

**DISEÑO ESTRATÉGICO DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DE APTITUD EN LA
CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS**

JACKSON ERNESTO RUIZ SÁNCHEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BUCARAMANGA

2010

**DISEÑO ESTRATÉGICO DE LAS PRUEBAS Y ENSAYOS DE APTITUD EN LA
CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS.**

JACKSON ERNESTO RUIZ SÁNCHEZ

Trabajo de Grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

Director

JABID EDUARDO QUIROGA MÉNDEZ

Ingeniero Mecánico

Codirector

LUIS EDUARDO GARCÍA SÁNCHEZ

Ingeniero Mecánico

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

2010

DEDICATORIA

A Dios por permitirme seguir, por darme fuerzas para luchar y poder terminar esta etapa de mi vida, por los días que creí poco y por aquellos que te busque desesperadamente.

A mi Madre Myriam Sánchez por su incansable esfuerzo, por su comprensión, su entrega decidida en mi formación y siempre creyendo en el final.

A mi Padre Álvaro Ruiz por su constante apoyo, consejero y amigo, por compartir este sueño conmigo.

A mi Hermano Mario por acompañarme y permitirme crecer junto a él como persona y profesional.

A mi Hermana Mónica, por sus enseñanzas, por que las satisfacciones más grandes se logran con esfuerzo y cuando se gusta de hacerlo salen increíblemente mejor.

AGRADECIMIENTOS

A todo el personal de la Corporación por haber sabido recibirme como miembro de su comunidad y día tras día entregarme su conocimiento valioso, a cada uno de ustedes gracias.

A Jabid Eduardo Quiroga Méndez porque fue de los primeros en mi formación y me enseñó que no basta con estudiar, hace falta estudiar más.

A Henry Abril por darme la excelente oportunidad de aprender, por permitirme hacer y aportarle a la Corporación.

A Luis García por su disposición y manera de enseñar, por su disponibilidad y accesibilidad a toda la experiencia que ha acumulado a lo largo de todos sus años en el CDT de GAS.

Gracias,

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	23
1. METROLOGÍA.....	26
1.1. CONCEPTOS CLAVE.....	26
1.1.1. Incertidumbre	26
1.1.3. Exactitud.....	27
1.1.4. Precisión.....	27
1.1.5. Mejor capacidad de medida.....	29
1.1.6. Mejor estimado de medición.....	30
1.1.7. Definición de error.....	30
1.2. ORGANIZACIÓN METROLÓGICA MUNDIAL	31
1.2.1. Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).....	33
1.2.2. Comités Consultivos	35
1.2.3. Cadena de trazabilidad	36
1.2.4. Regional Metrology Organizations (RMO)	37
1.2.5. Entes acreditadores	38
2. ACUERDOS DE RECONOCIMIENTO MUTUO	40
2.1. GENERALIDADES.....	40
2.2. ENTIDADES INVOLUCRADAS	41
2.2.1. Laboratorio coordinador	41
2.2.2. Laboratorio piloto.....	42
2.2.3	
. Grupo de expertos o comité técnico	42
2.2.4. Laboratorios participantes.....	42
2.2.5. Cuerpo u organismo acreditador	43
2.3. TIPOS DE COMPARACIÓN.....	43

2.4. MACRO ETAPAS	45
2.5. ESQUEMAS DE COMPARACIÓN	46
2.6. EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE LAS COMPARACIONES	50
2.6.1. Valores de referencia.....	50
2.6.2. Prueba de significancia	51
2.6.3. Error normalizado.....	52
2.6.4. Grados de equivalencia entre patrones involucrados.....	52
2.6.5. Evaluación de resultados.....	52
2.7. PREPARATIVOS COMPARACIÓN	53
2.7.1. Documento protocolo.	53
2.7.2. Participación de los laboratorios (invitación)	55
2.8. OTRAS CONSIDERACIONES.....	56
2.8.1. Reporte de resultados	56
2.8.2. Daños y valores extremos	57
2.8.3. Aspecto financiero.....	58
2.8.4. Tiempos de entrega.....	58
3. TECNOLOGÍAS EN LA MEDICIÓN DE FLUJO DE GAS.....	60
3.1. PATRONES PRIMARIOS	60
3.2. MEDIDORES TIPO TURBINA.....	61
3.2.1. Principio de funcionamiento medidor tipo turbina	63
3.3. TOBERAS DE FLUJO CRÍTICO.....	67
3.3.1. Desarrollo matemático flujo sónico.	69
3.4. FENÓMENOS INFLUYENTES EN MEDICIÓN DE GAS	77
3.4.1. Perfil de velocidad.....	78
3.4.2. Fluido no homogéneo.....	84
3.4.3. Otros fenómenos.....	85

4. PRINCIPALES KC's EN MEDICIÓN DE FLUJO DE GAS.....	87
4.1. CIPM KCfor Low-Pressure Gas Flow: CCM.FF-K6 (K6).....	87
4.2. CIPM KCfor Natural Gas at High-Pressure CCM.FF-K5.a (K5).....	90
4.3. COOMET Project No. 219/Sk – 00/B	93
4.4. EURAMET Project No. 1006	96
4.5. MM.FF-S3 Proyect N° 806	99
4.6. CIPM KC for natural gas at high pressure CCM.FF-K5.a.1.....	101
5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA.....	104
5.1. ESTUDIO DEL INTERVALO DE MEDICIÓN DEL CDT de GAS	104
5.2. DISEÑO PRELIMINAR DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA A ALTOS CAUDALES	107
5.3. FASE DE REDISEÑO Y BÚSQUEDA DE NUEVAS PERSPECTIVAS	109
5.3.1. Capacitación	110
5.4. DISEÑO DE LOS PATRONES DE TRANSFERENCIA A BAJO CAUDAL	112
5.4.1. Requerimientos de diseño	112
5.5. CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA.....	121
5.6. PAQUETE DE TRANSFERENCIA Y SISTEMA DE MONITOREO.	126
5.6.1. Embalaje.....	126
5.6.2. Acelerómetro.....	127
6. CONCLUSIONES	130
6.1. ESTRATEGIAS DE COMPARACIÓN PROPUESTAS	130
6.2. PRIMEROS RESULTADOS	133
6.2.1. Comparación entre medidores primarios	133

6.2.2. Caracterización del dispositivo de transferencia de más bajos caudales.....	134
6.2.3. Adelanto de la comparación interlaboratorial	141
NOMENCLATURA O GLOSARIO.....	142
BIBLIOGRAFIA.....	147

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferencia entre exactitud y precisión.	28
Figura 2. Diferencia entre repetibilidad y reproducibilidad	29
Figura3. Definición de error	30
Figura 4. Valor de la Metrología.....	31
Figura 5. Jerarquía metrológica	33
Figura 6. Organigrama del BIPM	34
Figura 7. Cadena de trazabilidad.....	36
Figura 8. Organizaciones metrológicas regionales del mundo	38
Figura 9. Macro etapas y aspectos de una intercomparación	45
Figura 10. Esquema de comparación Directa	48
Figura 11. Esquema de comparación de tres laboratorios.....	49
Figura 12. Medidores de desplazamiento positivo.....	61
Figura 13. Medidor Turbina	62
Figura 14. Componentes de la velocidad relativa ideal	63
Figura 15. Componentes de la cantidad de momento.	65
Figura 16. Boquillas Sónicas	67
Figura 17. Toberas de flujo critico	68
Figura 18. Volumen de control para ondas de presión en gas	72
Figura 19. Flujo desarrollado ideal en ductos cerrados	78
Figura 20. Diferentes perfiles adiferentes regímenes.	79
Figura 21. Swirl puro.....	81

Figura 22. Alto Swirl.....	82
Figura 23. Distorsiones por singularidades.....	83
Figura 24. Rectificadores y Acondicionadores de flujo	84
Figura 25. Dispersión de resultados por laboratorio K6.....	88
Figura 26. Dispositivo de transferenciaK6.....	89
Figura 27. Alcance de K5.....	90
Figura 28. Dispositivo de transferencia del K5.....	91
Figura 29. Diagrama de Youden del K5	93
Figura 30. Dispositivo de transferencia COOMET B.....	94
Figura 31. Estabilidad del Dispositivo en COOMET B.....	96
Figura 32. Dispositivo de transferencia EURAMET 1006.....	97
Figura 33. Acuerdo entre participantes a 5000 m ³ /h	98
Figura 34. Molblocs.....	99
Figura 35. Acuerdo de participantes con Molblocs B	100
Figura 36. Acuerdo entre dispositivos de transferencia en serie.	101
Figura 37. Efecto de resonancia	102
Figura 38. Mapa de traslapo de tecnologías a altos caudales de la Corporación.....	105
Figura 39. Mapa de traslapo de tecnologías a bajos caudales de la Corporación.....	106
Figura 40 diseño conceptual del dispositivo de transferencia propuesto para altos caudales	108
Figura 41. Soplador 20 caballos de potencia en vacio	110

Figura 42. Diagrama esquemático del montaje de boquillas con problemas de deslizamiento.	111
Figura 43. Diagrama esquemático del montaje de boquillas sin problemas de deslizamiento.	112
Figura 44. Requerimientos de boquillas según ISO 9300	114
Figura 45. diseño inicial con tuercas de apriete	117
Figura 46. Sistema de Clamp.....	118
Figura 47. Montaje de Clamps para ¾ in.	119
Figura 48. montaje 4 in sistema de Bridas.....	120
Figura 49. Montaje ¾ in en construcción.....	122
Figura 50. Tubo principal montaje 1 ½ in	122
Figura 51. Boquillas sónicas insertas, montaje 3 in.....	123
Figura 52. Acondicionador de flujo	124
Figura 53. Montaje final.....	124
Figura 54. Juego final ¾ in y 1 ½ in.	125
Figura 55. Juego 3 in	125
Figura 56. Embalaje de dispositivos de transferencia.....	126
Figura 57. Acelerómetro GCDC Data concepts	127
Figura 58. Interfaz analizador de impactos	128
Figura 59. Dispositivo final acelerómetro, nueva fuente de alimentación.....	129
Figura 60. Montaje de caracterización.....	135
Figura 61. Curva de bloqueo boquilla de 0,02 m3/h.....	136
Figura 62. Curva de bloqueo boquilla de 0,06 m3/h.....	137

Figura 63. Curva de bloqueo boquilla de 0,25 m³/h..... 138

Figura 64. Curva de bloqueo boquilla de 1 m³/h 139

Figura 65 Compendio del comportamiento de las cuatro boquillas 140

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comités Conjuntos	34
Tabla 2. Comités Consultivos.....	35
Tabla 3. Requerimientos de Diseño	115
Tabla 4. Requerimiento tubería según ISO 9300.....	116
Tabla 5. Matriz de experimentos, para boquillas sónicas.....	131
Tabla 6. Puntos de Caudal de la Comparación Interlaboratorial propuesta.....	132
Tabla 7. Puntos de caudal restantes del banco de alta.....	132
Tabla 8. Resumen de resultados entre medidores primarios de la Corporación.....	133
Tabla 9. Caracterización boquilla de 0,02 m ³ /h	136
Tabla 10. Caracterización boquilla de 0,06 m ³ /h.....	137
Tabla 11. Caracterización boquilla de 0,25 m ³ /h.....	138
Tabla 12. Caracterización boquilla de 1 m ³ /h	139

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice A: Planos de los dispositivos de transferencia tipos boquillas sónicas.

Apéndice B: Documento Protocolo de comparación interlaboratorial propuesto.

SIMBOLOGÍA

%	<i>Porcentaje</i>
C_p	<i>Calor específico a presión constante</i>
C_v	<i>Calor específico a volumen constante</i>
V	<i>Volumen</i>
A	<i>Área</i>
abs	<i>Función valor absoluto</i>
C	<i>Celsius</i>
c	<i>Velocidad del sonido</i>
d	<i>Desviación, derivada</i>
dm^3/min	<i>Decímetro Cubico por minuto</i>
Dbod	<i>Diámetro del cuerpo de la boquilla</i>
Dbor	<i>Diametro de salida</i>
Dint	<i>Diámetro interno</i>
Diso	<i>Diámetro mínimo exigido por ISO 9300</i>
dn	<i>Diametro nominal</i>
DNt	<i>Diámetro nominal de tubería</i>
DP	<i>Diámetro toma de presión</i>
DT	<i>Diámetro máximo de termopozo</i>
Ec.	<i>Ecuación</i>
F	<i>Fuerza</i>
f	<i>Es función de</i>
h	<i>Entalpia específica</i>
HP	<i>Altura de toma de presión</i>
I	<i>Inercia</i>
in	<i>pulgadas</i>
Insert	<i>Distancia radial del inserto</i>
K	<i>Módulo de compresibilidad volumétrico</i>

k	<i>Factor de cobertura, coeficiente isentrópico</i>
<i>Kfactor</i>	<i>Factor de medida pulsos/metro cubico</i>
kg	<i>Kilogramos</i>
L	<i>Longitud axial</i>
LPD1	<i>Longitud recomendado de toma de presión aguas abajo</i>
LPU	<i>Longitud de diseño de toma de presión</i>
LPU1	<i>Longitud máxima de toma de presión aguas arriba</i>
LPU2	<i>Longitud mínima de toma de presión aguas arriba</i>
LT	<i>Longitud recomendada de toma de termopozo aguas arriba</i>
LTU	<i>Longitud de tubería aguas abajo</i>
m	<i>masa</i>
m/s	<i>Metros por segundo</i>
m ³ /h	<i>Metro cúbico por hora</i>
mbar	<i>milibar</i>
Mhz	<i>Megahertz</i>
mm	<i>milímetros</i>
N	<i>Numero de patrones</i>
°	<i>Grados</i>
P, p	<i>presión</i>
Q	<i>Flujo volumétrico</i>
Qv	<i>Volumen nominal</i>
r	<i>Radio</i>
R	<i>Constante universal de los gases</i>
r.p.m.	<i>Revoluciones por minuto</i>
S	<i>Paso circunferencial</i>
s	<i>Entropía especifica</i>

T	<i>Temperatura, Torque</i>
t	<i>Tiempo</i>
u	<i>Incertidumbre estándar, velocidad axial</i>
U	<i>Incertidumbre expandida al 95 porciento</i>
V	<i>Volumen, velocidad</i>
w	<i>Velocidad angular</i>
X	<i>Error reportado</i>
Y	<i>Valor de referencia del error</i>
ρ	<i>densidad</i>
<i>En</i>	<i>Error normalizado</i>
<i>EoD</i>	<i>Grado de equivalencia</i>
<i>Pr</i>	<i>Función probabilidad</i>
<i>v</i>	<i>Grados de libertad</i>
π	<i>Número Pi</i>

SIGLAS

APLAC	<i>Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation</i>
APMP	<i>Asia Pacific Metrology Programme</i>
BIPM	<i>Bureau International des Poids et Mesures</i>
CGPM	<i>Conférence Générale des Poids et Mesures</i>
CIPM	<i>Comité international des poids et mesures</i>
COOMET	<i>Cooperación entre NMI en Euro-Asia</i>
EA	<i>European Cooperation for Accreditation</i>
ENAC	<i>Entidad Nacional de Acreditación de España</i>
GUM	<i>Guide to the expression of uncertainty in measurement</i>
IAAC	<i>Inter American Accreditation Cooperation</i>
ILAC	<i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i>

KC's	<i>Key Comparison</i>
MRA	<i>Mutual Recognition Agreements</i>
NMI	<i>National Metrologic Institute</i>
OIML	<i>Organisation Internationale de Métrologie Légale</i>
ONAC	<i>Organización Nacional de Acreditación</i>
PTB	<i>Physikalisch-Technische Bundesanstalt</i>
RMO	<i>Organización Metrológica Regional</i>
RMO	<i>Regional Metrology Organizations</i>
SI	<i>Le Système International d'Unités</i>
SIC	<i>Superintendencia de Industria y Comercio</i>
SIM	<i>Inter-American Metrology System</i>
VIM 3	<i>Vocabulary International Metrology third edition</i>

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO ESTRATÉGICO DE LOS ENSAYOS Y PRUEBAS DE APTITUD EN LA CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DE GAS.*

AUTOR: JACKSON ERNESTO RUIZ SÁNCHEZ.**

PALABRAS CLAVE: Acuerdos de reconocimiento mutuo, Programas de comparación, ensayos de aptitud, BIPM, metrología, medición de flujo de gas.

DESCRIPCIÓN

La necesidad de acuerdos comerciales entre países, respecto a combustibles gaseosos, toma sus bases técnicas de los programas Acuerdos de Reconocimiento Mutuo (MRA). Desde que se implementó la norma ISO 17025, rápidamente debió ser evaluada transversalmente, es decir, los métodos de calibración y ensayos desarrollados por laboratorios de diferentes países debieron confrontarse para verificar la coherencia en las mediciones y la competencia de cada organismo, la filosofía de estos programas de comparación está contenida en el documento MRA del BIPM.

La Corporación CDT de GAS, decidió emprender un proceso de evaluación con organismos nacionales e internacional, a finales del 2010 se emitirá el reporte final del primer programa de Comparación Internacional de Metrología en el área de flujo de Gas entre Argentina, Brasil y por supuesto Colombia, bajo el mismo rigor técnico de una KEY COMPARISON (KC) avalada por el BIPM.

El paso anterior necesario es hacer pruebas y ensayos de aptitud internamente de, y entre, los patrones de referencia, métodos y procedimientos desarrollados por la Corporación, razón de este documento, en los primeros capítulos se hace una introducción a la metrología y un recorrido por las tecnologías utilizadas en la medición de flujo de gas, posteriormente se hace el desarrollo de cálculo diferencial del flujo sónico con miras al diseño de boquillas, seguidamente el capítulo destinado a definir la naturaleza de los RMA y un resumen de las principales KC en esta área, este capítulo es pensado desde las principales discusiones que han surgido de dichos programas, los restantes refieren al diseño, protección, embalaje, protocolo y caracterización de los dispositivos desarrollados, todo el programa es llevado a cabo bajo las mismas condiciones, procedimientos y evaluación de resultados propios de un programa de comparación internacional que una vez terminado dejara a la Corporación ejercitada para una KC.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico – Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director. JABID EDUARDO QUIROGA MÉNDEZ Ingeniero Mecánico. Codirector. LUIS EDUARDO GARCÍA SÁNCHEZ. Ingeniero Mecánico

SUMMARY

TITLE: DESIGN TRIALS STRATEGIC AND PROFICIENCY TESTING IN THE DOWNTOWN DEVELOPMENT CORPORATION TECHNOLOGY OF GAS.

*

AUTHOR: JACKSON ERNESTO RUIZ SANCHEZ.**

KEY WORDS: Mutual Recognition Agreement, Key Comparison, Proficiency Testing, BIPM, Metrology, Measurement gas flow.

DESCRIPTION

The need trade agreements between countries with respect to gaseous fuels, making its technical bases of programs Mutual Recognition Agreements (MRA). Since implementing ISO 17025 should be evaluated quickly across, ie calibration and test methods developed by laboratories in different countries had to confront for consistency in measurements and the competence of each body, the philosophy of these comparison programs is contained in document RMA BIPM.

The Corporation CDT de GAS, decided to undertake an evaluation process with national and international levels, in late 2010 will issue the final report of the first program of the International Comparison of metrology in the gas flow area between Argentina, Brazil and of course Colombia under the same technical precision of a KEY COMPARISON (KC) endorsed by the BIPM.

The above step is necessary to test and proficiency testing internally, and between the reference standards, methods and procedures developed by the Corporation, because of this document, in the first chapter is an introduction to metrology and a tour technologies used in the measurement of gas flow, later is the development of differential calculus with a view sonic flow nozzle design, then the chapter on defining the nature of the RMA and a summary of the main KC in this area This chapter is intended from the main discussions that have emerged from these programs, the other relating to the design, protection, packaging, protocol and characterization of the devices developed, the entire program is conducted under the Dwellings conditions, procedures and evaluation own results of a program of international comparisons completed once left to the Corporation exercised for KC.

* Graduation Project

** Faculty of Physical Engineering - Mechanics. School of Mechanical Engineering. Director. MENDEZ EDUARDO QUIROGA JABID Mechanical Engineer. Co. LUIS EDUARDO GARCÍA SÁNCHEZ. Mechanical Engineer

INTRODUCCIÓN

Francia ha sido el hogar de la metrología en los últimos siglos, en Paris para el año de 1875 se firmó un acuerdo ante la necesidad de armonizar las medidas llamado la Convención del Metro¹, con representantes de 17 países. El compromiso fue establecer una organización permanente que manejaría de forma unificada todos los asuntos del sistema de unidades de todos y cada uno de los países miembros.

Tuvo que pasar aproximadamente medio siglo para que a la convención del metro, en 1921, se adhirieran 32 países más, ratificando que se estaba avanzando con éxito en la carrera de volverse realmente universal, fue allí cuando la mayoría de los llamados países industrializados aceptaron un Sistema Universal de Medidas.

El panorama mundial que derivó luego de la aceptación del *Le Système International d'Unités* (SI)² como Sistema Universal, es reconocido por la aparición de los *Mutual Recognition Agreements* (MRA)³ y las *Key Comparison* (KC's), podría ser considerado apropiadamente como una consecuencia lógica del primer período en el cual las naciones, en general, hacen un esfuerzo por adoptar el SI, en analogía, la etapa de MRA es a la Convención del Metro como el capitalismo es al feudalismo.

Fue en el año de 1999, en Francia, cuando se firmó el documento que contenía los principios y consideraciones de los MRA, producto de la necesidad de evaluar la coherencia de las medidas llevadas a cabo a nivel mundial por diferentes organismos. El intercambio comercial que se hace a diario con tan diversos productos, mercancías y servicios aceleró el paso hacia la consolidación de todas

¹ Historia más detallada de la Convención del Metro en la página [on line] del BIPM, www.bipm.org

² En francés como es común en metrología.

³ El inglés también presenta gran parte de Siglas de este documento, se utilizaran sin distinción aparente dejando la responsabilidad al lector.

las magnitudes básicas y los laboratorios certificados de metrología del SI, lo cual se llevó a cabo cuando se firmó este documento en presencia de delegados de 122 institutos acreditados de metrología a nivel mundial, que representan el 90% de las actividades de comercio internacional.

Pero los MRA implican una filosofía más profunda, cada participante reconoce la existencia y buenas prácticas metrológicas de otros laboratorios, tanto que se acepta formalmente cualquier método y procedimiento para la medición y emisión de sus resultados tanto en los programas de comparación como en la cotidianidad de los certificados de calibración, de cierta forma la buena presentación del laboratorio depende de sus buenas prácticas metrológicas.

A partir de ese momento los distintos *Regional Metrology Organizations* (RMO) han liderado numerosos y detallados programas de comparación entre diferentes *National Metrologic Institute* (NMI), institutos acreditados de metrología y/o Laboratorios designados la experiencia indica que estos programas requieren tiempo y recursos por parte de los involucrados, en algunos casos años de preparación y pruebas para llegar a feliz término.

Para el caso de la medición de flujo de gas, las comparaciones realizadas han brindado excelentes resultados y demuestran los grandes esfuerzos administrativos, técnicos y económicos realizados por los diferentes laboratorios a fin de mantener buenas características metrológicas dentro de sus instalaciones, tales que garanticen que sus niveles de repetibilidad, reproducibilidad⁴ y en general de Incertidumbre estén dentro de los parámetros fijados.

Las KC's Americanas son escasas, solo tres (3) países han participado en estos programas de comparación pero opacados por la amplia participación de

⁴ Términos tomados del Vocabulario Internacional de Metrología 3ª Edición y abordados estadísticamente en NIST Statistical Handbook.

laboratorios Europeos, el NMI de Estados Unidos (NIST) y el de México (CENAM) que participaron en el programa de comparación conocido como K6 y Canadá en la comparación Bilateral K5a1 descritos más adelante, el primero liderado por el propio NIST y el segundo por el Physikalisch -Technische Bundesanstalt⁵ (PTB) de Alemania.

De su parte, la actividad de comparación con otros laboratorios no es una actividad nueva para la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas⁶, anteriormente se lideraron algunos procesos de comparación entre laboratorios nacionales de medición de flujo de gas, estos procesos cumplieron el objetivo para el cual fueron diseñados y era comparar la calidad de los laboratorios respecto al de referencia, que en aquellos casos era la propia Corporación CDTde GAS, es decir la Corporación lleva un camino recorrido hacia la armonización nacional. El presente trabajo de grado busca dar soporte a los programas de comparación y dispositivos de transferencia que la Corporación utilizará en los MRA con distintos laboratorios nacionales e internacionales en el área de volumen y flujo de gas.

⁵ Del idioma Alemán

⁶Para efectos del presente documento se denomina Corporación CDT de GAS como CDT de GAS o simplemente Corporación.

CAPÍTULO 1

1. METROLOGÍA

El campo de la metrología merece un especial cuidado de toda la terminología utilizada, es por eso que en este capítulo se tratan los principales conceptos en medición, para luego describir la estructura mundial de las organizaciones metroológicas, que no son pocas y que la mayoría del consciente colectivo colombiano ignora, es quizás tan importante conocer la división política de la tierra como su organización metroológica.

1.1. CONCEPTOS CLAVE

El error hace parte natural de la medición, se entiende que es imposible controlar todas las variables que influyen en el proceso de medición, cuando se quiere medir por ejemplo el diámetro de una moneda, si la medición se realiza con un calibrador, un micrómetro o una simple barra marcada la exactitud cambia, además lo hace a condiciones diferentes de temperatura por dilatación del material, solamente el cambio de presión ejercido a un micrómetro por diferentes metrologos reproduce diferentes medidas, además, es probable que la cuerda medida no pase exactamente por el centro del círculo de la moneda, aun controlando todos estos parámetros, cabe la duda, si el instrumento de medida está en acuerdo con el patrón universal de longitud, por tanto, existe siempre una INCERTIDUMBRE asociada al resultado de medida.

1.1.1. Incertidumbre

Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza⁷.

⁷ Tomado del VIM 3ª Ed.

1.1.2. Valor Convencional

Aunque es imposible conocer el valor real de medida, se debe tener un valor de referencia, el cual es aceptado por común acuerdo siguiendo diferentes pautas, este valor es el resultado de un proceso de deducción y corrección que cumple con una configuración y condiciones de operación específicas.

Estadísticamente hablando un sin número de medidas consecutivas, siguen una distribución de probabilidad normal, por lo general, el promedio de estas medidas es considerado el valor convencional, se debe aclarar que el tiempo total de muestreo debe ser tan largo como las condiciones de estabilidad lo permitan, para medición de flujo de gas se recomienda de 3 min. a 10min, el ideal depende del conocimiento exacto del proceso.

1.1.3. Exactitud

La *Organisation Internationale de Métrologie Légale* (OIML) la definió como el acuerdo entre el resultado de la medición y el valor convencional del mensurando. Se podría afirmar que una vez solucionados los errores sistemáticos o de exactitud, el conjunto de errores aleatorios tendrán su media exactamente en el valor convencional.

1.1.4. Precisión

El significado del término precisión estuvo bajo juicio por mucho tiempo, en el idioma español, este vocablo es usado con regularidad y fue necesario definirlo claramente en el Vocabulario Internacional de Metrología tercera edición VIM 3^a, para evitar ambigüedades. Fue definido entonces como la proximidad entre las

indicaciones o los valores obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones específicas.

Figura 1. Diferencia entre exactitud y precisión.



Poco preciso y poco exacto.



Muy preciso poco exacto.



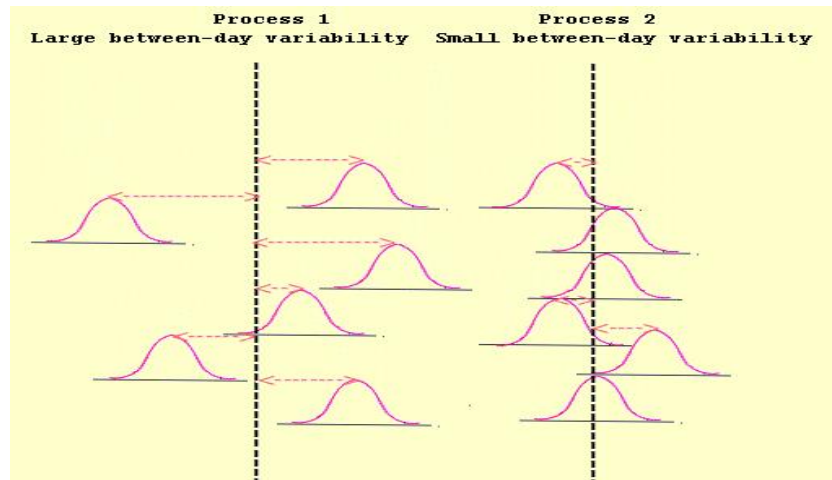
Muy preciso muy exacto.

El autor

El término precisión muchas veces es utilizado como REPETIBILIDAD que es la estabilidad evaluada en periodos cortos de tiempo bajo condiciones idénticas de calibración, solo hasta la inclusión del término en el VIM 3^a, se le dio un régimen cualitativo a precisión lo cual esclareció el panorama, estas definiciones son sinónimas y la forma de evaluarlos es encontrando la desviación estándar de una serie de mediciones.

Cuando la estabilidad es estimada en periodos largos de tiempo es frecuente usar el término REPRODUCIBILIDAD, según el contexto, se podría estar hablando de semanas, meses o hasta años, como el caso de los dispositivos de transferencia de un programa de comparación internacional KC's, la figura 2 ayuda a la comprensión de los repetibilidad y reproducibilidad.

Figura 2. Diferencia entre repetibilidad y reproducibilidad



<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/mpc/section1/mpc114a.gif>

1.1.5. Mejor capacidad de medida.

Son muchas las variables que un laboratorio debe controlar, y de nuevo, es imposible realizar una medida exactamente igual a la otra, en una escala un poco mayor, no existen dos calibraciones exactamente iguales sobre el mismo dispositivo.

El laboratorio busca incansablemente las condiciones bajo las cuales las mediciones realizadas sean las mejores y además, reproducibles. De otra parte un elemento secundario de medición no indicaría exactamente la misma lectura en circunstancias idénticas de operación.

En conclusión la mejor capacidad de medida se ve reflejada con las condiciones a las cuales el laboratorio podría reportar la menor incertidumbre, incluyendo el patrón de referencia y el dispositivo bajo prueba con todo y sus instrumentos secundarios.

1.1.6. Mejor estimado de medición

En los certificados de calibración el reporte del mejor estimado de medición se estima, por convención, como el promedio de un conjunto de valores registrados, todos asumidos como verdaderos, esto tiene su fundamento estadístico, un valor individual es tomado a diversas condiciones de flujo y cambia aún bajo el mismo caudal nominal, estos valores tienen mayor o menor significancia cuanto mayor o menor sea la incertidumbre asociada al resultado de la medición.

1.1.7. Definición de error

El error producto del mejor estimado de medición presenta realmente dos componentes o fuentes de error, el error sistemático y el error aleatorio, figura 2, el primero influenciado por factores relacionados con el uso de los patrones, dispositivos e instrumentos, de la medición, el segundo por fuentes como desconocimiento exacto del mensurando, asunciones respecto al modelo matemático, entre otras.

Figura3. Definición de error



El Autor

$$Error_{promedio} = Error_{sistemico} + Error_{aleatorio}$$

1.2. ORGANIZACIÓN METROLÓGICA MUNDIAL

Una sociedad no es consciente de la importancia de la metrología solo hasta que asume la responsabilidad de velar por la justicia de las transacciones comerciales de sus ciudadanos, debe entonces reconocer las necesidades sobre tecnología que habitualmente se comercia. La figura 4 evidencia la necesidad de medir correctamente tanto para mercancías de valor como para piezas fabricadas en serie y que son estándar.

Figura 4. Valor de la Metrología.



http://grupoleylan.blogspot.com/2009/02/calibrador-pie-de-rey-y-metrologia_10.html

Los NMI e institutos acreditados de metrología deben contar con facilidades tecnológicas de una calidad tal que superen las del comercio cotidiano, adicionalmente, el ritmo acelerado del crecimiento de la tecnología sustenta el hecho de que la metrología sea un motor de progreso que está directamente relacionada con el nivel de desarrollo de una sociedad, por ejemplo cuando se vende tubería plástica, se utiliza algún dispositivo de medida con una marca o

referencia que indica las unidades, sí se utiliza un decámetro, este debe ser trazable al patrón universal y calibrado por un laboratorio certificado con métodos mucho más repetibles y confiables que el utilizado por el vendedor, que en general, lo hace simplemente comparando con un decámetro y donde le parezca que coinciden hace una marca, de otro lado, el laboratorio podría calibrar el decámetro con una barra de platino, en un cuarto de condiciones controladas para que la influencia de la temperatura no dilate o contraiga el material, podría además nivelar tanto el decámetro como la barra de platino para garantizar paralaje de los dos dispositivos y se podría seguir describiendo otras diversas condiciones que se deben controlar para garantizar una medida de calidad.

Ahora bien, existen otras aplicaciones donde la necesidad de mediciones es en extremo necesaria y de calidad como en la industria automotriz con partes fabricadas alrededor del mundo deben acoplarse perfectamente, para eso el laboratorio acreditado debe desarrollar un método de mejores características metrológicas, calibrar con haces de luz, por ejemplo.

En la actualidad el máximo organismo internacional de metrología es la Convención Internacional del Metro, que es, en términos generales la aceptación universal de un único sistema internacional de pesas y medidas reconocida por un abundante grupo de países miembros de manera formal. Representantes de todos estos países se reúnen cada cuatro (4) años bajo el nombre de *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM) para evaluar y dar políticas respecto al rumbo de la metrología internacional, es preciso entonces contar con un comité que oriente y vigile continuamente las necesidades y tendencias respecto del SI y en general de la metrología, para esto fue creado el *Comité international des poids et mesures* (CIPM) que lo integran 18 representantes de la CGPM, este Comité legitima las funciones de la Bureau International des Poids et Mesures que merece un aparte especial, la figura 5 muestra la jerarquía de la organización en su más alto nivel.

Figura 5. Jerarquía metrológica



Metrología Abreviada EURAMET INDECOPi

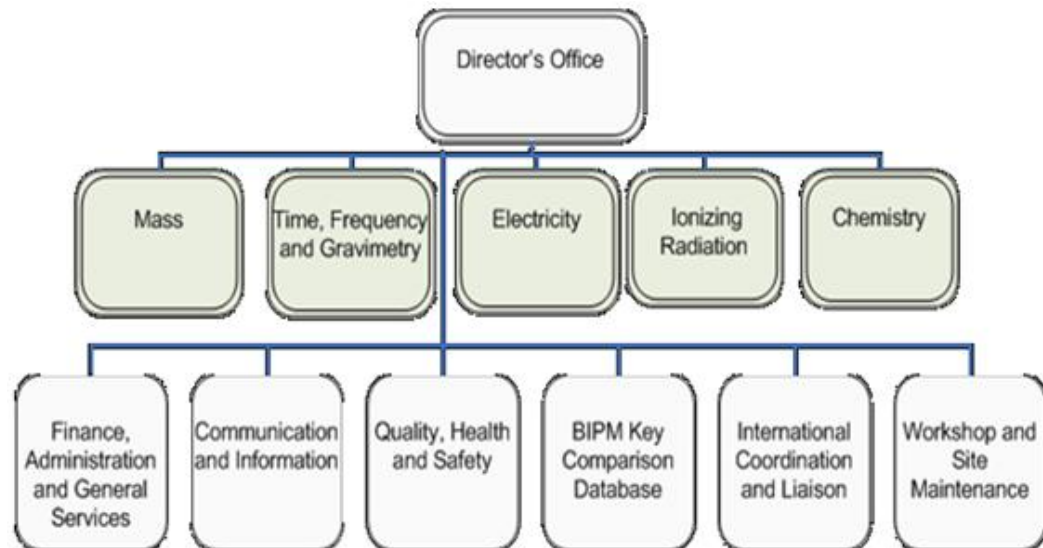
1.2.1. Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)⁸

Líder, coordinador y asesor de todos los laboratorios a nivel mundial es quien impone las pautas en metrología, se encarga de custodiar y resguardar los patrones de referencia universales, de desarrollar nuevos métodos y procedimientos de calibración con tecnología de punta, es gestor de desarrollo, ciencia y tecnología en las distintas áreas del conocimiento relacionadas con la metrología, la figura 6 presenta su organización. Es casi absurdo concebir en el

⁸ Los idiomas oficiales de la Convención del Metro son el francés, como en este caso, y el Inglés.

mundo actual una transacción sin alguna referencia global de medida y se hace importante precisamente por que brinda seguridad al juzgar la calidad y veracidad en las referencias con resoluciones de medida, en algunos casos sorprendentes.

Figura 6. Organigrama del BIPM



<http://www.bipm.org/en/bipm/sections/>

Tabla 1. Comités Conjuntos

JCDCMAS	Joint Committee for the Coordination of Technical Assistance to Developing Countries in Metrology, Accreditation and Standardization.
JCGM	Joint Committee for Guides in Metrology.
JCRB	Joint Committee of the Regional Metrology Organizations.
JCTLM	Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine.

La *Bureau International des Poids et Mesures* BIPM por sus siglas en Francés, ha designado grupos específicos de trabajo, existe uno destinado concretamente para la evaluación de los términos manejados en metrología, cuyo resultado final es el *Vocabulary International Metrology third edition* (VIM 3) y el estudio del análisis de incertidumbres cuya publicación refiere a la, *Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM), la lista de los grupos se define en la tabla 1.

1.2.2. Comités Consultivos

De forma paralela hay grupos específicos de trabajo, una clasificación de las áreas de la ciencia define cada comité especializado que analiza técnicas, procedimientos, métodos y otras muchas tareas, entre ellas los programas de comparación que le encomienda la Secretaria General del BIPM, estos grupos son llamados comité de consulta y están designados como sigue:

Tabla 2. Comités Consultivos

CCEM	Electricity and Magnetism
CCPR	Photometry and Radiometry
CCT	Thermometry
CCL	Length
CCTF	Time and Frequency
CCRI	Ionizing Radiation
CCU	Units
CCM	Mass and Related Quantities
CCQM	Amount of Substance: metrology in chemistry
CCAUV	Acoustics, Ultrasound and Vibration

1.2.3. Cadena de trazabilidad

En nuestro país el concepto de cadena de trazabilidad es poco manejado y desconocido, lo que deja ver entre líneas, el atraso tecnológico en el que estamos inmersos, la cadena de trazabilidad parte de los patrones de referencia universales custodiados por el BIPM, que mediante métodos desarrollados y aprovechando principios físicos comparan otros dispositivos, generalmente son los patrones de referencia de algún país que custodiados por el NMI respectivo o por un Laboratorio Designado, no es tarea fácil que un NMI desarrolle los patrones de referencia de todas las áreas e intervalos de un país, la figura 7 muestra la jerarquía metrológica de la cadena de trazabilidad.

Figura 7. Cadena de trazabilidad



www.lacomet.go.cr/IMAGENES/metrologia.jp

Un NMI es la imagen del BIPM en el territorio nacional, solo es reconocido un NMI por cada país miembro de la Convención del Metro y algunos Laboratorios Designados, para Colombia la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) es el NMI y hasta hace poco también cumplía las funciones del Cuerpo Acreditador. A nivel nacional, existen laboratorios acreditados, que manejan la referencia local de un departamento, empresa, región o nicho económico, sin decir con esto que no puedan existir más de dos, de esta forma se asegura que la unidad de referencia esté disponible para la sociedad y para cualquier ámbito comercial.

No en pocas ocasiones, laboratorios desarrollan sistemas primarios de medición, es decir, tecnologías que reproducen una serie de condiciones que aseguran la medición de una magnitud física, lo que elimina la necesidad de resguardar un espécimen material para dicha magnitud, la cadena de trazabilidad se salvaguarda, cuando las condiciones del ensayo son medidas con dispositivos trazables de magnitudes básicas como longitud, masa y tiempo que brindan una menor incertidumbre.

1.2.4. Regional Metrology Organizations (RMO)

Ante la multitud de países que hacen parte del sistema metrológico mundial, el BIPM delegó las funciones propias de cada región a una organización, se puede afirmar que por cada continente existe un RMO, aunque se debe aclarar, como lo muestra la figura 8, que para el caso de Australia no existe un RMO que solo contenga el NMI australiano, es por eso que junto a él, la India, China y otros, son miembros del Programa de *Asia Pacific Metrology Programme* (APMP), por su parte *Cooperación entre NMI en Euro-Asia*(COOMET) toma algunos miembros de Europa e *the Inter-American Metrology System* (SIM) se subdivide en cinco (5) organizaciones más.

Figura 8. Organizaciones metroológicas regionales del mundo



Metrología Abreviada EURAMET INDECOPÍ

1.2.5. Entes acreditadores⁹

Son producto de la necesidad de contar con organizaciones imparciales que evalúen las capacidades y aptitudes de los laboratorios, y hacen parte de la organización metroológica mundial de forma paralela al BIPM, por cada NMI existe un Cuerpo Nacional de Acreditación, que sentencia las no conformidades según lo estipulado en la Norma internacional ISO 17025 y tiene por objeto dar o no el carácter de acreditado a un laboratorio donde se reconoce la competencia técnica en las actividades que realiza. De forma similar a las RMO están organizadas por regiones, por ejemplo, La *Inter American Accreditation Cooperation (IAAC)* está interesada en la evaluación de la conformidad en América, está también la entidad

⁹Metrología Abreviada EURAMET INDECOPÍ dedica un extenso capítulo para definir detalladas relaciones entre Organizaciones Metroológicas.

Asia Pacific Laboratory Accreditation Cooperation (APLAC), La *European Cooperation for Accreditation (EA)*, estas son las más reconocidas y hacen parte de la *International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC)*.

Finalmente la OIML, es también una organización intergubernamental que emite requerimientos técnicos, procedimientos legislativos y administrativos, armonizados internacionalmente. Su estructura permite participar activamente en cada país bajo sus propias especificidades, trabaja paralelamente con las organizaciones de metrología científica y a las de acreditación, con relaciones muy estrechas.

Nuestro interés se centra, obviamente, en la metrología científica, en cabeza del BIPM, especialmente en los acuerdos de reconocimiento entre institutos nacionales de metrología, a fin de comprobar que los resultados emitidos por cada NMI están en acuerdo entre sí.

CAPITULO 2

2. ACUERDOS DE RECONOCIMIENTO MUTUO

2.1. GENERALIDADES

El crecimiento de la economía genera el rompimiento de barreras, las avanzadas tecnologías de producción en serie propician que la oferta de productos y servicios superen de manera amplia la demanda de nichos locales y nacionales, siendo necesario conquistar continuamente nuevos mercados. Con el tiempo un mercado nacional se difunde con mercados extranjeros, la difusión se hace hasta en los niveles más íntimos de la diferentes culturas, la interinfluencia modifica doctrinas, anula tabúes, exige tecnologías de comunicación nuevas, mejores y más rápidas.

La filosofía de los MRA se basa en la aceptación del trabajo de otros laboratorios, dicho de otra manera el mejor estimado de medición de un INM no puede ser anulado por otro INM, COX entendiendo el documento MRA propuso sobre bases estadísticas, en su trabajo para la revista electrónica "Metrología" del BIPM, la aceptación de que la distribución normal del error reportado por dos o más laboratorios con desviación estándar reportada, entendida como la incertidumbre de dicho error, son incluyentemente comparables.

Desde que se firmó el documento MRA numerosos programas de comparación han sido llevados a cabo en distintas magnitudes longitud, tiempo, masa, velocidad del sonido, propiedades de diversas sustancias, propiedades psicométricas del aire, flujo de gas. En general, cualquier magnitud en la que se necesite seguridad en las medidas, ha sido ya sujeta a un programa de

intercomparación, existe una gran base de datos que recopila los resultados de dichos programas y están disponibles gratuitamente para la sociedad¹⁰.

Entonces un programa de comparación interlaboratorial, es un proceso que siguen los laboratorios para compararse y aceptarse mutuamente, impulsados por diversas necesidades, entre ellas, ser reconocidos por otros laboratorios, validar sus métodos en el marco de la norma ISO 17025 y sobre todo para dar confianza a un país entero del trabajo que desarrolla cada laboratorio.

En la actualidad se siguen lineamientos generales dados por CIPM, Organización Nacional de Acreditación (ONAC) recientemente nombrado para Colombia, EURAMET, Entidad Nacional de Acreditación de España (ENAC), IAAC para desarrollar satisfactoriamente un programa de intercomparación tal como lo exige el BIPM, estos lineamientos son complementarios, la filosofía es entendida y compartida, pero es recomendable conocer por lo menos las referencias citadas antes de emprender algún proceso de intercomparación.

2.2. ENTIDADES INVOLUCRADAS

De acuerdo al nivel en que se realice la comparación, cada entidad pudiera cumplir un papel determinado.

2.2.1. Laboratorio coordinador

Encargado de liderar el proceso de comparación, mediante gestión ante todas las entidades involucradas, su papel se basa en la coordinación de actividades y cumplimiento de las responsabilidades de cada participante, velar por el buen desarrollo del programa, generalmente le BIPM es quien para una KC, su tarea

¹⁰ En la página oficial del BIPM, www.bipm.org.

inicia desde la propuesta de uno o varios laboratorios en participar de un programa de comparación, ya que evalúa la factibilidad y conveniencia del programa, y emite respuestas y comentarios de los mismos.

2.2.2. Laboratorio piloto

Puede o no ser el mismo laboratorio coordinador, su principal tarea es desarrollar el dispositivo de transferencia y en general todo el paquete, según las capacidades técnicas de la lista de aspirantes al proceso, la caracterización del dispositivo es fundamental en el proceso ya que cualquier eventualidad o valor extremo durante el ciclo de comparaciones, tendrá que ser analizado bajo los resultados del laboratorio piloto, trabajan conjuntamente con el laboratorio coordinador, para las KC esta responsabilidad corre por cuenta de un NMI.

2.2.3. Grupo de expertos o comité técnico

Puede o no pertenecer a cualquiera de las dos figuras anteriores, en KC's esta labor está encomendada a los Comités de Consulta, razón por la cual el primer ente en decidir la conveniencia de llevar a cabo una KC's es precisamente este, su función principal es evaluar todas las características técnicas de la comparación y dar recomendaciones en caso de alguna eventualidad en el proceso.

2.2.4. Laboratorios participantes

Son los laboratorios que participan del ciclo de comparaciones, se debe evaluar la dependencia de los laboratorios y consignarla en los documentos, esto para evaluar los Valores de Referencia, además de, si son laboratorios acreditados, designados y si han participado o lo están haciendo en alguna KC's.

2.2.5. Cuerpo u organismo acreditador

Es el garante del proceso, vela por que las condiciones del programa sean cumplidas dentro de los límites establecidos, además por que los resultados de los laboratorios sean emitidos con absoluta transparencia, no es imposible que dos laboratorios acuerden emitir resultados de valores similares, para influenciar en los valores de referencia.

El cuerpo acreditador es una garantía de que el proceso fue llevado con suma diligencia y transparencia.

2.3. TIPOS DE COMPARACIÓN

El BIPM reconoce pocos tipos de comparaciones, entre las que se encuentra las KEY COMPARISON (KC's) nombre específico de los programas de comparación desarrollados entre NMI que siguen una metodología específica y que son auditadas por los correspondientes cuerpos de acreditación, a veces con la inclusión de LABORATORIOS DESIGNADOS de amplia trayectoria, reconocidos por el NMI y por el ente acreditador.

La tendencia como siempre es hablar un lenguaje universal, por eso todos los laboratorios deseosos de participar en un programa de comparación aspiran acomodarse a los objetivos propuestos del programa, de forma tal, que cubra las necesidades propias de cada laboratorio, unificar y alinear las condiciones, y sobre todo realizar análisis de datos similares a los de una KC desarrollada anteriormente por el BIPM en la misma área, salirse de esta tendencia sería desacreditar sin justificación el proceso de comparación.

Por otro lado las COMPARACIONES SUPLEMENTARIAS que también son reconocidas por el BIPM otorgan a los participantes información adicional que una KC's no daría, se insiste en que una KC está bien definida, aun en la diversidad de

áreas, laboratorios, patrones de referencia etc, un ejemplo de Suplementaria es, un programa de comparación que muestre el comportamiento de las instalaciones a determinadas variaciones de humedad y temperatura.

Antes de proseguir es necesario aclarar que además de cumplir cabalmente los lineamientos del BIPM, CIPM, ILAC, los laboratorios participantes deben seguir simultáneamente un proceso de inclusión o de registro ante el BIPM, este proceso es extenso y se debe mantener una comunicación prolija con los encargados de dicha oficina, no obstante, quienes llevan a cabo todo el registro son los propios Institutos Nacionales de Metrología.

Para completar las comparaciones que reconoce el BIPM, se define las COMPARACIONES BILATERALES, las cuales aprovechan la logística de una KC anterior del área específica, a la cual están interesados, y se logra iniciar el proceso con el laboratorio piloto de dicha comparación, la finalidad es adherirse de cierta forma a la KC, después de finalizada, como lo hizo Canadá al utilizar los mismos valores de referencia y dispositivo de transferencia de una comparación que había terminado un par de años atrás.

Existe desde luego una diversidad de comparaciones que aunque no son consignadas en la base de datos del BIPM se realizan independientemente, por ejemplo COMPARACIONES PILOTO o pruebas de reproducibilidad previas a una KC con el objeto de evaluar la competencia de los laboratorios aspirantes, o las realizadas por laboratorios Acreditados que no son INM pero que son líderes en medición en áreas especiales de metrología.

Todo programa de comparación basado en las “*The Guidelines for CIPM key comparisons*” y la guía “*EAL-P7*”, debe superar cada etapa mostrada en la figura 9. El panorama de cada aspecto debe ser claro, suficientemente abordado y

tratado, entre los laboratorios participantes y organismos involucrados, a fin de ser incluido en el documento protocolo antes de empezar el ciclo de comparaciones.

2.4. MACRO ETAPAS

Figura 9. Macro etapas y aspectos de una intercomparación



El Autor

El motor que impulsa a cada laboratorio a participar en un proceso puede ser producto de diversas y variadas circunstancias, antes de empezar la redacción del documento protocolo, cada laboratorio debe realizar una gestión de carácter diplomática, a fin de unificar criterios, objetivos, lo que se espera del programa al final, la viabilidad técnica y la conveniencia del propio laboratorio de participar del programa con otros laboratorios interesados. Una vez llegados a los primeros acuerdos, podría convenir un documento de compromiso para empezar formalmente el programa, la figura 9 muestra los pasos a seguir, en un programa de comparación.

2.5. ESQUEMAS¹¹ DE COMPARACIÓN

Existen diferentes esquemas de comparación, enmarcadas en la norma ISO 17025 que principalmente describe, entre cosas, que se puede preparar una muestra estándar con características conocidas, solo por el cuerpo verificador, la cual es entregada a cada uno de los laboratorios participantes a fin de que ellos evalúen las propiedades, o se toma una parte de una sustancia o material de referencia y este es distribuido entre los participantes, en este caso el valor convencional es asignado con anterioridad, en dependencia de la muestra conocida.

Para el área de la medición de flujo de gas, utilizar una muestra no es un esquema técnico o económicamente viable, mantener un gran volumen de un gas específico a determinadas condiciones, para ser utilizado en diferentes países durante meses no es factible. Para el caso de medición de masa es común mantener las referencias de forma física y tangible, donde las referencias son resguardadas, celosamente para mantener las características metrológicas ideales durante la mayor cantidad de tiempo posible, igual ocurre para la medición de longitud donde

¹¹Término utilizado por el autor para identificar las variantes de las técnicas de validación de métodos dados en la norma ISO 17025.

las barras de platino son las preferidas, en estos casos, el dispositivo de transferencia a circular es un ente materializado.

Los esquemas de comparación necesitan, involucrar sistemas de medición completos, respecto a los medidores primarios, no es factible trasladar entre localidades una campana gasométrica o uno tipo Pistón, solo medidores tipo las boquillas sónicas y de flujo laminar como Molblocs podrían trasladarse, incluyendo los tubos de medición por eso son utilizados como dispositivos de transferencia.

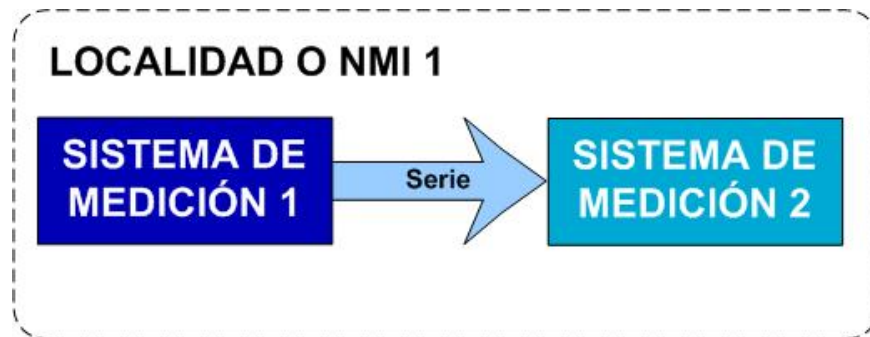
Los medidores secundarios como los rotativos, turbina, Cámaras húmedas, diafragma etc, necesitan la referencia en volumen que indican los medidores primarios al calibrarlos, es decir, se utiliza un *Kfactor* que es asigna por un medidor primario, para que, en mediciones posteriores se tome la indicación propia del medidor secundario dada en ciclos o pulsos y convertirla en unidades de volumen, precisamente porque no pueden expresar sus indicaciones directamente en unidades de volumen.

Los medidores secundarios son aptos para ser trasladados, aun cuando son utilizados como patrones de referencia. Para un proceso de comparación se aprovecha la estabilidad de los medidores tipo turbina, por su alto desempeño son muy solicitados, especialmente a altos caudales, la variante de incluir o no los tubos de medición dependen exclusivamente del comité técnico que evalúa la afectación sobre la estabilidad por dicho concepto.

La figura 10 muestra el esquema de comparación directa de dos sistemas de medición, esto puede ocurrir en pocos casos dentro de un programa de comparación de medición de flujo de gas, uno, cuando se considera una comparación Intralaboratorial y existe la facilidad de comparar dos sistemas en un mismo banco de pruebas, o cuando el patrón de un laboratorio, ya sea primario o

secundario, es enviado directamente a las instalaciones de un laboratorio de referencia de jerarquía metrológica superior con el ánimo de ser medido.

Figura 10. Esquema de comparación Directa



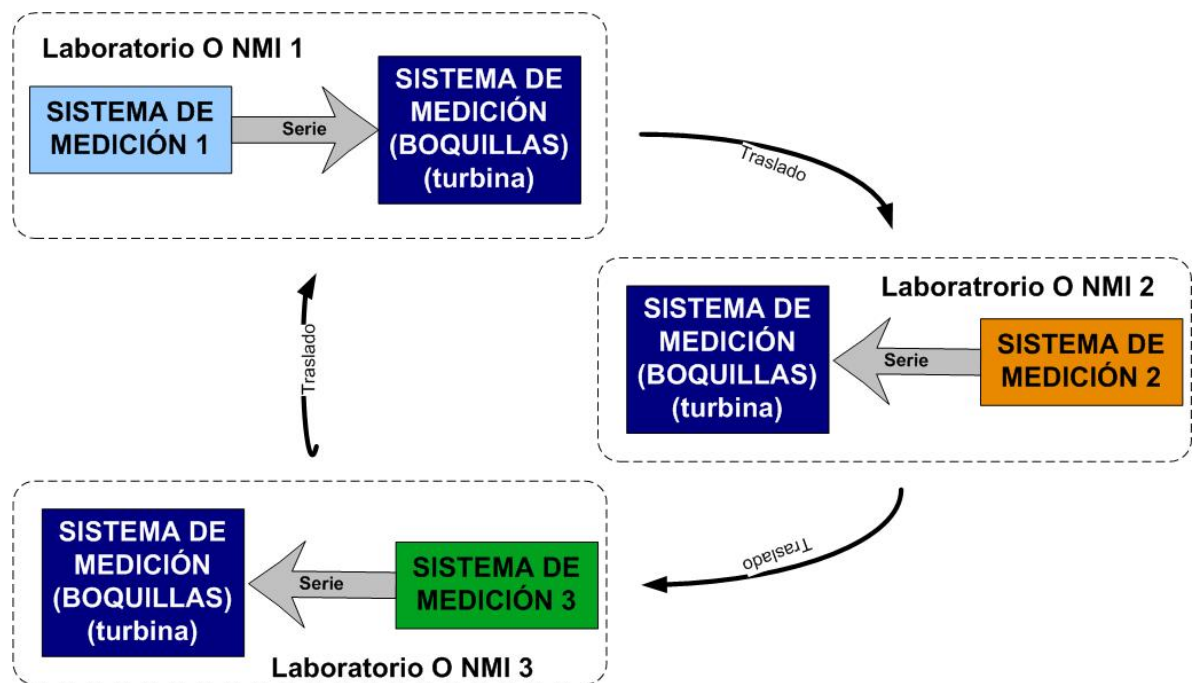
El Autor

En la medición de flujo o volumen existen otros esquemas, es común utilizar aire a presiones atmosféricas por economía y estabilidad, aunque en el caso del Patrón Tipo Pistón es utilizado aire seco, de todas formas las condiciones atmosféricas varían de una localidad a otra, por eso se debe hacer las correcciones respectivas para llevar las medidas a las condiciones de referencia 20° C y 1000 mbar, en este punto es que variables como presión y temperatura deben ser manejadas con igual cuidado, es decir, las medidas realizadas por los dispositivos de medición deben ser trazables y suficientemente estables.

De cierta forma la unidad de referencia en la medición de flujo de gas y/o volumen es una medida idealizada, función de las condiciones de medición, se dice entonces que es necesaria la reproducción de las mismas características de flujo para poder medir volumen y/o flujo satisfactoriamente, es por eso que para los programas de comparación, se utilizan sistemas de medición completos, como entidad de comparación, o lo que es lo mismo dispositivo de transferencia o patrón viajero.

La figura 11 muestra el ejemplo de circulación, tipo círculo, de un programa de comparación, naturalmente podría ser tipo estrella, es decir, ida y vuelta, al laboratorio piloto, cada vez que un laboratorio realice sus pruebas de comparación, O una combinación de estos, el SISTEMA DE MEDICIÓN (BOQUILLAS) (turbina) es el llamado dispositivo de transferencia, basado en una cualquiera de estas dos tecnologías.

Figura 11. Esquema de comparación de tres laboratorios.



El Autor

Según la dependencia de los laboratorios participantes, en nivel de incertidumbre reportada, la cantidad de laboratorios independientes y la robustez del análisis de datos, el comité técnico de alta experiencia, definirá la técnica a utilizar para la evaluación de los valores de referencia.

2.6. EVALUACIÓN DE LOS DATOS DE LAS COMPARACIONES

El documento MRA define la necesidad de acordar un valor convencional, tomado como una estadística de los datos reportados por los laboratorios, la media aritmética es ampliamente conocida, pero con una seria desventaja, la desviación del valor convencional más allá de lo esperado por los laboratorios de más bajas incertidumbres, hacia los laboratorios de más altas incertidumbres. El modelo descrito a continuación ha sido utilizado en centenares de programas de comparación, en los cuales el Valor convencional no es un ente materializado.

2.6.1. Valores de referencia

El valor de referencia del error Y para cada caudal, se evalúa a partir de los Inversos de Aislamiento¹², como lo cita COX, M. en “*The evaluation of key comparison data*”, reportadas por cada patrón de referencia independiente.

$$Y = \frac{\sum \left(\frac{X_i}{u^2(x_i)} \right)}{\sum \left(\frac{1}{u^2(x_i)} \right)}$$

Donde:

Las incertidumbres utilizadas son todas en $k = 1$

X_i = Error reportado por el patrón independiente i , al mismo valor de caudal.

$u_{(x_i)}$ = Incertidumbre estándar de cada patrón de referencia respecto del error X_i .

Para la incertidumbre de cada patrón de referencia se tiene en cuenta la estabilidad (reproducibilidad) del dispositivo de transferencia durante la comparación U_{est} en ($k = 2$).

¹² Nombre en Español del método basado en la ponderación del inverso de las incertidumbres al cuadrado.

$$u_{(x_i)} = \sqrt{(u_{(Ri)})^2 + \left(\frac{U_{est}}{2}\right)^2}$$

$u_{(Ri)}$ = Es la incertidumbre reportada por cada patrón de referencia en $k = 1$

El valor de referencia de la incertidumbre $U(y)$ se halla mediante:

$$\frac{1}{u^2_{(y)}} = \sum \left(\frac{1}{u^2_{(x_i)}} \right) \rightarrow U(y) = 2 * u(y)$$

2.6.2. Prueba de significancia

Para la prueba de significancia, se utiliza el valor *chi-cuadrado* como un valor de comparación, de tal manera, que los valores convencionales del error y de la incertidumbre, son aceptados siempre y cuando X^2_{abs} sea menor al valor obtenido con *chi-invertido*.

$$X^2_{abs} = \sum \frac{(X_i - Y)^2}{u^2_{(x_i)}}$$

Por definición los grados de libertad como $v = N - 1$; donde N es el número de patrones involucrados.

La evaluación se hace con un valor de probabilidad menor del 5 %.

$$Pr\{X^2(v) > X^2_{abs}\} > 0.05$$

En caso de que la prueba sea exitosa, se aceptan los valores de referencia hallados como convencionales, de otra forma se sigue: “*The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset*”.

2.6.3. Error normalizado

El error normalizado es el grado de equivalencia respecto al valor convencional, consta de dos componentes:

$$d_i = X_i - Y \quad y \quad u(d_i) = \sqrt{\text{abs}[u^2(x_i) - u^2(y)]}$$

Es común designar el error normalizado como: $En_i = \frac{d_i}{u(d_i)} = \frac{2 * d_i}{U(d_i)}$

2.6.4. Grados de equivalencia entre patrones involucrados

El grado de equivalencia entre patrones involucrados, consta de dos componentes:

$$d_{i,j} = X_i - Y_j \quad y \quad u(d_{i,j}) = \sqrt{\text{abs}[u^2(x_i) - u^2(y_j)]}$$

Donde: el subíndice i refiere al patrón evaluado, el subíndice j refiere a los demás patrones excepto el evaluado.

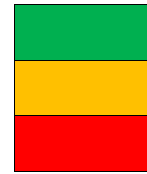
Es común designar el grado de equivalencia como:

$$EoD_{i,j} = \frac{d_{i,j}}{u(d_{i,j})} = \frac{2 * d_{i,j}}{U(d_{i,j})}$$

2.6.5. Evaluación de resultados

Tanto el error normalizado como los grados de equivalencia entre patrones involucrados son evaluados mediante:

En < 1	La comparación fue exitosa.
1 < En < 1.2	La comparación es aceptada con reserva.
En > 1.2	La comparación no fue exitosa.



Existen otras técnicas de análisis de datos desde el punto estadístico como la dada por la norma ASTM E691, que propone estadísticas como el factor (k) y el factor (h) para evaluar la reproducibilidad y repetibilidad respectivamente, sobre una serie de mediciones, realizadas en fechas específicas, y dependiendo del número de repeticiones de la prueba, es designado un valor h y k límites que de ser superados, la comparación se podría considerar como no exitosa. Es de anotar que existen diferencias ideológicas sustanciales entre el método propuesto por M. Cox y el dado por la norma ASTM E691, sin embargo, este último es ampliamente utilizado para evaluar la estabilidad de un método entre diferentes metrólogo, por ejemplo, podría entonces ser utilizada para comparaciones que merezcan otro tipo de información que las KC no brindan.

Una vez superadas las primeras etapas y se adquiriera conciencia de los esquemas y valores esperados, se procede a redactar los documentos que contienen los principales puntos a convenir bajo una gestión diplomática entre las partes, estos serán el sustento del programa.

2.7. PREPARATIVOS COMPARACIÓN

2.7.1. Documento protocolo.

Las guías para emprender un programa de comparación dan conciencia de la necesidad de redactar un PROTOCOLO para el desarrollo del programa, este

documento es imperioso, en él se establecen las reglas del proceso, para todos y cada uno de los laboratorios participantes, acuerdos tales como:

- ✓ Mensurando, por lo general se define como el error en la indicación de la medición entre los valores de referencia y los laboratorios participantes respecto a un dispositivo de transferencia.
- ✓ Una lista de los posibles laboratorios participantes acordes con las capacidades técnicas para dejar claramente consignado si son o no acreditados, ya sean los nominados por el organismo de acreditación, o por otros laboratorios.
- ✓ Basados en los posibles participantes, se propone un alcance acorde a las especificaciones técnicas de todo el conjunto, en lo posible puntos para simplificar los cálculos.
- ✓ Dispositivo de transferencia, de características demostradas, puede seguir alguna norma internacional, debe ser resistente y estable acorde a las condiciones del programa, que no se demore más de ocho horas para calibrarlo.
- ✓ Laboratorio escogido como laboratorio de referencia y laboratorio escogido como laboratorio piloto, puede o no ser el mismo, lo importante es definir claramente las funciones.
- ✓ Procedimiento de medida unificado, el utilizado frecuentemente por el laboratorio de referencia, Cuerpo de acreditación, principal verificador del programa.
- ✓ Método de transporte de todo el paquete de transferencia, cronograma tentativo del desarrollo del programa, forma de distribuir los resultados del programa, de manera tal que cumpla con la confidencialidad para cada laboratorio.
- ✓ Resolución y estabilidad del patrón de transferencia, de ser necesario.

2.7.2. Participación de los laboratorios (invitación)

A los laboratorios incluidos en la lista se envía una invitación formal, escrita, para participar en el programa de intercomparación describiendo lo mencionado en el protocolo para las inter-comparaciones y preguntando entre otras cosas:

- a. La aceptación o no a la invitación para participar del programa, Plazo de entrega de respuesta a la invitación, Nombre legal y dirección exacta del laboratorio.
- b. Un calendario, especificando las épocas en las cuales hay mayor y menor disponibilidad del laboratorio o imposibilidad, de participar en la intercomparación.
- c. Datos de contacto; Teléfono, E-mail; correo, celular, del representante legal del laboratorio y de las demás personas responsables del programa, la encargada del transporte y la de calibración, como mínimo.
- d. Descripción general de las tecnologías utilizadas, de sus patrones de referencia, así como del método utilizado para la calibración, utilizando la tecnología del patrón de transferencia.
- e. Valores puntuales de caudal que frecuentemente se calibra en cada laboratorio.
- f. Una descripción general del análisis de incertidumbres reportadas por los laboratorios, el método utilizado, los factores tomados en cuenta para estimar dicha incertidumbre, descripción de los dispositivos utilizados en la medición, deriva, trazabilidad y valores totales de incertidumbre expandida, entre otros.
- g. Información adicional a tomar en cuenta, por ejemplo recomendaciones de envío del paquete, condiciones especiales del laboratorio, condiciones ambientales y demás que el laboratorio piloto deba conocer.
- h. En caso de no ser acreditados se deberá demostrar que son aptos para llevar a cabo el programa, la incertidumbre reportada, la ubicación dentro

del territorio nacional y las demás que el comité científico y la dirección crean relevantes, como la participación en otros programas de comparación.

No existe un formato estándar en el cual se consigne toda la información requerida, tampoco una norma para dirigir todo el proceso, existen en cambio programas de comparación en tan diversas áreas y con tan distintos métodos y patrones que es necesario solo dar las pautas generales y dar flexibilidad en el uso y reporte de la información.

De todas formas, se debe buscar siempre: el control por parte de un organismo de jerarquía superior, la verificación de forma legal por parte de al menos un organismo autorizado, los mejores valores de referencia obtenidos de un laboratorio idóneo y acreditado, un comité de expertos o grupo de trabajo capaz de orientar el programa y dar soluciones adecuadas tanto al diseño y desarrollo del paquete de intercomparación como a cualquier inconveniente o falla técnica no prevista dentro del programa, y por último los laboratorios interesados deben demostrar ser capaces de participar sin poner en riesgo la calidad del programa de intercomparación.

2.8. OTRAS CONSIDERACIONES

2.8.1. Reporte de resultados

- a. El laboratorio de referencia y/o organismo de acreditación tienen 3 meses una vez haya culminado todo el ciclo de comparaciones para entregar un borrador general y otros 3 meses para dar un informe general definitivo.
- b. El borrador general será enviado a cada laboratorio participante.

- c. El análisis particular para cada laboratorio será confidencial, se vela por que así sea.
- d. Es decisión de cada laboratorio que su número clave de identificación sea revelado en el informe general.
- e. Se debe definir como se analizaran los resultados, fórmulas de valores de referencia y valores extremos.
- f. El informe general describirá de manera concisa el método que se utilizó para evaluar los resultados, se deben mostrar los resultados en gráficas de manera tal que su lectura sea inequívoca, cuidando siempre la confidencialidad de los participantes

2.8.2. Daños y valores extremos

Los daños serán detectados en el momento de recepción del paquete de transferencia, en caso de demostrarse, el laboratorio que está entregando el paquete tendrá la responsabilidad a todo costo por daño de las partes o la totalidad del paquete, de ser necesario desarrollo del mismo, costos por calibraciones, tiempo de demora en caso de ser exigido por laboratorios, De todas formas esto no debiera ocurrir por que el diseño del paquete debe ser lo suficientemente resistente para las inclemencias de viaje y manejo.

Para las averías que serán detectadas en el procedimiento de verificación de averías, que incluye el procedimiento por fugas y otras que deberían ser descritas, el cronograma y el paquete serán diseñado de tal forma que exista dos semanas de retraso por averías, de todas formas el laboratorio y comité científico valoraran la situación y puede ser necesario retornar el paquete prematuramente al laboratorio de referencia.

Para los valores extremos que serán detectados por el organismo de control inmediatamente cada laboratorio termine la calibración y le envíe la información de resultados antes de que el paquete sea desinstalado, para corregir posible errores, esto debe realizarse dentro del tiempo límite de estadía en cada laboratorio es decir dos semanas.

2.8.3. Aspecto financiero

Cada laboratorio es responsable de los gastos por calibración en su respectivo laboratorio.

Cada laboratorio es responsable de los gastos de transporte y/o envío desde su punto de recepción hasta su punto de envío, generalmente estos puntos son las instalaciones de los laboratorios participante.

Las responsabilidades financieras por el desarrollo del paquete de intercomparación serán de mutuo acuerdo entre las partes, laboratorios participantes, organismo de acreditación y laboratorio de referencia.

En caso de pérdida, daño y/o retraso se deben establecer condiciones claras para todos los laboratorios.

2.8.4. Tiempos de entrega

La duración no debe superar, generalmente, más de 2 semanas por laboratorio desde el momento en que recibe el paquete hasta que lo entrega al siguiente laboratorio según el orden, es decir incluyendo tiempos de viaje dentro del territorio nacional.

Una vez terminadas las calibraciones el laboratorio participante tendrá una semana para enviar los resultados al organismo de control, dos semanas para enviar los certificados de calibración al organismo de control y las mismas dos semanas como tiempo de viaje entre países.

El laboratorio piloto tiene la delicada misión de desarrollar el dispositivo de transferencia. Desde el punto de vista técnico, el dispositivo debe estar acorde a los requerimientos de los laboratorios participantes de la comparación, es decir, inestabilidades del dispositivo del orden de las incertidumbres reportadas es claramente inadecuado, el capítulo siguiente muestra las principales tecnologías utilizadas en las comparaciones internacionales.

CAPÍTULO 3

3. TECNOLOGÍAS EN LA MEDICIÓN DE FLUJO DE GAS

Quizás el medidor de flujo de gas es el dispositivo con mayores variantes en el mercado, existen aproximadamente 100 tipos diferentes de flujómetros en el mercado, los reconocidos e involucrados en KC, el orden mostrado a continuación no obedece a ninguna clasificación particular de los medidores utilizados en esta área, ya sea por mensurado medido Volumen o flujo, o por principio de medición: de desplazamiento positivo, lineal, ultrasónico y otros, o por ser primarios o secundarios; el orden descrito obedece exclusivamente a los medidores que generalmente son utilizados como dispositivos de transferencia de KC descritos en 3.2 y 3.3, cuando se van a comparar los medidores de referencia principalmente los del apartado 3.1.

3.1. PATRONES PRIMARIOS

Los medidores primarios de medición son capaces de reproducir volumen en función de la unidad fundamental de longitud, como el caso de la campana Gasométrica y el Pistón, mostrados en la figura 12, ambos de desplazamiento positivo. Las toberas de flujo crítico son consideradas, patrones secundarios por que pueden reproducir las condiciones de flujo en función de las condiciones de estancamiento, como se verá más adelante.

En los medidores primarios como los mostrados, el volumen indicado es función del desplazamiento vertical, ya que la sección es conocida durante el recorrido del émbolo o campana. La Corporación puede emitir certificados de calibración con incertidumbres del orden de 0,10 % sobre la indicación del error con el pistón y de 0,12 % para la Campana Gasométrica

Figura 12. Medidores de desplazamiento positivo

Primario Campana



http://www.cdtdegas.com/images/stories/CDT/port_Campana_Gasometrica.jpg

Primario Pistón

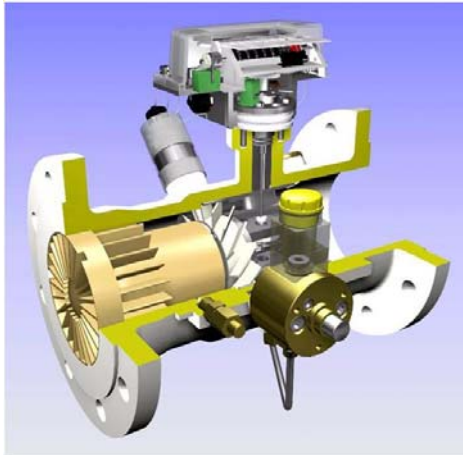


Manual de equipos CDT de GAS

3.2. MEDIDORES TIPO TURBINA

La turbina cuenta con alabes unidos a un rotor que es movido por la recepción de energía cinética del fluido, la velocidad angular es proporcional al flujo, y el número de revoluciones es contabilizado por un detector de pulsos magnético o mecánico. Las exactitudes conseguidas con esta tecnología son adecuadas para ser utilizada como patrón de referencia, del orden de 0,1% como reportan algunos fabricantes.

Figura 13. Medidor Turbina



Corporación CDT de GAS



El Autor

A bajas velocidades el desempeño se ve afectado, se debe contar con instalaciones sin fenómenos como el Swirl o la asimetría a la entrada de la turbina, otro factor influyente son las tolerancias dinámicas, un excelente diseño y manufactura se ven reflejados en las exactitudes de medición.

Los cambios de presión abruptos en la línea pueden ocasionar sobre esfuerzos en todo el sistema, principalmente en el juego de rodamientos, así se deteriora el funcionamiento de la turbina, por lo que la presión debe estar suficientemente controlada, el flujo pulsante es tal vez el principal agente en el detrimento del desempeño de estos dispositivos, además, la fricción en los rodamientos, la fricción en los alabes son factores que no deben ser olvidados en una correcta medición, se debe ser consciente de la magnitud del impacto de estas fuentes al sistema.

Este tipo de tecnologías es ampliamente utilizado en aplicaciones de transferencia de custodia, donde se exigen errores menores al 1%, existen dos modelos High Capacity y Low Capacity, la segunda más sensible a bajos regímenes de flujo.

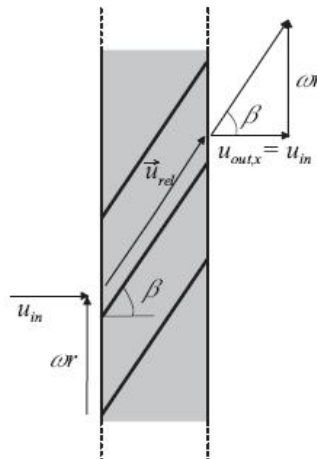
Cuando se calibra a condiciones cercanas a la atmosférica y las de operación son a altas presiones, existe un fenómeno de arrastre que cambia las condiciones de medición. El volumen de gas es determinado por la cantidad de pulsos que son registrados por la turbina, este resultado es multiplicado por el factor de la turbina llamado *Kfactor*, así:

$$V = N^{\circ}pulsos_{contados}[pulsos] * Kfactor \left[\frac{m^3}{Pulsos} \right]$$

Solo resta dividirlo por el tiempo requerido de conteo para obtener el caudal volumétrico, la conversión a caudal másico se hace por medio de la densidad, que es estimada de acuerdo a las condiciones de temperatura, presión y humedad del aire que circula.

3.2.1. Principio de funcionamiento medidor tipo turbina

Figura 14. Componentes de la velocidad relativa ideal



Petra Wilhelmina Stoltenkamp en Dynamics of turbine flow meters 2007

a. Rotación Ideal

En un caso de rotación ideal, sin fricción, la velocidad de entrada axial debe cumplir la misma relación anterior entre la velocidad de rotación transversal y la axial, así:

$$\frac{W_{id} * r}{u_{in}} = \tan\beta$$

La figura 14 muestra el planteamiento necesario para el desarrollo matemático de esta sección. Despejando la W_{id} ,

$$W_{id} = \frac{\tan\beta * u_{in}}{r}$$

Utilizando la ecuación del paso diametral,

$$W_{id} = \frac{2 * \pi * u_{in}}{S}$$

Por definición el flujo Q es la velocidad de entrada por la sección A; entonces la ecuación anterior es transformada para definir el caudal:

$$Q = \frac{S * A}{2 * \pi} * W_{id}$$

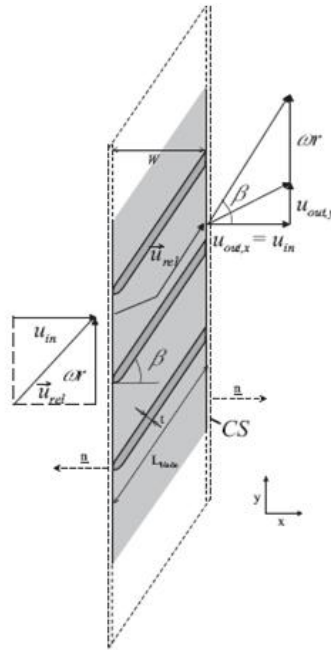
Que escrito de otra forma:

$$Q = K_{factor} * W_{id}$$

Queda definido el factor propio de cada medidor para hallar el volumen.

b. Modelo teórico de aproximación por ecuación de momento

Figura 15. Componentes de la cantidad de momento.



Petra Wilhelmina Stoltenkamp en Dynamics of turbine flow meters 2007

Se utiliza para este desarrollo, solo las componentes x e y como se muestra en la figura 15, y se asumió flujo incompresible totalmente paralelo a los alabes, sin efectos de recirculación. Aplicando la ecuación de conservación de la masa, a un elemento infinitesimal de volumen de altura dr asumiendo flujo no compresible para una variación radial infinitesimal, con componentes de velocidad radial cero y sin acumulación de masa tenemos:

$$u_{in,x} * dA_{in} = u_{out,x} * dA_{out}$$

Bajo las consideraciones adecuadas de incompresibilidad y geometría podemos decir que:

$$dA_{in} = dA_{out} = 2 * \pi * r * dr$$

Haciendo la sumatoria de fuerzas en términos diferenciales por el cambio de componentes a la entrada y la salida tenemos:

$$\rho * (u_{out,y} + w * r)u_{out,x} * dA_{out} - \rho * u_{in,x} * w * r * dA_{in} = dF_{bf,y}$$

Pero la velocidad absoluta de salida en y tiene dos componentes definidas por el triángulo de velocidades a la salida y como se muestra en la figura 14:

$$u_{out,y} = u_{out,x} * \tan\beta - w * r$$

Combinando las tres ecuaciones anteriores podemos encontrar la fuerza con la que es impulsada las paletas del rotor, que es la misma entregada por el flujo en sentidos opuesto:

$$dF_{bf,y} = -\rho * u_{out,x}^2 * \tan\beta * dA_{out} + u_{in,x} * w * r * dA_{in}$$

Y por definición: $dT = r * dF_{bf,y}$

Resta solo integrar la ecuación:

$$T = - \int_{base-alabe}^{punta-alabe} \rho * u_{out,x}^2 * \tan\beta * r * dA_{out} + \int_{base-alabe}^{punta-alabe} u_{in,x} * w * r^2 * dA_{in}$$

c. Ecuacion de movimiento

$$I_{rotor} * \frac{dw}{dt} = Td - Tf$$

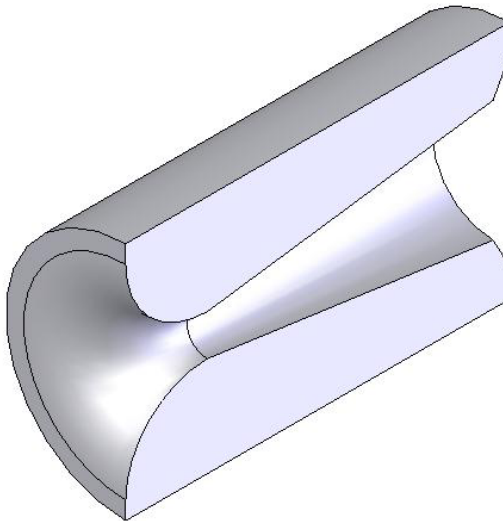
Asumiendo estado estable, necesario en calibraciones, la ecuacion se reduce a:

$$Td = Tf$$

Queda entonces definida la dinamica de la turbina en funcion de los terminos requeridos.

3.3. TOBERAS DE FLUJO CRÍTICO

Figura 16. Boquillas Sónicas



El autor

Esta tecnología de medición presenta, tal vez, la mayor estabilidad de todas las tecnologías a las mismas condiciones de operación y con mayor vida útil y tiempos de re calibración más largos, su principio de operación es basado en las

características de compresibilidad del flujo gaseoso, en donde el fluido es obligado a pasar por un orificio de una geometría de sección convergente para acelerarlo hasta la velocidad del sonido local y ayudado por la sección divergente a la salida, para ahorrar potencia, el principio en detalle es abordado más adelante. La forma geométrica a la entrada de la tobera es toroidal. Al igual que los Venturi, son preferidos a altos regímenes de flujo (velocidad en tubería aproximadamente 15 m/s). La figura 16 muestra el perfil aproximado, de la sección longitudinal, de una boquilla sónica que sigue la norma ISO 9300, por su parte la figura 17 muestra el juego de boquillas desarrollado para el banco patrón de la Corporación, su nombre técnico toberas de flujo crítico.

Figura 17. Toberas de flujo critico



CDT de GAS

3.3.1. Desarrollo matemático flujo sónico.

El principio bajo el cual operan los medidores de flujo del tipo toberas de flujo crítico (boquillas sónicas), se deriva de las relaciones termodinámicas que determinan las propiedades de estado de una sustancia, a partir de la ecuación de estado de un gas ideal y de conceptos tales como Energía Interna y Entalpia podemos desarrollar la teoría de velocidad sónica local, es interesante la consecuencia benéfica en los medidores de este tipo debido a este principio, las perturbaciones como flujo pulsante, variación de temperatura, transferencia de calor aguas abajo de la sección crítica no afectan las propiedades aguas arriba donde se busca estanqueidad para evaluar las condiciones de estado, esta es tal vez la razón más valiosa de obtener condiciones de estabilidad tan sorprendentes en la reproducción de flujo.

a. Flujo compresible

El comportamiento de un gas ideal es modelado como:

$$P = \rho * R * T \quad (\text{Ec. 1.1})$$

Donde: P y T son la Presión y Temperatura absolutas, ρ y R son la densidad y la constante del gas respectivamente.

Hacemos uso de las relaciones termodinámicas del calor específico una a volumen constante y la otra a presión constante como sigue:

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v \quad (\text{Ec. 1.2}) \quad \text{y} \quad C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \quad (\text{Ec. 1.3})$$

Donde, por definición de entalpia, $h = u + \frac{P}{\rho}$ (Ec. 1.4)

$h = f(T)$ Únicamente, ya que $\frac{P}{\rho} = R * T$ y la energía interna u es también una función única de la temperatura.

En general, para el rango de temperatura en aplicaciones ingenieriles el cambio de los calores específicos es pequeño, pero se debe ser consciente de cualquier asunción al respecto.

La ecuación 1.2 y 1.3 puede reescribirse para gases ideales como:

$$C_v * dT = du \quad (\text{Ec. 1.5}) \quad \text{y} \quad C_p * dT = dh \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Utilizando la ecuación 1.4 diferenciada: $dh = du + R * dT$ (Ec. 1.7)

Podemos reemplazar (1.6) y (1.5) en (1.7) y simplificar: $C_p = C_v + R$ (Ec. 1.8)

Definiendo la relación entre calores específicos $k = \frac{C_p}{C_v}$

Entre esta y la ecuación 1.8, tenemos:

$$C_p = \frac{K}{k-1} * R \quad (\text{Ec. 1.9}) \quad \text{y} \quad C_v = \frac{R}{k-1} \quad (\text{Ec. 1.10})$$

Para la entropía, sabemos que el calor al sistema es igual al trabajo más un cambio en la energía interna:

$$T ds = du + pd \left(\frac{1}{\rho} \right)$$

Despejando la entropía del gas ideal:

$$ds = \frac{du}{T} + R \rho * d \left(\frac{1}{\rho} \right) \quad (\text{Ec. 1.11})$$

AL integrar:

$$s_2 - s_1 = \int \frac{Cv}{T} * dT + \int R\rho * d\left(\frac{1}{\rho}\right)$$

Utilizando las Ecuaciones 1.5 y 1.6 como los cambios promedios, vemos que:

$$u_2 - u_1 = Cv(T_2 - T_1) \text{ (Ec. 1.12)} \quad y \quad h_2 - h_1 = Cp(T_2 - T_1) \text{ (Ec. 1.13)}$$

Al combinar las ecuaciones 1.11 y 1.12 e integrar:

$$s_2 - s_1 = Cv * Ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R * Ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)$$

Entonces:

$$s_2 - s_1 = Cv * Ln\left[\left(\frac{T_2}{T_1}\right) * \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{-k}\right]$$

Para un proceso isentrópico $s_2 - s_1 = 0$

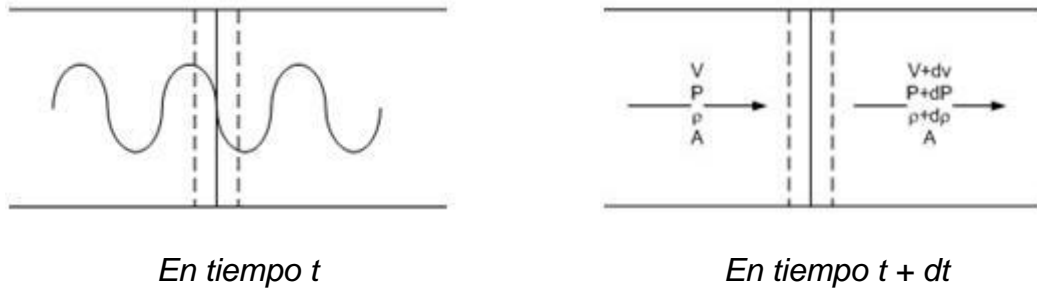
$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{k-1} \text{ (Ec. 1.14)}$$

b. Velocidad de una onda sonora. Número de Mach.

Aplicando la ley de conservación de la masa, al volumen de control definido en la figura 18:

$$\dot{m}_{entra} = \dot{m}_{sale}$$

Figura 18. Volumen de control para ondas de presión en gas



El Autor

En forma diferencial queda expresada como:

$$\rho VA = (\rho + d\rho)(V + dV)A \rightarrow \rho V = \rho V + \rho dV + Vd\rho + d\rho * dV$$

Simplificando: $\rho dV + Vd\rho = 0$ (Ec. 1.12)

Aplicando la ecuación de cantidad de movimiento diferencial:

$$pA - (p + dp)A = \rho VA (V + dV - V)$$

Simplificando: $dp = -\rho VdV$ (Ec. 1.13)

Entre la ecuación 1.12 y 1.13 tenemos:

$$-\frac{dp}{V} + Vd\rho = 0 \rightarrow Vd\rho = \frac{dp}{V} \rightarrow V^2 = \frac{dp}{d\rho}$$

La velocidad puede ser entonces citada como: $c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$ (Ec. 1.14)

Una forma de leer esta ecuación podría ser como sigue: se encontró la velocidad a la cual se mueve una onda de presión en un fluido compresible haciéndolo cambiar de densidad módulo el módulo de elasticidad volumétrico, $K = - \frac{dp}{\frac{dv}{v}}$

Y la relación $\frac{dv}{v} = \frac{dv_{\delta}}{v_{\delta}} = - \frac{d\rho}{\rho}$

Que se puede expresar también como:

$$K = \frac{\rho dp}{d\rho}$$

Podemos reescribir la ecuación 1.14:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \text{ (Ec. 1.15)}$$

El proceso isentrópico consta de dos condiciones, la primera que se considere reversible, esto queda justificado pues los cambios de presión y densidad de debido al paso de una onda sonora son infinitesimalmente pequeños, la segunda es que sea un proceso adiabático, esto puede argumentarse sobre la rapidez de la onda que al pasar produce cambios diminutos de temperatura, propio de un proceso adiabático definido como:

$$p\rho^{-k} = \text{const}$$

Que es el límite del proceso diferenciando, $\frac{dp}{d\rho} = \frac{kp}{\rho}$

Entre esta y la ecuación 1.15 encontramos otra forma de expresar la velocidad de una onda sonora:

$$c = \sqrt{\frac{kp}{\rho}}$$

Y mediante la ecuación 1.1 tenemos: $c = \sqrt{kRT}$

Esta ecuación expresa que la velocidad del sonido es solo función de la temperatura absoluta del fluido, sin correcciones por presión o humedad, necesarias en metrología.

De otro lado se ha definido un muy nombrado término, llamado número de Mach como la relación entre la velocidad subsónica de una partícula y la velocidad del sonido local.

$$M = \frac{V}{c}$$

c. Flujo isentrópico

Todas las aproximaciones hechas hasta el momento son válidas para la tecnología de medición de flujo de gas mediante toberas de flujo crítico, como un proceso adiabático reversible, gas ideal, movimiento de la onda en el medio, aunque algunas correcciones debido a la desviación de estas suposiciones han de hacerse de acuerdo a cada laboratorio, a sus necesidades de incertidumbre y a las condiciones particulares de operación.

Diferenciando la ecuación de la energía para una línea de corriente y luego utilizar la ecuación 1.14, obtenemos:

$$VdV + \frac{dp}{\rho} = 0 \rightarrow VdV + c^2 \frac{d\rho}{\rho} = 0$$

Junto con la ecuación de continuidad: $\rho AV = const$

Que al diferenciarla, y dividir por el factor $(\rho \cdot V \cdot A)$:

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dV}{V} + \frac{dA}{A} = 0$$

Finalmente encontramos la relación de diseño, necesaria para el cambio de área respecto a la velocidad, recordemos también el famoso número de Mach.

$$\frac{dA}{dV} = \frac{A}{V} \left(\frac{V^2}{c^2} - 1 \right) = \frac{A}{V} (M^2 - 1)$$

Al mirar con más detalle la ecuación, notamos que para flujos de partícula menores a la velocidad local del sonido, el cambio del área con respecto a la velocidad es negativa, es decir se necesita una sección convergente para aumentar la velocidad, pero para números de Mach mayores que la unidad se necesitan cambios de área divergentes para aumentar aún más la velocidad.

Cuando la velocidad de la partícula es la misma que la velocidad local del sonido, tenemos condiciones de criticidad, de ese punto en adelante la sección diverge para sostener velocidades mayores a las del sonido.

De un proceso isentrópico sabemos que: $p = p_1 \rho_1^{-k} \rho^k$

Que diferenciada tiene la forma: $dp = p_1 * \rho_1^{-k} * \rho^{k-1} * k * d\rho$

Entre esta ecuación y la de Euler en forma diferencial, eliminando $d\rho$:

$$VdV + k \frac{p_1}{\rho_1^k} \rho^{k-2} d\rho = 0$$

Que al integrarse, queda expresada como:

$$\frac{V^2}{2} - \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1^k} \rho^{k-1} = \text{constante}$$

Para dos estados distintos, se mantiene la igualdad:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{p_2}{\rho_2}$$

Utilizando el modelo de gas ideal:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{k}{k-1} RT_1 = \frac{V_2^2}{2} + \frac{k}{k-1} RT_2$$

Para un proceso adiabático hasta condiciones de estancamiento:

$$\frac{V^2}{2} = \frac{kR}{k-1} (T_0 - T)$$

Despejando V^2 y escribiendo en el número de Mach, y $C^2 = k * T * P$

$$M^2 = \frac{V^2}{c^2} = \frac{2kR(T_0 - T)}{(k-1)kRT} = \frac{2}{k-1} \left(\frac{T_0}{T} - 1 \right)$$

Simplificando:

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{k-1}{2} M^2$$

De esta forma las ecuaciones 1.14 quedan como sigue:

$$\frac{p_0}{p} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad \frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Cuando deseamos encontrar las condiciones críticas, es decir, cuando el número de Mach se hace igual a la unidad, encontramos la relaciones entre el

estancamiento y las de sección crítica para llevar el flujo hasta la velocidad sónica, con $k=4$ para gases ideales.

$$\frac{T^*}{T_0} = \frac{2}{k+1} = 0,833$$

$$\frac{p^*}{p_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = 0,528$$

$$\frac{\rho^*}{\rho_0} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{1/(k-1)} = 0,634$$

Bajo condiciones adecuadas de flujo de gas y de reducción de sección transversal de línea de corriente, conocidas también como de bloqueo, se puede conseguir acelerar el flujo hasta que su velocidad sea Mach 1, esto se verifica fácilmente al chequear la relación de presión a la salida de la boquilla entre la presión de estanqueidad a la entrada, dicho de otra forma, para condiciones por debajo de las de bloqueo el caudal aumenta al aumentar la caída de presión en la boquilla, existe un límite para el cual aún al aumentar la caída de presión el caudal se mantiene constante, se dice que estamos en condiciones de bloqueo.

3.4. FENÓMENOS INFLUYENTES EN MEDICIÓN DE GAS

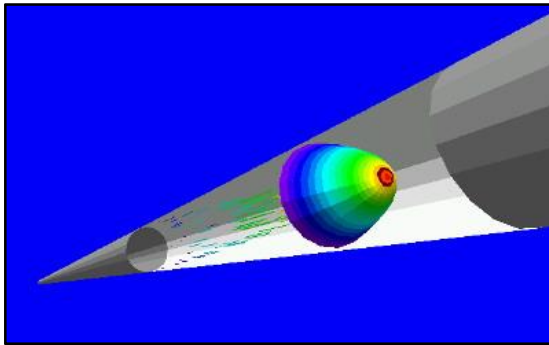
Dada su gran influencia en los resultados de medición se describen en forma general muchos de los fenómenos de flujo, para encontrar errores dentro del límite aplicable, ellos son, entre otras, el perfil de velocidad desarrollado en el sistema de medición, fluido no homogéneo considerado como la presencia de distintas fases en el fluido, flujo pulsante producto de los sistemas de potencia y otros dispositivos, los efectos de resonancia, arrastre y deslizamiento, todos abordados a continuación.

3.4.1. Perfil de velocidad

Algunas asunciones respecto al flujo en ductos cerrados son necesarias para definir un perfil de flujo ideal a la entrada de un medidor: no existe el efecto Swirl, el fluido es perfectamente Newtoniano y el flujo es totalmente simétrico respecto a centro del círculo de la sección transversal de la tubería.

a. Fluido Newtoniano

Figura 19. Flujo desarrollado ideal en ductos cerrados



<http://www.vrupl.evl.uic.edu/vrichel/images/pipe3.jpg>

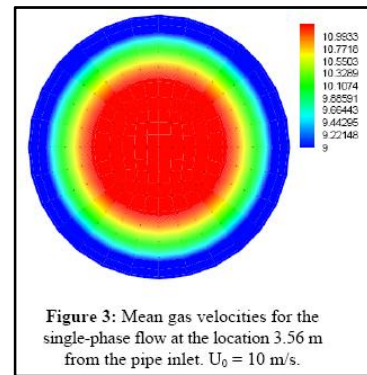
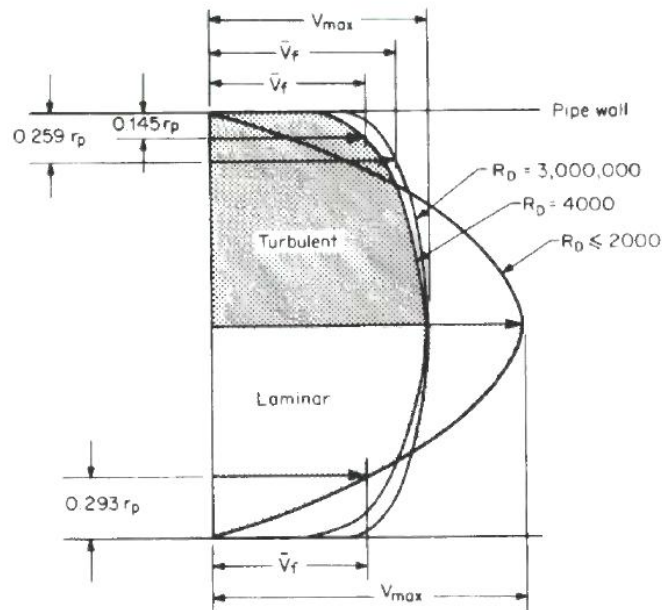


Figure 3: Mean gas velocities for the single-phase flow at the location 3.56 m from the pipe inlet. $U_0 = 10$ m/s.

<http://www.scielo.br/img/revistas/bjce/v26n3/a14fig03.jpg>

El estado, líquido y gaseoso de la materia es altamente sensible a los esfuerzos en todo su volumen, existe un modelo matemático que relaciona la deformación que experimenta un fluido con el esfuerzo aplicado, la constante de proporcionalidad es la viscosidad absoluta que es constante a lo largo del intervalo de aplicación, cuando esta constante varía con el esfuerzo se dice que el fluido es **no-Newtoniano**, se conoce la existencia de fluidos Pseudoplásticos, dilatantes y de Bingham, por nombrar los más conocidos.

Figura 20. Diferentes perfiles a diferentes regímenes.



Flow Measurement Engineering Handbook 3^a Edition Pg 5.8

Un modelo que ha funcionado apropiadamente en el desarrollo del perfil de flujo dentro de un ducto se basa en definir que la velocidad de la capa infinitesimal adyacente a la tubería de la pared tiene velocidad cero, al moverse radialmente hacia adentro, las capas subsiguientes adyacentes tienen una velocidad cada vez mayor, hasta el centro de la tubería donde encontramos una velocidad máxima, ya que esta distribución es axisimétrica se adquiere el perfil de velocidad característico de los ductos cerrados, como el mostrado en la figura 19.

El perfil de velocidad en forma de cono suavizado, es definido por una función parabólica propia del flujo laminar, un perfil un poco más achatado es característico del régimen turbulento debido al movimiento errático de las partículas, en otras palabras, un acuerdo entre la relación de las fuerzas de inercia sobre las fuerzas viscosas conocido como número de Reynolds superior a 4.000 hace que otra relación, la de velocidad promedio sobre la velocidad máxima sea

superior a 0.8 para flujo turbulento, figura 20, mientras que para régimen laminar esta relación es de 0.5 correspondiente a Reynolds por debajo de 2.000.

b. Distorsión del flujo

El flujo axisimétrico a la entrada de un medidor no es fácil de conseguir, tal vez, es la variable de mayor influencia en la exactitud, es por eso que se hacen grandes esfuerzos por reducir cualquier distorsión de flujo o desarrollar medidores poco sensibles al perfil de velocidad.

Las alteraciones de flujo debidas a válvulas, generalmente son distorsiones de asimetría, produciendo un flujo errático en muchos casos pero que con longitud de tubería se pueden amortiguar satisfactoriamente, de todas maneras, las correcciones que se hacen para otros tipos de distorsiones aplican también para estos dispositivos.

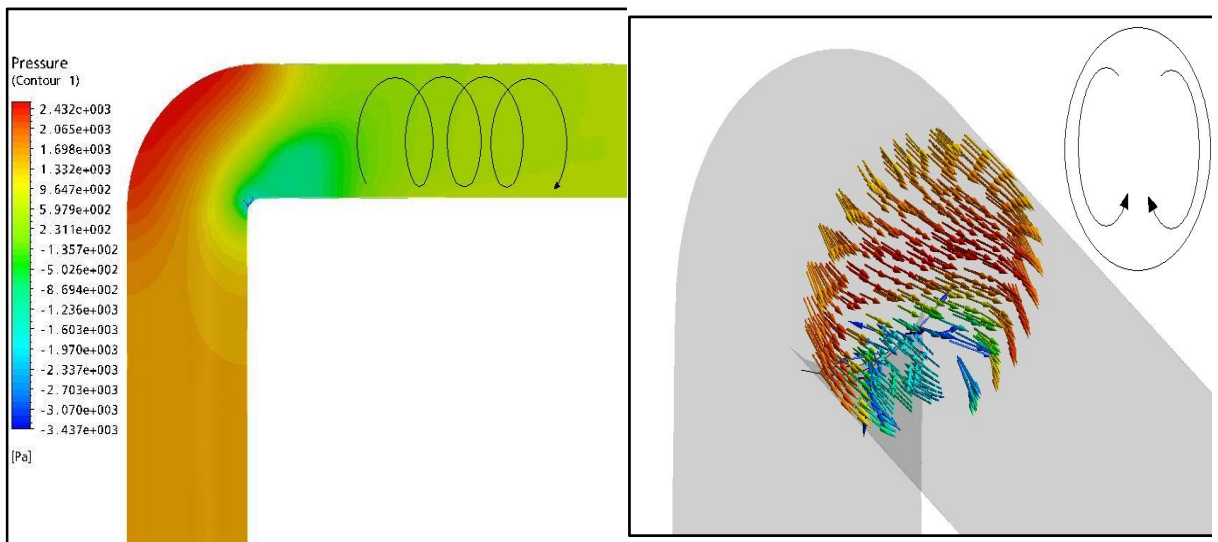
El Swirl es un fenómeno interesante de flujo dentro de tuberías no tiene una traducción exacta al castellano, lo más cercano es el vocablo remolino, que describe un parcialmente la distorsión del perfil ocasionado por las configuraciones descritas.

La línea de flujo que recorre una tubería recta, es forzada a cambiar de dirección por la presencia de un codo, que hace que la velocidad cinética inherente al flujo en línea recta se distorsione, imprimiéndole unas componentes radiales y tangenciales que no existían antes de esta singularidad.

Los codos producen el efecto Swirl puro, la figura 21 muestra la tendencia del efecto al pasar por un codo a 90°, en el existe una zona de baja presión en la parte interna de la curvatura, contrario a la parte externa donde se presenta la

zona de más alta presión por acumulación de masa debido a la fuerza centrífuga, A la salida del codo al evaluar la sección transversal, se genera una rotación de flujo en el mismo sentido de flujo, desde la parte de alta presión a la de baja en donde hay recirculación de flujo, en forma simétrica.

Figura 21. Swirl puro.



CDT de GAS

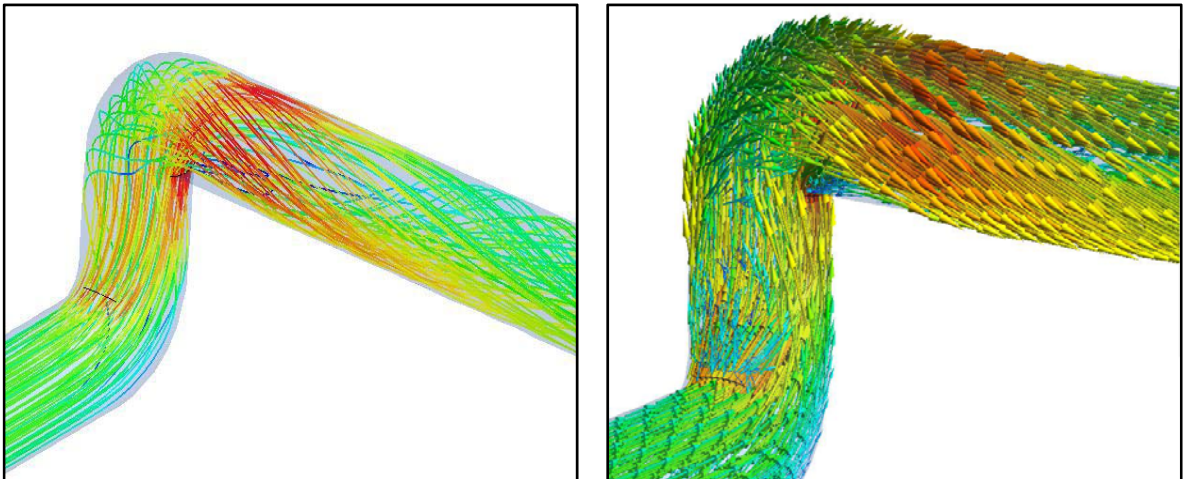
El alto Swirl, es mostrado en la figura 22, es producto del flujo a través de dos codos consecutivos dispuestos en planos diferentes, cuanto más cerca estén uno del otro será mucho más fuerte, se dedujo que en un ángulo de entre 30° y 90° es donde más fuertemente se presenta este fenómeno, se necesita entre 10 y 20 diámetros de tubería recta aguas abajo para disipar o amortiguar este fenómeno.

La rotación de alto Swirl se diferencia de la del Swirl puro, en que para este último caso las líneas de trayectoria describen un tipo de tornillo helicoidal aguas abajo del segundo codo, como se describe en la figura, este tipo de rotación es

sumamente perjudicial en medidores tipo turbina, ya que acelera la rotación de los alabes, debido a las componentes tangencial y radial.

Muchas otras configuraciones y válvulas afectan el perfil de flujo y consecuentemente se produce un error sistemático en la medición de flujo de gas, según la tecnología que se utilice y el fenómeno presente. La sensibilidad de la distorsión de flujo sobre la medición cambia, y de todas formas se recomienda instalar acondicionadores y/o rectificadores de flujo, para disminuir esta desviación.

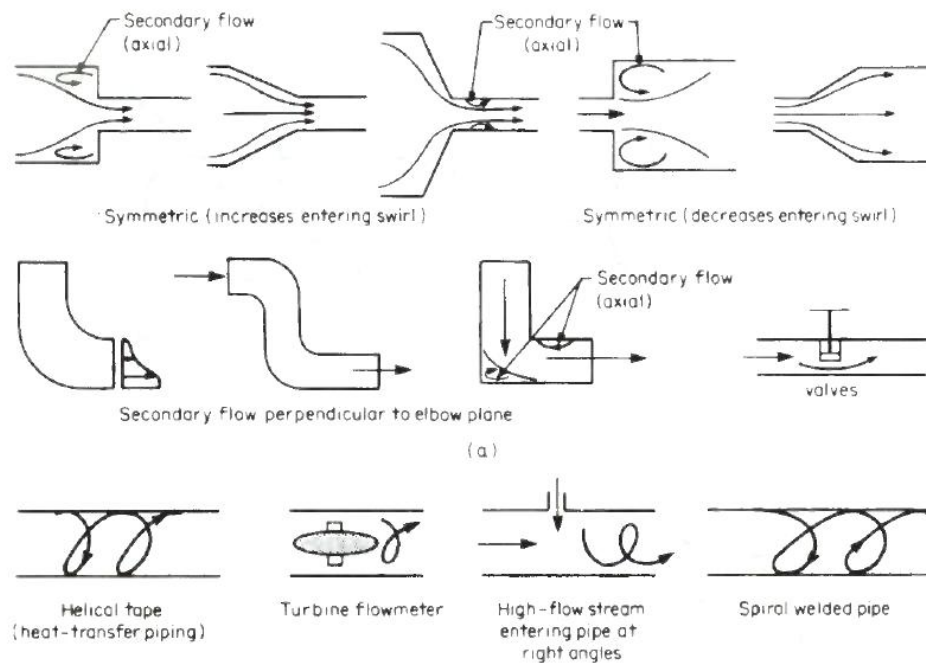
Figura 22. Alto Swirl



CDT de GAS

La figura 23 muestra algunas distorsiones de perfil para configuraciones típicas, no se pretende con esto estudiar en detalle cada fenómeno, solo mostrar un acercamiento a los posibles efectos de las diferentes instalaciones.

Figura 23. Distorsiones por singularidades.



Flow Measurement Engineering Handbook 3^a Edition Pg 5.8

c. Acondicionadores y rectificadores de flujo

En la industria es ampliamente utilizado lo que se conoce como un rectificador de flujo de 19 tubos, que es un haz de tubos paralelos, dispuestos simétricamente, y con una geometría específica que son función del diámetro, estos dispositivos disminuyen drásticamente los fenómenos de Swirl en el perfil, pero de más bajo rendimiento respecto a los acondicionadores de flujo en cuanto a los efectos de asimetría.

Los acondicionadores de flujo son una placa perforada con una configuración definida igualmente por el diámetro, existen normas como la ISO, ASME, AGA que proponen las configuraciones, es recomendable seguirlas ya que son de amplio estudio y análisis, los agujeros de las placas son relativamente más pequeños que

los diámetros del haz de 19 tubos, razón de su mejor desempeño, los más conocidos son la placa ZANKER y el acondicionador MITSUBISHI, NOVA, NEL, PTB.

Figura 24. Rectificadores y Acondicionadores de flujo



<http://www.tmco-usa.com/products/>

3.4.2. Fluido no homogéneo

Algunas propiedades físicas de un fluido son en extremo importantes en la medición de flujo de gas, entre ellas la densidad que permite con gran practicidad determinar la masa o flujo másico a partir del volumen o flujo volumétrico respectivamente. La característica deseada del flujo homogéneo es que el estado termodinámico del fluido no se encuentra dentro del domo o cualquier condición

de saturación, dicho de otra forma, la densidad de los componentes de la mezcla es la misma para todos o por lo menos muy similar.

3.4.3. Otros fenómenos

a. Flujo Pulsante

El flujo pulsante es una variación de la densidad del fluido que viaja a la velocidad del sonido como una onda de presión, esta onda no transporta materia solo energía, por lo que la velocidad de la onda de presión es la velocidad local del sonido, es común no diferenciar entre flujo turbulento y pulsante con típicos sistemas de medición de presión, aun así, se podría decir que si tomamos un diferencial de tiempo suficientemente pequeño como para detectar una onda de presión, se observaría que para ambos tipos de flujo el promedio de las variaciones de presión se mantendría casi constante en un gran periodo de tiempo, la diferencia radica en que para el flujo turbulento estos valores son aleatorios definidos bajo una función normal, en cambio para flujo pulsante estos cambios de presión describen una función sinusoidal o en su defecto es la composición de varias funciones cuyas frecuencias pueden ser encontradas mediante la transformada de Fourier, la frecuencia está relacionada con la velocidad del frente de onda que es la velocidad local del sonido.

b. Resonancia

Las velocidades de operación de medidores de flujo especialmente tipo turbina, pueden operar a altas revoluciones incluso mayores a 5000 r.p.m., además, la facilidad con la que se puede conseguir el primer armónico en una viga soportada a los extremos con carga adicional en el centro, como es generalmente la configuración del diseño de soporte de estructuras de tubería, hacen que el fenómeno de resonancia sea alcanzado con relativa facilidad, ese fenómeno ha sido puesto en evidencia, en un laboratorio de medición de flujo de gas en Canadá

cuando operaban una turbina G 650 Elster a $1000 \text{ m}^3/\text{h}$, este fenómeno introdujo desviaciones intolerables en la medición como se verá más adelante, en el estudio de las principales KC's en el área de flujo de gas.

c. Arrastre Y Deslizamiento

Luego de que la American Gas Association (AGA) en su reporte número 7, describiera las pautas generales para la calibración de turbinas, se descubrió en un estudio posterior que las condiciones de medición cambian si se calibra a bajas presiones y el patrón de referencia es operado a altas, por esto fue necesario una revisión del reporte. El fenómeno de arrastre está relacionado con la capacidad del fluido de intercambiar energía o cantidad de movimiento con los alabes de la turbina, el estudio muestra que, a altas presiones ésta capacidad es mayor evidenciando la necesidad de reconocer el error adicional por cambio de condiciones.

Por su parte el fenómeno de deslizamiento está relacionado con la masa que es sinónimo de energía, para un volumen entregado en paquetes discretos como lo hacen los medidores rotativos, la densidad del fluido y en general, las condiciones de flujo deben ser capaz de entregar la energía hidrodinámica del gas a las caras de los lóbulos al interior del medidor rotativo, para hacerlo girar. En instalaciones donde la potencia fluida se logra a vacío, sistema que es habitualmente utilizado en laboratorios de calibración para aprovechar el valor de la presión atmosférica casi constante y evitar flujos pulsantes, la densidad tiende a acercarse a su nivel mínimo de operación, esta condición puede alterar de manera significativa la medición de flujo, ya que no existe suficiente energía como para que parte de esta pueda ser entregada a la rotación de los lóbulos.

CAPÍTULO 4

4. PRINCIPALES KC's EN MEDICIÓN DE FLUJO DE GAS.

En las más importantes comparaciones internacionales de medición de flujo de gas, la presencia de laboratorios de América latina es prácticamente nula, solamente el instituto nacional de metrología de Estados Unidos NIST y el correspondiente de México CENAM han participado en comparaciones internacionales en esta área de medición, la mayoría de programas de comparación se han desarrollado en el viejo continente, en donde se pueden contabilizar cerca de una docena de ellas, Colombia a pesar de llevar escasos 10 años de desarrollo metrológico en esta área, aspira acceder o formar parte de comparaciones en Europa, por el momento esas comparaciones de alto nivel se llevaran a cabo con países de amplia trayectoria en América del sur, específicamente con Argentina y Brasil, con tecnología desarrollada por la Corporación CDT de GAS.

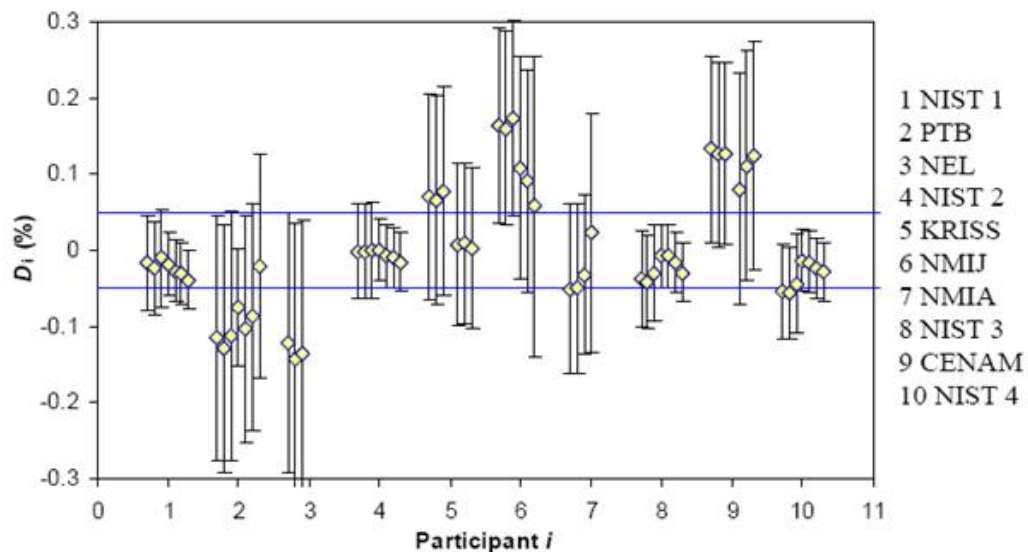
4.1. CIPM KCfor Low-Pressure Gas Flow: CCM.FF-K6 (K6)

Podría catalogarse la comparación más importante a bajas presiones en flujo de gas llevada a cabo a nivel mundial hasta el momento, donde participaron PTB – (Alemania) - NEL (England) - KRISS (Korea) - NMIJ (japan) - NMIA (Australia) – CENAM (México), liderados por NIST (Estados Unidos de América), Estos laboratorios son de los más reconocidos laboratorios en todo el globo, notar la diversidad de lenguajes involucrados, lo que le da un carácter aún más universal.

El informe final fue reportado 10 años después de firmarse el documento MRA de 1999, es destacable el dispositivo de transferencia utilizado en esta comparación, el desarrollo de cuatro 4 pares de boquillas sónicas con todo su sistema de

instrumentación secundaria, además con juegos en serie para detectar cualquier posible desviación en el ciclo de comparaciones ya que la disposición serial otorga medidas redundantes con las cuales se puede hacer un análisis estadístico y dar un acercamiento gráfico de la dispersión de los datos, esta herramienta da grandes elementos de juicio para encontrar la posible fuente de error mediante una gráfica Youden. El paquete incluyó tomas de presión y temperatura, necesarias en la evaluación completa de flujo, por otro lado, el sistema de adquisición de datos está programado bajo la plataforma de Labview, pasando anticipadamente por transductores y termistores independientes.

Figura 25. Dispersión de resultados por laboratorio K6.



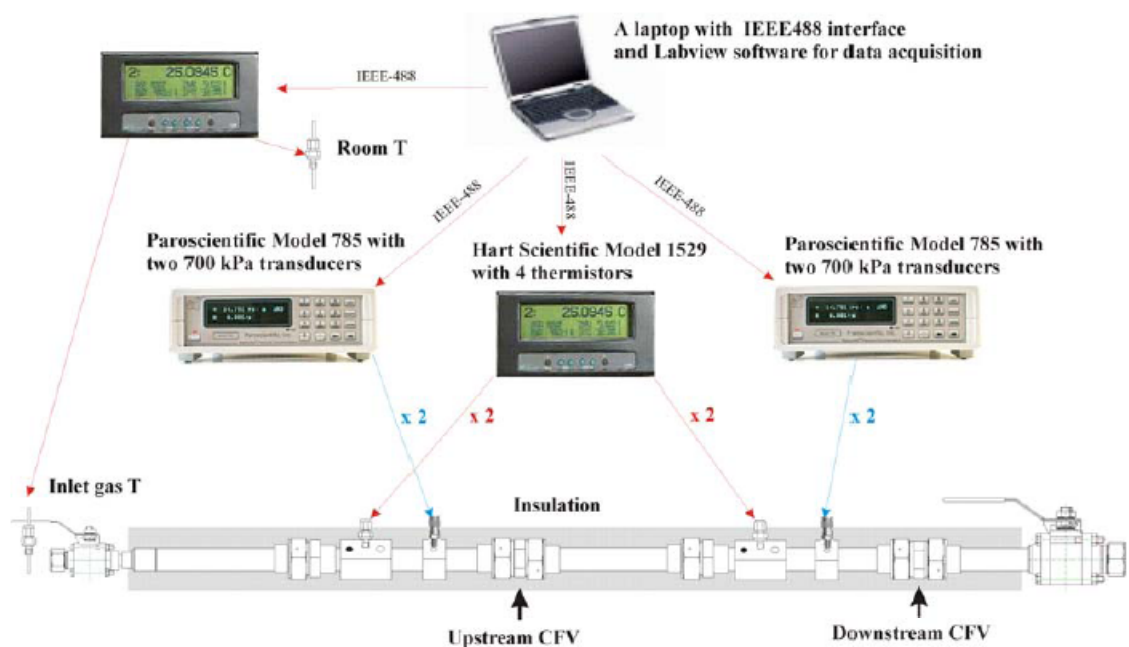
CIPM Key Comparison for Low-Pressure Gas Flow: CCM.FF-K6 Final Report

El intervalo de medición va desde $1\text{ m}^3/\text{h}$ hasta $50\text{ m}^3/\text{h}$, evaluados en siete 7 puntos de caudal diferentes, además en cada punto se llevaron a cabo 5 repeticiones, se tiene suficiente información para hacer cualquier conclusión de forma categórica, no solo eso, el paquete de transferencia retorno 4 veces al

NIST, ver figura 25, asegurando la medida de estabilidad del dispositivo, en cada evaluación las diferencias de medida fueron registradas y tomadas las mayores para el cálculo de incertidumbre, a pesar de esto el valor convencional para las incertidumbres totales expandidas teniendo en cuenta también la estabilidad van desde 0.06% hasta 0.20% del error relativo del coeficiente de descarga, además, se le suma el hecho de que todos los laboratorios se pueden considerar como independientes.

NIST descubrió sensibilidad del sensor de presión respecto a los cambios de temperatura en la habitación, resultado de la evaluación por estabilidad a todos los dispositivos cada vez que el paquete retornaba a sus laboratorios, la figura 26 muestra el dispositivo utilizado descrito anteriormente.

Figura 26. Dispositivo de transferencia K6

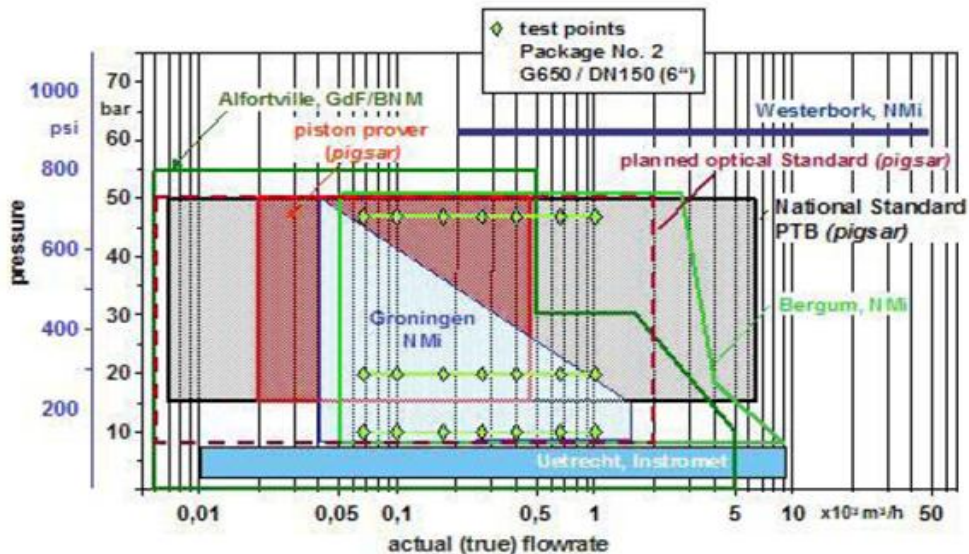


CIPM Key Comparison for Low-Pressure Gas Flow: CCM.FF-K6 Final Report

4.2. CIPM KCfor Natural Gas at High-Pressure CCM.FF-K5.a (K5)

Es considerada también como la más importante comparación mundial de flujo gas K5, esta vez a altas presiones, de este proceso se aprendió que en un programa de comparación se camina a paso lento, casi estático, los laboratorios piloto PTB (Alemania) y NMI-VSL (Holanda), después de cuatro años de conversaciones y negociaciones fracasaron los intentos por que el NIST participara en el programa, de todas maneras junto con LNE-LADG (BNM-Francia), llegaron a culminar todo el proceso que fue reportado para el año 2005, en el ya se seguían las recomendaciones tales como expresar los grados de equivalencia en la forma como se hace habitualmente, reportando el error normalizado E_n , para ese entonces Cox había ya publicado hace tres años su famoso paper: “Evaluación de los datos de una comparación” sería su traducción al Español. La figura 27 muestra el alcance de esta comparación.

Figura 27. Alcance de K5



Final report on the CIPM Key Comparisons for Natural Gas at High-Pressure Conducted in November / December 2004 CCM.FF-5.a

Para esta caso utilizaron como dispositivo de transferencia Turbina G650 marca: Elster, puestos en serie con un Ultrasónico G650 marca Instromet cada uno de (6 in), donados por su correspondientes fabricantes, notar que esta sería la referencia del K5 para utilizar dos dispositivos en forma serial, consiguiendo las ventajas estadísticas antes citadas. El BIPM como ente coordinador, reconoció normas como el AGA 7 y AGA 9, para ser seguidas como normas para las condiciones de instalación de la turbina y ultrasónico respectivamente, además las conexiones tipo brida ANSI 600, ver figura 28.

El conjunto de dispositivos pesa alrededor de una tonelada, característica que acarrea una inversión elevada en transporte y vuelos internacionales, además de instalaciones suficientemente cómodas, debido a eso es justo indicar que el esquema de circulación es el apropiado, es circular, es decir, el dispositivo de transferencia fue evaluado solamente al principio y al final del ciclo de calibraciones.

Figura 28. Dispositivo de transferencia del K5



Final report on the CIPM Key Comparisons for Natural Gas at High-Pressure Conducted in November / December 2004 CCM.FF-K5.a

Se llevó a cabo antes de la comparación una investigación de reproducibilidad, mediante la utilización de medidores tipo turbina, con DN 100, 250 y 400 del cual

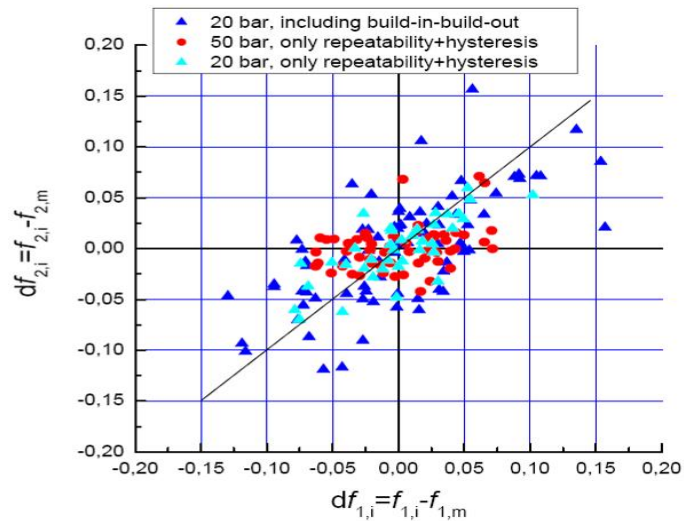
se concluyó que existe un excelente acuerdo entre las instalaciones ya que con diferentes medidores las desviaciones no son significativas entre laboratorios, manteniéndose una repetibilidad por debajo de 0.06% para el dispositivo de transferencia durante pruebas realizadas entre 1999 y 2003.

Esta excelente demostración de reproducibilidad, abrió la puerta para realizar la primera comparación en flujo de gas, el valor de incertidumbre por este concepto está muy por debajo de las incertidumbres reportadas por los laboratorios participantes que variaron entre 0.16% y 0.3%.

En la investigación se determinó que el medidor ultrasónico utilizado presenta bajos niveles de repetibilidad, es de menor calidad que la turbina debido al principio de medición, la integración de la velocidad a partir de puntos focalizados de velocidad, hace que pequeñas turbulencias afecten significativamente la medición de flujo, por lo menos con las condiciones y características mencionadas de la comparación, en conclusión medidores ultrasónicos, son más sensibles a pequeñas variaciones de perfil, los hace poco llamativos para ser utilizados como dispositivos de transferencia.

Esta comparación propone un método de evaluación, ante la duda de si un dispositivo de transferencia presta la estabilidad deseada para el programa, en forma general, se evalúan los dos laboratorios que reportan las incertidumbres más bajas, la primera evaluación se hace asumiendo dispositivo ideal, es decir, incertidumbre por repetibilidad nula, en la segunda evaluación si se incluye este valor por concepto de repetibilidad evaluada del dispositivo, el laboratorio piloto acepto una variación no mayor al 10% a la incertidumbre reportada que se esperaba, como criterio de selección, para mayor claridad del nivel de repetibilidad vea la figura 29.

Figura 29. Diagrama de Youden del K5



Final report on the CIPM Key Comparisons for Natural Gas at High-Pressure Conducted in November / December 2004 CCM.FF-5.a

4.3. COOMET Project No. 219/Sk – 00/B

Comparación internacional para medición de flujo de gas, realizada a dos niveles, en estas líneas se tratará el segundo nivel, en la cual se incluye la participación de 7 NMI principalmente integrantes de COOMET, los participantes fueron: SMU Premagas (Eslovaquia) – AMS SPP inc (Eslovaquia) – PTB (Alemania) – LEI (Lituania) – BELGIM (Bélgica) – VIINR (Rusia) – GP IFSM (Ukraine)¹³, el primero designado como laboratorio piloto todos los laboratorios calibraron a bajas presiones, cercanas a la atmosférica.

La aceptación del inicio del programa y el acuerdo del protocolo se dio en Abril del 2006, los resultados finales fueron entregados en Diciembre del 2007, ha destacar en esta comparación, la estrategia utilizada para reducir los sobrecostos por

¹³Queda como iniciativa del lector identificar los nombres completos de los NMI.

transporte internacional, para empezar utilizaron una como dispositivo de transferencia una Turbina DAE G650 DN 150, sin lubricar, para evitar los cambios de funcionamiento durante la comparación, además, el paquete de transferencia, se redujo a solo 45 kg y 45 cm de longitud, mostrado en la figura 30, recordemos la tonelada que pesaba el dispositivo de transferencia para la comparación anterior, eso sí, se exigía unos requisitos mínimos de instalación, además, de calibrar los diez puntos de caudal que variaron de 100 m³/h hasta 1000 m³/h en forma descendente, mínimo en tres oportunidades que estuvieran dentro del 3% del valor nominal exigido, como dato adicional la salida de alta frecuencia de casi 5000 pulsos/m³.

Figura 30. Dispositivo de transferencia COOMET B



Final Report COOMET Project No. 219/Sk – 00/B

Las incertidumbres reportadas variaron de entre 0.04% hasta 0.41%, a este nivel la corporación CDT de GAS podría, desempeñar un excelente papel en una comparación con incertidumbres de sus patrones de entre 0.1% y 0.2% para los

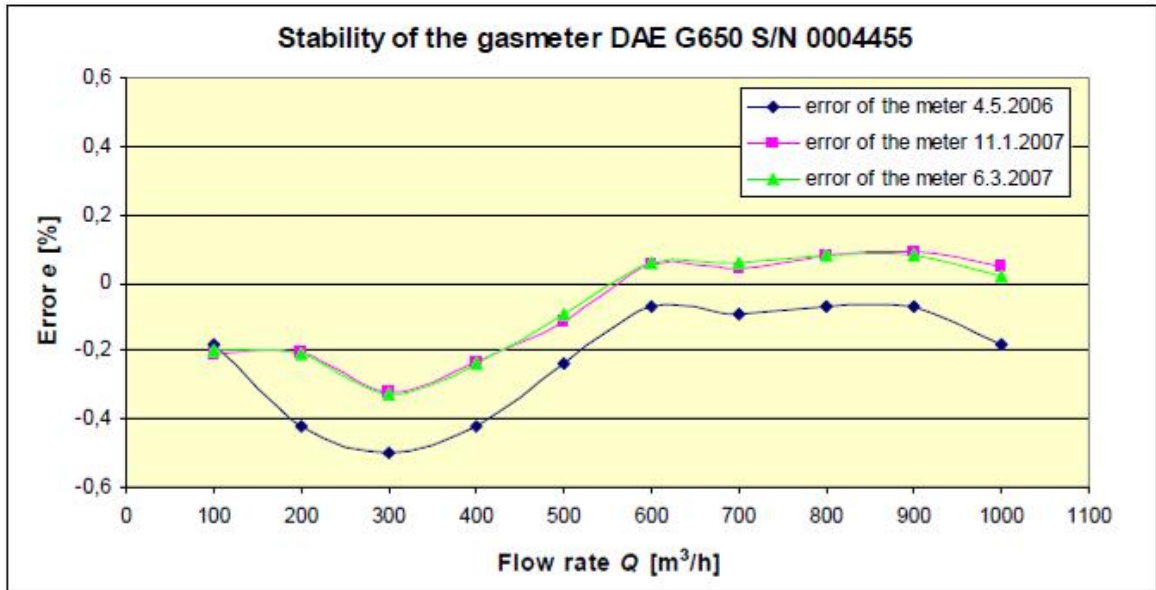
patrones de transferencia más estables, en su mejor capacidad de medida. Fue en esta comparación donde se reconoció laboratorios dependientes, y la variación en el tratamiento de los resultados.

Esta comparación dejó una lección valiosa, producto de la falta de caracterización del dispositivo de transferencia, la calibración inicial del laboratorio piloto se realizó en Mayo del 2006 y la final del ciclo se hizo en Enero del 2007, ambas en el SMU de Eslovaquia, las desviaciones encontradas por estabilidad del dispositivo de transferencia fueron excesivas, tras tres meses de investigaciones se concluyó que la causa obedecía a falta de horas de trabajo para conseguir estabilidad dinámica en la rotación de la turbina, algo popularmente conocido como despegue, para abril del 2007 se llevó a cabo nuevamente una calibración, que demostró la estabilidad esperada, presentación de resultados en la figura 31.

De todas maneras, la primera calibración también se tuvo en cuenta para valorar la estabilidad del dispositivo de transferencia que se evaluó asumiendo una distribución T de la desviación de la máxima diferencia de cada punto, el resultado fue 0.13% de incertidumbre por estabilidad, que es adecuado para el nivel de incertidumbres manejadas por los laboratorios.

El significado de la independencia de los laboratorios tiene que ver con la cadena de trazabilidad, dos tecnologías primarias por definición deben ser mutuamente independientes, pero si se utiliza una tecnología secundaria, como una turbina, rotativo, cámara húmeda, diafragma, el laboratorio de referencia, sería su laboratorio dependiente por tal razón el tratamiento de los datos de la comparación varía levemente, como lo explica Cox, esta comparación muestra tendidamente las posibles variaciones entre dependencias de laboratorios y su posible contribución al valor de referencia.

Figura 31. Estabilidad del Dispositivo en COOMET B



Final Report COOMET Project No. 219/Sk – 00/B

4.4. EURAMET Project No. 1006

Un proyecto de bastante cobertura, la participación de más de una docena de países, lo hacen ver uno de los proyectos más ambiciosos en cuestión de acuerdos, el programa inicio oficialmente en abril del 2008 y finalizó en Diciembre del mismo año, sorprendentemente el ciclo de comparaciones es de solo 9 meses, para todos los países mas dos repeticiones en el laboratorio piloto, esto se debe principalmente a dos razones, la primera es la ubicación estratégica de los países de los laboratorios participantes, siendo foco de concentración los países de Europa meridional, la segunda tiene que ver con el camino recorrido antes del inicio oficial del programa, el protocolo conceptualmente traía la herencia del K5 y K6, que todos los países siguieron muy de cerca, desde años atrás, con toda esa experiencia y de la mano del PTB de Alemania, como laboratorio experimentado líder y piloto del programa.

Figura 32. Dispositivo de transferencia EURAMET 1006



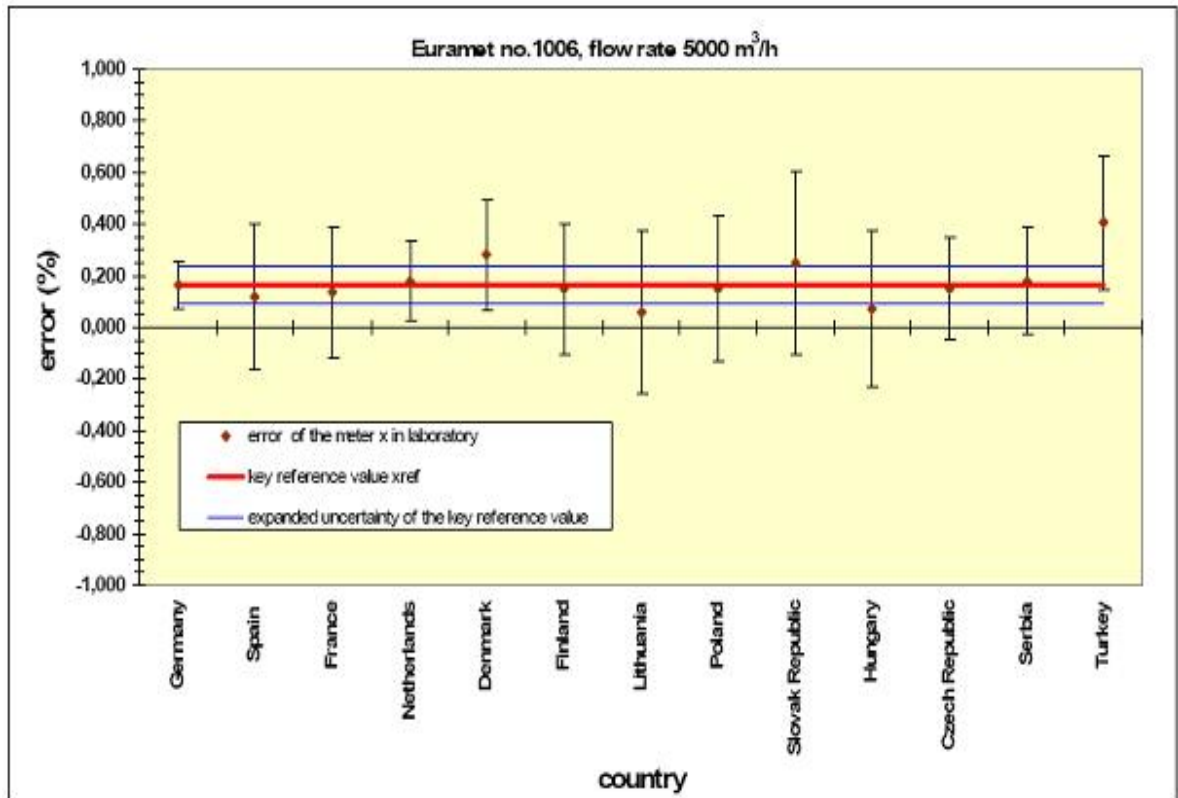
Final Report EURAMET Project No. 1006

Los laboratorios participantes fueron CMI - CEM - LNE LADG - VSL - FORCE - OY - LEI - GUM - SMU -CMI - TUBITAK UME - METAS – CMI de los países como, España, Francia, Holanda, Dinamarca, Finlandia, Lituania, Polonia, Eslovaquia, Hungría, Checoslovaquia, Serbia, Turquía y Suiza, la integración energética de la cadena trazabilidad de gas en Europa ya han sido evaluadas y muestra un excelente acuerdo, para un intervalo de medición que va desde 1000 m³/h hasta 10000 m³/h, es el momento en que el cono sur debe empezar con dichos programas, como el que lidera la Corporación CDT de GAS.

El medidor utilizado como dispositivo de transferencia fue una Turbina G6500 ELSTER, el mismo que el mostrado en la figura 32, DN 400 (16 in), de 371,2 pulsos/m³ sin lubricar, que al igual que en COOMET B, la embalaron sin los tubos de medición pero se exigía unas recomendaciones mínimas de tuberías aguas arriba y abajo para conseguir uniformidad, consiguiendo resultados esperados, ya que el acuerdo entre el valor convencional y la reportada por cada laboratorio salvo casos de valores extremos, no mayor a 0.3%, además, la incertidumbre

evaluada por estabilidad resultado adecuada, de solo 0.023%, en tres calibraciones diferentes realizadas por el laboratorio piloto.

Figura 33. Acuerdo entre participantes a 5000 m³/h



Final Report EURAMET Project No. 1006

La figura 33 muestra el acuerdo entre los valores convencionales y por laboratorio para flujo de 5000 m³/h, en este programa solo cinco laboratorios independientes los demás dependientes, se podría considerar entonces como el programa de comparación para el siguiente nivel, abajo, de la cadena de trazabilidad.

4.5. MM.FF-S3 Proyect N° 806

Utilizaron un par de Molblocs, ver figura 34, como dispositivos de transferencia son Manifolds donde va instalada una boquilla sónica con su respectivo juego de sensores con conexión por puerto serial RS 232, el fabricante reconoció la oportunidad de identificar mejoras y obtener herramientas de juicio para optimizar sus diseños, además, de la ocasión de mercadeo y publicidad al participar como proveedor en un programa de comparación.

EURAMET la organización metrológica regional RMO encargada, designó a NEL del Reino Unido como laboratorio piloto quien lideró un grupo de laboratorios participantes, de nuevo europeos como es la constante en estos programas - EIM (Grecia) – NMI (Holanda) – CMI (Checoslovaquia) – INRIM (Italia) -MIKES (Finlandia), METAS (Suiza) – PTB (Alemania) – LNE (Francia) – FI (Dinamarca) – UME (Turquía).

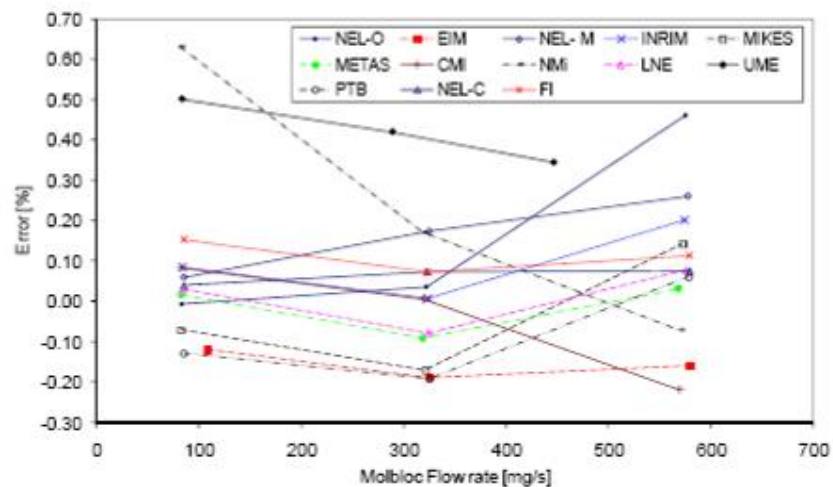
Figura 34. Molblocs



http://www.dhistruments.com/prod1/images/2007/RFM_Molbloc-L_01a_OL_m.jpg

El ciclo de comparaciones inicio en septiembre del 2005 y finalizo en Junio del 2007 con tres calibraciones hechas por el laboratorio piloto, la inicial, la final y una necesaria, producto de una fuga presentada en Checoslovaquia que no estuvo presente en los laboratorios anteriores, además METAS, también reporto una fuga, aguas abajo de la toma de presión, en ambos casos los accesorios fueron cambiados.

Figura 35. Acuerdo de participantes con Molbloccs B



Final Report MM.FF-S3 Proyect N° 806

El intervalo de comparación varía entre 0.06 m³/h y 25 m³/h, donde se presentaron problemas de inestabilidad especialmente a flujos más altos, se cree que el controlador es la causa de la inestabilidad, se atribuye a que no da el nivel requerido de control.

Debido a los problemas durante todo el transcurso del programa reportados por los laboratorios sobre dispositivo de transferencia, el análisis de los valores de

referencia presentó algunas dificultades, el primer borrador del reporte final fue discutido en reunión de EURAMET, Berlín febrero 2008, resultado de dicha reunión fue la exclusión de los valores de Holanda del reporte final. En la gráfica 35 podemos ver la gran desviación entre el valor de referencia y los datos evaluados por NMI y UME, en el Molbloc B.

4.6. CIPM KC for natural gas at high pressure CCM.FF-K5.a.1

Aprovechando la logística desarrollada en el K5, Canadá quiso adelantar un proceso de comparación bilateral, con PTB que resguardaba el patrón de transferencia del K5 que fue la turbina G650 Elster, el medidor ultrasónico no fue utilizado, en su lugar se utilizó otra turbina G650 RMG, mostrada en la figura 36, esta comparación también se hizo a altas presiones, el reporte final fue entregado en Junio del 2007, dos años después de que lo hiciera PTB con el K5.

Figura 36. Acuerdo entre dispositivos de transferencia en serie.



Dispositivo de transferencia (dos Turbinas)

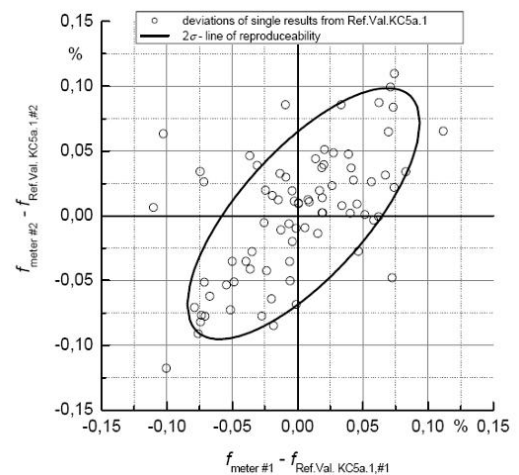


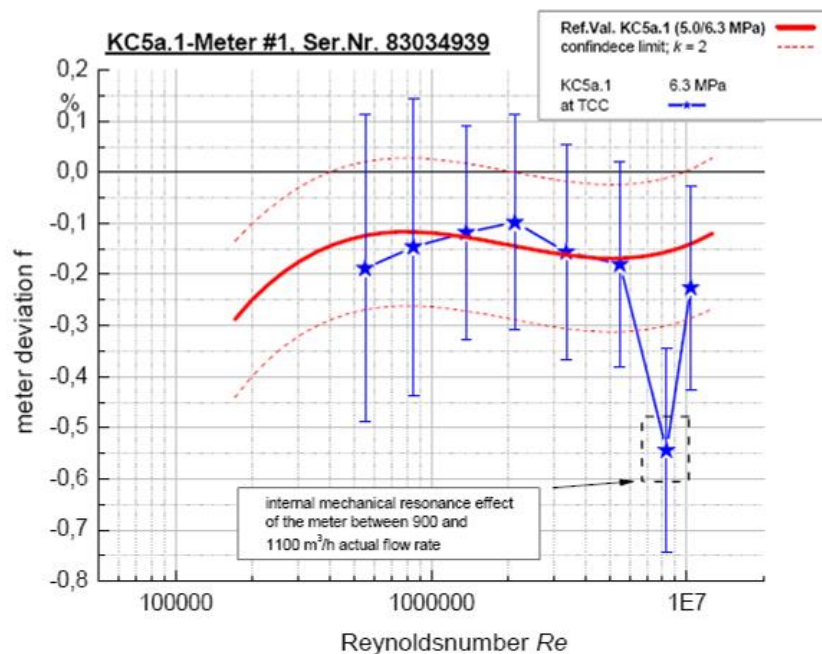
Diagrama de Youden

Final Report CIPM KC for natural gas at high pressure CCM.FF-K5.a.1

La figura 36, muestra también en el diagrama de Youden, el mejor acuerdo que hay entre la turbina G650 Elster y la G650 RMG de esta comparación, respecto G650 Elster y ultrasónico utilizados en el K5. El intervalo evaluado fue de 65 m³/h hasta 1250 m³/h, cada uno en 16, 35, 50 y 65 bar, con las dos turbinas puestas en serie, aprovechando la ventaja estadística de esta configuración serial al igual que en el K5 y K6.

Por prácticas frecuentes, la desviación del medidor bajo prueba es expresada en función logarítmica del número de Reynolds, se utilizó el método de mínimos cuadrados para hallar los coeficientes de la ecuación, para este caso el valor de referencia fue tomado como la media aritmética de los valores reportados. Se reportaron incertidumbres dominadas por la repetibilidad entre 0.04% y 0.078%, que se evaluaron conservativamente.

Figura 37. Efecto de resonancia



Final Report CIPM KC for natural gas at high pressure CCM.FF-K5.a.1

Para flujos aproximados de $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ la configuración sufre una desviación atípica de -0.6% fuera de la tendencia esperada de -0.2% , esto es atribuido a un efecto de resonancia en las instalaciones del laboratorio, como lo muestra la grafica 37, se descubrió que a partir de $1250 \text{ m}^3/\text{h}$ no hay detrimento tecnológico por este concepto.

CAPÍTULO 5

5. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA

A través de los años cada National Measurement Institute (NMI) desarrolló su intervalo de medición influenciado por diversas exigencias del mercado propias de cada país, esto conlleva a alcances de operación diferentes para NMI diferentes, por eso la Corporación CDT de GAS debió prever posibles laboratorios e intervalos de medición en los cuales posiblemente participaría, teniendo en cuenta por supuesto las proyecciones sobre consumo y demanda de gas en Colombia.

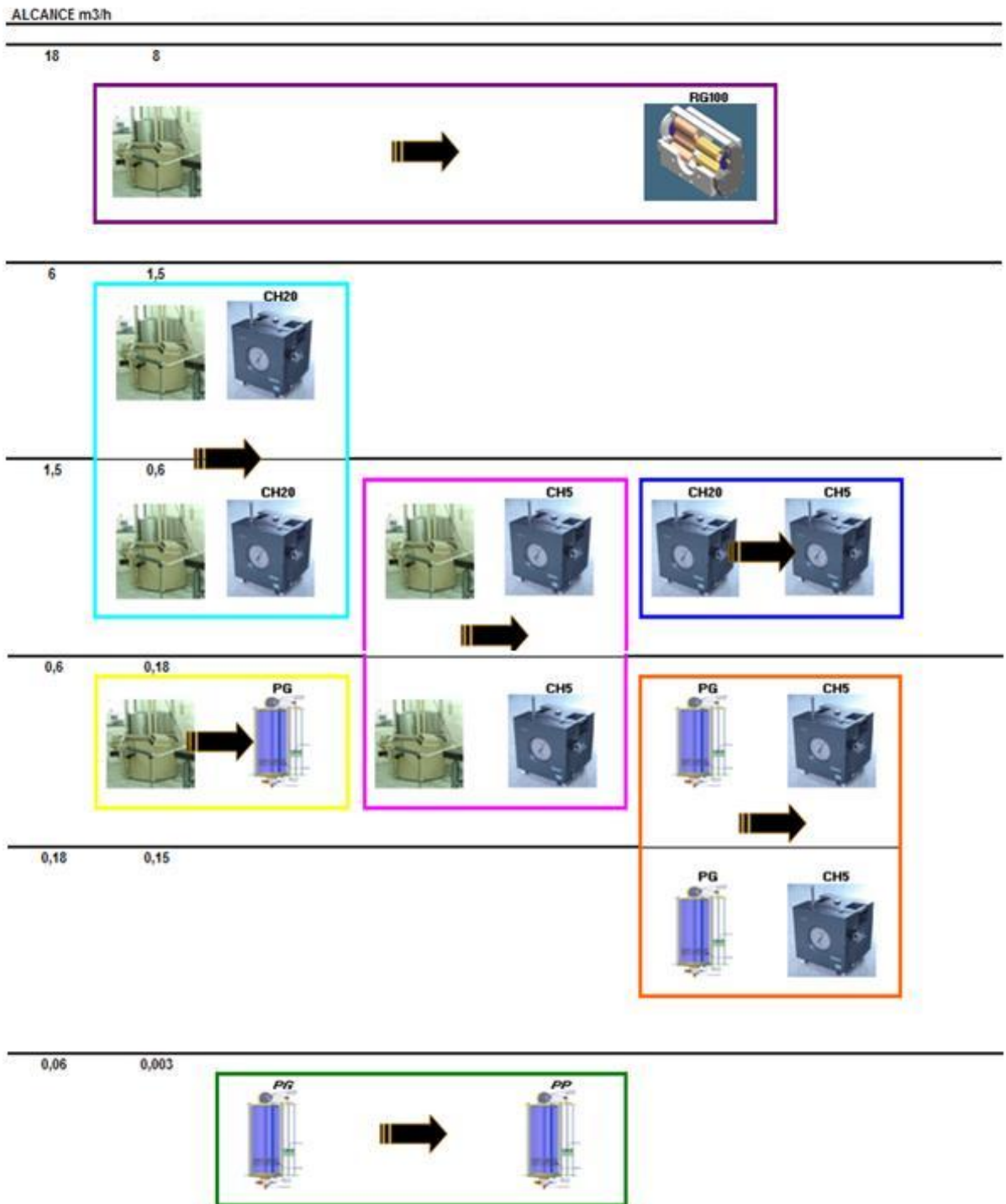
En el campo de la medición de flujo de gas se definen niveles de medición según las necesidades de la industria, uno para altas presiones lo que implica altos caudales, el siguiente a altos caudales a baja presión y por ultimo bajos caudales también a baja presión.

El campo de la metrología es bastante extenso y es una línea de la ingeniería que está en evolución en las universidades, la Corporación CDT de GAS por su parte ha venido desarrollando y mejorando progresivamente mediante buen entendimiento de los procesos que realiza y a través del estudio de las principales tecnologías de la medición de flujo de gas.

5.1. ESTUDIO DEL INTERVALO DE MEDICIÓN DEL CDT de GAS

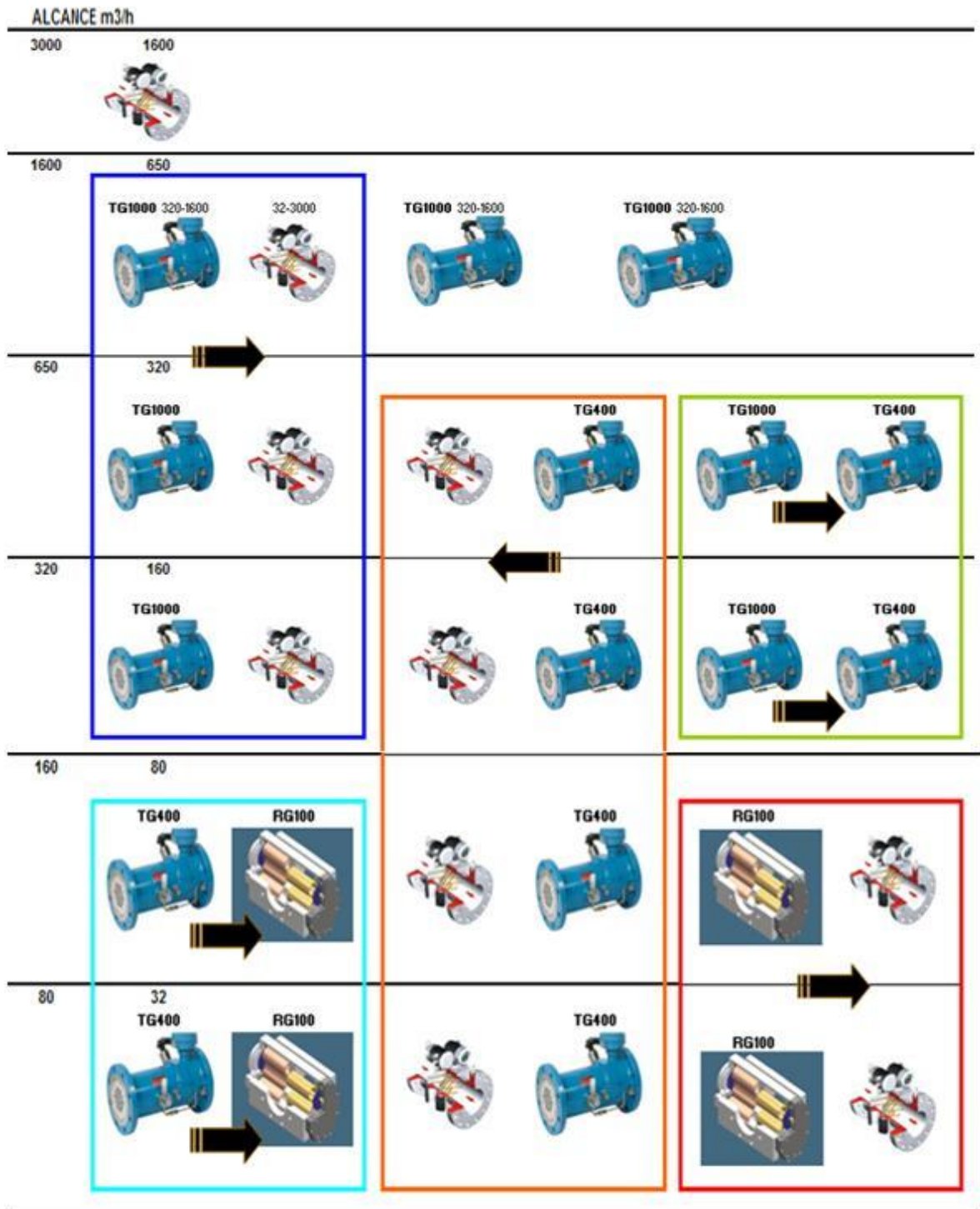
El primer paso fue elaborar un mapa de traslape de tecnologías de calibración utilizadas en la Corporación CDT de GAS, en el área de flujo de gas, el estudio permitió reconocer intervalos de calibración claves, para la evaluación del desempeño, el caso de 32 m³/h hasta 160 m³/h donde tres tecnologías se superponen turbinas, rotativos y ultrasónico, como se puede reconocer en la figura 38 y 39.

Figura 38. Mapa de traslapeo de tecnologías a altos caudales de la Corporación.



El Autor

Figura 39. Mapa de traslapeo de tecnologías a bajos caudales de la Corporación.



El Autor

Se debe aclarar que el medidor ultrasónico se encuentra en fase de caracterización para su uso como patrón de trabajo. A niveles más bajos, de 0,6 m³/h a 0,18 m³/h se superponen la Campana Gasométrica, cámaras húmedas y Pistón Prover, en contraste existen intervalos escasos de tecnologías de medición, el rotativo está disponible en un intervalo de 18 m³/h a 32 m³/h y el ultrasónico para 1600 m³/h hasta 3000 m³/h, la Corporación utiliza medidores tipo turbina en paralelo para lograr un alcance de medición cercanos a los 5000 m³/h, con baja incertidumbre y sobre cualquiera de estos puntos de caudal.

5.2. DISEÑO PRELIMINAR DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA A ALTOS CAUDALES

En la etapa de investigación y análisis de las normas y reportes internacionales relacionadas con la medición de flujo de gas, American Gas Association (AGA), International Organization for Standardization (ISO) y *Physikalisch - Technische Bundesanstalt (PTB)*, sobre medidores tipo turbina, ultrasónicos y toberas de flujo crítico (Boquillas sónicas), se abordó un diseño inicial para altos caudales, se seleccionó como dispositivo de transferencia un medidor ultrasónico y uno tipo turbina, puestos en serie, estas tecnologías son compatibles en esa configuración tal como se hizo y se demostró en el K5 a altos caudales y altas presiones.

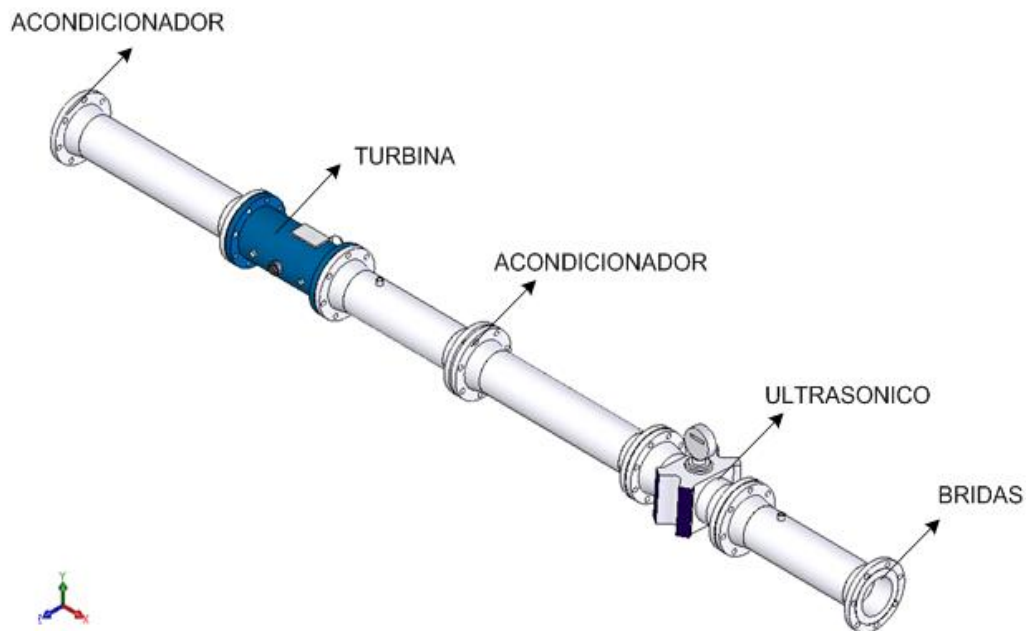
Este es un diseño que mejora el análisis de datos y el control estadístico ya que un valor atípico o un posible error sistemático podrán ser analizados por comparación de la desviación de las dos tecnologías en un gráfico de Youden de esta forma se podría inferir las posibles causas de fallo en la medición.

El diseño conceptual del dispositivo de transferencia para altos caudales es mostrado en la Figura 43, propuesto para instalaciones de diámetro nominal de 6

in. que es una dimensión típica en la industria. Este equipo se considera como dispositivo de transferencia o viajero, su función es circular entre instalaciones de laboratorios en comparaciones internacionales y nacionales.

El peso y el tamaño son variables decisivas de diseño y bien podría ser utilizado en un programa de comparación interlaboratorial cuando las condiciones financieras lo permitan. Se debe ser consciente de que el diseño propuesto más el embalaje pesan alrededor de 1200 kg y el costo asociado al transporte de carga en vuelo internacional oscila en un par de decenas de millones de pesos, sin contar con las dimensiones limitadas de carga en los aviones comerciales, por tanto es necesario diseñar dispositivos de transferencia más compactos, livianos y fáciles de transportar a un costo razonable.

Figura 40 diseño conceptual del dispositivo de transferencia propuesto para altos caudales



El Autor

5.3. FASE DE REDISEÑO Y BÚSQUEDA DE NUEVAS PERSPECTIVAS

Una nueva fase de investigación fue iniciada, se tomó como referencia toda la información disponible de la base de datos de los MRA del BIPM adelantadas entre NMI en lo que refiere al área de flujo de gas a fin de desarrollar un diseño realmente práctico sin sacrificar las bondades metrológicas y estadísticas necesarias para los procesos de comparación.

Para ello es necesario recordar la filosofía bajo la cual los acuerdos de reconocimiento mutuo MRA son adelantados, la cual propone reconocer que el trabajo de los diferentes laboratorios es válido, tanto como el trabajo propio, así los certificados de calibración son aceptados mutuamente entre los laboratorios participantes de una KC exitosa, desde ese punto de vista, se confía en las buenas prácticas metrológicas de los laboratorios participantes, en consecuencia en algunos programas de comparación es enviado solo el dispositivo de transferencia sin los tubos de medición, sin instrumentación secundaria y mucho menos sin computador de flujo, hasta el mismo procedimiento de calibración es propio de cada partícipe, lo único con lo que cuentan los laboratorios son las recomendaciones de instalación, dejando a cada participante como propio responsable de los buenos resultados de sus comparaciones, como lo hicieron en Project No. 219/Sk – 00/B, COOMET.

Para altos caudales la selección del dispositivo de transferencia obedeció al comportamiento de las diversas tecnologías en comparaciones internacionales, además de la vasta caracterización a la que una turbina de la Corporación ha sido sometida.

5.3.1. Capacitación

La Corporación brindó una capacitación sobre calibración de toberas de flujo crítico, donde se participó de primera mano en las actividades. Para iniciar se realizó mantenimiento del soplador y su sistema de refrigeración, como se muestra en la figura, este equipo propiedad del CDT de GAS fue adquirido para cubrir las necesidades de aspiración del banco de Toberas de Flujo Crítico, ya que operaba para una sola boquilla a un caudal de $250 \text{ m}^3/\text{h}$ y a presiones de vacío inferiores a 500 milibar absolutos, esta facilidad tecnológica, también fue desarrollado por personal de la Corporación en modalidad de Proyecto de Grado.

Figura 41. Soplador de 20 hp de potencia para generación de vacío



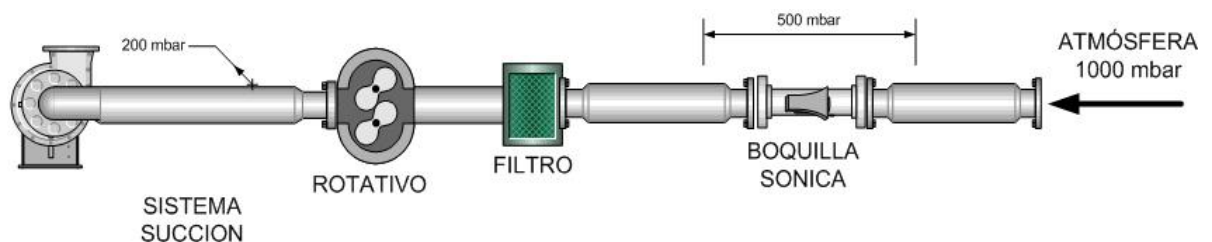
Manual de Equipos Corporación CDT de GAS

En la capacitación se buscaba calibrar un juego de Boquillas Sónicas Marca American Meter, el juego consistía de seis boquillas desmontables, el método de

ajuste y sellado se realiza por medio de rosca de apriete que deformar un o-ring en las caras planas del tubo de medición y la periferia de la boquilla para hacer sello. El montaje implicó su acoplamiento al banco de alto caudal de la Corporación y utilizar el soplador para generar flujo, se debió generar flujo de aire desde la atmosfera hacia los tubos de medición del juego y luego hacerlo pasar por las boquillas mismas, continuando el recorrido por el banco hasta llegar al filtro del medidor rotativo G100, para luego tomar las lecturas con este patrón.

Se realizaron muchos intentos para lograr la condición de bloqueo de las Boquillas Sónicas, con no muy alentadores resultados, no se lograba bloquear las boquillas aun llevando el soplador hasta los 250 milibares absolutos, las lecturas de caudal seguían en constante aumento, tendencia errática, ya que se esperaba que a los 500 milibar se bloquearan, estabilizando el caudal.

Figura 42. Diagrama esquemático del montaje de boquillas con problemas de deslizamiento.

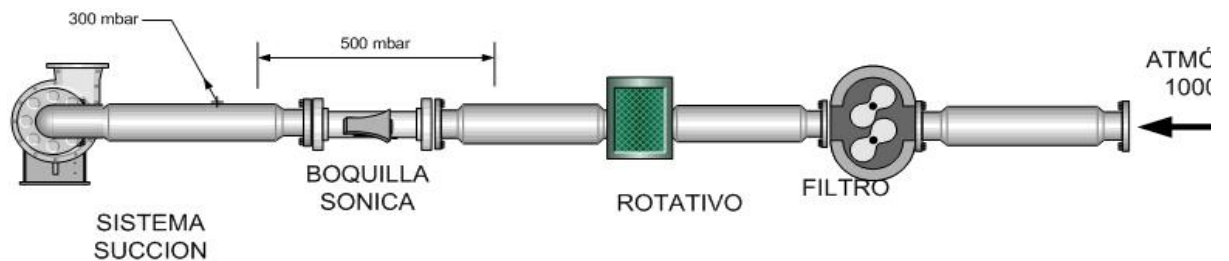


EL Autor

Profesionales del CDT de GAS, recomendaron invertir el orden de flujo por los medidores, pues se sospechaba que un posible efecto de baja densidad afectaba la medición de flujo en el rotativo, atribuido a las diversas pérdidas por configuración del sistema cuando operaba aguas abajo de las boquillas sónicas. Se debe recordar que la presión a la entrada de las boquillas, es la atmosférica, a

esto se suma la caída de presión para conseguir el bloqueo a no más de 500 milibar de vacío, también existen perdidas dinámicas por fricción en tubería, paso por codos, válvulas, ensanchamiento y contracción del sistema de flujo del banco de alta, además del filtro del rotativo antes de ser medido por el patrón.

Figura 43. Diagrama esquemático del montaje de boquillas sin problemas de deslizamiento.



El Autor

Una vez invertido el orden de los medidores, es decir, el medidor rotativo aguas arriba de las boquillas, fácilmente se encontraron las condiciones de bloqueo para todo el juego de boquillas, para mayor claridad vea la figura 43.

5.4. DISEÑO DE LOS PATRONES DE TRANSFERENCIA A BAJO CAUDAL

La fase de investigación brindó, además, de nuevas perspectivas en los dispositivos de transferencia a altos caudales, las soluciones óptimas para bajos caudales.

Toberas de flujo crítico y diafragmas también han sido utilizadas en KEY COMPARISON, pero las primeras brindan mejor estabilidad en el tiempo y a diversas condiciones de operación que los segundos incluso confrontados con la tipo turbina. Comúnmente las toberas de flujo crítico muestran buena estabilidad durante unos sorprendentemente 30 años, con intervalos de re calibración de

cinco (5), difícilmente es posible conseguir este tipo de estabilidad en otro tipo de medidores de flujo de gas.

5.4.1. Requerimientos de diseño

El diseño de las boquillas sónicas como tal, es un proceso delicado, en Colombia no existe la precisión requerida de maquinado para lograr cumplir con las recomendaciones de diseño dadas por la ISO 9300, a bajos caudales, solo a partir de 12 m³/h se pueden conseguir a nivel local con el desempeño metrológico necesario.

El proveedor a nivel internacional para el CDT de GAS de este tipo de boquillas es TETRATEC INSTRUMENT de Alemania el cual abasteció con 6 toberas de flujo crítico que varían de 0,02 m³/h hasta 10 m³/h. En Colombia y en el marco de un proyecto ejecutado por la Corporación se lograron fabricar, validar y calibrar siete boquillas que van desde 14 m³/h hasta 250 m³/h, los requerimientos están basados en la norma internacional ISO 9300.

Una vez obtenidas las boquillas sónicas, se procedió a diseñar un inserto para incrustar las boquillas, el objetivo de dicho procedimiento fue alinear las dimensiones de cada boquilla con tubería comercial los siguientes requerimientos de diseño.

- a. Las boquillas seleccionadas cumplían con los requerimientos de diseño de la norma ISO 9300 como se ve en la figura 44.

Rugosidad aritmética promedio (Ra) del plano de entrada sección (1) < 4 μm

Ra de la sección toroidal de la garganta (3) garganta < 15 x 10⁻⁶ d.

Ra de la sección divergente de salida (4) garganta < 10 x 10⁻⁴ d.

Desviación de la forma toroidal < 0,001 d

sensibles en el diseño. El grupo de boquillas quedó distribuido por el criterio dado por ISO 9300, mostrado en la última columna, la velocidad debe ser menor de 15 m/s, los resultados están dados en la siguiente tabla.

Tabla 3. Requerimientos de Diseño

Qv	d	L	Dbor	Diso	Dbod	DNt	Dint	insert	v
m³/h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	m/s
0,02	0,19	12	8	0,8	14	3/4	21,90	7,90	0,01
0,06	0,33	12	8	1,3	14	3/4	21,90	7,90	0,04
0,25	0,68	12	8	2,7	14	3/4	21,90	7,90	0,18
1	1,35	12	8	5,4	14	3/4	22,00	8,00	0,73
4	2,69	40	19	10,8	25	1 1/2	41,90	16,90	0,81
10	4,25	40	19	17,0	25	1 1/2	41,90	16,90	2,01
3	2,32	40	30	9,3	30	1 1/2	41,90	11,90	0,60
12,5	4,71	40	30	18,8	30	1 1/2	41,90	11,90	2,52
25	6,67	160	30	26,7	30	1 1/2	42,00	12,00	5,01
50	9,43	160	52	37,7	58	3	88,90	30,90	2,24
100	13,35	160	52	53,4	58	3	88,90	30,90	4,48
150	16,35	160	52	65,4	58	3	88,90	30,90	6,71
250	21,10	160	52	84,4	58	3	88,90	30,90	11,19

La siguiente fase de diseño consistió en el dimensionamiento de los tubos de medición, según especificaciones dadas por la misma norma, las cuales incluyen distancias recomendadas para las tomas de presión y temperatura, el diámetro y la altura de dichas tomas.

Las dimensiones manejadas en la tabla 4 sigue las recomendaciones de:

DT	<i>Diámetro máximo de termopozo 0,08*Diámetros de tubería (D)</i>
HP	<i>Altura de toma de presión menor a 2,5*DT.</i>
LPD1	<i>Longitud recomendada de toma de presión aguas abajo 1*D</i>
LPU	<i>Longitud de diseño de toma de presión</i>
LPU1	<i>Longitud máxima de toma de presión aguas arriba 1.1*D</i>
LPU2	<i>Longitud mínima de toma de presión aguas arriba 0.9*D</i>
LT	<i>Longitud recomendada de toma de termopozo aguas arriba 2*D</i>
LTU	<i>Longitud de tubería mínima aguas arriba 5*D</i>

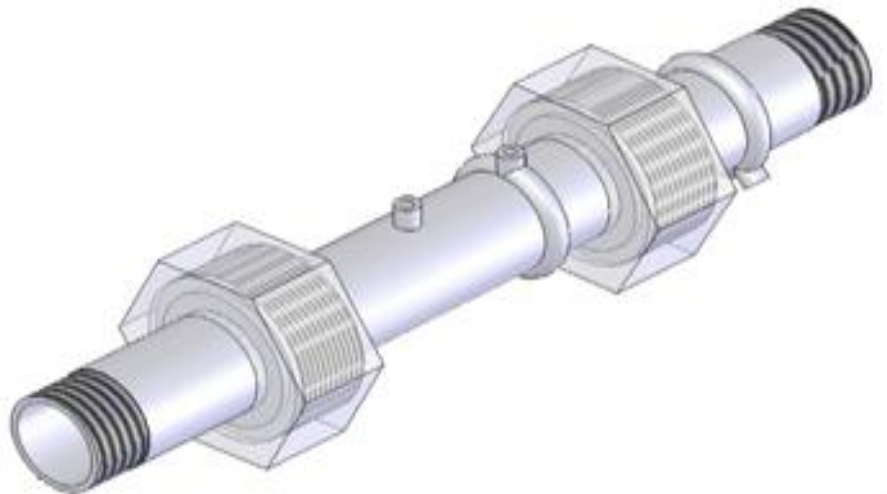
Tabla 4. Requerimiento tubería según ISO 9300

LTU	DP	LPU1	LPU2	LPU	LPD1	LPD	HP	DT	LT
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
112	1,8	21,7	26,1	23,7	11,0	19	4,4	0,88	43,4
112	1,8	21,7	26,1	23,7	11,0	19	4,4	0,88	43,4
112	1,8	21,7	26,1	23,7	11,0	19	4,4	0,88	43,4
112	1,8	21,8	26,2	23,8	11,0	20	4,4	0,88	43,6
214	3,4	41,7	50,1	46	21,0	57	8,4	1,68	83
214	3,4	41,7	50,1	46	21,0	57	8,4	1,68	83
214	3,4	41,7	50,1	46	21,0	57	8,4	1,68	83
214	3,4	41,7	50,1	46	21,0	57	8,4	1,68	83
214	3,4	41,8	50,2	46	21,0	58	8,4	1,68	84
424	7,1	80,0	97,8	87	44,5	44,45	17,8	3,56	167
424	7,1	80,0	97,8	87	44,5	44,45	17,8	3,56	167
424	7,1	80,0	97,8	87	44,5	44,45	17,8	3,56	167
424	7,1	80,0	97,8	87	44,5	44,45	17,8	3,56	167

La siguiente fase implicó el diseño del sistema de conexión entre tubería para la cual se requería de lo siguiente:

- a. Fueran fácilmente desmontables, entonces, la concepción era de ajuste rápido. Se necesitaba un mecanismo de conexión y desconexión realmente práctico.
- b. Sin olvidar que son dispositivos de transferencia y es preciso que sean los más livianos y compactos posibles.
- c. Cuidando preferiblemente de dejar una conexión que no necesitara máquina o herramienta para el apriete, ya que podría deformar la tubería y los insertos, de esta manera afectaría la estabilidad del dispositivo de transferencia.
- d. Para el sistema de tuberías más grande, 3 in, es conveniente dejar como sistema de conexión las bridas ANSI 150 *figura50*, así el primer diseño consideró tuercas de apriete como las mostradas en la *figura 47*.

Figura 45. diseño inicial con tuercas de apriete



El Autor

Este diseño presentaba serias desventajas respecto a las necesidades del dispositivo de transferencia, demasiado robustas y no brindaban la facilidad de

ajuste rápido de forma satisfactoria. Una nueva propuesta fue evaluada, las conexiones en forma de Clamps que son utilizadas en conexiones sanitarias a vacío, mejorando las condiciones de ajuste rápido y al mismo tiempo son de configuración más ligera, característica ideal para el transporte de los paquetes de transferencia.

El anexo A muestra los planos de construcción de los sistemas de tubería, que cumplen con la mayoría de las recomendaciones dadas en las tablas 3 y 4. Basados en el sistema de conexión tipo clamp para las más pequeñas y conexión bridas para las 4 más grandes.

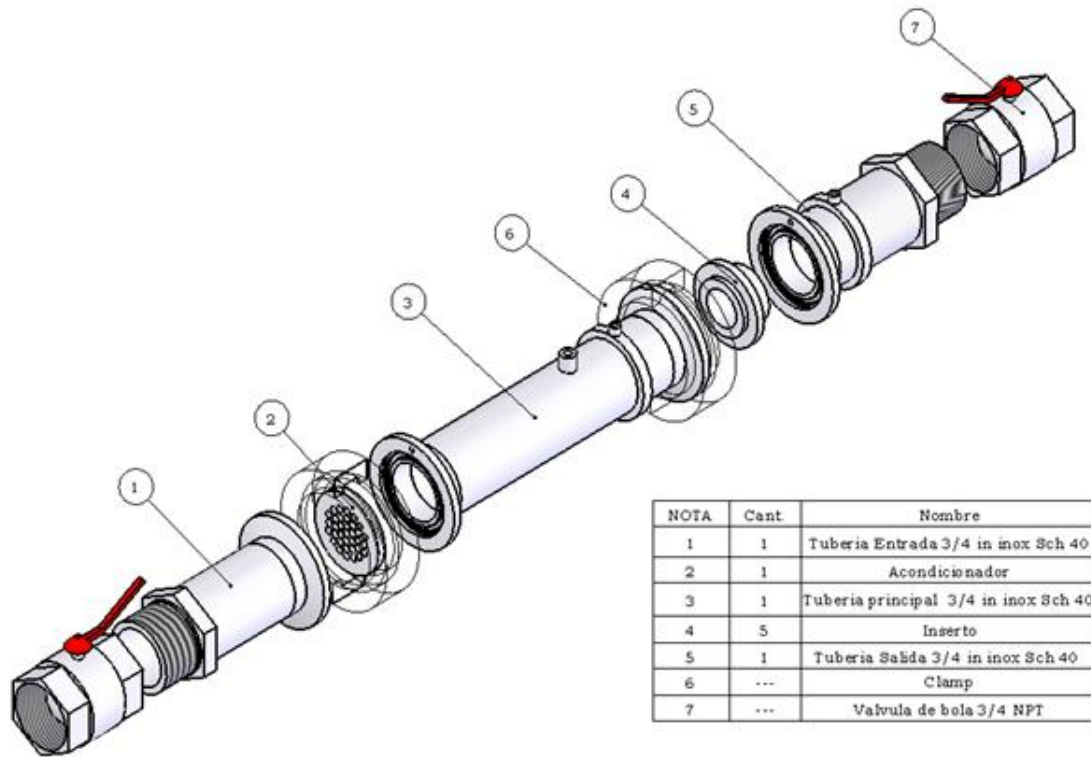
Figura 46. Sistema de Clamp.



El Autor

En el proceso se evidenció diferencias dimensionales entre la norma de la ISO para vacío y el Schedule comercial para acero inoxidable, siendo la mayor de 2 in para férulas. Por esto, fue necesario redimensionar la tubería para las boquillas medianas hasta 1 ½ pulgadas, sacrificando un poco la velocidad que se incrementó hasta 5 m/s, la *figura 3* muestra todo el montaje con la tecnología de Clamps para la conexiones rápidas.

Figura 47. Montaje de Clamps para ¾ in.



El Clamp no está completamente visualizado

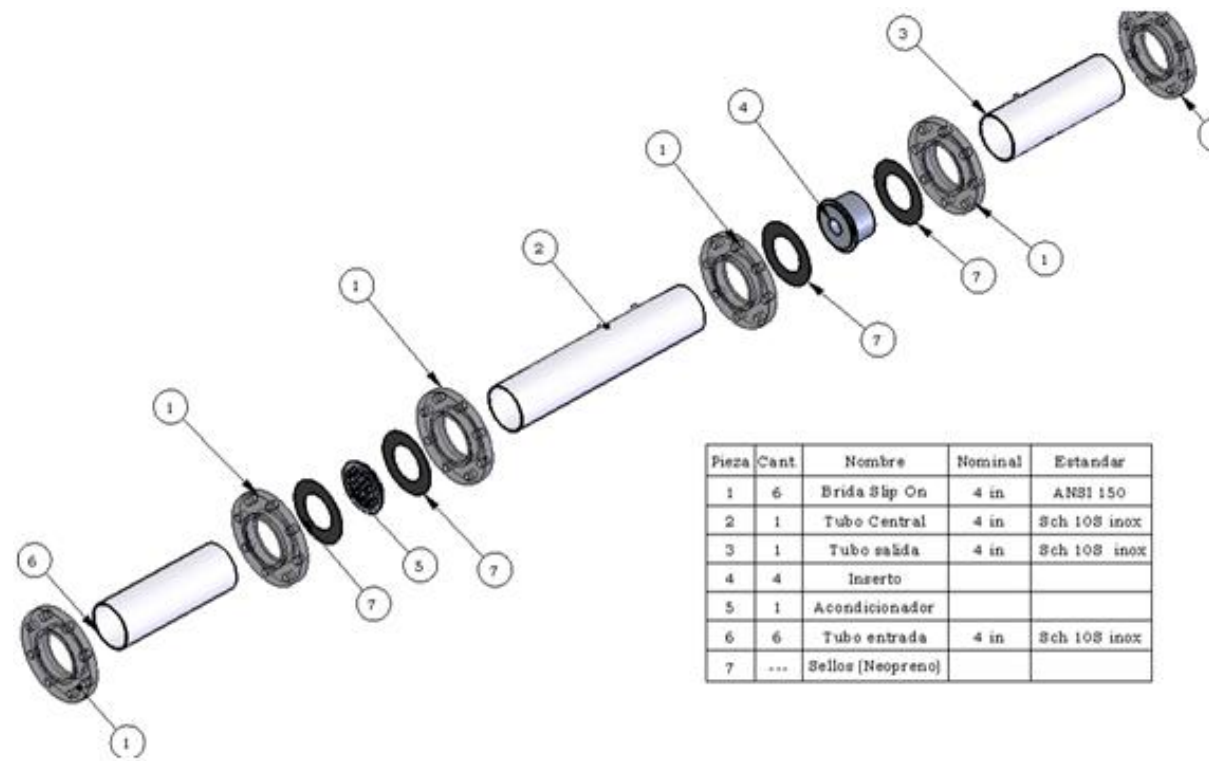
El Autor

La empresa ANCORP de Pensilvania, fue el proveedor de Clamps tras su vasta experiencia con esta tecnología, respecto a las férulas (bridas) para tales Clamps

si fue necesario diseñarlas y construirlas, ya que incluyo el diseño de la base para el sellado por o-ring.

El juego de cuatro boquillas más grandes resulto un desafío adicional, la construcción en acero inoxidable que fue previsto para los tubos de medición, violaban un principio fundamental de diseño y era el peso total del montaje oscilaba alrededor de los 45 Kg, se tomó la decisión de utilizar Aluminio, el cual redujo el peso casi en una tercera parte. En Colombia es difícil encontrar aluminio con las características necesarias, por eso se importó desde METALS DEPOT Miami, quien nos suministró placas de 1 in y tubería con las características de rugosidad, concentricidad y circularidad aptas para nuestra aplicación.

Figura 48. montaje 4 in sistema de Bridas



Pieza	Cant.	Nombre	Nominal	Estandar
1	6	Brida Slip On	4 in	ANSI 150
2	1	Tubo Central	4 in	Sch 10S inox
3	1	Tubo salida	4 in	Sch 10S inox
4	4	Inserto		
5	1	Acondicionador		
6	6	Tubo entrada	4 in	Sch 10S inox
7	...	Sellos (Neopreno)		

El Autor

A tener en cuenta que las dimensiones comerciales de tubería de aluminio no coinciden con las dimensiones comerciales de acero inoxidable, por otro lado, los Clamps no se fabrican comercialmente para diámetros nominales mayores a 2 in, por eso el montaje de 3 in. no se diseño con este sistema de todas formas la conexión tipo brida resulta satisfactoria para este tamaño junto con sellado por neopreno o por sello espiro metálico

5.5. CONSTRUCCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE TRANSFERENCIA

El proveedor seleccionado para la fabricación y maquinado cumplía con las condiciones de exactitud, conocimiento técnico y experiencia, en la fabricación de este tipo de Dispositivos, y recomendó algunas pequeñas desviaciones en la fabricación respecto al diseño original.

Para el montaje más pequeño de $\frac{3}{4}$ in, se había definido un piezómetro en forma de canal para las tomas de presión, basados en el juego de boquillas del fabricante Flow System, este canal debía ser soldado a la tubería circunferencialmente. Luego de evaluar los daños por deformación de la tubería al aplicar la soldadura, se concluyó que afectaban de manera significativa la circularidad local, produciendo una distorsión de inaceptable flujo. Adicionalmente la escasa distancia entre la toma de presión y temperatura impedían realizar este trabajo.

Se decidió utilizar una barra de mayor diámetro y por maquinado dejar la toma de presión y temperatura, de todas formas para el montaje de 1 $\frac{1}{2}$ in si se pudo realizar el piezómetro en forma de canal y soldarlo, proceso de construcción mostrado en la figura 49.

Figura 49. Montaje ¾ in en construcción



El tamaño imposibilito la soldadura del piezómetro, bloque completo.

El Autor

Por razones similares, el sistema de sellado para la toma de temperatura tuvo que ser modificado, se debió aumentar unos milímetros más el espesor. Por otro lado para el montaje intermedio, fue posible soldar el bushing de temperatura y el piezómetro como se ve en la figura 50.

Figura 50. Tubo principal montaje 1 ½ in



Fue posible soldar el piezómetro y el bushing de temperatura.

El Autor

Para el montaje más grande, el peso de las boquillas resulto poco práctico, esto fue evaluado en la construcción al montar la boquilla más grande en el inserto fabricado de acero inoxidable, el problema es que a veces es necesario manipularlo a una sola mano, y el peso y el tamaño hacen difícil manejar este inserto. Para las demás boquillas se tomó la decisión de embeberlas en una camisa de plástico, que resulta multipropósito al reducir el peso, darle mayor estabilidad al aislar la boquilla térmicamente, la inserción resulta más sencilla y el desmontaje también, si alguna vez se considera.

Figura 51. Boquillas sónicas insertas, montaje 3 in



El Autor

En la fabricación del acondicionador de flujo tipo Mitsubishi, debió evaluarse la distancia mínima entre agujeros y estimar, la mínima necesaria para la cual el maquinado no deformará la pared adyacente de otro agujero, en ninguno de los tres acondicionadores la distancia mínima de pared es menor a 1.8 mm.

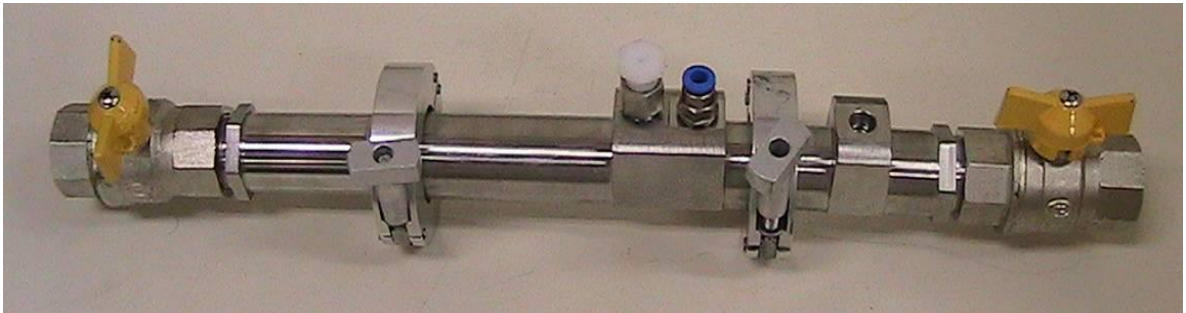
Figura 52. Acondicionador de flujo



El Autor

El diseño final para los tres montajes es el mostrado en la figura 53.

Figura 53. Montaje final



El Autor

La figura 54 y 55, muestran los componentes principales de los dispositivos de transferencia diseñados, note las diferencias de construcción entre el montaje de $\frac{3}{4}$ in a la izquierda y el de $1 \frac{1}{2}$ in a la derecha.

Figura 54. Juego final ¼ in y 1 ½ in.



El Autor

El color negro del montaje más grande se debe a que los tubos de medición pasaron por un proceso de sand blasting y posterior anodizado.

Figura 55. Juego 3 in



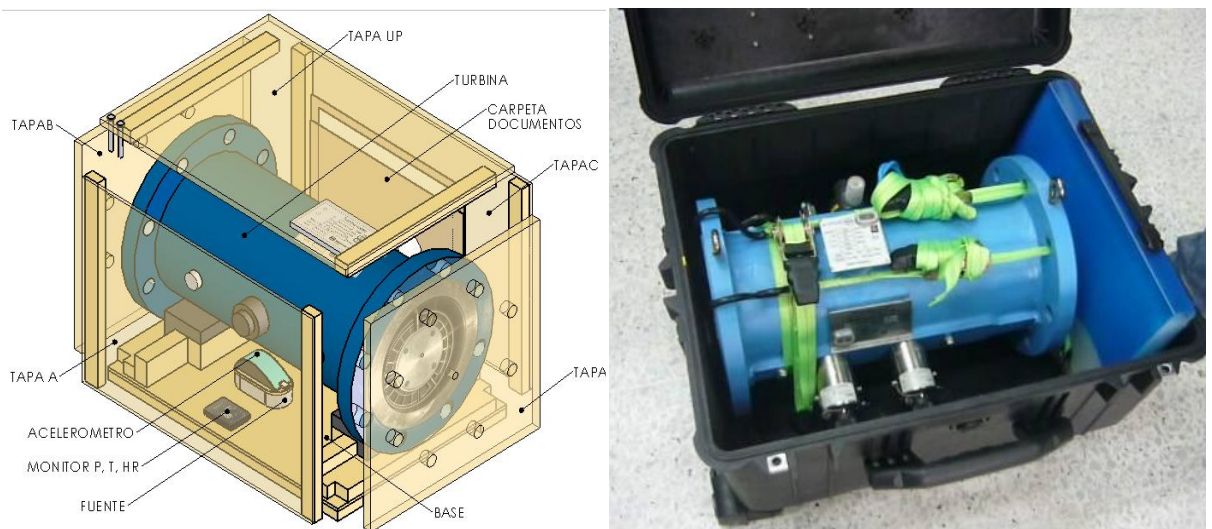
El autor

5.6. PAQUETE DE TRANSFERENCIA Y SISTEMA DE MONITOREO.

5.6.1. Embalaje

Para la protección de los dispositivos de transferencia durante viajes, es necesario utilizar un embalaje seguro, normalmente es utilizada una caja de madera, opción tenida en cuenta y rechazada porque se considera que no protegería satisfactoriamente el contenido, figura 56, respecto a impacto y condiciones extremas de humedad y temperatura a las que podría estar sometido, en su lugar fue elegida una caja del proveedor PELICAN CASE Torrance, fabricada de polipropileno liviano y de alta densidad, óptima para esta aplicación.

Figura 56. Embalaje de dispositivos de transferencia



El Autor

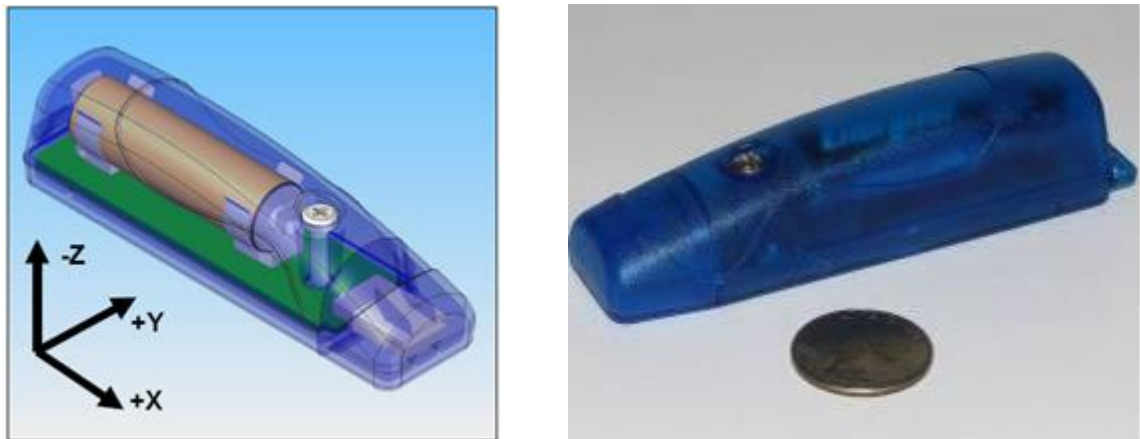
Fue necesario perforar la caja para ajustar unos cáncamos que sirvieron de soporte para tensionar las eslingas que sujetan el dispositivo de transferencia, se

hizo un análisis de falla por cortante y por fatiga donde se utilizó un factor de seguridad de 2, que resulta conveniente por que el tipo de material presenta buen comportamiento a esfuerzos cíclicos.

5.6.2. Acelerómetro

Se decidió utilizar un dispositivo que registrará las condiciones de transporte de los paquetes de transferencia.

Figura 57. Acelerómetro GCDC Data concepts



<http://www.gcdadataconcepts.com/xlr8r-1.html>

El proveedor fue la empresa GCDC DATA CONCEPTS de Waveland, debido a que en Colombia este dispositivo no es comercial, los requerimientos de selección fueron los siguientes:

- Frecuencia de muestreo superior a 35 Hertz.
- Excelente autonomía y modo de ahorro de energía.
- Resolución menor a 0.01 m/s^2 .
- Intervalo de medición hasta 6 m/s^2 .

- Registro de aceleraciones en los tres ejes.
- Software gratuito de alta compatibilidad, Economía.
- Conexión estándar a USB o RS 232.

La interfaz del software del acelerómetro seleccionado finalmente es mostrada en la figura 58

Figura 58. Interfaz analizador de impactos



<http://www.gcdataconcepts.com/xlr8r-1.html>

El transporte internacional en el cono sur, en algunos casos podría durar 15 días, desde el momento en que es embalado el Dispositivo de Transferencia en el laboratorio remitente, contando el desplazamiento hasta el aeropuerto más cercano y luego hasta un aeropuerto internacional vía aérea. Se debe esperar la inspección de aduana en presencia de funcionarios del laboratorio, una vez cumplido esto el paquete vuela hasta el país de destino, nuevamente se debe contabilizar el tiempo hasta la respectiva inspección de aduana y nacionalización del paquete en presencia de funcionarios del laboratorio destinatario y por último el desplazamiento hasta las instalaciones de este.

Estas consideraciones fueron tenidas en cuenta a la hora de evaluar la selección del acelerómetro, la elección óptima y económica implicaba la instalación de una fuente independiente al acelerómetro para cumplir con quince días de autonomía requeridos.

Nuestros requerimientos nos llevaron a diseñar un cuerpo de acelerómetro que contuviera el dispositivo de forma segura y que además incluyera la nueva fuente de alimentación, figura 59, que consta de dos baterías tipo D en paralelo, para mantener el voltaje de operación y al mismo tiempo alargar la vida útil, se necesitó también seleccionar el tipo baterías aceptadas para vuelos internacionales sin mercurio y cadmio, además de, bajo contenido de litio etc., y todos los requisitos de seguridad aérea exigidos por organismos internacionales principalmente la IATA (Asociación de Transporte Aéreo Internacional).

Figura 59. Dispositivo final acelerómetro, nueva fuente de alimentación



El Autor

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES

El alcance de este proyecto no incluyó la toma de resultados, análisis de datos, identificación de las posibles acciones de mejora, etc. Ya que la realización de todas las pruebas propuestas demanda recursos económicos, humanos y financieros considerables, los procesos de evaluación son procesos lentos y concienzudos que pueden ser considerados una herramienta de mejora continua, por el momento la inversión inicial es suficiente para emprender los procesos de comparación tanto internos (intralaboratoriales) como externos (interlaboratoriales) es claro que la estrategia de comparación interna replica a la externa y sigue los lineamientos de las comparaciones internacionales KC's,

6.1. ESTRATEGIAS DE COMPARACIÓN PROPUESTAS

La propuesta de realización de pruebas está contenida en la matriz de experimentos mostrada en las tablas siguientes, un cálculo rápido del tiempo necesario para llevar a cabo la totalidad de las pruebas solamente de los montajes de boquillas sónicas como dispositivos de transferencia, tardaría más de un mes con un solo operador y con todos los recursos técnicos disponibles, esto claramente es una tarea que no podría llevarse de ese modo. La Corporación paulatinamente emprenderá las pruebas y avanzará de apoco en el proceso, el objetivo es tener evidencia y resultados de los programa de comparación para el 2011.

La tabla cruzada 5 muestra los puntos de caudal definidos por las boquillas que deben ser evaluados por los patrones de transferencia, con miras al proceso de comparación intralaboratorial. Este proceso ya empezó a ejecutarse en los puntos

que están señalados en rojo, con valores de estabilidad e incertidumbre muy satisfactorios como se había esperado.

Tabla 5. Matriz de experimentos, para boquillas sónicas.

BOQUILLAS SÓNICAS COMO DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA													
Patrones del CDT de GAS	MONTAJE BAJOS CAUDALES 3/4				MONTAJE MEDIOS CAUDALES 1-1/2					MONTAJE ALTOS CAUDALES 3			
	0,02	0,06	0,25	1	3	4	10	12,5	25	50	100	150	200
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
PISTÓN P.	X												
PISTÓN G.	X	X	X										
CAMPANA		X	X	X	X		X						
CÁMARA H1		X	X	X									
CÁMARA H2			X	X		X							
ROTATIVO						X	X	X	X	X	X	X	
TG 400										X	X	X	X

De otro lado un segundo proceso de la Corporación es la comparación interlaboratorial, pensado para altos caudales, con una turbina G 650, que circulará entre laboratorios interesados.

Los puntos de caudal que deben ser acordados por el comité técnico y laboratorios participantes son mostrados en la tabla 6, se pretende alinear todos los demás patrones de referencia del banco de alto caudal de la Corporación con los valores de referencia que arroje la comparación con otros laboratorios, utilizando evidentemente el mismo dispositivo de transferencia.

Tabla 6. Puntos de Caudal de la Comparación Interlaboratorial propuesta.

Patrones del CDT de GAS	Comparación Interlaboratorial									
	160	240	320	400	480	640	880	1120	1360	1600
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
TG 1000 1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TG 1000 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TG 400	X	X	X	X	X	X				
ROTATIVO	X									

La siguiente matriz tabla 7 es propuesta con el fin de cubrir todo el intervalo de medición del banco de alta, ya que se debe hacer un esfuerzo adicional, para calibrar boquillas sónicas con el medidor rotativo del banco de alto caudal, el desmonte del medidor para la calibración de boquillas como se utilizó en la capacitación.

Tabla 7. Puntos de caudal restantes del banco de alta.

Patrones del CDT de GAS	BANCO DE ALTO CAUDAL									
	32	40	50	60	75	80	90	100	120	175
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
ROTATIVO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
TG 400	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ULTRASÓNICO						X		X	X	X

6.2. PRIMEROS RESULTADOS

6.2.1. Comparación entre medidores primarios

La Corporación adelantó un proceso de comparación con otros dispositivos de transferencia. Un proceso de comparación entre la Campana Gasométrica y el medidor tipo Pistón donde se utilizó un medidor tipo cámara húmeda, por motivos de disponibilidad, como dispositivo de transferencia en el intervalo de medición de 0,67 dm³/min hasta 8,33 dm³/min, el procedimiento de comparación se desarrolló con las mismas pautas dadas en este documento, finalmente se comprobó el acuerdo entre los dos medidores primarios de la Corporación, el resumen de resultados es mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 8. Resumen de resultados entre medidores primarios de la Corporación

PATRÓN	CAUDAL dm ³ /min			
	0,67	2,1	4,1	8,3
CAMPANA	ok	ok	ok	ok
PISTÓN	ok	ok	ok	ok

El **ok** da razón del error normalizado menor a 1 para ese punto de caudal, como se definió en el capítulo 2.

De forma tal que se cumplieron los siguientes objetivos:

- Se evaluó de manera objetiva la competencia del laboratorio de calibración de medidores de volumen de gas del CDT de GAS, evidenciando la coherencia

entre los resultados de los dos (2) patrones primarios: tipo “Campana Gasométrica” y tipo “Pistón Prover”.

- b. Los patrones primarios Campana Gasométrica y Pistón Prover son comparables, en el intervalo de medición evaluado en la comparación interna, de $0,27 \text{ dm}^3/\text{min}$ a $8,3 \text{ dm}^3/\text{min}$.
- c. Se permitió establecer la coherencia entre los resultados obtenidos con los métodos utilizados por el laboratorio CDT de GAS para medición de volumen y flujo de gas entre Campana Gasométrica y Pistón Prover.

6.2.2. Caracterización del dispositivo de transferencia de más bajos caudales

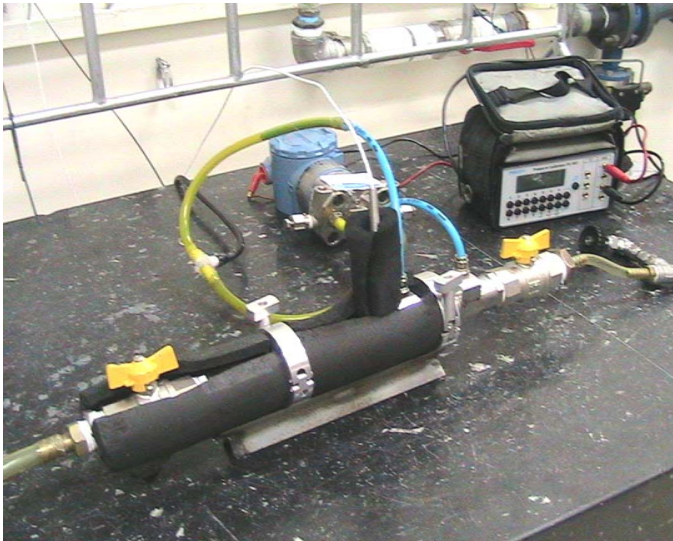
Se realizó el montaje del dispositivo de transferencia en el patrón tipo Pistón, y se obtuvo la curva de bloqueo de las boquillas más pequeñas, $0,02 \text{ m}^3/\text{h}$, $0,06 \text{ m}^3/\text{h}$ y $0,25 \text{ m}^3/\text{h}$, la forma de obtener esta curva es como sigue: ir cerrando el Bypass a la salida de la boquilla a fin de aumentar gradualmente el vacío en dicho punto, la válvula de aguja permite la regulación de caudal necesario para obtener presiones de aproximadamente 50 mbar de vacío cada vez, hasta completar los 650 mbar a la salida de las boquillas es decir unos 250 mbar absolutos de presión y así cumplir con la relación de presión para lograr las condiciones de bloqueo..

Se debe recordar que la presión a la entrada del dispositivo se mantiene constante por efectos de la presión positiva creada por el descenso del Pistón y que la relación de bloqueo teórica es de 0,53.

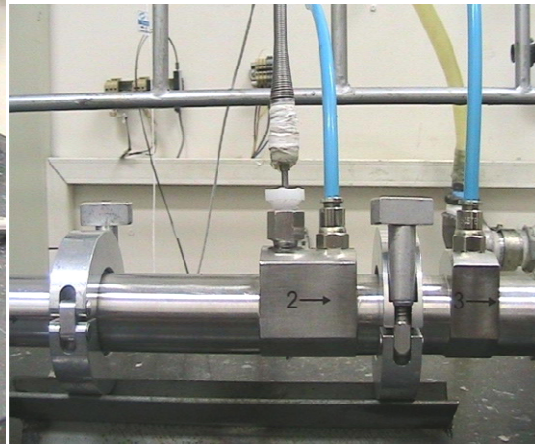
Las lecturas de caudal se registraron junto con el diferencial de presión, se completó la tabla siguiente y se graficaron los datos enmarcados en negro Caudal

Vs Relación de presión, que da la curva de bloqueo, finalmente la calibración se realizó en el punto señalado en verde.

Figura 60. Montaje de caracterización.



Todo el montaje



Tomas de presión y temperatura



Válvula By Pass



Bomba de succión

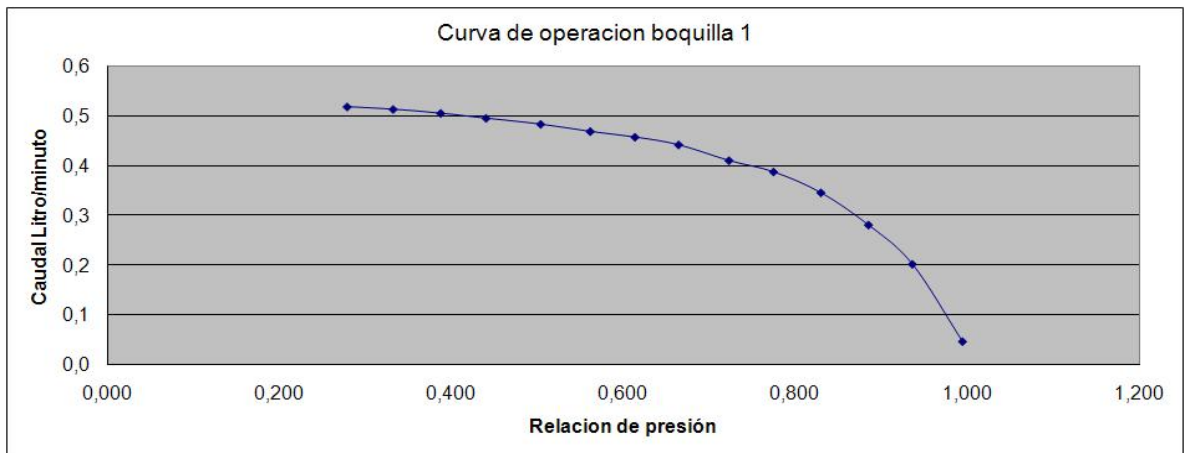
El Autor

a. Boquilla de 0,02 m³/h = 0,333 dm³/min

Tabla 9. Caracterización boquilla de 0,02 m³/h

PIN abs	DIF PRESIÓN	POUT abs	RP	CAUDAL	CAUDAL	PENDIEN
mbar	mbar	mbar		dm ³ /min	m ³ /h	%
905	4,9	900,1	0,995	0,047	0,003	
905	57,7	847,3	0,936	0,203	0,012	76,85%
905	103,9	801,1	0,885	0,282	0,017	28,01%
905	154,0	751,0	0,830	0,347	0,021	18,73%
905	203,9	701,1	0,775	0,389	0,023	10,80%
905	250,8	654,2	0,723	0,412	0,025	5,54%
905	303,9	601,1	0,664	0,444	0,027	7,15%
905	349,8	555,2	0,613	0,459	0,028	3,38%
905	396,9	508,1	0,561	0,470	0,028	2,40%
905	449,1	455,9	0,504	0,485	0,029	3,03%
905	506,6	398,4	0,440	0,497	0,030	2,41%
905	554,4	350,6	0,387	0,507	0,030	1,97%
905	604,4	300,6	0,332	0,515	0,031	1,55%
905	652,9	252,1	0,279	0,520	0,031	0,96%

Figura 61. Curva de bloqueo boquilla de 0,02 m³/h



El Autor

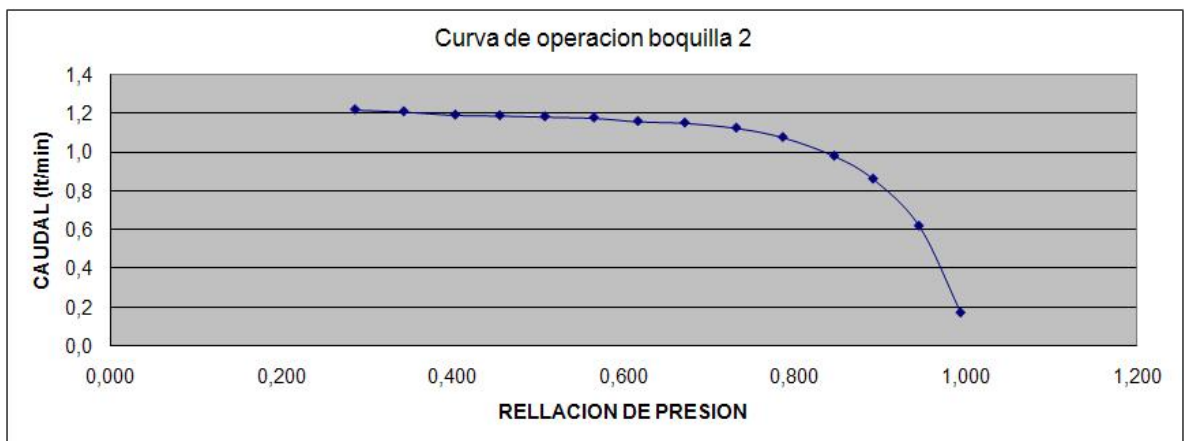
La calibración de esta boquilla a tres repeticiones, mostro una incertidumbre de 0,16 %, con estabilidades del orden de 0,0004% ambos sobre el caudal de referencia de 0,5053 dm³/min.

b. Boquilla de 0,06 m³/h = 1 dm³/min

Tabla 10. Caracterización boquilla de 0,06 m³/h

PIN abs	DIF PRESIÓN	POUT abs	RP	CAUDAL	CAUDAL	PENDIEN
mbar	mbar	mbar		dm ³ /min	m ³ /h	%
912	5,6	906,4	0,994	0,174	0,010	
912	50,0	862,0	0,945	0,620	0,037	71,94%
912	99,0	813,0	0,891	0,861	0,052	27,99%
912	140,4	771,6	0,846	0,979	0,059	12,05%
912	195,2	716,8	0,786	1,075	0,065	8,93%
912	245,0	667,0	0,731	1,123	0,067	4,27%
912	300,0	612,0	0,671	1,149	0,069	2,26%
912	350,0	562,0	0,616	1,157	0,069	0,69%
912	397,0	515,0	0,565	1,175	0,071	1,53%
912	449,3	462,7	0,507	1,181	0,071	0,51%
912	497,5	414,5	0,454	1,187	0,071	0,51%
912	545,0	367,0	0,402	1,190	0,071	0,25%
912	600,0	312,0	0,342	1,207	0,072	1,41%
912	652,0	260,0	0,285	1,217	0,073	0,82%

Figura 62. Curva de bloqueo boquilla de 0,06 m³/h



El Autor

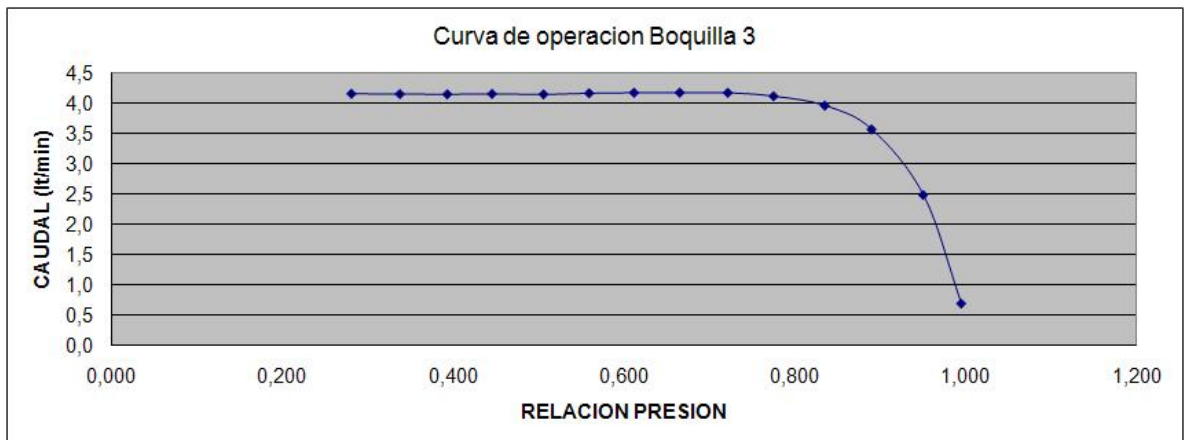
La calibración de esta boquilla a tres repeticiones, mostro una incertidumbre de 0,12 %, con estabilidades del orden de 0,0006% ambos sobre el caudal de referencia de 1,1903 dm³/min.

c. Boquilla de 0,25 m³/h = 4,166 dm³/min

Tabla 11. Caracterización boquilla de 0,25 m³/h

PIN abs	DIF PRESIÓN	POUT abs	RP	CAUDAL	CAUDAL	PENDIEN
mbar	mbar	mbar		dm ³ /min	m ³ /h	%
908	5,3	902,7	0,994	0,700	0,042	
908	45,7	862,3	0,950	2,486	0,149	71,84%
908	100,5	807,5	0,889	3,564	0,214	30,25%
908	150,1	757,9	0,835	3,956	0,237	9,91%
908	204,6	703,4	0,775	4,109	0,247	3,72%
908	253,2	654,8	0,721	4,166	0,250	1,37%
908	304,2	603,8	0,665	4,169	0,250	0,07%
908	352,8	555,2	0,611	4,167	0,250	-0,05%
908	400,5	507,5	0,559	4,159	0,250	-0,19%
908	448,9	459,1	0,506	4,140	0,248	-0,46%
908	503,6	404,4	0,445	4,147	0,249	0,17%
908	551,1	356,9	0,393	4,141	0,248	-0,14%
908	601,5	306,5	0,338	4,146	0,249	0,12%
908	652,9	255,1	0,281	4,150	0,249	0,10%

Figura 63. Curva de bloqueo boquilla de 0,25 m³/h



El Autor

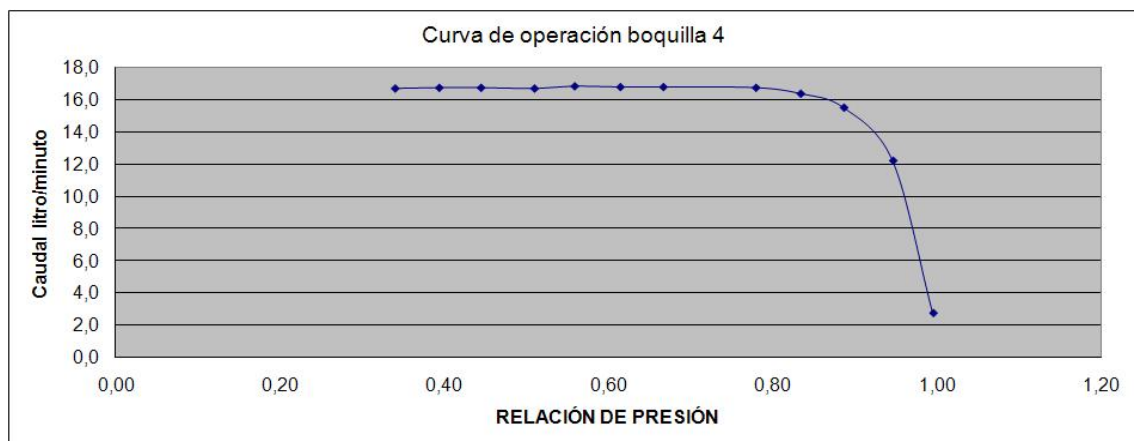
La calibración de esta boquilla a tres repeticiones, mostro una incertidumbre de 0,11 %, con estabilidades del orden de 0,0003% ambos sobre el caudal de referencia de 4,1393 dm³/min.

d. Boquilla de 1 m³/h = 16,666 dm³/min

Tabla 12. Caracterización boquilla de 1 m³/h

PIN abs	DIF PRESIÓN	POUT abs	RP	CAUDAL	CAUDAL	PENDIEN
mbar	mbar	mbar		dm ³ /min	m ³ /h	%
909,5	4,4	905,1	0,995	2,746	0,165	
909,5	49,0	860,5	0,946	12,220	0,733	77,53%
909,5	103,4	806,1	0,886	15,516	0,931	21,24%
909,5	151,3	758,2	0,834	16,385	0,983	5,30%
909,5	200,9	708,6	0,779	16,751	1,005	2,18%
909,5	303,5	606,0	0,666	16,797	1,008	0,27%
909,5	351,1	558,4	0,614	16,797	1,008	0,00%
909,5	401,7	507,8	0,558	16,843	1,011	0,27%
909,5	446,2	463,3	0,509	16,706	1,002	-0,82%
909,5	505,4	404,1	0,444	16,751	1,005	0,27%
909,5	551,7	357,8	0,393	16,751	1,005	0,00%
909,5	600,5	309,0	0,340	16,706	1,002	-0,27%

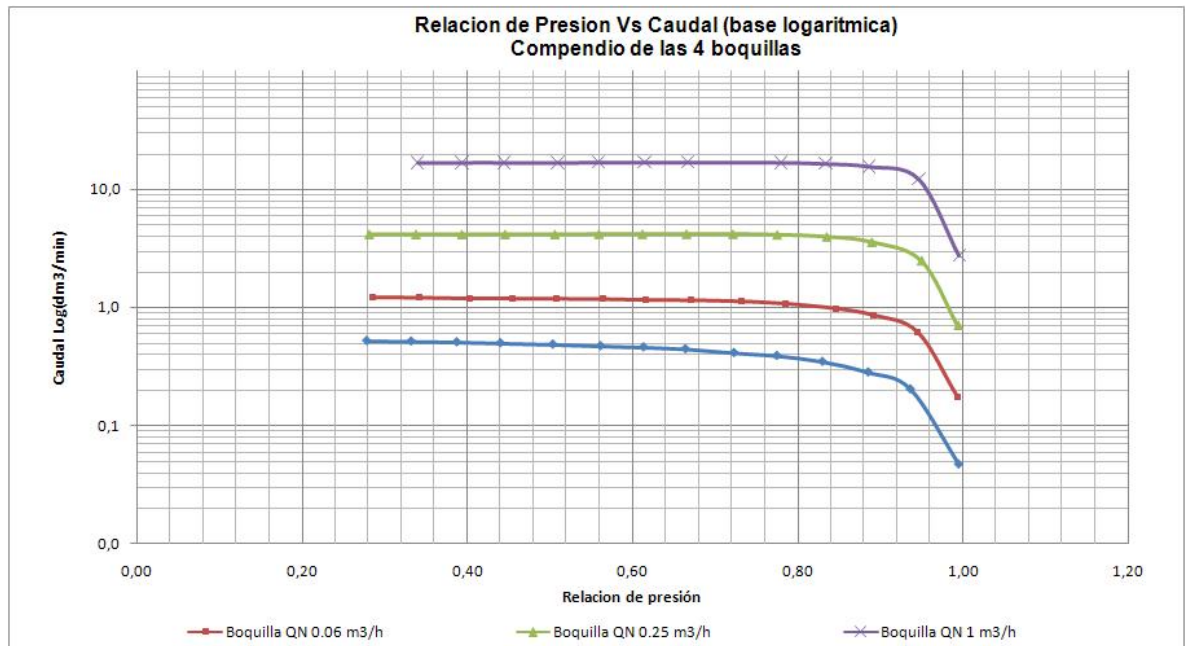
Figura 64. Curva de bloqueo boquilla de 1 m³/h



El Autor

La calibración de esta boquilla a tres repeticiones, mostro una estabilidad del orden de 0,005% sobre el caudal de referencia de 16.666 dm³/min.

Figura 65 Compendio del comportamiento de las cuatro boquillas



El autor

La figura 65 es un compendio de los cuatro resultados obtenidos independientemente y que se muestran de manera condensada; donde podemos observar el comportamiento menos estable de la boquilla pequeña de 0.03 m³/h, respecto al de las grandes, esto se debe a que, para boquillas más pequeñas efectos de desprendimiento de capa limite sean considerables. El tamaño del área de desprendimiento, es tal que, afecta significativamente el promedio del área de la sección crítica, con las consecuencias mostradas en la figura.

6.2.3. Adelanto de la comparación interlaboratorial

La corporación adelanto la caracterización de un medidor a altos caudales tipo turbina G1000, para ser implementado como dispositivo de transferencia a altos caudales, en un programa de comparación interlaboratorial, esto incluyó la caracterización del banco de alto caudal, que va hacer utilizado como sistema de medición de la Corporación.

NOMENCLATURA O GLOSARIO

METROLOGÍA: Ciencia que estudia el arte de medir, se divide en Metrología Legal, Metrología Científica y Metrología Industrial.

METROLOGÍA LEGAL: Según la OIML es la totalidad de los procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por, o por referencia a, autoridades públicas y puestas en vigor por su cuenta con la finalidad de especificar y asegurar, de forma regulatoria o contractual, la calidad y credibilidad apropiadas de las mediciones relacionadas con los controles oficiales, el comercio, la salud, la seguridad y el ambiente.

METROLOGÍA INDUSTRIAL: La función de la metrología industrial reside en la calibración, control y mantenimiento adecuados de todos los equipos de medición empleados en producción, inspección y pruebas. Esto con la finalidad de que pueda garantizarse que los productos están de conformidad con normas. El equipo se controla con frecuencias establecidas y de forma que se conozca la incertidumbre de las mediciones.

METROLOGÍA CIENTÍFICA: el conjunto de acciones que persiguen el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades de base y derivadas del Sistema Internacional de Unidades, SI.¹⁴

MAGNITUD: f, Propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia

¹⁴Las primeras cuatro (4) definiciones son tomadas de Metrología para no Metrologos. OEA SIM 2ª Edición, las restantes del documento llamada Vocabulario Internacional de Metrología 3º Edición, la 2º Edición al Español.

SISTEMA DE MAGNITUDES: m, Conjunto de magnitudes relacionadas entre sí mediante ecuaciones no contradictorias.

MAGNITUD BÁSICA: magnitud de un subconjunto elegido por convenio, dentro de un sistema de magnitudes dado, de tal manera que ninguna magnitud del subconjunto pueda ser expresada en función de las otras.

MAGNITUD DERIVADA: f, magnitud, dentro de un sistema de magnitudes, definida en función de las magnitudes de base de ese sistema.

SISTEMA INTERNACIONAL DE MAGNITUDES: m, sistema de magnitudes basado en las siete magnitudes básicas: longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa

MENSURANDO: m, magnitud que se desea medir

PRINCIPIO DE MEDIDA: m, fenómeno que sirve como base de una medición.

MÉTODO DE MEDIDA: m, descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición.

PROCEDIMIENTO DE MEDIDA: m, descripción detallada de una medición conforme a uno o más principios de medida y a un método de medida dado, basado en un modelo de medida y que incluye los cálculos necesarios para obtener un resultado de medida.

RESULTADO DE UNA MEDICIÓN: m, Conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mensurando, acompañados de cualquier otra información relevante disponible.

VALOR DE UNA MAGNITUD: m , conjunto formado por un número y una referencia, que constituye la expresión cuantitativa de una magnitud.

VALOR NUMÉRICO DE UNA MAGNITUD: m , número empleado en la expresión del valor de una magnitud, diferente del utilizado como referencia.

VALOR CONVENCIONAL DE UNA MAGNITUD: m , valor asignado a una magnitud, mediante un acuerdo, para un determinado propósito.

EXACTITUD DE MEDIDA: EXACTITUD: f , proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.

VERACIDAD DE MEDIDA: VERACIDAD: f , proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

PRECISIÓN DE MEDIDA: PRECISIÓN: f , proximidad entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.

ERROR DE MEDIDA: ERROR: m , diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.

ERROR SISTEMÁTICO DE MEDIDA: ERROR SISTEMÁTICO: m , componente del error de medida que, en mediciones repetidas, permanece constante o varía de manera predecible.

SESGO DE MEDIDA: SESGO: m , valor estimado de un error sistemático.

ERROR ALEATORIO DE MEDIDA: ERROR ALEATORIO: m , componente del error de medida que, en mediciones repetidas, varía de manera impredecible.

CONDICIÓN DE REPETIBILIDAD: f, condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.

CONDICIÓN DE REPRODUCIBILIDAD, f: Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares

INCERTIDUMBRE, f: Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

INTERVALO DE COBERTURA, m: Intervalo que contiene el conjunto de valores verdaderos de un mensurando con una probabilidad determinada, basada en la información disponible.

CALIBRACIÓN, f: Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.

TRAZABILIDAD METROLÓGICA, f: Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

VALIDACIÓN, f: Verificación de que los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto.

INDICACIÓN, f: Valor proporcionado por un instrumento o sistema de medida.

INTERVALO DE MEDIDA, m: Conjunto de los valores de magnitudes de una misma naturaleza que un instrumento o sistema de medida dado puede medir con una incertidumbre instrumental especificada, en unas condiciones determinadas.

RESOLUCIÓN, f: Mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente.

ESTABILIDAD, f: Aptitud de un instrumento de medida para conservar constantes sus características metrológicas a lo largo del tiempo.

DERIVA INSTRUMENTAL, f: Variación continua o incremental de una indicación a lo largo del tiempo, debida a variaciones de las características metrológicas de un instrumento de medida.

CLASE DE EXACTITUD, f: clase de instrumentos o sistemas de medida que satisfacen requisitos metrológicos determinados destinados a mantener los errores de medida o las incertidumbres instrumentales dentro de límites especificados, bajo condiciones de funcionamiento dadas.

ERROR MÁXIMO PERMITIDO, m: ERROR MÁXIMO TOLERADO, m: valor extremo del error de medida, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medida dado.

PATRÓN DE MEDIDA, m: PATRÓN, m: realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.

PATRÓN PRIMARIO DE MEDIDA, m: PATRÓN PRIMARIO, m: patrón establecido mediante un procedimiento de medida primario o creado como un objeto elegido por convenio.

PATRÓN SECUNDARIO DE MEDIDA, m: PATRÓN SECUNDARIO, m: patrón establecido por medio de una calibración respecto a un patrón primario de una magnitud de la misma naturaleza.

PATRÓN DE MEDIDA DE REFERENCIA, m: PATRÓN DE REFERENCIA, m: patrón designado para la calibración de patrones de magnitudes de la misma naturaleza, en una organización o lugar dado.

PATRÓN VIAJERO DE MEDIDA, m: PATRÓN VIAJERO, m
Patrón, algunas veces de fabricación especial, destinado a ser transportado a diferentes lugares.

DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA, m: dispositivo utilizado como intermediario para comparar patrones de medida. NOTA Algunas veces, los propios patrones se utilizan como dispositivos de transferencia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bureau International des Poids et Mesures, “Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, Technical Report, International Committee for Weights and Measures.”, [On Line]. <www.bipm.org/pdf/mra.pdf> [1999].
- [2] International Committee for Weights and Measures. “Guidelines for CIPM key comparisons”, [On Line]. <<http://www.bipm.org/utis/en/pdf/guidelines.pdf>> [Corregido Octubre de 2003].
- [3] European Cooperation for Accreditation of Laboratories Committee 2, “EAL P7 Interlaboratory Comparisons”, 1th Edition, March 1996.
- [4] RMG Messtechnik GmbH. “Turbine Meters TRZ 03 – TRZ 03-L – TRZ 03-K Operating Instructions.” Alemania: Marzo de 2004.
- [5] Makovnik, S., “COOMET.M.FF-S1: Final report on intercomparison measurements in the field of gas flow and volume, which are realized at two levels: the second level (B*)”, [On Line] <http://www.bipm.org/utis/common/pdf/final_reports/M/FF-S1/COOMET.M.FF-S1_B.pdf> [Diciembre de 2007].
- [6] Makovnik, S., “COOMET.M.FF-S1: Final report on intercomparison measurements in the field of gas flow and volume, which are realized at two levels: the first level (A*)”, [On Line] <http://www.bipm.org/utis/common/pdf/final_reports/M/FF-S1/COOMET.M.FF-S1_A.pdf> [Diciembre de 2007].
- [7] Mikan, Bodo. Valenta, T. [PTB, CMI] “Final Report – Draft B, Inter-laboratory calibration comparison of the turbine gas meter G6500 EURAMET Project No. 1006”, March de 2009.
- [8] Cox, M., “The evaluation of key comparison data”, Metrologia, 2002.
- [9] Bureau International des Poids et Mesures., “International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM)”, [On

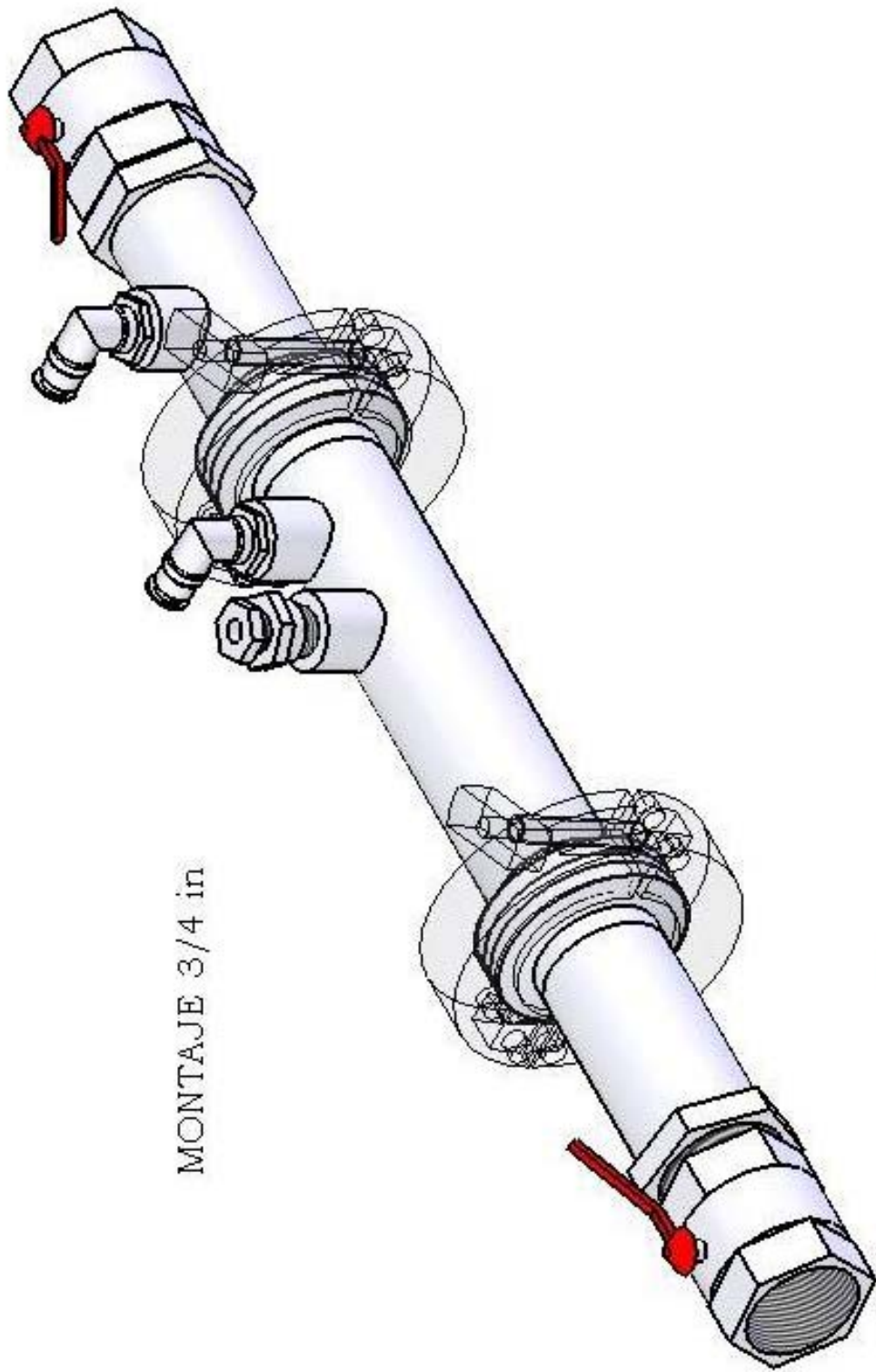
Line].

<http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_200_2008.pdf>

[2008].

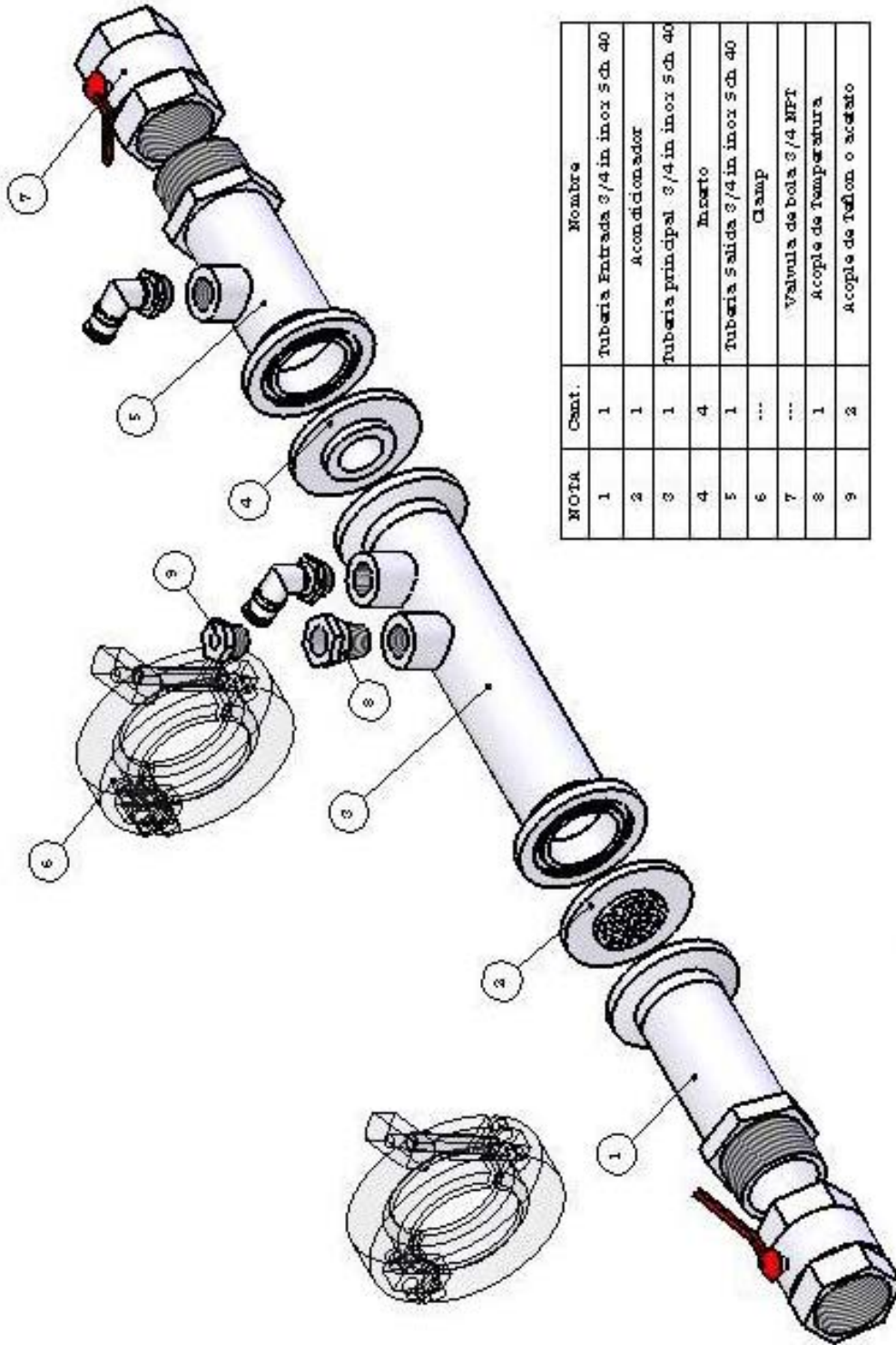
- [10] Bureau International des Poids et Mesures. "Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement", [On Line]. <http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf> [September 2008].
- [11] Gulf Coast Data Concepts. "Data Sheet, USB Accelerometer Model X6-1A", [On Line]. <<http://www.gcdataconcepts.com/GCDC-USBAccelerometerX6-1ASpecification.pdf>> [Julio de 2009].
- [12] American Gas Association "AGA Report No. 7, Measurement of Natural Gas by Turbine Meter.", 2ª Edition, Washington: 2006.
- [13] Physikalisch - Technische Bundesanstalt., "Reglamentos de prueba del PTB, Tomo 4", 2ª Edición, Alemania 1992.
- [14] Kestrel Meters., "Manual de instrucciones Para los modelos Kestrel 4000 y Kestrel 4000 NV", [On line] <http://www.kestrelmeters.com/assets/product_files/instructions/Kestrel/K4v41_1_web0906.pdf>
- [15] Lau. P. [Swedish National Testing and Research Institute], "Models For Evaluating Flow Meter Inter-Comparisons.", 6TH ISFFM, Suecia: Mayo 2006.
- [16] Bureau International des Poids et Mesures., Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) 1ª Edición en español, JCGM 200:2008. [On line].
- [17] Petra, W. "Dynamics of turbine flow meters.", Technische Universiteit Eindhoven, 2007. - Proefschrift. ISBN 978-90-386-2192-0.
- [18] D. L. George., Southwest Research Institute., "Effects of Line Pressure and Gas Density on Turbine Meter Measurement Accuracy at Conditions from Atmospheric Air to 700 psig Natural Gas.", San Antonio. Texas, August 2004.
- [19] Streeter. V., "Mecánica de Fluidos", De la 4 edición del ingles. Mc Graw-Hill, Mexico. 1970.

Apéndice A: Planos de los dispositivos de transferencia tipos boquillas sónicas.



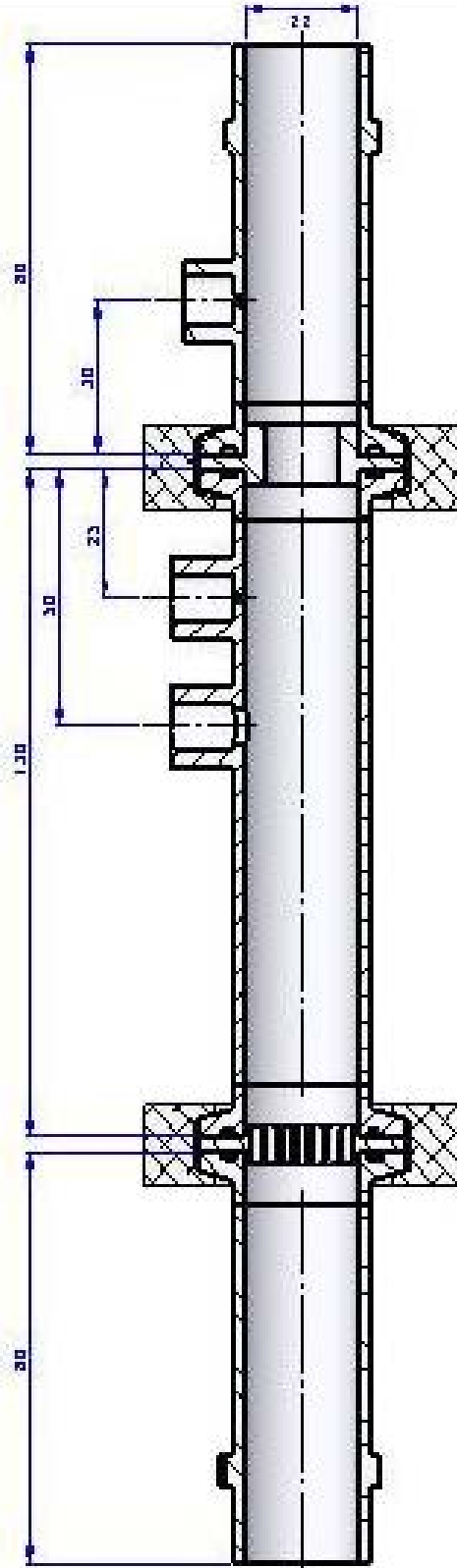
MONTAJE 3/4 in

 Corporación CDT de GAS Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas	Dibujó.	JACKSON RUIZ	Revisó.	Ing. Luis Garcia	Fecha.	ENE 20 10
	Nombre.	VISTA ISO 314	Plano No.	1 de N	Norma.	ETETM9
PATRON DE REFERENCIA PARA EL AREA DE VOLUMEN Y CAUDAL			Medidas en.	MM	Escala.	X:X




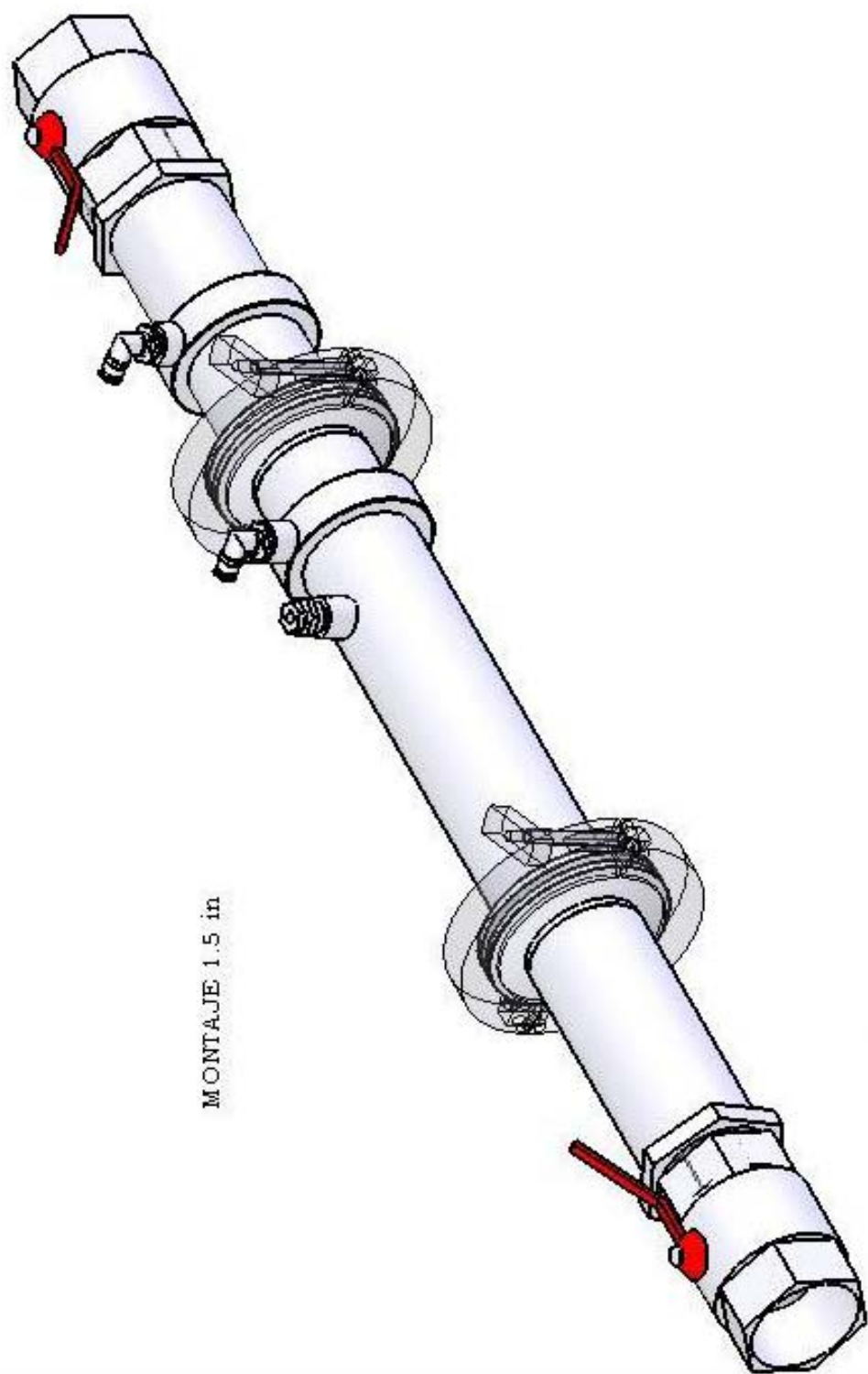
NOTA	Cant.	Nombre
1	1	Tubería Entrada 3/4 in inox Sch. 40
2	1	Acondicionador
3	1	Tubería principal 3/4 in inox Sch. 40
4	4	Inserto
5	1	Tubería Salida 3/4 in inox Sch. 40
6	...	Clamp
7	...	Valvula de bola 3/4 NPT
8	1	Acople de temperatura
9	2	Acople de nylon o acero

 Corporacion CDT de GAS Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas	Dibujó:	JOSHIÓN RUIZ	Revisó:	Ing. Luis Garcia	Fecha:	ENE 20 10
	PATRON DE REFERENCIA PARA EL AREA DE FLUJO Y CAUDAL	Nombre:	DES PIECE 3/4	Plano No.:	2 DE N	Norma:
			Medidas en:	MM	Escala:	N:1



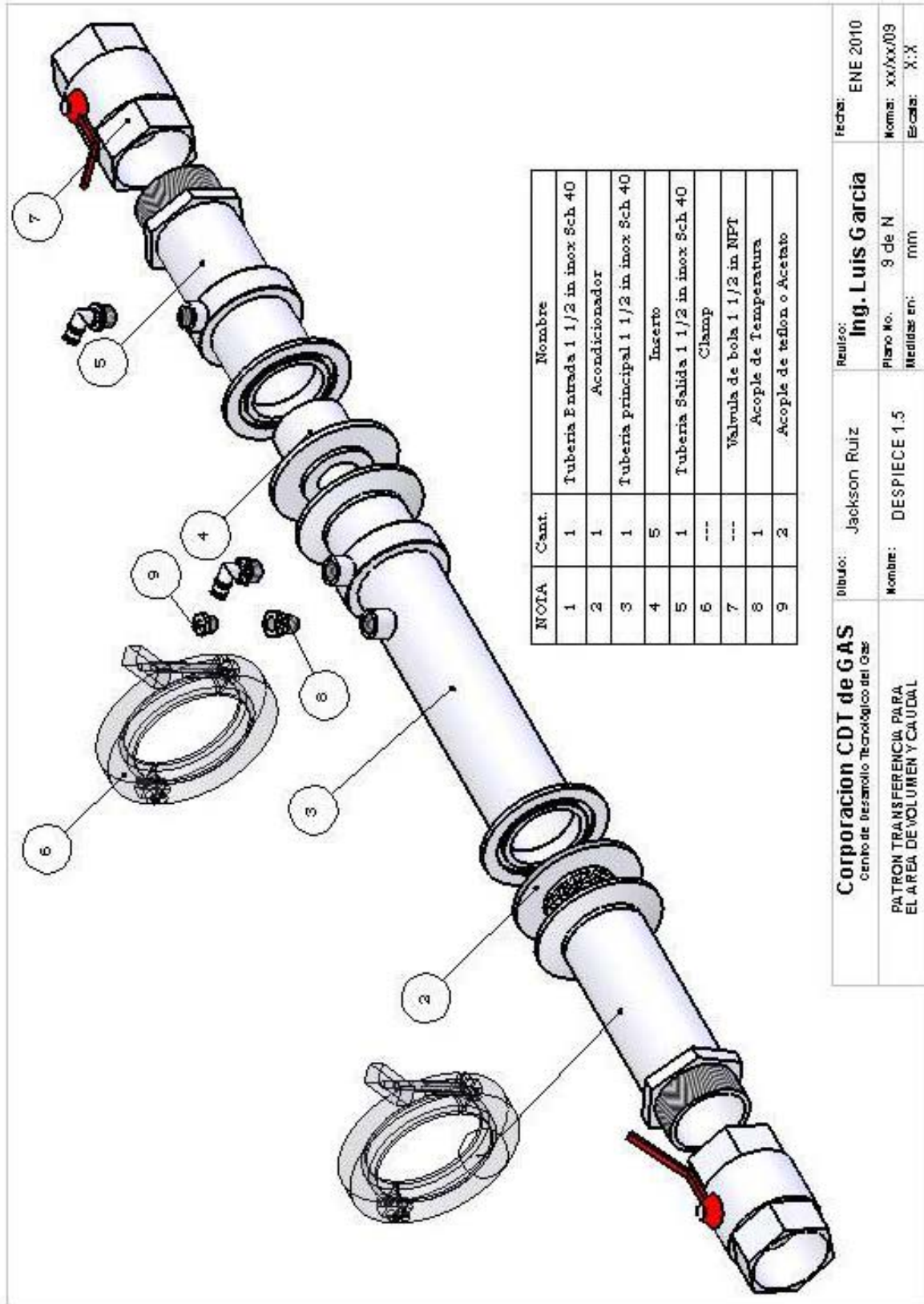
Núm.	Detalle
1	El montaje de los elementos debe garantizar precisión total.
2	Circunferencia del diámetro interior de todos los radios de la zona $r = 0,2$ mm
3	Todas las piezas de acero inoxidable
4	La zona ajustada suavez
5	Acero inoxidable ajustado suavez con onda
6	Soldaduras exteriores pulidas

 <p>Corporación CDT de GAS Centro de Estudios Tecnológicos del Gas</p>	Diseño:	Jackson Ruiz	Revisó:	Ing. Luis García	Fecha:	ENE 2014	
	<p>INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CALDERFERRER EL NÚCLEO VOLUNTARIO GENERAL</p>	Nombre:	MONTAJE 3-1	Plano No.:	3 de 8	Nombre:	00000000
				Medida #:	mm	Escala:	1:1



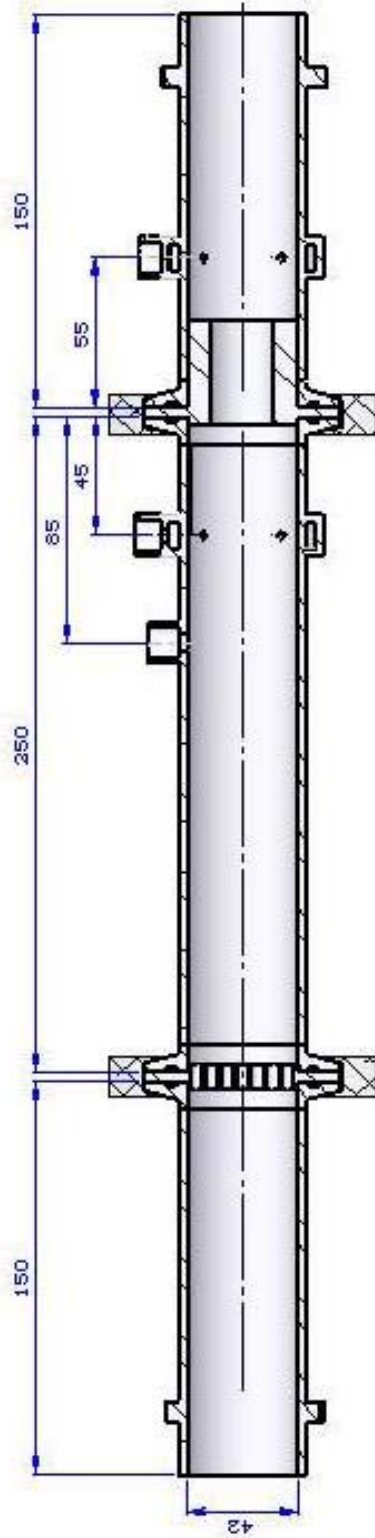
MONTAJE 1.5 in

Corporacion CDT de GAS Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas	Dibujo: Jackson Ruiz	Realizó: Ing. Luis Garcia	Fecha: ENE 2010
PATRON TRANSFERENCIA PARA EL AREA DE VOLUMEN Y CAUDAL	Nombre: VISTA ISO 1.5	Plano No. 8 de N Medidas en: mm	Norma: xx/xx/09 Escala: X:X



NOTA	Cant.	Nombre
1	1	Tubería Entrada 1 1/2 in inox Sch 40
2	1	Acondicionador
3	1	Tubería principal 1 1/2 in inox Sch 40
4	5	Inserto
5	1	Tubería Salida 1 1/2 in inox Sch 40
6	---	Clamp
7	---	Válvula de bola 1 1/2 in NPT
8	1	Acople de Temperatura
9	2	Acople de teflon o Acetato

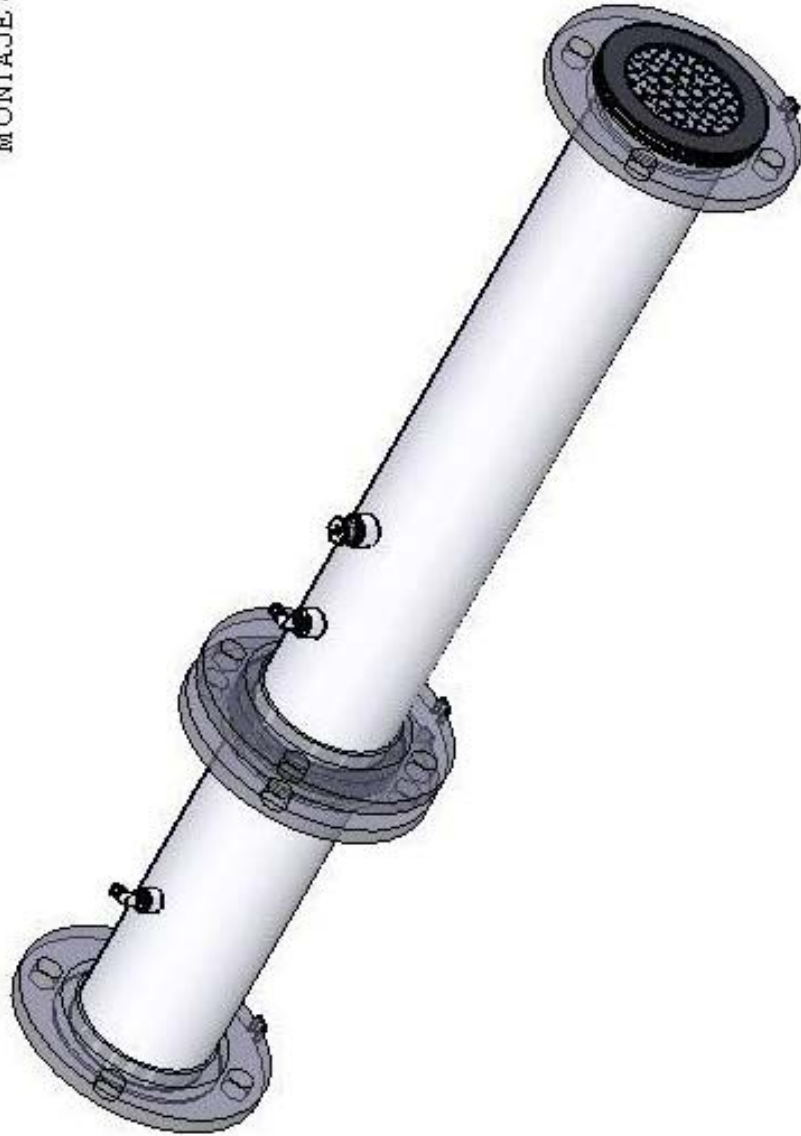
Corporación CDT de GAS centro de Desarrollo Tecnológico del Gas	Dibujó: Jackson Ruiz	Realizó: Ing. Luis Garcia	Fecha: ENE 2010
PATRON TRANSFERENCIA PARA EL AREA DE VOLUMEN Y CAUDAL	Nombre: DESPIECE 1.5	Folio No. 9 de N	Norma: xxx/xxx/09
		Medidas en: mm	Escala: X:X




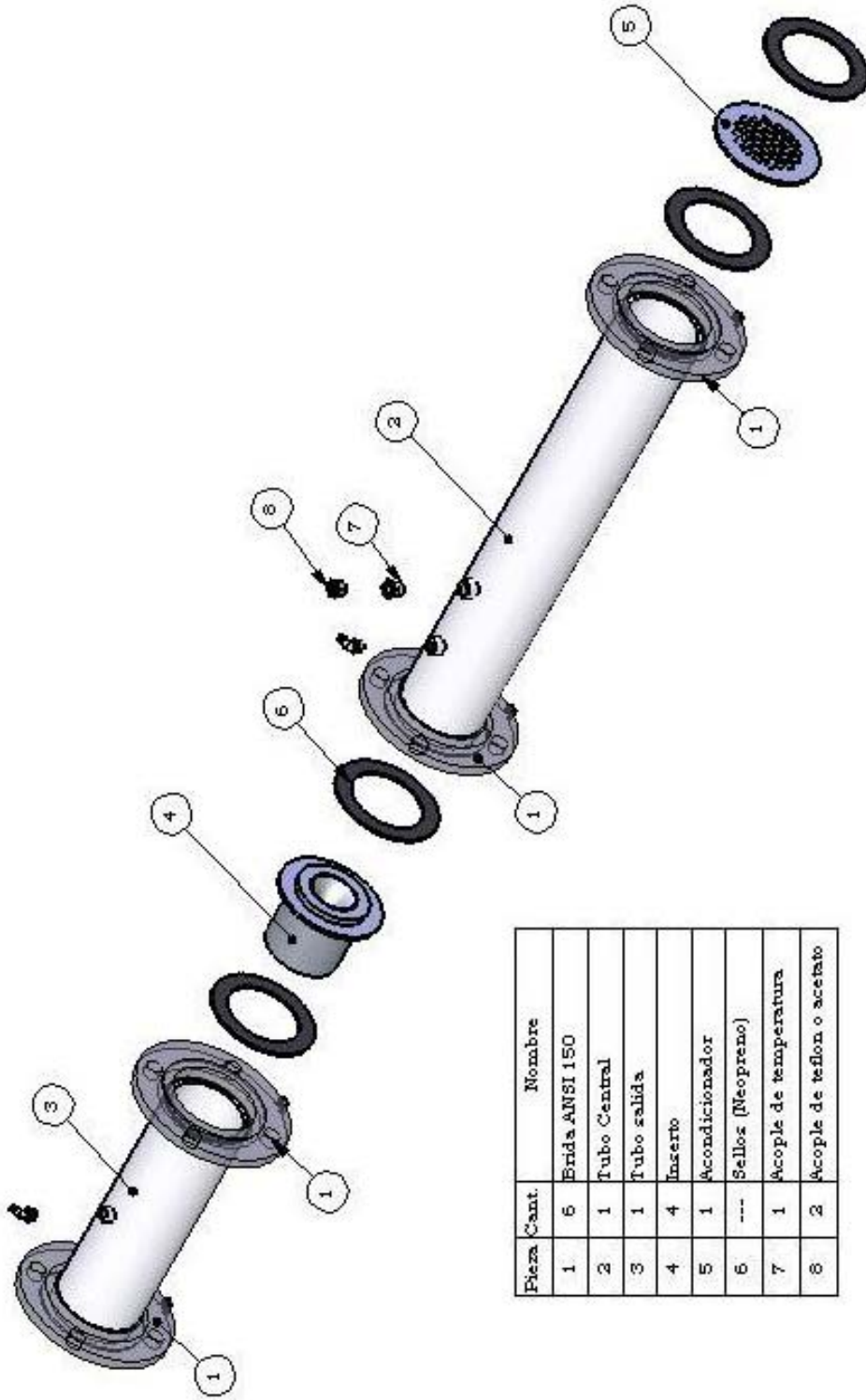
Nota	Detalle
1	El montaje de los elementos debe garantizar concentricidad total
2	Circularidad del diametro interno de todos los tramos de tuberia ± 0.2 mm
3	Acondicionador ajuste suave
4	Todas las piezas en Acero inoxidable
5	Inserto Ajustes suaves
6	Soldaduras exteriores pulidas

Corporacion CDT de GAS Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas PATRON TRANSFERENCIA PARA EL AREA DE VOLUMEN Y CAUDAL	Dibudo:	Jackson Ruiz	Realizo:	Ing. Luis Garcia	Fecha:	ENE 2010
	Nombre:	MONTAJE	Plano No.:	10 de N	Norma:	xxx/xx/09
			Medidas en:	mm	Escala:	X:X

MONTAJE 4 in

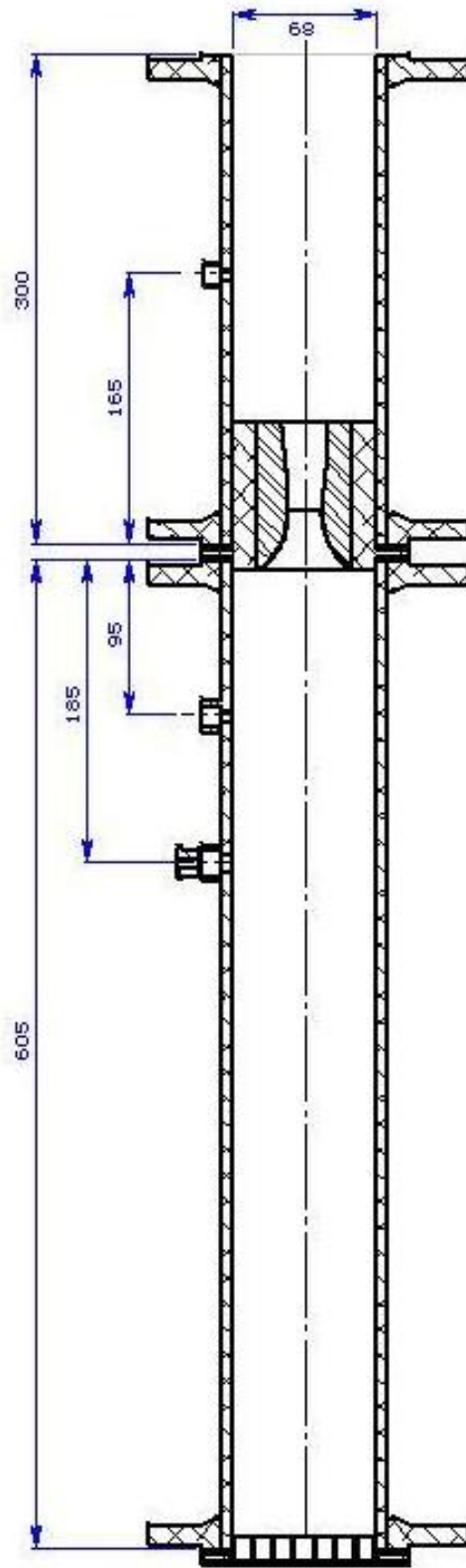


 Corporacion CDT de GAS Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS	Dibujó: Jackson Ruiz	Realizó: Ing. Luis Garcia	Fecha:
	Nombre: Nombre de la pieza	Plano No.: 15 de N	Nombre:
NOMBRE DEL PROYECTO	Medidas en: mm	Escala:	




Pieza	Cant.	Nombre
1	6	Brida ANSI 150
2	1	Tubo Central
3	1	Tubo salida
4	4	Inserto
5	1	Acondicionador
6	---	Sellos (Neopreno)
7	1	Acople de temperatura
8	2	Acople de teflon o acetato

	Corporacion CDT de GAS Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas		Dibujo: Jackson Ruiz Nombre: Nombre de la pieza	Realizó: Ing. Luis Garcia Plano No. 16 de N Medidas en: mm	Fecha: Norma: Escala:
	NOMBRE DEL PROYECTO				



Nota	Detalle
1	El montaje de los elementos debe garantizar concentricidad total
2	Circularidad del diametro interno de todos los tramos de tuberia +/- 0,6 mm
3	Soldaduras exteriores pulidas
4	Piezas en Aluminio, cuando no se indique
5	Ajustes suave para el inserto
6	Acondicionador ajuste suave en brida macho

 Corporacion CDT de GAS Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas	Dibujado:	Jackson Ruiz	Realizado:	Ing. Luis Garcia	Fecha:	xx/xx/09
	NOMBRE DEL PROYECTO	Nombre: Nombre de la pieza	Plano No.:	17 de N	Norma:	xx/xx/09
			Medidas en:	mm	Escala:	X: X

Apéndice B
PROTOCOLO

**COMPARACIÓN INTERLABORATORIAL, METROLOGÍA DE VOLUMEN Y FLUJO
DE GAS**

Comparación y Pruebas de Aptitud

CDT de GAS (B/manga), LABORATORIO 1 (Localidad 1) y LABORATORIO 2 (Localidad
2)

Turbina G 1000 de 160 m³/h a 1600 m³/h

Aire a bajas presiones.

CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DE GAS

(CDT DE GAS) www.cdtdegas.com.co

Sede UIS Guatiguará

Km 2 Vía El Refugio. Piedecuesta / B/manga

Febrero de 2010

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	163
2. MENSURANDO.....	166
3. LABORATORIOS PARTICIPANTES	166
3.1. CDT de GAS / B/manga (Laboratorio Piloto Propuesto).....	167
3.2. LABORATORIO 2 / Localidad 2	169
3.3. LABORATORIO 1 / Localidad 1	169
4. MEDIOS DE COMUNICACIÓN.....	169
5. PATRÓN DE TRANSFERENCIA PROPUESTO	169
6. ALCANCE DE MEDICIÓN PROPUESTO.....	171
7. CONDICIONES DE INSTALACIÓN	171
7.1. PROPUESTAS DE CONEXIÓN.....	171
7.2. CONDICIONES MINIMAS REQUERIDAS.....	172
7. CIRCULACIÓN, PUNTOS DE RECEPCIÓN	173
8. CRONOGRAMA Y TIEMPOS DE ENTREGA.....	174
9. EMBALAJE DEL PAQUETE, ELEMENTOS DE VIAJE	175
10. DURANTE LA COMPARACIÓN	177
10.1 RECEPCIÓN DEL PAQUETE	177
10.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA TURBINA.....	178
10.3 EMBALAJE Y ENVÍO.....	179
11. ASPECTO FINANCIERO	179
12. INCERTIDUMBRES	180
13. ANEXO A VALORES DE REFERENCIA KCVR.....	180
14. ANEXO B FORMATOS DE VERIFICACIÓN Y CONTROL.....	180

DEFINICIONES, SIMBOLOS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS EN ESTE DOCUMENTO.

ORGANISMOS.

- ❏ BIPM = Bureau International des Poids et Mesures
- ❏ CIPM: International Committee for Weights and Measures
- ❏ NMIs = Institutos Nacionales de Metrología.
- ❏ SIC = Superintendencia de Industria y Comercio de B/manga.
- ❏ CDT de GAS = Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico.
- ❏ PTB = Physikalisch-Technische Bundesanstalt .
- ❏ CMI = *Czech Metrology Institute*
- ❏ EAL = European Cooperation For Accreditation Of Laboratories.
- ❏ COOMET = Euro-Asian Cooperation Of National Metrological Institutions.
- ❏ ISO = International Organization For Standardization.
- ❏ KCs = Comparaciones Clave entre NMIs avaladas por el BIPM.

TECNICOS

- ❏ k = Factor de cobertura utilizado para hallar la incertidumbre expandida.
- ❏ G_{1000} = Subíndice que refiere a la turbina de transferencia y sus condiciones de flujo.
- ❏ N_{Lab} = subíndice que refiere al medidor patrón del Laboratorio y sus condiciones de flujo.
- ❏ V = Volumen indicado.
- ❏ P = Presión absoluta.
- ❏ T = Temperatura absoluta.
- ❏ K = Número de compresibilidad.
- ❏ $\left(\frac{K_{NLab}}{K_{G1000}}\right) = \left(\frac{Z_{NLab}}{Z_{G1000}}\right)$ = Relación de factores de compresibilidad.
- ❏ F_{NLab} = Error relativo propio del medidor patrón de cada laboratorio.
- ❏ K_{factor} = valor definido por el fabricante [Pulsos/m³]
- ❏ N° *pulsos* = medidos por el sistema de adquisición de datos.

❏ **Decisión:** *Temas a decidir por el comité técnico.*

⚠ **Revisión:** *Referencias que pueden cambiar por actualización de la información reportada por los laboratorios.*

1. GENERALIDADES


Tres laboratorios considerados como la referencia y que pertenecen al Sistema Interamericano de Metrología SIM, en decisión unilateral acordaron adelantar un programa de intercomparación siguiendo las directrices del documento “TheGuidelines” y “EAL-P7”. El CDT de GAS (B/manga), LABORATORIO 1 (Localidad 1) e LABORATORIO 2 (Localidad 2) Buscan mediante este proceso de intercomparación estimar los grados de equivalencia entre los laboratorios participantes, facilitar las actividades de comercialización y asegurar las actividades concernientes a la comercialización del gas en el inminente escenario de la integración energética en América Latina, así mismo pretende dar elementos tecnológicos que amplíen el marco de confianza en cada uno de los países participantes.

⚡ **Decisión 1:** Cada Laboratorio Participante, designará un representante del laboratorio responsable de la comparación (necesario), además, un consultor (Opcional). Ambos miembros del Comité Técnico.


El patrón de transferencia es una Turbina modelo TRZ03 G1000 de la casa RMG ^{Decisión 2}, que fue diseñado bajo recomendaciones especiales, sin odómetro y termopozo. Este modelo, debido a su alta calidad, es aprobado por el PTB para uso en procesos de transferencia de custodia, con dos salidas de pulsos desfasadas 180° de $K_{factor} = 3785.63$ [pulsos/metro³] cada una.

⚡ **Decisión 2:** El Patrón de transferencia propuesto es de la Corporación CDT de GAS, está en proceso de Caracterización.

El comité técnico de la comparación, conformado por expertos de cada laboratorio participante, decidió utilizar como intervalo de medida de 160 m³/h a 1600 m³/h ^{Decisión 3}, operando con aire a bajas presiones, cercanas a la atmosféricas, estas condiciones están en acuerdo con las capacidades técnicas cotidianas de cada laboratorio y con el alcance de operación del patrón de transferencia.

 **Decisión 3:** Es decisión del comité convenir el intervalo de medida.


Las incertidumbres reportadas entre los laboratorios participantes son 0.17 % para el LABORATORIO 2, 0.28 % para LABORATORIO 1^{Revisión 1} y 0.16 para CDT de GAS, todos con k=2, en este sentido el patrón de transferencia seleccionado está acorde con las necesidades de la comparación ya que reporta una reproducibilidad $\leq \pm 0.2$ % dada por el fabricante bajo condiciones idénticas de operación.

 **Revisión 1:** Datos de Incertidumbres Tomadas on line de las páginas de sus respectivos NMI.


Los tres laboratorios están acreditados en el área de medición de flujo de gas por sus respectivos organismos de acreditación nacional, esto garantiza el óptimo manejo y control de las condiciones ambientales, físicas y técnicas del patrón de transferencia, junto con el cumplimiento en el reporte de las incertidumbres declaradas.

La naturaleza de tránsito propuesta y de acuerdo a la convención dada por “EAL-P7” es de tipo circular, con el orden siguiente: CDT de GAS - LABORATORIO 1 - LABORATORIO 2 - CDT de GAS ^{Decisión 4}, cumpliendo con los tiempos recomendados entre laboratorios y , el tiempo total de circulación estimado es de tres meses, el tiempo de estadía en cada

laboratorio es de dos semanas incluyendo transporte nacional, además, tiempos para el reporte de resultados parciales y definitivos obedecen a las referencias interlaboratoriales y que siguieron las KC's anteriores para la medición de flujo de gas.


 **Decisión 4:** *EL orden de circulación propuesto sin mayores argumentos, dependerá de las fechas propuestas por cada laboratorio.*

Teniendo en cuenta que los participantes son todos laboratorios independientes y que las bondades metrológicas son similares entre los participantes, los resultados se evaluarán con la inclusión de los reportes de todos los participantes, a partir de los cuales siguiendo las recomendaciones de Cox , estimaremos los valores de referencia por el método de ponderación de los inversos de aislamiento comúnmente utilizado en los programas de comparación ^{Decisión 5} .

 **Decisión 5:** *A definir entre el método para estimar los valores de referencia, mínimos cuadrados, promedio, media exclusiva o inversos de aislamiento.*

Se reportaran las desviaciones particulares de forma clara y univoca y utilizando graficas y tablas de error normalizado y grados de equivalencia entre los mismos , en un reporte que será aprobado por los representantes de todos y cada uno de los laboratorios participantes.

Se pretende tomar la comparación con absoluta confidencialidad entre los participantes, los cuales no tendrán acceso a los valores de referencia solo hasta la publicación del borrador A ^{Decisión 6} , que estará bajo aprobación de los mismos, de la misma forma la confidencialidad en el reporte del borrador B hacia la comunidad en general estará bajo acuerdo unilateral.

 **Decisión 6:** *El Comité definirá quien y como se manejarán los de resultados, Se podrían utilizar códigos internos, habrá garante del proceso o el Laboratorio Piloto será el responsable.*

2. MENSURANDO

Error de medida, obtenido por los laboratorios participantes al calibrar un patrón de transferencia, definido como:

$$E_i(\%) = \frac{V_{G1000} - V_{Lab}}{V_{Lab}} * 100$$


Que puede ser escrito de la siguiente forma:

$$E_i(\%) = \left(\frac{V_{G1000}}{V_{Lab}} - 1 \right) * 100$$

Donde; V_{Lab} = Volumen medido por el laboratorio, V_{G1000} = Volumen medido por el patrón de transferencia, ambos a las mismas condiciones de referencia, el factor 100 para expresar el error porcentualmente.

3. LABORATORIOS PARTICIPANTES

LAB.	LOCALIZACIÓN	INFORMACIÓN DE CONTACTO	DIRECTOR/ contacto
(LABORATORIO 2)	Localidad 2	TELF:	
		E-MAIL:	
		CEP:	
		FAX:	
(LABORATORIO 1)	Localidad 1	TEL:	
		Ph:	
		E-MAIL:	
		FAX:	
CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. (CDT de GAS) / B/manga	Sede UIS Guatiguará Km 2 Vía El Refugio Piedecuesta - Santander	TEL: (057) 765 - 50800 / 43800	Henry Abril
		E-MAIL: habril@cdtdegas.com.co	Luis García
		E-MAIL: lgarcia@cdtdegas.com.co	
		FAX: (057) 765 40808	

 **Revisión 2:** La tabla de laboratorios participantes contiene información tomada on line de las páginas de los respectivos NMI.

3.1. CDT de GAS / B/manga(Laboratorio Piloto Propuesto)

Decisión 7: El Comité definirá quien será el Laboratorio Piloto, que es el encargado del desarrollo del patrón de transferencia.

La Corporación CDT de GAS cuenta con un Banco de Alto Caudal fue diseñado y construido para la calibración de medidores en un intervalo de 32 a 4800 m³/h lo integran un medidor rotativo G100 mas una turbina G400 y por último tres turbinas G1000 que trabajan en forma independiente o en paralelo para cubrir todo el intervalo de medición, los medidores son trazables al PTB y estiman incertidumbres de 0.16% en su mejor capacidad de medida.


El Banco sigue referencias interlaboratoriales entre otras y sus sensores de temperatura, presión barométrica, humedad, diferenciales de presión, todos bajo un programa de calibración trazables al PTB, la toma y análisis de datos son realizados por una plataforma suficientemente robusta y validada. Este Banco empleado para hacer la calibración utiliza el Método de calibración por comparación de volúmenes.




El laboratorio de la Corporación CDT de GAS se encuentra acreditado en el área de medición de flujo de gas por la SIC utilizando Campana Gasométrica como medidor primario (Bell Prover), el banco de alto caudal se encuentra en proceso de acreditación tras varios años de desarrollo y prestación de servicios.

En un futuro cercano el banco de alta ampliara su intervalo de medición al implementar un medidor ultrasónico.

3.2. LABORATORIO 2 / Localidad 2

 **Revisión 3:** El LABORATORIO 2, usará 1 página para mostrar las instalaciones, describir el método de comparación, las incertidumbres reportadas, la trazabilidad y toda información que crea conveniente.


3.3. LABORATORIO 1 / Localidad 1

 **Revisión 4:** El LABORATORIO 1, usará 1 página para mostrar las instalaciones, describir el método de comparación, las incertidumbres reportadas, la trazabilidad y toda información que crea conveniente.

4. MEDIOS DE COMUNICACIÓN

Por la naturaleza misma del programa de comparación se requiere definir medios de comunicación que faciliten el intercambio de información para esto se propone que las reuniones del comité técnico se lleven a cabo por medio de videoconferencias ^{Decisión 7}.

El envío de información para recepción inmediata se hará principalmente vía e-mail, el telefax será un medio de apoyo utilizado exclusivamente cuando sea necesario, otro medio de comunicación será la página web del laboratorio piloto que emitirá comunicados, abrirá foros y en general reportará el estado del programa de comparación bien podría servir como medio oficial de comunicación.

 **Decisión 8:** El comité decidirá: 1° el canal conveniente para la comunicación del comité técnico y 2° la notificación vía celular será medio oficial de comunicación o medio de apoyo.

5. PATRÓN DE TRANSFERENCIA PROPUESTO

El patrón de transferencia propuesto es un diseño especial de una turbina comercial de flujo axial RMG TRZ 03, con las siguientes características suministradas por el fabricante :

<p>1, 4: LF (reed contact) 2, 5: LF or HF1 signal 3, 6: HF1 (NAMUR)</p>	TRANS. PULSOS	NAMUR (DIN 19224)
	HF2 y HF3	2,1 KH
	Nº Pulsos HF1 y HF2	3785.63
	Voltaje	7 a 9 V DC
	Resistencia Interna	1 KΩ
	Corriente Swicth No operado	>= 3mA
	Corriente Swicth operado	<= 1mA
	Desfase entre HF2 y HF3	180°

	DN	150 (6 in)
	Q _{min}	160 m ³ /h
	Q _t	320 m ³ /h
	Q _{max}	1600 m ³ /h
	NORMA MEDIDOR	EN 12261 DIN 33800
	PESO	50 Kg
	LARGO	450 mm
	CONEXIÓN BRIDA	ANSI 150
	Δp@Air, Q _{max} , 1,1bar	20,5 mbar
	P _{max}	17 Bar
	Max cambio de Presión	0,1 bar/s
	Max Vibración Mecánica	1 mm/s
	TEMP. OPER.	[-10°C a 50°C]
	REPETIBILIDAD	<= 0.2 %

La Corporación CDT de GAS especificó a RMG un diseño sin odómetro, esto trae ventajas respecto a los diseños comerciales a entender:

- Es más sensible a vencer la inercia inicial a la rotación debida al flujo de aire.
- Aumenta la repetibilidad debido a que tiene menos partes móviles.

Cada Laboratorio es libre de tomar las medidas de la salida de pulsos que crea conveniente, una combinación de las dos para duplicar el *Kfactor* posible.

Decisión 9: Queda a disposición de los laboratorios participantes y del comité de técnico, decidir si en el paquete de transferencia se debe enviar con amplificadores de potencia para la emisión de pulsos.

6. ALCANCE DE MEDICIÓN PROPUESTO

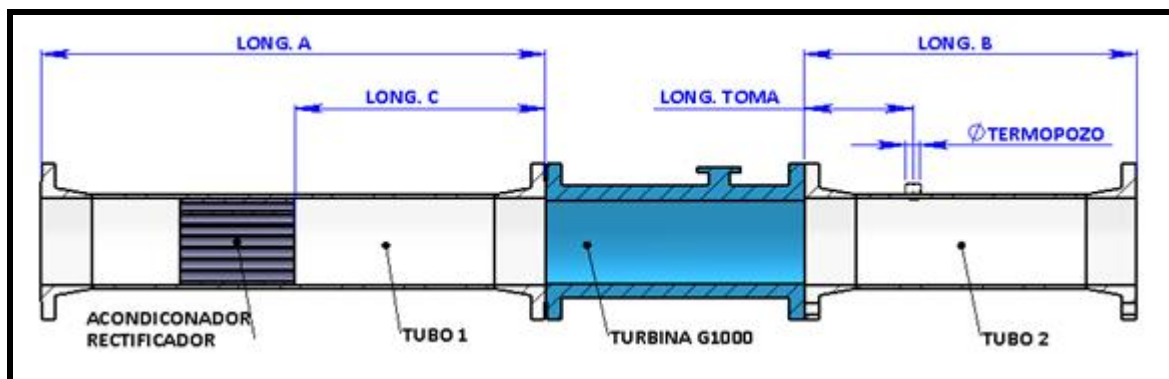
De acuerdo a las características y capacidades técnicas de cada laboratorio se propone realizar la comparación en un intervalo entre 160 m³/h a 1600 m³/h. operando con aire con presiones cercanas a la atmosférica. Los puntos específicos de calibración son ^{NOTA 5}, Q_{min} = 160 m³/h, 0.25*Q_{max} = 400 m³/h, 0.4*Q_{max} = 640 m³/h, 0.7*Q_{max} = 1120 m³/h, Q_{max} = 1600 m³/h , los puntos medidos deben estar dentro del 3% del valor nominal .

Decisión 10: Se tomaron las Cargas de Prueba de las recomendaciones del "PTB tomo 4" , está bajo consideración del comité elegir el set de puntos que estimen conveniente, otras opciones podrían ser:
a.[160, 320, 480, 640, 800, 960, 1120, 1280, 1440, 1600] ó
b.[160, 300 , 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600]

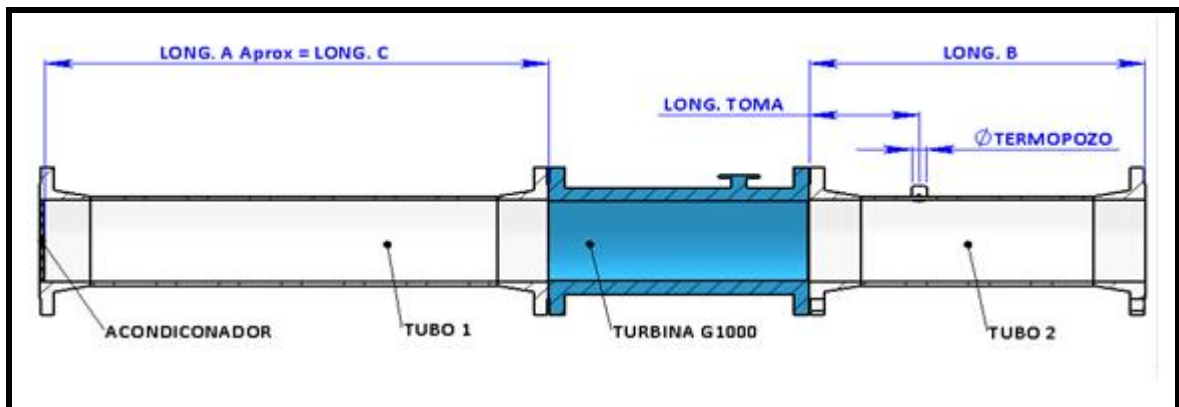
7. CONDICIONES DE INSTALACIÓN

7.1. PROPUESTAS DE CONEXIÓN.

1) Con Acondicionador o rectificador garantizando distancias mínimas según AGA 7, conexiones rectas, LONG. C > 5D y LONG. A > 10 D.



2) Con Rectificador o Acondicionador 10 D aguas arriba del medidor a la entrada del TUBO_1, conexiones rectas, LONG. C > 10 D.



⚡ **Decisión 11:** El comité Técnico decidirá si todos los laboratorios deben mantener condiciones idénticas de instalación o garantizar distancias mínimas.

Los requerimientos necesarios para la instalación siguen los lineamientos de y entre otros, recomiendan :

7.2. CONDICIONES MÍNIMAS REQUERIDAS

GENERALES


- Identificar plenamente la dirección de flujo.
- Ubicar lo más horizontal posible todo el sistema de medición.
- Las superficies internas de las tuberías y dispositivos deben estar libres de depósitos o contaminantes que pongan en peligro el desempeño y la vida del medidor.
- El medidor debe permanecer en el ambiente del laboratorio aproximadamente 12 horas antes de iniciar la calibración.
- Las instalaciones aguas arriba deben ser tales que garanticen la no inducción del efecto Swirl y vórtices en las tuberías de entrada.
- La calidad del aire debe ser también monitoreada, el tamaño de las partículas o polvo que puedan ser introducidos a la turbina mientras esté en funcionamiento puede ocasionar serias desviaciones en su desempeño.

DE TEMPERATURA

- Se recomienda mantener una temperatura ambiente en el cuarto de ensayos de $20 \pm 1^\circ\text{C}$.
- La temperatura dentro de la sala de ensayo no debe cambiar 0.5°C por hora y por no más de 0.3°C durante una pasada de prueba.
- La diferencia de temperatura entre los dispositivos del montaje no debe superar más de 1°C .

DE INSTALACIÓN


- j. Garantizar una longitud de 5 diámetros internos como mínimo de tubería recta y lisa desde la cara plana de la entrada del medidor hasta la cara plana de la salida de cualquier acondicionador o rectificador de flujo, es decir, LONG. C > 5 D.
- k. Asegurar una longitud de 10 diámetros de tubería recta y lisa desde la cara plana de la entrada del medidor hasta la cara plana de la entrada del TUBO 1, se encuentre o no, rectificador o acondicionador, es decir, LONG. A > 10 D.
- l. La longitud de tubería recta y lisa aguas abajo debe ser como mínimo 5 diámetros, LONG. B > 5 d.
- m. Cuando en este documento se hace referencia a tubería lisa se pretende especificar, sin hendiduras o sobresaltos, sin sellos salientes internamente, además una rugosidad aritmética promedio Ra < 15 micrómetros.
- n. La tubería recta se define como aquella que asegura una circularidad menor a 0.01 D, del mismo modo el montaje de las tuberías deben estar alineados concéntricamente.
- o. Se debe tener especial cuidado con la instalación del termo pozo LONG. TOMA = 1.5D, para que represente de manera uniforme a todos los laboratorios las condiciones de operación del fluido.
- p. La profundidad de inserción del sensor de temperatura debe estar entre [1/3 y 2/3] del diámetro de la tubería, y el diámetro del agujero pasante en la tubería para dicho sensor \varnothing TERMOPOZO < 5 mm, la profundidad de inserción se mide desde la pared interna de la tubería hasta la punta del sensor instalado.
- q. La máxima diferencia entre la tubería anexa al sistema de medición debe ser un diámetro nominal del medidor.


 **Revisión 5:** Las condiciones anteriormente mencionadas se verán sujetos a cambio de acuerdo a las capacidades técnicas de cada laboratorio, por favor evaluar detalladamente.

7. CIRCULACIÓN, PUNTOS DE RECEPCIÓN

Considerando la cantidad de participantes, el tipo de circulación más práctico sería bucle cerrado CDT de GAS - LABORATORIO 1 - LABORATORIO 2 - CDT de GAS.

El CDT de GAS enviará personal capacitado como acompañante del patrón de transferencia durante toda la circulación del paquete, para monitorear las condiciones de viaje y acompañar la realización de las pruebas, una ventaja para el buen funcionamiento del programa.

 **Decisión 12:** El comité técnico decidirá la conveniencia entre: la posibilidad de que cada laboratorio sea el encargado de cubrir los gastos hasta las instalaciones del siguiente laboratorio o que los gastos cubiertos sean hasta el aeropuerto más cercano.


 **Revisión 6:** *El aeropuerto más cercano o punto de recepción es definido por cada laboratorio*


El paquete de transferencia será transportado desde las instalaciones del CDT de GAS al aeropuerto Palonegro en Bucaramanga, para despacharlo vía aérea hasta el aeropuerto 1 que será el punto de recepción de LABORATORIO 1 que conducirá el paquete hasta sus instalaciones.

Una vez realizada la comparación por parte de LABORATORIO 1 preparará el paquete de transferencia según embalaje y enviará el paquete en vuelo al aeropuerto 2 que será el punto de recepción de LABORATORIO 2 quien trasladará el paquete hasta sus instalaciones.

Del mismo modo, obtenidos los resultados por parte del LABORATORIO 2 este cerrará el bucle enviando el paquete de transferencia en vuelo hasta el aeropuerto Palonegro, la Corporación se encargara de transportarlo hasta sus instalaciones y completar el ciclo de mediciones.

8. CRONOGRAMA Y TIEMPOS DE ENTREGA

 **Revisión 7:** *Cada Laboratorio definirá cuáles son las fechas en las que el paquete de transferencia debería llegar a sus instalaciones.*


 **Decisión 13:** *el comité técnico llegara a un acuerdo respecto al cronograma y tiempos de viaje propuestos en el cronograma.*

1. Cada laboratorio embalará el paquete en todo un día viernes.
2. El paquete será enviado al laboratorio posterior al día siguiente, el sábado.
3. El transporte interlaboratorial tiene un tiempo conveniente de viaje, una semana calendario más un día, de tal forma, que el día lunes se estará confirmando la iniciación de la comparación en su laboratorio haciendo la prueba de Giro y revisando la información de monitoreo.
4. El siguiente día el Martes se hará el montaje, se confirmarán las pruebas de monitoreo y de Giro, y se hará la prueba de Fugas.
5. El día miércoles se seguirán los procedimientos y se enviarán los primeros resultados.

6. Desde el jueves hasta el siguiente jueves habrá constante comunicación entre los interesados para resolver cualquier posible desviación de los resultados.
7. El día viernes es el último día para reporte de resultados y será embalado el paquete nuevamente para empezar de nuevo el ciclo.

9. EMBALAJE DEL PAQUETE, ELEMENTOS DE VIAJE

Nº	PARTE
1	Tapa Lateral A
2	Tapa Lateral B
3	Tapa Lateral C
4	Tapa Lateral D
5	Tapa Superior
6	Turbina G1000
7	Acelerómetro
8	Monitor de P, T, H
9	Fuente Eléctrica
10	Conector NAMUR
11	Amplificador de potencia
11	Forro
12	Base
13	Correas
14	Carpeta de Documentos

 **Revisión 8:** Podría ocurrir que el transporte o embalaje del paquete de transferencia necesite ser modificado por condiciones especiales de ubicación, transporte, meteorología, esto debe definirlo cada laboratorio etc. Esta es una aproximación del paquete, se documentará más anexando fotos de embalaje.

Procedimiento de desembalaje se limita a ir extrayendo cada unas de las partes en el orden en el que están definidas, es decir la primera parte que se extrae es la tapa A y en última instancia la carpeta de documentos.

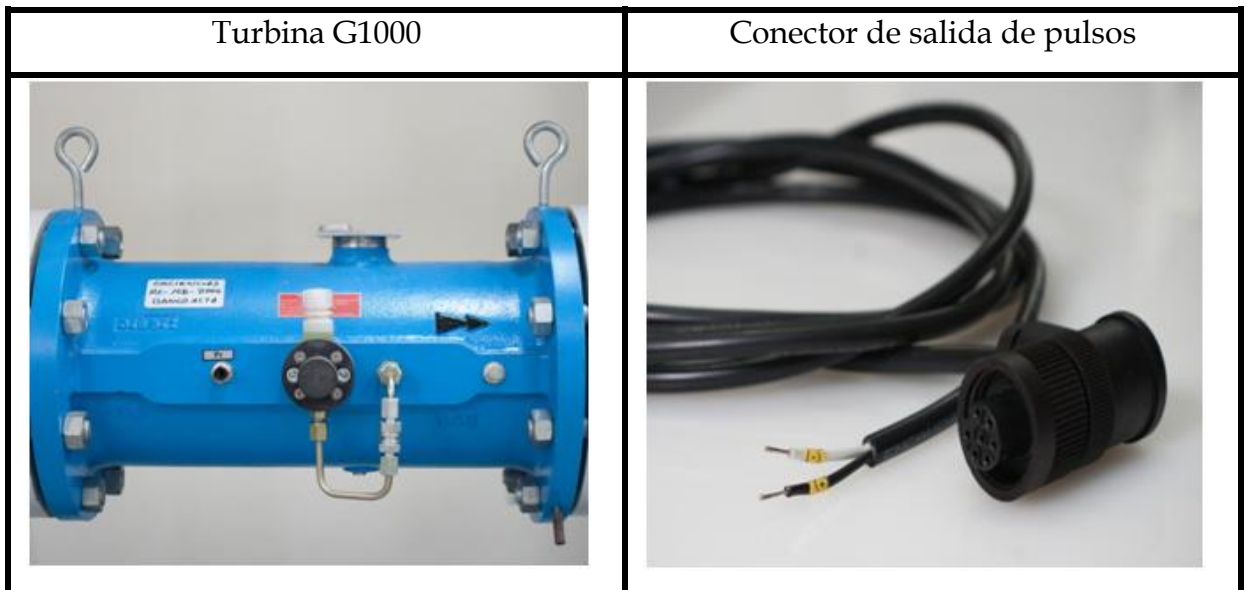
El paquete contiene dispositivos que registran las condiciones a las que es sometido durante el viaje, el acelerómetro registra aceleraciones en una banda entre [2 a 6] g,

definidas como aceleraciones abruptas (golpes) que pueden afectar el funcionamiento del paquete de transferencia.

Del mismo modo las condiciones ambientales son monitoreadas de tal forma que valores extremos de temperatura, humedad y presión a los que el paquete puede ser expuesto durante el transporte queden registrados, de esta forma contamos con la mayor cantidad de información posible para definir las condiciones del medidor de transferencia y la toma de decisiones.

Dimensiones Aproximadas de la caja: 60 cm x 40 cm x 40 cm.

Peso Aproximado total: 80 Kg






10. DURANTE LA COMPARACIÓN

El laboratorio participante recorrerá una serie de instancias, que comienzan antes del inicio de la circulación de paquete de transferencia, con la puesta a punto de sus laboratorios para la recepción del mismo, obtener la mejor capacidad de medida y asegurar el perfecto desarrollo del programa.

El laboratorio tendrá un seguimiento especial para el control y monitoreo del paquete de transferencia y cumplimiento del cronograma desde el momento justo que el paquete es embalado por el laboratorio antecesor, el laboratorio deberá evitar cualquier omisión del protocolo.

 **Revisión 9:** Los formatos se enviarán en un documento anexo.


10.1 RECEPCIÓN DEL PAQUETE

- a. El responsable de laboratorio para el programa deberá coordinar todo el transporte desde el punto de recepción del paquete, previamente definido por el comité técnico, hasta las instalaciones de su laboratorio, siguiendo todas las recomendaciones del presente protocolo.


- b. En el momento de la recepción el responsable deberá hacer un registro fotográfico de las condiciones de llegada y anexarlo formato digital a la carpeta de documentos y evaluar el estado de la misma.
- c. El desembalaje sigue el orden descrito en el ítem 9 para el cuidado de la caja y las condiciones posteriores de armado, la apertura del paquete debe hacerse dentro de las instalaciones del laboratorio, se debe completar el formato de recibido con la información necesaria.
- d. Se deberán revisar las condiciones anteriores de transporte monitoreadas por el acelerómetro y el monitor de P, T y HR para llenar los formatos correspondientes.
- e. Se recomienda ubicarlo inmediatamente en el cuarto de ensayos a fin de estabilizarlo a la temperatura de prueba lo antes posible.
- f. Se ejecutará la prueba de giro o Spin Test y completar la información requerida en el formato de monitoreo.
- g. El montaje se hará según las recomendaciones del ítem 6, cada laboratorio deberá evaluar por si mismos la conformidad de la instalación, se completa la información del formato de montaje para enviarlo a la menor brevedad posible formato electrónico o telefax.

10.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA TURBINA.

- a. Los resultados de Monitoreo son enviados, en formato electrónico o vía telefax, al comité técnico, el mismo día de la ejecución de las pruebas. Paso siguiente se deberá informar también vía telefónica para confirmar la recepción de dicha información, en caso de una posible anomalía se deberán ejecutar todas las acciones correctivas recomendadas por el comité.
- b. Una vez el comité técnico confirme haber recibido los resultados de las pruebas, se procede a obtener los valores de la comparación según el método comúnmente utilizado por cada laboratorio para la calibración de medidores de flujo tipo turbinas, consecuentemente se completará el formato de resultados.
- c. Se ejecutará la prueba de hermeticidad y se completara la información requerida en el formato de monitoreo.

 **Revisión 10:** *A tener en cuenta que los Laboratorios participantes deben seguir un procedimiento particular que está en preparativos, para el acondicionamiento de la turbina, como número mínimo de horas de operación para estabilizar la temperatura.*

- d. La hoja de resultados deberá ser enviada en formato electrónico o vía telefax al organismo de acreditación o garante de la comparación ^{Revisión 11}, tan pronto como sea posible, para evaluar los resultados en el plazo de una semana como se definió en el cronograma, en caso de una aparente anomalía se comunicara al laboratorio participante para realizar nuevamente la comparación, este proceso se llevara a cabo una sola vez, siendo el último día para entregar los resultados el estimado en el cronograma.

 **Revisión 11:** *Podrá cambiar si se define que el laboratorio piloto realice esta función por la ausencia de organismos de acreditación.*

10.3 EMBALAJE Y ENVÍO

- a. Para el embalaje se seguirán las instrucciones dadas en el ítem 9, se comunicará al laboratorio siguiente el itinerario del paquete y las condiciones de transporte, se recomienda realizar un nuevo registro fotográfico del paquete y anexarlo a la carpeta de documentos en formato electrónico.
- b. Si el laboratorio lo estima conveniente, puede generar inmediatamente el certificado de calibración, completar la hoja de resultados y anexar estos documentos, de una vez, en el paquete de transferencia, en caso contrario deberán ser enviados dentro del tiempo especificado en el cronograma, por correo certificado o cualquier otro método que asegure el transporte del mismo.

El seguimiento especial de control y monitoreo terminará en el momento que el laboratorio siguiente confirme la recepción y buen estado del paquete de transferencia.

11. ASPECTO FINANCIERO

Cada laboratorio será responsable por:

- a. Los gastos generados dentro de su laboratorio, calibración, insumos, servicios, personal, envío de información etc.
- b. El costo sobre todo concepto del transporte desde su punto de recepción hasta el punto de recepción del siguiente laboratorio.

- c. Los costos generados por incumplimiento o demora si los hay, serán asumidos por el laboratorio que incurrió en dicho desacierto.
- d. Del mismo modo deberá hacerse responsable por daño, pérdida o cualquier perjuicio al paquete de transferencia dentro sus instalaciones.
- e. Cuando el perjuicio se hace en el transporte el comité técnico definirá la responsabilidad del laboratorio por omisión o negligencia.
- f. El paquete estará amparado bajo una póliza de seguro en caso de siniestro.

 **Decisión 14:** Las demás responsabilidades que el comité decida.

12. INCERTIDUMBRES

Cada laboratorio deberá tener en cuenta por lo menos las siguientes fuentes de incertidumbre, siguiendo las referencias [21].

- a) por error del medidor patrón.
- b) por el numero de pulsos de ó los medidores.
- c) por temperatura medida en la turbina g1000.
- d) por presión medida en la turbina g1000.
- e) por temperatura en el medidor patrón.
- f) por presión medida en el medidor patrón.
- g) por presión barométrica.

13. ANEXO A VALORES DE REFERENCIA KCVR

Los valores de referencia VR comúnmente utilizados en las KEY COMPARISON método propuesto por COX, M.

14. ANEXO B FORMATOS DE VERIFICACIÓN Y CONTROL

Son establecidos para mantener monitoreo constante, el comité técnico verificará y recomendará acciones correctivas necesarias para el buen desarrollo del programa de comparación basados en dichos formatos, es decir, servirán como herramientas de información para la toma de decisiones en caso de errores, daños o cambios en el

desempeño de los patrones de transferencia, cada prueba tiene su correspondiente formato, como mecanismo de registro.

A. INSPECCIÓN VISUAL EN LA RECEPCIÓN.

El objetivo de la inspección es evaluar el estado del paquete de transferencia después de un transporte interlaboratorial, el receptor o persona de contacto es el encargado de evaluar las condiciones de llegada del paquete el visto bueno en la recepción es solo producto de una evaluación visual y se describirá las condiciones de llegada en la casilla correspondiente.

B. MONITOREO DE LAS CONDICIONES TRANSPORTE.

El acompañante del paquete, reunirá la información grabada por los dispositivos destinados para tal fin, estos son: el acelerómetro y el monitor de condiciones ambientales de presión, temperaturas, humedad y altitud, el acompañante evaluará el histórico de estos registros.

C. VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE INSTALACIÓN.

Es una evaluación de conformidad de las características generales de instalación que será responsabilidad de cada laboratorio, se recomienda seguir los lineamientos de AGA 7

D. PRUEBA DE TIEMPO DE GIRO.

Es un indicador práctico de las condiciones de fricción mecánica en el medidor, el incremento puede afectar el desempeño del medidor especialmente a bajos flujos y bajas presiones de operación, antes de la prueba se debe verificar la limpieza del medidor en búsqueda de cualquier residuo que pueda afectar las condiciones de giro del medidor se

debe garantizar aislamiento, despresurización y horizontalidad del medidor en un ambiente libre de corrientes de aire.

1. Conectar la salida de pulsos de tal forma que se pueda tener una indicación del caudal instantáneo del medidor.
2. Se deben como mínimo tres corridas, repitiendo los pasos 4 y 5, el valor tomado será el promedio de las tres medidas.
3. Generar una corriente de aire capaz de hacer girar la turbina hasta que la indicación de caudal sea como mínimo 80 m³/h.
4. Contabilizar el tiempo desde el momento en que la línea de aire es retirada, lo más rápido posible; hasta cuando el rotor pare o la frecuencia sea cero.
5. Calcular el promedio.
6. El tiempo debe estar entre 225 y 315 segundos.
7. En caso contrario se debe consultar con el comité técnico.

E. PRUEBA DE HERMETICIDAD.

1. Tomar la temperatura en algún punto del tramo de la prueba, la temperatura no debe variar más de 0.1 °C.
2. La resolución del sensor de presión debe ser $\leq 1/20$ mbar = 5 Pa.
3. Medir la Presión Barométrica PB en mbar y el Volumen encerrado Vc del tramo de prueba en m³.
4. Estimar la absorción de presión o caída de presión máxima $\Delta P_{\text{Pérdidas}}$ [mbar] del tramo por todo concepto tuberías, medidor patrón, codos, válvulas etc., tener en cuenta que la caída de presión máxima en la turbina G1000 es 20 mbar.
5. Estimar $P_{\text{abs}} = P_{\text{b}} - 3 * \Delta P_{\text{Pérdidas}}$.
6. Garantice el tramo a P_{abs} durante 5 min., Para estabilizarlo térmicamente.
7. Retire el mecanismo generador de vacío, y empiece a contabilizar el tiempo a los 3 minutos registre la caída de presión en el tramo = ΔP_{fugas} .
8. La máxima caída de presión por fugas $\Delta P_{\text{maxfugas}}$ en la prueba está dada por:

$$\Delta P_{\text{maxfugas}} [\text{mbar}] = (0.008 * P_{\text{abs}}) / V_{\text{c}}$$

NOTA: 0.008 = 3 minutos que son 0.05 horas * $Q_{\text{min}} = 0.160 \text{ dm}^3/\text{h}$