los sensores o elementos de medición ejemplos de elementos secundarios son los sensores de temperatura como lo son las RTD, los sensores de presión y los transductores de presión y temperatura.

*Elemento terciario:* Elemento encargados de la adquisición de datos o señales generadas por los elementos primarios y secundarios.

Una vez recibida toda la información por los elementos terciarios sobre el comportamiento del medidor bajo prueba con respecto al patrón de calibración, se procede a generar un informe de calibración en donde se evidencia el estado metrológico del medidor. (Ver Figura 24).

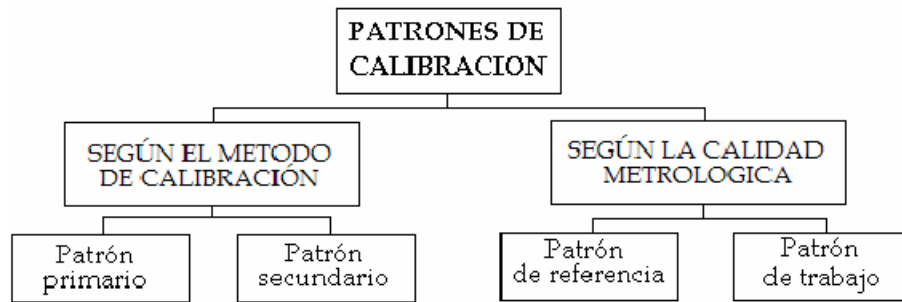
**Figura 24. Calibración de medidores de Gas.**



### 3.2.1 Patrones de calibración

En la medición de flujo no existe un patrón que de forma directa reproduzca físicamente la magnitud en cuestión, diferente a cuando se realizan mediciones de longitud o masa. Por lo tanto los patrones de flujo se derivan a partir de mediciones relacionadas a patrones de magnitudes fundamentales como lo son longitud, masa y tiempo. Los patrones de calibración se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Figura 25. Clasificación de patrones de medición.**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

### 3.2.2 Patrón primario.

El VIM define al patrón primario como “Patrón que es designado o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metroológicas, y cuyo valor se acepta sin referenciarlo a otros patrones de la misma magnitud”, La principal característica de los patrones primarios es que pueden ser calibrados con patrones de diferentes magnitudes. Un ejemplo de patrón primario es la campana gasométrica debido a su diseño y principio de operación posee la cualidad de ser calibrada por medio de un proceso conocido como strapping, el cual consiste en comparar el volumen registrado por la campana con el volumen que puede ser calculado conociéndose el

valor del diámetro y la distancia recorrida por la campana, en donde la medición del diámetro y la distancia se realiza con un patrón de longitud.

### **3.2.3 Patrón secundario.**

El VIM define al patrón secundario como “El patrón cuyo valor se asigna mediante comparación con un patrón de la misma magnitud”. Ejemplo de un patrón secundario es una turbina cuya calibración se realiza mediante la comparación con un patrón de la misma magnitud, en este caso contra un patrón de medición de flujo volumétrico.

### **3.2.4 Patrón de referencia**

El patrón que generalmente posee la máxima calidad metrológica en un sitio dado y del cual se derivan las mediciones hechas en dicho lugar el VIM lo denomina como patrón de referencia. Un ejemplo de patrón de referencia es la turbina G-1000 del banco de calibración que fue calibrada en el PTB a baja presión y en PIGSAR a alta presión convirtiéndose en la turbina de mejor calidad metrológica.

### **3.2.5 Patrón de trabajo.**

El VIM denomina como patrón de trabajo al patrón que se utiliza rutinariamente para calibrar o comparar instrumentos de medición. Un patrón de trabajo generalmente se calibra contra un patrón de referencia.

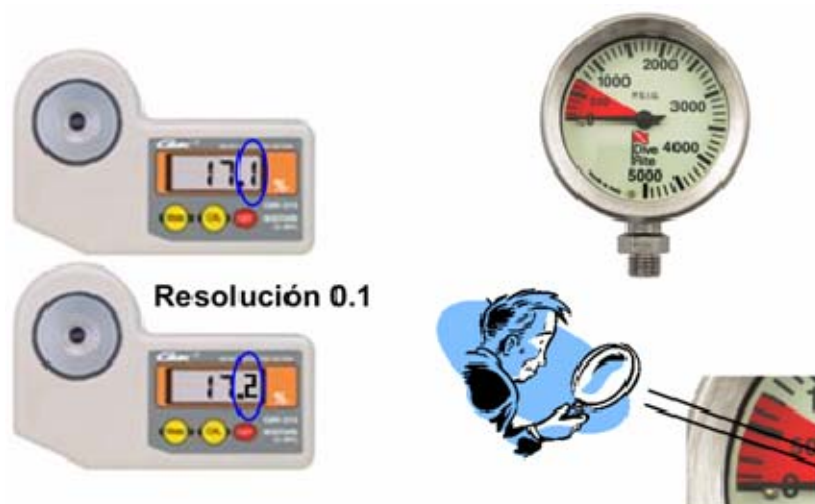
### 3.3 PROPIEDADES DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICION.

Todo instrumento utilizado para cuantificar una magnitud tiene ciertas características que son representativas de su comportamiento y su desempeño.

#### 3.3.1 Resolución

Termino utilizado para describir la menor diferencia entre indicaciones que puede alcanzar a percibirse en el instrumento o dispositivo indicador. Para dispositivos indicadores digitales, es la variación en la indicación cuando el dígito menos significativo varía en una unidad. En el caso de instrumentos o indicadores de tipo analógico, la resolución es diferente de la mínima división de escala, asociándose a la posibilidad que tiene un observador de hacer subdivisiones entre dos marcas de la escala. (Ver Figura 26).

**Figura 26. Resolución para indicadores análogos y digitales.**

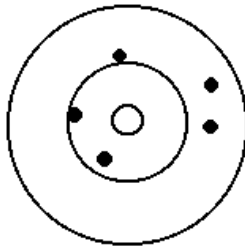


### 3.3.2 Repetibilidad

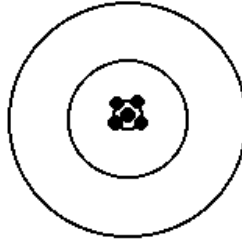
La repetibilidad de un instrumento de medición es una indicación de su capacidad de entregar el mismo resultado cuando se utiliza para medir la misma cantidad varias veces sucesivamente. Un valor numérico de la repetibilidad puede obtenerse experimentalmente instalando dos medidores idénticos lado a lado y comparando sus lecturas innumerables veces de forma sucesiva. El indicador dado a la repetibilidad es el porcentaje “%”, el cual se obtiene de calcular la desviación estándar de las medidas realizadas.

La repetibilidad se confunde frecuentemente con la exactitud, lo que se desvirtúa en los gráficos mostrados en la siguiente figura (Ver Figura 27), mostrando que no son bajo ningún punto de vista, el mismo concepto.

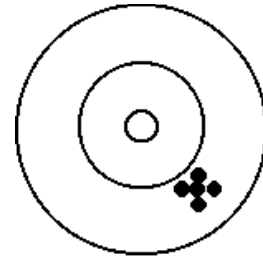
**Figura 27. Diferencias entre la repetibilidad y la exactitud.**



Baja repetibilidad  
significa baja exactitud.



Alta exactitud significa  
alta repetibilidad.



Alta repetibilidad no  
significa necesariamente  
alta exactitud.

### **3.3.3 Reproducibilidad.**

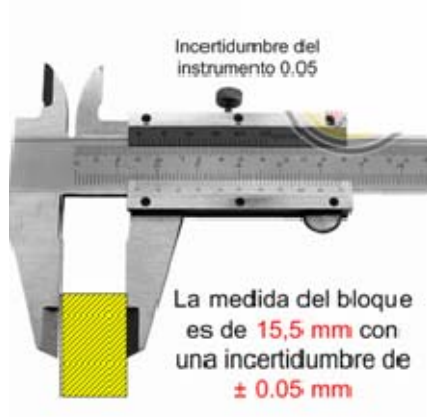
Este término refleja la capacidad que posee un instrumento de entregar el mismo resultado cuando se utiliza para medir la misma magnitud en instantes diferentes, estas mediciones se realizan en las mismas condiciones a lo largo del tiempo. La reproducibilidad es una cualidad que debe evaluarse a largo plazo. Una forma de evaluar esta cualidad sería calcular la desviación estándar de los resultados generados en distintas mediciones a lo largo del tiempo y dar un indicativo de la reproducibilidad en porcentaje “%”. Existen normas que clasifican si un instrumento es reproducible o no.

### **3.3.4 Exactitud e incertidumbre.**

En el vocabulario internacional de metrología se define la exactitud como, “la cercanía del acuerdo entre el resultado de una medición y un valor verdadero de la magnitud por medir” o en otras palabras es la medida de la capacidad de un instrumento de decir la verdad. En la actualidad, el término internacionalmente aceptado para expresar la exactitud o inexactitud de una medición es el término incertidumbre. El cual tiene un significado preciso y debería utilizarse asociado a los resultados de todas las mediciones. La incertidumbre se define como “Parámetro asociado con el resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud por medir”<sup>4</sup>. La incertidumbre se puede expresar en términos de la magnitud medida o en porcentaje. Por ejemplo en la medición de la longitud de un bloque utilizando un calibrador con resolución 0.1 mm e incertidumbre según certificado de calibración del instrumento de  $\pm 0.05$

mm, el resultado de esta medición se expresa como se muestra en la Figura 28.

**Figura 28. Expresión de la incertidumbre en una medición.**



### 3.3.5 Alcance de medición y linealidad

El alcance de medición de un instrumento se define como el campo de trabajo en el cual, el instrumento cumple los requisitos para una determinada exactitud por ejemplo el alcance de medición de un medidor tipo turbina G-100 es desde 32 m<sup>3</sup>/h hasta 160 m<sup>3</sup>/h.

La linealidad de un instrumento indica cuanto es su desempeño, cuando trabajando en su rango efectivo de medición, difiere del ideal, la linealidad se da en porcentaje y se expresa como la desviación del valor verdadero.

---

<sup>4</sup> Definición dada por el VIM 3.9 (Vocabulario Internacional de Metrología)

### **3.3.6 Rangeabilidad.**

Es la capacidad de un medidor de trabajar en un intervalo de caudal en el cual se garanticen condiciones de medición, existen tres parámetros importantes a tener en cuenta cuando se habla de rangeabilidad.

- Caudal mínimo ( $Q_{min}$ ): es el caudal mínimo que se necesita para vencer las fuerzas de inercia y garantizar el paso de flujo a través del medidor.
- Caudal de transición ( $Q_t$ ): es el caudal mínimo a partir del cual la medición entrega valores aceptables.  $Q_t > Q_{min}$ .
- Caudal máximo ( $Q_{max}$ ): es el caudal máximo para el cual se diseñó el medidor, sobrepasar este valor implica errores en la medición y daño estructural.

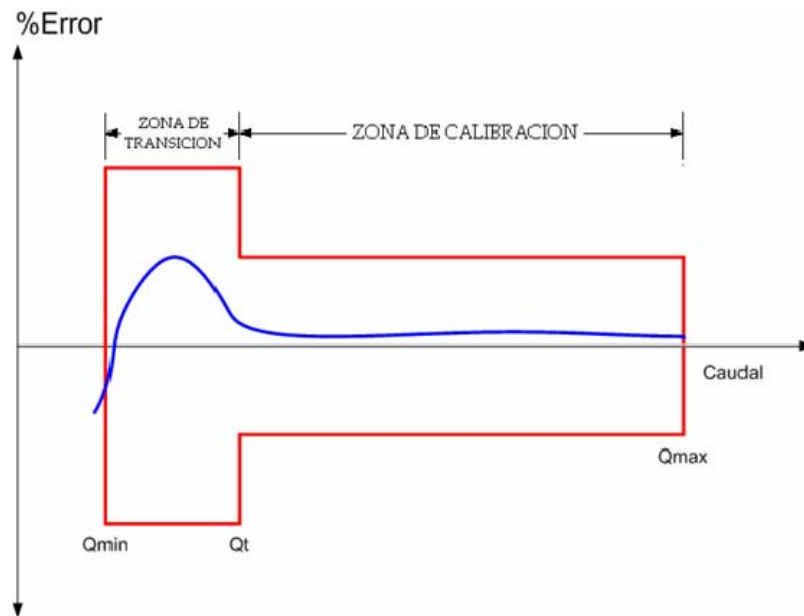
### **3.3.7 Zona de calibración.**

La zona de calibración es la zona en la cual el medidor brinda la linealidad necesaria para que la medición tenga una baja incertidumbre (ver Figura 29), esta definida por el  $Q_t$  que es el caudal en el cual se pasa de la zona de transición a la zona de calibración y el  $Q_{max}$  que es el caudal máximo para el cual fue diseñado el medidor. En esta zona las variaciones de flujo son mínimas debido a que el medidor se encuentra operando en su alcance de diseño, el  $Q_t$  depende de la calibración realizada en fábrica.

La zona de transición se encuentra limitada por el  $Q_{min}$  y el  $Q_t$ , esta zona no es apta para la calibración porque el medidor presenta variaciones en el flujo

que pasa a través de él, lo que se traduce en errores de medición y aumento en la incertidumbre de medición.

**Figura 29. Zona de calibración.**



### 3.4 FORMAS PARA CALIBRAR MEDIDORES DE GAS.

En los laboratorios de metrología y calibración podemos encontrar diferentes formas de calibrar medidores de gas que dependen de parámetros tales como la incertidumbre objetivo, el patrón utilizado, el alcance de calibración (Alcance o rango de caudal), el tamaño del medidor a calibrar y la presión de operación, entre otras.

A continuación se muestra una tabla (Ver Tabla 1), en donde podemos encontrar los dispositivos utilizados actualmente en la Corporación CDT de GAS para realizar calibraciones de medidores de gas. Es necesario aclarar que todas cumplen una estructura básica la cual comprende la comparación

entre la medición realizada por el patrón y la realizada por el medidor en calibración.

**Tabla 1. Dispositivos para la calibración de medidores de gas.**

	<b>MODO DE OPERACION</b>	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>	<b>RANGO DE OPERACION</b>
<b>CAMPANA GASOMÉTRICA</b>	Baja presión	-Baja incertidumbre. -Fácil operación y calibración.	-Trabaja solo con presiones cerca de la atmosférica. -Limitación en el volumen de prueba	0.1 – 400 m <sup>3</sup> /h
<b>GRAVIMETRICO POR ASPIRACION</b>	Baja presión	-Principio de operación simple. -Bajas incertidumbres.	-Poca estabilidad. -Partes móviles.	0.1 – 3.5 m <sup>3</sup> /h
<b>PISTONES</b>	Baja presión	-Maneja los más bajos caudales. -Incertidumbres muy bajas.	-Partes móviles susceptibles de desgaste.	0.00006 – 3 m <sup>3</sup> /h
<b>BOQUILLAS</b>	Alta y baja presión	-Estables a largo plazo. -Baja incertidumbre. -Fácil operación.	-Caudales restringidos para cada boquilla.	0.02 – 600 m <sup>3</sup> /h
<b>CAMARAS HÚMEDAS</b>	Baja presión	-Equipo integral. -Fácil operación. -Facilidad de transporte.	-Líquido sellante evaporable y costoso. -Partes móviles susceptibles a desgaste. -Sensibles al nivel y calidad.	0.03 – 24 m <sup>3</sup> /h

<b>TURBINAS</b>	Alta y baja presión	-Amplio rango de operación -Reconocidas internacionalmente	- Efectos de fricción mecánica. -Desgaste por partes móviles. -Altos costos de construcción y calibración.	10 -1600 m <sup>3</sup> /h
-----------------	---------------------	---	--	----------------------------

Fuente: Corporación CDT de GAS

### 3.4.1 Calibración con Campana gasométrica.

Este dispositivo es usado muy comúnmente en calibraciones a baja presión, el principio de funcionamiento de este dispositivo es el desplazamiento de aire dentro de un volumen llamado campana, la cual se eleva a medida que se llena de aire, un baño de aceite sirve como sello, la campana debe tener una baja fricción y ser liviana. El área del cilindro de la campana es una variable conocida (A) y midiendo el desplazamiento de esta (L) cuando se llena de aire podemos conocer el volumen ocupado, el cual es comparado con el volumen del medidor bajo prueba.

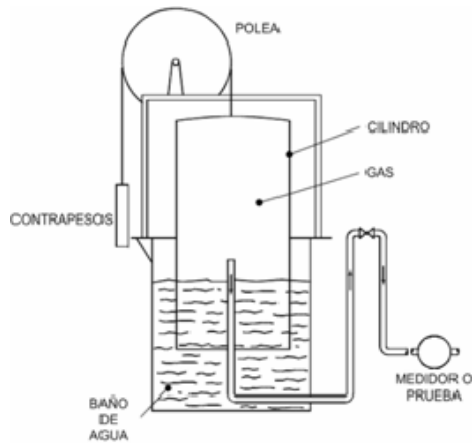
$$V = A \cdot L \quad \text{Ecuación 24.}$$

### 3.4.2 Calibración con patrón Gravimétrico por aspiración.

En este sistema se tiene un tanque esférico que contiene un fluido con una densidad conocida, se hace pasar este fluido desde el tanque esférico hasta un tanque el cual se encuentra sobre una balanza, cuando el liquido fluye se genera una presión de vacío la cual induce un flujo de aire, este flujo es registrado por el medidor bajo prueba, si conocemos el peso del liquido y la densidad se logra conocer el volumen desplazado y de esta manera realizar

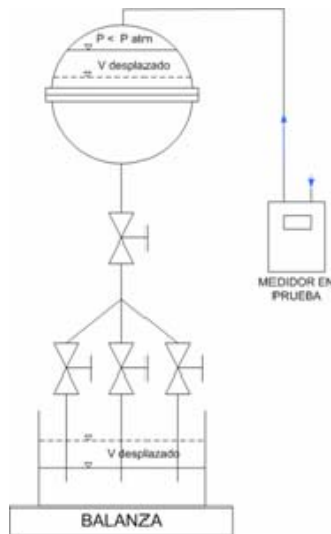
un comparación entre la lecturas dadas por el medidor bajo prueba y el patrón. (Ver Figura 31).

**Figura 30. Campana Gasométrica.**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

**Figura 31. Método gravimétrico por aspiración.**



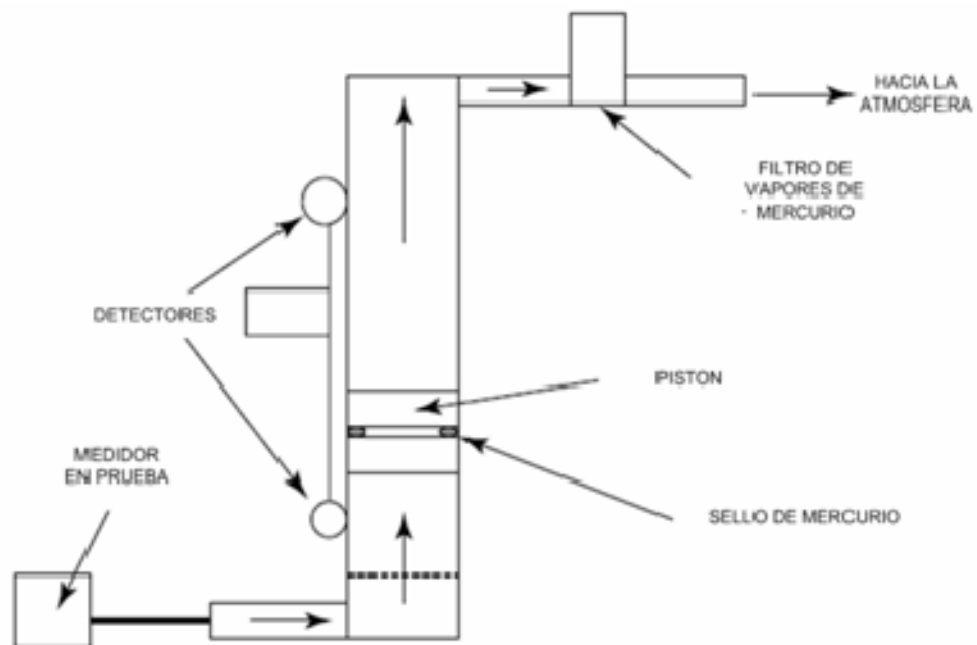
### 3.4.3 Calibración con un Pistón.

El principio de funcionamiento es idéntico al de la campana gasométrica, el cual es de tipo desplazamiento positivo, en donde se hace pasar un volumen determinado el cual desplaza el pistón cierta longitud (L) y con el área conocida (A) se puede conocer el volumen (V) según la ecuación:

$$V = A_{\text{pistón}} \cdot L \quad \text{Ecuación 25.}$$

Este volumen V es comparado posteriormente con el registrado por el medidor en prueba. Presenta una incertidumbre baja y trabaja a presiones un poco por encima de la atmosférica y con caudales muy bajos. (Ver Figura 32).

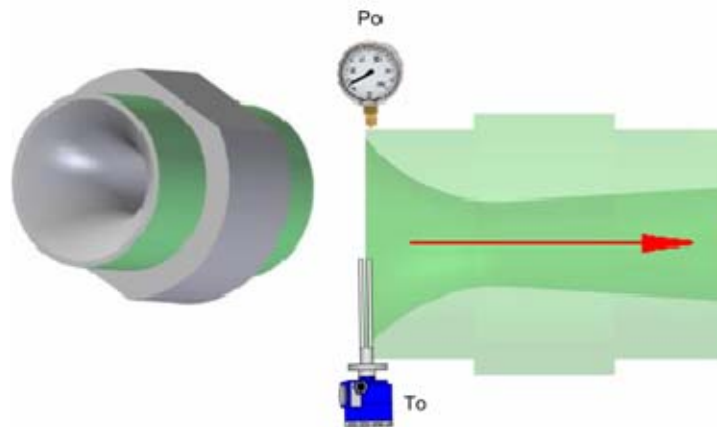
**Figura 32. Calibración con pistón.**



### 3.4.4 Calibración con banco de Boquillas.

Este método de prueba utiliza un patrón tipo boquilla sónica el cual esta fundamentado en el hecho de que; un flujo al pasar por una boquilla con un excelente acabado superficial aumenta su velocidad al punto de alcanzar la velocidad sónica en la garganta de la boquilla, lo cual hace que la diferencia de presión aumente a través de la boquilla.

**Figura 33. Boquilla Sónica.**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

El caudal volumétrico a través de una boquilla bajo las condiciones de flujo sónico es función de las siguientes variables:

$A_g$ = área de la garganta.

$C_d$ = coeficiente de descarga.

$C_o$ = coeficiente de flujo critico.

$P_o$ = presión del fluido en la garganta.

$R_g$ = constante del gas.

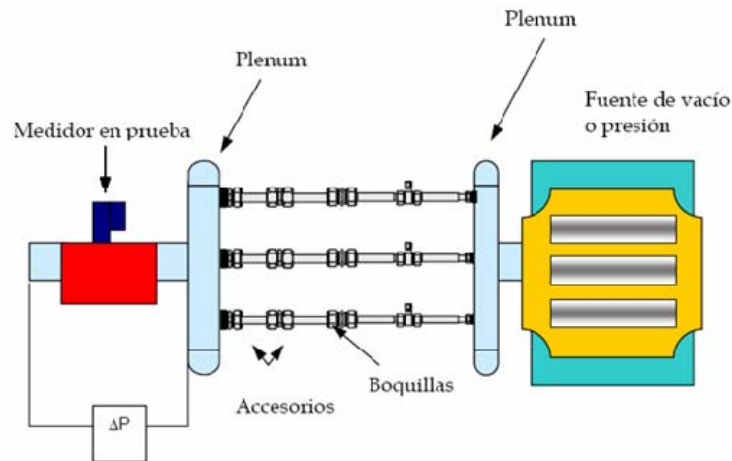
$T_o$ = temperatura del fluido en la garganta.

$\rho_o$ = densidad del fluido en la garganta.

Las variables como presión, temperatura y densidad se miden en la entrada de la boquilla y las demás propiedades se calculan mediante relaciones matemáticas sin necesidad de medirlas. El caudal volumétrico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_v = \frac{A_g.C_d.Co.P_o}{(R_g.T_o)^{\frac{1}{2}}.\rho_o} \quad \text{Ecuación 26.}$$

**Figura 34. Banco de boquillas sónicas.**



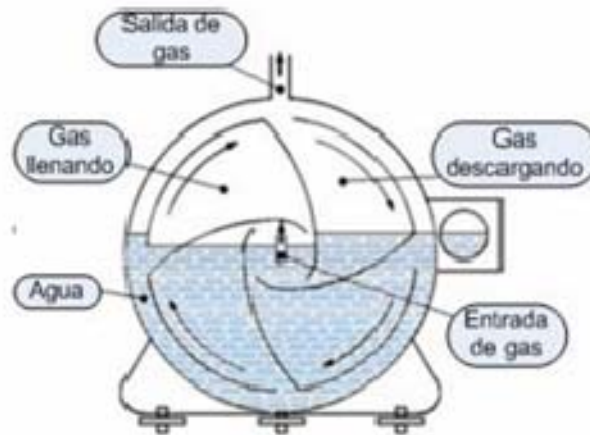
Fuente: Corporación CDT de GAS.

### 3.4.5 Calibración con Cámara Húmeda

La calibración con patrones tipo campana húmeda conserva el mismo principio de comparación entre el volumen registrado por el contador de la cámara y el registrado por el medidor bajo prueba. Las cámaras húmedas son medidores de flujo volumétrico de desplazamiento positivo y su funcionamiento consiste en que dentro de la cámara existe un tambor formado por alojamientos con cierto volumen, los cuales se llenan a medida que pasa el flujo de gas, este tambor está parcialmente sumergido en aceite (ver Figura 35) el cual sirve de sello, este tipo de medidores tienen una alta

exactitud y baja incertidumbre, su alcance de medición es reducido y trabajan a una presión ligeramente superior a la atmosférica.

**Figura 35. Cámara húmeda.**



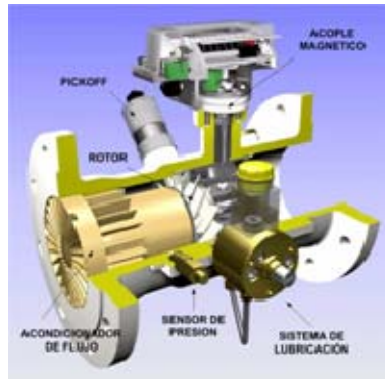
Fuente: Corporación CDT de GAS.

### **3.4.6 Calibración con Turbinas**

La calibración con turbinas consiste en la comparación del flujo medido por una turbina y un medidor bajo prueba, en la turbina el flujo se puede medir por medio de un odómetro o por medio del conteo de pulsos, los cuales se generan gracias a que la turbina posee transmisores de pulsos, estos pulsos aumentan a medida que aumenta el flujo.

Se pueden calibrar con turbinas, medidores de hasta 30" de diámetro y tienen un alcance de calibración de hasta 25500 m<sup>3</sup>/h, además de esto pueden operar a presiones de hasta 100 bar y el fluido de trabajo puede ser aire o gas natural.

**Figura 36. Medidor tipo turbina.**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

### **3.5 MEDIDORES PATRON TIPO TURBINA Y ROTATIVO**

Gracias al mundo de la productividad y la competitividad, son muchos los desarrollos tecnológicos logrados en el campo de la medición, entre los cuales esta el de los medidores para alto caudal. Todo esto en busca de lograr mejores resultados para una gran diversidad de condiciones.

#### **3.5.1 Medidores de alto caudal.**

Dentro del alcance de medición para altos caudales se encuentran varias tecnologías en el mercado diferenciándose las unas de las otras en sus características como por ejemplo; en la exactitud, en la incertidumbre, en la facilidad de calibración, y en los costos de cada tecnología, etc.

Algunas de las principales características de estos medidores las podemos apreciar en la siguiente tabla, (Ver Tabla 2 )

**Tabla 2. Características de algunos medidores de alto caudal.**

TIPO DE MEDIDOR	RANGEABILIDAD	CAIDA DE PRESION	INCERTIDUMBRE	COSTO
PLACAS DE ORIFICIO	8 A 1	ALTA	$\geq 0.8 \%$	ALTO
DESPLAZAMIENTO POSITIVO	20 A 1	MEDIA	$\geq 1\%$	MEDIO
TURBINAS	30 A 1	BAJA	$\geq 0.5 \%$	MEDIO
ULTRASONICOS	50 A 1	NINGUNA	$\geq 0.3 \%$	MUY ALTO

### 3.5.2 Características de los medidores tipo turbina.

Su operación se fundamenta en el incremento de la velocidad del gas cuando este cruza el pasaje anular formado por el difusor de entrada y el interior del cuerpo del medidor. El flujo al pasar por los alabes del rotor lo hace girar, bajo condiciones ideales la velocidad de giro del rotor es proporcional al caudal volumétrico, pero en la realidad es función de la forma, tamaño y diseño del rotor interviniendo algunas fuerzas de oposición, por lo tanto la respuesta de este tipo de medidores es lineal y depende básicamente de parámetros geométricos como por ejemplo el ángulo de inclinación del alabe.

Entre las principales características de desempeño que se observan para un medidor de este tipo tenemos; (Ver Tabla 3).

**Tabla 3. Características de desempeño típicas de un medidor tipo turbina.**

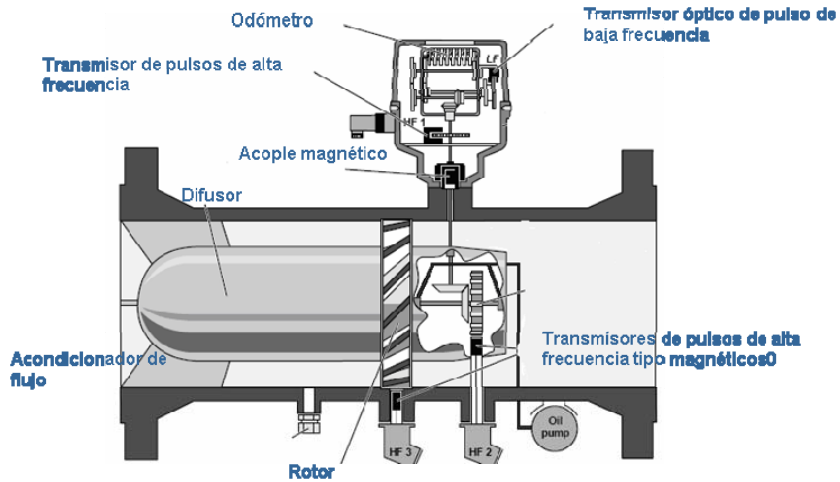
Tamaños (DN)	de 1/4" a 30"
Alcances de medición	0,02 m <sup>3</sup> /h a 25500 m <sup>3</sup> /h para gases 0,036 m <sup>3</sup> /h a 13000 m <sup>3</sup> /h para líquidos

Repetibilidad típica	entre 0,2% y 0,3% para líquidos entre 0,25% y 0,5% para gases
Linealidad típica	± 0.15% para líquidos ± 0.25% para gases
Rangeabilidad max/min típicas	entre 10:1 y 30:1
Temperatura de operación	-270 °C a 650 °C (-450 °F a 1200 °F)
Presión de operación	Hasta 10 Mpa (1450 psi)
Caída de presión a máximo caudal	es del orden de 0.3 kPa

Un medidor tipo turbina no solo esta compuesto de partes móviles, también existen elementos importante, los cuales hacen posible la medición, entre los cuales podemos observar sensores, transmisores, acople magnético, etc. (Ver Figura 37).

Cada fabricante clasifica y denomina sus medidores de forma diferente por ejemplo RMG (fabricante de medidores de flujo), a las turbinas las clasifican según su tamaño y en base a eso le dan una denominación, por ejemplo una G-650 (la letra y el número son criterios internos del fabricante), corresponde a una turbina de diámetro nominal (DN) igual a 150 mm, su alcance de medición será de 1000 m<sup>3</sup>/h, su peso varia según la clase de brida para el que fue diseñado. Esta clasificación es la utilizada a lo largo de todo este trabajo de grado, en la Tabla 4, se muestran algunas características de las turbinas RMG según esta clasificación.

**Figura 37. Partes de un medidor tipo turbina.**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

**Tabla 4. Denominación de los medidores tipo turbina.**

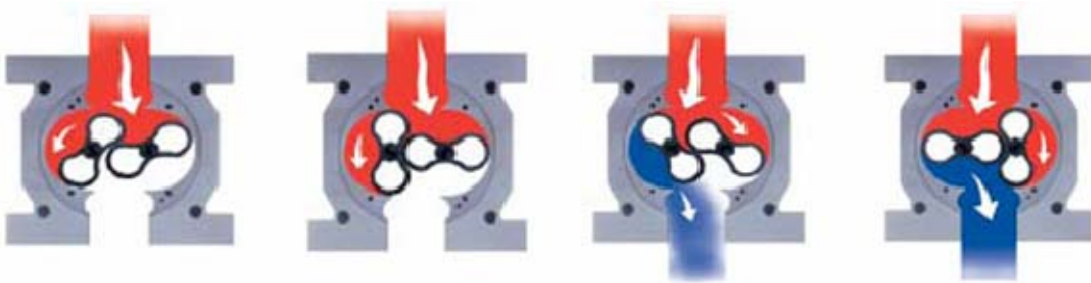
DN mm in.	Size	Measuring range (m <sup>3</sup> /h)			Approx. weight (kg) Pressure rating									Dimensions mm		
		Q <sub>min</sub> 1:20	Q <sub>min</sub> 1:30	Q <sub>max</sub>	PN			ANSI			H	C	L			
50 2"	G 65	10 <sup>1)</sup>	-	100	13	13	21	21	21	21	13	13	21 <sup>2)</sup>	210	60	150
80 3"	G 100	16 <sup>1)</sup>	-	160	20	20	25	25	34	34	20	25	36	230	96	240
	G 160	13	-	250												
	G 250	20	-	400												
100 4"	G 160	13	-	250	25	25	32	32	45	45	30	35	55	270	120	300
	G 250	20	-	400												
	G 400	32	20	650												
150 6"	G 400	32	-	650	50	50	60	60	70	90	50	65	100	285	180	450
	G 650	50	32	1000												
	G 1000	80	50	1600												
200 8"	G 1000	80	50	1600	75	75	95	95	150	160	100	120	160	320	240	600
	G 1600	130	80	2500												
250 10"	G 1000	80	-	1600	100	110	135	150	180	225	110	160	260	330	300	750
	G 1600	130	80	2500												
	G 2500	200	130	4000												
300 12"	G 2500	200	130	4000	138	150	225	265	275	290	155	230	310	360	360	900
	G 4000	320	200	6500												
400 16"	G 4000	320	200	6500	280	290	350	440	525	580	350	460	575	400	480	1200
	G 6500	500	320	10000												
500 20"	G 6500	500	320	10000	560	610	640	700	830	1080	620	650	1075	450	600	1500
	G 10000	800	500	16000												
600 24"	G 10000	800	500	16000	900	940	980	1075	1230	1570	950	1000	1600	500	720	1800
	G 16000	1300	800	25000												

Fuente: RMG

### 3.5.3 Características de los medidores tipo rotativo.

Este medidor es clasificado como de desplazamiento positivo, el cual recibe una corriente de flujo, dividiéndola en varios compartimientos y posteriormente entregándola aguas abajo en paquetes, de forma cíclica. Cada compartimiento tiene un volumen definido y contando las veces que estos compartimientos se llenan se puede determinar el volumen total que fluyó a través del medidor. Una descripción del principio de funcionamiento de los medidores tipo rotativo puede ser observada en la Figura 38.

**Figura 38. Principio de operación medidor tipo rotativo.**



Fuente: Corporación CDT de GAS.

Como se puede observar en el funcionamiento, este tipo de medidores absorben una pequeña cantidad de energía del fluido en movimiento, la cual es utilizada para vencer la fricción asociada al mecanismo de desplazamiento del medidor lo cual se ve reflejado en una pequeña caída de presión. En la Tabla 5 se pueden observar algunas de las características más importantes de los medidores tipo rotativos.

**Tabla 5. Principales características de los medidores tipo rotativo.**

Tamaños (DN)	de 2" a 4"
Alcances de medición	0.8 m <sup>3</sup> /h a 250 m <sup>3</sup> /h para gases
Errores máximos permisibles Qt < Q < Qmax	Medidor nuevo ± 1% Medidor en servicio ±1.5%
Rangeabilidad máx/min típicas	entre 10:1 y 100:1
Temperatura de operación	-40 °C a 60 °C
Presión de operación	Hasta 175 psi
Caída de presión a máximo caudal	2.5 mbar a Qmax

Al igual que las turbinas los medidores rotativos también están clasificados según su tamaño (Criterio de cada fabricante), dándoseles una denominación con la cual se pueden obtener las características de cada medidor como se muestra a continuación (Ver Tabla 6).

En el caso de RMG, la forma de diferenciar la denominación de un medidor tipo turbina o rotativo es que se especifique el tipo de medidor, esto para cuando se manejan medidores de baja capacidad.

**Tabla 6. Denominación de los medidores tipo rotativo.**

Size G	DN (inch)	Q <sub>max</sub> m <sup>3</sup> /h	Measuring ranges up to						LF Impulse Imp./m <sup>3</sup>	HF Impulse Imp./m <sup>3</sup> approx.
			1:20	1:50	1:65	1:80	1:100	1:160		
G 40	50 (2")	65	3	1.3	1	0.8	-	-	10	6000
G 65	50 (2")	100	5	2	1.6	1.3	1	-	10	6000
G 100	80 (3")	160	8	3	2.5	2	1.6	1	1	3750
G 160	80 (3")	250	13	5	4	3	2.5	1.6	1	2400
G 160	100 (4")	250	13	5	4	3	2.5	1.6	1	2400

Fuente: RMG.

Por ejemplo para un medidor G-650 si su rangeabilidad es 1:20 el alcance será desde un  $Q_{min}$  de 50  $m^3/h$  hasta un  $Q_{max}$  de 1000  $m^3/h$ , el  $Q_t$  depende de los resultados obtenidos en la calibración de fábrica de la turbina, como ejemplo podría ser en este caso de 70  $m^3/h$ .

## **CAPITULO 4**

### **4 DISEÑO DEL BANCO**

En este capítulo se describen los componentes del banco de calibración y todos los parámetros que se tuvieron en cuenta para su diseño. Una vez definido el diseño, los planos de los componentes se realizaron con la ayuda de un software de diseño asistido por computador (CAD), mientras que para el diseño de elementos se utilizó una herramienta CAE.

Se realizó una recolección de información y un análisis de los bancos de calibración de medidores de gas buscando aquellos que presentaran condiciones de operación similares a las deseadas en nuestro banco tales como alcance de calibración, tipos de patrón y diámetros nominales de los medidores a calibrar. Como evidencia del análisis realizado a los bancos de calibración de España, Brasil y Argentina, se presenta a continuación una tabla resumen (Ver

Tabla 7), describiendo las ventajas y desventajas halladas en cada uno de estos bancos según nuestro criterio. En la columna observaciones se presentan algunas consideraciones que a partir del análisis realizado permitieron definir el diseño del banco de alto caudal del CDT de Gas.

**Tabla 7. Comparación bancos de calibración alto caudal.**

TABLA COMPARATIVA – BANCOS DE CALIBRACION							
País	Tipo Patrón	Alcance máximo	Presión de operación	DN max	Ventajas	Desventajas	Observaciones
Argentina (Metrogas)	Campana Gasométrica	2500 m <sup>3</sup> /h	Baja	8"	El patrón utilizado brinda bajas incertidumbres.	Alta incertidumbre cuando opera a altos caudales. Solo puede calibrar medidores hasta un DN de 8"	El CDT de GAS cuenta con una campana gasométrica para bajos caudales pero el alcance máximo es de 25 m <sup>3</sup> /h, el banco de calibración debe complementar la campana y así abarcar un alcance de calibración de 0.016 m <sup>3</sup> /h a 4800 m <sup>3</sup> /h.
España (ENAGAS)	Turbinas y rotativos	10000 m <sup>3</sup> /h	Baja	24"	Gran alcance de operación	La calibración a pequeños volúmenes de flujo presenta incertidumbres altas. Debido al gran tamaño de los patrones, el aseguramiento metroológico es muy costoso	En nuestro banco, para asegurar una mejor calibración se decidió adquirir 4 patrones de similares características en lugar de un patrón único. De esta manera se obtiene un aseguramiento metroológico más económico enviando solo uno de los patrones a calibrar y los demás serán trazables a este.
Brasil (CT GAS)	Turbinas	4000 m <sup>3</sup> /h	Alta	12"	El diseño del trazado disminuye el efecto de acumulación de masa por la inestabilidad durante las calibraciones.	Solo puede calibrar medidores hasta un DN de 12"	En nuestro banco de calibración, se busco llegar a un alcance máximo de 6500 m <sup>3</sup> /h de esta manera se cubre el alcance de los medidores de gas utilizados en suramerica. El diseño del trazado de las tuberías se realizo buscando el menor volumen posible entre el medidor bajo prueba y el medidor patrón.
Brasil (IPT)	Turbinas	3400 m <sup>3</sup> /h	Baja	10"	Gran volumen de aire disponible en el laboratorio lo que facilita la estabilidad termica. Tiene la capacidad de realizar calibraciones pasando el flujo por el patrón y luego por el medidor a calibrar o por el medidor a calibrar y luego por el patrón, sin necesidad de desmontar.	El alcance de operación máximo es de 3400 m <sup>3</sup> /h lo que permite calibrar medidores de DN hasta 10" Los patrones no tienen acondicionador de flujo, usan un rectificador de flujo aguas arriba del patrón incrementando la caída de presión.	En nuestro banco se adquirieron turbinas con acondicionador de flujo para garantizar un mejor perfil de velocidad. Además se seleccionaron los blower de manera que si hay necesidad de instalar un acondicionador adicional estos sean capaces de contrarrestar la caída de presión.

Fuente: Corporación CDT de GAS.

#### 4.1 DESCRIPCION GENERAL DEL BANCO

Es un banco para calibrar medidores de alto caudal utilizando como patrones medidores tipo turbinas y un medidor tipo rotativo, con excelente calidad metrológica, además de los patrones el banco consta de varios sistemas entre ellos: un sistema de tuberías para la conducción del flujo, un sistema generador de flujo y un sistema de adquisición de datos. En la Figura 39, podemos apreciar un esquema general. Con estas características de diseño el banco estará en capacidad de:

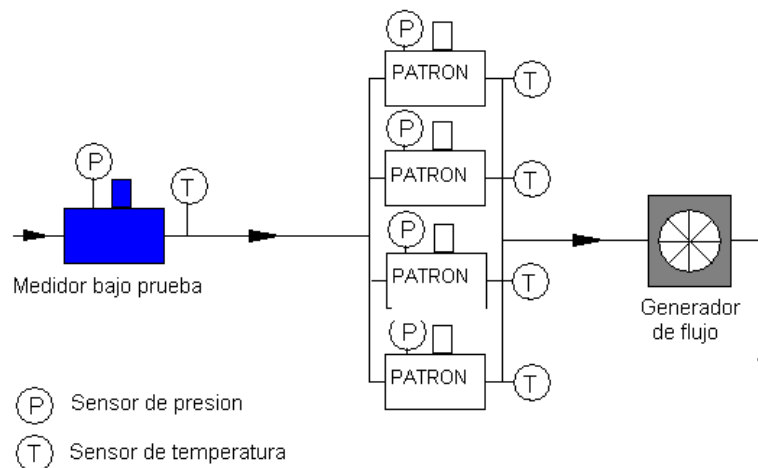
- Calibrar medidores de flujo de gas cuyo funcionamiento y alcance de operación se encuentre entre 32 m<sup>3</sup>/h hasta 4000 m<sup>3</sup>/h.
- Realizar calibraciones con una incertidumbre inferior a  $\pm 1$  %.
- Contar con trazabilidad a patrones internacionales.

Para cumplir estas consideraciones el banco requiere de varios elementos que permitan constituirlo como un sistema de calibración, entre los más importantes se encuentran:

- Patrones: elementos de referencia y patrones de trabajo para las calibraciones.
- Tubos de medición: líneas de conducción de flujo en donde se instalan los patrones.
- Tubos de trabajo: líneas de conducción de flujo en donde se instalan los medidores bajo prueba.
- Elementos reguladores de flujo: necesarios para permitir la integración o aislamiento de las diferentes líneas de conducción.

- Cabezales principales: líneas de conducción de flujo ubicadas estratégicamente de manera que permitan la correcta distribución de espacio y de flujo a través del banco.
- Sensores: dispositivos empleados en la determinación de las variables en el proceso de calibración.
- Generadores de flujo: elementos necesarios para inducir el flujo a través del sistema.
- Estructuras: soporte de los principales elementos del banco.
- Accesorios: necesarios en el montaje de los elementos del banco.
- Sistema térmico: encargado de reproducir y garantizar las condiciones de uniformidad térmica durante la calibración.
- Sistema de adquisición de datos: sirve de comunicación entre los sensores, dispositivos generales y el computador.

**Figura 39. Esquema general del Banco**



## 4.2 SELECCIÓN DE LOS PATRONES.

Se deben disponer de un conjunto de patrones que brinden la mejor calidad metrológica, bajo costo y el alcance propuesto. Los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección de los patrones se describen a continuación:

- Alcance de medición: Los patrones seleccionados deben cumplir con el alcance requerido por el banco el cual es de 32 m<sup>3</sup>/h a 4800 m<sup>3</sup>/h, de manera que los tamaños seleccionados cumplan con este alcance.
- Zona de calibración: Los patrones seleccionados deben garantizar una adecuada zona de calibración de manera que pueda calibrar cualquier medidor que llegue al CDT de GAS que se encuentre dentro del alcance propuesto y también se pueda realizar un aseguramiento metrológico adecuado de los patrones.
- Disponibilidad: Se tuvo en cuenta para la selección de los patrones que estos brinden la mayor disponibilidad posible de acuerdo con el aseguramiento metrológico programado y las comparaciones Inter.-laboratorios.
- Costo: Los patrones deben tener un costo razonable de manera que se cumpla con el presupuesto estimado.

El diseño inicial (opción 1, Tabla 8) del banco de calibración considero la adquisición de 3 patrones tipo turbina de diferente denominación y tamaño para cubrir el alcance de operación propuesto (de 32 m<sup>3</sup>/h a 4500 m<sup>3</sup>/h).

Las opciones analizadas se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Diferentes opciones para selección de los patrones.**

OPCION 1				OBSERVACIONES
Tipo	Denominación	Alcance (m <sup>3</sup> /h)	DN	
Turbina	G-130	40 - 200	80mm - 3"	No se cumple con el alcance propuesto. Aseguramiento metrologico costoso
Turbina	G-650	200 - 1000	150mm - 6"	
Turbina	G-2500	800 - 4000	250mm - 10"	
OPCION 2				OBSERVACIONES
Tipo	Denominación	Alcance (m <sup>3</sup> /h)	DN	
Turbina	G-100	32 - 160	80mm - 3"	Alto costo de los patrones. Aseguramiento metrologico costoso. Alto costo de la tuberia debido al gran diametro del patron G-4000. La G-400 es propiedad del CDT.
Turbina	G-400	130 - 650	100mm - 4"	
Turbina	G-1000	320 - 1600	150mm - 6"	
Turbina	G-4000	1300 - 6500	300mm - 12"	
OPCION 3				OBSERVACIONES
Tipo	Denominación	Alcance (m <sup>3</sup> /h)	DN	
Rotativo	G-100	8 - 160	80mm - 3"	El rotativo mejora el alcance en caudales bajos. El costo de las 4 turbinas G-1000 es similar al de una G-4000. Aseguramiento metrologico economico. La turbina G-400 es propiedad del CDT, no hay que comprarla.
Turbina	G-400	130 - 650	100mm - 4"	
Turbina	G-1000	320 - 1600	150mm - 6"	
Turbina	G-1000	320 - 1600	150mm - 6"	
Turbina	G-1000	320 - 1600	150mm - 6"	
Turbina	G-1000	320 - 1600	150mm - 6"	

La opción 1 y la opción 2 presentan un serio problema dado que para realizar el aseguramiento metrológico de los patrones se tendrían, inevitablemente, que enviar periódicamente a un laboratorio reconocido internacionalmente para ser calibrados y este proceso resulta tan costoso como los propios patrones, además de consumir un tiempo aproximado de 4 a 6 meses, durante los cuales el banco permanecería fuera de operación. Otro aspecto importante es el relacionado con la calibración, por ejemplo utilizando una turbina G-4000 como patrón calibrando un medidor en un caudal de 1700 m<sup>3</sup>/h se presentarían problemas por zona de calibración.

Por estas razones se busco seleccionar una opción que permitiera asegurar metrológicamente el banco y realizar verificaciones periódicas sin la necesidad de enviar todos y cada uno de los patrones al extranjero.

La solución hallada luego de estudiar diversas opciones fue la de adquirir un patrón rotativo G100 Figura 40a. para cubrir los caudales mas bajos, integrar al banco la turbina patrón de 4" G400 Figura 40b propiedad del CDT de gas y adquirir 3 turbinas G1000 Figura 40c, permitiendo alcanzar caudales (cuando operen en paralelo) de hasta 4500 m<sup>3</sup>/h, lo cual supera el alcance inicialmente propuesto (4000 m<sup>3</sup>/h).

De esta manera es posible garantizar la trazabilidad del banco a patrones reconocidos internacionalmente, enviando periódicamente solo una turbina G1000 al extranjero. Los otros patrones, el rotativo G100 y la turbina G400 serán calibrados y asegurados metrológicamente utilizando el patrón primario tipo campana gasométrica (propiedad del CDT de gas y actualmente acreditado por la SIC) y el patrón secundario tipo boquillas sónicas (propiedad del CDT de gas y en proceso de acreditación ante la SIC). Y las demás turbinas G1000 serán aseguradas metrológicamente por la turbina que es enviada a calibrar en un laboratorio extranjero.

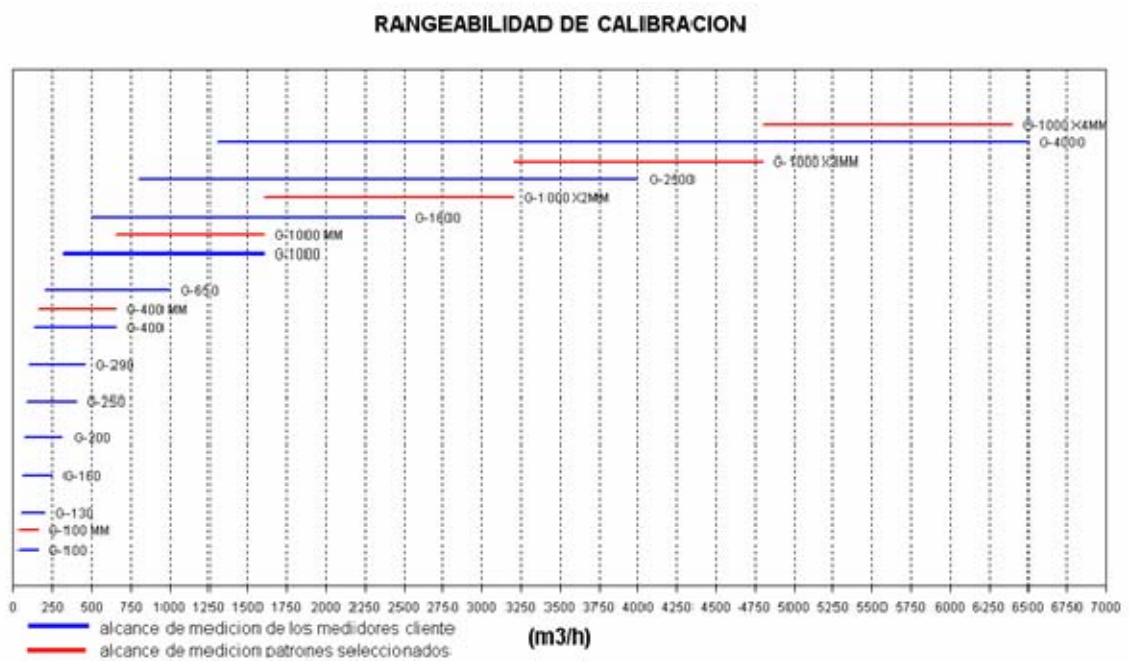
**Figura 40. Patrones de referencia.**



Fuente: RMG.

A continuación podemos observar en la figura (Ver Figura 41) el alcance de calibración que se puede obtener con la combinación de los patrones seleccionados.

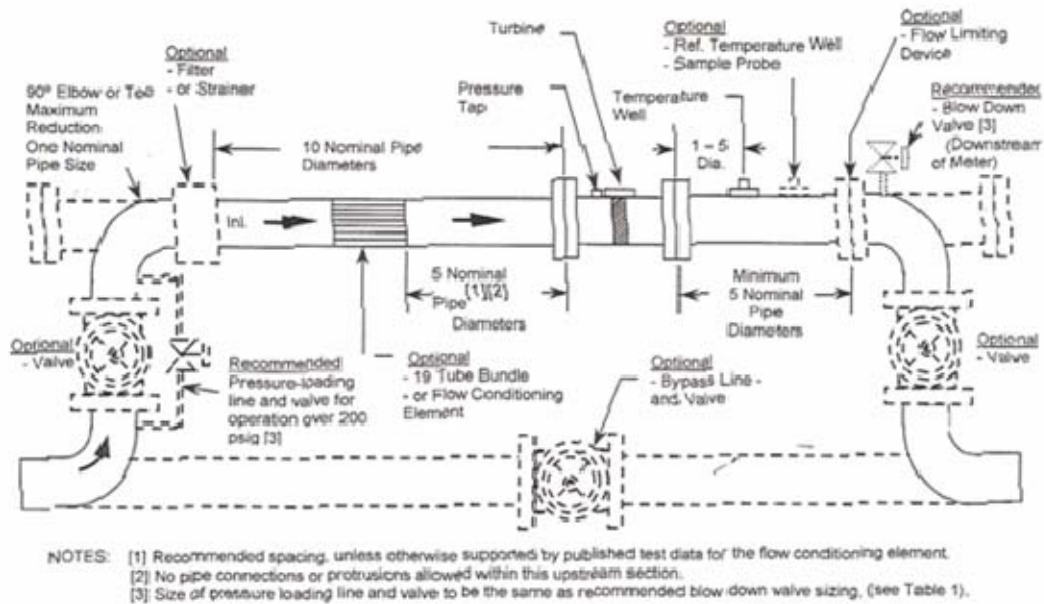
**Figura 41. Alcance de calibración de medidores seleccionados.**



### 4.3 TUBOS DE MEDICION.

Una vez seleccionados los patrones, los diámetros de los tubos de medición y sus respectivas bridas deben corresponder al diámetro del patrón respectivo. Por lo tanto las dimensiones de la tubería aguas arriba y aguas abajo del patrón se seleccionaron según las recomendaciones dadas por la norma AGA7/2006 como se puede apreciar en la Figura 42, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 9, para los patrones tipo turbina.

**Figura 42. Recomendaciones dada por AGA 7/2006.**



Fuente: Reporte AGA 7-2006.

**Tabla 9. Tubería para patrones según AGA 7.**

Tipo de Patrón	Diámetro del Patrón	Diámetro Tubería	Tipo de Tubería	Longitud aguas arriba	Longitud aguas abajo
Patrón Rotativo G100	DN 80 - 3"	Tubería aguas abajo y aguas arriba de 3"	Schedule 40	N/A	N/A
Patrón turbina G400	DN 100 - 4"	Tubería aguas debajo y aguas arriba de 4"	Schedule 40	40"	20"
Patrones turbina G1000	DN 150 - 6"	Tubería aguas debajo y aguas arriba de 6"	Schedule 40	60"	30"

Para el caso del patrón tipo rotativo no se requieren tramos de tubería aguas abajo o aguas arriba, pues se trata de un medidor de desplazamiento positivo

cuyo desempeño metrológico no es afectado por la forma del perfil de velocidad.

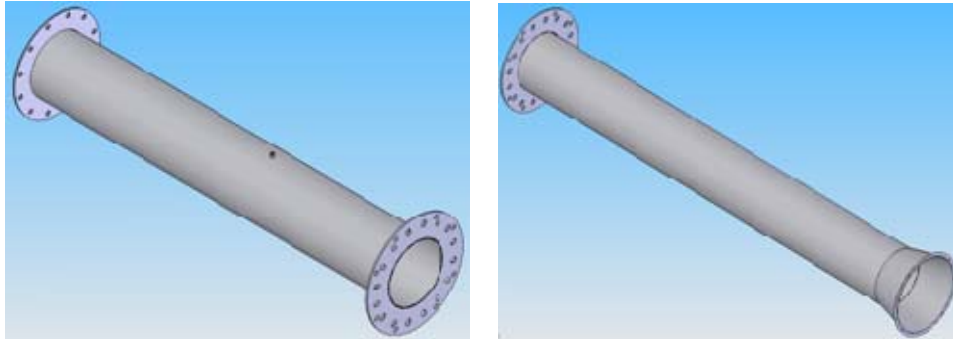
Se considero para los tubos de medición tubería Schedule 40 teniendo en cuenta la consideración que el CDT de GAS tiene como meta que al menos una de sus turbinas G-1000 sea utilizada como patrón viajero junto con sus tubos de medición de manera que permita realizar comparaciones inter-laboratorios a presiones de hasta 270 psig.

#### **4.4 TUBOS DE TRABAJO.**

Para el diseño de los tubos de trabajo se realizo un análisis detallado de las; características geométricas de los medidores que pueden ser clientes potenciales del CDT de GAS, (Ver Tabla 10), de las condiciones de operación del banco de calibración y de los costos de fabricación para estos tubos.

Teniendo en cuenta los diámetros de los medidores cliente, el alcance de operación del banco y las recomendaciones de la norma AGA7/2006 se selecciono la geometría para el diseño de los tubos de trabajo aguas arriba y aguas abajo de los medidores cliente, (Ver Tabla 11). Los tubos de 8", 10" y 12" se construirán con lámina Hot Rolled de espesor 2,5 mm debido a que trabajaran a muy baja presión (Ver Figura 43), consiguiéndose también una mayor facilidad en su manipulación. Para el resto de tubería es más factible económicamente la selección descrita en la Tabla 11.

**Figura 43. Tubos de trabajo para medidores de 12 pulgadas y clase 150, 300.**



a. Tubo aguas abajo.

b. Tubo aguas arriba.

Para evitar la construcción de más tubos de trabajo para medidores del mismo tamaño pero con diferentes clases de brida, como lo son la clase 150, 300 y 600 se diseñó una brida con una geometría y dimensiones tales que permitieran instalar cualquier medidor de diferente clase.

#### **4.5 ELEMENTOS REGULADORES DE FLUJO.**

Con el objetivo de direccionar el flujo de aire por las diversas líneas y secciones de tubería del banco, dependiendo de las condiciones de calibración, es decir, del medidor a calibrar y del medidor patrón a utilizar, se hizo necesaria la ubicación estratégica de elementos reguladores de flujo (Válvulas).

**Tabla 10. Medidores cliente.**

<b>MEDIDORES CLIENTES (Referencia)</b>	<b>Diametro Nominal</b>	<b>Qt (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Qmax (m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>G-100</b>	80mm - 3"	32	160
<b>G-130</b>	80mm - 3"	40	199
<b>G-160</b>	80mm - 3"	50	250
	100mm - 4"	50	250
<b>G-200</b>	100mm - 4"	62,4	312
<b>G-250</b>	100mm - 4"	80	400
<b>G-290</b>	100mm - 4"	90,8	454
<b>G-400</b>	100mm - 4"	130	650
	150mm - 6"	130	650
<b>G-650</b>	150mm - 6"	200	1000
<b>G-1000</b>	150mm - 6"	320	1600
	200 mm - 8"	320	1600
<b>G-1600</b>	200 mm - 8"	500	2500
	250mm - 10"	500	2500
<b>G-2500</b>	250mm - 10"	800	4000
	300mm - 12"	800	4000
<b>G-4000</b>	300mm - 12"	1300	6500
	400mm - 16"	1300	6500
<b>G-6500</b>	400mm - 16"	2000	10000
	500mm - 20"	2000	10000

**Tabla 11. Selección de tubería.**

<b>Diámetro del Patrón</b>	<b>Diámetro Tubería</b>	<b>Tipo de Tubería</b>	<b>Longitud aguas arriba</b>	<b>Longitud aguas abajo</b>
DN 80 - 3"	Tubería aguas abajo y aguas arriba de 3"	Schedule 40	30"	15"
DN 100 - 4"	Tubería aguas debajo y aguas arriba de 4"	Schedule 40	40"	20"
DN 150 - 6"	Tubería aguas debajo y aguas arriba de 6"	Schedule 40	60"	30"
DN 200 - 8"	Tubería aguas abajo y aguas arriba de 8"	Rolada	80"	40"
DN 250 - 10"	Tubería aguas debajo y aguas arriba	Rolada	100"	50"

	de 10"			
DN 300 - 12"	Tubería aguas debajo y aguas arriba de 12"	Rolada	100"	60"

Estos elementos de regulación deben cumplir con las características tales como funcionalidad (compactos y bajo peso), economía, y que generen una baja caída de presión. En la Tabla 12 se muestra una comparación, realizada para tres tipos diferentes de válvulas que podrían ser utilizadas en nuestra aplicación. Para el cálculo de la pérdida que se genera a través de la válvula, se considero el hecho de que, su operación fuera a caudal máximo.

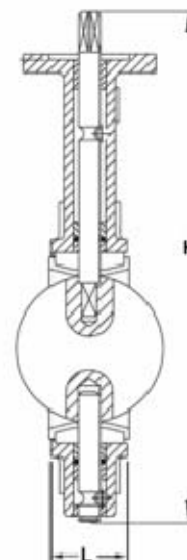
La mejor opción fue la selección y adquisición de válvulas mariposa tipo lug (Ver Figura 44), debido a que como se puede observar en la Tabla 12, son más económicas, dimensionalmente mas reducidas, tienen menor peso y el diseño del obturador no genera grandes cambios en el perfil del flujo.

**Tabla 12. Comparaciones para la selección de válvulas.**

Valvula de bola clase ASME 150					
Diametro	L (mm)	H (mm)	Peso (kg)	Perdida Qmax	Costo
3"	203	283	54	0,337 mbar	\$ 270.000
4"	229	361	89	1,639 mbar	\$ 459.360
6"	394	434	160	1,742 mbar	\$ 829.400
12"	610	643	559	1,536 mbar	\$ 2.842.700

Valvula de globo					
Diametro	L (mm)	H (mm)	Peso (kg)	Perdida Qmax	Costo
3"	310	405	24	2,944 mbar	\$ 363.980
4"	350	477	39,2	14,444 mbar	\$ 429.200
6"	480	604,5	77,6	16,138 mbar	\$ 597.400
12"	850	980	330,4	15,441 mbar	\$ 3.515.960

Valvula de mariposa tipo Lug ANSI 150					
Diametro	L (mm)	H (mm)	Peso (kg)	Perdida Qmax	Costo
3"	45,24	305,77	7,93	0,085 mbar	\$ 134.535
4"	52,39	346,48	10,8	0,447 mbar	\$ 240.958
6"	55,96	397,67	17,2	0,534 mbar	\$ 401.596
12"	76,99	624,67	71,61	0,551 mbar	\$ 1.589.869



**Figura 44. Válvula mariposa tipo lug.**



TIPO LUG

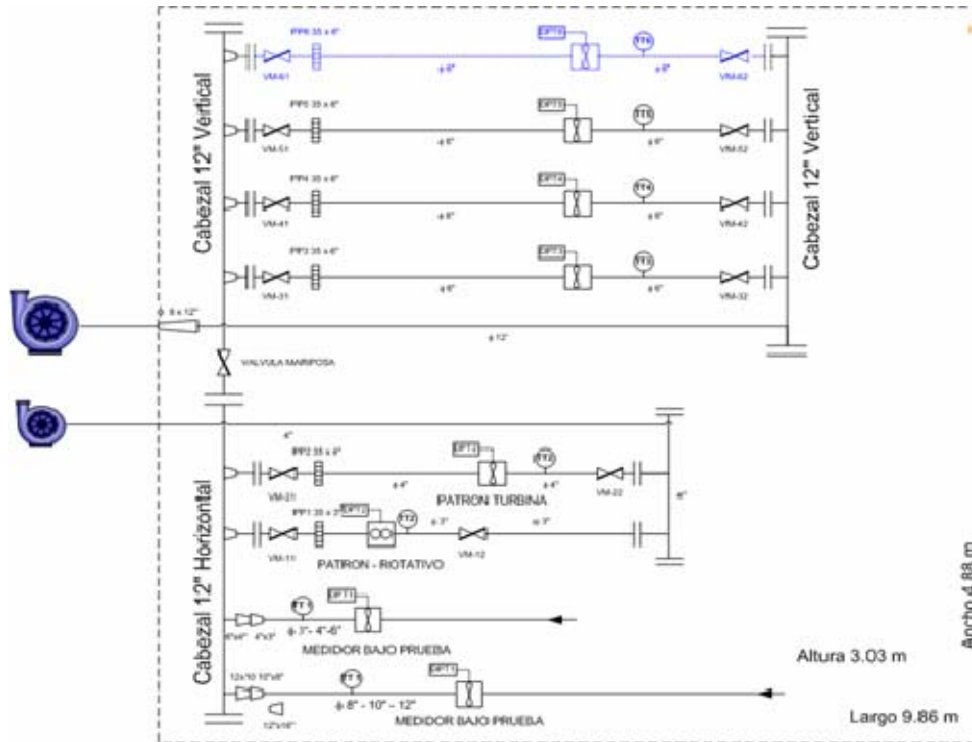
Fuente: Anderson Valve.

#### **4.6 CABEZALES PRINCIPALES.**

Dado el rápido crecimiento de la corporación y su portafolio de servicios para el sector gas y la industria en general, se poseen limitantes de espacio para la infraestructura que se desea adquirir. Por tal razón el diseño del banco debía tener como características principales el ser compacto, flexible y que cumpliera con las recomendaciones de instalación dadas por la norma AGA7/2006, con base en estas consideraciones se selecciono la mejor opción y se planteo finalmente la distribución presentada en la Figura 45.

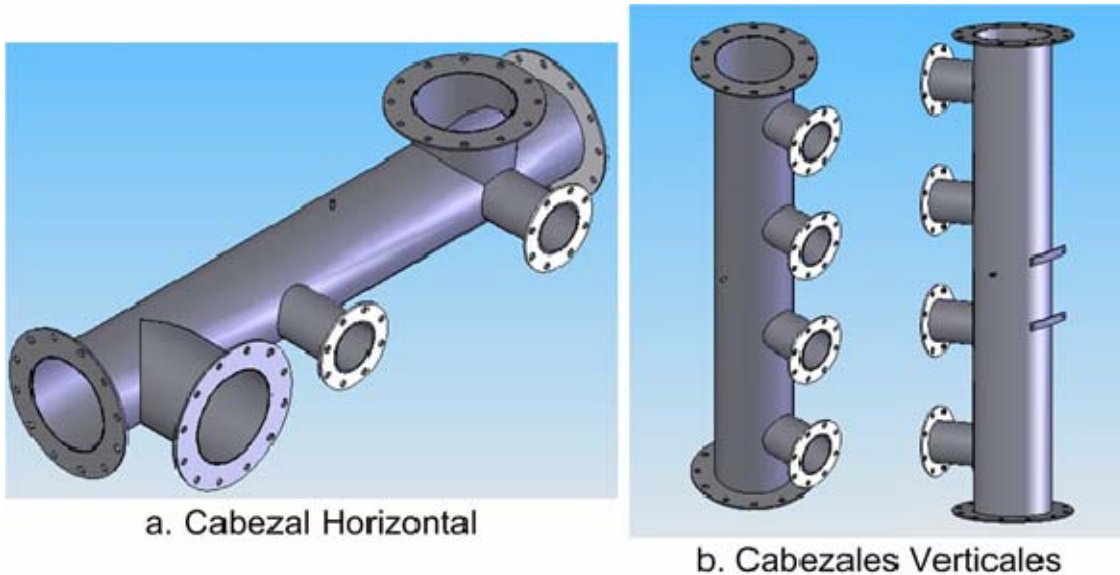
Se pueden distinguir dos clases de componentes denominados cabezales, uno horizontal y dos verticales para los cuales, el diseño estructural de estos elementos no se considero crítico debido a que la presión de operación a la que estarán sometidos será ligeramente inferior a la atmosférica, además de que se otros elementos del banco se diseñaron de forma tal que la contribución de los cabezales como soportes estructurales del banco fuera muy baja.

Figura 45. Diseño compacto y flexible del banco.



Por lo tanto se diseñaron cabezales rolados (el proceso de rolado consiste en hacer pasar una lamina de acero por unos rodillos los cuales le dan la forma cilíndrica), de diámetro nominal 12 pulgadas con tolerancias de  $\pm 0,2$  mm y excentricidad máxima permitida de 0,5 mm, el material seleccionado fue lamina de espesor 2.5 mm laminadas en caliente, como toda la tubería rolada, esta debería ser soldada debidamente para evitar fugas. Para garantizar futuras jornadas de mantenimiento de los cabezales, se soldaron bridas en los extremos (Ver Figura 46) y para las respectivas uniones con las demás partes del banco se soldaron tubos de diferente diámetro con sus respectivas bridas, a excepción del cabezal horizontal al cual van unidos los tubos de trabajo y uno de los cabezales verticales. (Ver Figura 46a).

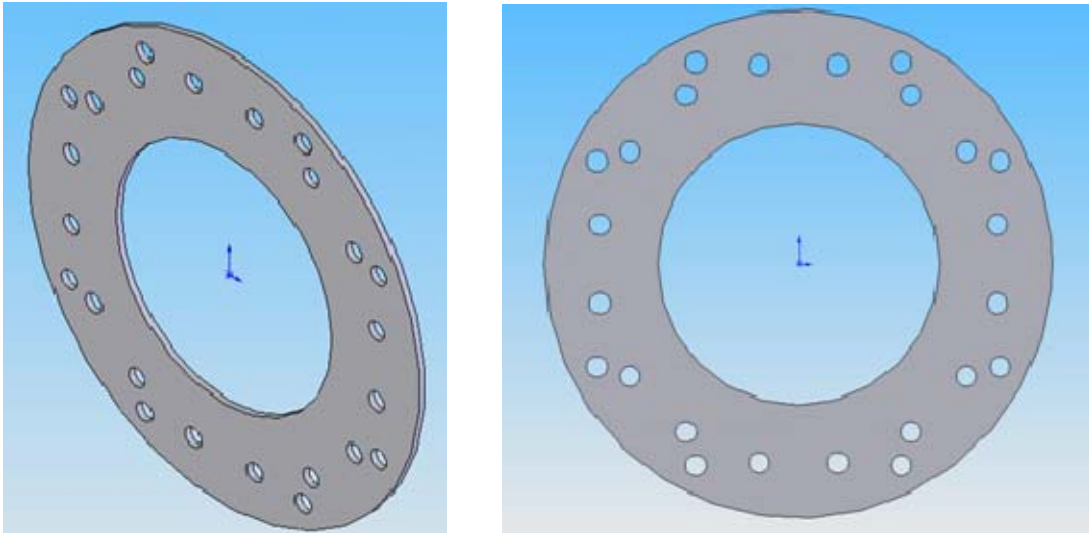
**Figura 46. Diseño cabezal horizontal y cabezales verticales.**



#### **4.7 DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE SUJECCION.**

Para permitir las facilidades de mantenimiento, cambios futuros en el diseño y movilidad del banco de calibración, se seleccionaron como elementos de sujeción bridas, las cuales serán soldadas a la respectiva tubería. Para los tubos de medición Schedule 40 se seleccionaron bridas WN ANSI 150 debido a que se necesitan bridas que cumplan con el requerimiento de presión estándar solicitado en las comparaciones inter-laboratorios, para la tubería de trabajo fueron diseñadas bridas que respetan las dimensiones ANSI 150, ANSI 300 y ANSI 600 excepto en su espesor (5/16 de pulgada), el cual es diferente debido a que son elementos que trabajan a presión atmosférica, todo esto con el fin de poder utilizar el mismo tubo para la calibración de medidores de igual tamaño nominal pero diferente clase, en la Figura 47, se puede apreciar un ejemplo,

**Figura 47. Brida de trabajo de diámetro nominal 12 pulgadas.**



Para el resto de las uniones entre tubos y teniendo en cuenta la relación costo-beneficio las bridas serán fabricadas respetando las dimensiones de las bridas de clase ANSI 150. En la Tabla 13, se presenta el resultado de este diseño y su relación con respecto a la tubería.

**Tabla 13. Resultado del diseño de Bridas.**

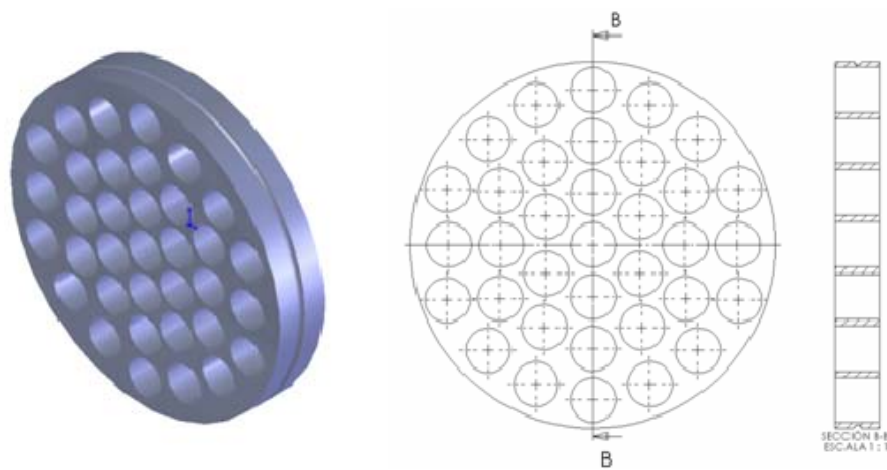
<b>Diámetro</b>	<b>Clase de brida</b>	<b>Tipo de fabricación de la tubería</b>
3"	Brida WN ANSI 150	Schedule 40 sin costura
4"	Brida WN ANSI 150	Schedule 40 sin costura
6"	Brida WN ANSI 150 para tramos de Schedule 40 y brida fabricadas según medidas ANSI 150 para los demás	Schedule 40 sin costura y espesor de lámina calibre 12 respectivamente
8"	Brida fabricada según especificaciones ANSI 150 de 8".	Espesor de lámina calibre 12
10"	Brida fabricada según especificaciones ANSI 150 de 10".	Espesor de lámina calibre 12
12"	Brida fabricada según especificaciones ANSI 150 de 12".	Espesor de lámina calibre 12
14"	Brida fabricada según especificaciones ANSI 150 de 14".	Espesor de lámina calibre 12
16"	Brida fabricada según especificaciones ANSI 150 de 16".	Espesor de lámina calibre 12

#### 4.8 DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES DE FLUJO.

Para garantizar un adecuado nivel de repetibilidad y reproducibilidad por parte de los patrones tipo turbina en el momento de la calibración es necesario proveer un perfil de flujo de entrada con ciertas características entre las cuales se destacan la axisimetría del perfil de velocidades y presencia reducida o nula de swirl. Para brindar esta condición existe diferentes tipos y recomendaciones de instalación (AGA7, ISO 9951, PTB G-13), que en general exigen ciertas distancias aguas arriba y aguas abajo del medidor incluyendo elementos acondicionadores de flujo (Zanker, PP-35, ANOVA, entre otros) y rectificadores de tubos (Rectificador de 19 tubos) aunque estos últimos eliminan el efecto swirl pero no mejoran el perfil de velocidad como si lo hacen los acondicionadores.

El diseño se realizó en base a la recomendación del fabricante RMG, quien propone un acondicionador de flujo PP-35 (placa perforada de 35 agujeros) cuyo diseño se muestra en la Figura 48. Estas placas serán ubicadas a una distancia de 5 diámetros en la tubería aguas arriba de las turbinas patrón.

**Figura 48. Acondicionador de flujo.**



## **4.9 SELECCIÓN DEL SISTEMA GENERADOR DE FLUJO.**

Para la selección de los elementos generadores de flujo se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- El alcance de caudal y la necesidad de ampliar el alcance de 8 m<sup>3</sup>/h a 6500 m<sup>3</sup>/h, con una amplia rangeabilidad de operación y buena estabilidad de caudal.
- Las pérdidas críticas debidas a tuberías y accesorios, de tal forma que los generadores de flujo garanticen el alcance propuesto.
- El diseño preliminar del banco y la consideración de utilizar un Blower para caudales de hasta 650 m<sup>3</sup>/h y otro Blower para caudales entre 650 m<sup>3</sup>/h a 6500 m<sup>3</sup>/h.

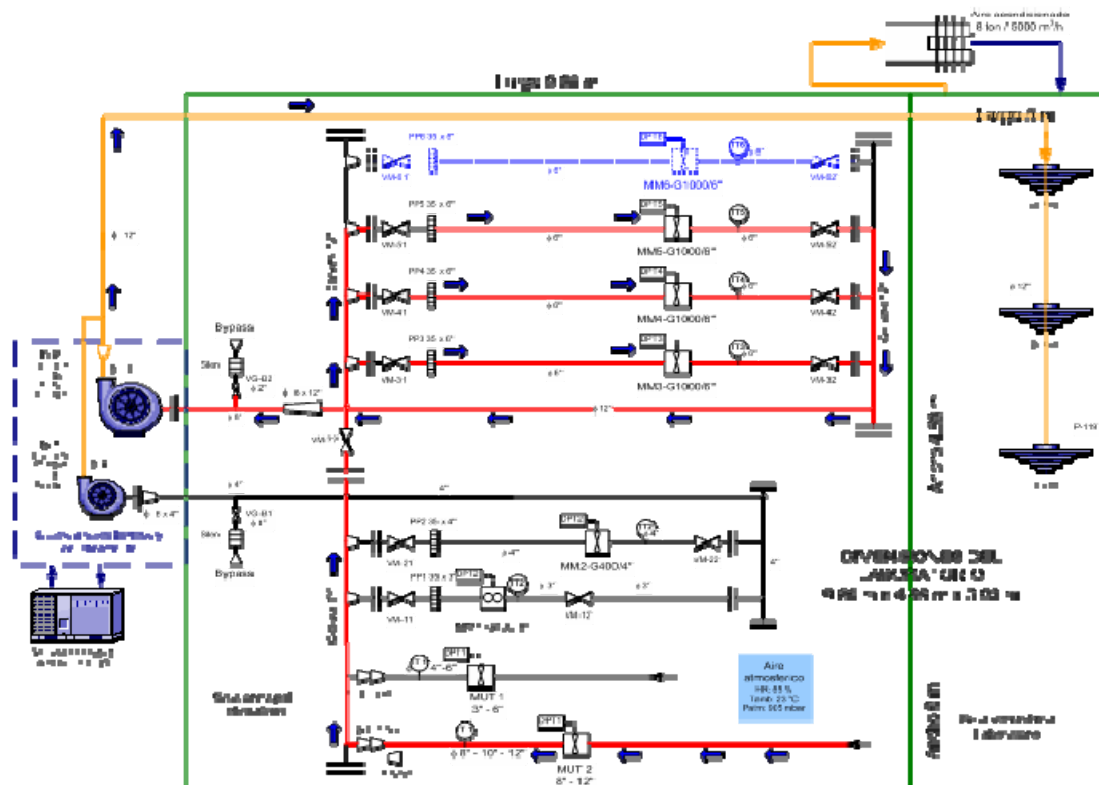
### **4.9.1 Calculo de la caída de presión del banco.**

Teniendo en cuenta documentos referentes a perdidas de cargas en conductos cerrados y tuberías, los data sheet de las turbinas y el medidor rotativo suministrados por los proveedores e idealizaciones matemáticas para el resto de accesorios mas la longitud de la tubería encontrada por el flujo en un escenario de operación, (Ver Figura 49), se realizo el respectivo análisis de la caída de presión presente en el Banco de Calibración teniendo en cuenta que las condiciones para cada escenarios de operación varían, entiéndase por escenario de operación a toda la instalación y condiciones necesarias para realizar la calibración de un medidor cliente con patrones de referencia. A continuación se presenta un ejemplo de escenario de operación para la calibración de un medidor cliente G-2500 de 10 pulgadas de

diámetro, este será calibrado con los medidores patrón 3, 4 y 5 (3 turbinas G-1000 en paralelo) para su caudal máximo de 4000 m<sup>3</sup>/h. Por cada turbina patrón pasara un caudal de aproximadamente 1334 m<sup>3</sup>/h. Las líneas de flujo, válvulas y demás accesorios necesarios para esta condición de operación se muestran en la Figura 49.

Los elementos, accesorios y las líneas de flujo utilizados en cada escenario de operación se muestran en la matriz de elementos mostrada en el Anexo 1, cabe resaltar la importancia de este tipo de matriz o escenarios de operación para dar mejor entendimiento y conciencia de los diferentes elementos que intervienen en cada proceso de calibración.

**Figura 49. Ejemplo de un escenario de operación para la calibración de un medidor tipo turbina G-2500.**



### **Caída de presión en los medidores.**

- Para la caída de presión en los medidores patrón se tuvo en cuenta el hecho que una vez definidos los modelos de las turbinas y el medidor rotativo las pérdidas se calcularon teniendo en cuenta los siguientes modelos matemáticos desarrollados por el fabricante de los medidores, para medidores tipo turbina se tiene la siguiente ecuación:

$$\Delta P_{\text{medidor}} = Z_p \cdot \rho \cdot \frac{Q_m^2}{DN^4} \quad \text{Ecuación 27.}$$

Donde:

$\Delta P$ = es la pérdida de presión. [mbar]

$Z_p$ = es el coeficiente de pérdida de presión.

$\rho$ = es la densidad. [Kg/m<sup>3</sup>]

$Q_m$ = es la rata de volumen de flujo en las condiciones medidas. [m<sup>3</sup>/h]

$DN$ = es el diámetro nominal del medidor. [mm]

En el caso del otro medidor patrón tipo rotativo su fabricante propone que para este modelo (Rotativo 132-A) a condiciones de máximo caudal se presenta una pérdida máxima de 2.5 mbar sin embargo para tener una pérdida aproximada la caída de presión se idealizo al mismo modelo matemático utilizado para calcular las pérdidas en las turbinas.

Los resultados de las pérdidas en los medidores patrón, teniendo en cuenta los escenarios de operación planteados anteriormente y las ecuaciones desarrolladas en este numeral, se muestran en el Anexo 2, en donde su puedo evidenciar que al comparar la caída de presión en el medidor rotativo dada por el fabricante y la caída calculada con el modelo matemático propuesto son muy similares.

- Para el cálculo de la caída de presión en los medidores cliente se consideraron los modelos y referencias de todos los posibles medidores que pueden ser clientes potenciales de calibración, idealizando finalmente la caída de presión con el mismo modelo matemático de las turbinas y rotativos RMG.

Las variables asignadas a cada ecuación y los resultados de este cálculo se muestran en el Anexo 3.

### ***Caída de presión en las válvulas.***

Para este calculo se tuvo en cuenta el modelo matemático de longitudes equivalentes mostrado en el monograma de la Figura 9, mostrado en el capítulo 2.

### ***Caída de presión en los acondicionadores de flujo.***

Para el cálculo de la caída de presión a través de los acondicionadores de flujo se utilizo el siguiente modelo matemático suministrado por RMG:

$$\Delta P_{acondicionadores} = Z_p \cdot \rho \cdot \frac{Q_m^2}{DN^4} \quad \text{Ecuación 28.}$$

Donde

$\Delta P$  = es la pérdida de presión. [mbar]

$Z_p$  = es el coeficiente de perdida de presión.

$\rho$  = es la densidad. [kg/m<sup>3</sup>]

$Q_m$  = es la rata de volumen de flujo en las condiciones medidas. [m<sup>3</sup>/h]

$DN$  = es el diámetro nominal del medidor. [mm]

Las variables asignadas y los resultados del anterior modelo matemático para todos y cada uno de los escenarios de operación y sus respectivas caídas de presión se muestran en el Anexo 4.

### **Caída de presión en las tuberías.**

Para el cálculo de las pérdidas en las tuberías se tuvieron en cuenta las ecuaciones del numeral 1.4 y para los accesorios (codos, reducciones, ampliaciones) se utilizó el método de longitudes equivalentes monograma mostrado en la Figura 9.

### **Resultados.**

La caída de presión total presente en todo el banco se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\Delta P = \Delta P_{MUT} + \Delta P_{MM} + \Delta P_{PP} + \Delta P_{TUBERIA} + 20\% * \Delta P \quad \text{Ecuación 29.}$$

Donde:

$\Delta P$  = Caída de presión.

$\Delta P_{MUT}$  = Caída de presión en el medidor cliente.

$\Delta P_{MM}$  = Caída de presión en el medidor patrón.

$\Delta P_{PP}$  = Caída de presión en el acondicionador.

$\Delta P_{TUBERIA}$  = Caída de presión en la tubería.

$\Delta P * 20\%$  = Factor de seguridad de 0.2 de las pérdidas totales.

Los respectivos cálculos de la caída de presión total se hicieron teniendo en cuenta la ecuación 24, en donde se asocian las respectivas caídas de presión presentadas por cada elemento en el desarrollo de los escenarios de operación.

Los resultados críticos para la selección de los dos Blower se presentan en la siguiente tabla (Ver Tabla 14).

**Tabla 14. Caída de presión general del Banco.**

<b>MUT</b>	<b>MM</b>	<b>Qmax (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>ΔP (mbar)</b>
G 400 4"	G 400	650	54
G 4000 12"	4 X G1000	6500	66

***Caída de presión utilizando el software SF PRESSURE DROP.***

Para comprobar y dar validez a los resultados obtenidos por los métodos anteriormente descritos se utilizó el software SF PRESSURE DROP 6.2. En el Anexo 5 se describen las especificaciones del programa.

En el Anexo 6 se muestra un ejemplo de cálculo utilizando el software SF PRESSURE DROP 6.2. Los resultados de todos los cálculos de caída de presión para todos los escenarios de operación se muestran en el Anexo 7.

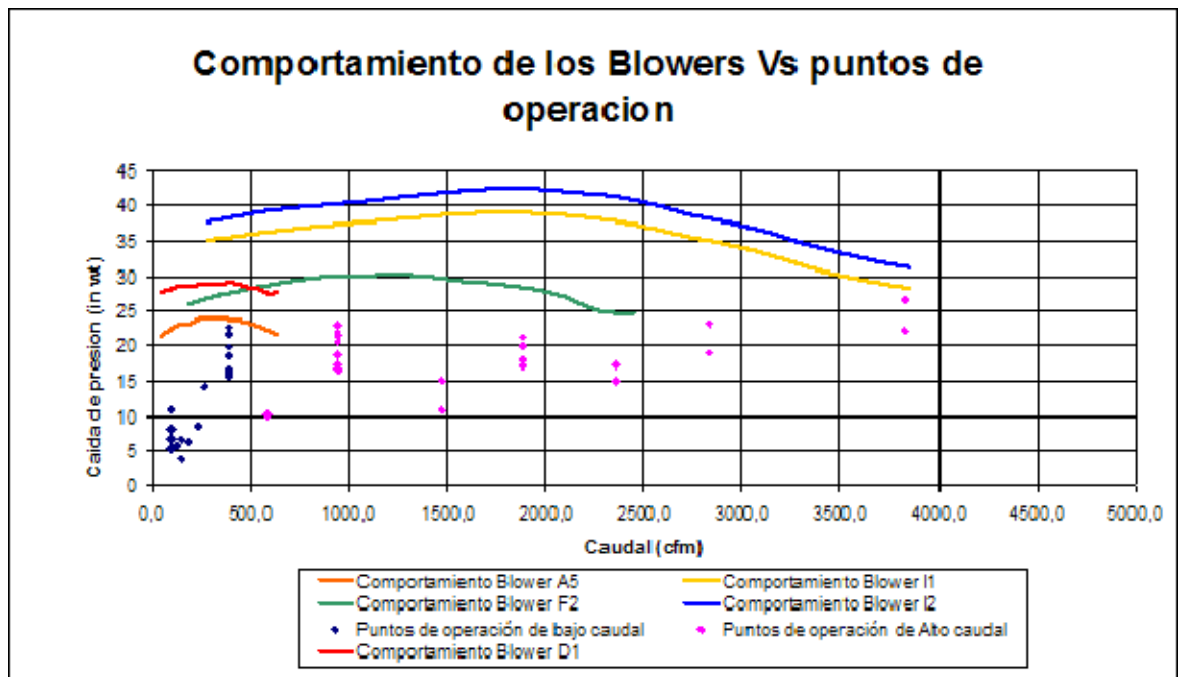
**4.9.2 Selección de Blowers.**

Con las condiciones de operación críticas obtenidas de los cálculos descritos anteriormente (ver Tabla 14), el fluido de trabajo, presión de operación y caudal requerido, se seleccionaron dos Blower marca Chicago blowers, el primero de diseño 53 modelo D1 para caudales menores a 650 m<sup>3</sup>/h y el segundo de diseño 53 modelo I2 para caudales entre 650 m<sup>3</sup>/h a 6500 m<sup>3</sup>/h.

Para la selección anterior, se estudiaron los modelos disponibles por Chicago Blower Corp (proveedor seleccionado debido al respaldo y confiabilidad de sus productos), de donde se obtuvieron los comportamientos de los diferentes modelos y de esta forma, poder realizar una comparación al suministrarle los datos de las condiciones de operación de nuestro sistema al

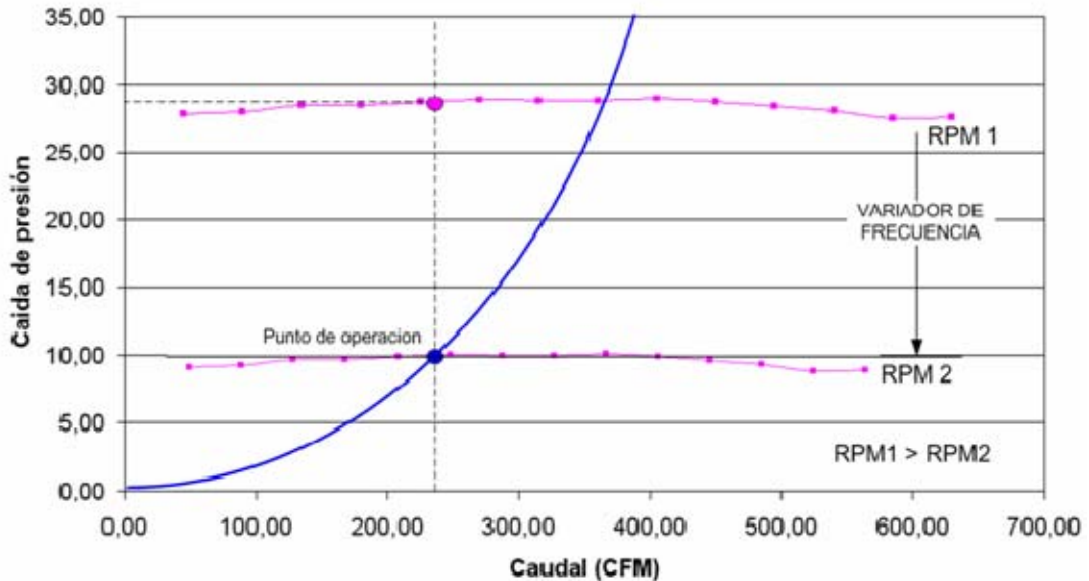
fabricante, este en primera instancia recomendó los modelos A5 e I1 pero para nuestro estudio de comportamientos a bajo caudal y a alto caudal, mostrados en la figura (Ver Figura 50) , se observaron condiciones de operación muy ajustadas a los blowers recomendados, así que finalmente se seleccionaron los modelos D1 e I2.

**Figura 50. Comportamiento de los Blowers en operación.**



En la figura (Ver Figura 50) se puede observar que la caída de presión del punto de operación del ventilador es mayor a la caída de presión del sistema, para compensar esta diferencia y poder obtener las condiciones de operación deseadas se hará variar la velocidad de los motores con variadores de frecuencia, (Ver Figura 51).

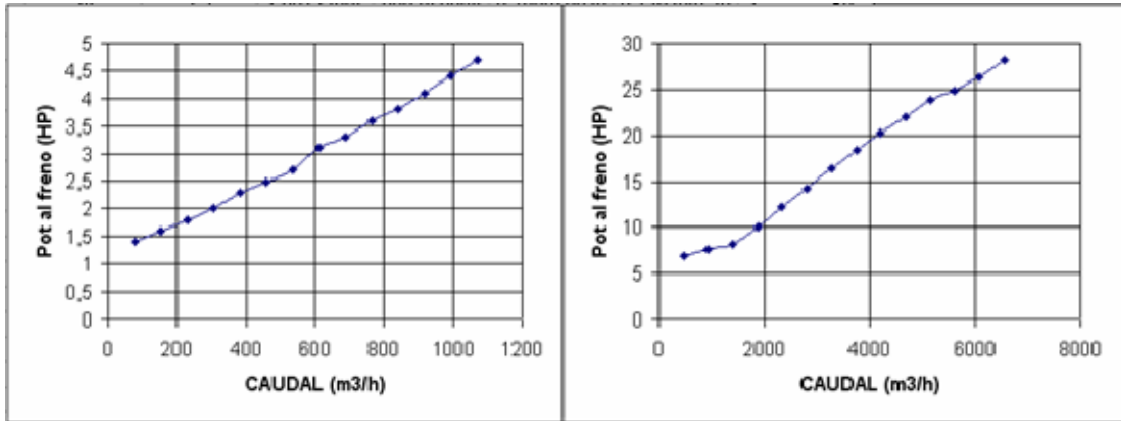
**Figura 51. Ajuste curva de operación Blower al punto de operación.**



#### **4.9.3 Selección del sistema de potencia de los Blower.**

Para la selección y adquisición del sistema de potencia de los Blowers (motores) se tuvo en cuenta la potencia requerida para poder cubrir las condiciones mas criticas de operación junto con las recomendaciones del fabricante dadas en el catalogo por medio de la caracterización de los Blowers, mostrándose la potencia requerida para un caudal y una caída de presión según el modelo, (Ver Anexo 8 y Anexo 9). El comportamiento de la potencia con respecto a las condiciones de trabajo caracterizadas por el fabricante para los Blowers seleccionados se puede observar en la Figura 52. En base a estas observaciones se seleccionaron dos motores con potencia nominal de 5 y 30 caballos de fuerza respectivamente.

**Figura 52. Variación de Pot al freno Vs Caudal según fabricante.**



Fuente: Chicago Blowers Corp.

Para la adquisición se ofrecía la posibilidad de suministrar dos motores marca Emerson E-LINE sin embargo también ofrecían la posibilidad de seleccionar cualquier tipo de motor con iguales características pero surgía el inconveniente de tener que suministrarlos por parte del CDT de GAS en las instalaciones de COIN (fabricante de Blowers o ventiladores centrifugos), para su respectivo montaje y además de esto el balanceo dinámico tendría que hacerse en las instalaciones del CDT de GAS por miembros de COIN significando un aumento adicional en los costos. Por el contrario si se suministran los motores directamente por COIN, estos son montados y balanceados directamente en COIN sin un aumento económico adicional además son entregados con garantía COIN. Es por esto que se seleccionaron motores marca Emerson E-line, en la Tabla 15 se pueden apreciar las algunas características generales es los motores seleccionados.

**Tabla 15. Características de los motores.**

ITEM	Motor 1	Motor 2
Marca	Emerson	Emerson
Potencia	5 HP	30 HP
RPM	3600	3600
Voltaje	230/460	230/460
Fases	3	3
Ciclos	60 Hz	60 Hz
WR <sup>2</sup>	8.55 lb-ft <sup>2</sup>	46 lb-ft <sup>2</sup>
F.S.	1.4	1.5
Tipo Arranque	Directo	Estrella Triangulo

Fuente: Emerson Motors.

#### **4.9.4 Selección de los variadores de velocidad.**

La elección y selección de los variadores de velocidad se realizo en base a las siguientes consideraciones:

- Tener las condiciones necesarias y adecuadas de arranque para los motores de acuerdo a las especificaciones suministradas por el fabricante.
- Tener la capacidad de controlar el caudal que generara cada uno de los blower o ventiladores centrífugos pudiéndose ajustar la curva de operación del blower con el punto de operación.
- Tener la capacidad de realizar comunicación entre los variadores y el sistema de control en lazo cerrado para automatizar el proceso de calibración.

En la Tabla 16 se pueden apreciar las principales características de los variadores de frecuencia seleccionados.

**Tabla 16. Características de los variadores de velocidad.**

ITEM	VARIADOR 1	VARIADOR 2
Marca	US Motors	US Motors
Modelo	Varidyne 2, tamaño 2	Varidyne 2, tamaño 4
Referencia	VFK 2202/VK19	VFK 4202/VK38
Potencia	5 HP	30 HP
Voltaje	220 a 240 V CA $\pm 10\%$	220 a 240 V CA $\pm 10\%$
Frecuencia nominal	48 a 65 Hz	48 a 65 Hz
Corriente continua de entrada máxima	22,6 A	78,1 A
Valor mínimo de resistencia de frenado	18 $\Omega$	5 $\Omega$

Fuente: Emerson Motors.

#### **4.10 DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS Y SOPORTES.**

##### **4.10.1 Estructura principal.**

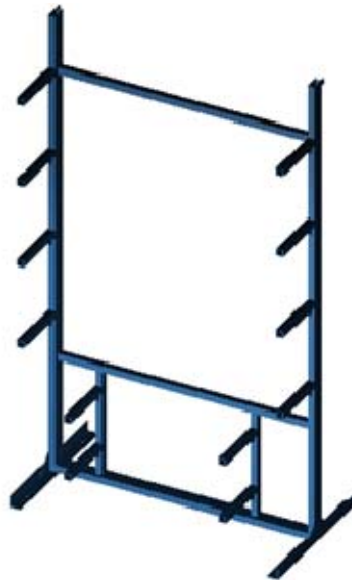
La estructura principal del banco será la encargada de soportar la gran mayoría de los elementos constitutivos de este, esta estructura soportara en su totalidad el sistema de medición compuesto por medidor patrón, tubería aguas arriba y aguas abajo. Los requisitos que este diseño debe cumplir son:

- Soportar el peso total de los sistemas de medición de referencia, lo cual sería soportar; 4 sistemas de medición con patrón de 6” con un peso estimado de 190 kg cada uno, 1 sistema de medición con patrón de 4” con un peso de 102 kg y 1 sistema de medición con patrón de 3” con un peso de 70kg.
- Debe ser compacta debido al poco espacio disponible en el laboratorio.

Para satisfacer los requerimientos anteriores se planteo el diseño mostrado en la Figura 53.

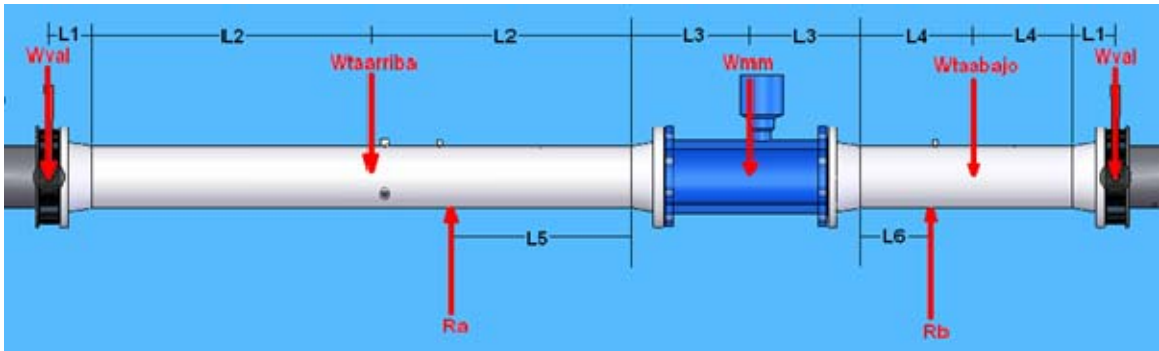
El diseño consta de 2 columnas principales formadas por tubo estructural rectangular de 80 X 40 X 3 mm, tendrá como soporte o apoyos en sus extremos dos ángulos de 2 ½"X 2 ½"X ¼ ". El resto de la estructura fue diseñada en tubo de 40 X 40 X 3mm.

**Figura 53. Estructura de soporte.**



La estructura principal fue sometida a un análisis estático (Figura 54) del cual se pudo obtener los valores para las reacciones  $R_a$  y  $R_b$  tenidas en cuenta para el análisis estructural. Los valores de los parámetros tenidos en cuenta y el respectivo valor de  $R_a$  y  $R_b$  se muestran en una tabla (Ver Tabla 17).

**Figura 54. Fuerzas actuantes en el modelo estático.**



**Tabla 17. Resultado del análisis estático.**

G-1000	
Wval	17,2
Wtaarriba	65,183
Wmm	50
Wtaabajo	39,086
L1	118,88
L2	751,1
L3	317,5
L4	296,1
L5	500
L6	250

G-400	
Wval	10,8
Wtaarriba	30,072
Wmm	30
Wtaabajo	20,087
L1	104,4
L2	483,8
L3	229
L4	178,8
L5	250
L6	100

G-100	
Wval	7,93
Wtaarriba	21,542
Wmm	16
Wtaabajo	15,739
L1	94,47
L2	500
L3	161,85
L4	243,245
L5	250
L6	100

Ra	121,583424
Rb	67,0855764

Ra	65,9784084
Rb	35,7805916

Ra	44,6170219
Rb	24,5239781

Donde:

Wval= Peso de la válvula. (kg)

Wtaarriba= Peso de la tubería aguas arriba. (kg)

Wmm= Peso del medidor patrón. (kg)

Wtaabajo= Peso de la tubería aguas abajo. (kg)

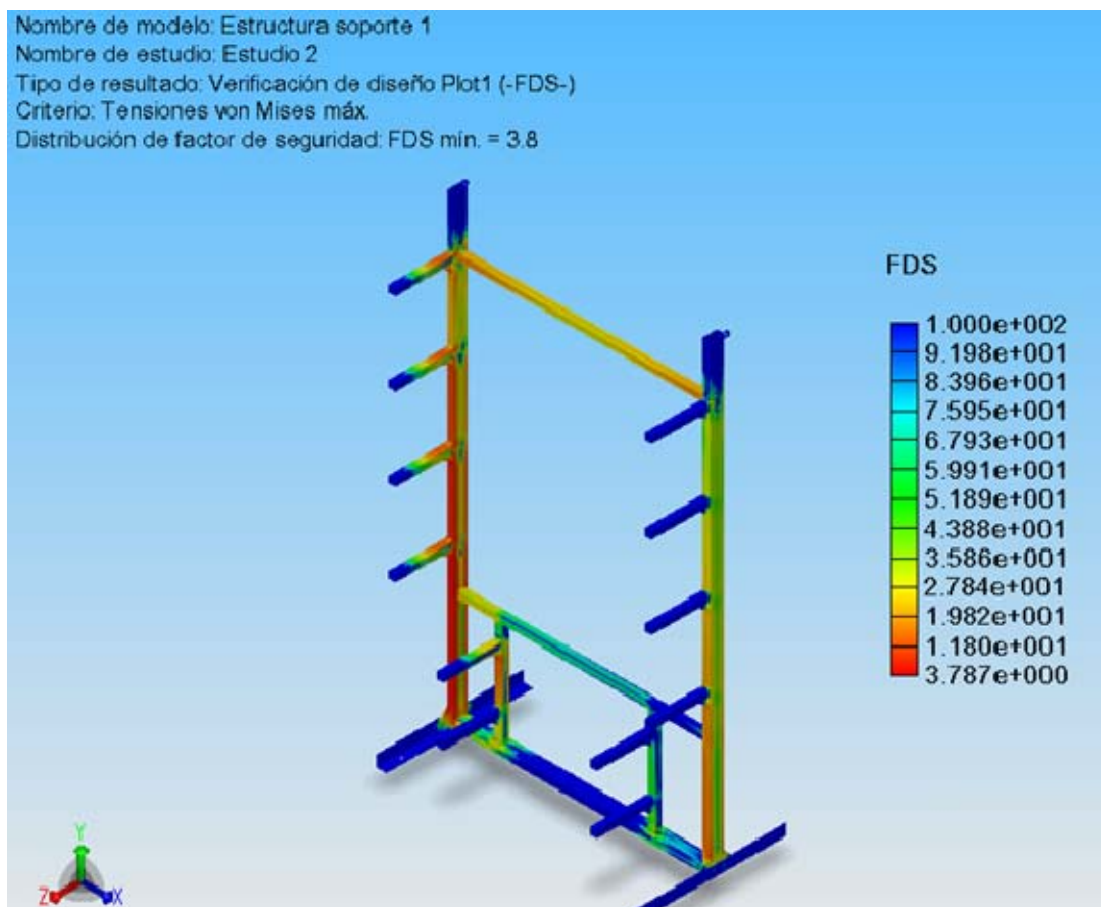
L1, L2, L3, L4, L5, L6= Longitudes correspondientes. (mm)

Ra y Rb= Resultantes. (kg)

A continuación se realizó un análisis estructural ubicando las fuerzas axialmente en la estructura. El análisis arrojó un factor de seguridad mínimo de 3.8 como se muestra en la Figura 55, el cual es conservativo teniendo en cuenta la función de la pieza.

Este factor se presentó como era de esperarse en la base izquierda de la estructura la cual es sometida a un mayor esfuerzo.

**Figura 55. Factor de seguridad Estructura de soporte.**



#### 4.10.2 Diseño del soporte del cabezal horizontal.

El soporte del cabezal horizontal es el encargado de dar el anclaje del banco de calibración con la tierra además debe soportar el peso del cabezal horizontal estimado en 90 kg.

**Figura 56. Soporte cabezales horizontales.**



El diseño consiste en un lamina de  $\frac{1}{4}$ " doblada de manera concéntrica con el diámetro de un tubo de 12" soportada en una estructura formada por una lamina superior, una inferior y dos columnas formadas por ángulos de  $2\frac{1}{2}$ "X  $2\frac{1}{2}$ "X  $\frac{3}{16}$ " y dos tuercas con sus respectivas arandelas que permitirán el desplazamiento vertical. Para garantizar un correcto alineamiento y distribución del peso serán usados 3 soportes a lo largo del cabezal horizontal. Este elemento del banco estará sometido a una carga estática muy baja por lo cual no se considero crítico como para entrar en un análisis mayor con respecto a su resistencia estructural.

#### **4.10.3 Diseño del soporte de los tubos de trabajo.**

Su función es soportar los tubos de trabajo durante la calibración, fue diseñado teniendo en cuenta los diferentes diámetros de los tubos de medición garantizando su servicio para todos los diámetros establecidos. Diseñado en su totalidad en tubería cuadrada de 1" X 1" X 1/8" además de dos gatos tipo tijera soportados en lamina de 1/8". Debido a sus condiciones de operación la carga a la que estará sometido no es significativa por lo tanto no se considero importante su análisis estructural.

**Figura 57. Soporte de tubos del medidor bajo prueba.**



#### **4.10.4 Diseño de los soportes de los medidores bajo prueba (MUT).**

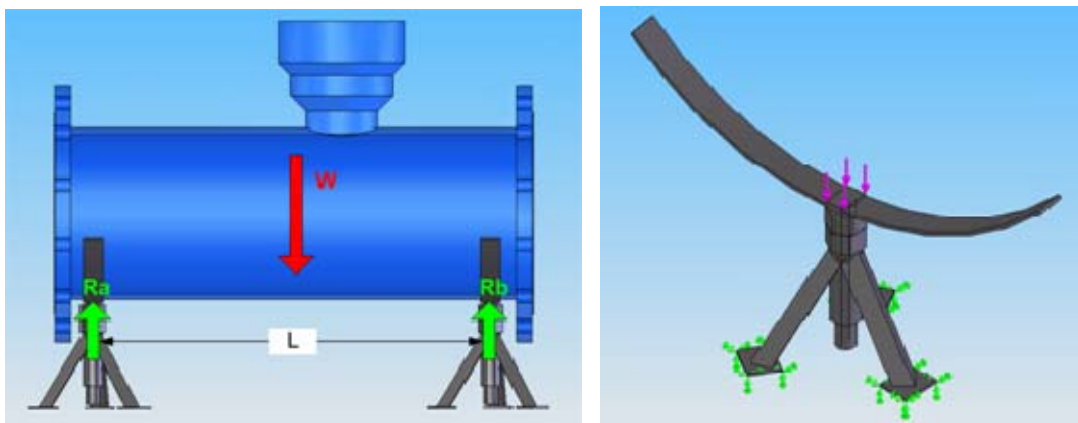
El cuerpo de este soporte consta de tres patas diseñadas en ángulo de 1" X 1" X 3/16" a una distribución de 120° apoyadas en una lámina de 1/8", soldadas a un tubo circular de 1 1/4" calibre 12. Sobre esta base se ensambla un tornillo de 1" al cual va soldada una lamina de longitud tal que al ángulo de abrace sea de 90°, ancho 1 1/2" y espesor 3/16".

**Figura 58. Soporte para medidores bajo prueba.**



El montaje del medidor bajo prueba se hará sobre dos soportes, lo cual hace que la carga total del medidor este distribuida en estos dos como se puede apreciar en la Figura 59, por lo tanto los soportes mencionados deberán tener la capacidad de resistir el medidor mas pesado el cual tiene un peso “W” de 575 kg y una longitud “L” de 1200 mm.

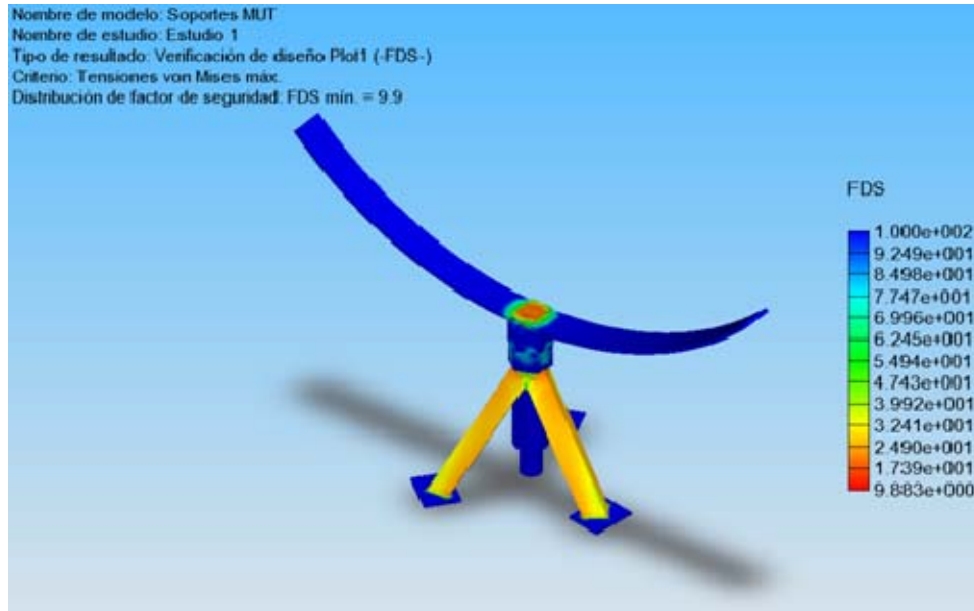
**Figura 59. Análisis estático estructura MUT.**



Con el apoyo de un software se realizo el análisis estructural (CAE) para la verificación del diseño propuesto (Ver Figura 60), encontrándose un factor de seguridad alto, lo que nos llevo a analizar la relación material-costos y se observo que la disminución del costo con respecto a las reducciones de

material no era significativas por lo cual se opto por dejar el diseño propuesto en un principio.

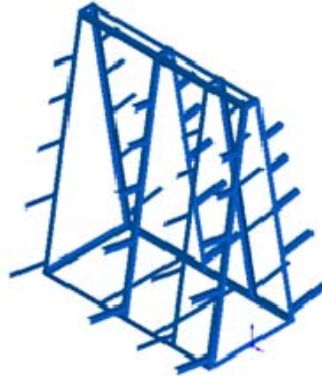
**Figura 60. Análisis estructural del soporte del MUT.**



#### **4.10.5 Diseño de la estructura de almacenamiento de los tubos de trabajo.**

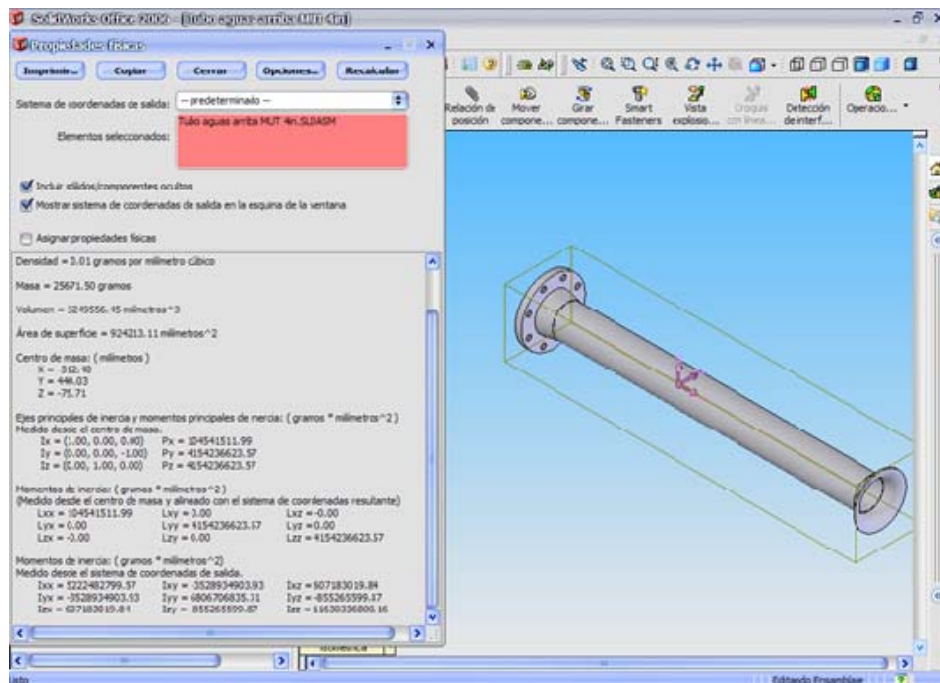
La función de esta estructura es almacenar los tubos de trabajo cuando estos no estén siendo utilizados, para su diseño se tuvo en cuenta su funcionalidad tal que permite además de ser almacén también ser transporte de los tubos. Su estructura principal esta diseñada en ángulo de 1 ½" X 1 ½" X 3/16" al cual van soldados los soportes de los tubos de medición hechos en ángulo de 1 ½" X 1 ½" X 1/8". Para dar rigidez a la base se adicionaron dos platinas ubicadas en forma simétrica hechas en lamina de espesor 3/16" y de ancho 1 ½".

Figura 61. Estructura para almacenar tubos.



Teniendo en cuenta la geometría de la estructura, los respectivos pesos de los tubos (estos fueron estimados por medio de software como se muestra en la Figura 62, las masas calculadas se muestran en la Tabla 18) y la ubicación de los mismos, se realizó un análisis estático y posteriormente un análisis de esfuerzos el cual arrojó como resultado un factor de seguridad mínimo de 2.9, (Ver Figura 63).

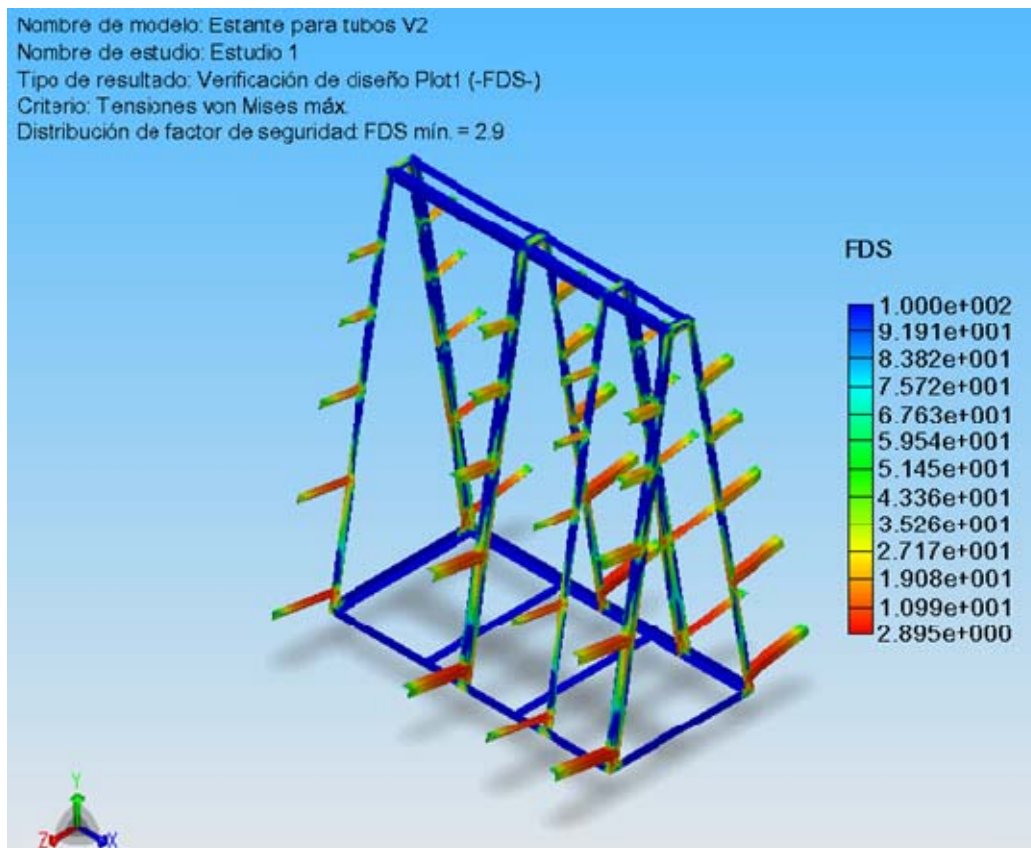
Figura 62. Propiedades físicas de los tubos calculadas por software.



**Tabla 18. Masa y centros de masa de lo tubos de trabajo.**

ITEM	MASA (gr)	CENTRO DE MASA		
		X	Y	Z
Tubo aguas arriba MUT 3in	14704.25	-350,6	339,55	15,63
Tubo aguas abajo MUT 3in	14552.61	-114,04	156,52	14
Tubo aguas arriba MUT 4in	25671.5	-312,4	440,02	75,71
Tubo aguas abajo MUT 4in	20471.7	-193,55	7,89	-5,08
Tubo aguas arriba MUT 6in	53090.92	-310,11	696,5	-124,19
Tubo aguas abajo MUT 6in	23721.09	-111,96	258,19	-17,2
Tubo aguas arriba MUT 8in	34240.37	-215,01	764,91	-202,89
Tubo aguas abajo MUT 8in	22531.51	-455,43	404,97	-19,93
Tubo aguas arriba MUT 10in	5248.87	-527,01	1072,3	-196,31
Tubo aguas abajo MUT 10in	33688.66	-403,23	484,24	-32,84
Tubo aguas arriba MUT 12in	6276382	-601,08	1057,76	-181,08
Tubo aguas abajo MUT 12in	56951.8	-779,88	718,26	-19,11
Tubo aguas arriba MUT 16in	77618.24	-487,2	973,78	-193,7
Tubo aguas abajo MUT 16in	71776.43	-457,44	840,6	-1,57

**Figura 63. Factor de seguridad Estructura para tubos**



#### 4.11 DISEÑO DEL CUARTO DE MAQUINAS.

Bajo la necesidad de proteger los generadores de flujo con sus respectivos motores, variadores y el sistema de potencia eléctrica se realizó el diseño de un cuarto de maquinas teniendo en cuenta que este deberá garantizar el cumplimiento de los siguientes requerimientos:

- Albergar y proteger de las condiciones ambientales a los elementos generadores de flujo y todos los dispositivos que estén contemplados para su funcionamiento.
- Garantizar que el cuarto sea modular para que pueda ser trasladado debido a que para el 2010 el CDT de gas tendrá una sede propia y el banco de calibración será instalado en el nuevo laboratorio.
- Aislar acústicamente el ruido generado por los blower y motores, teniendo como referencia los niveles de presión sonora permitidos en ambientes de trabajo mostrados en la Tabla 19.

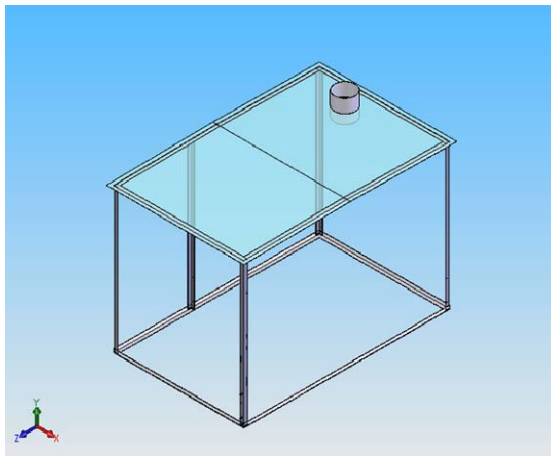
**Tabla 19. Valores límites permisibles para ruido continuo o intermitente.**

Tiempo	db (A)
8 horas	90
7 a 6 horas	92
5 a 4 1/2 horas	95
3 1/2 a 3 horas	97
2 horas	100
1 1/2 horas	102
1 hora	105
1/2 hora	110
1/4 hora o menos	115

Capitulo V, Artículo 41, tabla 3. Resolución N° 8321 del 4 de Agosto de 1983. Republica de Colombia, Ministerio de Salud.

Teniendo en cuenta lo anterior se realizo el diseño mostrado en la Figura 64, el cual consta de una estructura principal en ángulo de 2 X 2 pulgadas, esta es ensamblada mediante tornillos de 3/8". Las dimensiones espaciales del cuarto de maquinas son 3m de largo (z), 1.9m de ancho (x) y 2m de alto (y).

**Figura 64. Estructura cuarto de maquinas.**

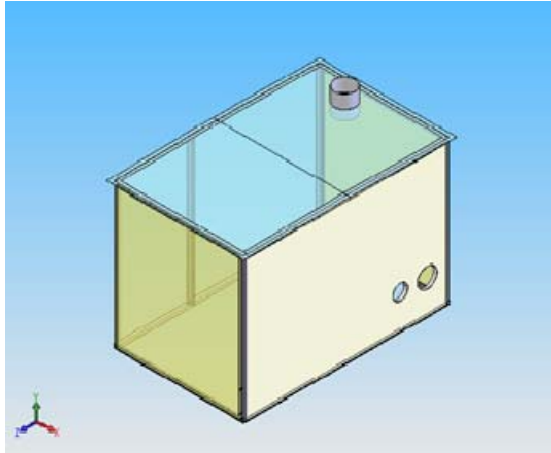


Los módulos laterales fueron diseñados en lamina calibre 12 y ángulo de 1 X 1 pulgada solidario a los mismos, los módulos son ensamblados mediante tornillos de 3/8" como se muestra en la Figura 65.

Los paneles deberán ser rígidos para lo cual se instalaran omegas transversales y/o longitudinales de refuerzo. Finalmente se diseño una puerta la cual es de montaje y desmontaje rápido, operación llevada a cabo por medio de 4 cierres rápidos.

Para el aislamiento acústico se selecciono un material denominado Black theater cuyas especificaciones se muestran en el Anexo 10.

**Figura 65. Ensamble de módulos al cuarto de maquinas.**



#### **4.12 DISEÑO DEL DUCTO DE DESCARGA.**

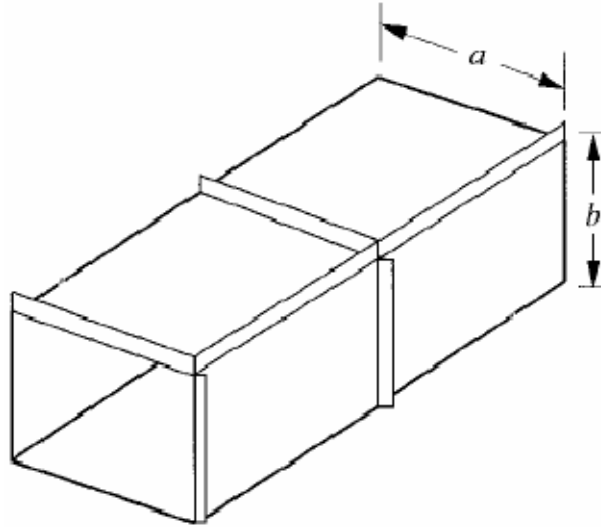
El objetivo de esta ducto es suministrar el aire proveniente de los blower al laboratorio, para su diseño se tuvieron en cuenta dos criterios, el criterio de velocidad y el criterio de costo.

##### **4.12.1 Criterio de velocidad.**

La velocidad máxima del aire que circula por un ducto de esta determinada generalmente de acuerdo al nivel sonoro y al espacio disponible para el ducto. Teniendo en cuenta el criterio de velocidad para ductos industriales planteado en el capítulo 17 del libro air systems: air duct design, el cual es de 17.5 m/s y la rata de flujo máxima que va a transportar cuyo valor es de 6500 m<sup>3</sup>/h se realizo la estimación del área mínima del ducto.

El área calculada fue de 0,10318 m<sup>2</sup>, de manera que nuestro diseño por velocidad concluyo un ducto rectangular de a= 0,35 m y b= 0,30 m, como se muestra en la Figura 66.

**Figura 66. Dimensiones del ducto de descarga según criterio de velocidad**



#### **4.12.2 Criterio de costo.**

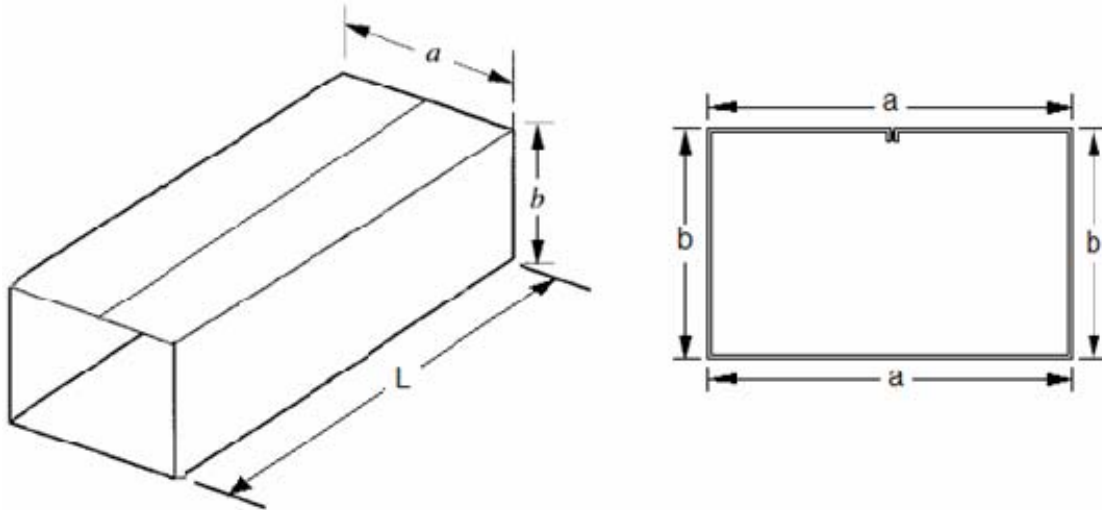
Para realizar un diseño óptimo de un ducto de debe tener en cuenta la relaciona área transversal vs costo de fabricación, de manera que el diseño apropiado sea también el que tenga un costo razonable.

Teniendo en cuenta el área del ducto calculada según el criterio de velocidad y pensando en el ahorro de material ya que las laminas de acero galvanizado que se encuentran en el mercado colombiano vienen en tamaño de 2.4 m X 1.24 m se planteo el diseño del ducto de descarga de tal manera que el costo fuera el menor.

De esta manera y aprovechando al máximo el material se planteo el diseño del ducto de  $L = 2.4$  m y la sección rectangular se planteo teniendo en cuenta que  $2a + 2b \leq 1.24$  m, es decir la sección de  $a = 0,35$  m y  $b = 0,25$  m. y 0,02

m disponibles para realizar la unión de la lamina, los anteriores parámetros y el diseño final de la sección del ducto se muestran en la Figura 67.

**Figura 67. Dimensiones del ducto de descarga criterio de costo.**



#### **4.13 REDISEÑO DE LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL LABORATORIO.**

Existen diversos factores involucrados en una medición los cuales pueden tener influencia en el transcurso de una calibración, por ejemplo: los resultados de la calibración de un instrumento, la misma incertidumbre del instrumento patrón, la repetibilidad de las lecturas, la reproducibilidad de las mediciones, las condiciones ambientales, entre otras.

Algunos de estos factores pueden ser controlados, es el caso de las condiciones ambientales en cuanto a temperatura se refiere. Siendo la condición ideal que la temperatura en el patrón sea la misma del medidor bajo prueba y a su vez estas sean iguales a la temperatura ambiente, de esta manera se elimina la corrección por diferencia de temperatura y se garantiza

la homogeneidad de las condiciones del fluido de manera que este atraviesa el patrón y el medidor bajo prueba a las mismas condiciones.

Es por ello que se planteo una verificación y un rediseño de la capacidad de enfriamiento del aire acondicionado instalado actualmente en el laboratorio, como es sabido la instalación del banco se traduce en un aumento significativo de carga adicional que el sistema debe soportar garantizando el correcto funcionamiento y además de esto también se debe garantizar el confort del recinto.

#### **4.13.1 Verificación del sistema de aire acondicionado.**

Uno de los problemas que se estaba presentando era la inestabilidad térmica en las horas del medio día, cuando aumentaba la temperatura ambiente exterior el aire acondicionado no brindaba el confort adecuado debido a esto se realizo la verificación de las condiciones del sistema de aire acondicionado dentro de esta verificación también se considero realizar una evaluación de la selección de la unidad.

Las características del sistema de aire acondicionado instalado en el laboratorio se describen a la Tabla 20.

**Figura 68. Aire acondicionado del laboratorio del CDT de GAS.**



**Tabla 20. Principales características de la unidad de aire acondicionado.**

MARCA	YORK	
MODELO	D3CE 102	
CAPACIDAD	8 -1/2 TON	
BLOWER EVAPORADOR	BLOWER (Dia X Ancho in)	12 X 12
	MOTOR HP	2
	CFM	3000
EVAPORADOR	FILAS HACIA EL FONDO	4
	ALETAS POR in	15
	AREA (pie2)	9,1
VENTILADOR CONDENSADOR (2 por unidad)	ASPA (in)	24
	MOTOR HP	1/2
	CFM	3200
CONDENSADOR	FILAS HACIA EL FONDO	2
	ALETAS POR in	13
	AREA (pie2)	20
REFRIGERANTE	R-22	
	SISTEMA 1 (lb)	7
	SISTEMA 2 (lb)	7

Fuente: YORK

Realizando la verificación del sistema de aire acondicionado del laboratorio se encontraron los siguientes problemas:

- Motor del ventilador de una de las unidades de condensación no operativo.
- Demasiado tiempo sin la realización de un mantenimiento preventivo.
- Baja carga de refrigerante.
- Unidad de refrigeración con aislamiento deteriorado.
- Ductos de distribución de aire no correspondientes al laboratorio.

- Deterioro de los soportes de los ventiladores del condensador, lo cual generaba alta vibración

#### 4.13.2 Calculo de la carga térmica.

Dentro de la verificación de la capacidad de la unidad de aire acondicionado se realizo el cálculo de la carga térmica del local para comprobar la adecuada selección del sistema. Se utilizo el procedimiento descrito en el “Manual para el cálculo de cargas de enfriamiento y calefacción” el cual fue preparado por ASHRAE “Sociedad americana de ingenieros de calefacción, refrigeración y aire acondicionado”. En la Tabla 21 se muestran las consideraciones más relevantes para la realización de este cálculo.

**Tabla 21. Consideración para el cálculo de la Carga Térmica.**

FUENTE	CONSIDERACIONES	CARGA (Btu/h)
LUCES	44 portalámparas	11667,11
	2 lámparas por portalámpara	
	40 wattios por lámpara	
	Todas las luces permanecen encendidas por 12 horas	
	Las luces están colgadas libremente	
PERSONAS	El número de personas promedio en el laboratorio es de 12 personas.	5477,40
	Las personas permanecen en promedio 12 horas diarias en el laboratorio. El tiempo de entrada de las personas es 7:00 am y de salida 7:00 pm.	
	La tipo de actividad que desarrollan es similar a la desarrollada en una oficina, personas sentadas frente a un computador.	
EQUIPOS	12 computadores con procesador pentium 4 y monitores de 19".	10891,08
	1 video beam + computador portatil.	
	1 horno eléctrico.	
	1 calentador de agua.	
VENTANAS	Vidrio sencillo claro, espesor 1/4 a 1/2 de pulgada	12255,30
	Vidrio 100%, sin sombreado interior. (verano)	
TECHOS	Techo con cielo razo	6418,86
	Tipo de techo pesado de concreto ligero, espesor 8"	

	Techo de color oscuro (zona industrial)	
<b>PARED</b>	El tipo de pared corresponde a una pared pesada.	5921,10
	Pared de concreto pesado y acabado en concreto. Ancho pared 8"	
<b>VENTILACION</b>	Condiciones ambientales de Piedecuesta, Santander	16699,89
	Los CFM se calcularon teniendo en cuenta el número de personas presentes en el laboratorio.	
	Infiltración de aire nula.	
	El tipo de recinto considerado fue un recinto comercial y espacios de oficinas en general.	
<b>QTOTAL</b>	$Q_{total} = Q_{lucos} + Q_{personas} + Q_{equipos} + Q_{ventanas} + Q_{techo} + Q_{pared} + Q_{ventilación}$	<b>69330,75 BTU/h</b> <b>5.78 TON</b>

Una vez calculada la carga del local, se observa que el problema de estabilidad térmica no es por el equipo seleccionado, por lo cual será necesario entrar a analizar otros factores como lo son la distribución de aire de enfriamiento y las condiciones o el estado en el que se encuentra el equipo.

#### 4.13.3 Actividades de mejora.

Con el fin de mejorar y aumentar la eficiencia del sistema actual de aire acondicionado del laboratorio, se realizaron las siguientes actividades:

##### **Unidad de aire acondicionado:**

###### *Mantenimiento correctivo:*

- Compra e instalación de 2 motores sellados de ½ HP @1075rpm.
- Compra e instalación de 2 aspas del ventilador de la unidad condensadora, cada aspa de 22”.
- Compra e instalación de soportes para los motores.

- Instalación de un temporizador para el control del encendido de la unidad manejadora.
- Cambio del aislante térmico de unidad de refrigeración.
- Cambio de rodamientos para el eje del motor y el eje del Blower (ventilador centrífugo del evaporador)

*Mantenimiento preventivo:*

- Lavado y cepillado de los serpentines del evaporador y condensador.
- Verificación de voltaje y amperaje.
- Carga de refrigerante.

**Figura 69. Recarga de refrigerante.**



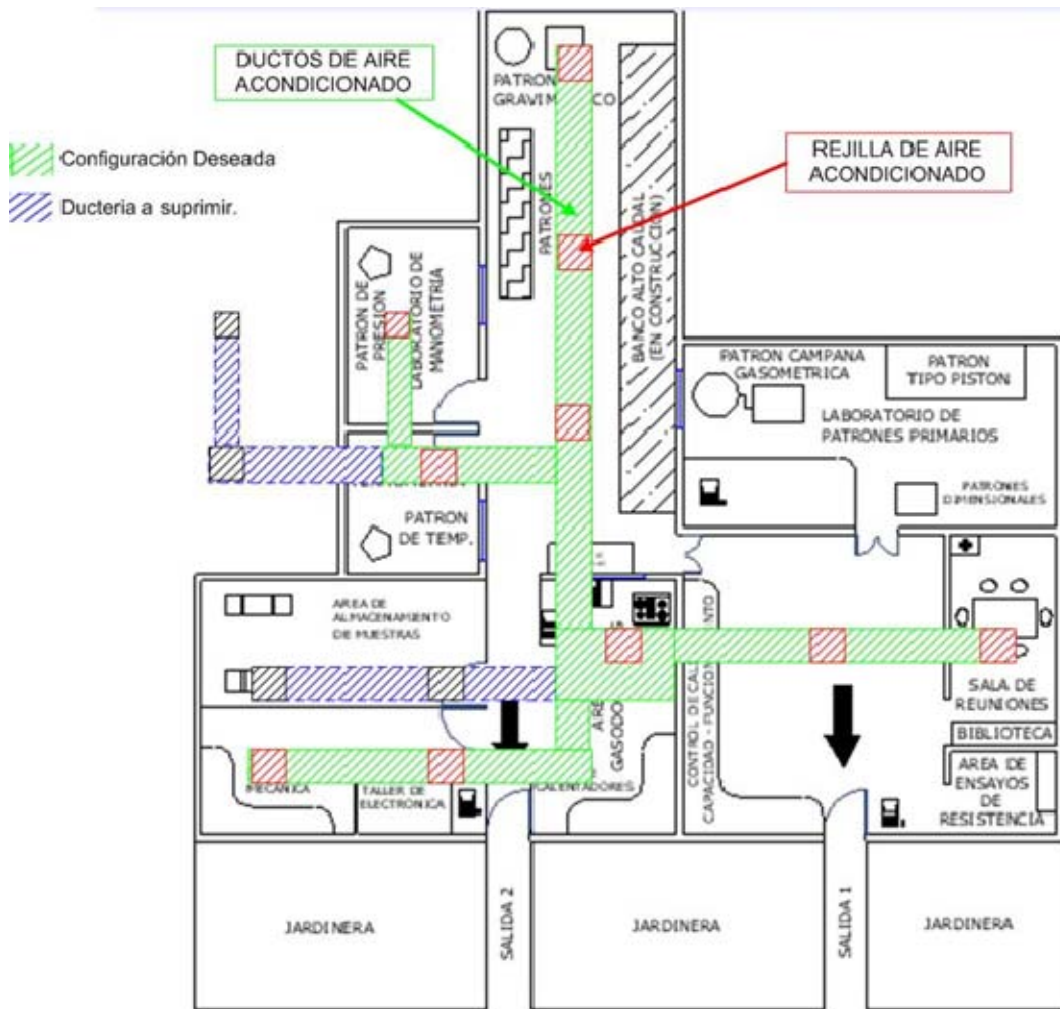
**Figura 70. Cambio del aislamiento térmico de la condensadora.**



### **Adecuación de ductos.**

En las actividades de mantenimiento de los ductos se observó la distribución de aire en dos zonas que no pertenecían al laboratorio por lo que se decidió sellar esos tramos de ductería, además de esto se trasladó un ramal debido a que se estaba acondicionando innecesariamente la bodega, los cambios realizados al sistema de ductos del laboratorio del CDT de GAS se muestran en la Figura 71.

**Figura 71. Sistema de ductos de aire mejorado.**



### ***En el laboratorio:***

Dentro de la planta física del laboratorio se encuentran ventanales de 1,50 m X 1,80 m sin ningún tipo de protección, haciéndose mas critica la capacidad de enfriamiento del sistema de aire acondicionado debido a la transferencia de calor por radiación, por lo cual las principales actividades que se llevaron a cabo para la disminución de este factor y mejora de la capacidad de enfriamiento fue la polarización de vidrios y la instalación de persianas.

## **4.14 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS.**

El banco de calibración diseñado requiere de un sistema de adquisición de datos que se encargue de captar las variables físicas presentes en el proceso y de analizar y controlar el funcionamiento del mismo. A continuación se describen los elementos más importantes que conforman este sistema.

### **4.14.1 Transmisores de temperatura.**

Son los encargados de adquirir la variable física de temperatura y trasformarla en una señal eléctrica estandarizada. Se seleccionaron 5 sensores de temperatura tipo RTD PT-100 con transmisores de temperatura programables marca Pyromation cuyo transmisor es clase 0,1 °C y sensor clase  $\pm 0,03$  a °C, véase Figura 72. En el Anexo 11 se muestran las fichas técnicas realizadas para estos transmisores.

**Figura 72. RTD's y transmisores.**



#### **4.14.2 Transmisores de presión.**

Son los encargados de adquirir la variable física de presión y trasformarla en una señal eléctrica (4 a 20 mA). Se seleccionaron 5 transmisores de presión marca Ashcroft, clase 0,25%. En el Anexo 12, se muestran las fichas técnicas realizadas para estos transmisores.

**Figura 73. Transmisores de presión.**



#### 4.14.3 Barómetro.

Figura 74. Barómetro calibrado.



Es el encargado de medir la presión barométrica del lugar en la condición de operación, este valor es requerido en los modelos matemáticos para el cálculo de incertidumbre.

#### 4.14.4 Plataforma de control.

Fue necesario disponer de una plataforma de control y adquisición de datos, que opere en tiempo real, que permita la interacción hombre-maquina y cuya operación brinde independencia de procesamiento de otros dispositivos. De esta manera, se eligió el sistema OPTO22 que cumple con los requerimientos mencionados y además agrega facilidades de comunicación, su costo es bajo y posee amplia experiencia en el mercado de la automatización y control.

Las características del sistema de control y adquisición de datos, y los dispositivos que lo conforman, se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 22. Características del sistema de adquisición de datos.**

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Propósito</b>
<b>SNAP PAC R1</b>	1	Controlador de módulos digitales, analógicos y seriales, caracterizado por su alta velocidad de conteo. Habilitado con gran variedad de funciones digitales.	Controlar las señales críticas que se involucran en el modelo matemático del proceso de calibración.
<b>SNAP PAC R2</b>	1	Controlador de módulos digitales, analógicos y seriales. Funciones digitales simplificadas.	Manipular las variables utilizadas para hacer control en lazo cerrado.
<b>SNAP PAC RACK 8</b>	2	Tarjeta para controlador y 8 módulos.	Soportar y comunicar con el controlador cada uno de los módulos analógicos y digitales.
<b>SNAP AIMA 4</b>	3	Entrada analógica de corriente, 4 canales, -20mA a +20mA	Adquirir las señales de los transmisores de presión y temperatura.
<b>SNAP AOA 23</b>	2	Salida analógica de corriente, 2 canales, 4mA a 20mA.	Realizar control realimentado a los variadores de velocidad.
<b>SNAP IDC5 FAST</b>	3	Entrada de 2,5VDC a 16VDC, alta velocidad, 4 canales, lógica 5VDC.	Capturar las señales de alta frecuencia provenientes de los medidores patrones y las señales de indicación de los variadores de velocidad.
<b>SNAP OAC5</b>	2	Salida digital 12VAC a 250VAC, 4 canales, lógica 5VDC.	Manipular el estado de los contactores utilizados para proteger el sistema de potencia.
<b>SNAP ODC5RFM</b>	1	Salida digital contacto seco, normalmente abierto, 4 canales.	Indicar a los variadores de frecuencia el estado ideal para entrar en operación.
<b>SNAP AIRTD</b>	1	Entrada analógica para RTD de platino de 100 ohm, 2 canales.	Capturar la temperatura presente en las instalaciones del laboratorio y del cuarto de máquinas.
<b>SNAP-STRAP</b>	3	Accesorio utilizado para realizar conexiones físicas sobre un módulo digital.	Referenciar los canales de los módulos SNAP IDC5 FAST.
<b>SNAP-WIRESTRAP</b>	1	Accesorio utilizado para realizar conexiones físicas en conjunto con el SNAP STRAP entre módulos digitales.	Proveer a los canales del modulo SNAP IDC5 FAST una referencia directa.

Las facilidades de comunicación que ofrece el sistema de control y adquisición de datos OPTO22 funcionan bajo el protocolo Modbus/TCP el cual permite leer o escribir a los módulos de entrada o salida puntos digitales y se comunica hacia dispositivos externos utilizando el estándar de comunicación de las redes Ethernet, soportado bajo el protocolo TCP/IP. Dadas estas características, se han realizado pruebas de comunicación y acceso a los controladores desde los hosts pertenecientes a la LAN de la corporación de CDT de GAS y se ha definido una arquitectura de comunicación que utiliza un switch no configurable y que permite satisfactoriamente supervisar el proceso de calibración desde cualquier punto de acceso a la red dentro de la corporación.

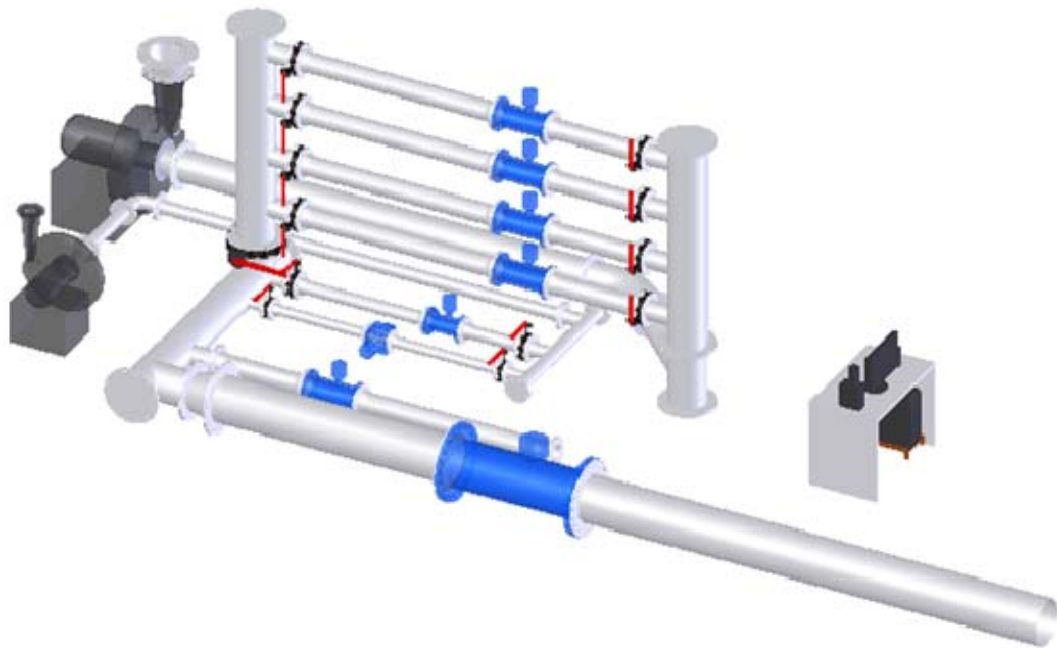
Buscando facilidades de conexión y distribución de cableado dentro del banco, se decidió implementar una caja de campo, donde estarán dispuestos los transductores y sistemas de amplificación reduciendo las distancias entre los instrumentos de medición y los transmisores, con el fin de disminuir la probabilidad de error por interferencia o pérdida de las señales. De la misma manera, se ubicó una caja de control donde estará dispuesto el sistema de control y adquisición de datos y el computador donde se correrá la interfaz gráfica de usuario, de tal manera que al presentarse un error el operario tenga acceso rápido al sistema para realizar las respectivas correcciones y verificaciones. También se dispondrá de un cuarto de máquinas aislado electromagnética y acústicamente donde se ubicarán los variadores de velocidad, contactores, dispositivos de protección y los ventiladores, equipos que conforman el sistema de potencia del banco.

#### 4.15 EVOLUCION DEL DISEÑO.

Durante el proceso de diseño surgieron varias ideas sobre la configuración del banco de calibración, de las cuales se fueron extrayendo algunas características y filtrando otras hasta llegar al diseño final. A continuación se planteas las configuraciones de diseño más significativas y que según nuestro criterio fueron importantes debido al aporte recibido por los profesionales del CDT de gas y el conocimiento y experiencias transmitidas por parte de ellos.

##### *Primera alternativa de diseño*

**Figura 75. Banco de calibración - alternativa 1**



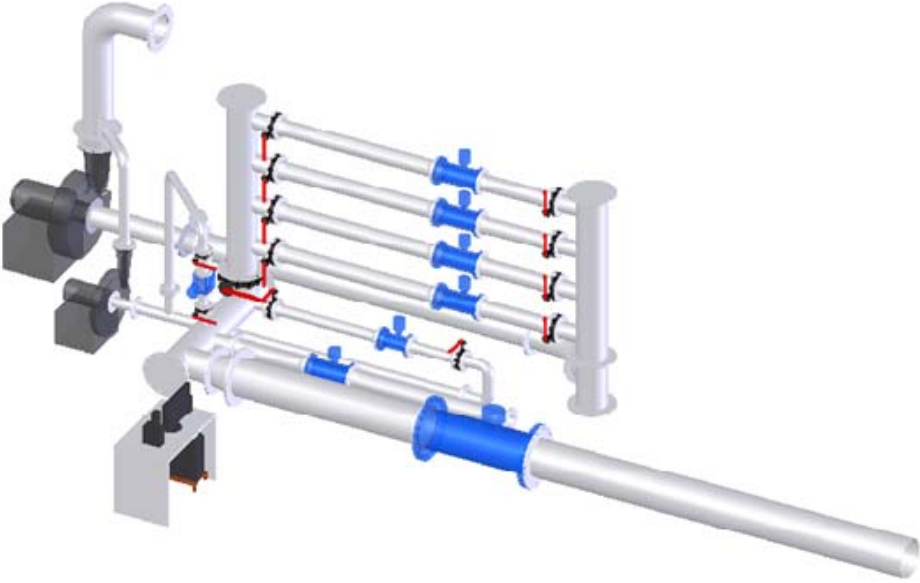
En el primer diseño se incluían los elementos básicos del banco de calibración, patrones tipo turbina G-1000 ubicados entre los cabezales verticales los cuales servirían de cámaras de amortiguación del flujo, el patrón tipo turbina G-400 y patrón rotativo, blowers, tubos de medición, tubos de trabajo, cabezales y demás accesorios entre los cuales es importante nombrar las reducciones y ampliaciones utilizadas para los tubos de trabajo de manera que estas permiten el montaje de diferentes diámetros.

Esta alternativa presenta un cabezal horizontal demasiado largo debido a la distribución de los tubos de medición del patrón rotativo y de la turbina G-400, además la salida de estos medidores se realiza por la parte posterior lo cual incluye un aumento adicional de espacio. Otro aspecto importante de este diseño preliminar es el concepto del sistema de adquisición de datos, aunque en esta fase del diseño solo se tiene la noción de la ubicación de los sensores de temperatura y presión y la necesidad de utilizar un PC para la interfaz.

### ***Segunda alternativa de diseño.***

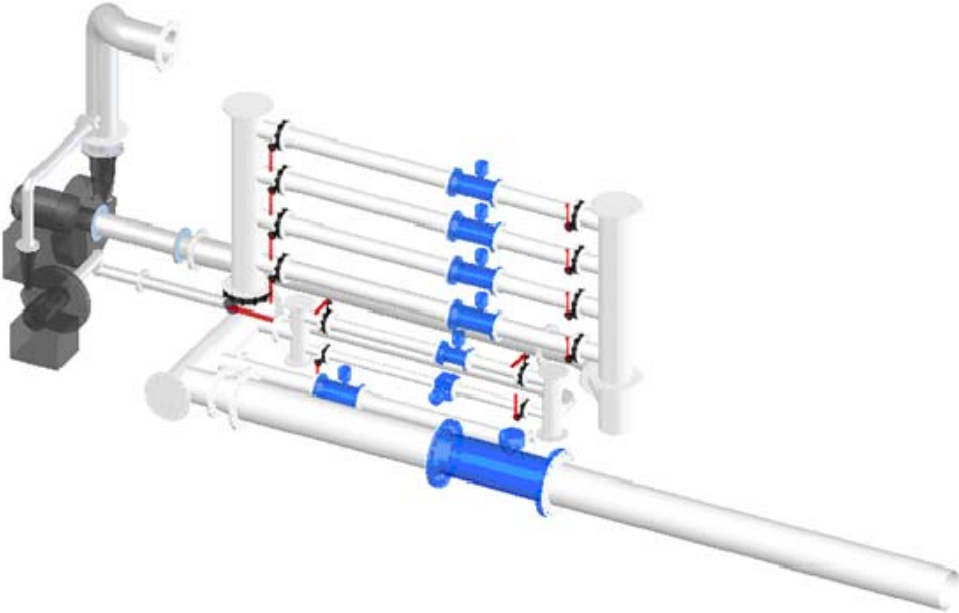
En esta alternativa se planteo la posibilidad de disminuir la longitud del cabezal horizontal de tal forma que el banco fuera mas compacto, el patrón rotativo saldría por la parte superior del cabezal horizontal, y la salida del patrón turbina G-400 se haría por la parte inferior del cabezal horizontal lo cual se traduciría en ahorro de espacio. El inconveniente de este diseño fue el aumento significativo de las perdidas en la tubería de medición de la turbina G-400, recordando que uno de los puntos de mayor perdida es cuando se calibra una turbina G-400 con nuestro patrón G-400; inclusive el aumento de las perdidas en la tubería de el patrón rotativo. Este aumento de pérdidas se traduce en la selección de un blower de más capacidad lo cual significaría el aumento de costos.

**Figura 76. Banco de calibración – Alternativa 2.**



*Tercera alternativa de diseño.*

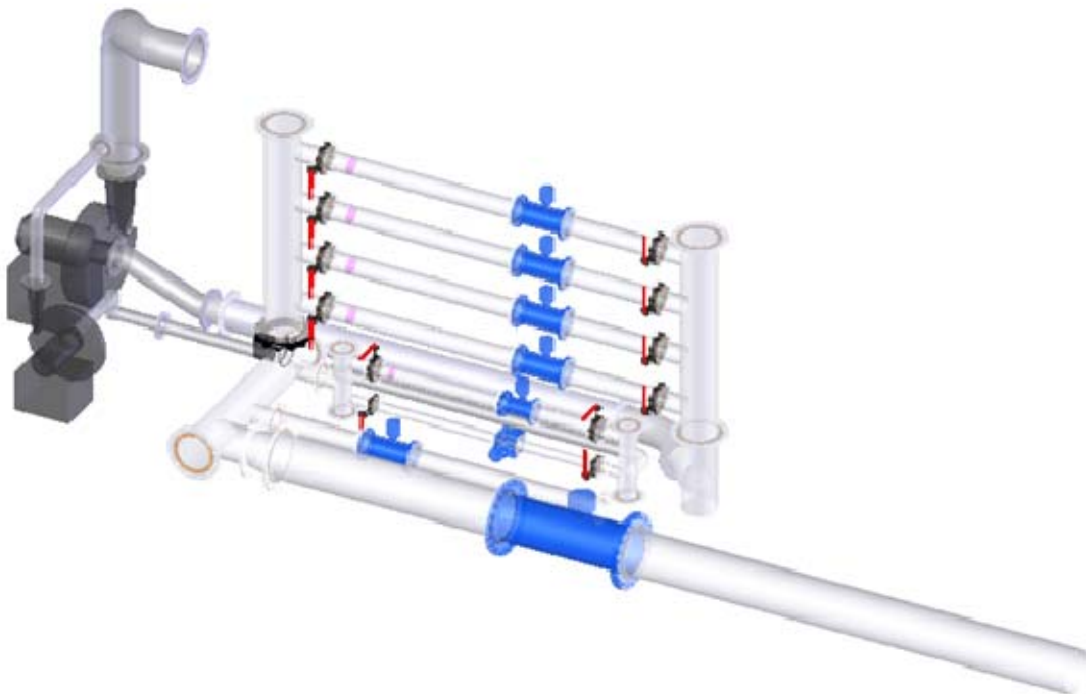
**Figura 77. Banco de calibración - Alternativa 3**



El aspecto más importante de este diseño es la adición de dos cabezales de 6" uno aguas arriba de los tubos de medición del patrón G-400 y rotativo y otro aguas abajo de los mismos, lo cual hace de este diseño ideal en cuanto al espacio aprovechable se refiere, además estos cabezales sirven de cámara de amortiguación del flujo disminuyendo un poco los efectos de swirl. El principal inconveniente de los diseños anteriores e inclusive éste es la gran posibilidad de que el perfil de velocidades necesario en los medidores de flujo tipo turbina no fuera el ideal, debido a la presencia de codos y accesorios a lo largo del camino del flujo lo cual como ya se había mencionado anteriormente se traduce en turbulencia, daño del perfil de velocidad y aumento de swirl.

***Cuarta alternativa de diseño.***

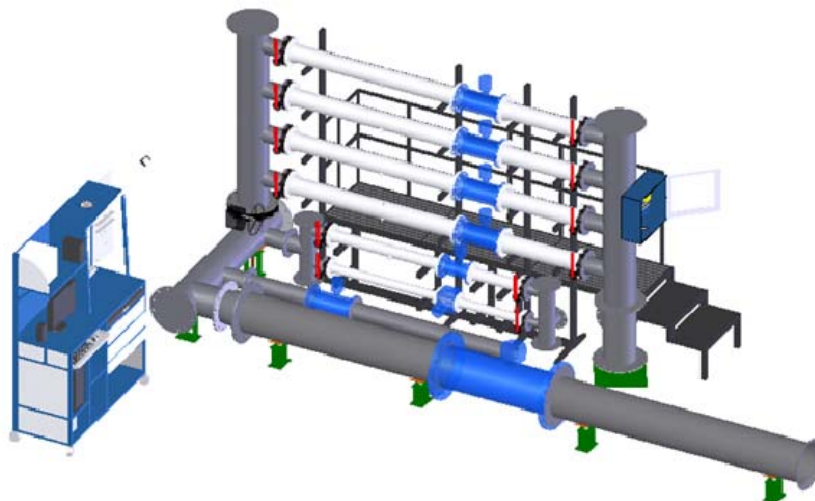
**Figura 78. Banco de calibración – Alternativa 4**



En esta parte del diseño el CDT de gas recibe la visita del doctor Kasuto Kawakita del IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas, el cual con su amplio conocimiento y experiencia plantea algunas ideas a tener en cuenta en el diseño final del banco de calibración, entre las cuales planteo la necesidad de estudiar los efectos de swirl y de colocar acondicionadores de flujo en los tubos de medición aguas arriba de la turbina, lo cual se adicione a este diseño como se puede observar siguiendo las recomendaciones AGA7. Otro aspecto importante que se considero fue la longitud de la tubos de trabajo aguas arriba del medidor cliente las cuales para diámetros de 10", 12" y 16" serian muy significativas, aproximadamente de 10 diámetros, lo cual implicaría gran disponibilidad de espacio en el laboratorio. Además teniendo la configuración mostrada anteriormente, el doctor Kasuto Kawakita junto con el equipo de profesionales del CDT de Gas propone la instalación de tomas de presión en sitios estratégicos para así poder analizar el efecto de los acondicionadores de flujo en cuanto a condiciones de caída de presión se refiere.

***Quinta alternativa de diseño.***

**Figura 79. Banco de calibración – Alternativa 5.**



En esta alternativa de diseño se presenta solución a los inconvenientes anteriores, los tubos de trabajo aguas arriba para diámetros de 10", 12" y 16" se fija en 100" y para garantizar la uniformidad de flujo se adiciona una entrada cóncava con un diseño que garantice el cumplimiento de esta necesidad, la distancia de los acondicionadores de flujo es alterada siendo estos colocados a 5 diámetros de los patrones tipo turbina.

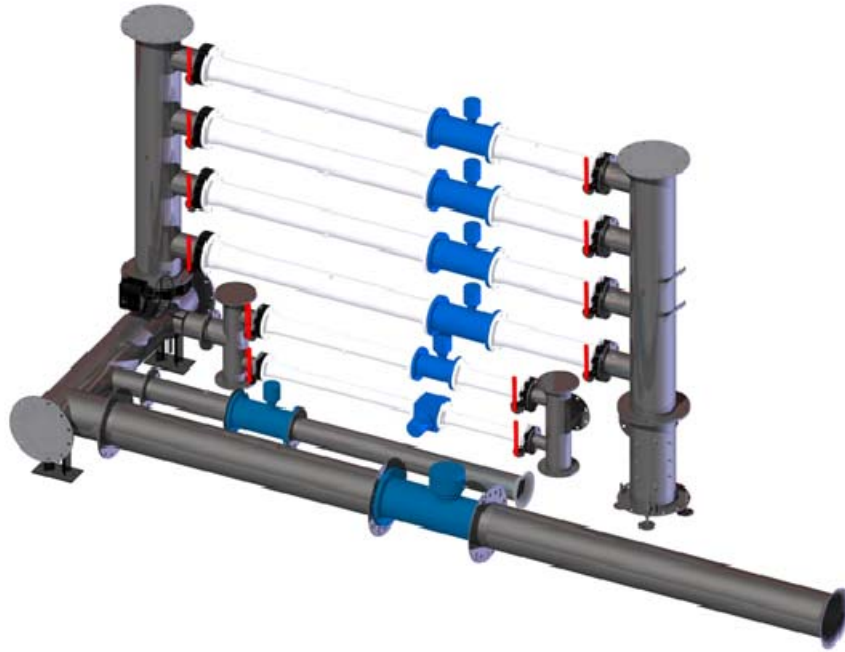
Es aquí cuando surgen los primeros diseños de la estructura principal y de los soportes en general. También cambia el concepto del sistema de adquisición de datos planteándose un escritorio modular el cual incluye un espacio para el tablero de control, cajones para herramienta y PC.

Se presenta además la caja de campo como una alternativa de control para evitar pérdidas e interferencias de las señales y pulsos provenientes de los sensores. Finalmente se establecen los colores del banco y demás elementos, buscando que estos sean representativos al CDT de Gas.

#### ***Sexta alternativa de diseño.***

En esta fase se da por terminado gran parte el diseño en cuanto a tubería se refiere (tubos de medición, tubos de trabajo, cabezales), son rediseñados algunos de los soportes y la estructura principal y es aquí en donde se toma la decisión de incorporar el diseño de las bridas universales para permitir la calibración de medidores de diferentes ANSI entre los cuales ANSI 150, ANSI 300 y ANSI 600.

**Figura 80. Banco de calibración – Alternativa 6.**



La alternativa de diseño que finalmente cumplió las expectativas y los requerimientos fue la numero 6.

## **CAPITULO 5**

### **5 CONSTRUCCION DEL BANCO**

Una vez culminada la fase de diseño del banco de calibración el siguiente paso fue realizar un estudio el cual permitiera seleccionar el lugar o lugares en los cuales se construirían los componentes del banco. Los criterios de selección de nuestros proveedores fueron cumplimiento, calidad y economía entre otros.

#### **5.1 CONSTRUCCION DEL BANCO DE CALIBRACION.**

Después de culminado el proceso de diseño del banco y teniendo en cuenta todos los requerimientos propuestos se selecciono como fabricante a Industrias Tanuzi S.A cuyo taller principal se encuentra ubicado en la calle 22 #13-42 Bucaramanga, los cuales son reconocidos nacionalmente como una empresa responsable, con excelente calidad en sus productos, cuenta con la infraestructura adecuada para su fabricación y brinda precios muy competentes en relación a industrias manufactureras de la misma gama.

A continuación se describen las especificaciones generales para la fabricación y los costos de manufactura del banco de calibración del CDT de GAS.

1. Fabricación de Tubería de 8", 10" y 12" en lamina HR de 2,5 mm o calibre 12 con sus respectivas bridas y tapas correctamente alineadas. (Ver Figura 81).
2. Fabricación de Bridas de 8", 10" y 12" en lamina HR espesor 5/16", mecanizadas y perforadas con medidas suministradas por el cliente.

**Figura 81. Construcción tubería en lamina de espesor 2.5 mm.**



3. Fabricación de 4 accesorios reducciones de 12" a 10" ; de 10" a 8" ; de 6" a 4" y de 6" a 3", para conexión de las tuberías de 8" y 10" a la entrada de 12" y las de 3 y 4 a la entrada de 6" del cabezal horizontal, (ver Figura 82).
4. Fabricación de 4 bases soportes del sistema según especificaciones de planos.

5. Fabricación de tubería de 6", 4" Y 3" en tubo sch 40 sin costura con bridas comerciales WN (Ver Figura 83).
6. Fabricación de 15 racores escalonados para fijación de placas perforadas dentro de la tubería de 6" Y 4" con sus respectivos tapones de acero para garantizar hermeticidad en el punto de ubicación de las platinas.

**Figura 82. Fabricación de reducciones.**



7. Montaje de manguitos a todas las tuberías para ubicación de instrumentos de medición según indicaciones de los planos.
8. Mecanizado de la parte interna de las soldaduras aplicadas en las juntas de Bridas con Tuberías de 6" y 4" para asegurar una superficie completamente lisa de características iguales a las paredes interiores de los tubos.
9. Pulida de la soldadura aplicada a las juntas de la tubería fabricada en lámina con las bridas fabricadas en lámina, para garantizar un buen sello entre las dos caras de la tubería.
10. Fabricación de tronco de conos para suavizar el impacto auditivo ocasionado por la succión de aire en las entradas de las tuberías de conexión inicial de 6", 8", 10" y 12" a los medidores de prueba (Ver Figura 84).

**Figura 83. Tubos de medición.**



**Figura 84. Tubos de trabajo.**



11. Ubicación de malla tejida delgada (desmontable) a los tubos de, 6", 8", 10" y 12" para evitar el ingreso de cuerpos extraños a los medidores de prueba.
12. Fabricación de estructura soporte de los medidores principales en tubería cuadrada de 40 x 40 x 2,5mm para los soportes y de 80 x 40 x 3mm para los párales principales con refuerzos en lamina de ¼", (ver Figura 85).
13. Abrazaderas tipo varilla con tuercas (o sistema de sujeción similar) para los tubos aguas arriba y aguas abajo de los medidores patrón y abrazaderas tipo cinta metálica para los cabezales horizontales.

**Figura 85. Estructura soporte de tubos de medición y medidores.**



Para la recepción del banco se realizó un preensamble en fábrica para garantizar la correcta alineación de los diferentes elementos que componen

el banco como tubos, bridas y reducciones. (Los demás elementos que componen el banco, como medidores y válvulas no fueron instalados en fábrica). Funcionarios de la Corporación evaluaron la conformidad del ensamble y cada uno de los elementos acorde con las especificaciones y planos suministrados, (Ver Figura 86).

**Figura 86. Ensamble en fábrica.**



En la Tabla 23 se presenta la relación de costos de los diferentes elementos construidos.

Para dar protección superficial y una apropiada presentación toda la tubería que compone el banco de calibración fue sometida a un proceso de pintura electrostática en colores representativos a la Corporación CDT de GAS.

Una vez entregados los diferentes componentes se procedió a su respectivo ensamble en las instalaciones de la Corporación CDT de GAS (Ver Figura 87).

**Figura 87. Ensamble banco de calibración.**



## **5.2 CONSTRUCCION DEL ESTANTE PARA TUBOS**

Para la construcción del estante (ver Figura 88) para almacenar los tubos de trabajo que no se utilicen en el momento, fue seleccionada la empresa MEGATONOS ubicada en la carrera 17 #16-48 Barrio San Francisco,

Bucaramanga, los cuales son reconocidos por su gran responsabilidad y cumplimiento, además de esto el CDT de GAS ya había realizado proyectos anteriores con esta empresa lo que facilitó su selección. En la Tabla 24 se muestra la relación de costos de fabricación teniendo en cuenta el diseño, materiales y las dimensiones especificadas en los planos suministrados al fabricante.

**Tabla 23. Relación de costos de los elementos del banco.**

BANCO DE CALIBRACION				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	Tubo aguas arriba MUT 6" sch 40 sin costura	1	\$ 590.000	\$ 590.000
2	Tubo aguas arriba MUT 8" en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 310.000	\$ 310.000
3	Tubo aguas arriba MUT 10" en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 507.000	\$ 507.000
4	Tubo aguas arriba MUT 12" en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 563.000	\$ 563.000
5	Tubo aguas abajo MUT 6" sch 40 sin costura	1	\$ 444.000	\$ 444.000
6	Tubo aguas abajo MUT 8" en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 364.000	\$ 364.000
7	Tubo aguas abajo MUT 10" en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 444.000	\$ 444.000
8	Tubo aguas abajo MUT 12" en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 516.000	\$ 516.000
9	Cabezal Horizontal 12" en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 1.600.000	\$ 1.600.000
10	Cabezal vertical 12" en lamina HR de 2,5 mm	2	\$ 1.493.000	\$ 2.986.000
11	Cabezal vertical 6" sch 40 sin costura	2	\$ 950.000	\$ 1.900.000
12	Reducción de 12" a 10"	1	\$ 424.000	\$ 424.000
13	Reducción de 10" a 8"	1	\$ 393.000	\$ 393.000
14	Reducción de 6" a 4"	1	\$ 238.000	\$ 238.000
15	Reducción de 6" a 3"	1	\$ 217.000	\$ 217.000
16	Cabezal de soporte en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 878.000	\$ 878.000
17	Tubo aguas arriba 3" sch 40 sin costura	1	\$ 243.000	\$ 243.000
18	Tubo aguas arriba 4" sch 40 sin costura	1	\$ 320.000	\$ 320.000
19	Tubo aguas arriba 6" sch 40 sin costura	4	\$ 610.000	\$ 2.440.000
20	Tubo aguas abajo 3" sch 40 sin costura	1	\$ 196.000	\$ 196.000
21	Tubo aguas abajo 4" sch 40 sin costura	1	\$ 238.000	\$ 238.000
22	Tubo aguas abajo 6" sch 40 sin costura	4	\$ 444.000	\$ 1.776.000
23	Estructura principal	1	\$ 1.400.000	\$ 1.400.000
24	Soportes tornillo	4	\$ 52.000	\$ 208.000
25	Soportes del cabezal horizontal	4	\$ 103.000	\$ 412.000

26	Cabezal de soporte en lamina HR de 2,5 mm	1	\$ 878.000	\$ 878.000
			VALOR	\$ 20.485.000
			IVA 16%	\$ 3.277.600
			VALOR TOTAL	\$ 23.762.600

**Figura 88. Estante para tubos de trabajo.**



**Tabla 24. Relación de costos de Estante y soportes.**

CONSTRUCCION SOPORTES Y CAJA DE CONTROL				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	Soporte tubos aguas abajo MUT 6"	1	\$ 280.000	\$ 280.000
2	Soporte tubos aguas arriba MUT 6"	1	\$ 250.000	\$ 250.000
3	Soporte MUT	1	\$ 120.000	\$ 120.000
3	Caja de control	1	\$ 1.293.100	\$ 1.293.100
3	Estante para tubos	1	\$ 600.000	\$ 600.000
			VALOR	\$ 2.543.100
			IVA 16%	\$ 406.896
			VALOR TOTAL	\$ 2.949.996

### **5.3 CONSTRUCCION DE LOS ACONDICIONADORES DE FLUJO.**

El centro de mecanizado escogido fue el taller de mecánica fina de la Corporación para la Investigación en Corrosión (CIC), ubicado en el parque tecnológico de Guatiguara (Piedecuesta, Santander), dada la tecnología de sus maquinas de control numérico computarizado (CNC) y la experiencia del personal. El taller ofrece excelentes garantías de acabado, tolerancias esto sumado a la relación costo-beneficio respecto a talleres de la misma gamma.

El material seleccionado para fabricar los acondicionadores de flujo fue acero inoxidable AISI 304 (Anexo 14), debido a que estos aceros inoxidables contienen cromo, níquel y otros elementos de aleación que los mantienen brillantes, resistentes a la oxidación y corrosión, requerimientos necesarios en nuestra fabricación ya que en las futuras comparaciones inter-laboratorios estas pueden emplear flujos diferentes que pueden ser corrosivos.

El proceso de maquinado de las piezas se realizo en dos maquinas herramientas de control numérico computarizado (CNC), un torno paralelo y una fresadora universal.

Gracias a la precisión de este tipo de herramientas se pudieron alcanzar los niveles geométricos requeridos por el diseño de los cuales dependía el correcto desempeño del acondicionador.

En la Tabla 25 se presenta la relación de costos de la fabricación de los acondicionadores de flujo.

**Tabla 25. Relación de costos para acondicionadores de flujo.**

CONSTRUCCION ACONDICIONADORES DE FLUJO				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	Acondicionador de flujo 4" según planos	1	\$ 300.000	\$ 300.000
2	Acondicionador de flujo 6" según planos	4	\$ 400.000	\$ 1.600.000
			VALOR	\$ 1.900.000
			IVA 16%	\$ 304.000
			VALOR TOTAL	\$ 2.204.000

#### **5.4 CONSTRUCCION DEL CUARTO DE MAQUINAS.**

Fue seleccionada la empresa Spucknik ubicada en el Barrio el Carmen en función de la relación costo beneficio.

Según el diseño la estructura principal se fabricó en ángulo de acero de 2 X 2 pulgadas, y los paneles en lámina calibre 12 (Ver Figura 89). Se adquirió tortillería de 3/8" y para dar sello y proteger a los paneles fueron adquiridos cauchos de espesor 5/8" en la estructura y caucho de 3/8" para los paneles.

Para soportar el peso de los motores y evitar problemas de vibraciones, el cuarto de máquinas debe tener una cimentación especial equivalente en volumen a 3 veces el peso de cada motor, es por ello que se fraguó una placa de 3 m X 1,9 m X 25 cm (ver Figura 90). La estructura del cuarto de máquinas se ancló a la placa por medio de chasos de 1/2 pulgada y para evitar la transmisión de vibraciones se instaló un caucho en toda la base de la estructura. En la Tabla 26 se muestra la relación de costos y especificaciones generales de la construcción del cuarto de máquinas.

**Figura 89. Construcción Cuarto de maquinas.**



**Tabla 26. Relación de costos construcción de cuarto de maquinas.**

CUARTO DE MAQUINAS				
ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR TOTAL
1	Cimentacion del cuarto de maquinas, incluyendo la puesta atierra de los motores y la ubicación del pasamuros de 12" y 10".	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
2	Construccion de la caseta para el cuarto de maquinas de acuerdo al plano suministrado.	1	\$ 3.100.000	\$ 3.100.000
VALOR				\$ 6.600.000
IVA 16%				\$ 1.056.000
VALOR TOTAL				\$ 7.656.000

**Figura 90. Cimentación de placa e instalación de cuarto para Blowers.**



## **5.5 INSTALACION DEL SISTEMA DE INDUCCION DE FLUJO.**

La ubicación del sistema de inducción de flujo se hizo pensando en que fuera lo mas alineado posible con respecto a la tubería de succión del banco, además era necesario que hubiese campo para el tablero eléctrico instalado dentro del cuarto de maquinas, para el cual fue necesario solicitar a la sede UIS - Guatiguara la instalación de una cometida trifásica para los motores de 5 y 30 hp de los Blowers. El anclaje de los Blowers al piso se realizo con chasos de  $\frac{1}{2}$  pulgada, los cuales fueron torquados de tal manera que se

pudiera verificar el correcto nivel de los motores, para dar amortiguación y adsorber vibraciones se instalaron en las bases cauchos de 5/16 pulgadas.

**Figura 91. Instalación de Blowers.**



## **CAPITULO 6**

### **6 PRUEBAS**

#### **6.1 EVALUACION DIMENSIONAL**

Una parte muy importante en un proceso de fabricación es la verificación dimensional de los productos, en nuestro caso debido a que estos deben cumplir con las dimensiones especificadas. Se realizó un proceso comprobación dimensional de los tubos de medición debido a que estos deben cumplir con las dimensiones recomendadas en la norma AGA-7 garantizando el correcto funcionamiento y desempeño de los medidores patrón tipo turbinas, para el resto de tubería se realizó una verificación dimensional general garantizando el cumplimiento de las dimensiones especificadas en los planos de construcción.

##### **6.1.1 Equipo Utilizado.**

Para la respectiva comprobación dimensional la corporación CDT de GAS como laboratorio de metrología cuenta con instrumentos de medición debidamente calibrados, dentro de los cuales se utilizaron los siguientes:

- Cinta métrica digital.
- Calibrador Pie de Rey digital marca Mitutoyo, modelo ABSOLUTE digimatic. 150mm.

- Calibrador Pie de Rey digital marca Mitutoyo, modelo ABSOLUTE digimatic. 300mm.
- Micrómetro tipo tubular marca Mitutoyo.
- Medidor de espesores marca Gilardoni, modelo DG 41.

### **6.1.2 Procedimiento.**

El primer paso fue la verificación dimensional de las tuberías realizado mediante la toma de longitudes totales de brida a brida con ayuda de la cinta métrica digital, además de esto se verifico la distancia a las tomas de presión, temperatura y manguitos de sujeción incluyendo sus alturas las cuales fueron medidas con calibrador.

**Figura 92. Medición longitudinal de tubos.**



A continuación se verificaron los diámetros internos de todas las vías de flujo con ayuda del micrómetro de paleta, para esta medición se tomo el menor diámetro presente a una distancia de 1 pulgada, se repitió la toma para una distancia de un diámetro, además de esto se tomaron los diámetros de las caras de las bridas con ayuda del calibrador digital.

**Figura 93. Medición diametral de tubería.**



Finalmente se verificaron los espesores de todas las vías de flujo con ayuda del medidor de espesores tomándose la medida del espesor en tres puntos distribuidos a lo largo para cada uno de los tubos.

**Figura 94. Medida de espesores de tubería.**



### **6.1.3 Resultados.**

Para la recopilación de la información se crearon formatos, en donde se compararon las medidas propuestas en el diseño con las encontradas en la

evaluación, de esta forma se pudo comprobar que la tubería construida estaba acorde a las medidas y tolerancias especificadas en el diseño.

## **6.2 PRUEBAS DE RUGOSIDAD**

La rugosidad presente en las vías de flujo es muy importante debido a que esta ayuda a la formación del perfil de velocidad, una rugosidad alta formara un perfil de velocidad adecuado en menor longitud en comparación de una rugosidad muy baja en las mismas condiciones de flujo.

Una rugosidad tan alta tampoco es lo ideal ya que se incrementan las perdidas debido a la fricción entre el fluido y la pared de la tubería es por ello que se tomo como criterio la rugosidad recomendada por la norma AGA-3 la cual nos especifica una rugosidad menor a 500 micro-pulgadas Ra para obtener un correcto perfil de velocidad en relación con la longitud de la tubería.

### **6.2.1 Equipo Utilizado.**

Actualmente la corporación CDT de GAS y su organismo de inspección cuentan con un rugosímetro digital marca Mitutoyo SJ-201P, utilizado para realizar medición y verificación de la rugosidad en los gasoductos mas importantes del país, el cual fue utilizado para realizar las mediciones de rugosidad de la tubería del banco de calibración.

### **6.2.2 Procedimiento.**

Primero que todo se realizo una auto calibración del rugosímetro. Una vez calibrado se tomaron medidas de rugosidad en dos zonas diferentes de la tubería, la primera en la superficie interna de la brida y la segunda en la

superficie interna del tubo, la información obtenida en este procedimiento fu registrada en formatos.

**Figura 95. Medición de la rugosidad.**



### **6.2.3 Resultados.**

En los resultados obtenidos se pudo observar que la rugosidad en la zona del tubo es mayor que la encontrada en la zona en donde se une la brida con el tubo, esto debido a que en esta zona se realizo un maquinado de rectificación, pero igualmente los valores hallados cumplían con la especificación del diseño.

### **6.3 PRUEBAS HIDROSTATICAS.**

Uno de los objetivos del CDT de GAS es convertirse en el centro nacional de metrología de fluidos para lo cual se ha estado preparando desde hace un par de años, esta preparación incluye además de la apropiación del

conocimiento, la ínter-comparación de tecnologías adquiridas de manera que se pueda obtener trazabilidad internacional con los laboratorios y centros nacionales de metrología de otros países. Para cumplir con este objetivo, nuestro banco de calibración tiene la capacidad de enviar un paquete de medición (tubos de medición y turbina) a comparaciones Inter.-laboratorios.

Debido a que no todos los bancos de calibración operan a presión atmosférica, como ya se había planteado anteriormente, se hizo necesario diseñar y construir las líneas de medición de manera que puedan soportar presiones diferentes a la atmosférica.

Es por ello que fueron necesarias las pruebas hidrostáticas, estas se realizaron teniendo en cuenta que nuestra tubería de medición es cedula 40 y tiene bridas WN ANSI 150, según literatura este paquete debe ser capaz de soportar una presión nominal de 285 psi manométricos.

### **6.3.1 Equipo Utilizado.**

Para la realización de esta prueba, la Corporación CDT de GAS cuenta con el servicio de pruebas hidrostáticas debidamente acreditado ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), se utilizaron los siguientes equipos y accesorios para la prueba:

- Manómetro Bourdon, Salmoraghi. Clase 0,25 @ 20°C. Alcance 0 a 100 bar.
- Indicador de temperatura con termocupla, Gordon Model 5200.
- Presstest Galiso. Pmax =11000 psi.
- Conexión Sawelok.
- Manguera alta presión, alcance 0 a 10000 psi.

### 6.3.2 Procedimiento.

La prueba hidrostática consistió en someter el tubo a una presión de 150% la presión nominal, es decir a 427 psi manométricos. Estas pruebas se llevaron a cabo en 5 partes como se muestra en la Tabla 27.

**Tabla 27. Distribución de la prueba hidrostática.**

PRUEBA	ELEMENTOS
1	Paquete de medición de 3 pulgadas
2	Paquete de medición de 4 pulgadas
3	2 paquetes de medición de 6 pulgadas
4	Paquete de medición de 6 pulgadas
5	Paquete de medición de 6 pulgadas

El procedimiento básico es armar los paquetes de medición (tubería) que se van a probar garantizando estanqueidad, en la Figura 96 se puede observar el paquete armado para la prueba No 3 mostrada en la Tabla 27.

**Figura 96. Montaje de prueba hidrostática.**



Una vez armados se procede a llenar el paquete bajo prueba con agua dejando reposar durante 6 horas de manera que las burbujas presentes sean eliminadas y se garantice la presencia de solo líquido en el paquete de

medición. Una vez culminado este paso se instala en una de las entradas el manómetro y la toma de presión como se observa en la Figura 97.

**Figura 97. Manómetro y toma de presión.**



A continuación se procede a purgar la línea con aproximadamente 5 bares de presión de manera que se inspecciona visualmente que no se presenten fugas, después de esto se eleva la presión hasta la presión de la prueba, en este caso 427 psi manométricos. Para esta prueba la presión permaneció en el paquete bajo prueba durante 60 minutos y al finalizar este tiempo se procedió a inspeccionar presión y estado de la tubería (Ver Figura 98), a continuación se purga, se ventea la presión y finalmente se desmonta la tubería bajo prueba.

**Figura 98. Temperatura y Presión de la prueba.**



### 6.3.3 Resultados.

El servicio de pruebas hidrostáticas de la Corporación CDT de GAS comprobó el buen estado de la tubería observando que durante cada una de las pruebas la presión registrada en el manómetro fue constante, lo que quiere decir que no se presentó ninguna fuga, en la Tabla 28 se pueden observar algunas consideraciones de las pruebas realizadas.

**Tabla 28. Resultados de las pruebas hidrostáticas.**

N° MUESTRA	PRESION DE PRUEBA	OBSERVACIONES	CUMPLE	
			SI	NO
1	0 a 427 psi 3 pulgadas	Durante 60 minutos de estanqueidad no presenta ningun tipo de fuga 426 psi, 22,6 °C	X	
2	0 a 427 psi 4 pulgadas	Durante 60 minutos de estanqueidad no presenta ningun tipo de fuga 432 psi, 22,9 °C	X	
3	0 a 427 psi 6 pulgadas x2	Durante 60 minutos de estanqueidad no presenta ningun tipo de fuga 436 psi, 23,1 °C	X	
4	0 a 427 psi 6 pulgadas	Durante 60 minutos de estanqueidad no presenta ningun tipo de fuga 430 psi, 24 °C	X	
5	0 a 427 psi 6 pulgadas	Durante 60 minutos de estanqueidad no presenta ningun tipo de fuga 456 psi, 24,8 °C	X	

## RECOMENDACIONES

- Adquirir a la mayor brevedad posible la adquisición de un medidor patrón tipo turbina de la misma denominación seleccionada (G 1000) para aprovechar el alcance dado por los sistemas inductores de flujo y así aumentar al alcance de calibración.
- Gestionar la realización de vínculos de cooperación con laboratorios reconocidos internacionalmente para la realización de comparaciones de manera que se pueda obtener una referencia internacional de la calidad de nuestros patrones.
- Aprovechar el diseño del banco de calibración para realizar el estudio del comportamiento de los fenómenos flujo que pueden afectar las mediciones.
- Para facilitar la operación de las válvulas y la manipulación de la instrumentación del banco se debe construir una plataforma que sirva de apoyo y facilite el acceso a estos elementos.
- Continuar la realización de proyectos financiados por COLCIENCIAS que permitan la apropiación de conocimiento y desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas al área de la metrología.

## CONCLUSIONES

- Con la construcción del banco se logro fortalecer la infraestructura metrológica nacional en materia de calibración de medidores de gas de alto caudal, aumentando la capacidad de calibración de la Corporación CDT de GAS (actual 500 m<sup>3</sup>/h, alcanzado 4800 m<sup>3</sup>/h ).
- Con el desarrollo de este proyecto se lograron fortalecer los vínculos entre la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander y el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, obteniéndose como resultado un crecimiento personal y profesional reflejado en la adquisición de conocimiento en la rama de la metrología de los fluidos y en el desarrollo del proyecto presentado ante COLCIENCIAS titulado “Diseño y construcción de un banco para la calibración de medidores de flujo de gas de alto caudal utilizando patrones tipo turbina y rotativo.”
- Se demostró que en Colombia se cuenta con el conocimiento y la infraestructura necesaria para la realización de un banco de calibración que cumpla con las normas y reglamentos nacionales e internacionales.
- El uso de la herramienta CAD facilito la etapa del diseño al permitir la visualización de diferentes alternativas de diseño buscando la mejor alternativa respecto a funcionalidad y espacio disponible.
- Se seleccionaron los patrones los cuales satisfacen los alcances de calibración propuestos y permiten lograr un aseguramiento metrológico viable.

- Se llevo a cabo el diseño y la construcción del sistema de líneas de flujo de aire cumpliendo con las especificaciones de instalación de los patrones y a su vez las recomendaciones dadas en el reporte AGA 7, garantizando de esta manera el correcto funcionamiento de los medidores y la rigidez estructural del banco.
- Se seleccionaron e instalaron los sistemas de inducción de flujo de aire los cuales satisfacen los requerimientos de caudal y caída de presión para poder obtener las condiciones necesarias para una correcta calibración.
- Se llevo a cabo las correcciones necesarias en el sistema de aire acondicionado del laboratorio para poder obtener las condiciones ambientales óptimas en los procesos de calibración.
- Se construyo un cuarto de maquinas para albergar los sistemas inductores de flujo cumpliéndose con las expectativas de aislamiento acústico y protección de los equipos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**CRANE, División de Ingeniería.** Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. Mc. Graw Hill. 1989.

**GAS PROCESSORS SUPPLIERS ASSOCIATION.** Engineering data book. 1999. Volumen II. Capitulo 17.

**CDT de GAS.** Metrología aplicada a sistemas de transferencia de custodia de gas. 2006.

**AMERICAN GAS ASSOCIATION, AGA.** Report N° 7 Measurement of gas by turbine meters. Rev February, 2006.

**BAKER, Roger.** Flow measurement handbook. Cambridge university press. 2000.

**AIR SYSTEMS: AIR DUCT DESIGN.** Engineering handbook. Chapter 17. 2000.

## **ANEXOS**

## Anexo 1. ESCENARIOS DE OPERACIÓN

MUT		ACCESORIOS EN OPERACION DURANTE EL QMAX DE LOS MUT																Qt	Qmax	Qmax/medidor									
		MM1	MM2	MM3	MM4	MM5	MM6	MUT-1	MUT-2	B-1	B-2	VM-11	VM-12	VM-21	VM-22	VM-31	VM-32				VM-41	VM-42	VM-51	VM-52	VM-61	VM-62	VP		
G-100	80mm - 3"	x																								160	32	160	
G-130	80mm - 3"		x																								199	40	200
G-160	80mm - 3"			x																							250	50	250
G-200	100mm - 4"				x																						250	50	250
G-250	100mm - 4"					x																					312	62.4	312
G-290	100mm - 4"						x																				400	80	400
G-400	100mm - 4"							x																			454	90.8	454
G-650	150mm - 6"								x																		650	130	650
G-1000	150mm - 6"									x																	1000	200	1000
G-1600	200mm - 8"										x																1600	320	1600
G-2500	250mm - 10"											x															1600	320	1600
G-4000	300mm - 12"												x														2500	500	2500
														x													2500	500	2500
															x												4000	800	4000
																x											4000	800	4000
																	x										6500	1300	6500
																		x									6500	1300	6500
																			x								6500	1300	6500

## Anexo 2. CAÍDA DE PRESION PARA CADA MEDIDOR PATRÓN.

Medidor cliente	Medidor patrón	Qmax (m3/h)	Qmax/medidor (m3/h)	ΔP mbar	Qmax (m3/h)	QA (m3/h)	PA (bar)	ρN (kg/m3)	Perdida (mbar)
G-100 3"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
G-130 3"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	199	10	650	199	1	1,1767	1,329
G-160 3"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	250	10	650	250	1	1,1767	2,097
G-160 4"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	250	10	650	250	1	1,1767	2,097
G-200 4"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	312	10	650	312	1	1,1767	3,266
G-250 4"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	400	10	650	400	1	1,1767	5,369
G-290 4"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	454	10	650	454	1	1,1767	6,916
G-400 4"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	650	10	650	650	1	1,1767	14,177
G-400 6"	G-100	160	160	2	160	160	1	1,1767	2,835
	G-400	650	650	10	650	650	1	1,1767	14,177
G-650 6"	G-400	650	650	10	650	650	1	1,1767	14,177
	G-1000	1600	1000	12	1600	1000	1	1,1767	6,646
G-1000 6"	G-400	650	650	10	650	650	1	1,1767	14,177
	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
G-1000 8"	G-400	650	650	10	650	650	1	1,1767	14,177
	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
G-1600 8"	G-400	650	650	10	650	650	1	1,1767	14,177
	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x2	1600	1250	12	1600	1250	1	1,1767	10,384
G-1600 10"	G-400	650	650	10	650	650	1	1,1767	14,177
	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x2	1600	1250	12	1600	1250	1	1,1767	10,384
G-2500 10"	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x2	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x3	1600	1333,33	12	1600	1333,33	1	1,1767	11,814
G-2500 12"	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x2	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
G-2500 12"	G-1000x3	1600	1333,33	12	1600	1333,33	1	1,1767	11,814
	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
G-4000 12"	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x2	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x3	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x4	1600	1625	12	1600	1625	1	1,1767	17,548
G-4000 16"	G-1000	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x2	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x3	1600	1600	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
	G-1000x4	1600	1625	12	1600	1625	1	1,1767	17,548

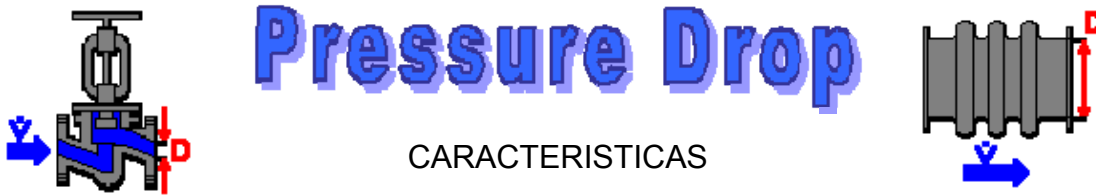
### Anexo 3. CAÍDA DE PRESIÓN DE LOS MEDIDORES CLIENTE.

Medidor cliente	$\Delta P$ mbar	Qmax (m3/h)	QA (m3/h)	PA (bar)	$\rho N$ (kg/m3)	Perdida (mbar)
G-100 3"	2	160	160	1	1,1767	2,835
G-130 3"	6	160	160	1	1,1767	8,506
	6	199	199	1	1,1767	8,506
G-160 3"	6	160	160	1	1,1767	8,506
	6	250	250	1	1,1767	8,506
G-160 4"	2	160	160	1	1,1767	2,835
	2	250	250	1	1,1767	2,835
G-200 4"	4	160	160	1	1,1767	5,671
	4	312	312	1	1,1767	5,671
G-250 4"	4	160	160	1	1,1767	5,671
	4	400	400	1	1,1767	5,671
G-290 4"	10	160	160	1	1,1767	14,177
	10	454	454	1	1,1767	14,177
G-400 4"	10	160	160	1	1,1767	14,177
	10	650	650	1	1,1767	14,177
G-400 6"	2	160	160	1	1,1767	2,835
	2	650	650	1	1,1767	2,835
G-650 6"	6	650	650	1	1,1767	8,506
	6	1000	1000	1	1,1767	8,506
G-1000 6"	12	650	650	1	1,1767	17,013
	12	1600	1600	1	1,1767	17,013
G-1000 8"	3	650	650	1	1,1767	4,253
	3	1600	1600	1	1,1767	4,253
G-1600 8"	8	650	650	1	1,1767	11,342
	8	1600	1600	1	1,1767	11,342
	8	2500	2500	1	1,1767	11,342
G-1600 10"	2	650	650	1	1,1767	2,835
	2	1600	1600	1	1,1767	2,835
	2	2500	2500	1	1,1767	2,835
G-2500 10"	7	1600	1600	1	1,1767	9,924
	7	3200	3200	1	1,1767	9,924
	7	4000	4000	1	1,1767	9,924
G-2500 12"	4	1600	1600	1	1,1767	5,671
	4	3200	3200	1	1,1767	5,671
	4	4000	4000	1	1,1767	5,671
G-4000 12"	9	1600	1600	1	1,1767	12,759
	9	3200	3200	1	1,1767	12,759
	9	4800	4800	1	1,1767	12,759
	9	6500	6500	1	1,1767	12,759
G-4000 16"	3	1600	1600	1	1,1767	4,253
	3	3200	3200	1	1,1767	4,253
	3	4800	4800	1	1,1767	4,253
	3	6500	6500	1	1,1767	4,253

## Anexo 4. CAÍDA DE PRESIÓN EN LOS ACONDICIONADORES.

Medidor cliente	Qmax (m3/h)	Medidor patrón	Qmax/medidor (m3/h)	Zp	ρ (kg/m3)	DN (mm)	ΔP LP-35 mbar
G-100 3"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
G-130 3"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	199	G-400	199	1260	1,1767	100	0,5871
G-160 3"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	250	G-400	250	1260	1,1767	100	0,9267
G-160 4"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	250	G-400	250	1260	1,1767	100	0,9267
G-200 4"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	312	G-400	312	1260	1,1767	100	1,4433
G-250 4"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	400	G-400	400	1260	1,1767	100	2,3722
G-290 4"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	454	G-400	454	1260	1,1767	100	3,0560
G-400 4"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	650	G-400	650	1260	1,1767	100	6,2642
G-400 6"	160	G-100	160	1260	1,1767	80	0,9267
	650	G-400	650	1260	1,1767	100	6,2642
G-650 6"	650	G-400	650	1260	1,1767	100	6,2642
	1000	G-1000	1000	1260	1,1767	150	2,9287
G-1000 6"	650	G-400	650	1260	1,1767	100	6,2642
	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
G-1000 8"	650	G-400	650	1260	1,1767	100	6,2642
	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
G-1600 8"	650	G-400	650	1260	1,1767	100	6,2642
	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	2500	G-1000x2	1250	1260	1,1767	150	4,5761
G-1600 10"	650	G-400	650	1260	1,1767	100	6,2642
	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	2500	G-1000x2	1250	1260	1,1767	150	4,5761
G-2500 10"	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	3200	G-1000x2	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	4000	G-1000x3	1333,33	1260	1,1767	150	5,2065
G-2500 12"	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	3200	G-1000x2	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	4000	G-1000x3	1333,33	1260	1,1767	150	5,2065
G-4000 12"	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	3200	G-1000x2	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	4800	G-1000x3	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	6500	G-1000x4	1625	1260	1,1767	150	7,7335
G-4000 16"	1600	G-1000	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	3200	G-1000x2	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	4800	G-1000x3	1600	1260	1,1767	150	7,4974
	6500	G-1000x4	1625	1260	1,1767	150	7,7335

## Anexo 5. DESCRIPCION DEL SOFTWARE SF PRESSURE DROP.



**SF Pressure Drop 6.0 para Windows calcula las caídas de presión de líquidos y gas en tuberías (laminar y flujo turbulento).** Adicionalmente es posible calcular los cambios de presión causados por diferencias verticales del tubo y causados por cambios de la energía cinética.

SF Pressure Drop calcula también pérdidas de presión sobre elementos de tubería (por ejemplo: cambios de la dirección) y en los accesorios diversos (válvulas, fuelles etc.). Una lista de los elementos calculables puede observarse abajo.

Es posible combinar elementos diversos y así conseguir la caída de presión total.

Para calcular la caída de presión usted necesita los datos de tubería (rugosidad) y datos del flujo (densidad, viscosidad). Estos datos están disponibles en varias bases de datos. Una posibilidad adicional es guardar sus propios datos en la base de datos que es definida por el usuario.

---

Características adicionales

### **La base de datos de partes Standard (EN/ISO/DIN/ASME/ANSI)**

Las dimensiones y diámetros interiores de

- Tubería circulares

- Tubo rectangular
  - Curvas
  - Contracciones
  - Ampliaciones
  - Tes
- 

### **Base de datos de propiedades de líquidos y gases y cálculo de propiedades (densidad, viscosidad)**

- Cálculo de propiedades del agua y vapor de acuerdo con la norma industrial IAPWS-IF 97 (todas las condiciones calculadas dentro del rango 0 a 900 °C y de 0 a 1000 bares)
  - Las propiedades y estados del aire seco y húmedo y el aire en el estado de saturación
  - Propiedades misceláneas de líquidos y gases: Además de las propiedades, están disponibles los valores medidos para poder estimar propiedades de más de 300 gases y líquidos a temperaturas y presiones diferentes. Puede también estimar mezclas.
  - Estimación de refrigerantes a diferentes presiones y temperaturas.
  - Estimación de soluciones acuosas.
  - Estimación de los aceites de transferencia de calor.
  - Estimación de refrigerantes líquidos.
- 

### **Métodos de cálculo (tempranos)**

- Rápido diseño de bombas.
- Cálculo de la caída de presión dependiente de la rata de flujo (mostrando e imprimiendo la curva característica).
- Diseño y cálculo de canales de acuerdo a Manning-Strickler.
- Cálculo de descarga (constantes y nivel de disminución de líquidos).
- Diseño de orificio.
- Cálculo de un diámetro mas económico de una tubería a una rata de flujo conocida.
- Cálculo de NPSH; la presión de vapor y densidad requeridas están disponibles en una base de datos.
- Cálculo del volumen de tubos y tiempos de llenados enteros o de una parte.
- Conversión de la rata de flujo a velocidad y viceversa conociendo el diámetro del tubo.
- Conversión de  $m^3$  normales a  $m^3$  de trabajo.
- Conversión de valor de kv a coeficiente de resistencia
- Conversión del valor de cv a coeficiente de resistencia

---

### Misceláneos

- Entrada de los datos de tubos, elementos y flujos en una gran cantidad de unidades (unidades de los EE.UU. y métricas); salida en las unidades métricas o de los EE.UU.

- Base de datos de los coeficientes de resistencia de accesorios, editables por el usuario.
- Posibilidad para guardar y abrir archivos de proyectos de caída de presión de SF.
- Usted puede Imprimir las tablas de cálculo.

---

**SF Pressure Drop calcula los elementos siguientes de tubo:**

<b>Perdidas de presión irreversibles (causadas por fricción, las turbulencias y la separación de flujo )</b>	
<b>Tuberías rectas</b>	Tubo circular, tubo rectangular, anillo circular, canales, tuberías corrugadas, otras formas.
<b>Entradas de tubo</b>	Entrada afilada, entrada redondeada, entrada afilada con ángulo, entrada de tubo saliente del que está dentro.
<b>Cambios de la sección</b>	Ampliación repentina y gradual, suceso súbito y contracción gradual.
<b>Curvas</b>	Curva circular, curva de segmentos, curva de hierro fundido, curva rectangular, curva circular aserrada, curva rectangular aserrada.
<b>Herraderos de la corriente</b>	Tee globular afilada, tee redondeada, el cuello globular en forma de letra te redondeada, ramificadotes o divisores de flujo, ramifique de flujo en conjunto, tubo en forma de Y, tubo en forma de Y con inclinación.
<b>Fuelles</b>	El compensador de tubería arrugada, curva en forma de u
<b>Válvulas</b>	Válvula de bola, válvula esférica, válvula de ángulo, válvula de compuerta, otras.
<b>Válvulas de</b>	Válvula de cheque de globo, válvula de cheque swing.

<b>cheque</b>	
<b>Boquillas y orificios</b>	Orificio ISO 5167, orificio afilado, boquilla densamente afilada, boquilla de radio larga, tubo de Venturi
<b>Placas perforadas</b>	Placas perforadas circulares delgadas, placas perforadas rectangulares normales, placas perforadas circulares espesas, placas perforadas rectangulares normales,
<b>Coladores y rejillas</b>	Rejilla circular de metal, rejilla rectangular de metal, alambre circular, alambre rectangular, colador de y, rectangular.
<b>Coeficientes de resistencia</b>	Coeficiente de resistencia de tubería circulares y rectangulares
<b>La presión reversible cambia ( causado por las diferencias verticales del tubo y por cambios de la energía cinética )</b>	
<b>La presión reversible cambia</b>	Diferencia vertical, cambios de presión dinámica en tuberías circulares y rectangulares.

## Requerimientos

Windows 98/ME/NT/2000/XP/Vista

## Costo

- La contraseña se envía por correo electrónico y descarga de la versión de shareware de Internet 47, vale 60 euros.
- Entrega de contraseña + programa en CD por correo, vale 55 euros.

Los precios incluyen el 19% VAT en Alemania. Para la entrega en países fuera de UE o para clientes dentro de la UE con VAT Reg. No. Los precios siguientes son válidos: contraseña 40 euros, 45 euros de CD. Todas las

cantidades embarque inclusivo y paquete.  
Por favor, note los precios corrientes en nuestra red va de compras  
[www.pressure-drop.com/order.html](http://www.pressure-drop.com/order.html)

---

Fuente: <http://www.pressure-drop.com/>

## Anexo 6. EJEMPLO DE CALCULO UTILIZANDO EL SOFTWARE SF PRESSURE DROP 6.2.

F1. Condiciones de operación.

**Flow medium**

Flow medium:

Vol. flow:

F2. Selección del fluido

**Properties of dry air**

Pressure (abs.):

Temperature:

Range: -100 bis 1000°C (-202 bis 1032° F)  
max. 250 bar (3625 psi)

**Result of calculation:**

Weight density in kg/m³: 1.1923

Viscosity in 10<sup>-3</sup> kg/ms: 18.10

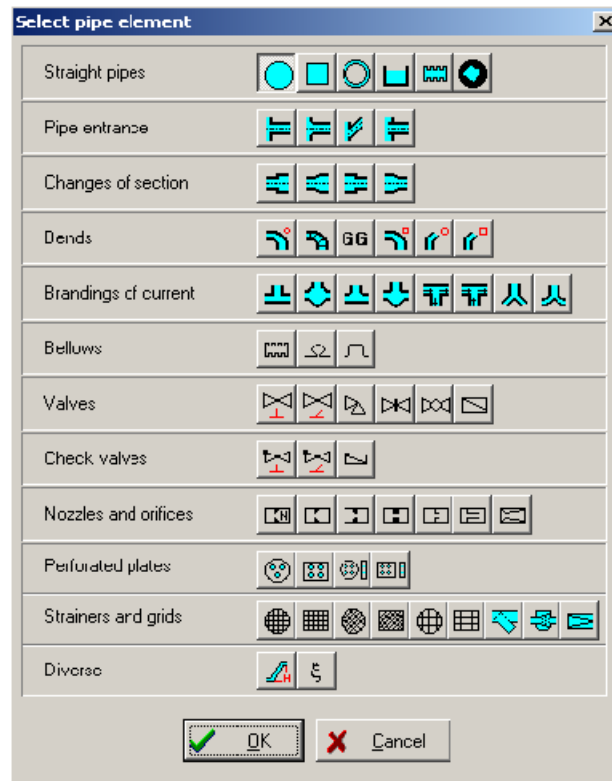
Here you will find data of dry air. The difference to humid air are low. At a pressure of 1.0 bar measured values are given. If you select a different pressure the density is calculated. The value differs in the near of the boiling point. In the range of 0.1 - 10 bar the viscosity is not dependent of pressure and is consequently not calculated. If the pressure is higher than 10 bar the given viscosity is an approximation.

F3. Rugosidad y material de la tubería

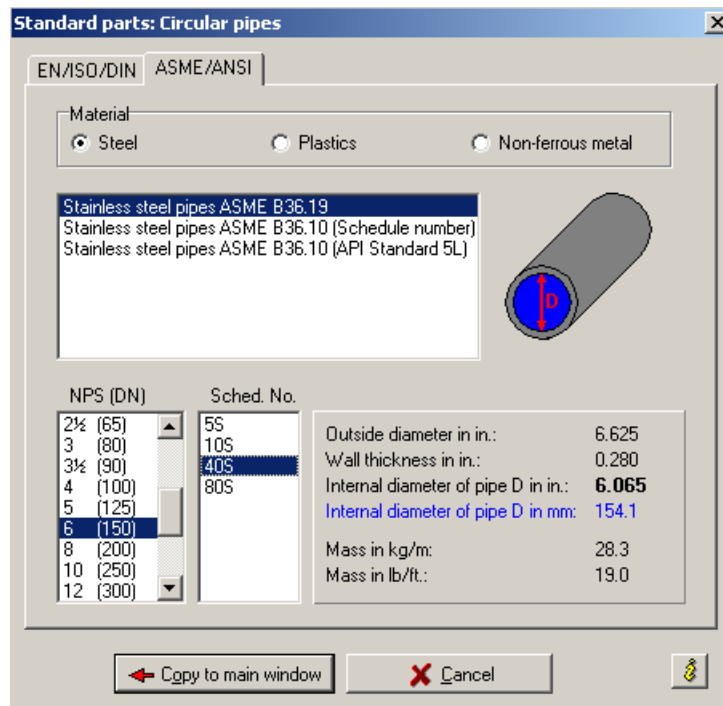
**Roughness of pipes**

Glass, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Glass, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Plastic, drawn/pressed	new	0.0013 - 0.0015 mm
Plastic, drawn/pressed	used	to 0.03 mm
Rubber	new, smooth	0.0016 mm
Steel	after long operation cleaned	0.15 - 0.20 mm
Steel	homogeneous corrosion pits	0.15 mm
Steel	intensely incrustated	2.0 - 4.0 mm
Steel	slightly rusty and incrustated	0.15 - 0.40 mm
Steel, longitudinal welded	new, bituminized	0.01 - 0.05 mm
Steel, longitudinal welded	new, galvanized	0.008 mm
Steel, longitudinal welded	new, rolling skin	0.04 - 0.1 mm
Steel, weldless	new, comm. size galvanized	0.10 - 0.16 mm
Steel, weldless	new, neatly galvanized	0.07 - 0.10 mm
Steel, weldless	new, pickled	0.03 - 0.04 mm
Steel, weldless	new, rolling skin	0.02 - 0.06 mm
Steel, weldless	new, unpickled	0.03 - 0.06 mm
Stoneware		0.25 mm

#### F4. Selección del tipo de elemento



#### F5. Selección de la tubería Standard



## F6. Parámetros finales.

The screenshot shows the 'SF Pressure Drop 6.2' software interface. The 'Element of pipe' section is set to 'Straight pipes - circular' with 'Number of elements: 1'. The pipe is identified as 'Stainless steel pipes ASME B36.19' with a diameter of 154.1 mm and a length of 1.524 m. The 'Flow medium' is 'Air (1.0 atm, 23 °C)' with a volume flow of 650 m³/h, weight density of 1.1923 kg/m³, and dynamic viscosity of 18.10 · 10⁻⁶ kg/ms. The condition is set to 'gaseous'. Additional data for gases includes an inlet pressure of 1.0 atm, inlet temperature of 23 °C, and outlet temperature of 23 °C. The pipe roughness is 0.0127 mm. A 'Calculate' button is visible at the bottom right.

Nota: Como la rugosidad debe ser menor a 500 micro-pulgada, se selecciona este equivalente en milímetros como condición crítica.

## F7. Resultado.

The screenshot shows the results table in the software. The table contains the following data:

Project:	
Calculating number:	1
Veloc. of flow in m/s:	9.681
Reynolds number:	9.83E+0004
Veloc. of flow2 in m/s:	
Reynolds number 2:	
Flow:	turbulent
Absolute roughness in mm:	0.013
Pipe friction number:	0.018
Resistance coefficient:	0.183
Resistance coefficient branch:	
Press. drop branch pipe mbar:	
Pressure drop in mbar:	0.102
Pressure drop in bar:	0.000
Total pressure drop 0.102 mbar or 0.000 bar	

## Anexo 7. PERDIDA CALCULADAS CON SF PRESSURE DROP.

Medidor cliente	Medidor patrón	Qmin (m3/h)	Qmax (m3/h)	Qmax/medidor (m3/h)	Perdidas (milibar)
G-100 3"	G-100	32	160	160	11,106
	G-400	160	199	199	11,748
G-130 3"	G-100	40	160	160	16,777
	G-400	160	199	199	11,748
G-160 3"	G-100	50	160	160	16,777
	G-400	199	250	250	13,614
G-160 4"	G-100	50	160	160	10,963
	G-400	199	250	250	7,609
G-200 4"	G-100	62,4	160	160	13,799
	G-400	160	312	312	13,010
G-250 4"	G-100	80	160	160	13,799
	G-400	160	400	400	17,570
G-290 4"	G-100	90,8	160	160	22,305
	G-400	160	454	454	29,411
G-400 4"	G-100	130	160	160	22,310
	G-400	160	650	650	44,896
G-400 6"	G-100	130	160	160	10,916
	G-400	160	650	650	32,813
G-650 6"	G-400	200	650	650	38,484
	G-1000	650	1000	1000	20,637
G-1000 6"	G-400	320	650	650	46,990
	G-1000	650	1600	1600	47,750
G-1000 8"	G-400	320	650	650	34,107
	G-1000	650	1600	1600	34,295
G-1600 8"	G-400	500	650	650	41,196
	G-1000	650	1600	1600	44,294
	G-1000x2	1600	2500	1250	30,023
G-1600 10"	G-400	500	650	650	32,656
	G-1000	650	1600	1600	35,601
	G-1000x2	1600	2500	1250	21,081
G-2500 10"	G-1000	800	1600	1600	42,690
	G-1000x2	1600	3200	1600	39,730
	G-1000x3	3200	4000	1333,33	32,019
G-2500 12"	G-1000	800	1600	1600	38,371
	G-1000x2	1600	3200	1600	35,227
	G-1000x3	3200	4000	1333,33	27,382
G-4000 12"	G-1000	1300	1600	1600	45,459
	G-1000x2	1600	3200	1600	42,315
	G-1000x3	3200	4800	1600	43,975
	G-1000x4	4800	6500	1625	47,405
G-4000 16"	G-1000	1300	1600	1600	34,001
	G-1000x2	1600	3200	1600	33,655
	G-1000x3	3200	4800	1600	35,132
	G-1000x4	4800	6500	1625	38,294

## Anexo 8. CATALOGO CHICAGO BLOWERS MODELO D1.

4"

### DESIGN 53

#### Pressure Blowers

**3500 RPM**  
**Outlet Area - .09 Ft.<sup>2</sup>**

SIZE	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP
D4	31.9	1.9	32.4	2.2	33.0	2.5	33.5	2.7	33.9	3.0	34.4	3.2	34.7	3.6
D3	30.9	1.6	31.3	1.9	31.9	2.2	32.3	2.4	32.5	2.6	32.8	3.0	32.9	3.3
D2	29.2	1.4	29.4	1.6	30.0	1.8	30.2	2.0	30.6	2.3	31.0	2.6	31.1	2.8
D1	27.8	1.4	28.0	1.6	28.5	1.8	28.5	2.0	28.7	2.3	28.9	2.5	28.8	2.7
A5	21.4	1.0	22.2	1.1	23.0	1.3	23.1	1.4	23.7	1.6	24.1	2.0	24.0	2.2
A4	20.0	.9	20.8	1.0	21.6	1.2	21.7	1.3	22.1	1.5	22.5	1.8	22.3	2.0
A3	19.1	.9	19.7	1.0	20.0	1.1	20.0	1.2	20.3	1.4	20.5	1.7	20.3	1.8
A2	18.5	.9	18.6	1.0	18.8	1.1	19.1	1.2	19.0	1.4	18.9	1.6	18.7	1.8
A1	16.8	.8	16.8	.9	16.8	1.1	17.1	1.2	16.9	1.3	16.6	1.4	16.3	1.7
CFM	45		90		135		180		225		270		315	
OV	500		1000		1500		2000		2500		3000		3500	

SIZE	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP
D4	35.0	4.0	35.3	4.3	35.5	4.7	35.6	4.9	35.5	5.4	35.4	5.6	35.2	5.8
D3	33.1	3.6	33.1	3.9	33.2	4.3	33.2	4.5	33.0	4.9	32.6	5.1	32.7	5.3
D2	31.3	3.2	31.5	3.4	31.4	3.8	31.3	4.1	30.9	4.5	30.5	4.7	30.8	4.9
D1	28.8	3.1	29.0	3.3	28.7	3.6	28.4	3.8	28.1	4.1	27.5	4.4	27.6	4.7
A5	23.9	2.4	23.8	2.7	23.6	2.9	23.2	3.1	22.8	3.4	22.2	3.8	21.6	4.2
A4	22.2	2.2	22.1	2.5	21.8	2.7	21.4	2.8	21.0	3.1	20.4	3.4	19.7	3.5
A3	20.1	2.0	20.0	2.3	19.4	2.4	19.0	2.6	18.3	2.9	17.7	3.1	17.1	3.3
A2	18.4	1.9	18.2	2.1	17.8	2.3	17.2	2.5	16.5	2.7	15.6	2.9	14.9	3.1
A1	15.8	1.8	15.4	1.9	15.1	2.0	14.4	2.3	13.7	2.5	13.0	2.7	12.2	2.9
CFM	360		405		450		495		540		585		630	
OV	4000		4500		5000		5500		6000		6500		7000	


### Outlet Velocity Method

Most pressure blower selections are based upon a required velocity (Feet Per Minute) in a given pipe size. The rating tables are grouped by outlet pipe size. To select a pressure blower, use the rating table for the given pipe size and locate the required outlet velocity, OV (or the OV closest to the required velocity). Then move up that column to the required static pressure, "SP. The brake horsepower, BHP, is listed next to the "SP and the blower size is listed in the Size column on the same line as the "SP.

**EXAMPLE:**Select a fan for a velocity of 3500 FPM in a 4" pipe and at 24" SP.

In the multi-rating tables for a 4" Outlet, locate 3500 OV. Moving up that column to 24" SP, determine the BHP, 2.2, and the size, A5.

**SELECTION:**A Size A5 with a 3 HP motor provides 3500 FPM outlet velocity at 24" SP and draws 2.2 BHP.



Anexo 9. CATALOGO CHICAGO BLOWERS MODELO I1.

**10" DESIGN 53**  
Pressure Blowers

**3550 RPM**  
Outlet Area - .55 Ft.<sup>2</sup>

SIZE	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP
L4	47.9	8.2	50.4	11.0	52.4	13.9	54.2	16.5	55.6	19.0	56.9	22.4	57.9	24.9
L3	46.1	7.7	47.2	10.2	40.3	12.6	61.0	16.1	62.6	17.8	63.6	21.6	64.3	23.9
L2	42.3	7.6	44.5	10.0	46.6	12.5	47.9	14.3	48.7	16.6	49.4	19.2	49.8	21.8
L1	39.2	6.0	41.4	8.1	43.5	11.0	44.5	12.9	45.1	15.1	45.5	17.3	45.6	19.2
I4	44.0	8.7	45.5	9.5	46.6	10.3	47.6	12.7	48.5	15.4	49.1	18.0	49.2	20.8
I3	41.1	8.1	42.5	8.9	43.5	9.6	44.4	11.8	45.4	14.4	45.7	16.7	45.8	19.2
I2	37.8	7.4	39.1	8.1	40.0	8.8	40.8	10.9	41.6	13.2	42.3	15.5	42.5	17.8
I1	35.0	6.9	36.2	7.6	37.1	8.2	37.8	10.1	38.5	12.2	38.9	14.2	39.0	16.3
G4	34.4	4.0	36.8	6.1	38.5	8.4	40.0	10.8	40.9	12.9	40.7	14.8	39.8	16.7
G3	32.2	3.6	34.2	5.7	35.6	7.2	36.8	9.5	37.7	11.6	37.4	13.2	36.6	15.1
G2	29.3	3.5	31.1	5.3	32.1	6.6	33.0	8.4	33.2	10.0	32.8	11.4	31.7	13.2
G1	27.2	3.4	28.7	4.7	29.7	5.8	30.1	7.5	30.3	9.1	29.7	10.5	28.6	12.0
CFM	275		550		825		1100		1375		1650		1925	
OV	500		1000		1500		2000		2500		3000		3500	

SIZE	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP
L4	58.4	27.0	58.9	30.9	58.6	33.4	58.0	36.2	57.2	38.4	56.4	42.0	55.7	45.1
L3	54.7	26.1	55.0	28.2	54.6	31.6	53.8	34.0	53.0	36.3	52.3	39.6	51.3	42.5
L2	49.9	23.9	49.8	26.0	49.5	28.3	48.7	31.3	48.1	33.9	47.3	36.9	46.1	40.5
L1	45.2	21.6	45.1	23.6	44.6	26.0	44.0	27.9	43.1	30.6	42.5	33.8	41.4	36.6
I4	48.7	23.3	47.6	26.0	46.0	28.6	44.2	31.0	42.1	33.1	39.5	35.0	37.6	37.7
I3	45.4	21.7	44.4	24.2	42.6	26.5	40.9	28.7	38.7	30.4	36.3	32.1	34.6	34.7
I2	41.8	20.0	40.7	22.2	38.7	24.1	37.0	26.0	34.8	27.4	32.7	29.1	31.1	31.2
I1	38.5	18.4	37.2	20.3	35.4	22.0	33.8	23.8	31.5	24.8	29.6	26.2	28.1	28.2
G4	38.7	18.6	37.1	20.6	34.9	22.6	32.7	24.9	30.3	27.2	27.5	29.9	23.9	32.8
G3	35.3	16.9	33.8	18.5	31.9	20.8	29.4	23.0	27.0	25.1	24.1	27.7	20.6	30.3
G2	30.2	14.9	28.6	16.6	26.4	18.4	23.9	20.5	20.7	22.3	17.5	24.7	13.0	26.8
G1	27.1	13.5	25.4	15.1	23.2	16.8	20.5	18.6	17.5	20.3	14.5	22.9	9.9	24.9
CFM	2200		2475		2750		3025		3300		3575		3850	
OV	4000		4500		5000		5500		6000		6500		7000	


**12" DESIGN 53**  
Pressure Blowers

**3550 RPM**  
Outlet Area - .79 FT.<sup>2</sup>

SIZE	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP
M4	49.2	9.0	52.1	13.4	54.4	17.7	56.1	22.1	57.6	26.6	58.6	30.2	58.8	33.8
M3	46.0	8.7	48.8	12.0	51.3	16.1	52.9	20.2	54.1	24.2	54.9	27.7	54.7	31.4
M2	43.7	8.3	46.1	11.7	48.3	15.1	49.6	18.8	50.1	22.1	50.2	25.7	49.9	28.6
M1	40.6	7.5	42.6	10.6	44.4	13.1	45.7	16.7	46.2	19.9	45.9	23.0	45.2	26.1
CFM	395		790		1185		1580		1975		2370		2765	
OV	500		1000		1500		2000		2500		3000		3500	

SIZE	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP	"SP	BHP
M4	58.1	37.9	56.6	41.7	54.8	45.6	52.5	49.2	50.2	53.0	47.9	57.3	45.3	61.7
M3	54.0	34.9	52.5	38.7	50.7	42.2	48.4	46.1	45.7	49.3	43.6	53.1	40.2	57.0
M2	48.7	32.1	47.3	35.8	45.4	38.8	43.2	42.2	40.4	45.9	39.1	49.1	34.7	53.1
M1	44.1	28.5	42.4	32.8	39.9	36.7	37.4	40.0	34.6	43.4	32.9	47.4	28.3	51.5
CFM	3160		3555		3950		4345		4740		5135		5530	
OV	4000		4500		5000		5500		6000		6500		7000	

## Anexo 10. ESPECIFICACIONES DEL BLACK THEATER.

Black Theater	
	<b>Nombre</b> Black Theater
	<b>Descripción y Uso</b> Black Theater es un sistema acústico y lumínico con propiedades de aislamiento térmico y acústico, en lana de vidrio, liviano, de color negro y textura uniforme, presentado en láminas. Compuesto por un cuerpo en fibra de vidrio aglomerada con resina termoresistente y un acabado en refuerzo de fibra de vidrio. Su uso principal es para ser instalado como sistema de cielo raso y sobre sistemas de cielo raso metálico de celda abierta, para controlar ruidos y aislar térmicamente, cinemas múltiplex, salas de cine, estudios de sonido, auditorios, teatros, home theaters y en general espacios que requieran de un control acústico en sus diseños.
	<b>Denominación</b> 96" x 48" x 2" ó 1".
	<b>Dimensiones</b> 2.43m(Longitud) x 1.21m(ancho)x 2.54cm cuando es de 1", ó 5.08cm si es de 2" de espesor.
	<b>Características</b> Aislante Térmico y Acústico. Dimensionalmente estable. Inorgánico. No promueve desarrollo de hongos. No se corroe.
	<b>Absorción Acústica NRC</b> 0.7 para 1" espesor, 1.00 para 2" espesor.
	<b>Unidad de Venta</b> Para 1" = 8 Unidades por empaque. Para 2" = 4 unidades por empaque.

Fuente: [http://www.ecaltda.com/solu\\_2.html](http://www.ecaltda.com/solu_2.html)

## Anexo 11. FICHAS TECNICAS TRANSMISORES DE TEMPERATURA.

FICHA TÉCNICA DEL INSTRUMENTO N° 458																
Nombre del instrumento: <i>RTD +Transmisor Pt 100 Programable</i>																
Marca <i>PYROMATION INC.</i>	Modelo <i>Serie 450 Programable</i>															
Serie <i>No posee</i>	Referencia <i>R3T185L384 04 – 00 – 45, T- 450 - 00</i>															
Código	Catalogo <i>Biblioteca Banco Alta</i>															
MME <i>No posee</i>	Software <i>TransComm Light. Versión 1.0.8.0</i>															
Planos <i>No posee</i>																
Fabricante <i>PYROMATION INC.</i>	<i>1901 commercial Harvey Louisiana 70058</i> <small>Dirección</small>	<i>(260)4842580</i> <small>FAX</small>	<i>www.pyromation.com</i> <small>Web</small>													
Distribuidor <i>Técnicos Andinos Industriales Ltda</i>	<i>Calle 60 No. 9ª-31(Bogotá)</i> <small>Dirección</small>	<i>3476494</i> <small>FAX</small>	<i>tecnicosandinos@tecnicosandinos.com</i> <small>E - mail</small>													
Descripción general <i>Transmisor de temperatura serie 450 programable. Formado por un conjunto integral de un sensor RTD de 4 hilos Pt100 y un transmisor de 4 a 20mA.</i>																
Fecha adquisición	<table border="1"><tr><td>22</td><td>01</td><td>08</td></tr><tr><td><small>Día</small></td><td><small>Mes</small></td><td><small>Año</small></td></tr></table>	22	01	08	<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>	Fecha instalación	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td><small>Día</small></td><td><small>Mes</small></td><td><small>Año</small></td></tr></table>					<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>
22	01	08														
<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>														
<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>														
Ubicación <i>Banco de Alto Caudal (MM 1,2).</i>		Garantía <i>1 año</i>														
<i>-</i> <small>Peso</small>	<i>-</i> <small>Altura</small>	<i>3/16" OD</i> <small>Ancho</small>	<i>4 pulg</i> <small>Largo</small>	<i>-51° C - 160° C</i> <small>Capacidad</small>												
Instrumentos adicionales <i>Cable de conexión 4-20mA</i> <i>Interface para programar a través del software transComm Light.</i>																
Magnitud <i>Temperatura</i>	Rango de operación <i>0° C - 40° C</i>	Unidad de medida <i>° C</i>														
Clase <i>Transmisor ±0,1 °C</i> <i>RTD ±0.03% a 0 °C</i>	Incertidumbre <i>0,05</i>	Escala mínima <i>0,001 °C</i>														
SISTEMAS  Eléctrico <input type="checkbox"/> Electrónico <input checked="" type="checkbox"/> Neumático <input type="checkbox"/> Hidráulico <input type="checkbox"/> Mecánico <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																
Características  <i>Corriente Inducida Requerida ≤ 3.5 mA</i> <i>Limite de corriente ≤ 23 mA</i> <i>Error por medida electrónica 0.1°C</i> <i>α = 0.00385 °C<sup>-1</sup></i>																
Observaciones <i>Este instrumento posee un transmisor de corriente 4 a 20mA, programado a través del software TransComm Light. En el software se debe escoger como tipo de unidad "Serie 450 programmable integral temperatura transmitter". En él se configuran los límites del alcance de medición, la unidad de temperatura (°C o °F), las características de la señal de salida (4 a 20mA o 20 a 4mA) y en caso de una desviación uniforme en todo el alcance de medición es posible ajustarlo. a través del campo etiquetado como "offset", sumando o restando valores entre -9.9 y 9.9°C.</i>																

FICHA TÉCNICA DEL INSTRUMENTO N° 458															
Nombre del instrumento: <i>RTD + Transmisor Pt 100 Programable</i>															
Marca <i>PYROMATION INC.</i>	Modelo <i>Serie 450 Programable</i>														
Serie <i>No posee</i>	Referencia <i>R3T185L384 05 - 00 - 45, T- 450 - 00</i>														
Código	Catalogo <i>Biblioteca Banco Alta</i>														
MME <i>No posee</i>															
Planos <i>No posee</i>	Software <i>Posee transComm Light.</i>														
Fabricante <i>PYROMATION INC.</i>	<i>1901 commercial Harvey Louisiana 70058</i> <small>Dirección</small>	<i>(260)4842580</i> <small>FAX</small>	<a href="http://www.pyromation.com">www.pyromation.com</a> <small>Web</small>												
Distribuidor <i>Técnicos Andinos Industriales Ltda</i>	<i>Calle 60 No. 9ª-31(Bogotá)</i> <small>Dirección</small>	<i>3476494</i> <small>FAX</small>	<a href="mailto:tecnicosandinos@tecnicosandinos.com">tecnicosandinos@tecnicosandinos.com</a> <small>E-mail</small>												
Descripción general <i>Transmisor de temperatura serie 450 programable. Formado por un conjunto integral de un sensor RTD de 4 hilos Pt100 y un transmisor de 4 a 20mA.</i>															
Fecha adquisición	<table border="1"><tr><td>22</td><td>01</td><td>08</td></tr><tr><td><small>Día</small></td><td><small>Mes</small></td><td><small>Año</small></td></tr></table>	22	01	08	<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>	Fecha instalación	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td><small>Día</small></td><td><small>Mes</small></td><td><small>Año</small></td></tr></table>				<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>
22	01	08													
<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>													
<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>													
Ubicación <i>Banco de Alto Caudal (MM 3).</i>	Garantía <i>1 año</i>														
<i>-</i> <small>Peso</small>	<i>-</i> <small>Altura</small>	<i>3/16" OD</i> <small>Ancho</small>	<i>5 pulg</i> <small>Largo</small>												
<i>-51° C - 160° C</i> <small>Capacidad</small>															
Instrumentos adicionales <i>Cable de conexión 4-20mA</i> <i>Interface para programar a través del software transComm Light.</i>															
Magnitud <i>Temperatura</i>	Rango de operación <i>0° C - 40° C</i>	Unidad de medida <i>° C</i>													
Clase <i>Transmisor ±0,1 °C</i> <i>RTD ±0.03% a 0 °C</i>	Incertidumbre <i>0,04</i>	Escala mínima <i>0,001 °C</i>													
SISTEMAS Eléctrico <input type="checkbox"/> Electrónico <input checked="" type="checkbox"/> Neumático <input type="checkbox"/> Hidráulico <input type="checkbox"/> Mecánico <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>															
Características <i>Corriente Inducida Requerida ≤ 3.5 mA</i> <i>Limite de corriente ≤ 23 mA</i> <i>Error por medida electrónica 0.1°C</i> <i>α = 0.00385 °C<sup>-1</sup></i>															
Observaciones <i>Este instrumento posee un transmisor de corriente 4 a 20mA, programado a través del software TransComm Light. En el software se debe escoger como tipo de unidad "Serie 450 programmable integral temperatura transmitter". En él se configuran los límites del alcance de medición, la unidad de temperatura (°C o °F), las características de la señal de salida (4 a 20mA o 20 a 4mA) y en caso de una desviación uniforme en todo el alcance de medición es posible ajustarlo. a través del campo etiquetado como "offset", sumando o restando valores entre -9.9 y 9.9°C.</i>															

FICHA TÉCNICA DEL INSTRUMENTO N° 458																
Nombre del instrumento: <i>RTD + Transmisor Pt 100 Programmable</i>																
Marca <i>PYROMATION INC.</i>	Modelo <i>Serie 450 Programmable</i>															
Serie <i>No posee</i>	Referencia <i>R3T185L384 05 - 00 - 45, T- 450 - 00</i>															
Código	Catalogo <i>Biblioteca Banco Alta</i>															
MME <i>No posee</i>																
Planos <i>No posee</i>	Software <i>Posee transComm Light.</i>															
Fabricante <i>PYROMATION INC.</i>	<i>1901 commercial Harvey Louisiana 70058</i> <small>Dirección</small>	<i>(260)4842580</i> <small>FAX</small>	<i>www.pyromation.com</i> <small>Web</small>													
Distribuidor <i>Técnicos Andinos Industriales Ltda</i>	<i>Calle 60 No. 9ª-31(Bogotá)</i> <small>Dirección</small>	<i>3476494</i> <small>FAX</small>	<i>tecnicosandinos@tecnicosandinos.com</i> <small>E-mail</small>													
Descripción general <i>Transmisor de temperatura serie 450 programable. Formado por un conjunto integral de un sensor RTD de 4 hilos Pt100 y un transmisor de 4 a 20mA.</i>																
Fecha adquisición	<table border="1"><tr><td>22</td><td>01</td><td>08</td></tr><tr><td><small>Día</small></td><td><small>Mes</small></td><td><small>Año</small></td></tr></table>	22	01	08	<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>	Fecha instalación	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td><small>Día</small></td><td><small>Mes</small></td><td><small>Año</small></td></tr></table>					<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>
22	01	08														
<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>														
<small>Día</small>	<small>Mes</small>	<small>Año</small>														
Ubicación <i>Banco de Alto Caudal (MM 4).</i>		Garantía <i>1 año</i>														
<i>-</i> <small>Peso</small>	<i>-</i> <small>Altura</small>	<i>3/16" OD</i> <small>Ancho</small>	<i>5 pulg</i> <small>Largo</small>	<i>-51° C - 160° C</i> <small>Capacidad</small>												
Instrumentos adicionales <i>Cable de conexión 4-20mA</i> <i>Interface para programar a través del software transComm Light.</i>																
Magnitud <i>Temperatura</i>	Rango de operación <i>0° C - 40° C</i>		Unidad de medida <i>° C</i>													
Clase <i>Transmisor ±0,1 °C</i> <i>RTD ±0.03% a 0 °C</i>	Incertidumbre <i>0,04</i>		Escala mínima <i>0,001 °C</i>													
SISTEMAS Eléctrico <input type="checkbox"/> Electrónico <input checked="" type="checkbox"/> Neumático <input type="checkbox"/> Hidráulico <input type="checkbox"/> Mecánico <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>																
Características <i>Corriente Inducida Requerida ≤ 3.5 mA</i> <i>Limite de corriente ≤ 23 mA</i> <i>Error por medida electrónica 0.1°C</i> <i>α = 0.00385 °C<sup>-1</sup></i>																
Observaciones <i>Este instrumento posee un transmisor de corriente 4 a 20mA, programado a través del software TransComm Light. En el software se debe escoger como tipo de unidad "Serie 450 programmable integral temperatura transmitter". En él se</i>																