

**REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALIDAD EN LAS ÁREAS DE
CALIBRACIÓN Y ENSAYO DEL CDT DE GAS.**

**LEIDY JOHANNA CAPACHO LIZARAZO
WATSON MARCELO HERNÁNDEZ TAMAYO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2004**

**REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALIDAD EN LAS ÁREAS DE
CALIBRACIÓN Y ENSAYO DEL CDT DE GAS.**

**LEIDY JOHANNA CAPACHO LIZARAZO
WATSON MARCELO HERNÁNDEZ TAMAYO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL E
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTORA
PIEDAD ARENAS DÍAZ
INGENIERA INDUSTRIAL**

**CODIRECTOR
HENRY ABRIL BLANCO
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2004

A Dios
A mi mamita Lilia, la mamá más linda y comprensiva del
mundo y a mi papá Jose Antonio por apoyarme
incondicionalmente en la consecución de mis sueños
A Ronald, mi niño, por estar siempre conmigo
A mis tíos, familia y amigos del alma

LEIDY JOHANNA CAPACHO LIZARAZO

A mis queridos padres Lucila Tamayo y Marcos Hernández (Q.E.P.D), los cuales depositaron toda su confianza y apoyo en mi, brindándome todo lo posible para salir adelante.

A mis hermanos, Mauricio y Emerson de los cuales he recibido su fortaleza y apoyo incondicional en el desarrollo de este logro, y a todos mis amigos por la amistad brindada.

WATSON MARCELO HERNÁNDEZ TAMAYO

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos:

A la Ingeniera Piedad Arenas, docente de la Escuela de Estudios Industriales y Empresariales y Jefe de la división de recursos humanos de la universidad industrial de Santander y al Ingeniero Adolfo León Arenas, decano de la facultada de Físico-mecánicas por confiar en nuestras capacidades para llevar a cabo este proyecto.

Al Director del laboratorio del CDT de GAS, Henry Abril Blanco por permitirnos y facilitarnos la realización de este proyecto y por su valiosa colaboración para culminarlo satisfactoriamente.

A Juan Manuel Ortiz por su apoyo como profesional de proyección y desarrollo y amistad, y en general al grupo de trabajo del CDT de GAS.

A nuestro compañeros y amigos de universidad.

ABSTRACT

TITLE:

REDRAW AND IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM OF QUALITY IN THE AREAS OF CALIBRATION AND REHEARSALS OF THE CDT DE GAS.

AUTORES:

**LEIDY JOHANNA CAPACHO LIZARAZO
WATSON MARCELO HERNÁNDEZ TAMAYO**

KEY WORDS:

System of administration of quality, uncertainty, NTC-ISO 17025, calibration, hydrostatic tests, gasodomestic.

DESCRIPTION:

The objective of the project is the redraw and implementation of the system of administration of quality in the calibration areas and rehearsals of the Center Of Technological Development of the Gas - CDT of GAS.

The SGC you design under the norm NTC-ISO 17025 “ General Requirements of competition of test laboratories and calibration” with the purpose of to give dependability and support to the technical activities that he carries out the laboratory and to allow the opening of services in areas of the sector gas that the laboratory can replace by means of the creation and optimization of the procedures, determination of the uncertainty involved in each one of these and elaboration of the administrative documentation and necessary technique to carry out this process.

The worked rehearsal areas were hydrostatic Tests and gasodomesticos. In the first area they are carried out test to different recipients like cylinders, extinguishers among other types lower international norms that have equivalence to national norms. In the domestic gas appliances area the quality of devices is verified for cooking of foods and heaters with the purpose of giving execution to the legal and government dispositions and in turn to the international and national standard.

As for the area of calibrations the procedures of Strapping were developed (calibration procedure for the primary pattern of the CDT of GAS, bell prover), procedure of calibration of meters type humid cameras and type diaphragm.

RESUMEN

TÍTULO:

REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CALIDAD EN LAS ÁREAS DE CALIBRACIÓN Y ENSAYOS DEL CDT DE GAS.

AUTORES:

**LEIDY JOHANNA CAPACHO LIZARAZO
WATSON MARCELO HERNÁNDEZ TAMAYO**

PALABRAS CLAVES:

Sistema de gestión de calidad, incertidumbre, NTC-ISO 17025, calibración, pruebas hidrostáticas, gasodomésticos.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo del proyecto es el rediseño e implementación del sistema de gestión de calidad en las áreas de calibración y ensayos del Centro De Desarrollo Tecnológico del Gas – CDT de GAS.

El SGC se diseño bajo la norma NTC-ISO 17025 “Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración” con el fin de dar confiabilidad y soporte a las actividades técnicas que realiza el laboratorio y permitir la apertura de servicios en áreas del sector gas que el laboratorio puede suplir mediante la creación y optimización de los procedimientos, determinación de la incertidumbre involucrada en cada uno de estos y elaboración de la documentación administrativa y técnica necesaria para llevar a cabo dicho proceso.

Las áreas de ensayo trabajadas fueron Pruebas hidrostáticas y gasodomesticos. En la primera área se realizan ensayos a diferentes recipientes como cilindros, extintores entre otros tipos, bajo normas internacionales que tienen equivalencia a normas nacionales. En el área de gasodomésticos se verifica la calidad de artefactos para cocción de alimentos y calentadores con el fin de dar cumplimiento a las disposiciones legales y gubernamentales y a su vez a la normatividad internacional y nacional.

En cuanto al área de calibraciones se desarrollaron los procedimientos de Strapping (procedimiento de calibración para el patrón primario del CDT de GAS, campana gasométrica), procedimiento de calibración de medidores tipo cámaras húmedas y tipo diafragma.

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN

2 MARCO CONCEPTUAL	2
2.1 LA METROLOGÍA	2
2.1.1 Caracterización de la metrología	3
2.1.2 Beneficios de la metrología	5
2.2 LA METROLOGÍA EN COLOMBIA	5
2.3 COLOMBIA A NIVEL MUNDIAL	6
2.4 ASEGURAMIENTO METROLÓGICO	6
2.5 ORGANIZACIONES DE METROLOGÍA Y ENSAYO EN EL PAÍS	13
2.6 PROCESO DE ACREDITACIÓN PARA LABORATORIOS DE METROLOGÍA Y ENSAYO	14
2.6.1 Tipos de organismo y modalidades de acreditación	15
2.6.2 Requisitos para la acreditación	15
2.6.3 Órganos consultivos de la acreditación	15
2.6.4 Niveles del proceso y etapas	16
2.7 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD EN LABORATORIOS	17
2.8 NORMATIVIDAD	18
3 ESTRUCTURA GENERAL DE LA ORGANIZACIÓN	19
3.1 CENTROS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO	19
3.2 CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS – CDT DE GAS-	19
3.2.1 Localización	19
3.2.2 Objeto social de la empresa	20
3.2.3 Estructura organizacional del CDT de GAS	20
3.2.4 Cultura organizacional	23
3.2.5 Clima organizacional	23
3.2.6 Política de calidad	24
3.2.7 Servicios ofrecidos por el laboratorio del CDT de GAS	25

4 METODOLOGÍA	27
4.1 PLANEACIÓN DEL PROGRAMA DE ACTIVIDADES Y ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS	28
4.2 COMPRENSIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	28
4.2.1 Manual de calidad	28
4.2.2 Manual de procedimientos generales y formatos	29
4.2.3 Manual De Mantenimiento Preventivo De Equipos	29
4.2.4 Manual de seguridad e higiene industrial	29
4.2.5 Procedimientos técnicos de calibración (PTC)	30
4.2.6 Manual de procedimientos técnicos de verificación	30
4.2.7 Manual de procedimientos técnicos de ensayo (PTE)	30
4.2.8 Manual de Estimación de Incertidumbres	31
4.3 DOCUMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN	31
4.4 SENSIBILIZACIÓN Y CAPACITACIÓN	38
4.4.1 Sensibilización	38
4.4.2 Capacitación	38
4.5 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA	37
4.6 ACCIONES DE MEJORAMIENTO	40
5 DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y ENSAYOS DEL CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS	42
5.1 ESTADO INICIAL DEL LABORATORIO	42
5.2 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ENCONTRADA	42
5.2.1 Etapa 1	42
5.2.2 Etapa 2	49
5.2.3 Comparación de resultados: etapas 1 y 2	55
6 PROCEDIMIENTOS DE STRAPPING Y DE CALIBRACIÓN CON EL PATRÓN PRIMARIO DEL CDT DE GAS	59
6.1 PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN	59
6.1.1 Calibración de la Campana Gasométrica por el método Dimensional	55
6.1.2 Procedimiento de calibración de medidores de volumen tipo cámara Húmeda	89

6.1.3 Procedimiento de calibración de medidores tipo diafragma	94
7 ÁREA DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS	102
7.1 INTRODUCCIÓN	102
7.2 GENERALIDADES DEL ÁREA	102
7.2.1 Características del equipo de pruebas	102
7.3 RECIPIENTES A LOS QUE SE REALIZA INSPECCIÓN PERIÓDICA Y ENSAYO POR MÉTODO HIDROSTÁTICO	106
7.4 NORMATIVIDAD	106
7.5 PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DE ENSAYO	107
7.5.1 Inspección de la muestra	108
7.5.2 Expansión volumétrica	109
7.5.3 Presión hidrostática	110
7.5.4 Presión de rotura	110
7.5.5 Adecuación del cilindro para entrega	111
7.6 INTERVALOS ENTRE INSPECCIÓN Y ENSAYOS PERIÓDICOS	
8 ÁREA DE ENSAYOS PARA GASODOMÉSTICOS	114
8.1 INTRODUCCIÓN	114
8.2 ARTEFACTOS A LOS QUE SE REALIZA VERIFICACIÓN Y ENSAYOS	116
8.3 NORMATIVIDAD	116
8.4 PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DE ENSAYO	117
8.4.1 Artefactos para la cocción de alimentos	117
8.4.2 Gasodomésticos para el calentamiento de agua de uso doméstico	122
9 SISTEMA DE INDICADORES DEL CDT DE GAS	131
9.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS INDICADORES DE GESTIÓN	131
9.1.1 Descripción de la metodología empleada	133
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Desarrollo del método: mapa para análisis de requisitos

LISTA DE APÉNDICES

- Apéndice A. Principios de medición y Jerarquía de patrones
- Apéndice B. CENAM.
- Apéndice C. Deducción del método aproximado empleado para la determinación del % error
- Apéndice D. Generalidades sobre los gasodomésticos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Conceptos relativos a la calibración	10
Figura 2. Centros de Metrología a nivel internacional	10
Figura 3. Estructura de las intercomparaciones en flujo de gas a nivel internacional	11
Figura 4. Estructura de las intercomparaciones en flujo de gas a nivel internacional buscada por el CDT de GAS	12
Figura 5. Organigrama del Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas-CDT de gas	21
Figura 6. Organigrama del Laboratorio del CDT DE GAS	23
Figura 7. Esquema de la metodología implementada	27
Figura 8. Estructura de la documentación del Sistema de Calidad diseñada	32
Figura 9. No conformidades en cuanto a los criterios administrativos de la norma 17025:2001	51
Figura 10. No conformidades en cuanto a los criterios administrativos de la norma 17025:2001	52
Figura 11. No conformidades en cuanto a otros factores o criterios de la norma 17025:2001	53
Figura 12. No conformidades por errores de diligenciamiento y procedimiento	54
Figura 13. Esquema de la campana gasométrica	61
Figura 14. Instrumento de medición, Cinta pi	64
Figura 15. Conjunto polea- transmisión-encoder de la Campana Gasométrica	65
Figura 16. Gráfica de la Ecuación que describe el Diámetro de la Campana como función de Posición Vertical	70
Figura 17. Relación entre el nivel de aceite en función del desplazamiento vertical de la campana del CDT de GAS	73
Figura 18. Plantilla de Mathcad empleada para el cálculo del mensurando	75
Figura 19. Metodología empleada para el cálculo de la incertidumbre	76
Figura 20. Etapas del proceso de calibración	90
Figura 21. Montaje para la calibración de una cámara húmeda	91
Figura 22. Fuentes de incertidumbre en la determinación del % de error.	95
Figura 23. Fuentes de incertidumbre en la determinación del volumen del medidor	100
Figura 24. Esquema general del área de pruebas hidrostáticas	103

Figura 25. Equipo de pruebas Presstest GALISO	104	
Figura 26. Cabeza de cierre hidráulico	104	
Figura 27. Partes de la camisa de ensayo	105	
Figura 28. Ensayos elaborados en el área de pruebas hidrostáticas	108	
Figura 29. Cilindros valvulados	111	
Figura 30. Esquema general del alcance del manual de procedimientos técnicos de ensayo	115	
Figura 31. Ensayo de resistencia del	Figura 32. Ensayo de resistencia de la	120
Figura 33. Esquema el montaje para el cálculo de la tasa de consumo		121
Figura 34. ATEQ		124
Figura 35. Montaje para el Ensayo de Consumo Calorífico		125
Figura 36. Banco de Ensayo de Tiro Anormal		127
Figura 37. Equipo Land combustion		127
Figura 38. Esquema para el desarrollo de un sistema de indicadores		132
Figura 39. Despliegue de un indicador		136

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Documentación existente en el sistema de calidad	29
Tabla 2. Comparación de la documentación por realizar con la existente. Documentos de calidad	33
Tabla 3. Comparación de la documentación por realizar con la existente Documentos Técnicos el sistema de calidad	36
Tabla 4. Descripción de las tablas empleadas	45
Tabla 5. No conformidades en cuanto a los criterios administrativos de la norma 17025:2001	50
Tabla 6. No conformidades en cuanto a los criterios técnicos de la norma 17025:2001	51
Tabla 7. No conformidades en cuanto a otros factores o criterios de la norma 17025:2001	53
Tabla 8. No conformidades por errores de diligenciamiento y procedimiento	54
Tabla 9. Estado del cumplimiento de los requisitos administrativos en el laboratorio del CDT de GAS	56
Tabla 10. Estado del cumplimiento de los requisitos Técnicos en el laboratorio del CDT de GAS	57
Tabla 11. Descripción del modelo matemático	62
Tabla 12. Diámetros obtenidos para la Campana Gasométrica	69
Tabla 13. Datos obtenidos en la medición de R_{POLEA}	71
Tabla 14. Datos obtenidos de la medición del diámetro interno del tanque	72
Tabla 15. Datos obtenidos de la medición del cambio de nivel de aceite	73
Tabla 16. Radio de la polea	78
Tabla 17. Constante cinemática de la campana K	81
Tabla 18. Volumen de aceite desplazado (V_{OIL})	82
Tabla 19. Volumen interno de la campana (V_{bell})	85
Tabla 20. Factores de Sensibilidad para el % de Error	98
Tabla 21. Factores de Sensibilidad para el Volumen del Medidor	101
Tabla 22. Periodicidad de inspecciones y ensayos de acuerdo al tipo de gas	112
Tabla 23. Periodicidad de inspecciones y ensayos de acuerdo con las especificaciones de fabricación	113

Tabla 24. Clasificación de los procedimientos.	118
Tabla 25. Clasificación de los procedimientos.	123

1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, y como consecuencia de los grandes cambios acaecidos en el entorno económico en el que se mueven las empresas, los conceptos de calidad e innovación tecnológica surgen como posibles factores estratégicos de diferenciación y, en consecuencia, de competitividad.

Los conceptos relacionados con la calidad se han desarrollado tradicionalmente en el marco de las relaciones contractuales cliente-proveedor. Sin embargo, existen algunos sectores industriales de especial impacto social en los que la calidad, la seguridad y la eficacia han sido impuestas por los poderes públicos es por esto que cada vez más actividades de laboratorio se están viendo obligadas, por requerimientos legales, a incorporar sistemas de aseguramiento de la calidad.

A causa de la competitividad, cada vez es mayor el número de laboratorios que se plantean la certificación ISO 9000; en cambio si lo que desean es incorporarse al sistema europeo de evaluación de la conformidad, como laboratorios acreditados, deben cumplir la norma ISO 17025, y las normas BPL (Buenas Prácticas de Laboratorio), siempre que deseen trabajar en determinados sectores de actividad altamente regulados.

El Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas – CDT de GAS – en concordancia con las tendencias y en la identificación de su necesidad, desarrolló un rediseño e implementación de un Sistema de Gestión de Calidad con base en la norma NTC-ISO-IEC 17025 “ Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración” cuyos resultados se presentan en el siguiente documento.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 LA METROLOGÍA

Diversos aspectos de la vida dependen de las medidas. De ahí la importancia de la metrología y la universalidad de las unidades y los patrones de referencia. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos, relacionados con las mediciones, independientemente de la incertidumbre y de la rama de la ciencia o la tecnología donde ellas ocurran. Técnicamente la metrología se define como “ El campo de conocimiento referente a las mediciones” ¹; y es considerada como la columna vertebral de todas las disciplinas científicas.

En particular la metrología se ocupa de:

- La teoría de las mediciones,
- Las unidades de medida y su realización física,
- Los métodos y procedimientos de medición,
- Las características de los instrumentos de medición,
- Las personas y entidades involucradas en las mediciones.

Las bases de la Metrología como ciencia de la medición fueron establecidas hace ya considerable tiempo, lo cual demandó esfuerzos científicos, técnicos, políticos, administrativos, legales y económicos considerables. Con el transcurso del tiempo, la Metrología ha cobrado suprema importancia. La complejidad de la vida en los países altamente desarrollados; así como las relaciones entre todos los países que tienen relaciones de intercambio, entre ellas las relacionadas con las mediciones; por ejemplo, en la industria automotriz para asegurar que un componente fabricado en Japón se acoplará adecuadamente en un carro ensamblado en México, han justificado la utilización de una referencia en común.

¹ NTC 2194, segunda actualización, “Vocabulario de términos básicos y generales en metrología”, 1997-11-26

Es principalmente el desarrollo tecnológico de los últimos años, el cual ha llevado a una revisión conceptual y científica de la metrología que se encuentra en constante preocupación por las investigaciones orientadas a conseguir mayor exactitud, mayor diversidad de patrones de referencia y mayor uniformidad y precisión de las medidas a nivel internacional.

2.1.1 Caracterización de la Metrología. Por conveniencia, se hace a menudo una distinción entre los diversos campos de aplicación de la metrología; existen básicamente tres diferentes áreas en las cuales se desarrolla el tema de la metrología: Metrología Científica, Metrología Legal y Metrología Industrial.

El objeto y campo de aplicación de cada una de estas áreas está claramente definido y su desarrollo en teoría debería ir ocurriendo de forma paralela y simultánea.

a. Metrología científica

Es 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.

La Metrología científica comprende:

- El sistema internacional de unidades SI
- Las unidades de medición y patrones (realización, reproducción y diseminación)
- Los métodos de medición, exactitud, incertidumbre
- Los instrumentos de medición
- La capacitación de personal

b. 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. La calibración debe hacerse contra

equipos certificados, con relación válida conocida a patrones, por ejemplo los patrones nacionales de referencia.

La metrología industrial cumple con las siguientes tareas:

- La información sobre mediciones
- Las calibraciones
- La trazabilidad
- El servicio de calibración
- El aseguramiento de la calidad en las mediciones².

c. Metrología legal

Según la Organización Internacional de Metrología Legal (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.

La metrología legal (ámbito oficial de mediciones de interés nacional) comprende:

- La uniformidad de medidas y unidades.
- La garantía del intercambio justo de mercancías.
- La facilitación de patrones trazables para la industria

Recursos necesarios:

- Un instituto nacional de metrología
 - Las leyes, reglamentos, directivas técnicas
-
- La organización técnica oficial de verificación
 - La organización técnica oficial de verificación
 - Las verificaciones de patrones propios de esta área.
 - El aseguramiento de la calidad en la medición en el momento de la ocurrencia de la transacción comercial.

²***Superintendencia de Industria y Comercio, Centro de control de calidad y metrología –CCM, tomado de introducción a la metrología legal documento básico, verificación de pesas y medidas, Bogotá, junio de 1995***

- Garantizar la confiabilidad de las mediciones en las relaciones de consumo y en la toma de decisiones oficiales aplicables.³

2.1.2 Beneficios De La Metrología. El desarrollo de la metrología proporciona múltiples beneficios al mundo industrial, como se cita a continuación:

- * Promueve el desarrollo de un sistema armonizado de medidas, análisis y ensayos exactos, necesarios para que la industria sea competitiva.
- * Facilita a la industria las herramientas de medida necesarias para la investigación y desarrollo en campos determinados y para definir y controlar mejor la calidad de los productos.
- * Perfecciona los métodos y medios de medición.
- * Facilita el intercambio de información científica y técnica
- * Posibilita una mayor normalización internacional de productos en general, maquinaria, equipos y medios de medición.

2.2 LA METROLOGÍA EN COLOMBIA

En nuestro país el desarrollo de la metrología ha estado centrado por una parte en la metrología industrial. La Superintendencia de Industria y Comercio a través de la División de Metrología viene adelantando esta actividad.

En el campo de la metrología legal, mediante resolución 10747 del 2002 se creó y organizó el Grupo de Control y Vigilancia de Reglamentos Técnicos y Metrología Legal en la Delegatura para la Protección del Consumidor, a través del cual se busca garantizar el desarrollo y la implantación de una metrología legal acorde a las necesidades y expectativas de nuestro país de una forma tal que esta clase de metrología satisfaga las relaciones de consumo, brindando además una herramienta idónea para la defensa del consumidor ad-ventas de los actuales procesos de integración económica y globalización como por ejemplo el ALCA en nuestro continente.

2.3 COLOMBIA A NIVEL MUNDIAL

³ Tomado de la página de internet de la SIC: www.sic.gov.co

Colombia forma parte del Sistema Interamericano de Metrología, Normalización, Acreditación y Calidad, SIM, la cual es la organización regional de metrología para las Américas. Está conformado por los institutos nacionales de metrología de los 34 países miembros de la Organización de los Estados Americanos, OEA, la cual funge como su Secretaría Ejecutiva.

Pero a pesar de que Colombia forma parte de una organización internacional de metrología, se encuentra en un nivel incipiente en comparación con otros países, debido a que el desarrollo de un país se encuentra íntimamente ligado a la inversión que en el campo de la metrología se realice.

Es importante resaltar que en Colombia a través de COLCIENCIAS se viene apoyando los proyectos de dicha índole, y que todos los esfuerzos realizados se verán nivelados por el desarrollo que traerá a nuestro país.

2.4 ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

La calidad del producto o el servicio es una necesidad insoslayable para toda organización económica que quiera elevar su eficiencia y ser competitiva. La gestión de la calidad es un subsistema en el cual se toman las medidas, a fin de producir bienes y prestar servicios que satisfagan las necesidades del cliente.

La gestión de la calidad está presente en todas las etapas del proceso de producción de bienes o de servicios y en ella se incluyen, en el marco del sistema de calidad las actividades siguientes:

- La política de calidad,
- La planificación de la calidad,
- El control de la calidad,
- El aseguramiento de la calidad y,
- El mejoramiento de la calidad,

La gestión de la calidad juega un papel activo en todas las fases o actividades contempladas en la espiral de la calidad; necesita de un programa que satisfaga a los clientes y que motive a los trabajadores para que traduzcan su sentido de pertenencia en bienes o servicios de alta calidad y competitividad; para ello se deben cumplir las siguientes funciones:

1. Definir, de conjunto con el personal técnico, las posibilidades de complementar las exigencias del cliente, y las regulaciones nacionales e internacionales, velando porque no se establezcan reservas de seguridad no justificadas, que encarecen los costos.
2. Elaborar los procedimientos de trabajo y el sistema de calidad que permitan ejercer las actividades de prevención y control para alcanzar la calidad deseada en todo el proceso.
3. La gestión de la calidad es responsabilidad de todos los trabajadores y niveles de dirección, y debe estar encabezada por su máxima autoridad.
4. Determinar las necesidades de equipos y personal para la adecuada ejecución de la inspección y los ensayos, tanto en proceso como en el producto final.
5. Determinar si el equipamiento y el personal están en condiciones idóneas, para realizar las operaciones previstas.
6. Determinar el *aseguramiento metrológico* necesario para el proceso y supervisar si los instrumentos de medición se encuentran calibrados o verificados, según las normas establecidas ⁴
7. Definir la estabilidad del proceso, que permita proceder a la determinación de las normas de trabajo.
8. Establecer los grados de calidad y medir, en correspondencia con ello, la calidad de la producción de bienes o servicios. Tomar las medidas preventivas y correctivas pertinentes para evitar producciones defectuosas y rectificar las desviaciones que se producen en el proceso, estableciendo un adecuado control del producto no conforme.
9. Participar, de conjunto con el personal técnico, en la solución de los problemas que se presentan en la producción o los servicios.

⁴ www.nuevaempresa.cu/index.html

10. Capacitar y entrenar a los trabajadores en los aspectos concernientes a la actividad de gestión de la calidad.
11. Desarrollar un sistema de registros de las quejas reclamaciones y devoluciones de los clientes, para darle seguimiento al producto o servicio y mejorar la calidad de los mismos.
12. El cumplimiento del requisito de seguridad, en todo el proceso, constituye un elemento importante para garantizar la calidad.
13. La gestión de la calidad parte de la concepción de que la misma se obtiene en cada puesto de trabajo y en toda la organización económica, mediante la mejora continua de todas sus etapas y procesos, a saber: en la preproducción, en la producción y en la postproducción. En ellas se establecerán las especificaciones, reglas y procedimientos, con el objetivo de medir y satisfacer las necesidades del cliente.
14. La piedra angular del subsistema es el aseguramiento de la calidad, que consiste en las actividades planificadas y sistemáticas, incluyendo el control de la calidad, para cumplir los requisitos de calidad, para lograr producciones de bienes o servicios con cero defectos y para brindar plena confianza al cliente; por eso las medidas de aseguramiento de la calidad complementan los requisitos que la calidad debe cumplir, pero no los reemplaza.

a. La calibración y el aseguramiento metrológico

El proceso de calibración o de confirmación metrológica juega un papel trascendental dentro del aseguramiento metrológico, ya que es el medio por el cual se consigue asegurar al cliente que las calibraciones o ensayos son realizados con la exactitud adecuada, los instrumentos de medición que utiliza producen resultados correctos y son controlados dentro de las condiciones y formas apropiadas. ⁵

⁵ **Notas:**

1. El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones, los valores correspondientes del mesurando o bien determinar las correcciones a aplicar en las indicaciones.
2. Una calibración también puede servir para determinar otras propiedades metrológicas, tales como los efectos de las magnitudes de influencia.
3. Los resultados de una calibración pueden consignarse en un documento denominado, a veces, Certificado de Calibración o Informe de Calibración.

Las empresas deberán realizar las comparaciones que consideren necesarias, con otras empresas prestigiosas y de éxito, que les permitan mejorar el nivel de calidad de sus productos y servicios y ganar en experiencias en el desarrollo de los mismos; para el caso de laboratorios de metrología realizar intercomparaciones con otros laboratorios con el fin de obtener trazabilidad.

La calibración y todos los conceptos asociados a ésta, han sido determinados a lo largo de los años por los organismos metroológicos y de normalización internacionales. En un principio fueron fijados básicamente con miras a su empleo desde dentro de los laboratorios. Sin embargo, hoy día el personal técnico de una empresa en la que se desea mantener un sistema de confirmación metroológica, se ve enfrentado con toda esta terminología, conceptos y definiciones, que le resultan ajenos y de difícil aprehensión.

A partir del concepto de calibración se pasa al concepto de trazabilidad. En el esquema de la figura 1. se resume la interrelación de diversos conceptos asociados al aseguramiento metroológico.

b. Trazabilidad de las mediciones

La integridad de un sistema de medición se basa en el principio de trazabilidad. La trazabilidad es una propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas.⁶

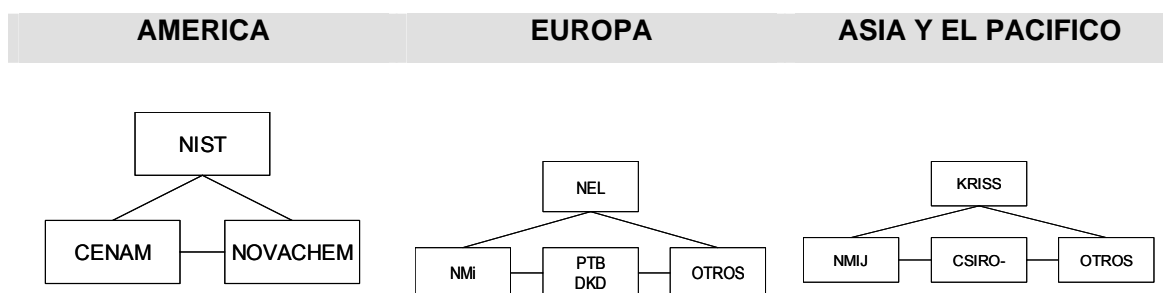
La posibilidad de determinar la trazabilidad (determinar y documentar las condiciones y características encontradas a lo largo de toda la cadena) de cualquier medición descansa en el concepto y las acciones de calibración y en la estructura jerárquica de los patrones empleados.

⁶ *NTC 2194, segunda actualización, "Vocabulario de términos básicos y generales en metrología", 1997-11-26, numeral 6.10.*

La trazabilidad a nivel internacional, y por consiguiente la exactitud de los Patrones Nacionales se asegura a través del trabajo conjunto entre el Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) y los Institutos Nacionales de Metrología (NMI), basados en los términos de los lineamientos establecidos en la Convención del Metro⁷. A continuación, se muestran las relaciones entre los diferentes actores del panorama metroológico internacional y el local.

Estos centros, desarrollan las intercomparaciones dividiéndose por regiones como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Estructura de las intercomparaciones en flujo de gas a nivel internacional

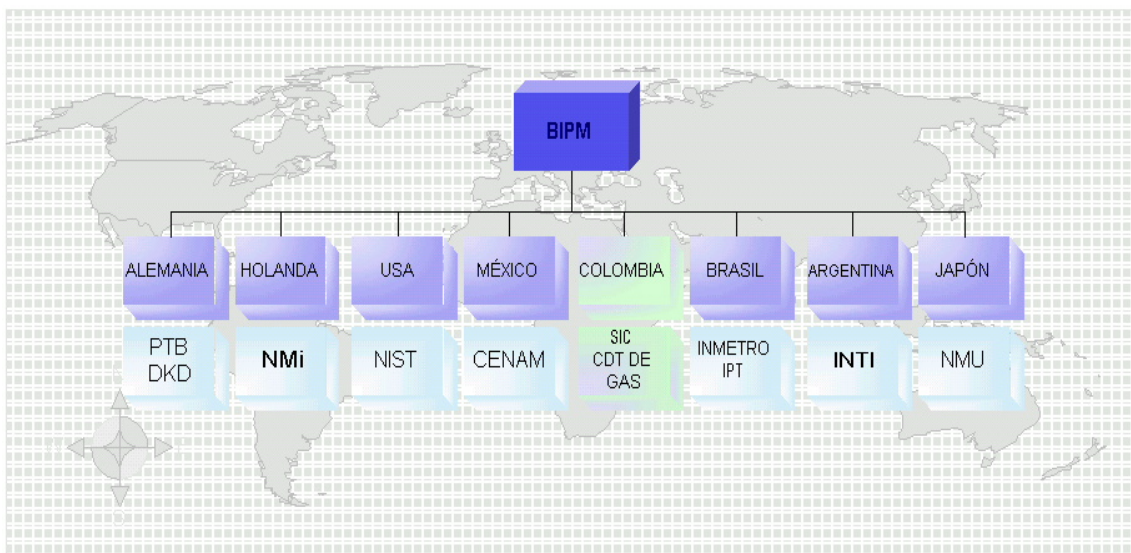


NIST (USA), NEL (UK) y KRISS (Corea) son los líderes de grupo en intercomparaciones de flujo de gas a baja presión; ellos se encargan de coordinar los estudios entre los centros de su área de influencia y posteriormente se intercomparan los líderes de grupo entre sí para verificar la trazabilidad. El CDT de GAS mantiene relaciones estrechas con el CENAM y a través de este con NIST.

El objetivo del CDT de GAS es lograr para Colombia (a mediano y largo plazo), entrar al grupo de laboratorios para desarrollar intercomparaciones y asegurar su trazabilidad a nivel internacional hasta el BIPM. La figura 4 muestra el objetivo propuesto.

⁷ *Convención del metro París, 20 de Mayo de 1875.*

Figura 4. Estructura de las intercomparaciones en flujo de gas a nivel internacional buscada por el CDT de GAS



c. Elementos de la trazabilidad

Para caracterizar la trazabilidad de una medición, no es suficiente que el laboratorio calibre sus equipos y disponga de los certificados de calibración pertinentes. Es preciso ir más allá de esto, pues un certificado de calibración no necesariamente da informaciones sobre la competencia de los laboratorios que realizaron las calibraciones de la cadena de trazabilidad. Es preciso que se consideren también algunos otros elementos que son esenciales para que se pueda asegurar, que el resultado de una medición sea trazable a un patrón nacional o internacional:

1. Cadena continua de comparaciones: conduciendo hasta un patrón nacional o internacional de medida.
2. Referencia a las unidades SI: la cadena de comparaciones debe llegar a los patrones primarios para la realización de las unidades del SI.
3. Calibraciones y recalibraciones: las calibraciones deben ser repetidas a intervalos apropiados, definido en función de una serie de variables, tales como incertidumbre

requerida, frecuencia y modo de uso de los instrumentos de medición, estabilidad el equipo, etc

4. Incertidumbre de medición (VIM-3.9): a cada paso de la cadena de trazabilidad, debe ser determinada la incertidumbre de medición, de acuerdo con métodos definidos, de modo que se obtenga una incertidumbre total para la cadena.

5. Documentación: cada paso de la cadena de trazabilidad debe ser realizado de acuerdo con los procedimientos documentados, reconocidos como adecuados, y los resultados obtenidos deben ser registrados en un certificado de calibración.

6. Competencia: los laboratorios que realizan uno o más pasos de trazabilidad deben proporcionar evidencias de su competencia técnica.

Uno de los principales factores que influyen en la exactitud de las mediciones realizadas por un laboratorio es la exactitud del instrumento de medición y el mejor medio de evaluar esta exactitud es compararlo con otro instrumento de medición o patrón más exacto.

2.5 ORGANIZACIONES DE METROLOGÍA Y ENSAYOS EN EL PAÍS

En las áreas de interés del proyecto, las cuales son: Gasodomésticos, Calibración con Campana Gasométrica y Pruebas Hidrostáticas, existen en el país los siguientes laboratorios acreditados, los cuales representan competencia directa para la labor productiva que desarrolla el Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, CDT DE GAS.

En el área de Gasodomésticos encontramos en el país:

- SUDELEC S.A
- INDUSEL S.A

En el área de Pruebas Hidrostáticas encontramos en el país:

- INDUSEL S.A

En el área de Calibraciones encontramos en el país:

- GAS NATURAL S.A E.S.P
- SURTIGAS S.A E.S.P
- EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P – E.M.P.
- GASES DEL CARIBE⁸

Cabe anotar que estos laboratorios realizan sus calibraciones con patrones secundarios ya que en esta área el CDT de GAS es el único laboratorio que cuenta con el patrón primario (Campana Gasométrica) para realizar calibraciones.

2.6 PROCESO DE ACREDITACIÓN PARA LABORATORIOS DE METROLOGÍA Y ENSAYO

La acreditación es el reconocimiento formal de que un organismo de certificación, de inspección, un laboratorio de ensayo o de metrología, tiene la competencia técnica y la idoneidad requeridas para ejecutar aquellas funciones específicas para las cuales le ha sido concedida la acreditación.

La acreditación es una garantía para el usuario de que el ente acreditado es independiente y competente y que sus servicios son proporcionados en forma efectiva en términos de tiempo y costo.

Las entidades de acreditación están sujetas por su parte a una vigilancia regular por un cuerpo con la autoridad necesaria, a menudo de tipo gubernamental.

La acreditación de laboratorios es una forma de determinar que un laboratorio tiene la competencia para llevar a cabo tipos específicos de pruebas, mediciones y calibraciones.

⁸ *Listado tomado de la página web: www.sic.gov.co actualizada el 2004-03-03*

Permite que quien necesite chequear o calibrar un producto, material o instrumento, pueda encontrar un servicio confiable para ello. También le permite al propio laboratorio determinar si está trabajando correctamente bajo las normas apropiadas. Las empresas manufactureras pueden así mismo, emplear la acreditación de laboratorio para asegurar que las pruebas realizadas internamente a sus productos sean representativas de su proceso de producción, lo que les garantiza competitividad en el entorno externo y confiabilidad en el interno.

La adopción de una guía internacional, la ISO/IEC 17025, asegura un enfoque uniforme al determinar la competencia del laboratorio y permite establecer acuerdos internacionales de reconocimiento para los sistemas de acreditación.

El organismo rector para realizar este proceso en Colombia es la SIC- Superintendencia de Industria y Comercio.

2.6.1 Tipos de organismos y modalidades de acreditación. Según lo referencia la circular única⁹ La Superintendencia de Industria y Comercio puede acreditar organismos de certificación de sistemas de gestión, de productos, de personal, organismos de inspección, laboratorios de ensayo y laboratorios de calibración.

2.6.2 Requisitos para la acreditación. El laboratorio del CDT de GAS debe cumplir con lo establecido en la Norma ISO 17025. Adicionalmente, se debe cumplir con los demás requisitos específicos para una determinada modalidad o alcance que establezca la Superintendencia de Industria y Comercio.

2.6.3 Órganos consultivos de la acreditación

a. Comités técnicos sectoriales para la acreditación

⁹ *Documento de la SIC, que plantea las diferentes obligaciones y las áreas en las que trabaja este organismo.*

La Superintendencia de Industria y Comercio podrá organizar los Comités Técnicos Sectoriales que considere necesarios para el desarrollo de su actividad de acreditación, según los diferentes tipos de acreditación y áreas de objeto del alcance de la misma.

Los comités técnicos Sectoriales estarán constituidos por las autoridades públicas y expertos con competencia en las áreas técnicas y los campos específicos para los cuales exista demanda de acreditación.

b. Consejo técnico asesor para la acreditación

El consejo técnico asesor para la acreditación creado mediante el decreto 2269 de 1993 como un órgano auxiliar de carácter consultivo, será convocado por la SIC, por lo menos una vez al año.

2.6.4 Niveles del proceso y etapas

a. Evaluación preliminar

Una vez realizada la solicitud a través de los formatos debidamente diligenciados la Superintendencia de Industria y Comercio, División de Normas Técnicas, informa a la entidad solicitante las tarifas que se deben pagar por la evaluación documental y el nombre de los expertos técnicos, cuando se requiere su contratación. Cuando la solicitud se encuentra incompleta se le informa al solicitante para que sea nuevamente enviada.

b. Evaluación documental

Surtido el trámite descrito anteriormente, se realizará por parte de la SIC lo siguiente:

- Una evaluación de la solicitud según los criterios establecidos en este título y los específicos exigidos para la modalidad de acreditación solicitada; Y
- Una verificación del cumplimiento de los requisitos señalados.

Concluida esta etapa se informa al solicitante mediante comunicación escrita los resultados de la misma. Si los resultados presentan no conformidades, se procede a conceder un plazo máximo de dos (2) meses para que la entidad atienda, establezca y

realice los ajustes necesarios. Si se cumple el plazo y la entidad no ha enviado las correcciones, se archivará dicha solicitud.

c. Visita de auditoría

La División de Normas Técnicas deberá verificar en campo la veracidad de la información aportada por el solicitante y el cumplimiento de los requisitos técnicos y administrativos señalados en la circular única capítulo V y en la norma o guía internacional correspondiente a la modalidad de acreditación solicitada.

d. Decisión de acreditación

- a) Concepto del Comité Técnico Sectorial: para realizar el informe de auditoría, se convoca el presente comité para que conceptúe sobre el proceso.
- b) Concepto de la División de Normas Técnicas: el jefe de la División de Normas Técnicas presenta a la SIC o al delegado de la Protección del consumidor, según sus competencias legales, recomendación para la adopción de la decisión final sobre la acreditación del ente o el archivo de su solicitud.

2.7 SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD EN LABORATORIOS

“La búsqueda y el afán de perfección ha sido una de las constantes del hombre a través de la historia y la calidad una de sus manifestaciones o elementos configuradores”¹⁰

La gestión de la calidad parte de la concepción de que la misma se obtiene en cada puesto de trabajo y en toda la organización económica, mediante la mejora continua de todas sus etapas y procesos. En ellas se establecerán las especificaciones, reglas y procedimientos, con el objetivo de medir y satisfacer las necesidades del cliente.

Existen dos factores determinantes en un laboratorio¹¹ para demostrar a sus clientes que es capaz de realizar sus actividades con competencia:

¹⁰ **Octavio Paz**

¹¹ *En el presente documento, se utilizará el término “laboratorios” para referirse indistintamente a laboratorios de ensayo y/o calibración, a menos que se haga la distinción clara y explícitamente.*

1. El laboratorio debe ser capaz de garantizar a sus clientes que hace todo lo que declara hacer;
2. El laboratorio debe ser capaz de ofrecer al cliente evidencia de que sus calibraciones o ensayos son realizados con la exactitud apropiada.

El laboratorio puede dar al cliente la garantía de que hace lo que declara hacer, si trabaja con un sistema de Gestión de la Calidad que cuente con métodos Normalizados y Metrológicos, y para esto hace falta un mínimo de procedimientos, instrucciones, disposiciones u otros documentos de diverso nivel.

Un Sistema de Gestión de Calidad efectivo debe ser capaz de:

- Incremento de la fiabilidad de los resultados de ensayo y calibración
- Mejora de la productividad del laboratorio.
- Fidelización del cliente.
- Apertura de mercados.
- Mejora en la organización del laboratorio

2.8 NORMATIVIDAD

El marco de referencia para los laboratorios de metrología y ensayos en Colombia se referencia en el Decreto número 2269 de 1993, por el cual se organiza el sistema nacional de normalización, certificación y metrología. Este decreto fue emitido por el Ministerio de Desarrollo Económico.

El Decreto 1112 de 1996, por el cual se crea el sistema nacional de información sobre medidas de normalización y procedimientos de evaluación, acreditación, ensayos, certificación, reglamentos técnicos y metrología.

Adicionalmente existe otra normatividad que se puede consultar pero que no resulta relevante en esta descripción.

3 ESTRUCTURA GENERAL DE LA ORGANIZACIÓN

3.1 CENTROS DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

De forma general, los Centros de Desarrollo Tecnológico (CDT's) son entidades sin ánimo de lucro, con personería jurídica propia, que contemplan en su objeto social la ejecución de actividades científicas y tecnológicas (I+D, capacitación especializada y servicios científicos y tecnológicos) enfocadas a las tecnologías relevantes para uno o varios sectores productivos o actividades económicas, para lo cual se establecen vínculos directos con empresas, universidades, entidades gubernamentales y organizaciones que persiguen fines similares o complementarios.¹²

3.2 CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS – CDT DE GAS –

Es una entidad legalmente constituida que se encuentra registrada en la Cámara de Comercio de Bucaramanga con número de registro 05-502936-26 del 16 de Febrero de 2000 y bajo el número de identificación tributaria N.I.T. 804009247-1.

Al Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, se le nombra indistintamente CDT de GAS.

3.2.1 Localización. La sede administrativas del CDT de GAS se encuentra ubicada en las instalaciones del Hotel Bucarica en la carrera 19 con calle 35 esquina –oficina 239-, de Bucaramanga.

El Laboratorio del CDT de GAS, se encuentra localizado en el municipio de Piedecuesta en el Km 2 Vía al Refugio en el parque tecnológico de Guatiguará de la UIS. Teléfono: 6542266. Fax: 6543800. E-mail: cdt@uis.edu.co. Este cuenta con dos áreas. Una de ellas corresponde a una sección abierta de 36 m² en donde se llevan a cabo los ensayos de presión hidrostática y la segunda sección corresponde a un espacio cerrado de

¹² *Tomado de la página Web, [www, colciencias.gov.co](http://www.colciencias.gov.co), sistema nacional de innovación Colombia*

aproximadamente 260 m², en donde se realizan diferentes tipos de ensayos y calibraciones.

3.2.2 Objeto social de la empresa. El Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas – CDT de GAS – en Colombia, es una organización de derecho privado y participación mixta, sin ánimo de lucro, que ha sido creada para promover el mercado de servicios tecnológicos, contribuir a la formulación de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, fomentar la innovación y la transferencia de tecnología, la capacitación de personal, asesorar a las empresas en la gestión de proyectos de interés, articular los recursos financieros, públicos y privados a nivel local, nacional e internacional, así como también el aprovechamiento de los recursos humanos físicos disponibles en el país, para lograr que el sector gas sea más competitivo en todos los campos.

El Objeto es el de contribuir a satisfacer las necesidades de las empresas productoras, operadoras, transportadoras, comercializadoras y distribuidoras de gas en Colombia, a través de programas y proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, servicios de ingeniería, asesorías, asistencia técnica especializada y evaluación de productos, para que el sector gas sea más eficiente seguro y competitivo en el almacenamiento, transporte, distribución, transformación y comercialización del recurso.¹³

3.2.3 Estructura organizacional del CDT de GAS. EL Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, está constituido por ocho órganos en conformidad con lo dispuesto por los estatutos y con las pautas generales señaladas por la Asamblea General.

- La Asamblea General: es la máxima autoridad del CDT de GAS, es quién señala las políticas de desarrollo para el buen funcionamiento del mismo.
- La Revisoría Fiscal: vela por el buen manejo de los recursos del CDT de GAS y por el cumplimiento de las normas legales de la organización.
- El Consejo Directivo: depende directamente de la Asamblea General. Este Consejo tiene como responsabilidad la de asignar, decidir, planear, dirigir, coordinar y controlar la ejecución de los programas y actividades del CDT de GAS.

¹³ ***Extraído de los estatutos de la organización, 2001.***

- El Comité Científico: asesora al CDT de GAS en lo relacionado con la investigación y desarrollo tecnológico que se requiere para apoyar el sector del gas en Colombia.
- La Dirección Ejecutiva: es el representante legal del CDT del GAS. Participa y orienta las discusiones técnicas y administrativas que se realizan en la Asamblea General, Consejo Directivo y Comité Científico.
- La Dirección del Laboratorio es la responsable de desarrollar, implementar y velar por la actualización del Sistema de Calidad del Laboratorio de Calibración y Ensayos; coordina la verificación de la calidad de los equipos y accesorios y la calibración de los medidores de gas; impulsa y facilita los aspectos relacionados con la formulación de proyectos de Investigación y Desarrollo y/o su realización.
- El Contador y el Asistente Administrativo y Financiero, tienen la responsabilidad de manejar el sistema contable y de abastecimiento de la empresa.

Figura 5. Organigrama del Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas-CDT de gas



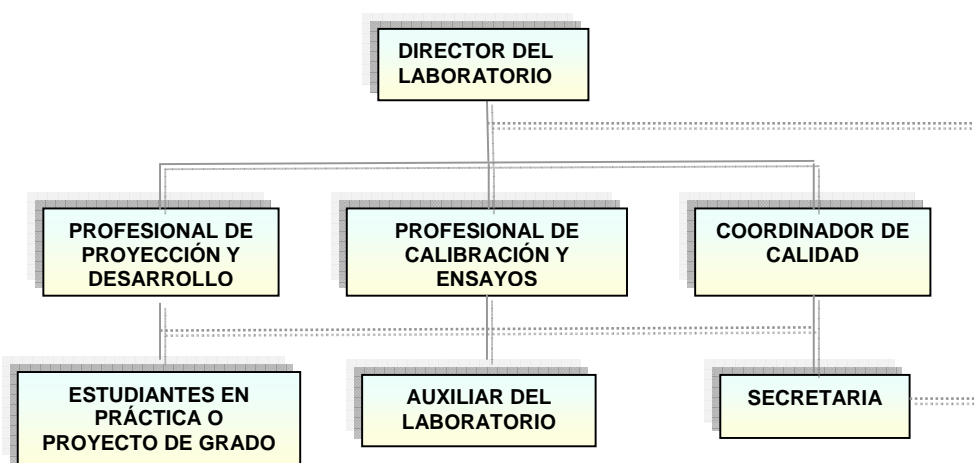
a. Estructura organizacional del Laboratorio del Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas – CDT de GAS. Se encuentra constituida por los siguientes cargos(Ver figura 6):

- El Director del Laboratorio. es la cabeza visible del Laboratorio y el encargado del buen funcionamiento de este.
- El Coordinador de Calidad lidera el proceso de implementación del sistema de calidad, y asegura que los procedimientos, políticas, y objetivos del Sistema de Calidad se sigan en todo momento. Efectúa el mantenimiento del Sistema de Calidad.
- El Profesional de Calibración y Ensayos realiza las pruebas y ensayos de verificación de la calidad y ejecuta los procedimientos respectivos para la prestación del servicio de ensayo y/o calibración. Realiza actividades de soporte que generen desarrollo para el Laboratorio.
- El Profesional de Proyección y Desarrollo ejecuta los lineamientos trazados por el Director del Laboratorio para llevar a cabo la expansión de nuevas líneas de productos, de acuerdo con los programas y convenios establecidos con diferentes instituciones nacionales e internacionales.
- La Secretaria apoya cada una de las actividades administrativas realizadas por los miembros del Laboratorio del CDT de GAS.
- El auxiliar del Laboratorio, contribuye en la realización de las tareas técnicas y operativas que le sean asignadas.
- Estudiantes en práctica o proyecto de grado. Generan el soporte para la realización de proyectos de investigación y tecnología en general.

3.2.4 Cultura organizacional

Misión. “En el Laboratorio del CDT de GAS evaluamos y emitimos informes de calibración de equipos y accesorios utilizados en la industria del gas, realizamos servicios de ingeniería y formación de personal externo a través de jornadas técnicas de intercambio nacional e internacional, fundamentados en nuestro liderazgo tecnológico y en la permanente evaluación de cada una de nuestras actividades manteniendo criterios de competitividad técnica y principios éticos que permitan contribuir al mejoramiento de la calidad de los procesos, productos y servicios en beneficio de las empresas del sector del gas y de la seguridad social en general.”

Figura 6. Organigrama del Laboratorio del CDT DE GAS



Visión. Para el año 2010 consolidar la institución como un laboratorio líder en investigación y desarrollo tecnológico en el sector empresarial local, nacional e internacional dedicado al crecimiento y evolución del gas, mediante la prestación de servicios acreditados y especializados.

3.2.5 Clima organizacional. Los valores que identifican al personal del Laboratorio son:

- Compromiso
- Responsabilidad
- Ética y profesionalismo

- Respeto
- Solidaridad

3.2.6 Política de calidad

- **Enfoque al cliente.** La calidad de los servicios prestados, y la satisfacción del cliente, es un objetivo imprescindible, permanente y prioritario para el laboratorio del CDT de GAS. Esta cultura de servicio al cliente debe ser un convencimiento y el marco de referencia a tener en permanentemente en cuenta por cada una de las personas del Laboratorio, para mantener relaciones estables y duraderas con los clientes.
- **Comunicación e interacción con el cliente.** Establecer canales de comunicación eficaces con los clientes que propicien la integración con éstos para definir y adaptarse a sus necesidades y expectativas, proporcionarles los mejores servicios, y conocer su nivel de satisfacción, además de controlar y corregir las no conformidades, y prevenir sus causas con una perspectiva de optimización como objetivo final.
- **Confiabilidad de resultados.** Realizar sistemáticamente mediciones de la calidad, ya que la búsqueda de la mejora de la calidad debe ser realizada basándose en datos objetivos del nivel de calidad alcanzado, y con retroalimentación constante que permita la identificación y aplicación de las mejores prácticas.
- **Recurso humano competente.** El factor humano es fundamental para la Gestión de la Calidad. En el Laboratorio del CDT de GAS se cuenta con recurso humano que mediante un proceso de comunicación y participación activa, busca la permanente capacitación y superación para ejecutar con calidad las actividades que se llevan a cabo en el Laboratorio.
- **Difusión del Sistema de Gestión de Calidad.** Proporcionar formación e información, planificada y permanente, acerca del sistema de calidad del Laboratorio a todos los empleados; ya que la consecución de la calidad requiere de personas motivadas, comprometidas con la misión y los valores del Laboratorio y que sientan orgullo tanto por el trabajo bien realizado, como por su pertenencia a este.

3.2.7 Servicios ofrecidos por el Laboratorio del CDT de GAS. El Laboratorio del Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas presta a sus clientes los siguientes servicios:

a. Formación de personal externo

- Apoyo a las actividades nacionales de normalización.
- Formación de personal en temas relacionados al sector gas y a la metrología.
- Servicios de Ingeniería para la industria del gas

b. Ensayos

Estos corresponden a la Verificación de la calidad de equipos y accesorios utilizados en la industria. En el Laboratorio existen unas áreas definidas dependiendo del tipo de ensayos que se presten, estas son:

- Área de pruebas hidrostáticas: verificación de la calidad a todo tipo de recipientes, accesorios y líneas a presión, utilizando el equipo GALISSO con capacidad hasta de 11000 psig.
- Área de gasodomésticos: se realizan ensayos a equipos de cocción, calentadores de paso y calentadores acumuladores de agua empleando el banco de gasodomésticos,
- Área de Funcionamiento: ensayos que evalúan el comportamiento de válvulas de alta y baja presión, reguladores de gas natural y GLP, conectores y válvulas de cocina.
- Área de capacidad: pruebas a elevadores, válvulas de baja y alta presión.
- Área de pruebas mecánicas: ensayos de resistencia a válvulas de alta y baja presión reguladores de gas natural y GLP, conectores, válvulas de cocina y elevadores.

c. Calibraciones

Este tipo de servicio cubre la realización de calibraciones a medidores de gas (rotámetros, medidores máscos, boquillas, medidores de desplazamiento positivo, etc.) a través de la utilización de patrones primarios y secundarios.

d. Desarrollo de proyectos de investigación

Para lograr penetrar en estos campos de la Investigación, Desarrollo e Ingeniería en general, el CDT de GAS ha suscrito **convenios de cooperación** con entidades

nacionales como la UIS, el ICONTEC entre otros y ha recibido apoyo para infraestructura de parte de **COLCIENCIAS**. Desde la óptica internacional se destacan: En Ingeniería Básica, Conceptual y de Detalle con PROPECA INGENIERIA C. A. de Venezuela, en Metrología con el Centro Nacional de Metrología de México - CENAM - , y en Auditoria de Centros de Medición de Gas en gasoductos y calibración de medidores con el Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Estado de Sao Paulo en Brasil – IPT aportes que pretenden complementar la infraestructura metrológica para calibración de medidores de gas en Colombia y a la vez reforzar las tareas de inspección y auditorias de centros de medición.

6 METODOLOGÍA

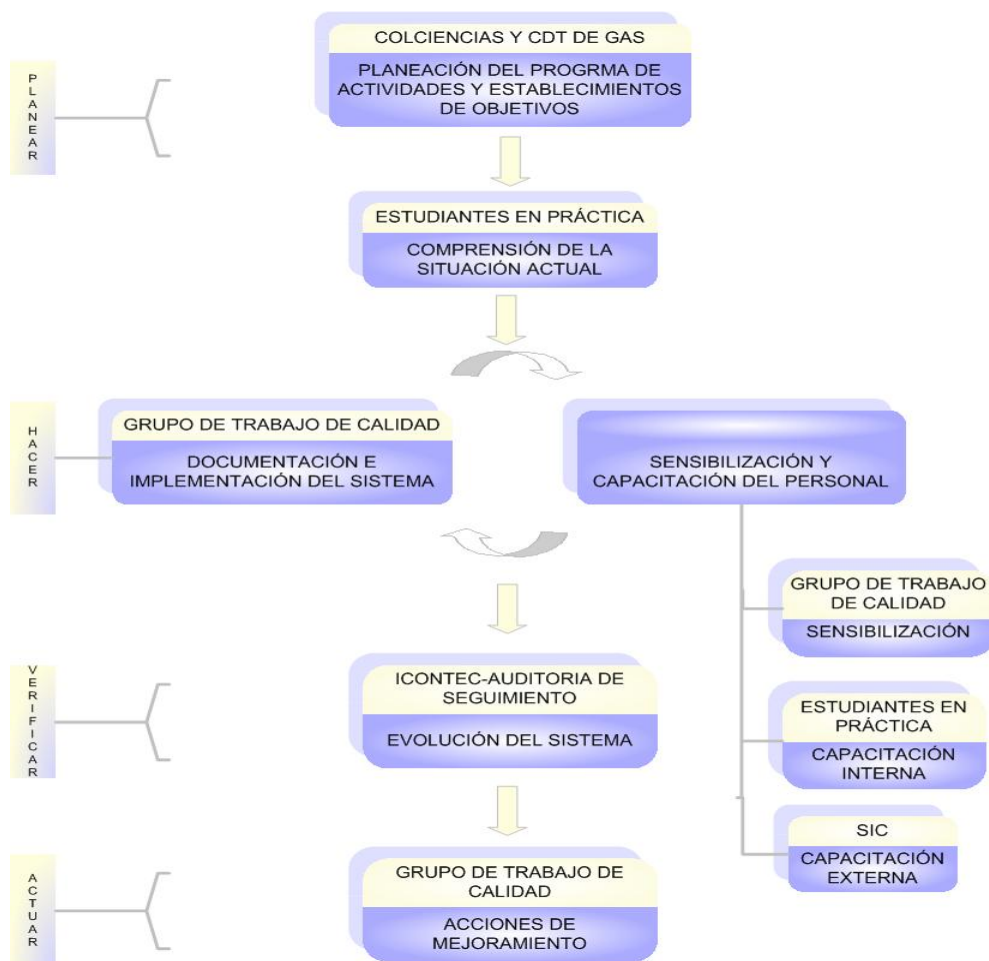
Necesitamos un Mejoramiento que nunca termine...

Con el fin de establecer una economía mejor.

W. Edward Deming

Siguiendo el proceso estructurado de la figura 7 se realizó el proyecto de mejora de la calidad del Laboratorio del CDT de GAS.

Figura 7. Esquema de la metodología implementada



4.1 PLANEACIÓN DEL PROGRAMA DE ACTIVIDADES Y ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS

Las actividades se planearon de acuerdo a los plazos establecidos por COLCIENCIAS y el CDT de GAS. El objetivo principal fue rediseñar procedimientos y crear la documentación necesaria para la implementación del SGC en las áreas de calibración de cámaras húmedas y medidores de diafragma con campana gasométrica, en ensayos; para el área de pruebas hidrostáticas y gasodomésticos y en general en la documentación de calidad, con el fin de contribuir como recurso humano facilitador en el desarrollo del proyecto acordado con COLCIENCIAS.

4.2 COMPRENSIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para un correcto entendimiento del estado de la organización se realizó inicialmente un análisis de la norma NTC-ISO 17025:2001, ya que aunque los requisitos de gestión son muy similares a la norma ISO 9000:2000, los requisitos técnicos son un elemento diferenciador y que debían ser claramente entendidos y definidos para realizar una correcta aplicación de estos en la organización. Posteriormente, se analizó el documento de la SIC donde se presentan una serie de no-conformidades que en su momento existían en el sistema de calidad del laboratorio del CDT de GAS. Los resultados fueron contrastados con lo existente (en cuanto a documentos del sistema de calidad) con el fin de dar soporte y continuidad al trabajo que se había realizado anteriormente. Esta información se encuentra estructurada en el Capítulo 4- "Diagnóstico del laboratorio de calibración y ensayos del CDT de GAS".

Como primera medida se identificó los documentos que poseía el CDT de GAS respecto a su Sistema de Calidad. En el la Tabla 1 se presenta la documentación de las áreas involucradas en el proyecto y la vigencia:

4.2.1 Manual de Calidad. Durante el año 2002 el grupo de calidad del CDT de GAS trabajó en la elaboración de este, sin embargo, no se emitió e implementó un documento definitivo.

Tabla 1. Documentación existente en el sistema de calidad

Nombre del manual	Vigencia	Norma
Manual de calidad	16/04/2001	NTC 17025:2001
Manual de procedimientos generales	16/04/2001	NTC 17025:2001
Formatos de los procedimientos generales	16/07/2001	-----
Manual de mantenimiento preventivo de equipos	05/07/2001	-----
Manual de higiene y seguridad industrial	01/04/2001	-----
Manual de procedimientos técnicos de calibración		-----
Campana gasométrica	10/05/2001	Sin norma
Cámaras húmedas	10/05/2001	Sin norma
Medidores de diafragma	10/05/2001	NTC 2728:1990
Procedimientos técnicos de verificación	10/05/2001	-----
Manual de procedimientos técnicos de ensayo	07/04/2001	-----
Cilindros con costura para GLP de baja presión	02/05/2001	NTC 522-1:1996 4 ^a actualización
Gasodomésticos	01/15/2002	NTC 2832-1:2001
Manual de estimación de incertidumbres	16/04/2001	-----

4.2.2 Manual de procedimientos generales y formatos. Al igual que con el manual de calidad, no se obtuvo un documento definitivo durante el año 2002, El sistema de calidad se basaba en el manual de calidad del año 2001.

4.2.3 Manual de mantenimiento preventivo de equipos. Requiere de actualización de sus procedimientos. Se detectó que hay información importante respecto a los equipos que podría adicionarse a este manual y convertirse en información valiosa para la organización.

4.2.4 Manual de seguridad e higiene industrial. Este documento se estructuró a finales del año 2000, por lo que requiere ser actualizado.

4.2.5 Procedimientos técnicos de calibración (PTC)

- a. Campana gasométrica: este documento se refiere al Strapping de la campana gasométrica y corresponde a la primera actualización que data del momento en que se recibió el equipo del proveedor. Debido a que la campana gasométrica ha tenido procesos de actualización y automatización, se considera que este procedimiento debe ser revisado.
- b. Cámaras húmedas: este procedimiento fue establecido con base en la experiencia del profesional de calibración y ensayos siguiendo indicaciones de otros laboratorios internacionales ya que no existe una norma nacional o internacional que describa el método de calibración. Por esta razón se requería de una evaluación del procedimiento teniendo en cuenta papers y recomendaciones internacionales y realizar la sustentación del procedimiento a través de un método de validación recomendado por la norma 17025:2001.
- c. Medidores de diafragma: el procedimiento de calibración fue realizado con base en la norma NTC 2728. Se encontró necesario realizar una revisión del procedimiento con el fin de incluir información importante con respecto a los volúmenes y caudales de calibración y ampliar el alcance del procedimiento.

Fundamentalmente, se hizo necesaria la re-elaboración de los documentos mencionados anteriormente ya que al realizarse el proceso de Strapping, el mensurando (Volumen de calibración), la incertidumbre de calibración y el porcentaje de error (datos que deben ser suministrados por el Laboratorio del CDT de GAS en los informes de calibración), se verían afectados.

4.2.6 Manual de procedimientos técnicos de verificación. Requiere actualización. Se planteó por la dirección del laboratorio una revisión del contenido de este documento.

4.2.7 Manual de procedimientos técnicos de ensayo (PTE)

- a. Cilindros con costura para GLP de baja presión: existía un manual para este tipo de recipientes El trabajo se enfocó a rediseñar el procedimiento con el fin de ampliar el

campo de acción del área de pruebas hidrostáticas (PH) a cualquier tipo de recipiente, buscando aumentar los recursos económicos para el CDT de GAS .

b. Gasodomésticos: el manual encontrado contiene un gran número de procedimientos. Se debe realizar una revisión del manual con el fin de optimizar los procedimientos existentes. Adicionalmente, El CDT de GAS tiene previsto ampliar la cobertura de servicios, por lo que se requiere preparar procedimientos para calentadores de paso continuo y acumuladores.

4.2.8 Manual de Estimación de Incertidumbres

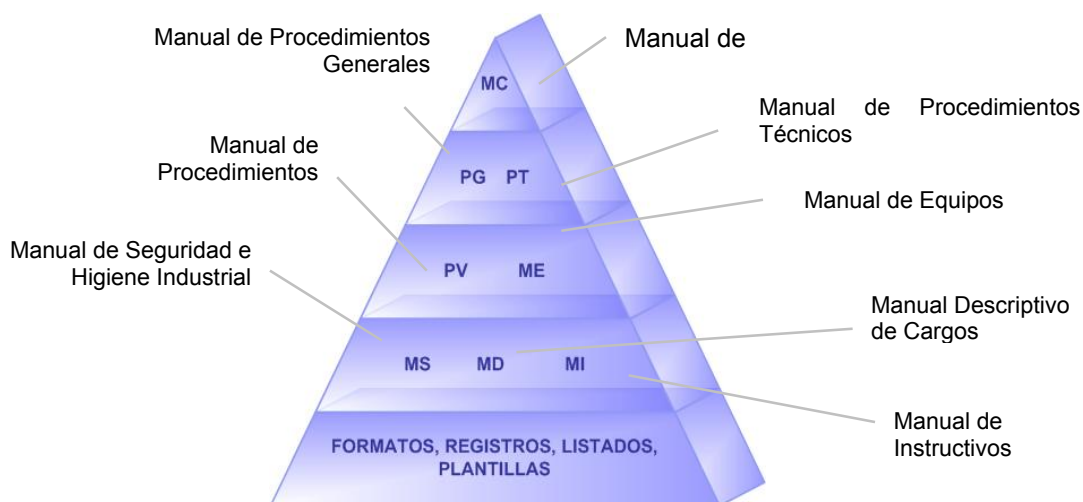
a. Calibración de la Campana Gasométrica por el Método Strapping: el procedimiento descrito allí, no contemplaba todos los variables de influencia, por lo que se recomendó realizar nuevamente el procedimiento para alcanzar resultados mas cercanos al valor verdadero.

b. Evaluación y expresión de la incertidumbre del volumen y error de medición de cámaras húmedas y medidores de diafragma con campana gasométrica: Se presenta una situación similar al procedimiento anterior, por lo que se decidió realizar nuevamente el procedimiento para alcanzar resultados mas cercanos al valor verdadero.

4.3 DOCUMENTACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Se estableció que la documentación giraría entorno a ocho manuales fundamentalmente, y tendría la estructura piramidal de la figura 8.

Figura 8. Estructura de la documentación del Sistema de Calidad diseñada



De acuerdo a los documentos pilares se detectó la documentación que se necesitaba actualizar y realizar. Las conclusiones se presentan en las tablas 2 y 3.

Tabla 2. Comparación de la documentación por realizar con la existente.

Documentos de calidad

E: la documentación existe

Ne: la documentación no existe

		E	Ne	OBSERVACIÓN
DOCUMENTOS DE CALIDAD	Manual de calidad			El nuevo manual se elaboró dando conformidad a cada uno de los requisitos de la norma NTC-ISO 17025 y de acuerdo a las actividades desempeñadas en el laboratorio. Es el documento de presentación de la organización por que describe el qué se hace en el CDT de GAS.
	Manual de procedimientos generales			Al igual que el manual de calidad, los procedimientos generales se seleccionaron, modificaron y agruparon para la elaboración del mapa de procesos, el cual no existía. Se rediseñaron los formatos necesarios.
	Manual de procedimientos técnicos de Verificación			Se realizó un proceso de selección de la información que contenía el manual y se adecuó a las nuevas condiciones del sistema.
	Manual de Equipos			El manual se modificó con el fin de agrupar información importante la cual se encontraba dispersa en varios documentos. Se actualizaron los procedimientos y crearon los lineamientos con el fin de contribuir al aseguramiento metrológico. Se modificaron y crearon los formatos necesarios para llevar un adecuado registro de los equipos, su mantenimiento y calibración.

		E	Ne	OBSERVACIÓN
	Manual Descriptivo de Cargos			Con la elaboración de este manual se dió cumplimiento a los requisitos de la NTC 17025, se crearon los procedimientos y formatos necesarios para llevar los registros adecuados de personal.
	Manual de Seguridad e Higiene Industrial			Se crearon las directrices para la elaboración de un nuevo manual, empleando la herramienta del panorama de riesgos y el cual estaría enfocado en las áreas de calibración y ensayos involucradas en el proyecto.
DOCUMENTOS DE CALIDAD Manual De Instructivo-MT	Elaboración de indicadores de gestión			No existía un documento formal ni una historia de indicadores. Existía un informe del año 2001 en el cual se presentaban cinco indicadores los cuales no fueron aplicados a la organización. Se identificaron los indicadores mas valiosos y se documentaron en el instructivo I-003.
	Evaluación y expresión de la incertidumbre			Se documentó con base en el paper del CENAM (Apéndice B) con el fin de determinar los parámetros para el cálculo de la incertidumbre para cualquier tipo de procedimiento técnico de calibración o ensayo.
	Calibración de la Campana Gasométrica por el Método Dimensional Strapping			El documento de strapping se realizó con el propósito de consignar el nuevo procedimiento y los resultados del proceso de calibración que se le realizó a la campana empleando dicho método.

		E	Ne	OBSERVACIÓN
	Evaluación y expresión de la incertidumbre del volumen y error de medición de cámaras húmedas y medidores de diafragma con campana gasométrica			Este instructivo documenta el método para el cálculo de la incertidumbre en el proceso de calibración de cámaras húmedas y medidores de diafragma con la Campana Gasométrica.

**Tabla 3. Comparación de la documentación por realizar con la existente
Documentos Técnicos el sistema de calidad**

E: la documentación existe

Ne: la documentación no existe

		E	Ne	OBSERVACIÓN
PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DE ENSAYO (PTE)	PRUEBAS HIDROSTÁTICAS			<p>Se modificó con el fin de ampliar la línea de servicios que hasta el momento el laboratorio había prestado a los siguientes recipientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cilindros de alta presión de acero y aluminio (diversos tamaños) Cilindros de baja presión (glp) Cilindros de gas vehicular Extintores Diversos recipientes que se adapten a las condiciones del equipo galiso <p>Este manual se creo bajo normas genéricas que facilitan la aplicación de los tres tipos de ensayos a cualquiera de los recipientes nombrados anteriormente.</p> <p>Se diseñó y documentó de acuerdo a las normas la parte de inspección de cilindros y mantenimiento de válvulas.</p>
	GASODOMESTICOS			<p>Se realizó una modificación del manual existente de acuerdo a lo descrito en la norma internacional BS EN-30-1-1 "Domestic Cooking Appliances Burning Gas Fuel" equivalente a la NTC 2832-1" Gasodomésticos para la cocción de alimentos. Parte 1. Requisitos de seguridad".</p> <p>Se identificaron los procedimientos a los cuales el laboratorio podía dar cumplimiento, se unificaron y simplificaron. Se crearon los formatos necesarios los cuales no existían.</p>

			E	Ne	OBSERVACIÓN
		Calentadores de paso continuo			Se creo el manual con los procedimientos y formatos bajo la norma internacional BS 5386 Parte 1. "Gas Burning Appliances For Instantaneous Production Of Hot Water For Domestic Use" equivalente a la NTC 3531 "Artefactos domésticos que emplean gases combustibles para la producción instantánea de agua caliente para usos a nivel doméstico. Calentadores de paso continuo".
		Calentadores acumuladores			Se creó el manual con los respectivos procedimientos y formatos bajo las normas internacionales UNE-EN 89 "Aparatos de Producción de Agua Caliente por Acumulación Para Usos Sanitarios Que Utilizan Combustible Gaseosos", equivalente a la NTC 5042 "calentadores tipo acumulador que emplean gas para la producción de agua caliente. Características constructivas funcionales y de seguridad."
PTC		Calibración de cámara húmeda con campana gasométrica			Este manual se realizó con el fin de actualizar el procedimiento de acuerdo a papers y recomendaciones internacionales, incluir la nueva metodología para el cálculo de la incertidumbre y las consideraciones y resultados obtenidos en el proceso de Strapping.
		Calibración de medidores de diafragma con campana gasométrica			Al igual que el manual anterior, el nuevo manual realiza un estudio de las variables que influyen para el cálculo de la incertidumbre de dicho procedimiento y considera los resultados del Strapping. Se realizaron los anexos necesarios para comprender tanto el procedimiento técnicos de calibración de cámaras húmedas como para el de medidores de diafragma.

Culminado el proceso de documentación se inició el proceso de implementación tomando como fecha de referencia el día 30 de mayo de 2003; a partir de la cual toda las directrices, procedimientos, formatos, instructivos debían ser usados por el personal.

4.4 SENSIBILIZACIÓN Y CAPACITACIÓN

La sensibilización y capacitación del personal del Laboratorio se desarrolló paralela al proceso de documentación.

4.4.1 Sensibilización. El proceso de sensibilización se llevó a cabo mediante exposiciones, charlas individuales y grupales y talleres por parte del grupo de calidad (Coordinador de calidad, estudiantes en práctica de la UIS y un estudiante en práctica de la UPB), acerca de la importancia del sistema de gestión de calidad, etapas de la gestión de calidad, control, aseguramiento y calidad total y en general conceptos básicos relacionados con el tema. Esta sub-etapa se llevó a cabo con el fin de dar información que facilitaría el proceso de implementación del nuevo sistema. Los registros de dichas actividades se encuentran en las actas de reunión del laboratorio.

4.4.2 Capacitación. La capacitación realizada en el centro de desarrollo tecnológico se realizó tanto interna como externamente.

La capacitación interna se realizó por parte del grupo de trabajo de calidad. Esta consistió en revisar con el personal la documentación base del sistema, para entender su aplicabilidad. Esta etapa fue muy útil porque sirvió como canal de retroalimentación para el grupo de trabajo.

Los grupos de trabajo conformados para la revisión de cada uno de los manuales fueron los siguientes:

DOCUMENTO	INTEGRANTES DEL GRUPO DE TRABAJO
Manual de calidad (MC)	Director del laboratorio y el grupo de trabajo de calidad.
Manual De Procedimientos Generales (PG)	Todo el personal
Manual De Instructivos (MI)	Personal interesado en el tema específico de cada instructivo
Manual Descriptivo De Cargos (MD)	Director del laboratorio, grupo de trabajo de calidad y el personal específico del cargo bajo revisión.
Manual De Equipos (ME)	Director del laboratorio, Profesional de calibración y ensayo y grupo de trabajo de calidad
Manual De Procedimientos De Verificación(PV)	Profesional de calibración y ensayos, grupo de trabajo de calidad
Manual De Procedimientos Técnicos De Calibración (PTC)	Profesional de proyección y desarrollo, Profesional de calibración y ensayos, y grupo de trabajo de calidad.
Manual De Procedimientos Técnicos De Ensayo (PTE)	Profesional de calibración y ensayos, auxiliar del laboratorio y grupo de trabajo de calidad

La capacitación externa fue realizada por la dirección del laboratorio, la cual programó capacitaciones del personal, en temas como aseguramiento metrológico, norma NTC-ISO 17025, entre otras, las cuales fueron llevadas a cabo durante el año 2003.

4.5 EVOLUCIÓN DEL SISTEMA

Para verificar la evolución del sistema implementado, se realizó una auditoría externa de seguimiento en el mes de Julio de 2003 con el ICONTEC, de la cual surgieron tres (3) no conformidades menores las cuales se concentraron en los siguientes aspectos:

- a. Registros de personal: no se encontró evidencia de la calificación del personal con base en el perfil establecido en el Manual Descriptivo de Cargos para el profesional de calibración y ensayos.
- b. Registro de calidad: se detectó la ausencia de registros de calidad en algunas carpetas de servicios según lo establecido en los procedimientos generales.
- c. Procedimiento general de gestión de reclamos: aunque el laboratorio tiene establecido un procedimiento para la detección y atención de no conformidades reales, no son claros los criterios para el inicio de acciones correctivas, teniendo en cuenta la magnitud de los problemas y los riesgos encontrados.

Para realizar el análisis de las causas se diligenciaron los formatos correspondientes y se empleó la herramienta de análisis de causas, diagrama causa-efecto, con el fin de identificar las fuentes de no conformidad y determinar la solución mas apropiada y efectiva.

Este trabajo se realizó con el director del laboratorio y el grupo de trabajo de calidad.

4.6 ACCIONES DE MEJORAMIENTO

Las acciones se realizaron con la orientación del coordinador de calidad y de acuerdo a un plan de seguimiento de acciones correctivas establecido para cada una de las no conformidades así:

- a. Registros de personal. Se decidió realizar una revisión del perfil establecido en el Manual Descriptivo de Cargos con el fin de adecuarlo a las necesidades del CDT de GAS y se recopiló la información de soporte del personal que se encuentra ocupando dicho cargo.
- b. Registros de calidad. Se realizó el compromiso del Coordinador de calidad de revisar detalladamente cada uno de los documentos que debe contener la carpeta antes de dar por finalizado el servicio.
- c. Procedimiento general de gestión de reclamos. Debido a que todas las no conformidades se solucionaban a través de acciones correctivas, se identificaron los

criterios para identificar las no conformidades críticas y no críticas y se consignaron en el manual de calidad. Adicionalmente se realizó una capacitación al personal del laboratorio con el fin de masificar el conocimiento y lograr la interiorización de los conceptos de acción preventiva, correctiva y corrección.

7 DIAGNÓSTICO DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN Y ENSAYOS DEL CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS

En el presente capítulo se presenta una visión general de la situación encontrada en el CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS- CDT de GAS; a través de la revisión de tres escenarios, el estado inicial del laboratorio, el diagnóstico realizado y la situación posterior a la implementación del Sistema de Calidad

5.1 ESTADO INICIAL DEL LABORATORIO

Durante el año 2002 el Laboratorio designó un grupo de trabajo el cual debía realizar la corrección de las no conformidades del documento de la SIC. El grupo realizó un análisis de las no conformidades y planteó una serie de posibles soluciones.

5.2 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ENCONTRADA

El análisis se divide en dos etapas, con el fin de contrastar los resultados de cada una de ellas con lo encontrado en el estado inicial del laboratorio; y así determinar los puntos en los cuales se debían enfocar los mayores esfuerzos para el rediseño e implementación del Sistema de Gestión de Calidad.

5.2.1 Etapa 1. Debido a que la norma empleada para dicho fin es específica para laboratorios de ensayo y calibración, se requería de un estudio previo de su contenido y de su aplicabilidad en el CDT de GAS.

El análisis se realizó mediante un **“Mapa para análisis de requisitos”** de la norma ISO/IEC –17025. Esta metodología¹⁴ permite identificar las aplicaciones particulares para

¹⁴ Metodología tomada del artículo **“Mapa para análisis de requisitos en la norma ISO/IEC-17025 (NMX-EC-17025-IMNC-2000) realizado por el Ing. Erick René Alvarado Ureña, Grupo empresarial ACCE, año 2001.**

cada tipo de laboratorio, ya que en la norma NTC ISO/IEC –17025 "Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibraciones" se encuentran los requisitos en forma de generalidades, como su nombre lo indica.

Con el desarrollo de la metodología se logra presentar una propuesta del propio manual de aplicación de criterios, con el fin de simplificar el proceso de unificación de criterios y facilitar el proceso de acreditación; dando a conocer a los interesados la aplicación de cada requisito para sus necesidades específicas. Con ello se logran dos beneficios básicamente: facilitar al auditor el proceso de evaluación y facilitar a los interesados en acreditarse en este caso, el CDT de GAS el proceso. Otras bondades de la metodología empleada se muestran a continuación:

1. Permite hacer un primer intento para lograr que cada laboratorio se decida a desarrollar y documentar sus criterios de aplicación para mejorar las evaluaciones. Ya que existen áreas como la metrología del gas, dónde existe una gran cantidad de pruebas y métodos lo que implica una labor de taumaturgos; en contra cara hay otras áreas donde pueden lograrse un rápido consenso.
2. Es reconocido que el organismo acreditador es el responsable de la eficiencia y la eficacia del proceso de acreditación. Por lo tanto, una forma de mejorar estos parámetros es unificar los requisitos aplicables a cada tipo de laboratorio.
3. En cuanto al desarrollo de la documentación de los requisitos para cada área del laboratorio trae las siguientes ventajas para los usuarios de la norma :
 - Facilita el campo de aplicación de la norma, al permitir conocer cuáles son los requisitos aplicables;
 - Reduce los costos de acreditación al simplificar el proceso y permitir concentrarse en los elementos específicos de la norma, evitando que se apliquen criterios confusos o no documentados., sin distraerse en otras cuestiones;
 - Permite a la organización contar con fundamentos para justificar sus criterios de aplicación de la norma ante los evaluadores;
 - Hacer el proceso de evaluación transparente.

Para los evaluadores, las ventajas serán:

- Ofrecer la guía para determinar de mejor forma los elementos que deben ser auditados.
- Agilizar la evaluación, al permitir a los evaluadores concentrarse en los requisitos que aplican en cada caso, evitando el subjetivismo, distracciones o interpretaciones personales en el intento de aplicar criterios donde la norma no lo permite.
- A largo plazo, se tiende a reducir las diferencias de criterios entre los evaluadores.

a. Desarrollo del método mapa para análisis de requisitos

✓ **Estudio de entidades.** El primer paso para iniciar el estudio de un elemento o entidad compleja, es dividir la entidad en partes, de forma que cada una sea estudiada individualmente y así, reducir el nivel de complejidad, facilitando el análisis. Por lo tanto el objetivo de este “mapa” es hacer la delimitación de los requisitos aplicables.

Siguiendo las recomendaciones del método, llamaremos “criterios” a cada tipo genérico de requisitos según la norma, (por ejemplo 4.1, 4.2, 4.3...5.9 y 5.10). Cada criterio tiene una tabla con su encabezado, en el cual va el nombre del subtítulo dentro del criterio. Ver tabla 4.

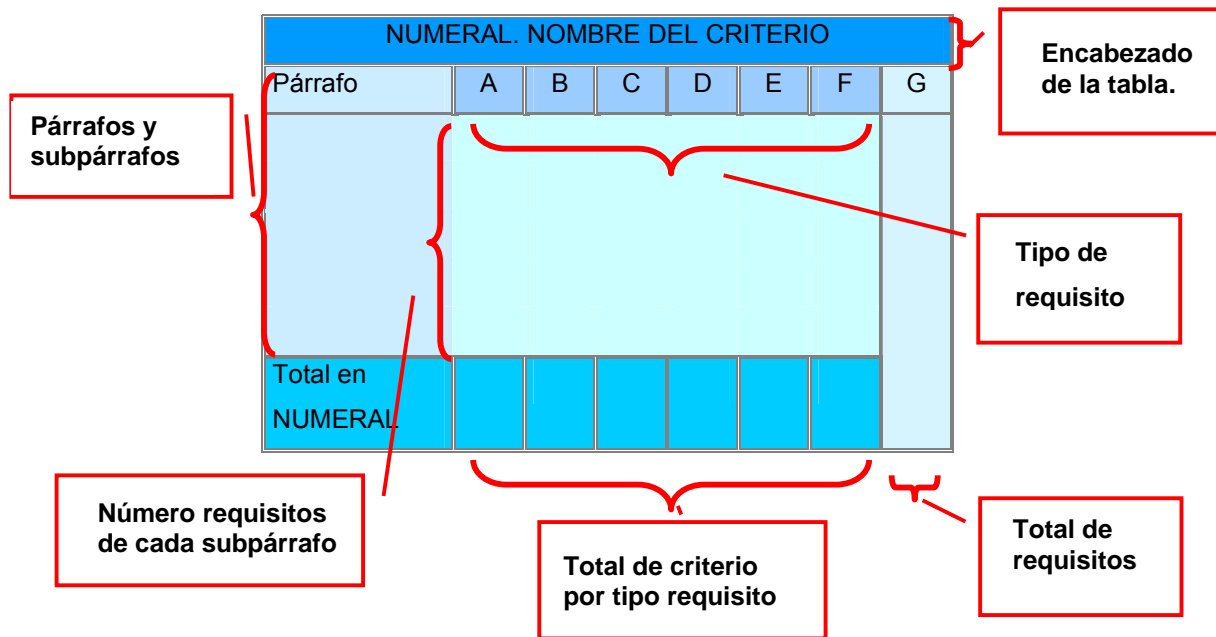
Las tablas que se emplean constan de 8 columnas. En la columna “párrafo”, se indican los párrafos y subpárrafos en los cuales se divide el criterio, por ejemplo si el criterio es el numeral 4.1, está dividido en 4.1.1, 4.1.2, etc, los cuales entonces son los subpárrafos.

Las columnas de la “A” a la “F”, son las formas en que se clasifican los criterios o tipo de requisitos. En las casillas que se encuentran debajo de las columnas de la “A” a la “F”, se escriben las cantidades o número de requisitos que contiene cada subpárrafo. Estos requisitos pueden considerarse como los elementos¹⁵ que son auditables. Por ejemplo, un número “2”, indica que ese párrafo contiene dos requisitos, o elementos, o aspectos

¹⁵ **Elemento: Cualquier ente que puede ser descrito y considerado individualmente**

distintos que debe cumplirse y ser evaluados. Por ejemplo, en el caso del párrafo 4.12.1.2, existen dos requisitos a evaluar:

Tabla 4. Descripción de las tablas empleadas



- a) La legibilidad y la forma en que se conservan los registros;
- b) El establecimiento de los tiempos de retención.

La columna “G” totaliza el número de requisitos por elemento, es decir, es la sumatoria de las columnas de la “A” a la “F” o de todos los posibles requisitos.

La última fila llamada “total en NUMERAL”, totaliza los criterios por columnas o por tipo de requisito.

✓ **Tipo de requisito.** Las consideraciones para distinguir el tipo de requisitos aplicables, son los siguientes:

A.- Obligatorios para todos los laboratorios. Estos requisitos aplican en cualquier tipo de laboratorios, independientemente del tipo de servicio (ensayo/calibración), del nivel organizacional (independientes o parte de otra organización), sector (primario, secundario o terciario), tamaño (micro, pequeña, mediana o grande), y origen de recursos (públicos o privados). No hay exclusiones para estos requisitos, los cuales deben ser cubiertos por todos los laboratorios.

Son ejemplos de estos requisitos:

- Contar con una política de calidad;
- Procedimiento para revisión de contratos;
- Procedimientos para la realización de acciones correctivas.

B.- Optativos para todos los laboratorios. Estos requisitos pueden aplicar para ambos tipos el laboratorio en casos particulares, los cuales dependen de su naturaleza.

Son ejemplos de estos requisitos:

- Criterios de control de condiciones ambientales (existen laboratorios para servicios en campo y tales condiciones no pueden ser controlados por este tipo de laboratorios);
- Uso de normas internacionales, regionales, nacionales u otras (no en todos los casos existe normativa vigente)

C.- Obligatorios sólo para laboratorios de calibración. Estos requisitos son obligatorios exclusivamente para laboratorios de calibración, y no deben interpretarse o tratar de aplicarse a laboratorios de ensayo. Estos requisitos deben sumarse a los de la columna "A", para conocer el total de requisitos mínimos con que debe contar un laboratorio de calibración para se acreditado.

Son ejemplos de estos requisitos:

- Los específicos en trazabilidad en las mediciones
- Las unidades con que se deben elaborar los informes de calibración
- Las indicaciones sobre las etiquetas de calibración

D.- Obligatorios sólo para laboratorios de ensayos. Estos requisitos son obligatorios exclusivamente para laboratorios de ensayo, y no deben interpretarse o tratar de aplicarse a laboratorios de calibración. Estos requisitos deben sumarse a los de la columna “A”, para conocer el total de requisitos mínimos con que deben contar un laboratorio de ensayos para ser acreditado.

Son ejemplos de estos requisitos:

- El único requisito obligatorio es la determinación de la incertidumbre en los ensayos.

E.- Opcionales sólo para laboratorios de calibración. Estos requisitos son optativos, pueden aplicar exclusivamente para laboratorios de calibración, y no deben interpretarse o tratar de aplicarse a laboratorios de ensayo.

Son ejemplos de estos requisitos:

- Asegurar la trazabilidad al usar servicios de calibración externos;
- Informar los resultados de calibración antes y después de realizar un ajuste o reparación si están disponibles.
- Cómo se debe informar un laboratorio de calibración subcontratado al laboratorio contratante.

F.- Opcionales sólo para laboratorios de ensayos. Estos requisitos son opcionales exclusivamente para laboratorios de ensayo, y no deben interpretarse o tratar de aplicarse a laboratorios de calibración.

Son ejemplos de estos requisitos:

- Declaración de conformidad de los resultados contra requisitos o especificaciones.
- Opiniones e interpretaciones
- Información relacionada con muestreo

b. Aplicación del método

El primer paso para desarrollar los documentos necesarios para un Sistema de Gestión de Calidad, es analizar los requisitos de la norma y de ahí, iniciar las aplicaciones particulares para cada tipo de laboratorio, considerando desde el sector y rama industrial

en la cual ofrecen sus servicios. Para nuestro caso el sector de calibraciones con campana gasométrica y ensayos en las áreas de gasodomésticos y pruebas hidrostáticas. La norma NTC-ISO-IEC 17025 divide la norma en dos tipos de criterios: criterios administrativos y criterios técnicos.

Los criterios administrativos son semejantes a los que se describen en la norma NTC-ISO 9001 de 2000; (en el objeto de la norma NTC-ISO-IEC 17025 se especifica que si opera un sistema de calidad para sus actividades de ensayo y calibración bajo esta, también cumple con la NTC-ISO 9001:200 cuando se comprometen con el diseño/desarrollo de nuevos métodos y/o desarrollan programas de ensayo combinando métodos de ensayo y calibración normalizados y no-normalizados). En cuanto los criterios técnicos, son los requisitos generales de competencia para llevar a cabo ensayos y/o calibraciones, incluyendo el muestreo; además cubre la ejecución de ensayo y calibración empleando métodos normalizados, métodos no-normalizados y métodos desarrollados por el laboratorio.

Teniendo claro estos conceptos se realizaron las tablas o el mapa para análisis de requisitos tanto para los requisitos administrativos como los técnicos. El diligenciamiento de las tablas se aprecia en el Anexo 1.

c. Conclusiones de la aplicación del método

En el análisis se definió que son 279 los requisitos obligatorios que el laboratorio del CDT de GAS debe cumplir por ser una organización de metrología y ensayos. Dentro de los opcionales para todos los laboratorios de este tipo encontramos 44 requisitos. Respecto a los obligatorios sólo para laboratorios de calibración se encontraron 6 requisitos y para los laboratorios de ensayo 1 requisito. Los opcionales para Laboratorios de Calibración 10 y para los laboratorios de ensayo 19 requisitos. La tabla resumen de los datos presentados anteriormente se encuentra en el Anexo 1, tabla 27.

De los requisitos opcionales mencionados anteriormente, el laboratorio ya contemplaba algunos en la documentación de su anterior sistema de calidad. Junto con el grupo de calidad se evaluaron cuales de estos requisitos opcionales se debían considerar y cuales no, teniendo siempre presente el beneficio de los clientes y de la organización.

5.2.2 Etapa 2. La segunda etapa parte de los resultados de la evaluación documental realizada por la SIC al laboratorio de Calibración y ensayos del CDT de GAS para otorgar la acreditación.

A través de la evaluación de las no conformidades presentadas en dicho informe se proyecta determinar las debilidades y fortalezas del centro y determinar el nivel de calidad de documentación que se encontraba en vigencia.

a. Desarrollo de la etapa 2.

El documento de la SIC a grosso modo presenta 71 no conformidades que corresponden al incumplimiento de requisitos especificados en la norma NTC-ISO-IEC 17025. Para facilitar el análisis se agruparon las no conformidades de acuerdo a los criterios o numerales principales¹⁶ que trata la norma. Sin embargo, en el informe algunas de las no conformidades presentan una combinación de incumplimiento de varios requisitos, mientras que otras son ajenas al incumplimiento de requisitos. Por tal razón se hace necesario categorizar las no conformidades de la siguiente forma para facilitar el análisis:

- Criterio Administrativos
- Criterios Técnicos
- Otros factores

Las tablas empleadas para mostrar el análisis constan de 5 columnas. En la primera columna se muestra la convención para la gráfica, la segunda el numeral del criterio en la norma, la tercera describe el tipo de criterio al cual hace referencia la no conformidad, la cuarta la cantidad de no conformidades por criterio y la quinta el número de la no conformidad en el documento de la SIC.

✓ **Criterios administrativos.**

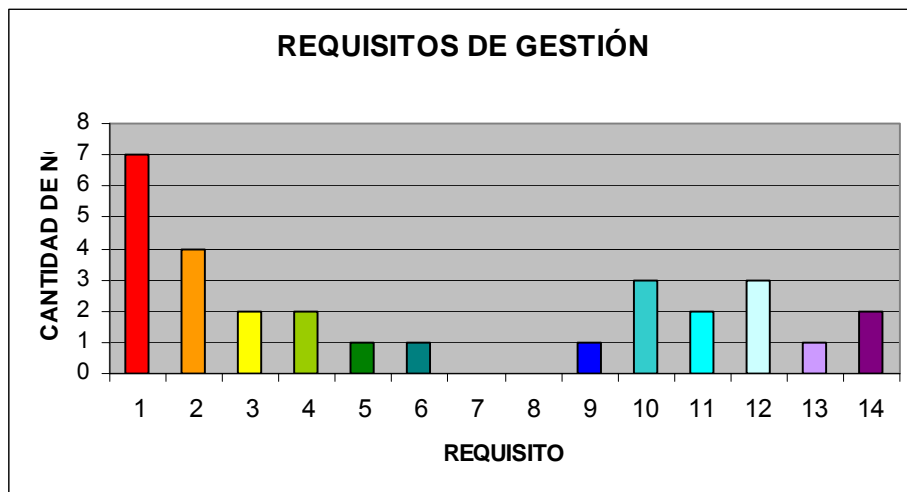
Estos criterios son los contenidos en los numerales 4.1 al 4.14. El análisis se puede observar en la tabla 6.

¹⁶ ***Criterio fueron definidos con claridad en el método mapa para análisis de requisitos de la norma***

Tabla 5. No conformidades en cuanto a los criterios administrativos de la norma 17025:2001

CRITERIOS ADMINISTRATIVOS	Numeral norma	Cantidad de NC	Número de la NC
Organización	4.1	7	1,2,3,4,5,6,7
Sistema de calidad	4.2	4	8,9,10,11
Control de documentos	4.3	2	12,13
Revisión de solicitudes, ofertas y contratos	4.4	2	14,15
Subcontratación	4.5	1	16
Compra de servicios y suministros	4.6	1	17
Servicio al cliente	4.7	0	
Quejas	4.8	0	
Control de trabajos de ensayo y/o calibración no conformes	4.9	1	18
Acción correctiva	4.10	3	19,20,21
Acción preventiva	4.11	2	22,23
Control de registros	4.12	3	24,25,26
Auditorías internas	4.13	1	27
Revisiones por la alta dirección	4.14	2	29,30.
Total de NC		29	

Figura 9. No conformidades en cuanto a los criterios administrativos de la norma 17025:2001



✓ **Criterios Técnicos.**

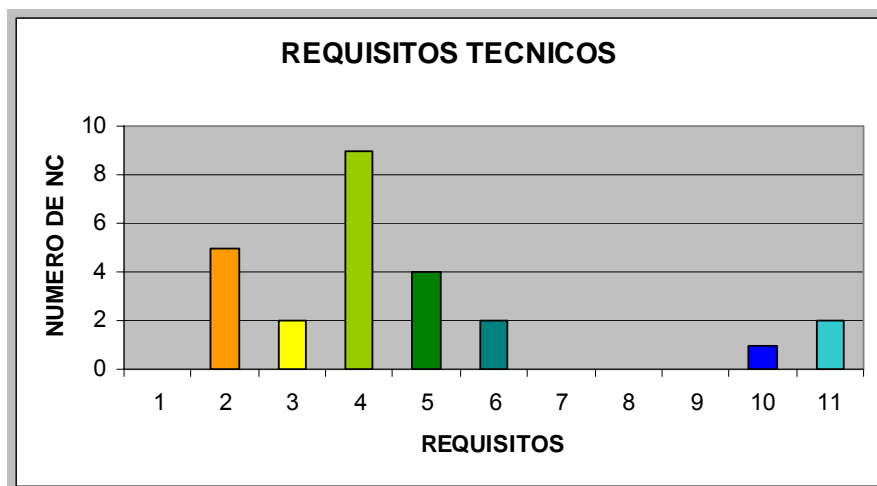
Estos criterios son los contenidos en los numerales 5.1 al 5.10. El análisis se puede observar en la tabla 7.

Tabla 6. No conformidades en cuanto a los criterios técnicos de la norma 17025:2001

CRITERIOS TÉCNICOS	Numeral norma	Cantidad de NC	Número de la NC
Generalidades	5.1	0	
Personal	5.2	5	31,32,33,34,69
Instalaciones y condiciones ambientales	5.3	2	35,68
Métodos de ensayo y/o calibración y validación de métodos	5.4	8	36,37,38,39,40,41,43,45
Equipo	5.5	5	46,48,50,52,53
Trazabilidad de las mediciones	5.6	2	55,56
Muestreo	5.7	0	
Manejo de los elementos de ensayo y calibración	5.8	0	

CRITERIOS TÉCNICOS	Numeral norma	Cantidad de NC	Número de la NC
Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración	5.9	1	58
Informes de resultados	5.10	2	59,60
Total de NC		25	

Figura 10. No conformidades en cuanto a los criterios administrativos de la norma 17025:2001



✓ **Otros factores.**

Las no conformidades correspondientes a otros factores se dividieron en dos grupos:

1. No conformidades respecto a algunos procedimientos de calibración
2. No conformidades por errores de diligenciamiento y procedimiento

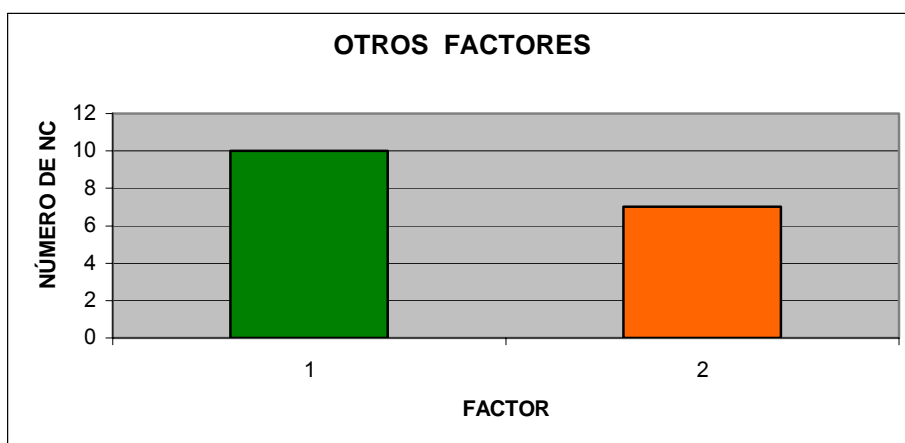
Las no conformidades por procedimientos de calibración conjugan el incumplimiento de varios requisitos como: el control de datos, ausencia del cálculo de la incertidumbre, falta

de evidencia de que el procedimiento se encuentre normalizado, dificultades en la comprensión del procedimiento, entre otras.

Tabla 7. No conformidades en cuanto a otros factores o criterios de la norma 17025:2001

PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN	Numeral norma	Cantidad de NC	Número de la NC
Errores de diligenciamiento y procedimiento		10	28,42,44,47,49,51,54,57,70,71
Campana Gasométrica, método de pulsos, Cámaras húmedas utilizando campana Gasométrica, medidores de diafragma utilizando Campana Gasométrica, encoder y medidores de flujo con buretas.	---	7	61,62,63,64,65,66,67
Total de NC		17	

Figura 11. No conformidades en cuanto a otros factores o criterios de la norma 17025:2001



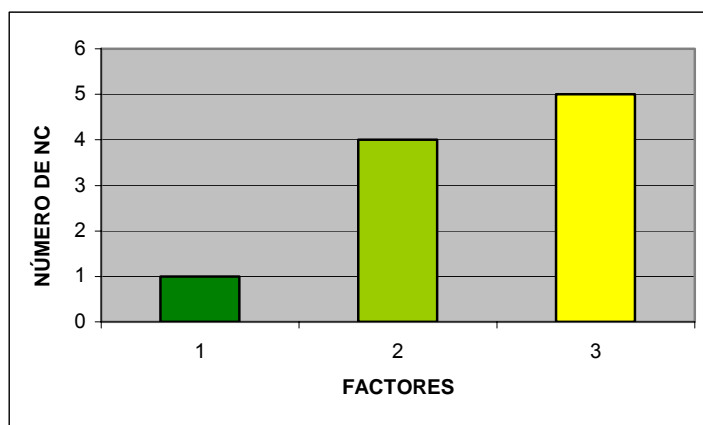
En cuanto a las no conformidades del segundo grupo se refieren a tres tipos de errores básicamente:

- **Error en el diligenciamiento de formatos.** Para el procedimiento de la acreditación se requiere el diligenciamiento de unos formatos estándares dentro de los cuales se encontraron fallas.
- **Ausencia de la documentación.** Para poder realizar una correcta evaluación la SIC revisa toda la documentación que se nombra. Alguna de esta información fue nombrada pero no anexada, por lo cual no se pudo constatar la conformidad con los algunos de los requisitos que enumera la norma.
- **Error de los documentos enviados.** Las no conformidades que al respecto se refieren son debido a errores de escritura en los manuales, como vínculos descritos que no existen, etc.

Tabla 8. No conformidades por errores de diligenciamiento y procedimiento

PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN	Numeral norma	Cantidad de NC	Número de la NC
Error en el diligenciamiento de formatos	----	1	70
Ausencia de la documentación enviada	----	4	42,47,49,71
Error en el documento enviado	----	5	28,44,51,54,57
Total de NC		10	

Figura 12. No conformidades por errores de diligenciamiento y procedimiento



5.2.3 Comparación de resultados: etapas 1 y 2. A partir de la información obtenida en las etapas 1 y 2 se procedió a la comparación de los requisitos a aplicar (información obtenida en la etapa 1) con el número de no conformidades obtenidas (información clasificada en la etapa 2); con el fin de detectar cuanto de los requisitos obligatorios y/o optativos aplicados en la organización, se habían incumplido según el informe de la SIC.

En primera instancia se realizó una tabla cruzada de la información. En ella se puede observar un indicador de cumplimiento. Este nos permite evaluar cuantitativamente el estado en el que se encuentra el laboratorio del CDT de GAS respecto a cada uno de los criterios.

El indicador se define como:

$$\text{INDICE DE CUMPLIMIENTO} = \frac{(\# \text{ de Requisitos}) - (\# \text{ de Requisitos NC})}{\# \text{ de Requisitos Obligatorios}} * 100$$

Conservando la nomenclatura de las tablas de la parte 1, un indicador tipo A, significa que evalúa el cumplimiento de los requisitos obligatorios, un indicador tipo B significa el cumplimiento de los criterios optativos que fueron considerados para formar parte del sistema de calidad, y así sucesivamente.

En conclusión podemos decir que los requisitos administrativos equivalen al 40.84% de las no conformidades detectadas por la SIC.

En el laboratorio del CDT de GAS se han cumplido en un 74% (Ver tabla 9) los requisitos obligatorios (según lo establecido en la etapa 1, mapa para análisis de requisitos) y en un 80% los requisitos optativos aplicables al laboratorio.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla y del índice de cumplimiento podemos afirmar que el laboratorio requería de mayores esfuerzos en cuanto al cumplimiento de los requisitos administrativos en los siguientes ítems:

- La organización (4.1)
- Sistema de calidad (4.2)

- Acción correctiva (4.10)
- Acción preventiva (4.11)
- Revisiones por la alta dirección (4.14)

Tabla 9. Estado del cumplimiento de los requisitos administrativos en el laboratorio del CDT de GAS

REQUISITOS ADMINISTRATIVOS															
Nº	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10	4.11	4.12	4.13	4.14	Total
A	14	13	14	12		9	2	3	8	8	3	11	7	4	108
B			1		5					1		2	1		10
NC A	7	4	2	2		1	0	0	1	3	2	3	1	2	28
NC B			0		1					0		0	0		1
IND A	0,50	0,69	0,86	0,83		0,89	1,00	1,00	0,88	0,63	0,33	0,73	0,86	0,50	0,74
IND B					0,80										0,80

En cuanto a los requisitos técnicos corresponden a un 35.21% de las no conformidades presentadas en el documento de la SIC. Según el mapa para análisis de los requisitos aplicado al CDT de GAS el 74% de los requisitos obligatorios para cualquier tipo de laboratorio se cumplen. Los requisitos optativos (según lo adoptado en el laboratorio del CDT de GAS) se cumplen en un 100%. En cuanto a los requisitos obligatorios sólo para laboratorios de calibración el porcentaje de cumplimiento corresponde a un 83% y para los requisitos obligatorios sólo para laboratorios de ensayo se cumple en un 0% (esto debido a que el único requisito existente en este ítem corresponde una de las no conformidades del documento de la SIC). Para los requisitos opcionales tanto para laboratorios de calibración como para los de ensayos se satisfacen en un 100% este tipo de requisitos.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla y del índice de cumplimiento podemos afirmar que el laboratorio requería de mayores esfuerzos en cuanto al cumplimiento de los requisitos técnicos en los siguientes numerales de la norma:

- Personal (5.2)

- Métodos de ensayo y/o calibración y validación de métodos (5.4)
- Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración (5.9)

Tabla 10. Estado del cumplimiento de los requisitos Técnicos en el laboratorio del CDT de GAS

REQUISITOS TÉCNICOS											
Nº	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10	Total
A	1	12	8	19	18	7		9	2	15	91
B			2	7	7	3	7	2	1	5	34
C				1		2				3	6
D				1							1
E						2				8	10
F				1		6				12	19
NC A	0	5	2	7	4	2		0	1	2	23
NC B			0	0	0	0	0	0	0	0	0
NC C				1		0				0	1
NC D				1							1
NC E						0					0
NC F				0		0					0
IND A	1,00	0,58	0,75	0,63	0,78	0,71	0	0	0,50	0,87	0,74
IND B				1,00							1,00
IND C				0,00							0,83
IND D				0,00							0,00
IND E											1,00
IND F				1,00							1,00

Adicional a los requisitos técnicos mencionados anteriormente sobre los cuales se requiere hacer énfasis, se debe sumar los clasificados como otros factores (en la etapa 2), los cuales corresponden al 23.94% de las no conformidades clasificadas como otros factores.

El trabajo realizado a partir de este análisis se enfocó a dar solución a las dificultades halladas y en encontrar potenciales lugares de mejora para contribuir de forma efectiva al sistema de gestión de la calidad del laboratorio del CDT de GAS.

8 PROCEDIMIENTO DE STRAPPING Y DE CALIBRACIÓN CON EL PATRÓN PRIMARIO DEL CDT DE GAS

Una vez identificado las fortalezas y debilidades de la organización se procedió a la realización de la documentación (la cual se describe en detalle en el capítulo 3). En los capítulos 5.6 y 7 se presenta el trabajo realizado en las áreas de calibración y ensayos del laboratorio. En el capítulo 8 se encuentra el sistema de medición creado para el laboratorio del CDT de GAS. Los demás documentos que forman parte del sistema de calidad se encuentran documentados en los anexos.

6.1 PROCEDIMIENTOS DE CALIBRACIÓN

Los conceptos técnicos necesarios para la comprensión del presente capítulo; como la jerarquización de patrones, los principios de funcionamiento de dichos patrones y la descripción de la ecuación empleada para el cálculo del % de error se presenta en el Apéndice A. La deducción del método aproximado para el cálculo de la ecuación del % de error que se reportan en los informes de calibración se muestra en el Apéndice C.

Los procedimientos técnicos de calibración diseñados e implementados para la calibración de Cámaras Húmedas y Medidores Tipo Diafragma, utilizando como patrón de calibración la Campana Gasométrica. se encuentran contenidos en el documento “Manual de Procedimientos Técnicos de Calibración”, y se describen a continuación. Adicionalmente, se presenta el método para realizar la calibración del patrón primario “Strapping” del cual se obtiene el valor de la incertidumbre de este.

6.1.1 Calibración de la Campana Gasométrica por el método Dimensional. La calibración de la campana consiste en la determinación de su volumen interno a partir de mediciones dimensionales. Gracias a que se emplean magnitudes fundamentales (como

el metro (m)) para su calibración se presentan bajos niveles de incertidumbre que respaldan su status como patrón primario.

Existen técnicas alternas para realizar la calibración de la Campana Gasométrica, como la cubic-foot bottle¹⁷ o la técnica gravimétrica¹⁸, sin embargo, estas no son de fácil aplicación ya que no se cuenta con la infraestructura y no es fácil el control de algunas variables que influyen en la medición del volumen.

La técnica de calibración dimensional conocida como “strapping”, proviene del inglés **strap** que significa amarrar o atar. La justificación de haber acuñado este término se basa en que para medir el diámetro de la campana se emplea una cinta Pi. Este instrumento de medición es en esencia una cinta metálica que se enrolla alrededor de la campana, la cual trae implícita una corrección por su espesor y en lugar de proporcionar el valor del perímetro, entrega el valor del diámetro; debido a que su escala está dividida entre pi ($\phi = \text{Perímetro}/\pi$, donde $\pi=3,141592\dots$).

El strapping consiste en la determinación del volumen interno de la campana entre dos puntos de su longitud. Para tal efecto se requieren realizar las siguientes mediciones:

1. Diámetro externo de la campana en varias secciones del volumen cilíndrico a calibrar. Empleando la cinta pi se obtienen mediciones y con el promedio de estas mediciones se obtiene el área externa representativa del patrón.
2. Longitud vertical recorrida por la campana al desplazar el volumen a calibrar; el producto de esta longitud por el área externa resulta en el volumen externo del patrón.
3. Medición de la variación del nivel de líquido sellante generada por la inmersión de los volúmenes de la pared metálica de la campana en el líquido sellante, por lo cual debe estimarse el área anular entre la campana y el diámetro interno del reservorio de líquido sellante.

¹⁷ ***Comparación contra una botella o recipiente de volumen calibrado***

¹⁸ ***Medición del desplazamiento de agua***

De esta forma, la capacidad de la campana o su volumen interno descargado entre dos puntos cualesquiera de su trayectoria será igual al volumen del cilindro por encima del líquido sellante en la posición inicial, menos el volumen del cilindro por encima del líquido en la posición final y el volumen de fluido sellante que varía entre el exterior de la campana y el reservorio.

A continuación se describe brevemente el modelo matemático general aplicado a la calibración de la campana gasométrica (Ver tabla 11, la geometría y la identificación de las variables se relaciona en la figura 13.

a. Modelo Matemático

Figura 13. Esquema de la campana gasométrica

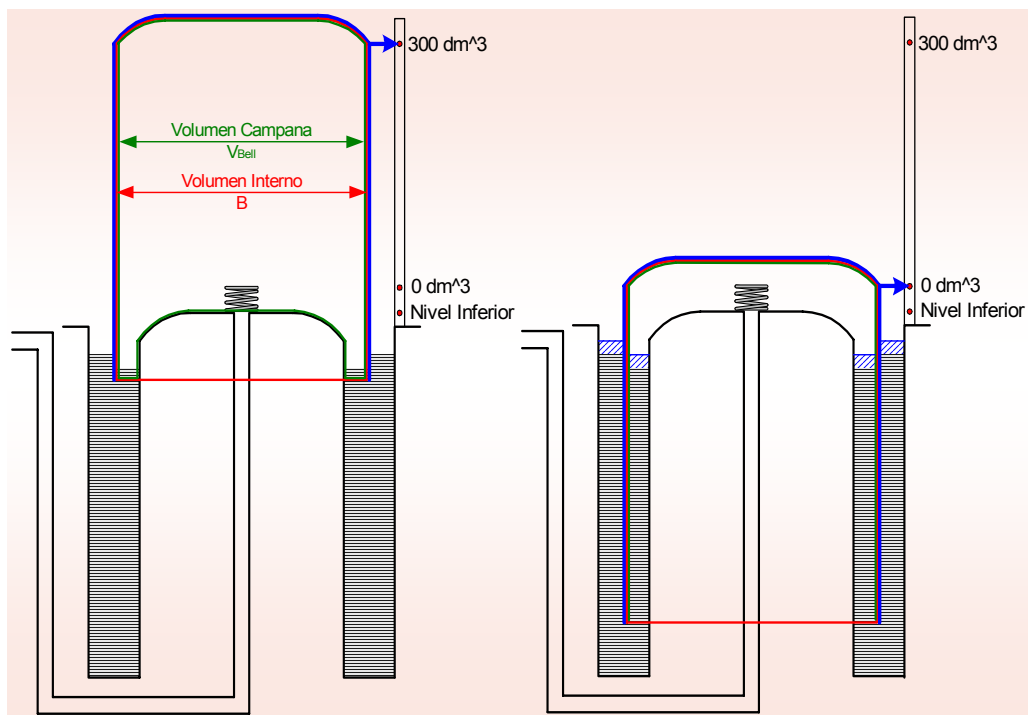


Tabla 11. Descripción del modelo matemático

$V_{Bell} = B + W \quad (1)$ <p>Donde:</p> <p>V_{Bell} (dm³): Volumen de aire desplazado por la campana entre el punto de 300 dm³ y un punto dado¹⁹.</p> <p>B (dm³): Volumen interior de la campana entre el punto de 300 dm³ y el punto en cuestión.</p> <p>W (dm³): Volumen interno de aceite desplazado, el cual varía entre el Pozo seco (interior) y el interior de la campana (cambio de nivel interno).</p>	<p>Esta es la ecuación base del strapping, puede obtenerse a partir de inspección directa sobre la Figura 13.</p> <p>El volumen de aceite desplazado se genera por la inmersión de la pared metálica de la campana. Debido a que la presión al interior de la campana permanece constante durante su operación normal, no se presentan cambios en el nivel generados por este concepto.</p>
$B = V - M \quad (2)$ <p>Donde:</p> <p>V (dm³): Volumen exterior de la campana.</p> <p>M (dm³): Volumen de metal de la campana.</p>	<p>El volumen interior de la campana se obtiene restando el volumen del espesor de las paredes de la campana al volumen exterior de la campana.</p>

¹⁹ El punto es la altura de la campana que define el volumen de calibración teniendo como referencia el cero (0), puede determinarlo la escala o los fotodetectores.

$M + S = V_{OIL} + W \Rightarrow W = M + S - V_{OIL} \quad (3)$ <p>Donde:</p> <p>S(dm3): Volumen de la escala y los accesorios.</p> <p>VOIL(dm3): Volumen desplazado por el líquido, el cual varía entre el exterior de la campana y el tanque (cambio de nivel externo).</p>	<p>El volumen de la escala y los accesorios es equivalente a la suma de los cambios de los volúmenes desplazados por el líquido a nivel interno y externo de la pared de la campana (cambios de nivel).</p>
$V_{Bell} = V - M + W \quad (4)$	<p>Sustituyendo la ecuación (2) en (1).</p>
$V_{Bell} = V - M + M + S - V_{oil} \quad (5)$	<p>Sustituyendo la ecuación (3) en la (4).</p>
$V_{Bell} = V - V_{oil} \quad (6)$	<p>Como puede observarse, gracias a la orientación del enfoque geométrico dado, se ha eliminado matemáticamente el espesor de la campana M. Esta particularidad es de gran beneficio para la incertidumbre general del patrón.</p>

b. Descripción del Procedimiento de Strapping

Determinación del volumen de la campana

Durante la demostración del modelo matemático se establece la necesidad de determinar el volumen externo (V) de la Campana Gasométrica (Ecuación 6 de la tabla 11), este se define como:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{bell})^2 \cdot d_{vert}$$

Ecuación 1

Para establecer este valor se requiere medir el diámetro externo de la campana (D_{bell}), utilizando la cinta Pi (ver figura 14). Estos diámetros se deben tomar a diferentes alturas de la campana gasométrica (Figura 13), asegurando que son totalmente perpendiculares al eje axial de la campana. Para esto se recomienda realizar una serie de marcas perimetrales distribuidas uniformemente a lo largo del recorrido de la superficie de la campana.

Figura 14. Instrumento de medición, Cinta pi



Estas lecturas se deben realizar varias veces²⁰ sobre cada marca perimetral con el objetivo de verificar la repetibilidad y la elipsoidalidad. Mediante esta toma de datos se comprueba la geometría de la campana respecto al desplazamiento vertical.

El diámetro externo de la Campana (D_{bell}) a lo largo del rango de trabajo puede ser:

- ✓ Constante respecto a su altura o desplazamiento vertical
- ✓ Constante por secciones
- ✓ Variable como función de su altura o desplazamiento vertical

Para el caso de la campana gasométrica del CDT de GAS se encontró al procesar los diámetros obtenidos para evaluar la repetibilidad que este es variable respecto a su

²⁰ ***El número de veces que se realice este procedimiento es discrecional del profesional que realice la calibración.***

desplazamiento vertical; por lo tanto se encontró la necesidad de crear una ecuación que contemplara la corrección del diámetro. Esta relación se describe de la siguiente forma:

$$D_{Bell} = D_{Bell} f(d_{Vert}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

d_{vert} = Desplazamiento vertical de la campana, y este se define como:

$$d_{Vert} = K \times Pulsos \quad \text{Ecuación 3}$$

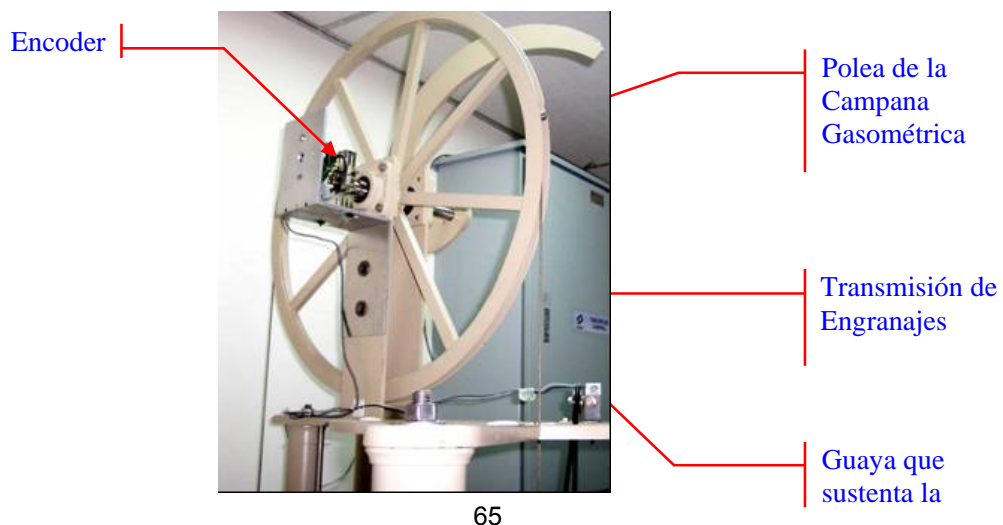
Donde:

K (mm/Pulsos): Constante para el desplazamiento vertical de la campana (en el siguiente numeral se detalla la manera de determinarla)

Pulsos (Pulsos): Número de pulsos generados entre dos puntos de referencia dados

Los pulsos empleados para el cálculo del d_{vert} , son generados por un Encoder de 5000 pulsos/revolución con dos salidas en cuadratura de fase (90° grados de desfase una con respecto a la otra generando 20000 flancos que son detectados y medidos por el sistema de control de la Campana Gasométrica) que se halla conectado a una transmisión de engranajes y esta a su vez a la polea de la campana (ver Figura 15).

Figura 15. Conjunto polea- transmisión-encoder de la Campana Gasométrica



✓ **Constante cinemática de la Campana (K).** La constante K (mm/pulsos) de la Campana Gasométrica es un parámetro característico y único que relaciona su desplazamiento vertical con el número de pulsos generados por el Encoder de la Campana. Para su determinación se requiere de mediciones dimensionales de los elementos que conectan la campana con el Encoder y de las relaciones cinemáticas. Aunque esta constante no es considerada directamente parte del proceso de strapping es necesario obtener este valor procurando la menor incertidumbre posible (ya que la contribución de esta variable es alta en la estimación de la incertidumbre total).

La incertidumbre en las campanas que han sido automatizadas es menor que aquellas que operan manualmente; esto se debe en que en las campanas manuales se obtiene el desplazamiento vertical por observación y lectura directa sobre una escala graduada; mientras que en las campanas gasométricas automatizadas (como la del CDT de GAS) el desplazamiento vertical se obtiene a partir de una señal indicadora como el tren de pulsos generados por un encoder.

El siguiente modelo matemático considera las relaciones cinemáticas necesarias para el cálculo de K:

$$K(mm / Pulsos) = \frac{2\pi}{N^{\circ} Pulsos} \left(\frac{N^{\circ} P_{COT}}{N^{\circ} P_{COD}} \right) \times R_{POLEA} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$N(Pulsos) = 20000$ - Número de pulsos por revolución del Encoder detectados por el sistema de control de la Campana Gasométrica.

$N_{PCOT} = 105$ - Número de dientes del piñón conductor en la transmisión amplificadora

$N_{PCOD} = 18$ - Número de dientes del piñón conducido en la transmisión amplificadora

R_{POLEA} (mm) = Radio de la Polea, distancia entre el eje de rotación de la polea y el eje de la guaya que sustenta la campana.

Para determinar el radio de la polea se realizan mediciones parciales, o una medición directa empleado un instrumento adecuado.

El modelo matemático general para el cálculo del radio de la polea es:

$$R_{\text{POLEA}} = L_{\text{POLEA}} + \frac{D_{\text{EJE}}}{2} - P_{\text{CARG.}} - \frac{D_{\text{GUY.}}}{2} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

R_{EJE} (mm) = Radio de la Polea,

L_{POLEA} (mm) = Longitud desde el eje hasta el borde externo de la pestaña,

D_{EJE} (mm) = Diámetro del Eje o cubo de la polea,

$P_{\text{GARG.}}$ (mm) = Profundidad de la Garganta de la Polea,

$D_{\text{GUY.}}$ (mm) = Diámetro de la Guaya.

Para cada una de las variables mencionadas anteriormente se realizan varias lecturas con el objetivo de observar su repetibilidad.

✓ **Volumen de aceite.** Como se expresa en la ecuación (6, Tabla 11) el otro término para determinar el volumen interno de la campana corresponde al volumen externo de aceite desplazado V_{oil} , el cual es el producto del área anular formada entre el exterior de la Campana y el interior del Tanque por la variación del nivel de aceite en dicha área.

La ecuación que expresa esta relación es la siguiente:

$$V_{\text{oil}} = \frac{\pi}{4} \times (D_{\text{Tank}}^2 - D_{\text{Bell-prom}}^2) \times \Delta \text{Nivel} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

D_{Tank} (mm): Diámetro interior del Tanque

$D_{\text{Bell-prom}}$ = Diámetro Promedio de la Campana Gasométrica en toda su altura de operación

ΔNivel (mm): Variación del nivel de aceite entre el exterior de la campana y el interior del tanque

☑ **Diámetro Interno del Tanque (D_{Tank})**

Para determinar el valor del diámetro del tanque donde se aloja el líquido sellante de la Campana, se mide directamente empleando la cinta Pi. El valor arrojado en la medición se le debe sumar una corrección de dos espesores²¹. Se deben realizar varias mediciones alrededor del tanque a intervalos igualmente espaciados y teniendo la precaución de mantener alineada la cinta en todo momento y axial al eje vertical de la campana. Estas lecturas sólo se realizan al nivel de líquido sellante.

✓ **Cambio del Nivel de Aceite.** El cambio de nivel de aceite es generado por la inmersión de la pared metálica de la Campana y de los diferentes accesorios. La medición de esta variable se realiza mediante un micrómetro de profundidades el cual mide la altura del aceite manteniendo como punto de referencia el borde superior del tanque que contiene el líquido sellante.

La campana se posiciona en diversos niveles, distribuidos uniformemente en su rango de trabajo y por cada nivel se toman lecturas de altura de aceite uniformemente distribuidas alrededor del área anular entre la Campana y el reservorio del líquido sellante.

Mediante el procesamiento estadístico de estos datos se obtiene una relación, la cual describe el comportamiento entre el nivel de aceite y el desplazamiento vertical de la Campana, esta se puede definir de la siguiente manera:

$$\Delta Nivel = \Delta Nivel f(K \cdot Pulsos) \qquad \text{Ecuación 7}$$

Determinado el diámetro interno del tanque y el Δ de nivel de aceite se procede a obtener una expresión del modelo matemático que describe el comportamiento del Volumen Interno de la Campana (V_{bell}) en función de las variables dimensionales determinadas durante el strapping. Ver ecuación 8.

²¹ **Esto es debido a que la cinta Pi está diseñada para medir diámetros externos.**

$$V_{Bell} = \left[\int_{Pulsos_{ini}}^{Pulsos_{fin}} K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [D_{Bell} f(K, Pulsos)]^2 dPulsos \right] - \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_{Tank}^2 - D_{Bell-prom}^2) \cdot (\Delta Nivelf(K, Pulsos_{fin}) - \Delta Nivelf(K, Pulsos_{ini})) \right]$$

Ecuación 8

c. Resultados del Strapping a la Campana Gasométrica

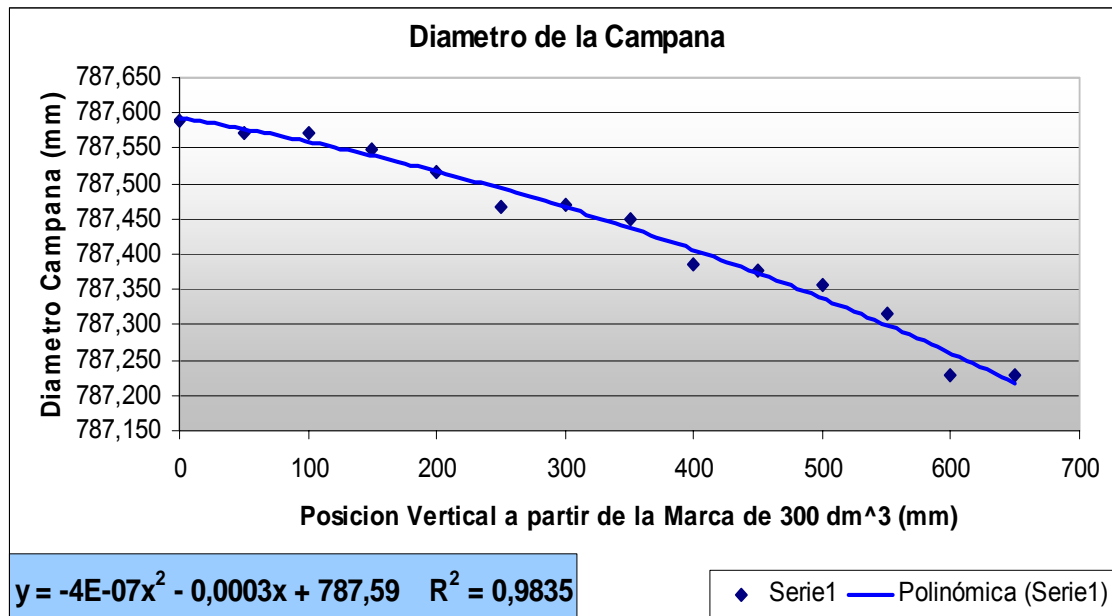
En el proceso de calibración realizado a la campana gasométrica se realizaron 14 marcas perimetrales separadas 50 mm. Por cada una de estas se tomaron 4 lecturas de diámetro exterior, de las cuales se obtuvieron las lecturas del diámetro externo (ver tabla 12).

Tabla 12. Diámetros obtenidos para la Campana Gasométrica

Diámetro de la Campana Gasométrica										
Nivel #	Dist (mm)	Dbell Medido(mm)				Dbell corregido (mm)				Dbell Prom (mm)
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	0	787,62	787,63	787,62	787,61	787,59	787,60	787,59	787,58	787,590
2	50	787,60	787,61	787,60	787,60	787,57	787,58	787,57	787,57	787,573
3	100	787,60	787,60	787,61	787,60	787,57	787,57	787,58	787,57	787,573
4	150	787,58	787,58	787,58	787,57	787,55	787,55	787,55	787,54	787,548
5	200	787,55	787,55	787,55	787,54	787,52	787,52	787,52	787,51	787,518
6	250	787,50	787,51	787,49	787,49	787,47	787,48	787,46	787,46	787,468
7	300	787,50	787,50	787,51	787,49	787,47	787,47	787,48	787,46	787,470
8	350	787,48	787,48	787,48	787,48	787,45	787,45	787,45	787,45	787,450
9	400	787,42	787,42	787,41	787,41	787,39	787,39	787,38	787,38	787,385
10	450	787,41	787,40	787,41	787,41	787,38	787,37	787,38	787,38	787,378
11	500	787,38	787,39	787,39	787,38	787,35	787,36	787,36	787,35	787,355
12	550	787,36	787,34	787,34	787,34	787,33	787,31	787,31	787,31	787,315
13	600	787,27	787,26	787,25	787,25	787,24	787,23	787,22	787,22	787,228
14	650	787,26	787,26	787,26	787,25	787,23	787,23	787,23	787,22	787,228
Promedio Total									Prom	787,4339

La función que describe el comportamiento geométrico de la Campana en función del desplazamiento vertical, muestra la tendencia de la figura 16.

Figura 16. Gráfica de la Ecuación que describe el Diámetro de la Campana como función de Posición Vertical



La ecuación obtenida para el diámetro de la Campana en función de su desplazamiento vertical se reescribe en términos del producto de la constante K (mm/pulsos) y los pulsos generados por el Encoder para un desplazamiento vertical específico de la campana en la ecuación 9.

$$D_{Bell} = -4E - 7 \times (K \cdot pulsos)^2 - 0.0003 \times (K \cdot pulsos) + 787.59 \quad \text{Ecuación 9}$$

✓ **Cálculo de la Constante Cinemática De La Campana (K).** El primer elemento a medir para egl cálculo de K fue el radio de la polea que soporta la campana. En la Figura 20 se aprecian los componente del conjunto Polea - Transmisión – Encoder.

El R_{REAL} es el radio de la polea desde su centro geométrico, hasta el fondo de la garganta donde se asienta la guaya de sujeción de la campana, por su configuración y dimensiones se realizaron las siguientes mediciones:

- Diámetro del eje
- Longitud desde el eje de la polea hasta el borde externo de la pestaña.
- Profundidad interna de la pestaña o garganta.
- Diámetro de la Guaya.

Durante el proceso de Strapping se realizaron 10 mediciones de cada una de las variables que intervienen para determinar el valor del radio de la polea (R_{POLEA}), con el objetivo de observar su repetibilidad. En la tabla 13 se muestra el resumen de los valores promedio de cada una de estas.

Tabla 13. Datos obtenidos en la medición de R_{POLEA}

VARIABLE	Nº MEDICIONES	LECTURA PROMEDIO (mm)	DESVIACIÓN ESTANDAR
L_{POLEA}	10	304.3	0.1581
D_{EJE}	10	18.964	0.0084
P_{GARG}	10	10.661	0.1220
D_{GUY}	10	3.164	0.0097

El valor que se obtuvo del radio de la polea (R_{POLEA}) al aplicar el modelo de la ecuación 5 fue:

$$R_{POLEA} = 304.703 \text{ (mm)}$$

Remplazando el valor de R_{POLEA} y el valor de la relación de transmisión empleada para mejorar la resolución en el Patrón Primario de Volumen en la ecuación 4 se obtuvo el siguiente valor de K:

$$K = 0.01641 \text{ (mm / Pulsos)}$$

✓ **Cálculo del volumen de aceite desplazado (V_{oil}).** Para determinar el volumen de aceite desplazado se debía calcular el diámetro interno del tanque y el cambio del nivel de aceite.

- Diámetro interno del tanque (D_{TANK}). Para calcular el diámetro promedio del tanque se realizaron 10 lecturas distribuidas uniformemente alrededor de su perímetro y al nivel del líquido sellante. Los diámetros suministrados de la lectura de la cinta Pi se corrigieron sumando dos espesores del instrumento de medición y la corrección por el certificado de calibración del instrumento. Los resultados son mostrados en la tabla 14:

Tabla 14. Datos obtenidos de la medición del diámetro interno del tanque

Diámetro Interior del Tanque					
No.	Diam Int Tanque (mm)	Espesor Cinta PI	Diam Int Tanque (mm)	Corrección Cinta PI (mm)	Dim. Int. Tanque
1	882.92	0.16	883.24	0.04	883.20
2	883.00	0.16	883.32	0.04	883.28
3	882.98	0.16	883.30	0.04	883.26
4	882.95	0.16	883.27	0.04	883.23
5	882.98	0.16	883.30	0.04	883.26
6	883.00	0.16	883.32	0.04	883.28
7	883.02	0.16	883.34	0.04	883.30
8	883.03	0.16	883.35	0.04	883.31
9	883.05	0.16	883.37	0.04	883.33
10	883.02	0.16	883.34	0.04	883.30

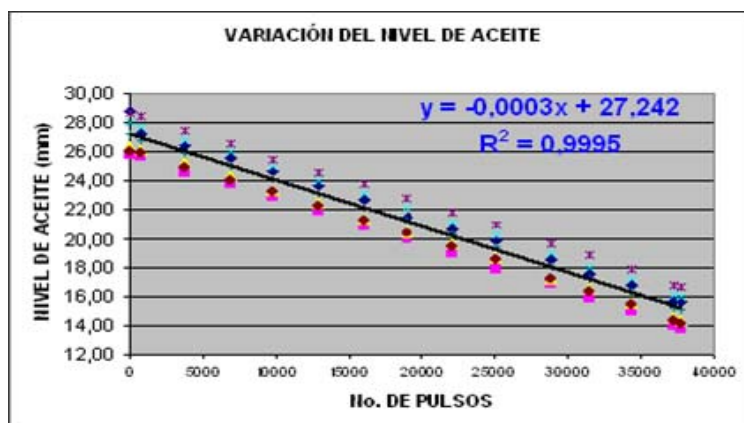
- Cambio del Nivel de Aceite. La variación del nivel de aceite (Δ Nivel) es una función lineal (directamente proporcional) al nivel de sumergimiento de la Campana en el aceite; entre más sumergida se encuentre la campana menor será el nivel de aceite respecto a un nivel de referencia como la brida del Tanque. En la tabla 15 se presentan los resultados de las lecturas tomadas con el micrómetro de profundidades.

Se encontró que la función que describe el comportamiento del nivel de aceite en función del desplazamiento vertical, provee la tendencia mostrada por la Figura 17.

Tabla 15. Datos obtenidos de la medición del cambio de nivel de aceite

Punto o Nivel #	Distancia (mm)	Numero de Pulso s Incrementales	LECTURAS INDICADAS						Prom
			1	2	3	4	5	6	Prom
1	0	22	28.76	25.82	26.32	27.97	28.73	26.04	27.27
2	50	781	27.29	25.65	26.09	27.65	28.43	25.89	26.83
3	100	3770	26.45	24.56	25.20	26.82	27.47	24.97	25.91
4	150	6850	25.55	23.78	24.38	26.01	26.62	24.07	25.07
5	200	9808	24.67	22.95	23.42	25.03	25.49	23.29	24.14
6	250	12888	23.69	21.94	22.44	24.07	24.63	22.23	23.17
7	300	16010	22.76	20.92	21.38	23.11	23.82	21.27	22.21
8	350	19022	21.53	20.00	20.51	22.19	22.83	20.36	21.24
9	400	22102	20.76	18.96	19.59	21.14	21.88	19.41	20.29
10	450	25082	19.85	17.90	18.65	20.28	20.98	18.47	19.36
11	500	28874	18.54	16.82	17.14	18.94	19.67	17.21	18.05
12	550	31518	17.53	15.89	16.54	17.99	18.85	16.26	17.18
13	600	34338	16.74	14.94	15.54	17.15	17.90	15.37	16.27
14	650	37279	15.69	13.94	14.52	16.09	16.78	14.28	15.22
15	700	37754	15.60	13.79	14.31	15.95	16.68	14.10	15.07

Figura 17. Relación entre el nivel de aceite en función del desplazamiento vertical de la campana del CDT de GAS



La ecuación que se obtuvo para el cambio de nivel de aceite en función de su desplazamiento vertical se reescribe en términos del producto de la constante K

(mm/pulsos) y los pulsos generados por el Encoder para un desplazamiento vertical específico de la campana, ver ecuación 10.

$$\Delta Nivel = [-0.0003 \cdot (K \cdot Pulsos_{fin}) + 27.242 - (-0.0003 \cdot (K \cdot Pulsos_{ini}) + 27.242)] \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Pulsos_{ini} (Pulsos) = Pulsos iniciales

Pulsos_{fin} (Pulsos) = Pulsos finales

Inicialmente la Campana Gasométrica del Laboratorio tenía una regla graduada sujeta por tres pines. Durante el proceso de calibración de cualquier medidor parte de estos accesorios se sumergían en el líquido sellante y debido a su geometría irregular hacía más difícil cuantificar el volumen sumergido de los accesorios; por esta razón el valor de la incertidumbre de la medición aumentaba al no poder controlar esta variable. Para mejorar la calidad de las calibraciones se optó por retirar la escala graduada y los pines de sujeción de esta. Adicionalmente se retiró el contrapeso interno de la Campana, mejorando de esta forma las características metrológicas del patrón.

Con la determinación de las relaciones que intervienen en el cálculo del Volumen de Aceite desplazado (V_{OIL}), se prosigue a expresar esta variable en función de constantes y variables que son registradas durante un proceso de calibración, el Volumen de Aceite se expresa mediante la siguiente relación:

$$V_{oil} = \frac{\pi}{4} \times (D_{tank}^2 - D_{Bell}^2) \cdot [-0.0003 \times (K \cdot pulsos_{fin}) + 27.202 - (-0.0003 \times (K \cdot pulsos_{ini}) + 27.202)] \quad \text{Ecuación 11}$$

Remplazando en la ecuación 8 el comportamiento de las variables, resultado de la calibración de la Campana Gasométrica, el Volumen Interno se expresa mediante la siguiente relación:

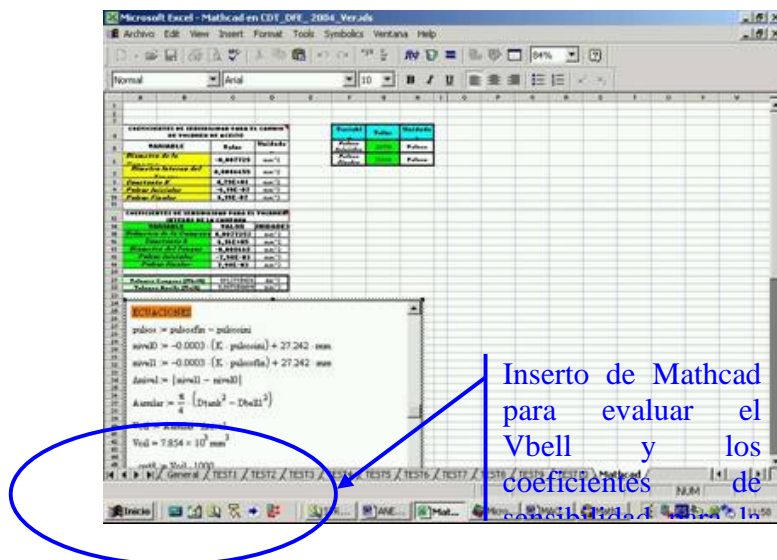
$$V_{bell} := \frac{\pi}{4} \int_{pulsosini}^{pulsosfin} K \left[-4 \cdot 10^{-7} \cdot (K \cdot pulsos)^2 - 0.0003 \cdot (K \cdot pulsos) + 787.02 \right]^2 dpulsos$$

$$- \frac{\pi}{4} \cdot (Dtank^2 - Dbell^2) \cdot [-0.0003 \cdot (K \cdot pulsosfin) + 27.242 - [-0.0003 \cdot (K \cdot pulsosini) + 27.242]] *$$

Por requerirse un proceso de integración numérica para obtener el Volumen de la Campana a partir del modelo matemático, se hizo necesario el uso de un software de Análisis numérico. En este caso se optó por utilizar el Software Mathcad 11 de Mathsoft Engineering & Education, Inc. Software utilizado y reconocido Internacionalmente por sus poderosas herramientas de análisis numérico.

En la hoja Mathcad se depositaron los Pulsos Iniciales (pulsosini) y los Pulsos Finales (pulsosfin) (figura 18), que provienen de los registros que se realizan durante la calibración de un medidor.

Figura 18. Plantilla de Mathcad empleada para el cálculo del mensurando



d. Incertidumbre Del Strapping

Para la cuantificación de la incertidumbre del proceso de Strapping se siguió la metodología de la figura 19, la cual se encuentra descrita en detalle en el apéndice B. Los resultados de la incertidumbre del strapping, la evaluación, cuantificación y el cálculo de la incertidumbre se presentan en el Manual de Instructivos, I-012.

El modelo matemático general empleado para el cálculo del mensurando (volumen interno de la campana) se expresa en la ecuación 8. A partir de esta se ponderó el valor de la incertidumbre para cada una de las variables que intervinieron en el modelo matemático ($V_{bell} = V_{bell}(D_{bell}, D_{Tank}, K, pulsosfin, pulso\ sin\ i)$).

Los resultados obtenidos se resumen en las tablas 16, 17, 18 y 19. Cada una presenta las variables que influyen en el cálculo del volumen del mensurando y la información que describen se basa en la metodología de la figura 19.

Figura 19. Metodología empleada para el cálculo de la incertidumbre



En parte inferior de la tabla se encuentra una tabla resumen de los resultados de:

- Incertidumbre combinada
- Grados efectivos de libertad
- Factor de Cobertura
- Incertidumbre Expandida

La cual condensa los resultados obtenidos para cada variable que interviene en el proceso de calibración de la campana gasométrica.

Tabla 16. Radio de la polea

Variable	RADIO DE LA POLEA			Modelo Matemático				
				$R_{POLEA} = L_{POLEA} + \frac{D_{EJE}}{2} - P_{GARG.} - \frac{D_{GUY.}}{2}$				
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación (mm)	Reducción		Combinación		Grados de Libertad v
				Tipo de Distribución	Incertidumbre Estandar $u(x_i)$ (mm)	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c (mm)	
L _{POLEA}	Tipo A	Repetibilidad	0.0500	Normal, K=1	0.0500	$\frac{\partial R_{POLEA}}{\partial L_{POLEA}} = 1$	0.17	6
	Tipo B	Certificado Calibración (mm) de Inst.	0.002	Normal, K=2	$u(Cal) = U/K = 0.001$			
		Resolución	0.125	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.072$			
		Método de Medición	0.25	Rectangular	$u(MM) = a/\sqrt{3} = 0.144$			
D _{EJE}	Tipo A	Repetibilidad	0.0027	Normal, K=1	0.0027	$\frac{\partial R_{POLEA}}{\partial D_{EJE}} = 0.5$	0.005	119
	Tipo B	Certificado Calibración (mm)	0.015	Normal, K=2	$u(Cal) = U/K = 0.008$			
		Resolución	0.01	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.003$			

Variable	RADIO DE LA POLEA		Modelo Matemático					
			$R_{POLEA} = L_{POLEA} + \frac{D_{EJE}}{2} - P_{GARG.} - \frac{D_{GUY.}}{2}$					
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación (mm)	Reducción		Combinación		Grados de Libertad ν
		Método de Medición	0.02	Tipo de Distribución	Incertidumbre Estandar $u(x_i)$ (mm)	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c (mm)	
P_{GARG}	Tipo A	Repetibilidad	0.0386	Normal, K=1	$u(MM) = a/\sqrt{3} = 0.006$	$\frac{\partial R_{POLEA}}{\partial P_{GARG}} = 1$	0.042	10
	Tipo B	Certificado Calibración (mm)	0.018	Normal, K=2	$u(Cal) = U/K = 0.009$			
		Resolución	0.01	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.006$			
		Método de Medición	0.02	Rectangular	$u(MM) = a/\sqrt{3} = 0.012$			
D_{GUY}	Tipo A	Repetibilidad	0.0031	Normal, K=1	0.0031	$\frac{\partial R_{POLEA}}{\partial D_{GUY}} = 0.5$	0.004	119
	Tipo B	Certificado Calibración (mm)	0.015	Normal, K=2	$u(Cal) = U/K = 0.008$			
		Resolución	0.01	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.003$			

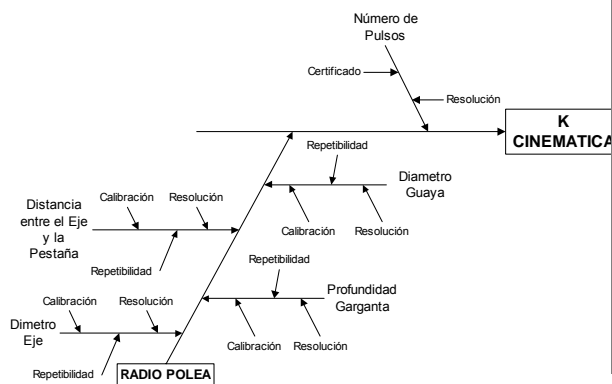
Variable	RADIO DE LA POLEA		Modelo Matemático				
			$R_{POLEA} = L_{POLEA} + \frac{D_{EJE}}{2} - P_{GARG.} - \frac{D_{GUY.}}{2}$				
Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación (mm)	Reducción		Combinación		Grados de Libertad ν
	Método de Medición	0.02	Tipo de Distribución	Incertidumbre Estandar $u(x_i)$ (mm)	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c (mm)	
	Método de Medición	0.02	Rectangular	$u(MM) = a/\sqrt{3} = 0.006$			

Tabla 16. Radio de la polea (continuación)

Descripción	Evaluación	Valor	Unid
Incertidumbre Combinada	$u_c(R_{POLEA}) = \sqrt{\sum u_f^2(y)} =$	0,17	mm
Grados de Libertad Efectivos	$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(\nu)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} =$	8	XXXXXX
Factor de Cobertura	$t_{95}(\nu_{ef}) =$	1,988	XXXXXX
Incertidumbre Expandida	$U = u_c(R_{POLEA}) \cdot t_{95}(\nu_{ef}) =$	0,346	mm

Tabla 17. Constante cinemática de la campana K

Variable	CONSTANTE CINEMATICA DE LA CAMPANA K (mm/Pulsos)			Modelo Matemático				
				$K(mm/Pulsos) = \frac{2\pi}{N^\circ Pulsos} \left(\frac{N^\circ P_{COT}}{N^\circ P_{COD}} \right) \times R_{POLEA}$				
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación (mm)	Reducción		Combinación		Grados de Libertad ν
Tipo de Distribución				Incertidumbre Estandar $u(x_i)$ (mm)	Factores de Sensibilidad (1/Pulsos)	Incertidumbre Combinada u_c (mm/Pulsos)		
R_{POLEA}	Tipo B	Incertidumbre Cuantificada Previamente	0.346	Normal, K=2	0.17	$\frac{\partial K}{\partial R_{POLEA}} = 5.39E-05$	5.4E-06	8

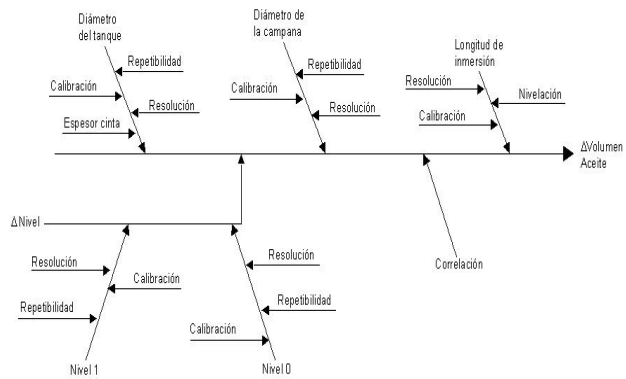


Descripción	Evaluación	Valor	Unid
Incertidumbre Combinada	$u_e(K) = \sqrt{\sum u_f(y)} =$	5.4E-06	mm/Pulsos
Grados de Libertad Efectivos	$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(\nu)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}} =$	8	XXXXXX
Factor de Cobertura	$t_{95}(\nu_{ef}) =$	2.306	XXXXXX
Incertidumbre Expandida	$U = u_c(K) \cdot t_{95}(\nu_{ef}) =$	1.5E-05	mm/Pulsos

Tabla 18. Volumen de aceite desplazado (V_{OIL})

Variable	VOLUMEN DE ACEITE DESPLAZADO (V_{OIL})			Modelo Matemático				
				$V_{oil} = \frac{\pi}{4} \times (D_{Tank}^2 - D_{Bell-prom}^2) \times \Delta Nivel$				
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación	Reducción		Combinación		Grados de Libertad ν
Tipo de Distribución				Incertidumbre Estandar $u(x_i)$	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c		
Cambio de Nivel de Aceite ($\Delta Nivel$)	Tipo A	Repetibilidad	0.21 mm	Normal, K=1	0.21	$\frac{\partial V_{OIL}}{\partial \Delta Nivel} = 40030.61$ mm ²	8431.27 mm ³	8
	Tipo B	Calibración Micrómetro	0.018 mm	Normal, K=2	$u(Cal) = U/K = 0.009$ mm			
		Resolución	0.01 mm	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.006$ mm			
		Método de Medición	0.02 mm	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.012$ mm			
Diámetro Interno Tanque (D_{tank})	Tipo A	Repetibilidad	0.01232 mm	Normal, K=1	0.01232 mm	$\frac{\partial V_{OIL}}{\partial D_{tan k}} = 610.48$ mm ²	10 mm ³	15
	Tipo B	Certificado Calibración (mm)	0.018 mm	Normal, K=2	$u(Cal) = U/K = 0.009$ mm			

Variable	VOLUMEN DE ACEITE DESPLAZADO (V_{oil})			Modelo Matemático				
				$V_{oil} = \frac{\pi}{4} \times (D_{Tank}^2 - D_{Bell-prom}^2) \times \Delta Nivel$				
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación	Reducción		Combinación		Grados de Libertad ν
Tipo de Distribución				Incertidumbre Estandar $u(x_i)$	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c		
Diámetro Externo Campana	Tipo A	Repetibilidad	0.05 mm	Normal, K=1	0.05 mm	$\frac{\partial V_{oil}}{\partial D_{bell}} = 544.24$ mm ²	27.84 mm ³	53
		Certificado Calibración (mm)	0.018 mm	Normal, K=2	$u(Cal) = U/K = 0.009$ mm			
	Tipo B	Resolución	0.01 mm	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.006$ mm			



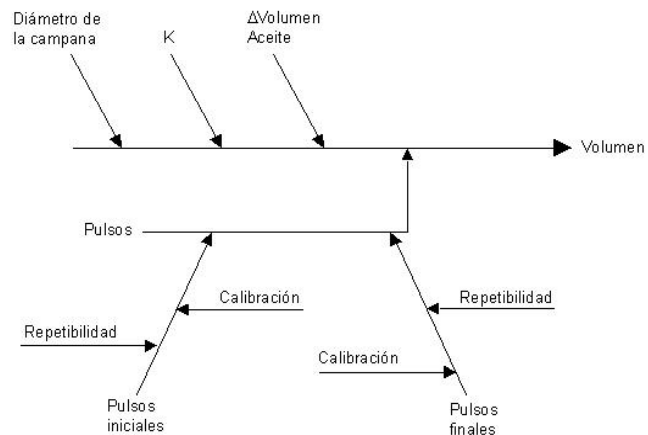
Descripción	Evaluación	Valor	Unid.
Incertidumbre Combinada	$u_c(K) = \sqrt{\sum u_f(y)} =$	8431.32	mm ³
Grados de Libertad Efectivos	$v_{ef} = \frac{u_c^4(V_{OIL})}{\sum_{i=1}^N u_i^4(y)} =$	37	XXXXXX
Factor de Cobertura	$t_{95}(v_{ef}) =$	2	XXXXXX
Incertidumbre Expandida	$U = u_c(V_{OIL}) \cdot t_{95}(v_{ef}) =$	16862.64	mm ³

Tabla 19. Volumen interno de la campana (V_{bell})

Variable	VOLUMEN INTERNO DE LA CAMPANA (V_{bell})			Modelo Matemático				
				$V_{bell} := \frac{\pi}{4} \left(\frac{pulsosfin}{pulsosini} \right) \left[K \left[-4 \cdot 10^{-7} \cdot (K \cdot pulsos)^2 - 0.0003 \cdot (K \cdot pulsos) + 787.02 \right]^2 \cdot pulsos + \frac{\pi}{4} \cdot (D_{tan}^2 - D_{bell}^2) \cdot [-0.0003 \cdot K \cdot pulsosfin] + 27.242 - [-0.0003 \cdot K \cdot pulsosini + 27.242] \right)$				
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación n	Reducción		Combinación		Grados de Libertad v
Tipo de Distribución				Incertidumbre Estandar $u(x_i)$	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c		
Diámetro Externo Campana (D_{bell})	Tipo A	Repetibilidad	0.05 mm	Normal, K= 1	0.05 mm	$\frac{\partial D_{bell}}{\partial V_{bell}} = 229.45$ mm ²	2.71 mm ³	53
	Tipo B	Calibración Cinta Pi	0.018 mm	Normal, K= 2	$u(Cal) = U/K = 0.009$ mm			
		Resolución	0.01 mm	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.006$ mm			
Diámetro Interno Tanque (D_{tank})	Tipo A	Repetibilidad	0.01232 mm	Normal, K= 1	0.01232 mm	$\frac{\partial D_{tan k}}{\partial V_{bell}} = -257.48$ mm ²	4.2 mm ³	26
	Tipo B	Certificado Calibración	0.018 mm	Normal, K= 2	$u(Cal) = U/K = 0.009$ mm			
		Resolución	0.01 mm	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.006$ mm			
Pulsos Iniciales	Tipo A	Repetibilidad	12.25 Pulsos	Normal, K= 1	12.25 Pulsos	$\frac{\partial P_{ini}}{\partial V_{bell}} = -7.98E0$	98230.51 mm ³	5

Variable	VOLUMEN INTERNO DE LA CAMPANA (V_{bell})			Modelo Matemático				
				$V_{bell} := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\begin{matrix} \text{pulsosfin} \\ \text{pulsosini} \end{matrix} \right) \cdot K \left[-4 \cdot 10^{-7} \cdot (K \cdot \text{pulsos})^2 - 0.0003 \cdot (K \cdot \text{pulsos}) + 787.02 \right]^2 \cdot \text{d pulsos} + \frac{\pi}{4} \cdot (D_{tanK}^2 - D_{bell}^2) \cdot [-0.0003 \cdot K \cdot \text{pulsosfin} + 27.242 - [-0.0003 \cdot K \cdot \text{pulsosini} + 27.242]]$				
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación n	Reducción		Combinación		Grados de Libertad v
Tipo de Distribución				Incertidumbre Estandar $u(x_i)$	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c		
Tipo B	Certificado Calibración	2 Pulsos	Normal, K= 1.96	$u(Cal) = U/K = 1.02$ Pulsos	mm ³ /Pulsos			
	Resolución	0.00005 Pulsos	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.000014$ Pulsos				
Pulsos Finales (P _{fin})	Tipo A	Repetibilidad	12.25 Pulsos	Normal, K= 1	12.25 Pulsos	$\frac{\partial P_{fin}}{\partial V_{bell}} = 7.97 E03$ mm ³ /Pulsos	98146 mm ³	5
	Tipo B	Certificado Calibración (mm)	2 Pulsos	Normal, K= 1.96	$u(Cal) = U/K = 1.02$ Pulsos			
		Resolución	0.00005 Pulsos	Rectangular	$u(res) = a/\sqrt{3} = 0.000014$ Pulsos			
Constante de la Campana (K)	Tipo B	Certificado	1.5E-05 mm/Pulsos	Normal, K= 2.306	$u(Cal) = U/K = 5.4E - 06$ mm/Pulsos	$\frac{\partial K}{\partial V_{bell}} = 1.832E10$ mm ² /Pulsos	95578.5 mm ³	8

Variable	VOLUMEN INTERNO DE LA CAMPANA (V_{bell})			Modelo Matemático				
				$V_{bell} := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\begin{matrix} \text{pulsosfin} \\ \text{pulsosini} \end{matrix} \right) \cdot K \cdot \left[-4 \cdot 10^{-7} \cdot (K \cdot \text{pulsos})^2 - 0.0003 \cdot (K \cdot \text{pulsos}) + 787.02 \right]^2 \cdot \text{pulsos} + \frac{\pi}{4} \cdot \left(\text{DtanK}^2 - \text{Dbell}^2 \right) \cdot \left[-0.0003 \cdot K \cdot \text{pulsosfin} + 27.242 - \left[-0.0003 \cdot K \cdot \text{pulsosini} + 27.242 \right] \right]$				
	Organización	Fuente de Incertidumbre	Cuantificación n	Reducción		Combinación		Grados de Libertad v
Tipo de Distribución				Incertidumbre Estandar $u(x_i)$	Factores de Sensibilidad	Incertidumbre Combinada u_c		
Volumen de Aceite desplazado (V_{Oil})	Tipo B	Cálculos Previos	16862.64 mm ³	Normal, K= 2	$u(Cal) = U/K = 8431.32 \text{ mm}^3$	$\frac{\partial V_{OIL}}{\partial V_{bell}} = 1$	8431.32 mm ³	37



Descripción	Evaluación	Valor	Unid
Incertidumbre Combinada	$U_e(V_{bell}) = \sqrt{\sum U_f(y)}$	168775.25	mm ³
Grados de Libertad Efectivos	$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(V_{bell})}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}$	18	XXXXXX
Factor de Cobertura	$t_{95}(\nu_{ef}) =$	2.101	XXXXXX
Incertidumbre Expandida	$U = u_c(V_{bell}) \cdot t_{95}(\nu_{ef}) =$	354583.92	mm ³
Incertidumbre Relativa	$\%U = \frac{U}{V_{bell}} \cdot 100\%$	0.1178	%

6.1.2 Procedimiento de calibración de medidores de volumen tipo Cámara Húmeda

El método se basa en la comparación del volumen de gas medido con la Cámara Húmeda objeto de calibración y el volumen medido por el Patrón Primario.

El procedimiento Técnico fue diseñado con base en recomendaciones internacionales de laboratorios reconocidos, tales como NIST (National Institute of Standards and Technology), PTB (Physikalisch – Technische Bundesanstalt), IPT (Instituto de Pesquisas Técnicas de Brasil) y CENAM (Centro Nacional de Metrología de México), ya que no existe ningún tipo de norma que fije los parámetros y requerimientos para la calibración de este tipo de medidores. Debido a esto la norma NTC-ISO 17025 (en el requisito 5.4.5.2) para los métodos no normalizados exige realizar una validación del método para confirmar que este es adecuado para el uso propuesto.

La técnica empleada para validar y determinar el desempeño de un método deberían ser una, o una combinación de las siguientes:

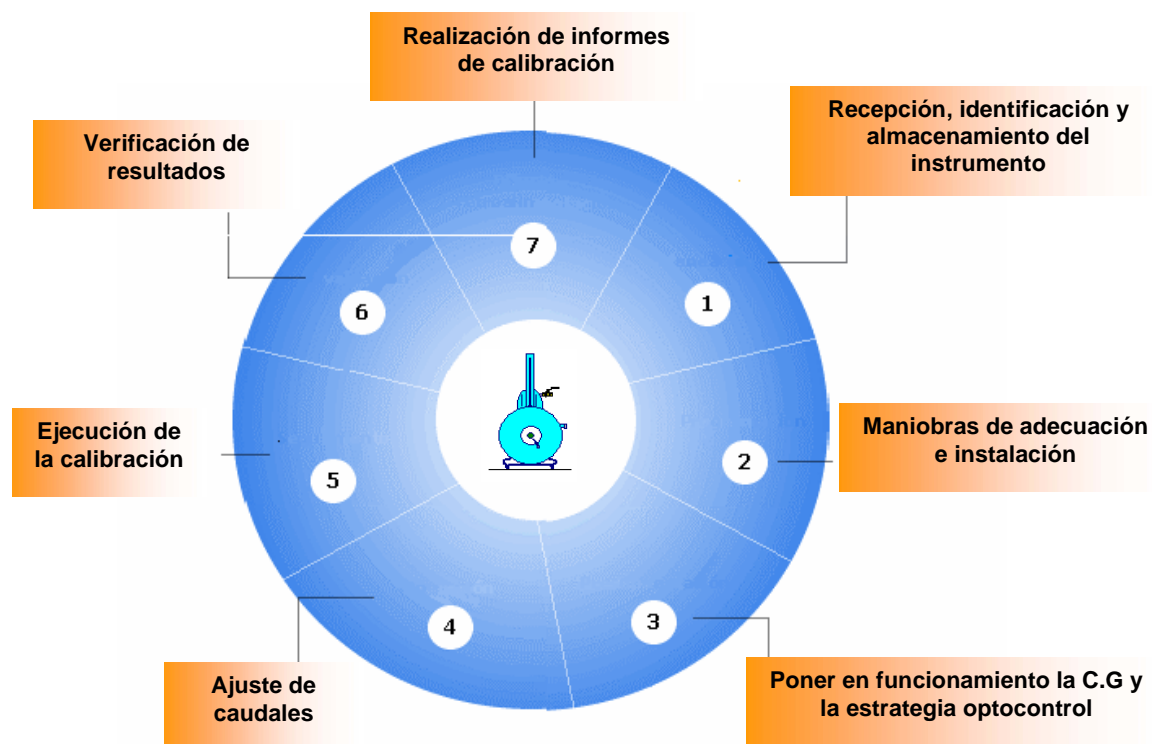
1. Calibración empleando patrones de referencia o materiales de referencia
2. Comparación de resultados obtenidos con otros métodos
3. Comparaciones interlaboratorio
4. Evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado
5. Evaluación de la incertidumbre de los resultados basados en la comprensión científica de los principios teóricos del método y experiencia práctica

Para realizar la implementación del método se aplicó la técnica del numeral 4. Los resultados de la evaluación sistemática de los factores que influyen en el resultado se pueden observar en el Manual de Instructivos, I-013. Sin embargo, a mediano plazo el laboratorio pretende validar este método por las técnicas del numeral 2 y 3; ya que se encuentra en construcción un patrón primario de volumen, patrón Gravimétrico, con el cual se puede realizar una confirmación del método y una comparación con otros laboratorios gracias a las sólidas relaciones que se mantienen con otras instituciones de desarrollo tecnológico, como el IPT- Brasil y el CENAM-México.

a. Descripción Del Procedimiento

En general el procedimiento está conformado por siete etapas (Ver figura 20).

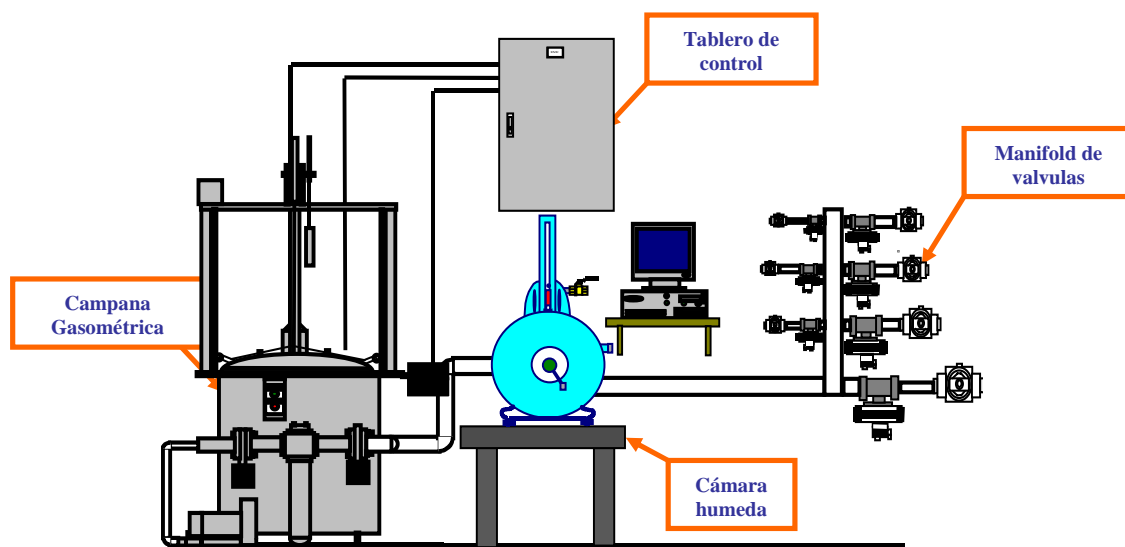
Figura 20. Etapas del proceso de calibración



- **Recepción, identificación y almacenamiento del instrumento (cámara húmeda).** Durante esta etapa se realiza la recepción del instrumento, y se diligencia el documento de los documentos necesarios. Terminado dicho procedimiento se procede a almacenar el instrumento en el área de calibraciones con el fin de que el instrumento logre estabilidad térmica antes de realizar la instalación del medidor bajo calibración.
- **Maniobras de adecuación del instrumento y conexiones necesarias para iniciar la prueba.** Se revisa que el instrumento este nivelado, que el nivel del líquido sellante es el adecuado. El Profesional de Calibración y Ensayo selecciona la tubería del puerto de

entrada y salida de acuerdo al tamaño del medidor que se vaya a calibrar, se colocan los sensores de presión y temperatura, se acopla un ducto entre la salida de la Campana Gasométrica y la tubería de entrada seleccionada y entre la de salida y el manifold de válvulas (Ver figura 21).

Figura 21. Montaje para la calibración de una cámara húmeda



- **Poner en funcionamiento la Campana gasométrica y cargar la estrategia Optocontrol.** La Campana Gasométrica se pone en funcionamiento de acuerdo a un procedimiento técnico. Seguidamente se carga la estrategia Optocontrol en el computador con el fin de verificar las condiciones ambientales del cuarto. Estas deben asegurar que la Cámara húmeda a ser calibrada y los medios utilizados para la calibración no estén sometidos unilateralmente a influencias del calor provenientes de la radiación solar, calefactores u otras fuentes. La temperatura en la sala de ensayo no fluctúa en mas de 2°C por día, respetando siempre el rango de temperatura de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ y de humedad del $50\pm 10\%$. Estas condiciones ambientales son mantenidas por un sistema de circulación de aire con una capacidad adecuada y mediante un sistema de control de temperatura y humedad.

Dentro de este control de variables también se verifica la temperatura de la campana gasométrica, de su líquido sellante, y de la entrada y salida del medidor. La temperatura del aire de la campana, de la entrada y salida del medidor se verifica mediante una RTD PT-100²². La temperatura del líquido sellante se toma por medio de un termómetro de mercurio.

Terminada la verificación ambiental aparecen diferentes plantillas donde se ingresan las características de la Cámara Húmeda como son:

- Información General de la Cámara Húmeda
- Volumen por Revolución
- Caudal Máximo
- Caudal Mínimo
- Volumen Cíclico

Para realizar el diligenciamiento total de la plantilla se debe realizar el paso descrito en el siguiente numeral; ajuste de caudales.

- **Ajuste de Caudales.** El acondicionamiento del caudal se realiza por medio de las válvulas reguladoras del manifold. Previo al ajuste de caudales se efectúa un chequeo de fugas en el sistema. Al culminar el chequeo de fugas, la estrategia automáticamente eleva la campana y la deja descender abriendo las válvulas reguladoras de caudal para permitir el ajuste de los caudales de prueba. Para ajustarlo se debe manipular la válvula, hasta que el caudal del medidor en prueba se aproxime ($\pm 5\%$) al caudal de calibración. Estos caudales se verifican con un cronómetro calibrado leyendo directamente el valor del volumen sobre el display del medidor en prueba. Esta operación se repite para cada válvula hasta poner a punto el número de caudales seleccionados.

En las plantillas de la estrategia se ingresa, el valor del caudal de calibración, el número de la válvula de manifold que regula el correspondiente caudal y el volumen de control o de calibración que pasara por la Cámara Húmeda. Adicionalmente se ingresa los datos de la prueba que corresponden a: el número de puntos de calibración, o número de pruebas

²² ***Instrumento de medición para temperatura empleado en el laboratorio***

que se debe realizar a un determinado caudal (estos puntos no deben ser inferiores a 3 de forma tal que se pueda evaluar la repetibilidad o reproducibilidad durante la calibración), el tipo de secuencia²³ para la ejecución de la calibración (la cual corresponde al orden en que se realiza la calibración a partir de los caudales y el número de pruebas seleccionado), el número de purgas que se requiera realizar al sistema y el tiempo de estabilización de la temperatura del aire de calibración que ingreso a la campana (este tiempo también es aprovechado para que el espesor de la película filmica adherida a la campana disminuya debido a que este es una desventaja que se presenta si no se deja un tiempo prudencial de escurrimiento).

- **Ejecución de la calibración.** Terminado el diligenciamiento de las plantillas de la estrategia se procede a activar el sistema de calibración. Esta parte de la prueba se realizan automáticamente hasta culminar la calibración según la secuencia seleccionada e incluyen: Purga, sincronización y ajuste de la posición de la campana, y estabilización de 180 seg.

Durante esta etapa del proceso de calibración se recomienda que no haya ninguna persona dentro del cuarto de calibración.

Al culminar las pruebas la campana desciende hasta descansar en su punto más bajo y el BRAIN (cerebro del sistema OPTO 22) transfiere los datos recolectados durante las pruebas a un archivo que se nombra con la identificación del respectivo medidor bajo prueba.

- **Verificación de resultados.** La verificación de los resultados se realiza mediante el análisis del % de error, la repetibilidad de los datos y el valor de la incertidumbre declarado durante la calibración.

- **Realización de informes de calibración.** Es la última etapa del proceso de calibración. En el informe se consignan los resultados obtenidos y los datos más relevantes de la calibración.

²³ ***La selección de la secuencia depende de la evaluación de la repetibilidad que se quiera durante la calibración.***

6.1.3 Procedimiento de calibración de medidores tipo diafragma

El proceso de calibración de medidores de volumen de gas tipo diafragma, utilizando como patrón de calibración la campana gasométrica del laboratorio de CDT de GAS, fue realizado aplicando el método normalizado descrito por las normas internacionales ANSI B109.1 DIAPHRAGM TYPE GAS DISPLACEMENT METERS (Under 500 Cubic Feet Per Hour Capacity) Parte 3, Numerales 3.2.1 – 3.2.2.1 – 3.3, Parte 4 Numeral 4.2, ANSI B109.2 DIAPHRAGM TYPE GAS DISPLACEMENT METERS (Under 500 Cubic Feet Per Hour Capacity and Over) Parte 3, Numerales 3.2.1 – 3.2.1.1 – 3.3.1, Parte 4 Numeral 4.2, y NTC 2728 MAQUINAS Y EQUIPOS. MEDIDORES DE GAS TIPO DIAFRAGMA, Anexo B, Numeral B.3.

Este procedimiento es muy semejante al descrito para las cámaras húmedas y en general esta compuesto por las mismas etapas. Sus principales diferencias radican en la posición en que se colocan los sensores para el registro de temperatura y presión del medidor bajo calibración y en el ajuste que se le pueda hacer a mecanismo del odómetro, para que la curva de calibración se encuentre en el rango recomendado por las normas.

a. Estimación de la Incertidumbre durante la Calibración de medidores de Volumen (Cámaras Húmedas y Medidores de Diafragma).

El cálculo de la incertidumbre se realiza empleando la metodología de la figura 24 y a partir del análisis de los siguientes mensurados:

- % Error de Medición para los Medidores en Prueba
- Volumen del Medidor

Los cuales se reportan en el informe de calibración.

Los datos obtenidos durante la calibración son enviados a una plantilla de Excel donde se realiza el cálculo de la incertidumbre.

▪ Cálculo del % de error

Modelo Matemático. El modelo matemático que se utiliza para determinar el % de error del medidor bajo calibración se expresa en la ecuación 12:

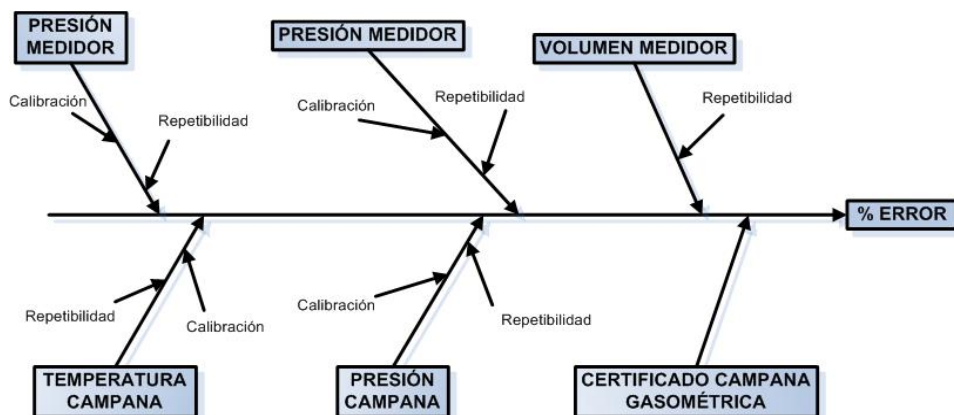
$$f_g = \left[\frac{V_g * P_g * T_N}{V_N * P_N * T_g} - 1 \right] * 100 \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

- F_g : Error del medidor
- V_g : Volumen del medidor
- P_g : Presión del medidor
- T_N : Temperatura de la campana
- V_N : Volumen de la campana
- P_N : Presión de la campana
- T_g : Temperatura del medidor

Identificación de las Fuentes de Incertidumbre. De acuerdo con el modelo matemático expresado anteriormente, las variables que contribuyen a la incertidumbre de medición del % de error de los medidores bajo prueba se muestran en la figura 22.

Figura 22. Fuentes de incertidumbre en la determinación del % de error.



Cuantificación

Evaluación Tipo A. La evaluación de las fuentes de incertidumbre tipo A se realizó aplicando la definición de *Incertidumbre estándar experimental* que considera la desviación estándar de N mediciones y la raíz cuadrada de N.

$$\mu = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 13

Donde:

μ = Incertidumbre Estándar Experimental

S = Desviación Estándar de los datos registrados durante la prueba

n = Número de mediciones registradas durante la prueba

La incertidumbre estándar experimental se cuantifica para las siguientes variables que intervienen durante la calibración del medidor, mediante la ecuación descrita anteriormente:

- Presión del Medidor (P_g)
- Temperatura de la Campana (T_N)
- Presión Campana (P_N)
- Temperatura del Medidor (T_g)
- Volumen del Medidor (V_N)

Evaluación Tipo B. La única incertidumbre Tipo B que se tiene en cuenta durante este proceso es la relacionada con la calibración de la instrumentación utilizada para sensar las variables que intervienen durante la calibración. La incertidumbre relacionada con la resolución de la instrumentación no contribuye, ya que el registro de la variable se obtiene con una amplia resolución, por esta razón se obtiene un valor de incertidumbre muy pequeña. La evaluación de la incertidumbre estándar proveniente del certificado de calibración del instrumento se calcula reduciendo la Incertidumbre Expandida (que

representa una distribución normal) declarada por el Laboratorio al momento de la Calibración y el factor de cubriendo aplicado, mediante la siguiente relación:

$$\mu = \frac{U}{K}$$

Ecuación 14

Donde:

μ = Incertidumbre Estándar por Calibración del Instrumento

U = Incertidumbre Expandida

K = Factor de cobertura

La estimación de la incertidumbre estándar proveniente del certificado de calibración y se cuantifica para la siguiente instrumentación que se utiliza durante la calibración del medidor:

- Instrumento utilizado para sensar la temperatura del aire de la campana (RTD PT-100)
- Instrumento utilizado para sensar la temperatura del aire a la entrada del medidor (RTD PT-100)
- Instrumento para sensar la presión del aire de calibración en la Campana (Barómetro Análogo)
- Instrumento para sensar la diferencia de presión entre la salida de la campana y la entrada del medidor bajo calibración (Transductor de Presión Diferencial)
- Campana Gasométrica

Combinación (para cada variable). A partir de las incertidumbres estándar por repetibilidad y calibración de los instrumentos, se calcula la incertidumbre combinada estándar de cada una de las fuentes de incertidumbre utilizando la ecuación 15, También se evalúa el numero de grados de libertad para cada una de las variables que intervienen durante la calibración utilizando la ecuación Welch-Satterwalte 16.

- Combinación Incertidumbre Tipo A y Tipo B de cada fuente de incertidumbre:

$$\mu_{A-B} = \sqrt{\mu_{TipoA}^2 + \mu_{TipoB}^2} \quad \text{Ecuación 15}$$

- Grados de Libertad:

$$v = \frac{(\mu)^4}{\frac{(\mu_{TipoA})^4}{N-1} + \frac{(\mu_{TipoB})^4}{50}} \quad \text{Ecuación 16}$$

- Factores de Sensibilidad

Se evalúa el coeficiente de sensibilidad, con el fin de determinar que tan sensible es el mensurando con respecto a la variación de la magnitud de la variable. Esto se realiza por medio de las relaciones que se presentan en la Tabla 20:

Tabla 20. Factores de Sensibilidad para el % de Error

VARIABLE	FACTOR DE SENSIBILIDAD
Presión del Medidor (P_g)	$\frac{\partial f_g}{\partial P_g} = \frac{V_g * T_N}{V_N * P_N * T_g} * 100$
Temperatura de la Campana (T_N)	$\frac{\partial f_g}{\partial T_N} = \frac{V_g * P_g}{V_N * P_N * T_g} * 100$
Presión de la Campana (P_N)	$\frac{\partial f_g}{\partial P_N} = -\frac{V_g * P_g * T_N}{V_N * P_N^2 * T_g} * 100$
Temperatura del Medidor (T_g)	$\frac{\partial f_g}{\partial T_g} = -\frac{V_g * P_g * T_N}{V_N * P_N * T_g^2} * 100$
Volumen del Medidor (V_g)	$\frac{\partial f_g}{\partial V_g} = \frac{P_g * T_N}{V_N * P_N * T_g} * 100$
Volumen de la Campana (V_N)	$\frac{\partial f_g}{\partial V_N} = -\frac{V_g * P_g * T_N}{V_N^2 * P_N * T_g} * 100$

Teniendo calculada la incertidumbre combinada para cada variable, se realiza el cálculo de la incertidumbre del mensurando total (ecuación 12); aplicando la ley de propagación de la incertidumbre para determinar la Incertidumbre Combinada μ_c se obtiene la siguiente relación:

$$u_c = \sqrt{\left[\left(\frac{\partial f_g}{\partial P_N} \cdot \mu_{A-BR_N} \right)^2 + \left(\frac{\partial f_g}{\partial P_g} \cdot \mu_{A-BP_g} \right)^2 + \left(\frac{\partial f_g}{\partial T_N} \cdot \mu_{A-BT_N} \right)^2 + \left(\frac{\partial f_g}{\partial T_g} \cdot \mu_{A-BT_g} \right)^2 + \left(\frac{\partial f_g}{\partial V_g} \cdot \mu_{A-BV_g} \right)^2 + \left(\frac{\partial f_g}{\partial V_N} \cdot \mu_{A-BV_N} \right)^2 \right]} \quad \text{Ecuación 17}$$

- Grados Efectivos de Libertad para el % de error

El número efectivo de grados de libertad se determina teniendo en cuenta los siguientes valores: la incertidumbre combinada de cada variable (obtenida a partir de la ecuación 15), los grados de libertad para cada variable (obtenidos a partir de la ecuación 16), los factores de sensibilidad para cada variable (tabla 20), y la incertidumbre total combinada (obtenida de la ecuación 17).

$$v_{ef} = \frac{(\mu_c)^4}{\frac{\left(\frac{\partial f_g}{\partial P_N} \cdot \mu_{A-BR_N} \right)^4}{v_{P_N}} + \frac{\left(\frac{\partial f_g}{\partial P_g} \cdot \mu_{A-BP_g} \right)^4}{v_{P_g}} + \frac{\left(\frac{\partial f_g}{\partial T_N} \cdot \mu_{A-BT_N} \right)^4}{v_{T_N}} + \frac{\left(\frac{\partial f_g}{\partial T_g} \cdot \mu_{A-BT_g} \right)^4}{v_{T_g}} + \frac{\left(\frac{\partial f_g}{\partial V_g} \cdot \mu_{A-BV_g} \right)^4}{v_{V_g}} + \frac{\left(\frac{\partial f_g}{\partial V_N} \cdot \mu_{A-BV_N} \right)^4}{v_{V_N}}}$$

Ecuación 18

Con los grados de libertad determinados mediante la ecuación anterior y empleando un factor de confianza del 95% se aplica la distribución t de Student para determina el factor de cobertura. Mediante el producto de este factor y la incertidumbre combinada (u_c) obtenemos la incertidumbre expandida (U).

- Incertidumbre Expandida del % de error.

$$U = u_c \cdot t_p(v_{ef}) \quad \text{Ecuación 19}$$

▪ **Volumen del Medidor**

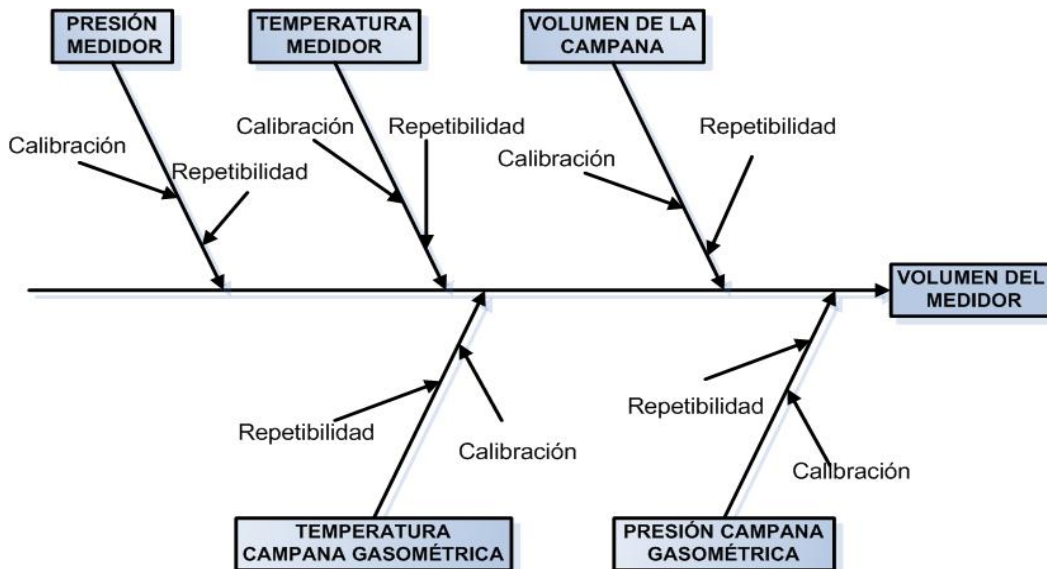
La evaluación de la incertidumbre del volumen del medidor es muy similar a la presentada anteriormente, ya que las variables que afectan el mensurando, volumen del medidor, son prácticamente las mismas que afectan el % de error. A continuación se presenta un resumen del modelo para la evaluación de este mensurando.

Modelo Matemático. La ecuación que se utiliza para determinar el volumen que realmente a pasado a través del medidor bajo calibración es la siguiente:

$$V_g = \frac{V_N * P_N * T_g}{P_g * T_N} \quad \text{Ecuación 20}$$

Identificación de las Fuentes de Incertidumbre. Las fuentes de incertidumbre que intervienen durante la calibración se observan en la figura 23.

Figura 23. Fuentes de incertidumbre en la determinación del volumen del medidor



Cuantificación. Para realizar la evaluación de las incertidumbres Tipo A y Tipo B que intervienen durante la calibración, se sigue la misma metodología empleada para el

cálculo del % de Error, ya que el registro de las variables durante la calibración y la instrumentación son las mismas.

Combinación. Al igual que para la cuantificación, la combinación de las incertidumbres se realiza el mismo procedimiento empleado para el cálculo del % de error a diferencia de los factores de sensibilidad los cuales cambian al diferir el modelo matemático. En la Tabla 21 se muestran los factores para el cálculo del volumen del medidor:

Tabla 21. Factores de Sensibilidad para el Volumen del Medidor

VARIABLE	FACTOR DE SENSIBILIDAD
Presión del Medidor (P_g)	$\frac{\partial V_g}{\partial P_g} = -\frac{V_N * T_g * P_N}{T_N * P_g^2}$
Temperatura de la Campana (T_N)	$\frac{\partial V_g}{\partial T_N} = -\frac{V_N * P_N * T_g}{P_g * T_N^2}$
Presión de la Campana (P_N)	$\frac{\partial V_g}{\partial P_N} = -\frac{V_N * T_g}{P_g * T_N}$
Temperatura del Medidor (T_g)	$\frac{\partial V_g}{\partial T_g} = -\frac{V_N * P_N}{P_g * T_N}$
Volumen de la Campana (V_N)	$\frac{\partial V_g}{\partial V_N} = \frac{P_N * T_g}{P_g * T_N}$

La incertidumbre combinada se determina aplicando la ley de propagación de la incertidumbre (ecuación 17).

Incertidumbre Expandida. La incertidumbre expandida se determina de la misma forma como se hace realiza el calculo para el % de error.

7 AREA DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

7.1 INTRODUCCIÓN

Los servicios prestados en el área de pruebas hidrostáticas están enfocados a verificar el cumplimiento de las normas de seguridad exigidas para el uso de cilindros que contengan gas comprimido, a través de la realización de varias pruebas que permiten verificar su estado. Estas pruebas se aplican a cilindros nuevos, con el fin de certificación de lotes y en cilindros usados se realizan según lo especificado en las tablas 20 y 21 para su recalificación.

Actualmente el laboratorio se encuentra aprobado por ICONTEC para realizar ensayos bajo las normas NTC 522-1 “Cilindros de Acero con Costura para Gases Licuados de Petróleo (G LP) con Capacidad desde 5 kg incluido, hasta 46 kg excluido” y la NTC 2699, “Inspección Periódica y Ensayo de Cilindros de Acero sin Costura.

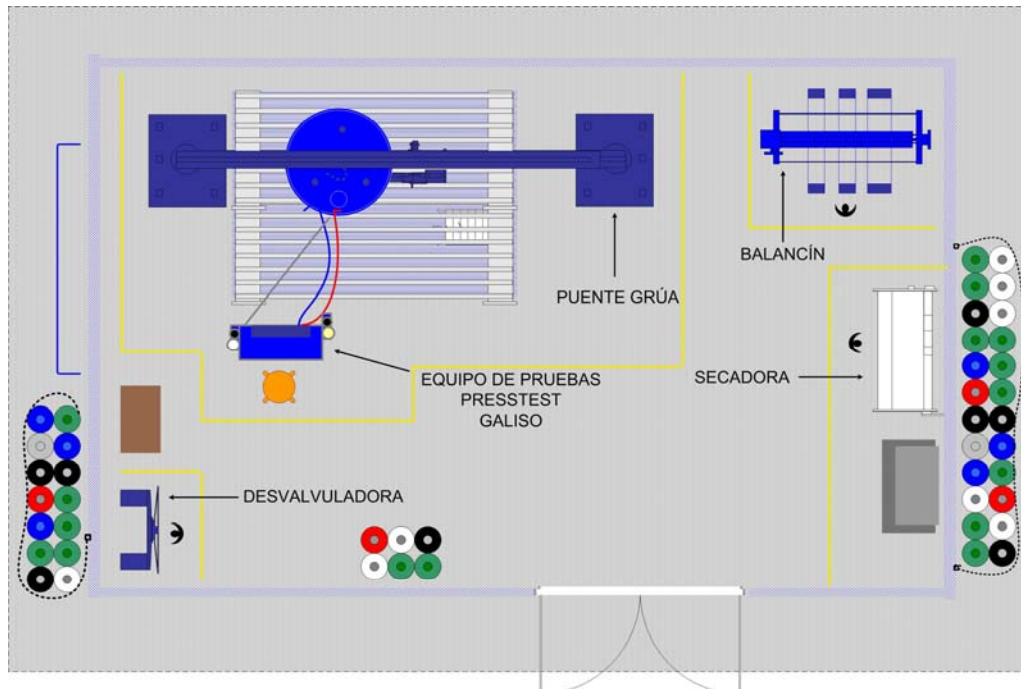
7.2 GENERALIDADES DEL ÁREA

El área de pruebas hidrostáticas, se encuentra ubicada en las instalaciones abiertas del laboratorio del CDT de GAS, debido a sus requerimientos de espacio y a que por su naturaleza no requiere un control estricto de las condiciones ambientales solicitadas durante los ensayos. Un esquema del área se presenta en la figura 24.

El área cuenta con una serie de equipos necesarios para la realización de los ensayos, entre otros se encuentran los siguientes: Equipo de Pruebas Presstest marca GALISO, desvalvuladora, secador de Cilindros, balancín y el puente grúa.

7.2.1 Características del equipo de pruebas. El equipo para realizar las pruebas Hidrostáticas es el Presstest marca GALISO(Ver figura 25), tiene la capacidad de aplicar presiones hidrostáticas hasta de 11000 psig, esta constituido por cuatro partes principalmente:

Figura 24. Esquema general del área de pruebas hidrostáticas



a. La consola de control. Esta incluye el sistema de medición de la expansión, el controlador de la bomba intensificadora de aire, un reservorio de 30 galones de aire, el sistema de filtración de agua y aire, desfogues auxiliares de agua y aire, indicadores de presión y válvulas de control. La bomba intensificadora supe agua filtrada a presión por encima a 10000 psig para uso durante la prueba.

b. Cabeza de cierre Hidráulico. Esta parte del equipo tiene por objeto acopla el cilindro bajo ensayo a las líneas de aire y de agua además como tapa para realizar el cierre hermético a la camisa de ensayo.

Figura 25. Equipo de pruebas Presstest GALISO

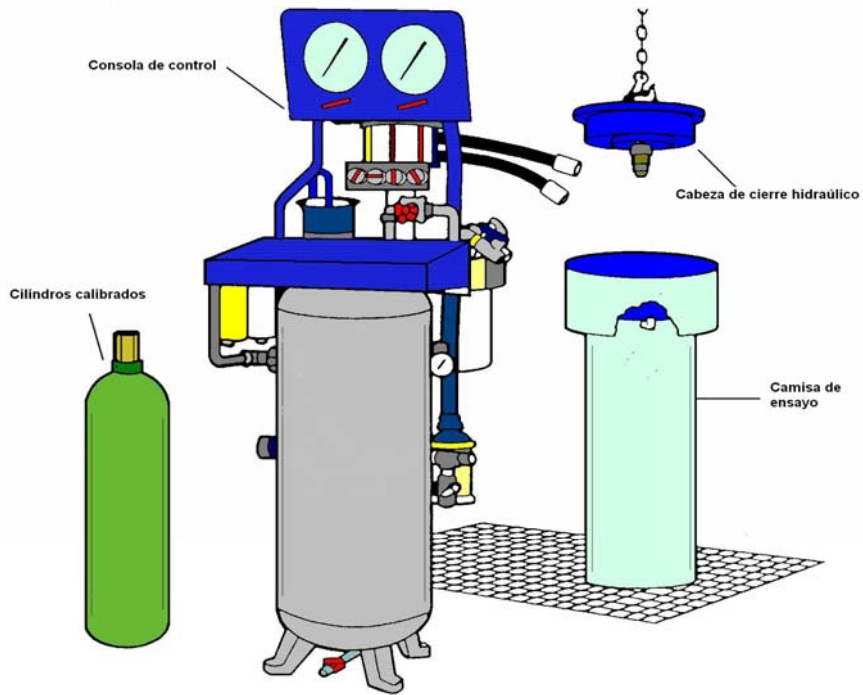
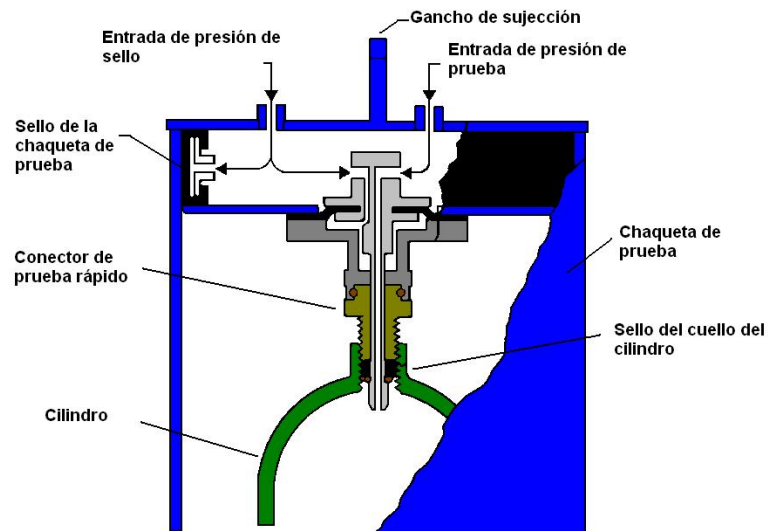
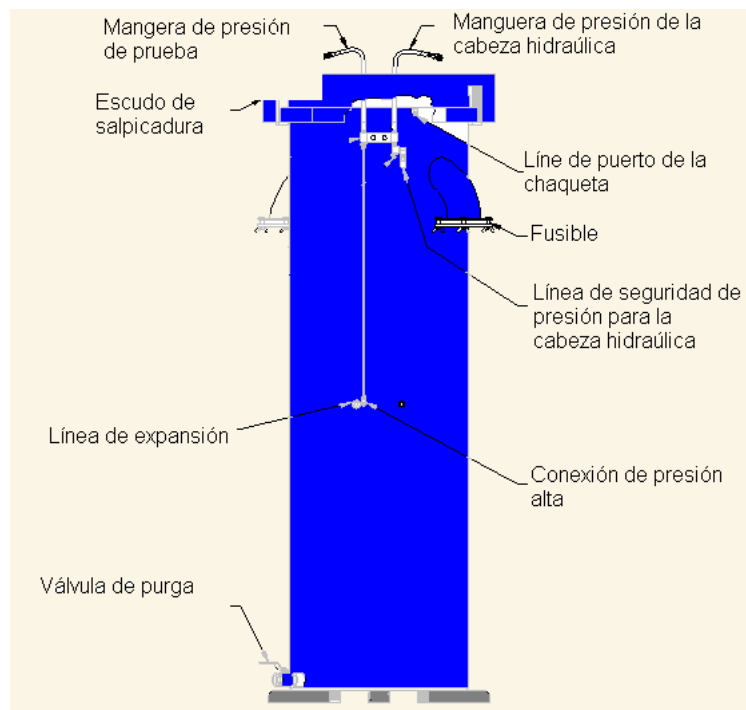


Figura 26. Cabeza de cierre hidráulico



c. Camisa de Ensayo. La camisa de ensayo es usada con la tapa de prueba para proveer un recinto para los ensayos. La camisa de prueba incluye discos fusibles de seguridad, una válvula de desagüe además de componentes de la tubería de la camisa a la balanza de control de nivel.

Figura 27. Partes de la camisa de ensayo



d. Cilindros Calibrados. Son utilizados para realizar la verificación de la exactitud del sistema de medición, tanto de los manómetros utilizados para la lectura de la presión de ensayo como la de la balanza la cual indica la expansión volumétrica. Esta verificación se hace, realizando una prueba de expansión volumétrica al cilindro calibrado, y comparando los resultados del ensayo con los que se encuentran estampados en el hombro de este.

7.3 RECIPIENTES A LOS QUE SE REALIZA INSPECCION PERIÓDICA Y ENSAYO POR MÉTODO HIDROSTÁTICO

Los ensayos hidrostáticos son aplicados a los recipientes que se utilizan para contener gas comprimido, tales como:

- ✓ Cilindros de Acero sin costura (en todas las especificaciones DOT²⁴)
- ✓ Cilindros de Aluminio sin costura (en todas las especificaciones DOT)
- ✓ Cilindros para gas natural comprimido
- ✓ Cilindros de Acero con Costura
- ✓ Extintores

7.4 NORMATIVIDAD

Los Procedimientos Técnicos de Ensayo para el área de pruebas hidrostáticas (PTPH) se crearon con base en lo descrito en las normas técnicas y en los aportes realizados por los profesionales de calibración y ensayo responsables del área de pruebas hidrostáticas.

Entre las normas que Aplican al Área están:

- Compressed Gas Association. Methods for Hydrostatic Testing of Compressed Gas Cylinders (CGA C-1), Séptima Edición, 1996.
- Compressed Gas Association. Standards for Visual Inspection of Steel Compressed Gas Cylinders. (CGA C-6), Octava Edición, 2001.
- Compressed Gas Association. Standards for Visual Inspection of High Pressure Aluminum Compressed Gas Cylinders. (CGA C-6.1), Tercera Edición, 1995.
- NTC 5171 “Métodos de pruebas hidrostáticas para cilindros de gas comprimido”
- NTC 2548 “Cilindros y Tanques Metálicos. Determinación de la Expansión Volumétrica en Recipientes Metálicos sin costura”, versión 1989-03-15

²⁴ ***Clasificación dada por el Departamento de Transporte de los Estados Unidos, dependiendo del material y de la presión de envasado***

- NTC 4828 “Métodos de Inspección de Cilindros Y sus Sistemas de Montaje empleados en vehículos que Operan con Gas Natural Comprimido”, versión 2001-10-31
- NTC 522-1 “Cilindros de Acero con Costura para Gases Licuados de Petróleo (GLP) con Capacidad desde 5 kg incluido, hasta 46 kg excluido”, versión 2003-03-19
- NTC 2699, “Inspección Periódica y Ensayo de Cilindros de Acero sin Costura”, versión 1997-10-22, 1ª actualización
- NTC 652 “ Extintores de Polvo Químico Seco”, versión 1998-08-26, 5ª Actualización, numerales 39.1.4 y 39.5.4
- NTC 2362 “Extintores de Dióxido de Carbono”, versión 1997-11-26, 2ª Actualización
- NTC 5137 “Inspección Visual de Cilindros de Acero para Gases Comprimidos”, versión 2002-12-13.
- NTC 5136 “Inspección Visual de Cilindros de Aluminio de Alta Presión para Gases Comprimidos”, versión 2002-12-13.

7.5 PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DE ENSAYO

Los Procedimientos Técnicos de Ensayo contienen las directrices que aplicadas sistemáticamente, garantizan el cumplimiento de la rutina requerida por los ensayos y la obtención de resultados dentro de las tolerancias especificadas en cada norma. Su contenido contribuye a la comprensión del desarrollo de las pruebas y al control de cada uno de los parámetros de los ensayos.

A continuación se presentan cada uno de los procedimientos (figura 28) y una breve descripción.

Figura 28. Ensayos elaborados en el área de pruebas hidrostáticas



7.5.1 Inspección de la muestra. La inspección del recipiente se realiza mediante el desarrollo de las siguientes actividades:

Preparación del Recipiente para Inspección. Antes de llevar a cabo cualquier trabajo, el contenido de gas residual en el cilindro debe ser vaciado, siguiendo un procedimiento seguro y en un área libre de fuentes de ignición, después de realizar esta operación se debe remover las tapas protectoras y la válvula del cilindro mediante el equipo adecuado.

Inspección Visual Externa. Durante este proceso se debe verificar que el cilindro no presente defectos como: daño por fuego, quemaduras causadas por soldadura, de arco o de gas, modificaciones o adiciones no autorizadas, abolladuras, cortes, incisiones, protuberancias, grietas, laminaciones, corrosión (particularmente en la base), Otros defectos y estampados no autorizados. Adicionalmente se debe revisar la rosca de Inspección de la rosca del cuello del cilindro.

En el caso que alguno de estos defectos estén presentes se debe verificar que se encuentren dentro de los tamaños permisibles de acuerdo al tipo de recipiente.

Inspección Visual Interna. El recipiente debe inspeccionarse internamente en toda su superficie interna, usando un dispositivo apropiado (por ejemplo, luz de inspección (lámpara) ó inspección con fibra óptica), para verificar la no presencia de defectos tales como abolladuras, cortes, incisiones, protuberancias, grietas y corrosión. En el caso de que estos se encuentren se verifica que estén dentro del tamaño permisible.

Finalizado el proceso de inspección del recipiente se prosigue a la aplicación de uno o varios métodos de pruebas hidrostáticas dependiendo la clase de cilindro bajo prueba.

7.5.2 Expansión Volumétrica. El método de expansión volumétrica consiste en instalar un cilindro lleno de agua en una cámara sellada (camisa de ensayo), la cual también se llena de agua y se conecta al sistema de medición de la expansión por medio de un tubo sifón. El sistema de medición se pone en cero, y el cilindro es presurizado hasta la presión de prueba especificada (según el recipiente bajo ensayo). La presión de prueba se mantiene durante un minuto.

A medida que se aplica la presión, el cilindro se expande y expulsa agua de la camisa de ensayo a través del tubo sifón. La cantidad de masa de agua expulsada es registrada por el sistema de medición²⁵. La presión de prueba es sostenida durante un minuto. Finalizado este tiempo se toma la lectura de la expansión total en centímetros cúbicos (ya que la lectura de la balanza es suministrada en gramos, y se trabaja con agua pura, se realiza la aproximación de masa (gr) a volumen (cc)).

Finalmente se libera la presión de prueba del cilindro (mientras que este recupera aproximadamente su tamaño original) y el agua que se encuentra en el sistema de medición retorna a la camisa de ensayo.

En la mayoría de las ocasiones, el cilindro no regresa a su tamaño original, habiendo sido ligeramente expandido por el proceso de presurización. A esto se le llama expansión permanente. La diferencia entre la “Expansión Total” y la “Expansión Permanente” se llama Expansión Elástica.

El porcentaje de expansión del cilindro es determinada por la siguiente fórmula:

²⁵ **Conformado por la balanza y los manómetros**

$$\% \text{ Expansión} = (\text{Expansión Permanente} / \text{Expansión Total}) \times 100 \quad \text{Ecuación 21}$$

Cuando el Porcentaje de Expansión excede los límites predeterminados para el cilindro que se prueba, el cilindro tiene que ser desaprobado y eliminado (puesto fuera de uso). Un porcentaje alto del valor de expansión es un indicio de que el metal del cilindro ha perdido su elasticidad, o que se ha adelgazado excesivamente la pared del cilindro y que el cilindro ya no es seguro para el uso.

7.5.3 Presión Hidrostática. Consiste en aplicarle una presión de prueba igual a 2 veces la(s) presión(es) de servicio del cilindro sin que este se encuentre dentro de la camisa de ensayo. El suministro de aire y de agua se hace por medio de la cabeza de cierre hidráulico (al igual que en el de expansión volumétrica). Con la presión de prueba aplicada se examina que el cilindro este libre de protuberancias, defectos y que no se presenten fugas en el cuerpo del cilindro.

Este método de ensayo se permite utilizar en ciertos recipientes especificados, usados en servicio no corrosivo.

7.5.4 Presión de Rotura. El método de presión de rotura se aplica a los cilindros de baja presión con costura, con el objetivo de verificar la calidad de construcción del recipiente y usualmente se realiza para confirmar la calidad de los productos de un lote.

Al igual que en los anteriores métodos de pruebas hidrostáticas el recipiente bajo ensayo se debe llenar completamente con agua y luego se realizan las conexiones de agua y aire por medio de la cabeza de cierre hidráulico. El agua se bombea dentro del cilindro hasta alcanzar la presión de prueba requerida, esta presión debe ser cuatro veces la presión normal de servicio del recipiente bajo ensayo. Durante la presurización del recipiente bajo ensayo, se debe verificar que no exista ningún tipo de roturas o fugas en este.

Los ensayos de expansión volumétrica, presión hidrostática y presión de rotura tienen asociada una incertidumbre que fue determinada y cuantificada empleando la metodología de la figura 18 (la cual se encuentra en detalle en el apéndice B) y documentada en el Manual de Pruebas Hidrostáticas.

7.5.5 Adecuación del Cilindro para Entrega. Después de haberle realizado al recipiente algunos de los ensayos mencionados anteriormente, pasa al área de secado. Finalizado el tiempo de secado se inspecciona visualmente por dentro el recipiente para asegurar que este seco y libre de contaminación. Seguidamente se le coloca la válvula (ver figura 27) , la cual ha sido previamente sometida a mantenimiento (se inspeccionan, reemplazan y limpian las partes constitutivas de esta) usando un material de empaquetadura apropiado y el torque óptimo para asegurar que haya sello entre la válvula y el cilindro.

La norma técnica exige la realización de una marca de forma de repujado en el hombro del cilindro, donde se especifique la fecha de realización del ensayo lo mismo que el Logo del laboratorio que realizo los ensayos- el CDT de GAS.

Figura 29. Cilindros valvulados



7.6 INTERVALOS ENTRE INSPECCIÓN Y ENSAYOS PERIÓDICOS

El intervalo entre inspección y ensayos periódicos usualmente es especificado por las autoridades nacionales e internacionales, tales como el Departamento de Transporte (DOT) con base en el reglamento DOT en CFR173²⁶ y la Comisión Canadiense de Transporte (CTC)

²⁶ **Code of Federal Regulations Tittle 49 Part 173.34**

Usualmente estos intervalos de Inspección se definen de acuerdo al gas que contiene el recipiente o a las especificaciones de fabricación. En las tablas 22 y 23 se suministra el tiempo de inspección exigido en la regulación Colombiana.

Actualmente las entidades que verifican el cumplimiento de los intervalos de Inspección y Ensayo son las propias envasadoras (AGAFANO, CRYOGAS, OXIGENOS DE COLOMBIA, etc) siguiendo las regulaciones internacionales. El Ministerio de Transporte esta realizando el proceso de implementación de esta regulación de acuerdo a las necesidades que se presentan en nuestro país, de tal forma que se asegura la integridad de los usuarios que utilizan este tipo de recipientes.

Tabla 22. Periodicidad de inspecciones y ensayos de acuerdo al tipo de gas

Contenidos del Cilindro		Periodicidad inspección y ensayo hidráulico(años)
Gases Permanentes	Oxígeno, argón, nitrógeno, helio, xenón, kriptón, neón, y mezcla de estos gases.	10
	Hidrogeno y aire comprimido	5
	Monóxido de carbono, metano y gas natural	3
	Flúor	
Gases licuables a baja presión. No corrosivos	Cloropentafluoretano, clorotrifluoroetileno, butano, dimetil éter, propano, ciclopropano, propileno, diclorotetrafluoretano, octofluorociclobutano.	10
	Amoniáco, butadieno, óxido de etileno, monometilamina, trimetilamina, difluoretano, hexafluoretano, monobrometano, monoclorometano, monocloroetano, monocloroetileno, monofluoroetileno, trifluoroetano.	5

Contenidos del Cilindro		Periodicidad inspección y ensayo hidráulico(años)
Gases licuables a baja presión. Corrosivo	Tricloruro de boro, cloruro de carbonilo, cloro, trifloruro de cloro, dióxido de nitrógeno, cloruro de nitrocilo, dióxido de azufre.	2
Gases licuables a alta presión. No corrosivo	Etileno, clorotrifluoroetano, clorodifluorometano clorodifluoroetano, diclorodifluorometano, difluoroetileno, difluoroetileno, diclorofluorometano.	10
	Hexafluoruro de azufre, trifluoruro metano, etano	5
Gases corrosivos licuables a alta presión	Dióxido de carbono, monóxido de nitrógeno	5
	Cloruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno	2

Tabla 23. Periodicidad de inspecciones y ensayos de acuerdo con las especificaciones de fabricación

Especificaciones bajo las cuales fueron fabricados los cilindros	Mínima presión de prueba	Intervalo en años para reensayo
DOT-3	3000 psi	5
DOT-3A, 3AA	5/3 la presión de servicio	5 ó 10
DOT-3AL	5/3 la presión de servicio	5
DOT-3AX, 3AAX	5/3 la presión de servicio	5
3B, 3BN	2 veces la presión de servicio	5 ó 10
3E	no requiere post-prueba	
3HT	5/3 la presión de servicio	3
3T	5/3 la presión de servicio	5

8 ÁREA DE ENSAYOS PARA GASODOMÉSTICOS

8.1 INTRODUCCIÓN

La puesta en marcha de las políticas nacionales sobre el *Plan de Masificación del Gas Natural*, el desarrollo de las empresas dedicadas a la distribución y comercialización de hidrocarburos, el fortalecimiento de las industrias dedicadas a la fabricación y ensamblaje de artefactos gasodomésticos sumados al incremento de las importaciones de equipos para tal fin; crearon el ambiente propicio para que el gobierno nacional exigiera a las compañías productoras de estos artefactos el cumplimiento del Reglamento Técnico de emergencia RTC-001MCIT²⁷, el cual tiene por objeto brindar la información de los ensayos y verificaciones que deben ser realizados con obligatoriedad para brindar la seguridad al usuario y protección al medio ambiente respecto a:

- ✓ Los lineamientos para prevenir los riesgos y proteger la vida, la salud y eliminar prácticas que puedan inducir a error a los consumidores, debido a la alta explosividad y extremada inflamabilidad de los gases combustibles con que funcionan los gasodomésticos y las altas posibilidades de muerte por asfixia debida a la inhalación de Monóxido de Carbono (CO gas resultante de una combustión incompleta).
- ✓ Protección al medio ambiente reduciendo la contaminación provocada por la liberación de gases no quemados y las emisiones de monóxido de carbono.
- ✓ Reducción al máximo la mala combustión, las fugas de gas, el sobrecalentamiento, la inestabilidad mecánica, la inseguridad eléctrica en los Gasodomésticos, que han tenido como efecto fuego y explosiones, con las correspondientes perdidas de vidas humanas.
- ✓ Garantizar que la información suministrada a los consumidores a través del rotulado en los gasodomésticos sea clara, concisa, veraz, verificable y que esta no induzca a errores al consumidor.

²⁷ **Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Resolución número 0941, 15 de Mayo de 2003**

El laboratorio consciente de esta necesidad en la industria nacional, creó la infraestructura necesaria para realizar los ensayos de las características de construcción y de funcionamiento. El siguiente paso fue la elaboración de los Procedimientos Técnicos de Ensayo, (el cual fue cubierto durante la realización de este proyecto). Los procedimientos se encuentran consignados en el Manual de procedimientos técnicos de ensayo para gasodomésticos. Este manual consta de dos tipos de procedimiento (Ver figura 30):

- Procedimientos técnicos de ensayo para cocinas - PTECOC
- Procedimientos técnicos de ensayo para calentadores - PTECAL

A continuación se describen los procedimientos que se documentaron para realizar la verificación de las características de funcionamiento y seguridad de estos artefactos.

Figura 30. Esquema general del alcance del manual de procedimientos técnicos de ensayo



8.3 ARTEFACTOS A LOS QUE SE REALIZA VERIFICACIÓN Y ENSAYOS

- Mesa de trabajo autosoportable.
- Mesa de trabajo empotrable.
- Mesa de trabajo y gratinador.
- Cocinas de sobremesa.
- Hornos autosoportables.
- Hornos empotrables.
- Gratinadores autosoportables.
- Gratinadores empotrables.
- Planchas asadoras.
- Cocinas autosoportables.
- Cocinas empotrables.

8.4 NORMATIVIDAD

Los Procedimientos Técnicos de Ensayo para el área de Gasodomésticos (PTEGA) se crearon con base en lo descrito en las normas técnicas y en los aportes realizados por los profesionales de calibración y ensayo responsables del área de pruebas hidrostáticas. Entre las normas que Aplican al Área están:

- BS EN-30-1-1 Domestic Cooking Appliances Burning Gas Fuel.
- UNE-EN 89 Aparatos de Producción de Agua Caliente por Acumulación Para Usos Sanitarios Que Utilizan Combustible Gaseosos.
- BS 5386 Parte 1. Gas Burning Appliances For Instantaneous Production Of Hot Water For Domestic.
- NTC 5042, Gasodomésticos. Calentadores tipo acumulador que emplean gas para la producción de agua caliente. Características constructivas, funcionales y de seguridad. 2002-04-30.

- NTC 3531, Artefactos domésticos que emplean gases combustibles para la producción instantánea de agua caliente para usos a nivel doméstico. Calentadores de paso continuo, primera actualización, 1998-06-24.
- NTC 3527, Definiciones reglas comunes aplicables al ensayo de artefactos para uso doméstico y comercial que emplean gases combustibles, primera actualización, 1997-05-28.

8.5 PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DE ENSAYO

8.5.1 Artefactos para la Cocción de Alimentos. Las generalidades respecto a los artefactos para cocción de alimentos y los conceptos técnicos necesarios para la comprensión de los ensayos se presentan en el Apéndice D.

Los artefactos de cocción de alimentos son aparatos diseñados para integrarse al ambiente de la cocina; por tal motivo deben ser resistentes a los impactos moderados, a la corrosión y por su puesto al uso continuo. Entre este tipo de artefactos están: las cocinas, hornos y gratinadores.

Dentro de los procedimientos diseñados para estos artefactos se decidió realizar la siguiente clasificación: procedimientos de verificación y procedimientos de ensayo.

a. Procedimientos de verificación

Aquellos en donde se inspecciona el cumplimiento de los requisitos estructurales y de forma del artefacto. Los formatos de estos procedimientos son listas de chequeo que no requieren de la toma de datos exhaustiva, ni de un análisis de los resultados profundos.

b. Procedimientos de ensayo

Se refieren a procedimientos que me permiten dar un criterio técnico en cuanto a la seguridad de uso de esos artefactos, ya que revisa su funcionamiento. Los formatos diseñados para estos procedimientos recopilan datos que permiten dar concepto técnico cuantitativo y cualitativo del estado del artefacto.

En la tabla 24 se puede apreciar los procedimientos pertenecientes a cada grupo.

Tabla 24. Clasificación de los procedimientos.

Tipo De Procedimiento	Nombre Del Procedimiento	Nº Procedimiento ²⁸
Verificación	Verificación de requisitos de construcción generales	PTECOC-001
	Verificación de requisitos de construcción especiales	PTECOC-002
	Rotulado	PTECOC-003
Ensayo	Hermeticidad	PTECOC-004
	Resistencia	PTECOC-005
	Acumulación de gas no quemado en el artefacto	PTECOC-006
	Obtención de las tasas de consumo	PTECOC-007
	Seguridad de funcionamiento	PTECOC-008
	Calentamiento	PTECOC-009
	Entrada total de combustible al artefacto	PTECOC-010
	Funcionamiento del regulador	PTECOC-011
	Combustión para mesas de trabajo	PTECOC-012
	Ignición, encendido cruzado y estabilidad de llama para mesas de trabajo y hornos y gratinadores	PTECOC-013
	Combustión par mesas de trabajo y hornos y gratinadores	PTECOC-014

²⁸ Código interno asignado al procedimiento según la nomenclatura establecida en el manual de procedimientos técnicos de ensayo para cocinas.

c. Descripción de los procedimientos

Verificación de requisitos de construcción generales y especiales. El objetivo de esta verificación es revisar los requisitos de construcción generales y especiales que se exigen en la norma, a través de una inspección visual de las partes constitutivas²⁹ del artefacto.

Rotulado. Se verifica de forma visual que el artefacto se encuentre identificado con una serie de datos, de forma segura y legible según lo exige la norma.

Hermeticidad. El objetivo es verificar la ausencia de fugas en el circuito de gas, mediante la realización de los siguientes ensayos:

- Con todas las válvulas y dispositivos de cierre cerrados
- Con todas las válvulas abiertas, los inyectores de los quemadores y los pilotos temporalmente cerrados.

Resistencia. Debido a que estos artefactos van a estar sometidos a cargas y esfuerzos de diversos tipos y naturalezas durante su funcionamiento normal, se requiere realizar un ensayo sometiendo el artefacto a condiciones extremas de carga, para verificar que su diseño estructural y la integridad de este permanece invariable. Durante este ensayo se somete a esfuerzos a:

- El cuerpo de la cocina (Ver figura 30)
- los soportes para recipientes en las mesas de trabajo
- la puerta del horno y/o gratinador (Ver figura 31)
- parrillas

²⁹ ***Válvulas, perillas de control, inyectores y ajustadores, sistema de ignición, regulador, parrillas, quemadores de la mesa de trabajo, quemadores y planchas cubiertas.***

Figura 31. Ensayo de resistencia del cuerpo de la cocina

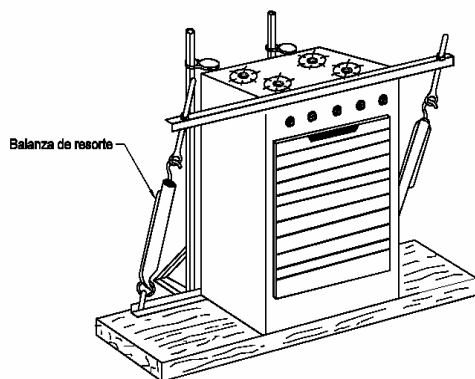
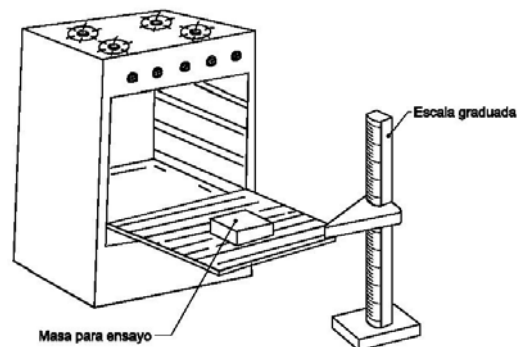


Figura 32. Ensayo de resistencia de la puerta del horno y/o gratinador



Acumulación de gas no quemado en el artefacto. Consiste en verificar en primera medida que el artefacto este diseñado de tal forma que no permita acumulación de gas no quemado, en caso de que sea así se realiza un ensayo , con el artefacto alimentado con el gas de referencia con el fin de verificar dicha acumulación de gas.

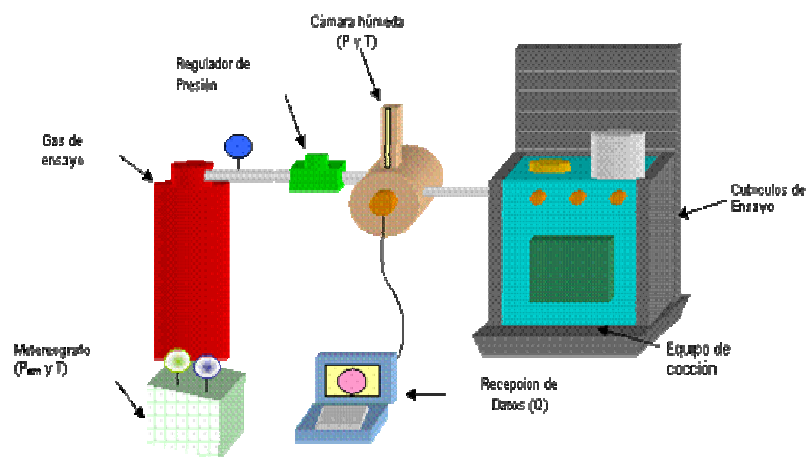
Obtención de las Tasas de Consumo. El objetivo de este ensayo es contrastar los consumos caloríficos nominal y reducido calculados en el laboratorio con los declarados o suministrados por el fabricante.

Para establecer las tasas de consumo se debe determinar el caudal de consumo de gas consumido por el quemador bajo las condiciones de consumo nominal y reducido. Este caudal es determinado mediante el montaje de la figura 32.

Las ecuaciones matemáticas empleadas para el cálculo del consumo calorífico se pueden ver en el Apéndice D.

Seguridad de Funcionamiento. El fin del ensayo es simular una condición extrema en el artefacto aplicando el gas de referencia que suministre mayor consumo calorífico, con el fin de verificar que en el inyector o dentro del quemador exista ignición y que después de un tiempo no haya deterioro que pueda poner en riesgo la seguridad de funcionamiento del artefacto.

Figura 33. Esquema el montaje para el cálculo de la tasa de consumo



Calentamiento. El ensayo simula condiciones extremas de uso en el artefacto con el fin de verificar que los paneles laterales y frontales no alcancen una temperatura superior a la recomendada en la norma.

Entrada Total de Combustible al Artefacto. El objetivo de este ensayo es el comparar la suma de las tasas individuales de cada quemador con el consumo de la tasa total manteniendo todos los quemadores funcionando. El artefacto debe estar ajustado para funcionar con un gas de referencia y a la presión normal de ensayo.

Funcionamiento del Regulador. Cuando se instala un artefacto empleando regulación en tres etapas³⁰, se debe determinar la tasa de consumo nominal a presión normal de ensayo. Modificando la presión de ensayo se debe verificar que este no varíe en más del 7.5% del determinado bajo las condiciones iniciales.

Ignición, Encendido Cruzado y Estabilidad de la Llama para Mesas de Trabajo, Hornos y Gratinadores. El objetivo de este ensayo es verificar en diferentes condiciones

³⁰ Es decir, el artefacto posee regulador en la conexión de entrada

(artefacto en frío y en caliente) la correcta ignición, encendido cruzado del quemador y la estabilidad de la llama utilizando todos los gases de referencia según la categoría del artefacto, tanto a la tasa nominal como a la reducida. Este ensayo se realiza para los quemadores de manera individual.

Combustión. El ensayo de combustión busca verificar el buen funcionamiento de los quemadores. Es aplicable tanto a los quemadores de la mesa de trabajo como a los de los hornos y gratinadores. Durante el ensayo se busca obtener la concentración de monóxido de Carbono (CO) , el cual es el de mayor relevancia por su alto grado de peligrosidad.

La información técnica para realizar este ensayo se encuentra en el Apéndice 4.

7.4.2 Gasodomésticos para el calentamiento de agua de uso doméstico. Las generalidades acerca de los calentadores, categorías, tipos se describen en el Apéndice D.

Los calentadores de agua se dividen en dos clases, dependiendo de la forma como este caliente el agua a saber según lo descrito en el Apéndice D:

- Calentadores tipo Acumulador
- Calentadores de Paso continuo

Al igual que en los Procedimientos Técnicos realizados para verificar la calidad de los artefactos para la cocción de alimentos, los procedimientos diseñados para verificar los calentadores de agua de uso domestico se clasifican en procedimientos de verificación y procedimientos de ensayo. También se hace una clasificación de los procedimientos de acuerdo al tipo de artefacto al que aplique (Calentadores de paso continuo y Calentadores tipo acumuladores).

En la Tabla 25 se realiza la clasificación de los Procedimiento Técnicos, destinados a realizar la evaluación de estos artefactos.

Tabla 25. Clasificación de los procedimientos.

Tipo De Procedimiento	Artefacto al que Aplica	Nombre Del Procedimiento	Nº Procedimiento
Verificación	Calentadores de paso continuo y	Verificación de requisitos de construcción generales	PTECAL-001
	Calentadores Tipo Acumulador	Dispositivos de Reglaje, de Control y de Seguridad	PTECAL-002
Ensayo	Calentadores de paso continuo y Calentadores Tipo Acumulador	Hermeticidad	PTECAL-003
		Obtención de las Tasas de Consumo	PTECAL-004
		Seguridad de Operación	PTECAL-005
		Calentamiento	PTECAL-006
		Encendido, Interencendido y Estabilidad de las llamas	PTECAL-007
		Combustión	PTECAL-008
		Eficiencia el Artefacto	PTECAL-009
		Tiempo de Calentamiento	PTECAL-010
		Desempeño del Equipo Auxiliar	PTECAL-011
	Calentadores Tipo Acumulador	Extracciones Repetitivas de Agua y Capacidad Nominal	PTECAL-012
		Anticondensaciones de la Chimenea	PTECAL-013
		Dispositivos de Control de Aire	PTECAL-014
		Consumo de Mantenimiento	PTECAL-015
	Calentadores de paso continuo	Aptitud del artefacto para ser empleado con gases diferentes al gas de referencia.	PTECAL-016
		Desempeño Prolongado	PTECAL-017

a. Descripción de los Procedimientos

A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los procedimientos aplicados a los calentadores.

Verificación de Requisitos de Construcción Generales. El objetivo es verificar la calidad del artefacto en cuanto a los materiales de construcción, diseño del artefacto, ensamble, facilidad de mantenimiento, hermeticidad y rotulado, con el fin de contrastar la información obtenida durante este procedimiento con la suministrada por el fabricante.

Dispositivos de Reglaje, de Control y de Seguridad. Con este procedimiento se busca constatar que los componentes de ajuste, de control y de seguridad que el fabricante declara existentes en el artefacto existen y que cumplan la función para la cual fueron asignados.

Hermeticidad. El objetivo del ensayo es verificar la ausencia de fugas en los siguientes circuitos:

- **Circuito de Gas:** Se realiza por medio del equipo ATEQ (Ver figura 34), suministrando a la línea de entrada una presión determinada, de acuerdo al tipo de artefacto bajo ensayo, y bajo diferentes condiciones de cierre de los dispositivos obturadores³¹.

Figura 34. ATEQ



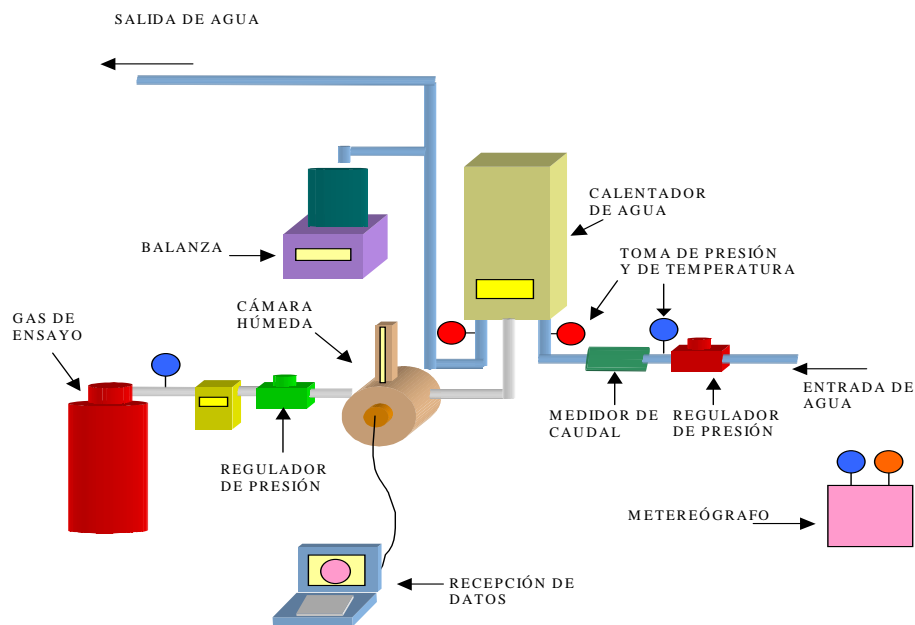
³¹ *Elemento que restringe el flujo de gas, agua, etc.*

- **Circuito de Combustión y Extracción de Productos de Productos de Combustión:** Este ensayo solo es aplicable a los artefactos tipo B y tipo C. En este circuito se verifica la ausencia de escapes de los productos de la combustión en la intersección de los conductos para la evacuación de los productos de la combustión y en el cuerpo del artefacto, bajo condiciones de funcionamiento normal.

- **Circuito de Agua:** Se suministra a la línea de entrada de agua una presión de prueba de acuerdo a la capacidad del calentador, después de mantener presurizada la línea de agua, se verifica la no existencia de fugas (por medio de una bomba hidráulica), ni deformaciones visibles permanentes después del ensayo.

Obtención de las Tasas de Consumo. El ensayo consiste en determinar las tasas de consumo calorífico, y comparar este valor con el suministrado por el fabricante, para realizar este ensayo se debe realizar el montaje indicado en la figura 35.

Figura 35. Montaje para el Ensayo de Consumo Calorífico



Con el valor de caudal suministrado por la cámara húmeda y el poder calorífico del gas de referencia se determina el consumo calorífico. La ecuación empleada para dicho cálculo se presenta en el Apéndice D.

Seguridad de Funcionamiento. Bajo condiciones extremas de funcionamiento, se verifica que no exista un sobrecalentamiento en las superficies cercanas en donde se encuentran alojados los mandos de funcionamiento; que la temperatura de los dispositivos de ajuste, de regulación y de seguridad no sobrepase la temperatura recomendada por el fabricante y que en las diferentes partes del quemador no se presente alteración alguna que ponga en riesgo la seguridad del usuario.

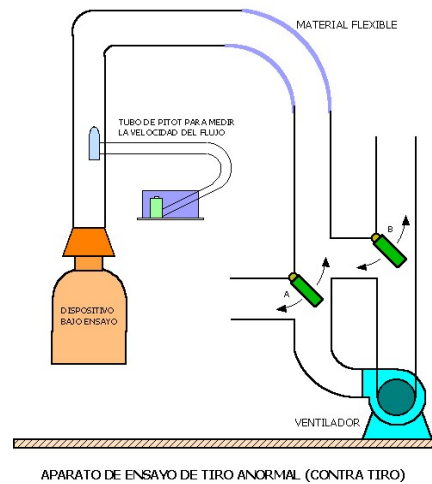
Calentamiento. El ensayo se realiza bajo condiciones normales de funcionamiento del artefacto. Consiste en verificar por medio de captadores térmicos que la temperatura de la camisa, del extremo posteriormente del artefacto y de la pared donde se instale no sobrepase la temperatura ambiente recomendada por el fabricante.

Encendido, Interencendido y Estabilidad de Llama. El objetivo de este ensayo es verificar en diferentes condiciones (artefacto en frío y en caliente) y con una presión de prueba del 70% de la presión normal, el correcto encendido, Interencendido y estabilidad de llama utilizando gases de referencia, gas límite de retroceso de llama, gas límite de desprendimiento de llama según la categoría del artefacto.

Para los artefactos del Tipo B1, se debe realizar el montaje indicado en la figura 36, y se realizan las verificaciones según las condiciones anteriores. Para los demás tipos de artefactos se instala en el banco de ensayos.

Combustión. El objetivo de este ensayo es verificar la calidad de la combustión generada en el quemador del artefacto. Por medio del un analizador de gases (Land Combustion, figura 37) se toma una muestra de los productos de la combustión. De esta manera se obtiene la concentración del monóxido de carbono (CO) y se verifica que este porcentaje sea inferior al 0.1% o 0.2% cuando el artefacto se alimenta con el gas de referencia o el gas límite de combustión incompleta respectivamente.

Figura 36. Banco de Ensayo de Tiro Anormal



Fuente: NTC 3531

Figura 37. Equipo Land combustion



Eficiencia. El ensayo de eficiencia se realiza con el fin de verificar el buen funcionamiento del artefacto y el aprovechamiento de la energía en el proceso de calentamiento. Se aplica la cantidad de combustible necesario para que en condiciones normales de funcionamiento, el artefacto caliente el agua a una temperatura normal de uso. La ecuación para determinar la eficiencia se encuentra en el Apéndice D:

Tiempo de Calentamiento. Se realiza para verificar la calidad de funcionamiento del artefacto. El ensayo consiste en calcular el tiempo necesario para que la temperatura del agua que contiene el artefacto o la que pasa a través de él, se incremente en 50°C. Este debe ser contrastado con el que emite el fabricante del artefacto.

Desempeño del Equipo Auxiliar. Este ensayo aplica solamente a calentadores tipo acumulador. Consiste en simular las condiciones de posible falla a las que el artefacto puede estar sometido y verificar bajo estas condiciones extremas la respuesta de los dispositivos de seguridad y de funcionamiento del artefacto. Los dispositivos a los cuales se le realiza este ensayo son los siguientes:

- Elemento detector de fallas de encendido
- Elemento de Ignición
- Reguladores
- Sobrecalentamiento del Agua
- Válvula Automática

Extracciones Repetitivas de Agua y capacidad nominal. El ensayo sólo es aplicable a calentadores tipo acumuladores. El fin del ensayo es constatar que bajo condiciones de uso y con el termostato en su posición máxima, el agua caliente suministrada por el artefacto nunca supere los 95 °C, así se le estén realizando extracciones de agua a este. Adicionalmente se realiza un ensayo de capacidad volumétrica con el cual se verifica el dato reportado por el fabricante en las instrucciones técnicas y/o el rotulado de la placa del artefacto. A partir de este dato se da un margen de desviación de $\pm 5\%$ (que corresponden a errores en el método aplicado o por la imprecisión en la toma de los datos requeridos para determinar este valor) y se toman decisiones acerca del artefacto.

Anticondensación en la Chimenea. Con el artefacto alimentado con un gas de referencia y funcionando bajo condiciones normales de uso, se verifica que no existan condensaciones en la chimenea de evacuación de los productos de combustión. Para realizar esta verificación se realizan tres (3) pruebas, que son las siguientes:

- **Superación de la Temperatura de Rocío:** Con el artefacto funcionando ajustado para que suministre el consumo calorífico nominal, se toma la temperatura de los gases de escape y se debe realizar la verificación de que la temperatura sea mayor mínimo en 20 °C.
- **Determinación de las pérdidas de la Chimenea:** Se debe realizar el cálculo de la pérdida de los productos de la combustión y verificar que esta sea superior o igual al 8% del consumo calorífico, de esta forma se garantiza la no condensación de los productos. Las pérdidas se determinan mediante la relación matemática que se describe en el Apéndice D.
- **Temperatura Mínima de los Productos de la Combustión:** Con este ensayo se verifica que la temperatura de los gases en el extremo superior de la chimenea sea superior a 80 °C.

Con el cumplimiento de los requisitos exigidos en estas pruebas se asegura de la no existencia de condensados en la chimenea, los cuales generan una degradación del artefacto, y por tanto ocasionan un mal funcionamiento de este.

Dispositivo de Control de Aire. Consiste en verificar la capacidad del sistema para suspender el flujo de gas en caso de existir un aumento en el contenido de monóxido de carbono en los gases de escape. Con este ensayo se pretende dar cumplimiento a los requisitos de seguridad que deben cumplir el artefacto para salvaguardar la integridad del usuario.

Consumo de Mantenimiento. Este ensayo se realiza para obtener el consumo calorífico necesario para mantener una diferencia (determinada) entre la temperatura del agua y la temperatura ambiente. El consumo se determina calculando (la ecuación para la realización del cálculo se aprecia en el Apéndice D) la cantidad de gas quemado durante un tiempo determinado, y realizando una serie de correcciones de acuerdo a las temperaturas medias de agua medidas.

Aptitud del artefacto para ser empleado con gases diferentes al gas de referencia. El objetivo de este ensayo es verificar el comportamiento del artefacto cuando se le suministra otra clase de gases diferentes al de referencia. Durante la realización del ensayo se suministra al artefacto los gases límite de llama, generador de hollín, levantamiento de llama, de retroignición y el de combustión incompleta con el propósito de verificar que la ignición, el interencendido, la estabilidad de las llamas y la apariencia de las llamas sean los correctos.

Desempeño Prolongado. El objetivo de este ensayo es verificar la calidad del artefacto al estar sometido a condiciones de envejecimiento. Induciendo una serie de igniciones y extinciones mediante el accionamiento de la válvula automática, al artefacto se le aplican una serie de 1500 ciclos, los cuales se prolongan por un tiempo de 200 horas. Después de efectuar este ensayo se debe verificar que se cumplan las siguientes condiciones:

- El contenido de monóxido de carbono (CO) permanezca por debajo del 0.1%, cuando al artefacto se le suministra el gas de referencia.
- La eficiencia del artefacto no haya variado en mas del 5% (para el poder calorífico neto).
- La tasa de flujo en el quemador no haya variado en mas de un 5%, con los ajustadores de flujo en sus posiciones o graduaciones originales.
- El accionamiento del sistema por la operación del grifo de salida de agua continúe siendo ágil y efectivo.
- El cumplimiento de la hermeticidad en los diferentes circuitos.

Con la realización de los ensayos mencionados anteriormente se pretende dar cumplimiento a lo exigido por la normatividad internacional y nacional mediante la prestación de servicios confiables en el CDT de GAS.

9 SISTEMA DE INDICADORES DEL CDT DE GAS

El instructivo de indicadores fue uno de los documentos que se realizó después del desarrollo del Manual de Calidad y de los demás manuales; ya que se encontró la necesidad de tener una herramienta de seguimiento y control que permitiera valorar el cumplimiento tanto de los objetivos como de las políticas de calidad establecidas para el nuevo sistema de gestión de la calidad.

La creación de indicadores fue una de las últimas etapas con el fin de contribuir al problema que enfrentan las organizaciones en general cuando pretenden definir y construir indicadores de monitoreo y control de las acciones estratégicas emprendidas en miras a alcanzar sus objetivos.

Los indicadores son ante todo información, utilizada por los mecanismos de control para monitorear y ajustar las acciones que un determinado sistema, subsistema, o proceso, emprenden para alcanzar el cumplimiento de sus objetivos y metas.

Los indicadores de gestión se entienden como la expresión cuantitativa del comportamiento o el desempeño de toda una organización o una de sus partes, cuya magnitud al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se tomarán acciones correctivas o preventivas según el caso.³²

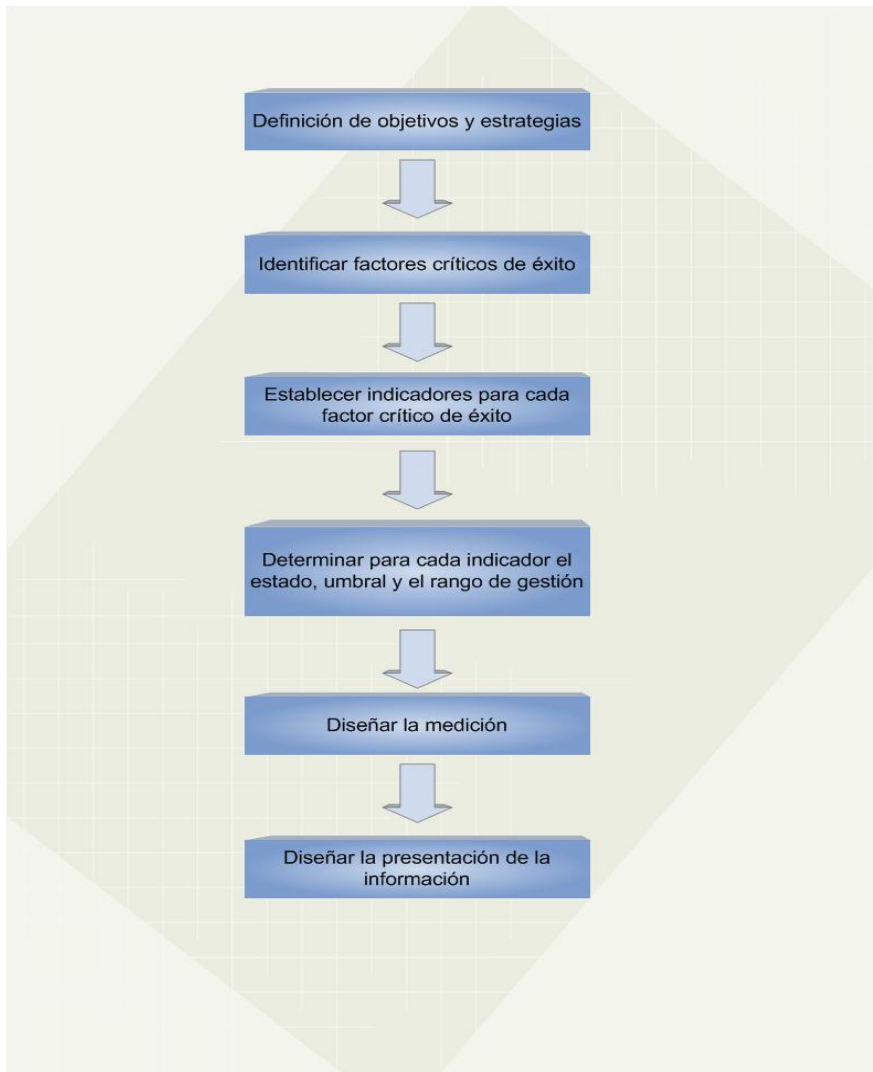
En el CDT de GAS, se inicia la creación de un sistema de indicadores en el año 2001, sin embargo, estos no fueron evaluados periódicamente ya que no se encontraba definida la estructura necesaria para implementar un eficiente sistema de indicadores.

Los indicadores existentes se enfocan en cuatro aspectos básicamente: la administración del laboratorio, el servicio al cliente, la gestión operativa y la seguridad industrial.

³² **Beltrán Jaramillo, Jesús Mauricio. Indicadores de gestión. Bogotá: Caragraphics S.A, 1999.**

Con el fin de dar vigencia al sistema de indicadores se reevaluó lo existente empleando la metodología³³ de la figura 38 y se crearon otros indicadores necesarios para el CDT de GAS.

Figura 38. Esquema para el desarrollo de un sistema de indicadores



³³ *Paper Construcción de indicadores de gestión bajo el enfoque de sistemas, José Hernando Bahamón, Universidad ICESI, 2001.*

9.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS INDICADORES DE GESTIÓN

Los indicadores se establecieron a partir de los objetivos de calidad y las políticas de Calidad. Adicionalmente se tuvo en cuenta recomendaciones de la alta dirección del CDT de GAS en cuanto a aquellas necesidades de información y las necesidades de las áreas involucradas en cuanto a productividad, costos, rentabilidad; los cuales se clasifican dependiendo de la naturaleza de los datos y la necesidad de evaluación.

Aplicando en detalle la metodología de la figura 35, se realizaron los indicadores los cuales se encuentran consignados la ficha técnica del indicador, Manual de Instructivos, I-005.

9.1.1 Descripción de la metodología empleada. A continuación se describe brevemente cada una de las etapas del proceso de establecimiento del sistema de indicadores.

a. Definición de objetivos y estrategias.

Para la formulación y construcción de los mecanismos de control, se deben establecer objetivos de acuerdo con las políticas del CDT de GAS claros, precisos, cuantificables. Es por esto que se trabajó con base en los objetivos de Calidad principalmente y en los identificados y sugeridos por el director del laboratorio.

b. Identificar factores críticos de éxito (FCE).

El segundo paso es la identificación de los FCE. Un factor clave de éxito es un número limitado de áreas en las cuales, los resultados (sin son satisfactorios), aseguran un desempeño competitivo exitoso para la organización. Es estas áreas las actividades del proceso productivo deben ir bien para que el Laboratorio del CDT de GAS triunfe o en caso contrario, el desempeño no satisfará las expectativas. Por lo anterior, son áreas que requieren cuidadosa y constante atención de la dirección del laboratorio.

Para facilitar la identificación de dichos factores se divide el análisis en dos etapas. La primera se refiere al análisis de condiciones necesarias para que se cumpla el propósito y la segunda, consiste en la definición de las actividades primarias o procesos que se requiere (con una justificación de su razón de ser) realizar.

c. Establecer indicadores para cada factor crítico de éxito.

Cuando se ha cumplido la etapa de identificación de los factores claves de éxito, el CC debe establecer para cada uno de ellos los indicadores que servirán como mecanismo de monitoreo y control. Para realizar la definición de cada uno de los indicadores se debe definir y partir del tipo de control que se desea realizar sobre el factor clave de éxito, de esta manera se establece la naturaleza del indicador a construir. La naturaleza de los indicadores empleados para el CDT de GAS se clasifican de acuerdo a su objetivo así:

- **Indicadores de utilización o uso de un recurso:** son los índices que se utilizan para determinar la cantidad de operaciones o actividades realizadas por la áreas; las variables de utilización también son conocidas en términos generales como índices de análisis de rotación, donde se busca evaluar el aprovechamiento de la utilización de los recursos de que dispone el CDT de GAS.
- **Indicadores de calidad:** este tipo de indicador da cuenta de las cualidades y características del servicio. La noción está mas enfocada a evaluar el servicio y conocer en que medida se adecua o satisface la demanda del usuario; por ello es fundamental valorarla asociándola con el producto o servicio, o con la naturaleza del proceso, o con la satisfacción del cliente.
- **Indicadores productivos:** son los indicadores definidos como el número de actividades realizadas por unidad de recurso existente en un período dado, por ello van asociados a la capacidad transformadora de la institución.
- **Indicadores de eficiencia:** es la relación de los servicios o productos realizados con los costos invertidos en su producción. En general las variables estarán relacionadas con el uso de los recursos por parte del proceso.
- **Indicadores de eficacia:** las variables de este tipo de indicadores están relacionadas con el cumplimiento de los resultados esperados por parte de dicho proceso.

- **Indicadores de análisis de variables financieras:** este tipo de indicador es útil para el análisis financiero con base en razones y en series históricas, estableciendo la solvencia, liquidez, solidez y el potencial de crecimiento de la institución.
- **Indicadores de efectividad:** son el resultado de la combinación de la eficiencia y la eficacia; en otras palabras hacer las cosas como se deben hacer, a unos costos razonables.

d. Determinar, para cada indicador el estado, el umbral y el rango de gestión.

Los indicadores serán mecanismos útiles de control si pueden ser comparados con valores de referencia establecidos previamente. Estos valores de referencia se definen a partir de los objetivos y las condiciones del sistema que se desea monitorear y controlar. Los valores típicos de referencia son:

- Estado: valor inicial o actual de un indicador.
- Umbral: es el valor del indicador que se quiere lograr o mantener.
- Rango de gestión: es el aspecto comprendido entre los valores mínimo y máximo aceptables, que el indicador puede tomar.

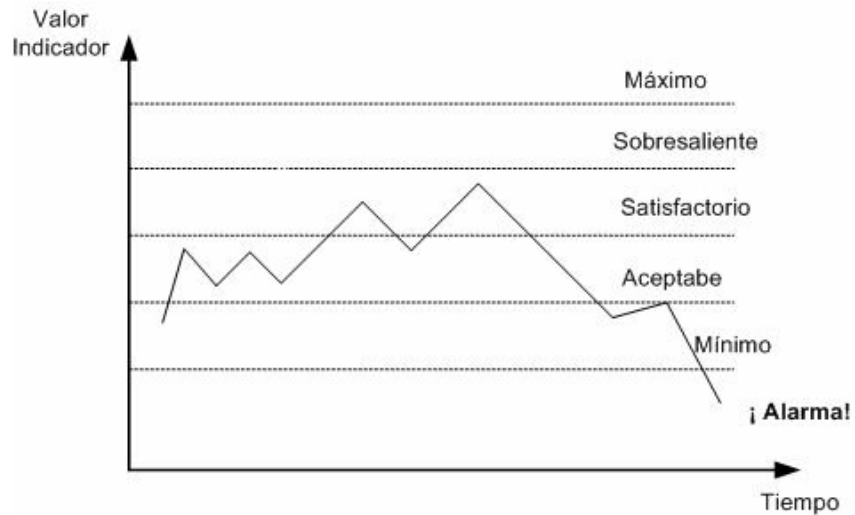
e. Diseñar la medición.

Finalmente, para el cálculo de cada indicador es necesario determinar las fuentes de información, la frecuencia de la medición de las distintas variables, la forma de tabulación y el análisis.

f. Diseñar la presentación de la información.

Para facilitar la comprensión de los valores medidos para un indicador se recomienda la utilización de la siguiente gráfica como medio de presentación:

Figura 39. Despliegue de un indicador



Además se recomienda presentar el comportamiento del indicador en la misma forma en que se cuantificó la meta, es decir, si la meta está dada en porcentaje presentar el comportamiento en porcentaje, si fue dada en pesos presentar el indicador en pesos.

El desarrollo de la metodología se presenta en el Manual de instructivos, I-005 mediante el desarrollo de un ejemplo práctico y de la presentación de los indicadores realizados para el CDT de GAS.

CONCLUSIONES

- ✓ El proyecto fue realizado fusionando dos áreas de la ingeniería, el ingeniero industrial actuó como el enlace entre los elementos productivos y las funciones administrativas y técnicas, a través de la planeación y el rediseño del sistema de gestión de la calidad, y el Ingeniero mecánico suministró los conceptos técnicos necesarios en las áreas de calibración con campana gasométrica, y ensayos en las áreas de pruebas hidrostáticas y gasodomésticos, para la elaboración de los procedimientos y otros documentos con la perspectiva de los procesos que se llevan a cabo en el CDT de GAS. De esta forma se complementaron dos áreas del conocimiento para lograr que el proyecto “Rediseño e implementación de un sistema de gestión de la calidad en las áreas de calibración y ensayos en el CDT de GAS” contara con el suficiente sustento técnico/administrativo.
- ✓ El sector gas en Colombia ha presentado una tendencia creciente en los últimos años y la implementación de un sistema de gestión de calidad con base en la norma NTC – ISO 17025:2001 brinda a las empresas como el laboratorio del CDT de GAS la posibilidad de ampliar su cobertura del mercado ya que genera confianza a las empresas productoras, operadoras, transportadoras, comercializadores y distribuidoras de gas en Colombia en cuanto a los servicios de calibración, ensayos y actividades de formación de personal que ofrece. Adicionalmente facilita el intercambio tecnológico con otras instituciones para hacer del gas un sector más eficiente, seguro y competitivo en todos los campos.
- ✓ El documento de calidad es una recolección de las principales aspectos de las áreas que conforman la organización, estableciéndose como un documento de información general que incluye, entre otros, los siguientes aspectos: misión, visión, organigramas, descripción de sus principales actividades, relaciones colaterales y factores claves de éxito. Este documento permite visualizar en forma general la organización, los canales de comunicación e integrar las políticas y objetivos de calidad a la misión de la organización.

- ✓ El diseño y la implementación de un sistema de calidad es una decisión que debe estar respaldada por la dirección de la organización, quienes deben fomentar en el personal la motivación y el compromiso a través del trabajo y la dedicación propia. Sin esto, el proceso puede durar varios años o tal vez nunca culmine, debido a que las etapas de documentación e implementación requieren de la colaboración directa de quienes realizan las actividades.
- ✓ El análisis y la documentación de los procedimientos es una herramienta que permite estandarizar las actividades de ensayo y de calibración que se realizan en el laboratorio; por lo tanto deben ser realizados en conjunto con los profesionales responsables de dicha actividad y con base en normas internacionales y/o nacionales, en caso de que estas no existan teniendo en cuenta papers, documentos o recomendaciones realizadas por otros organismos estudiosos de la materia los cuales tienen experiencia en el campo.
- ✓ El diseño de un sistema de indicadores para el CDT de GAS, le concede un instrumento de seguimiento y control que facilitará la toma acertada de decisiones; al acceder a un sistema, que permite capturar información en cuanto a las cualidades y características del servicio, cumplimiento de resultados y cuantifica el aprovechamiento de los recursos, la eficiencia del personal, entre otros aspectos, con el fin de canalizarlos y hacer de esta una organización efectiva.
- ✓ La evaluación de la incertidumbre es una herramienta de control que involucra conceptos estadísticos para cuantificar la influencia de las variables que intervienen en el proceso de calibración. La variabilidad del valor de la incertidumbre declarada en un proceso de calibración depende del caudal empleado para dicho proceso. Podemos afirmar que a menor valor del caudal, mayor es el valor de la incertidumbre asociado a la medición.
- ✓ La incertidumbre del patrón primario empleado para el proceso de calibración en el CDT de GAS, Campana gasométrica, depende de varios factores, entre estos la instrumentación y las características asociadas a estos (precisión, resolución,

exactitud) juega un papel trascendental en la cuantificación de dicho valor; por lo cual se debe tener un estricto control sobre esta. La incertidumbre de la Campana Gasométrica en el laboratorio del CDT de GAS varía de acuerdo al valor de los pulsos iniciales y finales suministrados por el sistema de adquisición de datos.

- ✓ Los procedimientos técnicos de ensayo para el área de gasodomésticos del CDT de GAS, la cual involucra artefactos de cocción y calentadores tipo acumulador y de paso continuo, fueron realizados con el fin de verificar las características constructivas y de funcionamiento de dichos artefactos a través de la revisión de normas internacionales, nacionales y ordenanzas gubernamentales como el reglamento técnico de emergencia RTC-001MCIT con el fin de contribuir con la seguridad del usuario y la protección del medio ambiente.
- ✓ El área de pruebas hidrostáticas posee un gran campo de acción en la prestación de servicios que no había sido explorado, de allí radica la importancia de ampliar el campo de acción con el fin de captar más recursos económicos que contribuyeran al beneficio y al desarrollo del CDT de GAS. Con base en este principio se realizaron los procedimientos técnicos de ensayo para la verificación de la calidad de los recipientes empleados en la industria para transportar gases.

8 RECOMENDACIONES

- ✓ Llevar a cabo la planeación por la dirección al inicio del año laboral con el fin de evaluar la eficacia del sistema, establecer las oportunidades de mejora y definir los programas de sostenimiento del sistema de gestión de la calidad como lo son: el programa de auditorías internas/externas, el programa de capacitación, el programa de calibración de instrumentos, y otros que la organización determine fundamentales para la consecución de sus objetivos.
- ✓ Continuar con la capacitación al personal, tanto internamente como externamente, con el fin de contribuir a la evolución y mejoramiento continuo del sistema de gestión de calidad implementado en el CDT de GAS.
- ✓ Permanecer atentos a las sugerencias de mejora expuestas por las personas que forman parte de la organización con el fin de crear un sistema de calidad dinámico y participativo que fortalezca los canales de comunicación existentes entre la alta dirección y los profesionales del laboratorio.
- ✓ En el área de la campana gasométrica para el patrón primario se recomienda el cambio de la transmisión existente en el sistema de captura de pulsos de la campana, con el fin de mejorar su capacidad de medición.
- ✓ Debido al gran volumen de recipientes que se manejan en el área de pruebas hidrostáticas es importante realizar una ampliación de la zona de almacenamiento con el fin de disminuir los tiempos de desplazamientos, y así aumentar la productividad del área. Igualmente realizar las modificaciones o adaptaciones necesarias a los equipos empleados con el fin de garantizar y mejorar las condiciones de seguridad de los trabajadores.

9 BIBLIOGRAFÍA

- NTC 17025, Requisitos Generales de Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración. Versión 2001.
- COMPRESSED GAS ASSOCIATION. METHODS FOR HYDROSTATIC TESTING OF COMPRESSED GAS CYLINDERS (CGA C-1), Séptima Edición, 1996.
- COMPRESSED GAS ASSOCIATION. STANDARDS FOR VISUAL INSPECTION OF STEEL COMPRESSED GAS CYLINDERS. (CGA C-6), Octava Edición, 2001.
- COMPRESSED GAS ASSOCIATION. STANDARDS FOR VISUAL INSPECTION OF HIGH PRESSURE ALUMINUM COMPRESSED GAS CYLINDERS. (CGA C-6.1), Tercera Edición, 1995.
- NTC 5171 “Métodos de pruebas hidrostáticas para cilindros de gas comprimido”
- NTC 2548 “Cilindros y Tanques Metálicos. Determinación de la Expansión Volumétrica en Recipientes Metálicos sin costura”, versión 1989-03-15
- NTC 4828 “Métodos de Inspección de Cilindros Y sus Sistemas de Montaje empleados en vehículos que Operan con Gas Natural Comprimido”, versión 2001-10-31
- NTC 522-1 “Cilindros de Acero con Costura para Gases Licuados de Petróleo (GLP) con Capacidad desde 5 kg incluido, hasta 46 kg excluido”, versión 2003-03-19
- NTC 2699, “Inspección Periódica y Ensayo de Cilindros de Acero sin Costura”, versión 1997-10-22, 1ª actualización
- NTC 652 “ Extintores de Polvo Químico Seco”,versión 1998-08-26, 5ª Actualización, numerales 39.1.4 y 39.5.4

- NTC 2362 “Extintores de Dióxido de Carbono”, versión 1997-11-26, 2ª Actualización
- NTC 5137 “Inspección Visual de Cilindros de Acero para Gases Comprimidos”, versión 2002-12-13.
- NTC 5136 “Inspección Visual de Cilindros de Aluminio de Alta Presión para Gases Comprimidos”, versión 2002-12-13.
- BS EN-30-1-1 Domestic Cooking Appliances Burning Gas Fuel.
- UNE-EN 89 Aparatos de Producción de Agua Caliente por Acumulación Para Usos Sanitarios Que Utilizan Combustible Gaseosos.
- BS 5386 Parte 1. Gas Burning Appliances For Instantaneous Production Of Hot Water For Domestic Use Compressed Gas Association. Standards for Visual Inspection of Steel Compressed Gas Cylinders. (CGA C-6), Octava Edición, 2001.
- NTC 5042, Gasodomésticos. Calentadores tipo acumulador que emplean gas para la producción de agua caliente. Características constructivas, funcionales y de seguridad. 2002-04-30.
- NTC 3531, Artefactos domésticos que emplean gases combustibles para la producción instantánea de agua caliente para usos a nivel doméstico. Calentadores de paso continuo, primera actualización, 1998-06-24.
- NTC 3527, Definiciones reglas comunes aplicables al ensayo de artefactos para uso doméstico y comercial que emplean gases combustibles, primera actualización, 1997-05-28.
- Decreto número 2269 de 1993.

- El Decreto 1112 de 1996.
- Reglamento Técnico de emergencia RTC-001MCIT
- www.sic.gov.co
- Paper Construcción de indicadores de gestión bajo el enfoque de sistemas, José Hernando Bahamón, Universidad ICESI, 2001.
-

RESUMEN DE RESULTADOS

	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	LOGROS	LOGROS ADICIONALES
1	Elaborar los procedimientos técnicos de ensayo mediante la aplicación de normas internacionales en el área de Hermeticidad e Hidrostática.	Se elaboró el manual de pruebas hidrostáticas el cual condensa los ensayos para el área, con los respectivos anexos que complementan el trabajo realizado alrededor de los procedimientos.	Se realizaron adicionalmente los procedimientos para inspección de los diferentes tipos de recipientes que se ensayan en el área. Se crearon los formatos para los procedimientos creados.
2	Elaborar los procedimientos técnicos de calibración mediante la aplicación de normas internacionales en el área de calibraciones con campana gasométrica.	En esta área se realizaron los procedimientos de calibración empleando el patrón primario de la campana gasométrica para la calibración del patrón secundario tipo cámara húmeda y medidores de trabajo tipo diafragma.	
3	Elaborar los procedimientos técnicos de ensayo mediante la aplicación de normas internacionales en el área de Gasodomésticos.	Se realizaron los procedimientos para el área de Gasodomésticos, tanto para artefactos de cocina como para calentadores.	
4	Diseñar el procedimiento para la realización del "strapping" de la campana gasométrica con base en el "Gas Measurement Manual part 12-AGA".	Se realizó el procedimiento para la realización del Strapping de la campana gasométrica bajo la norma AGA 12.	Adicionalmente se consultaron las normas ANSI B109.1 y B109.2 y se tuvieron en cuenta para la realización de dicho procedimiento.

5	Realizar el estudio de la incertidumbre para el procedimiento de Strapping a la Campana Gasométrica.	Los resultados del estudio se condensaron en un instructivo, el cual se realizó con base en la metodología para el cálculo de la incertidumbre propuesta por el CENAM. Ver anexo 8, I-012.	Complementario al estudio de la incertidumbre se ejecutó el procedimiento de Strapping para la campana Gasométrica del CDT de GAS en conjunto con el profesional de calibración y ensayos. Con base en los resultados obtenidos se creó una plantilla que permite calcular la incertidumbre del patrón, la cual varía de acuerdo al tipo de calibración que se ejecute. La plantilla propuesta fue incluida en la estrategia de calibración empleada por la campana gasométrica. La descripción de la plantilla se encuentra en el anexo 5, Manual de Procedimientos Técnicos de Calibración, anexo 1.
6	Realizar el estudio de la incertidumbre para el procedimiento de calibración de medidores de diafragma y cámara húmeda con Campana Gasométrica.	Se realizó el instructivo que contiene el análisis de todas las variables que influyen en el procedimiento de calibración tanto para las cámaras húmedas como para los medidores de diafragma, con base en la metodología presentada por el CENAM para el cálculo de la incertidumbre. Ver anexo 8, I-013.	Se rediseñó la plantilla para el cálculo de la incertidumbre, esta se encuentra descrita en el Anexo 8, I-013.
7	Diseñar con base en el programa de Gestión de la Calidad, el soporte documental correspondiente al Sistema de Calidad bajo la norma NTC-ISO 17025:	Se creó el soporte documental el cual se describe en detalle en los numerales 7.1 a 7.8.	

ANEXO 1. DESARROLLO DEL MÉTODO MAPA PARA ANÁLISIS DE REQUISITOS

1. Criterios administrativos³⁴ o requisitos de gestión

Los requisitos de gestión se encuentran considerados en la norma bajo los siguientes títulos:

- Organización (4.1)
- Sistema de calidad (4.2)
- Control de documentos (4.3)
- Revisión de solicitudes, ofertas y contratos (4.4)
- Subcontratación de ensayos y calibraciones (4.5)
- Compra de servicios y suministros (4.6)
- Servicio al cliente (4.7)
- Quejas (4.8)
- Control de trabajos de ensayo y/o calibración no conformes (4.9)
- Acción correctiva (4.10)
- Acción preventiva (4.11)
- Control de registros (4.12)
- Auditorías internas (4.13)
- Revisiones por la alta dirección (4.14)

A continuación se presentan las tablas 1 al 15 el desarrollo del mapa de requisitos para cada uno de los criterios administrativos nombrados anteriormente.

³⁴ ***Se parte del numeral 4 ya que los numerales del 1 al 3 presentan el objeto, normas que deben consultarse y términos y definiciones.***

Tabla 26. Organización

4.1 ORGANIZACIÓN							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.1.1	1						14
4.1.2	1						
4.1.3	1						
4.1.4	1						
4.1.5	10						
Total en 4.1	14	0	0	0	0	0	

Tabla 27. Sistema de calidad

4.2 SISTEMA DE CALIDAD							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.2.1	3						13
4.2.2	7						
4.2.3	2						
4.2.4	1						
Total en 4.2	13	0	0	0	0	0	

Tabla 28. Control de documentos

4.3 CONTROL DE DOCUMENTOS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.3.1	1						15
4.3.2.1	2						
4.3.2.2	4						
4.3.2.3	1						
4.3.3.1	2						
4.3.3.2		1					
4.3.3.3	3						
4.3.3.4	1						
Total en 4.3	14	1	0	0	0	0	

Tabla 29. Revisión de solicitudes de ofertas y contratos

4.4 REVISIÓN DE SOLICITUDES, OFERTAS Y CONTRATOS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.4.1	6						12
4.4.2	2						
4.4.3	1						
4.4.4	1						
4.4.5	2						
Total en 4.4	12	0	0	0	0	0	

Tabla 30. Subcontratación de ensayos y calibraciones

4.5 SUBCONTRATACIÓN DE ENSAYOS Y CALIBRACIONES							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.5.1		1					5
4.5.2		1					
4.5.3		1					
4.5.4		2					
Total en 4.5	0	5	0	0	0	0	

Tabla 31. Compra de Servicios y suministros

4.6 COMPRA DE SERVICIOS Y SUMINISTROS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.6.1	2						9
4.6.2	3						
4.6.3	2						
4.6.4	2						
Total en 4.6	9	0	0	0	0	0	

Tabla 32. Servicio al cliente

4.7 SERVICIO AL CLIENTE							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.7	2						2
Total en 4.7	2	0	0	0	0	0	

Tabla 33. Quejas

4.8 QUEJAS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.8	3						3
Total en 4.8	3	0	0	0	0	0	

Tabla 34. Control de trabajos de ensayo y/o calibración no conformes

4.9 CONTROL DE TRABAJOS DE ENSAYO Y/O CALIBRACIÓN NO CONFORMES							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.9.1	7						8
4.9.2	1						
Total en 4.9	8	0	0	0	0	0	

Tabla 35. Acción correctiva

4.10 ACCIÓN CORRECTIVA							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.10.1	3						9
4.10.2	1						
4.10.3	3						
4.10.4	1						
4.10.5		1					
Total en 4.10	8	1	0	0	0	0	

Tabla 36. Acción preventiva

4.11 ACCIÓN PREVENTIVA							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.11.1							3
4.11.2	1						
Total en 4.11	3	0	0	0	0	0	

Tabla 37. Control de registros

4.12 CONTROL DE REGISTROS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.12.1.1	2						13
4.12.1.2	2						
4.12.1.3	1						
4.12.1.4	1						
4.12.2.1	2	1					
4.12.2.2	1						
4.12.2.3	2	1					
Total en 4.12	11	2	0	0	0	0	

Tabla 38 Auditorías internas

4.13 AUDITORIAS INTERNAS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.13.1	4						8
4.13.2	1	1					
4.13.3	1						
4.13.4	1						
Total en 4.13	7	1	0	0	0	0	

Tabla 39. Revisiones por la alta dirección

4.14 REVISIONES POR LA ALTA DIRECCIÓN							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
4.14.1	2						4
4.14.2	2						
Total en 4.14	4	0	0	0	0	0	

Tabla 40. Tabla resumen requisitos administrativos

TOTAL DE REQUISITOS ADMINISTRATIVOS							
	A	B	C	D	E	F	G
	108	10	0	0	0	0	118

2. Criterios técnicos

Los requisitos técnicos se encuentran considerados en la norma bajo los siguientes títulos:

- Generalidades (5.1)
- Personal (5.2)
- Instalaciones y condiciones ambientales (5.3)
- Métodos de ensayo y/o calibración y validación de métodos (5.4)
- Equipo (5.5)
- Trazabilidad de las mediciones (5.6)
- Muestreo (5.7)
- Manejo de los elementos de ensayo y calibración (5.8)
- Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración (5.9)
- Informes de resultados (5.10)

A continuación se presentan las tablas (16 al 26) el desarrollo del mapa de requisitos para cada uno de los criterios técnicos nombrados anteriormente.

Tabla 41. Generalidades

5.1 GENERALIDADES							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.1.1							1
5.1.2	1						
Total en 5.1	1	0	0	0	0	0	

Tabla 42. Personal

5.2 PERSONAL							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.2.1	3						12
5.2.2	3						
5.2.3	2						
5.2.4	1						
5.2.5	3						
Total en 5.2	12	0	0	0	0	0	

Tabla 43. Instalaciones y condiciones ambientales

5.3 INSTALACIONES Y CONDICIONES AMBIENTALES							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.3.1	3	1					10
5.3.2	2						
5.3.3		1					
5.3.4	1						
5.3.5	2						
Total en 5.3	8	2	0	0	0	0	

Tabla 44. Métodos de ensayo y calibración y validación de métodos

5.4 MÉTODOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE MÉTODOS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.4.1	4						29
5.4.2	6	3					
5.4.3	3						
5.4.4	2						
5.4.5.1							
5.4.5.2	2						
5.4.5.3		1					
5.4.6.1			1			1	
5.4.6.2				1			
5.4.6.3	1						
5.4.7.1	1						
5.4.7.2		3					
Total en 5.5	19	7	1	1	0	1	

Tabla 45. Equipo

5.5 EQUIPO							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.5.1	1	1					25
5.5.2	3						
5.5.3	2						
5.5.4		1					
5.5.5	4	4					
5.5.6	1						
5.5.7	3						
5.5.8		1					
5.5.9	1						
5.5.10	1						
5.5.11	1						
5.5.12	1						
Total en 5.5	18	7	0	0	0	0	

Tabla 46. Trazabilidad de la medición

5.6 TRAZABILIDAD DE LA MEDICIÓN							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.6.1	2						20
5.6.2.1.1			2		1		
5.6.2.1.2					1		
5.6.2.2.1						5	
5.6.2.2.2						1	
5.6.3.1	3	1					
5.6.3.2		2					
5.6.3.3	1						
5.6.3.4	1						
Total en 5.6	7	3	2	0	2	6	

Tabla 47. Muestreo

5.7 MUESTREO							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.7.1		4					7
5.7.2		2					
5.7.3		1					
Total en 5.7	0	7	0	0	0	0	

Tabla 48. Manejo de los elementos de ensayo y calibración

5.8 MANEJO DE LOS ELEMENTOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.8.1	1						11
5.8.2	3	1					
5.8.3	2						
5.8.4	3	1					
Total en 5.8	9	2	0	0	0	0	

Tabla 49. Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración

5.9 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.9	2	1					3
Total en 5.9	2	1	0	0	0	0	

Tabla 50. Informe de resultados

5.10 INFORME DE RESULTADOS							
Párrafo	A	B	C	D	E	F	G
5.10.1	2	1					
5.10.2	9	2					
5.10.3.1						5	
5.10.3.2						6	
5.10.4.1					3		
5.10.4.2			1		3		
5.10.4.3					1		
5.10.4.4			1				
5.10.5		2					
5.10.6					1	1	
5.10.7			1				
5.10.8	1						
5.10.9	3						
Total en 5.10	15	5	3	0	8	12	43

Tabla 51. Tabla resumen del total de requisitos (administrativos y técnicos)

TOTAL DE REQUISITOS APLICABLES PARA EL ACREDITAMIENTO (REQUISITOS ADMINISTRATIVOS MÁS TÉCNICOS)							
	A	B	C	D	E	F	G
	199	44	6	1	10	19	279

Tabla 52. Tabla resumen requisitos técnicos

TOTAL DE REQUISITOS TÉCNICOS							
	A	B	C	D	E	F	G
	91	34	6	1	10	19	161

APÉNDICE A. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN Y JERARQUÍA DE PATRONES

A.1 PRINCIPIOS DE MEDICIÓN

Para el buen entendimiento de los fenómenos que se presentan en el área de calibraciones se revisa a continuación conceptos, ecuaciones y despejes requeridos para los cálculos en la campana gasométrica.

A.1.1 Ecuación P-V-T

La ecuación P-V-T relaciona el volumen ocupado por un fluido (V) con su temperatura (T) y con la presión (P) actuante sobre el fluido. Esta relación es especialmente importante cuando el fluido en cuestión es un gas.

Para un “gas ideal”, es válida la siguiente relación:

$$\frac{PV}{T} = \text{constante}$$

Ecuación 22

En la práctica, las propiedades presión-volumen-temperatura de un fluido raramente son tan simples, aún cuando se trate de productos químicos puros. En el caso de los gases denominados gases naturales aún falta mucho por descubrir. Algunos estudios se están llevando a cabo, principalmente en Europa y en los Estados Unidos, a fin de desarrollar ecuaciones generales que permitan calcular las propiedades físicas de esos gases y sus aplicaciones prácticas.

Generalmente, la ecuación de los “gases ideales” puede ser extrapolada hasta los llamados “gases reales” introduciendo un factor Z denominado factor de compresibilidad, o coeficiente de desvío de la ley de los gases ideales, o aún factor de supercompresibilidad. Esta ecuación es dada por:

$$P V = Z n R T$$

Ecuación 23

Donde n es el número de moles del gas y R es la constante universal de los gases ($R = 8314,41 \text{ J/kmol K}$).

A.1.2 Medición De Volumen Total

El mensurando de interés en la campana gasométrica es el volumen total. Algunos medidores se diseñan para indicar directamente el volumen total V de fluido que pasa a través del medidor; como en el caso de los medidores de diafragma y cámaras húmedas. Usualmente, son llamados medidores volumétricos, o totalizadores, con el fin de distinguirlos de otros tipos de medidores de flujo que miden caudal (Q_v) o flujo másico (\dot{m}).

Existen diversas formas de obtener el volumen total V . A través de la utilización de un medidor de flujo por medio de la integración de la señal de salida a lo largo de un determinado intervalo de tiempo, o también, es posible obtener. Algunos medidores se diseñan para indicar directamente el volumen total V de fluido que pasa a través del medidor. Normalmente, ellos se llaman medidores volumétricos, o totalizadores, con el fin de distinguirlos de otros tipos de medidores de flujo.

El volumen total V también puede ser obtenido empleando un medidor de caudal, el cual deriva la señal de salida con relación al tiempo.

Estas operaciones, entre tanto, generalmente convergen en una disminución de la exactitud de la medición.

A.1.3 Flujo

El flujo es la cantidad de fluido, expresada en masa o en volumen, que pasa por un punto o sección transversal de referencia en una tubería, en unidad de tiempo. Por lo tanto el flujo puede ser volumétrico como másico.

El flujo se expresa en unidades de volumen o de masa por unidad de tiempo así:

$$\text{m}^3/\text{h} \text{ o } \text{kg}/\text{h}$$

Podemos decir también, que el flujo volumétrico de un fluido Q_v (m^3/s) es igual al producto de la velocidad media del flujo \bar{V} (m/s) por el área de la sección transversal de la tubería A (m^2).

$$Q_v = \bar{V} \cdot A \quad \text{Ecuación 24}$$

Por otra parte, el flujo másico \dot{m} (kg/s) es igual al producto del flujo volumétrico Q_v (m^3/s) por la densidad del fluido ρ (kg/m^3). En la práctica, la medición directa de la densidad del fluido es difícil; para facilitar el proceso se utilizan las mediciones de temperatura y de presión (parámetros fundamentales) para inferir la densidad, conociendo la composición y propiedades fisicoquímicas del fluido.

$$\dot{m} = Q_v \cdot \rho \quad \text{Ecuación 25}$$

A partir del flujo volumétrico o másico (ecuación 4), es posible obtener su totalización, por medio de la integración a lo largo del tiempo de los caudales instantáneos medidos.

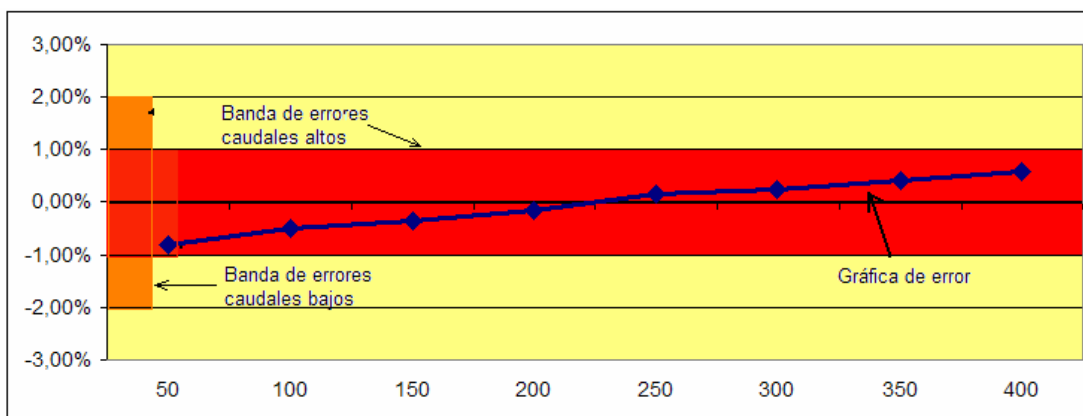
La medición de parámetros fundamentales involucran incertidumbres, generalmente bastante bajas, muchas veces inferiores a 0,1%. Por otra parte, el caudal de un fluido, por ser una magnitud derivada que representa un fenómeno dinámico, no permite normalmente incertidumbres de medición inferiores a 1%; con excepción de las mediciones que se realizan bajo condiciones de laboratorio.

A.1.4 Banda De Error

El error de indicación de un medidor de gas es expresado como la relación porcentual existente entre la diferencia del volumen indicado y el que realmente ha pasado a través del medidor.

En la calibración oficial³⁵, los errores totales no deben sobrepasar la mitad de los límites de error admitidos (Ver figura A.1), cuando sean todos del mismo signo. Para el caso de los medidores de gas tipo diafragma, dicho requerimiento es valido solamente en el rango de caudal comprendido entre $2 Q_{\min}$ y Q_{\max} .

Figura A.1. Banda de error permisible



A.1.5 Determinación del Error

a. Definición del error: El error de indicación del contador de gas a calibrar es determinado por comparación con la indicación de un patrón adecuado, teniendo en cuenta el error propio del mismo.

³⁵ Se refiere a la calibración en la que se tienen en cuenta todas las repeticiones con todos sus puntos de prueba.

Para calcular el error relativo porcentual se emplea la siguiente fórmula general (ecuación 5):

$$f_g = \frac{V_G - V}{V} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

V_G = Volumen Indicado por el Instrumento bajo Calibración

V = Volumen que realmente ha pasado por el instrumento bajo calibración

Para los contadores de gas de desplazamiento positivo hay que tener en cuenta que los errores periódicos, determinados por un flujo pulsante al intervenir las cámaras de medición, se compensan mediante la elección de un volumen de ensayo y/o una cantidad de ciclos de trabajo de ensayo suficientemente grande.

b. Cálculo del Error: El volumen que realmente ha pasado a través del patrón se define como V' . Este se obtiene del valor V_N (el cual se toma de la lectura directa del patrón) y del error relativo del patrón f_N (el cual se encuentra en el certificado de calibración de este), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$f_N = \frac{V_N - V'}{V'} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 27}$$

De donde:

$$V' = \frac{V_N}{1 + \frac{f_N}{100}} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 28}$$

El volumen de gas V , es obtenido convirtiendo V' a las mismas condiciones de presión y temperatura en las que se encuentra el contador bajo calibración, de acuerdo con la ecuación de estado para un gas ideal, reemplazando las variables obtenemos la ecuación 8:

$$V = V' \frac{P_N \cdot T_G}{P_G \cdot T_N}$$

Ecuación 29

V= volumen que realmente ha pasado a través del medidor

V'=volumen de aire de calibración

P_N= presión en el patrón

T_N= temperatura en el patrón

P_G= presión en el instrumento bajo calibración

T_G= temperatura en el instrumento bajo calibración

Reemplazando la ecuación 8 en 6 se deduce la siguiente expresión para el error relativo del instrumento bajo calibración, f_G :

$$f_G = \left[\left(\frac{V_G \cdot P_G \cdot T_N}{V_N \cdot P_N \cdot T_G} \cdot \left(1 + \frac{f_N}{100} \right) \right) - 1 \right]$$

Ecuación 30

Si los cambios de estado entre el patrón y el contador bajo calibración son pequeños, se puede utilizar el procedimiento aproximado que se describe a continuación.

Sin tener en cuenta el error del patrón y los diferentes estados del gas en el patrón y el contador bajo calibración, resulta el siguiente error en primera aproximación:

$$f_r = \frac{V_G - V_N}{V_N} \cdot 100\%$$

Ecuación 31

Donde:

f_r = error aproximado del instrumento bajo calibración

Bajo condiciones atmosféricas normales se puede suponer que el aire dentro de la sala de calibración tiene una densidad de 1.2 Kg/m³.

Debido a la resistencia al flujo, los estados termodinámicos (presión de referencia y temperatura) no son iguales en el patrón y en el contador bajo calibración. Estas variaciones de presión y temperatura entre el patrón y el instrumento son en general pequeñas y a menudo resulta suficiente en la práctica efectuar una estimación de la corrección de temperatura y presión bajo condiciones de calibración promedio (presión en el patrón $P_N = 1000$ mbar, temperatura en el patrón $T_N = 20$ °C).

Introduciendo la diferencia de presión $P_G - P_N$ entre el contador bajo calibración y el patrón en mbar, la corrección porcentual de presión queda dada por la ecuación 11:

$$k_p \approx 0.1 \cdot (P_G - P_N)\% \quad \text{Ecuación 32}$$

La deducción de las ecuaciones empleadas para la aproximación del error del medidor bajo calibración se presentan en detalle en el Apéndice C.

Para la corrección porcentual de la temperatura se emplea la ecuación 12:

$$k_J \approx 0.34 \cdot (T_N - T_G)\% \quad \text{Ecuación 33}$$

Con las relaciones simplificadas dadas por las ecuaciones (9) y (10), junto con el error del patrón f_N , el error del medidor gas puede expresarse en forma aproximada como:

$$f_G \approx f_r + f_N + k_p + k_J \quad \text{Ecuación 34}$$

Cuando el error aproximado del contador bajo ensayo f_r es grande, puede ser necesario efectuar una segunda corrección de presión y temperatura. En este caso el error relativo del instrumento bajo ensayo se expresa en forma aproximada como:

$$f_G \approx f_r + f_N + k_p + k_v + \frac{f_r}{100}(k_p + k_v) \quad \text{Ecuación 35}$$

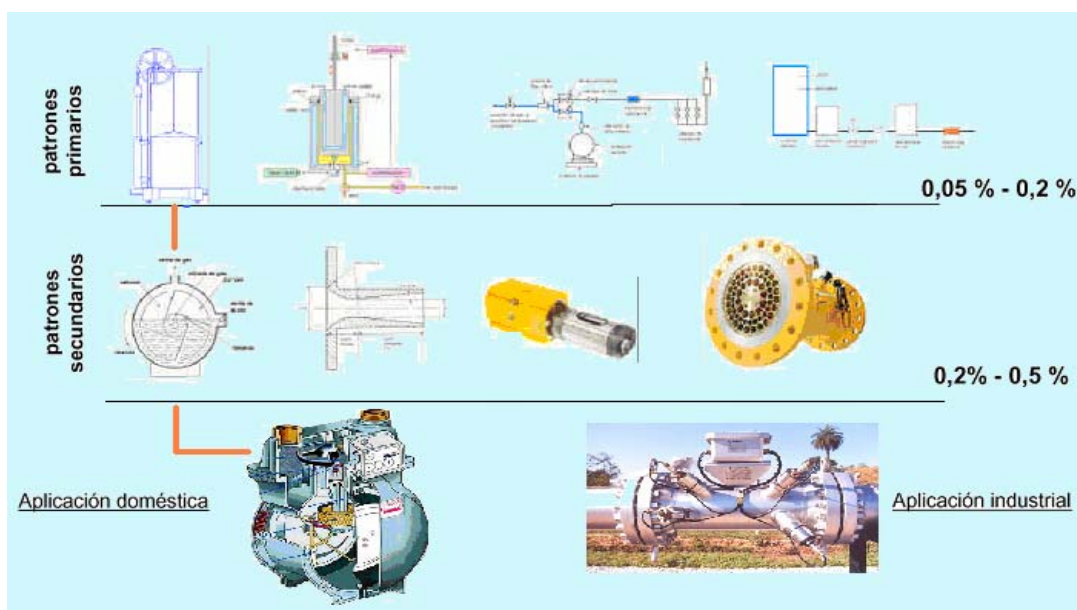
Las fórmulas de cálculo (11) y (12) anteriores son válidas solamente si el error del patrón y las correcciones son pequeñas con respecto a los respectivos límites de error de verificación (≤ 0.5 límite de error de verificación). Cuando las desviaciones sean mayores se ha de aplicar la ecuación exacta (9).

A.2 JERARQUIAS DE PATRONES DE MEDICIÓN

En medición de flujo, no existen dispositivos patrones o artefactos que físicamente reproduzcan directamente la magnitud en cuestión, a diferencia de las mediciones de longitud o masa. Por tal motivo, los patrones de flujo deben derivarse a partir de mediciones relacionadas a patrones de magnitudes fundamentales, como longitud, masa y tiempo. Esto se logra mediante la recolección de un fluido bajo condiciones de estado estacionario y propiedades constantes, durante un intervalo de tiempo medido, cuantificando propiedades como temperatura y presión, trazables a patrones establecidos.

Existen diversos tipos de patrones; sin embargo nuestro interés se centra en los patrones primarios y secundarios.

Figura A.2. Clasificación de los patrones primarios y secundarios



A.2.1 Patrones Primarios

Patrón que se designa o se recomienda o ampliamente reconocido como poseedor de las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor se acepta sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

El concepto de patrón primario es válido tanto para las magnitudes básicas como para las derivadas.³⁶

Entre los patrones primarios que son reconocidos por la comunidad internacional como referencia para la calibración de medidores de flujo de gas se destacan:

- Sistema Gravimétrico (pesado en modo estático)
- Probador de desplazamiento positivo
- Tipo pistón
- Sistema PVT-t
- Tipo campana Gasométrica

La tabla A.1. presenta un resumen de algunos tipos de patrones primarios. El patrón del CDT de GAS, la Campana Gasométrica se describe en detalle a continuación.

a. Campana Gasométrica

Es el patrón primario que se encuentra en el laboratorio del CDT de GAS. Una campana gasométrica “bell prover” es un patrón primario de volumen y flujo de gases que opera bajo el principio de desplazamiento positivo. Consiste de un tanque cilíndrico abierto en su parte superior y un volumen central, llamado foso seco “dry well”, los cuales forman una sección anular que se llena casi completamente con un líquido sellante (generalmente aceite mineral de baja presión de vapor). Dentro de este volumen anular lleno de aceite se localiza un tanque cilíndrico invertido, similar a una campana, abierto en su base y con un domo encima (ver Figura A.3.).

³⁶ Tomado del Vocabulario Internacional de Metrología (VIM)

Tabla A.1. Algunos patrones primarios, definición y cualidades metroológicas

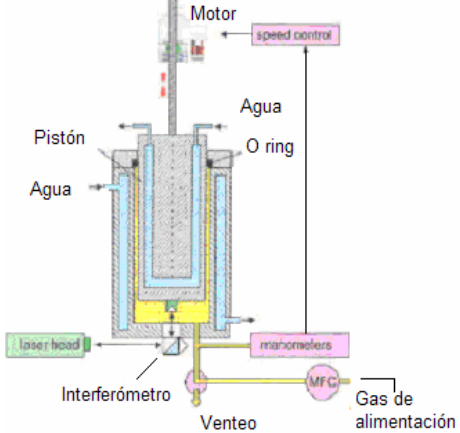

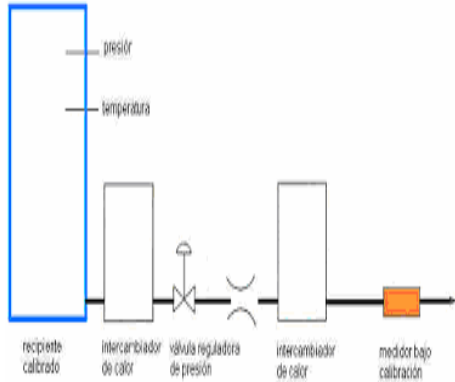
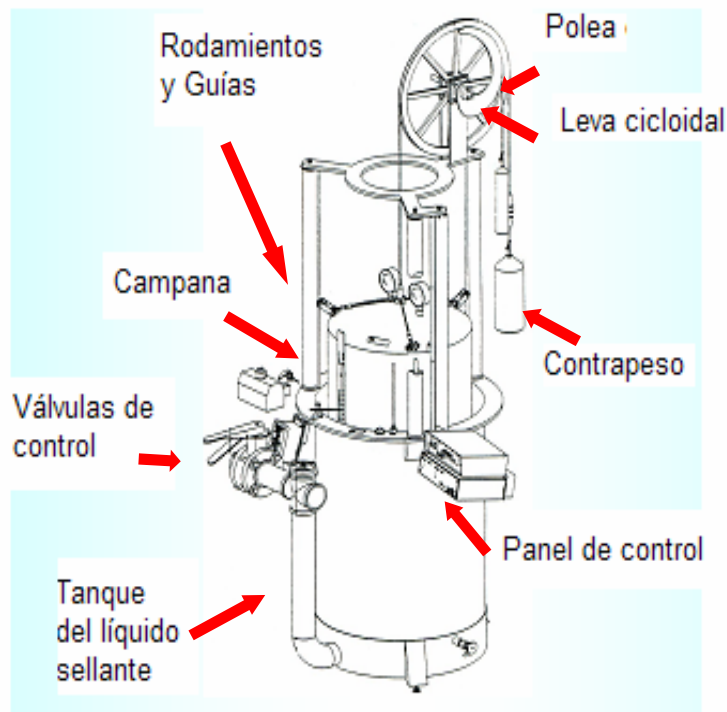
PRINCIPALES PATRONES PRIMARIOS		
Probador Tipo Pistón	Patrón Gravimétrico	Sistema PVT
		
<p>Diseñado para operar a presiones y temperaturas ambiente</p> <p>El uso de un probador tipo pistón está basado en la medición de un volumen recolectado en una unidad de tiempo a temperatura y presión dadas.</p>	<p>Este sistema se basa en el escurrimiento por gravedad de un aceite u otro fluido a un caudal conocido, proveniente de un reservorio hermético a un tanque de pesaje en un intervalo de tiempo determinado.</p>	<p>Es un sistema estático de calibración, utiliza básicamente un reservorio de volumen conocido donde el aire proveniente de un compresor es almacenado a través de la medición de las condiciones iniciales y finales de la presión y temperatura, es posible determinar la variación de aire almacenado durante el ensayo.</p>

Figura A.3. Campana gasométrica.



El peso de la campana se balancea mediante contrapesos de forma que pueda desplazarse en forma ascendente o descendente con una pequeña diferencia de presión (3 – 5 mbar) recolectando y midiendo un volumen de gas. Adicionalmente un pequeño contrapeso se monta sobre una polea o leva de geometría cicloidal de forma que provea una corrección por los efectos de fuerza de flotación que se generan al sumergir la campana en el aceite.

Imperfecciones en la leva y en el sistema de contrapesos generarán una variación en la presión interna de la campana durante su operación. Esta variación en la presión es indeseable pues contribuye a la incertidumbre en la medición. Rodamientos y guías proveen estabilidad lateral a la campana en funcionamiento.

El volumen de medición se determina mediante el producto del área de la campana por su desplazamiento vertical, dicha carrera se puede obtener mediante la instalación de una

escala metálica adherida a la pared de la campana o a través de la ubicación de una serie de fotodetectores a distancias determinadas con gran exactitud a lo largo de la carrera del patrón.

Un patrón de este tipo se puede trabajar en forma ascendente, a través del suministro de aire comprimido seco y libre de partículas, el cual pasa por el medidor en prueba para luego almacenarse en la campana; también puede trabajarse descendiendo, almacenando aire en la campana para luego vaciarlo a través del medidor en prueba.

Ambos sistemas tienen ventajas y desventajas, a continuación se presentan en la tabla A.2.

Tabla A.2. Ventajas y desventajas de los sentidos de operación

	OPERACIÓN ASCENDENTE	OPERACIÓN DESCENDENTE
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para calibrar múltiples medidores al tiempo ajustando una presión mayor a la entrada. • Capacidad para calibrar caudales altos 	<ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbres más bajas que en la operación ascendente • Luego del llenado se puede dejar un tiempo prudencial de escurrimiento
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbres más altas que en operación descendente. • La capa fílmica de aceite en las paredes incide sobre el volumen interno de la campana 	<ul style="list-style-type: none"> • Su capacidad para calibrar múltiples medidores se reduce dependiendo del ajuste de los contrapesos • El rango de caudal se reduce

La campana gasométrica del CDT de GAS fue acondicionada para emplear generalmente el método descendente, aunque con el trabajo de estrategias de control, también puede llevar a cabo calibraciones en forma ascendente. La Campana Gasométrica del laboratorio del CDT de Gas funciona de una forma Automatizada, por medio del sistema

Opto 22³⁷ el cual es el encargado de manejar la estrategia durante el proceso de calibración y de recibir la información necesaria para el monitoreo de las variables que inciden sobre los resultados de la calibración del medidor bajo prueba.

A.2.2 Patrones Secundarios

Un patrón secundario es un medidor que al ser verificado y calibrado previamente por un patrón primario, presenta porcentajes de error e incertidumbre bastante bajos; por lo tanto, puede utilizarse como patrón al calibrar otros instrumentos de medición.

Los sistemas primarios son empleado para calibrar sistemas o instrumentos secundarios, que a su vez son empleados para la calibración de medidores de flujo de gas. Entre los sistemas secundarios se destacan:

- Toberas de flujo crítico
- Turbinas
- De flujo por ultrasonido
- De desplazamiento positivo

La tabla A.3. presenta un resumen de algunos tipos de patrones secundarios. En detalle revisaremos los patrones de desplazamiento positivo, en específico el medidor tipo cámara húmeda.

³⁷ ***Sistema de medición y control de procesos industriales que consta de 4 componentes: optoControl, optoServer, optoDisplay y optoConnect.***

Tabla A.3. Algunos patrones secundarios, definición y cualidades metrológicas.

PRINCIPALES PATRONES SECUNDARIOS		
Bóquilla sónica	Turbina	Ultrasónico
		
<p>Utilizados en medición de flujo de gas a alta y/o baja presión, con buena trazabilidad de masa y tiempo. No poseen partes móviles. Por varias décadas estos dispositivo han sido utilizados ampliamente como patrones de transferencia de flujo de gas, para llevar a cabo inter comparaciones presentando bajos niveles de incertidumbre.</p>	<p>El medidor de turbina es utilizado en medición de flujo de gases y líquidos limpios, con un amplio rango de flujo.</p> <p>El mecanismo de medición consta del rotor, eje del rotor, cojinetes y estructura de soporte necesaria.</p>	<p>Durante los últimos años, se ha incrementado el uso de medidores ultrasónicos (MUS) en la industria del gas natural. Entre sus ventajas se encuentran su exactitud, y el bajo mantenimiento, entre sus desventajas encontramos su alto costos de adquisición y la alimentación.</p>

a. Medidores de desplazamiento positivo: Cámaras Húmedas

Las cámaras húmedas (ver figura A.4.) son medidores de flujo volumétrico de desplazamiento positivo, que permiten alta precisión y exactitud para mediciones de flujo y/o volumen de gas relativamente pequeñas, por tal motivo son ampliamente utilizadas como calibrador para otros tipos de medidores y como un medidor de alta exactitud en laboratorios.

Este tipo de medidor consta de un tambor (ver figura A.4.b) que contiene cuatro cámaras de medición, separadas por igual número de compartimientos radiales montados sobre un eje rotatorio. Un cilindro contiene al tambor; el cual se llena aproximadamente al 60% de su volumen con agua o con un aceite de baja presión de vapor y baja viscosidad, que permite sellar las cámaras radiales.

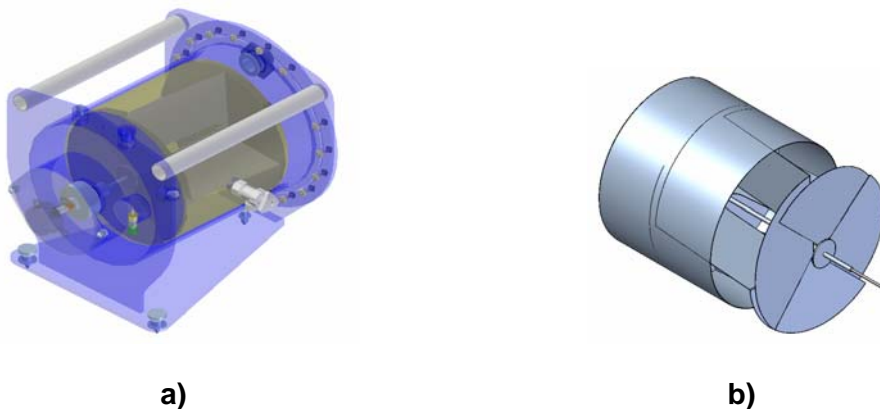


Figura A.4 Patrón secundario de desplazamiento positivo

Al iniciar la medición, el volumen de gas es confinado en las cámaras del tambor. Cuando se intenta desalojar el aceite o el agua se produce una fuerza que, por su baja inercia y fricción, hace girar el eje del tambor. El eje del tambor es conectado a un indicador a través de un juego de engranajes. La carátula del indicador es graduada para la máxima capacidad del medidor.

La medición de presión se realiza por medio de un manómetro de columna con una resolución de al menos 0.1 mbar, mientras que la temperatura es obtenida con un

termómetro insertado en un termo-pozo³⁸. La temperatura se mide en el gas y en el líquido sellante para verificar la estabilidad térmica.

A.2.3 Medidores De Trabajo.

Son instrumentos utilizados para la medición de flujo de gas en campo. Funcionan normalmente bajo condiciones de operación no controladas y severas; por lo tanto requieren de calibraciones periódicas para asegurar sus cualidades metrológicas como medidores de trabajo.

Estos medidores se calibran generalmente con patrones secundarios; sin embargo, en los casos en que se requiere aseguramiento de la calidad de lotes de producción de este tipo de medidores se emplea patrones primarios como la Campana Gasométrica.

Entre los medidores de trabajo se distinguen los siguientes:

- Medidor tipo vórtice
- Medidor rotatorio
- Medidor tipo pistón
- Medidores de diafragma

a. Medidores tipo diafragma

El medidor tipo diafragma como el mostrado (Ver figura A.5) consiste de dos diafragmas en un sólo dispositivo. Los diafragmas y el área que los rodea se llenan y se desocupan en forma alterna.

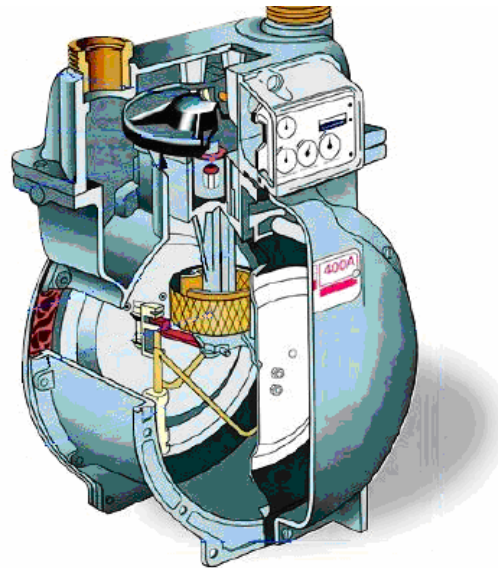
El medidor tipo diafragma es ideal para flujos muy bajos de gas seco y limpio y es el tipo usado como medidor en el ámbito residencial. El gas húmedo no se puede medir en el medidor de diafragma, ya que es muy complejo drenar el líquido que se forma debido a la condensación.

³⁸ *Dispositivos para encapsular un sensor de temperatura y protegerlo de las presiones del flujo.*

Figura A.5. Partes de un medidor tipo diafragma

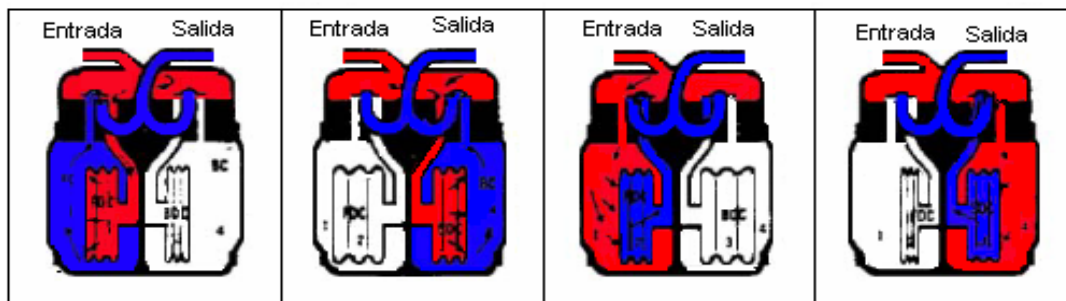
Un medidor de diafragma se compone físicamente de:

1. Un cuerpo que contiene el gas presurizado y forma parte de los compartimientos que miden el agua.
2. Diafragmas que se mueven conforme la presión del gas fluctúa de cada lado.
3. Válvulas y asientos que controlan el flujo de gas hacia cada lado del diafragma.
4. Mecanismo articulado que conecta el diafragma con las válvulas y el indicador y por último
5. Un indicador u odómetro que registra el número de revoluciones del mecanismo



Las principales causas de los errores de medición que se originan en los contadores de gas a diafragma residen en la falta de hermeticidad de las superficies deslizantes y en la porosidad del material del diafragma. A pesar del tratamiento previo a que son sometidos los diafragmas, no se puede evitar totalmente que el material se vaya secando después de un largo tiempo de servicio o bien, por pasar de operar con un gas de alto contenido de humedad a otro seco; como por ejemplo el gas natural. Esto conduce a un endurecimiento del material que luego lo hace muy poroso. Simultáneamente se registra un aumento de la absorción de presión. El principio de operación de los medidores se ilustra Figura A.6.

Figura A.6. Movimientos de un medidor de diafragma



Un medidor de diafragma se puede comparar con un motor de dos pistones de doble acción, en el cual los diafragmas corresponden a los pistones y el cuerpo del medidor

a los cilindros. Cada carrera del diafragma desplaza un volumen fijo de gas y los diafragmas operan con un desfase de 90° de forma que cuando uno está en el final de su carrera, el otro está a la mitad de su desplazamiento.

Esto proporciona un flujo uniforme del gas a la salida del medidor y garantiza que el medidor siempre se pondrá en marcha independientemente de su posición estática. Cuando existe una demanda de gas aguas abajo del medidor, se origina una caída de presión a través del medidor y sus diafragmas. Este diferencial, que puede ser por ejemplo 25 Pa, proporciona la fuerza para accionar el medidor.

APENDICE B. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La imperfección natural de la realización de las mediciones, hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud: Toda medición lleva implícita una **incertidumbre**, que de acuerdo al VIM (Vocabulario internacional de metrología), es un **parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando**.

El esquema de la figura B.1 presenta un procedimiento general para la estimación de la incertidumbre de la medición.³⁹

B.1 EL MENSURANDO.

El propósito de una medición es determinar el valor de una magnitud, llamada mensurando. El mensurando es el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. La definición del mensurando es vital para obtener buenos resultados de la medición. En no pocas ocasiones se mide algo distinto al propósito original.

Una definición completa del mensurando incluye especificaciones sobre las magnitudes de entrada relevantes.

El resultado de una medición incluye la mejor estimación del valor del mensurando y una estimación de la incertidumbre sobre ese valor. La incertidumbre se compone de contribuciones de diversas fuentes, algunas de ellas descritas por las magnitudes de entrada respectivas. Algunas contribuciones son inevitables por la definición del propio mensurando, mientras otras pueden depender del principio de medición, del método y del procedimiento seleccionados para la medición.

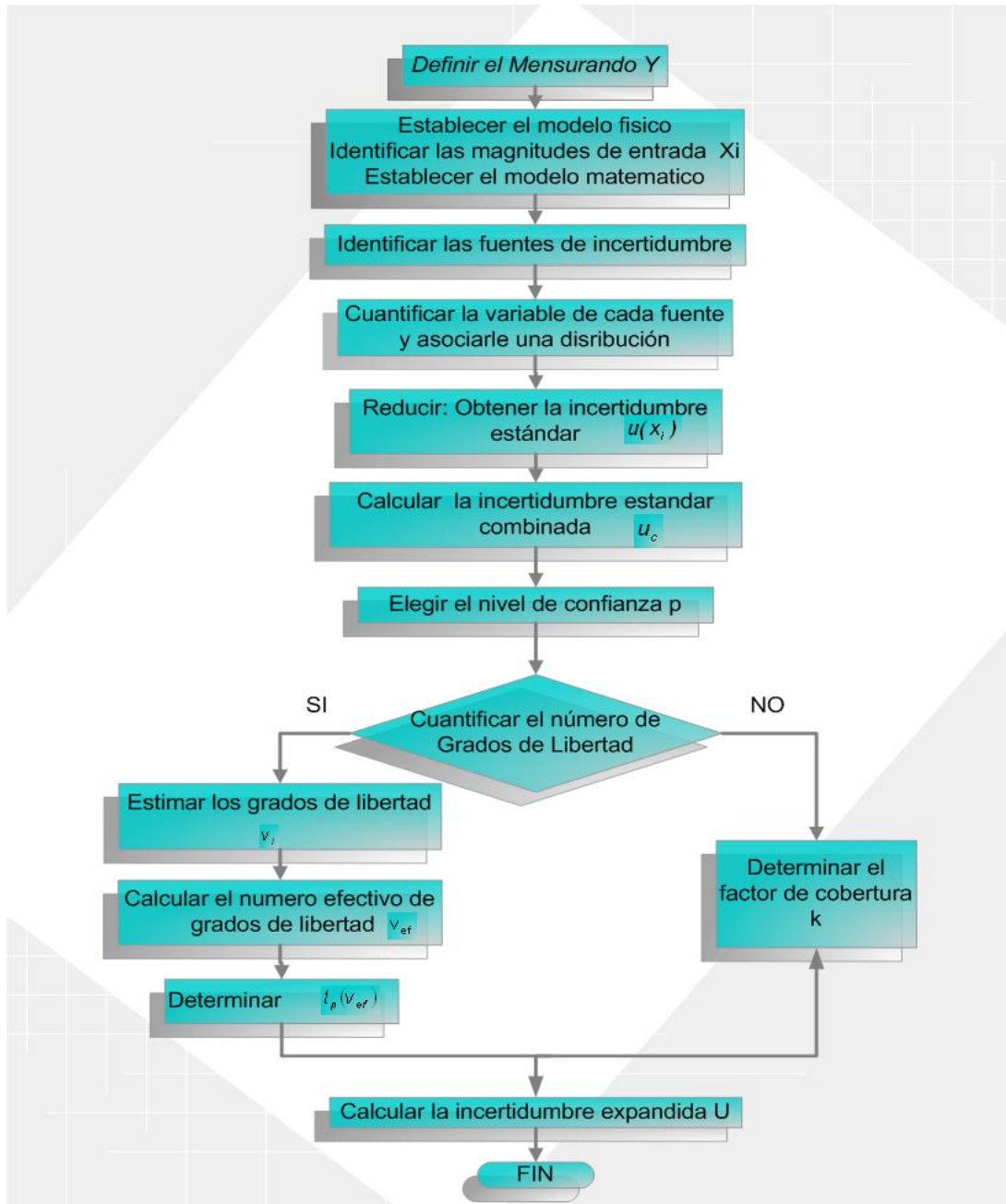
También pueden influir en el resultado de la medición, y por lo tanto en la incertidumbre, algunos atributos no cuantificables en cuyo caso es siempre

³⁹ Tomado de la Guía para estimar la Incertidumbre de la medición, CENAM

recomendable reducir en lo posible sus efectos, preferentemente haciendo uso de criterios de aceptación en las actividades tendientes a reducir tales efectos.

10

11 Figura B.1 Diagrama de flujo para la estimación de la incertidumbre



12 El principio de medición es el fundamento científico usado para realizar una medición. El conocimiento del principio de medición permite al metrologo dominar la medición, esto es, modificarla, diseñar otra, evaluar su conveniencia, etc., además es indispensable para estimar la incertidumbre de la medición.

El método de medición y el procedimiento de medición son descripciones de la manera de llevar a cabo la medición, la primera genérica, la segunda específica.

El principio, el método y el procedimiento de medición son determinantes en el valor de la incertidumbre de la medición. Un conocimiento insuficiente de ellos muy probablemente conducirá a una estimación equivocada, o incompleta en el mejor de los casos, de la incertidumbre de la medición.

La definición del mensurando usualmente alude, casi siempre de manera implícita, a una estimación de la incertidumbre que se requiere. Es notable el alto riesgo que se corre cuando la definición del mensurando no es acorde con la estimación de la incertidumbre requerida.

B.2 MODELO FÍSICO.

Pretender estudiar el proceso de medición de manera exacta y completa está usualmente fuera de las actividades rutinarias del metrologo, más aún, es el propósito de la investigación científica, cuya solución pocas veces se vislumbra. Por lo tanto, es necesaria la simplificación del fenómeno o de la situación real conservando las características más relevantes para el propósito pretendido, mediante la construcción de un modelo para la medición.

Un modelo físico de la medición consiste en el conjunto de suposiciones sobre el propio mensurando y las variables físicas o químicas relevantes para la medición. Estas suposiciones usualmente incluyen:

- a) relaciones fenomenológicas entre variables;
- b) consideraciones sobre el fenómeno como conservación de cantidades, comportamiento temporal, comportamiento espacial, simetrías;
- c) consideraciones sobre propiedades de la sustancia como homogeneidad e isotropía.

Una medición física, por simple que sea, tiene asociado un modelo que sólo aproxima el proceso real.

B.3 MODELO MATEMÁTICO.

El modelo físico se representa por un modelo descrito con lenguaje matemático. El modelo matemático supone aproximaciones originadas por la representación imperfecta o limitada de las relaciones entre las variables involucradas.

Considerando a la medición como un proceso, se identifican magnitudes de entrada denotadas por el conjunto: $\{X_i\}$

Expresión en la cual el índice i toma valores entre 1 y el número de magnitudes de entrada N .

La relación entre las magnitudes de entrada y el mensurando Y como la magnitud de salida se representa como una función

$$Y = f(\{X_i\}) = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

representada por una tabla de valores correspondientes, una gráfica o una ecuación, en cuyo caso y para los fines de este apéndice se hará referencia a una relación funcional, y puede considerarse como un escalar, o puede aplicarse el mismo formalismo para elementos matemáticos más complejos como vectores o matrices.

En este documento se denota con x_i al mejor estimado de las magnitudes de entrada X_i .

Los valores de las magnitudes de entrada pueden ser resultados de mediciones recientes realizadas por el usuario o tomados de fuentes como certificados, literatura, manuales, etc.

El mejor estimado del valor del mensurando es el resultado de calcular el valor de la función f evaluada en el mejor estimado de cada magnitud de entrada,

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

En algunas ocasiones se toma el mejor estimado de Y como el promedio de varios valores y_j del mensurando obtenidos a partir de diversos conjuntos de valores $\{X_i\}_j$ de las magnitudes de entrada.

B.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE.

Una vez determinados el mensurando, el principio, el método y el procedimiento de medición, se identifican las posibles fuentes de incertidumbre. Estas provienen de los diversos factores involucrados en la medición, por ejemplo,

- ⊕ Los resultados de la calibración del instrumento;
- ⊕ La incertidumbre del patrón o del material de referencia;
- ⊕ La repetibilidad de las lecturas;
- ⊕ La reproducibilidad de las mediciones por cambio de observadores, instrumentos u otros elementos;
- ⊕ Características del propio instrumento, como resolución, histéresis, deriva, etc.;
- ⊕ Variaciones de las condiciones ambientales;
- ⊕ La definición del propio mensurando;
- ⊕ El modelo particular de la medición;
- ⊕ Variaciones en las magnitudes de influencia.

No es recomendable desechar alguna de las fuentes de incertidumbre por la suposición de que es poco significativa sin una cuantificación previa de su contribución, comparada con las demás, apoyadas en mediciones. Es preferible la inclusión de un exceso de fuentes que ignorar algunas entre las cuales pudiera descartarse alguna importante. No obstante, siempre estarán presentes efectos que la experiencia, conocimientos y actitud crítica del metrologo permitirán calificar como irrelevantes después de las debidas consideraciones.

B.5 CUANTIFICACIÓN

En la literatura se distinguen dos métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre: El **Método de Evaluación Tipo A** está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones, mientras el **Método de Evaluación Tipo B** comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre.

Cabe mencionar que esta clasificación no significa que exista alguna diferencia en la naturaleza de los componentes que resultan de cada uno de los dos tipos de evaluación, puesto que ambos tipos están basados en distribuciones de probabilidad. La única diferencia es que en las evaluaciones tipo A se estima esta distribución basándose en mediciones repetidas obtenidas del mismo proceso de medición mientras en el caso de tipo B se supone una distribución con base en experiencia o información externa al metrologo.

En la práctica esta clasificación no tiene consecuencia alguna en las etapas para obtener una estimación de la incertidumbre combinada.

B.5.1 Evaluación tipo A

La incertidumbre de una magnitud de entrada X_i obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima con base en la dispersión de los resultados individuales.

Si X_i se determina por n mediciones independientes, resultando en valores q_1 , q_2 , ..., q_n , el mejor estimado x_i para el valor de X_i es la media de los resultados individuales:

$$x_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n q_j \quad \text{Ecuación 36}$$

La dispersión de los resultados de la medición q_1, q_2, \dots, q_n para la magnitud de entrada X_i se expresa por su desviación estándar experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$$

Ecuación 37

La incertidumbre estándar $u(x_i)$ de X_i se obtiene finalmente mediante el cálculo de la desviación estándar experimental de la media:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}}$$

**Ecuación
n 38**

Así que resulta para la incertidumbre estándar de X_i :

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}$$

Ecuación 39

Para una medición que se realiza por un método bien caracterizado y bajo condiciones controladas, es razonable suponer que la distribución (dispersión) de los q_j no cambia, o sea se mantiene prácticamente igual para mediciones realizadas en diferentes días, por distintos metrologos, etc. (esto es, la medición está bajo control estadístico). En este caso esta componente de la incertidumbre puede ser más confiablemente estimada con la desviación estándar s_p obtenida de un solo experimento anterior, que con la desviación estándar experimental $s(q)$ obtenida por un número n de mediciones, casi siempre pequeño, según la ecuación 2.

La incertidumbre estándar de la media se estima en este caso por:

$$u(x_i) = \frac{s_p}{\sqrt{n}}$$

**Ecuación
n 40**

Cabe mencionar que n es el número de mediciones repetidas para evaluar $x_i = \bar{q}$, según la ecuación 1, mientras s_p se determinó por un número distinto (y grande) de mediciones.

No se puede dar una recomendación general para el número ideal de las repeticiones n , ya que éste depende de las condiciones y exigencias (meta para la incertidumbre) de cada medición específica. Hay que considerar que:

- ✦ Aumentar el número de repeticiones resulta en una reducción de la incertidumbre tipo A, la cual es proporcional a $1/\sqrt{n}$.
- ✦ Un número grande de repeticiones aumenta el tiempo de medición, que puede ser contraproducente, si las condiciones ambientales u otras magnitudes de entrada no se mantienen constantes en este tiempo.
- ✦ En pocos casos se recomienda o se requiere n mayor de 10 (ver numeral B.8.1 y B.8.2). Por ejemplo cuando se caracterizan instrumentos o patrones, o se hacen mediciones o calibraciones de alta exactitud.
- ✦ Para determinar el impacto que tiene n en la incertidumbre expandida hay que estimar su influencia en el número de grados efectivos de libertad (ver numeral B.8.2).

Otras fuentes de incertidumbre que se evalúan con este método son la reproducibilidad y las obtenidas al hacer una regresión lineal.

B.5.2 Evaluación tipo B

Las fuentes de incertidumbre tipo B son cuantificadas usando información externa u obtenida por experiencia. Estas fuentes de información pueden ser:

- ✦ Certificados de calibración.
- ✦ Manuales del instrumento de medición, especificaciones del instrumento.
- ✦ Normas o literatura.
- ✦ Valores de mediciones anteriores.
- ✦ Conocimiento sobre las características o el comportamiento del sistema de medición.

B.5.3 Distribuciones de probabilidad

La cuantificación de una fuente de incertidumbre incluye la asignación de un valor y la determinación de la distribución a la cual se refiere este valor. Las distribuciones que aparecen más frecuentemente son:

a) Distribución normal

Los resultados de una medición repetida afectada por una o más magnitudes de influencia que varían aleatoriamente, generalmente siguen en buena aproximación una distribución normal. También la incertidumbre indicada en certificados de calibración se refiere generalmente a una distribución normal.

b) Distribución rectangular:

En una distribución rectangular cada valor en un intervalo dado tiene la misma probabilidad, o sea la función de densidad de probabilidad es constante en este intervalo. Ejemplos típicos son la resolución de un instrumento digital o la información técnica sobre tolerancias de un instrumento. En general, cuando exclusivamente hay conocimiento de los límites superior e inferior del intervalo de variabilidad de la magnitud de entrada, lo más conservador es suponer una distribución rectangular.

c) Distribución triangular:

Si además del conocimiento de los límites superior e inferior hay evidencia de que la probabilidad es más alta para valores en el centro del intervalo y se reduce hacia los límites, puede ser más adecuado basar la estimación de la incertidumbre en una distribución triangular.

d) Otras distribuciones

Pueden encontrarse también distribuciones como la U, en la cual los extremos del intervalo presentan los valores con probabilidad máxima, típicamente cuando hay comportamientos oscilatorios subyacentes. También se encuentran distribuciones triangulares con el valor máximo en un extremo como en las asociadas a “errores de coseno”.

B.6 REDUCCIÓN

Antes de comparar y combinar contribuciones de la incertidumbre que tienen distribuciones diferentes, es necesario representar los valores de las incertidumbres originales como incertidumbres estándar. Para ello se determina la desviación estándar de la distribución asignada a cada fuente.

a) *Distribución normal:*

La desviación estándar experimental de la media calculada a partir de los resultados de una medición repetida según la ecuación 4 ya representa la incertidumbre estándar.

Cuando se dispone de valores de una incertidumbre expandida U , como los presentados por ejemplo en certificados de calibración, se divide U entre el factor de cobertura k , obtenido ya sea directamente o a partir de un nivel de confianza dado:

$$u(x_i) = \frac{U}{k} \quad \text{Ecuación 41}$$

b) *Distribución rectangular:*

Si la magnitud de entrada X_i tiene una distribución rectangular con el límite superior a_+ y el límite inferior a_- , el mejor estimado para el valor de X_i está dado por:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2} \quad \text{Ecuación 42}$$

y la incertidumbre estándar se calcula por:

$$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{12}} \quad \text{Ecuación 43}$$

o por

$$u(x_i) = \frac{a/2}{\sqrt{3}} \quad \text{Ecuación 44}$$

donde $a/2$ es el semiancho del intervalo a con

$$a = a_+ - a_- \quad \text{Ecuación 45}$$

Una aplicación típica es la resolución de un instrumento digital. También la incertidumbre relacionada con el número finito de cifras significativas de datos

tomados de la literatura puede ser tratada con esta distribución (siempre y cuando no haya indicios que la incertidumbre en realidad es mayor que la incertidumbre relacionada con la última cifra significativa). Si se aplica a la resolución o a datos tomados de la literatura, a corresponde al último dígito significativo o a la última cifra significativa respectivamente.

c) Distribución triangular:

Como en una distribución rectangular, para una magnitud de entrada X_i que tiene una distribución triangular con los límites a_+ y a_- , el mejor estimado para el valor de X_i está dado por:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2} \quad \text{Ecuación 46}$$

La incertidumbre estándar se calcula en este caso por:

$$u(x_i) = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{24}} = \frac{a/2}{\sqrt{6}} \quad \text{Ecuación 47}$$

Con a definido por la ecuación 10.

B.7 COMBINACIÓN

El resultado de la combinación de las contribuciones de todas las fuentes es la incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$, la cual contiene toda la información esencial sobre la incertidumbre del mensurando Y .

La contribución $u_i(y)$ de cada fuente a la incertidumbre combinada depende de la incertidumbre estándar $u(x_i)$ de la propia fuente y del impacto de la fuente sobre el mensurando. Es posible encontrar que una pequeña variación de alguna de las magnitudes de influencia tenga un impacto importante en el mensurando, y viceversa. Se determina $u_i(y)$ por el producto de $u(x_i)$ y su coeficiente de sensibilidad c_i (o factor de sensibilidad):

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$$

B.7.1 Coeficiente de sensibilidad

El coeficiente de sensibilidad describe, qué tan sensible es el mensurando con respecto a variaciones de la magnitud de entrada correspondiente. Para su determinación existen dos métodos:

a) Determinación a partir de una relación funcional

Si el modelo matemático para el mensurando $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ describe la influencia de la magnitud de entrada X_i suficientemente bien mediante una relación funcional, el coeficiente de sensibilidad c_i se calcula por la derivada parcial de f con respecto a X_i :

$$c_i = \left. \frac{\partial f(X_1, \dots, X_N)}{\partial X_i} \right|_{X_1 = x_1 \dots X_N = x_N} \quad \text{Ecuación 49}$$

b) Otros métodos de determinación:

Si la influencia de la magnitud de entrada X_i en el mensurando Y no está representada por una relación funcional, se determina el coeficiente de sensibilidad c_i por una estimación del impacto de una variación de X_i en Y según:

$$c_i = \frac{\Delta Y}{\Delta X_i} \quad \text{Ecuación 50}$$

Esto es, manteniendo constantes las demás magnitudes de entrada, se determina el cambio de Y producido por un cambio en X_i por una medición o a partir de la información disponible (como una gráfica o una tabla).

B.7.2 Propagación de la incertidumbre para magnitudes de entrada no correlacionadas

En el caso de magnitudes de entrada no correlacionadas, la incertidumbre combinada $u_c(y)$ se calcula por la suma geométrica de las contribuciones particulares:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$$

Ecuación 51

Considerando (13) y (14) resulta finalmente:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot u(x_i) \right]^2}$$

Ecuación

La regla presentada en ecuación 17 es llamada *ley de propagación de incertidumbre*. Note que la última expresión en esta ecuación se aplica cuando se dispone de la relación funcional entre Y y {X_i}.

B.8 INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

La forma de expresar la incertidumbre como parte de los resultados de la medición depende de la conveniencia del usuario. A veces se comunica simplemente como la incertidumbre estándar combinada, otras ocasiones como un cierto número de veces tal incertidumbre, algunos casos requieren se exprese en términos de un nivel de confianza dado, etc. En cualquier caso, es indispensable comunicar sin ambigüedades la manera en que la incertidumbre está expresada.

B.8.1 Factor de cobertura y nivel de confianza

La incertidumbre estándar u_c representa un intervalo centrado en el mejor estimado del mensurando que contiene el valor verdadero con una probabilidad p de 68% aproximadamente, bajo la suposición de que los posibles valores del mensurando siguen una distribución normal.

Generalmente se desea una probabilidad mayor, lo que se obtiene expandiendo el intervalo de incertidumbre por un factor k , llamado factor de cobertura. El resultado se llama incertidumbre expandida U

$$U = k \cdot u_c \quad \text{Ecuación 53}$$

La incertidumbre expandida U indica entonces un intervalo que representa una fracción p de los valores que puede probablemente tomar el mensurando. El valor de p es llamado el nivel de confianza y puede ser elegido a conveniencia.

En el medio industrial, a menudo se elige el nivel de confianza de manera tal que corresponda a un factor de cobertura como un número entero de desviaciones estándar en una distribución normal.

Cuando es necesaria una estimación más rigurosa de la incertidumbre expandida se consideran las secciones B.8.2 hasta B.8.4; cuando no son necesarias estimaciones muy rigurosas de la incertidumbre, como en mediciones de baja exactitud, entonces es suficiente seguir con la sección B.8.4.

B.8.2 Distribución t de Student

Frecuentemente, los valores del mensurando siguen una distribución normal. Sin embargo, el mejor estimado del mensurando, la media (obtenida por muestreos de n mediciones repetidas) dividida entre su desviación estándar, sigue una distribución llamada t de Student, la cual refleja las limitaciones de la información disponible debidas al número finito de mediciones. Esta distribución coincide con la distribución normal en el límite cuando n tiende a infinito, pero difiere considerablemente de ella cuando n es pequeño.

La distribución t de Student es caracterizada por un parámetro n llamado número de grados de libertad.

Considerando lo anterior, es necesario ampliar el intervalo correspondiente al nivel de confianza p , por lo que la ecuación 18 se transforma a

$$U = t_p(v) \cdot u_c \quad \text{Ecuación 54}$$

El factor $t_p(v)$ indica los límites del intervalo correspondiente al nivel de confianza p de la distribución y su valor siempre es mayor o igual que el factor k (tomado de la distribución normal). Sus valores se encuentran en tablas.

Cuando se combinan varias fuentes de incertidumbre con sus respectivas distribuciones para obtener la incertidumbre combinada u_c del mensurando, el Teorema del Límite Central permite aproximar la distribución resultante por una distribución normal. La aproximación será mejor mientras más grande sea el número de fuentes y sus contribuciones sean similares, independientemente de la forma particular de sus distribuciones.

Nuevamente, la disponibilidad limitada de información hace necesario el uso de la distribución t de Student para determinar la incertidumbre expandida de manera rigurosa (con la suposición de que los valores del mensurando obedecen una distribución normal). El número efectivo de grados de libertad v_{ef} para esta situación se discute en el numeral B.8.3.

Cuando sólo es relevante la contribución de una fuente cuya distribución no sea normal, lo más conveniente es estimar la incertidumbre expandida directamente de los parámetros de la distribución.

B.8.3 Grados de libertad

De cierta manera el número v de grados de libertad asociado a una distribución de una magnitud (X_i o Y) puede considerarse una medida de incertidumbre de la incertidumbre de esa magnitud. Entre mayor sea n la estimación de la incertidumbre será más confiable.

El número efectivo de grados de libertad v_{ef} del mensurando considera el número de grados de libertad v_j de cada fuente de incertidumbre.

En las incertidumbres tipo A, v_j depende directamente del número de datos considerados y disminuye conforme el número de parámetros estimados a partir de los mismos datos. La repetibilidad de una medición, estimada por la desviación estándar experimental de n lecturas tiene $n-1$ grados de libertad. Una regresión lineal de M puntos mediante una ecuación de m parámetros tiene $M-m$ grados de libertad.

La determinación del número de grados de libertad de una incertidumbre tipo B implica el criterio del metrologo soportado por su experiencia, aun cuando sea subjetiva, para determinar la incertidumbre relativa de la propia incertidumbre, y calcular el número de grados de libertad para esa fuente específica i .

$$v_i \approx \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{u(x_i)}{\Delta u(x_i)} \right]^2 \quad \text{Ecuación 55}$$

La cantidad $\Delta u(x_i)$ es una estimación de la incertidumbre de la incertidumbre $u(x_i)$ de la fuente i cuantificada por el metrologo. Es recomendable aproximar el resultado del cálculo con la ecuación anterior al entero cercano más bajo.

Siguiendo, el número efectivo de grados de libertad se calcula según la ecuación de Welch-Satterthwaite, aun cuando existan observaciones sobre su validez merecedoras de atención, la cual puede escribirse en términos de la relación entre la contribución de la fuente i y la incertidumbre combinada como:

$$\frac{1}{v_{ef}} = \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{u_i(y)}{u_c(y)} \right)^4}{v_i} \quad \text{Ecuación 56}$$

Si el valor de v_{ef} resultante no es entero, generalmente se considera v_{ef} como el entero menor más próximo.

Un análisis de la ecuación anterior muestra el dominio de las fuentes con pocos grados de libertad en el cálculo de v_{ef} , sobre todo de aquellas cuyas contribuciones son grandes a la incertidumbre combinada. De hecho una fuente cuya contribución es alta y con pocos grados de libertad, es determinante del valor de v_{ef} .

B.8.4 Incertidumbre expandida

Resumiendo, de manera rigurosa la incertidumbre expandida se calcula de acuerdo a la ecuación 19 como:

$$U = u_c \cdot t_p(v_{ef})$$

donde $t_p(v_{ef})$ es el factor derivado de la distribución t de Student a un nivel de confianza p y v_{ef} grados de libertad y obtenido de tablas [1]. Comparando la ecuación 18 con la ecuación 19, es evidente que el factor de cobertura k de la ecuación 18 corresponde al valor de $t_p(v_{ef})$.

Frecuentemente, cuando n_{ef} es suficientemente grande, no se encuentra diferencia significativa en los resultados numéricos obtenidos con la ecuación 18 para un p dado de aquéllos obtenidos con la ecuación 17 tomando k de la distribución normal para el mismo p. Una buena práctica es realizar el cálculo riguroso con la ecuación 18 y entonces decidir sobre la conveniencia de usar simplemente la ecuación 17.

B.8.5 Expresión de la incertidumbre

Es difícil asegurar un valor preciso de la incertidumbre debido a las múltiples aproximaciones realizadas durante su estimación. Por ello, generalmente los valores de $t_p(v_{ef})$ para $p = 95\%$ se aproximan por los que corresponden a $t_p(v_{ef})$ para $p = 95,45\%$ con el fin de obtener un valor de $k = 2,00$ en el límite de una distribución normal.

Los valores de $t_p(v_{ef})$ para $p = 95,45\%$ se muestran en la siguiente tabla :

Tabla B-1 Grados de libertad

v	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	50	100	∞
$t_p(v_{ef})$	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,32	2,28	2,13	2,05	2,025	2,000

La expresión de la incertidumbre expandida U incluye su indicación como un intervalo centrado en el mejor estimado y del mensurando, la afirmación de que p es del 95% (o el valor elegido) aproximadamente y el número efectivo de grados de libertad, cuando sea requerido. Una manera de expresar el resultado de la medición es

$$Y = y \pm U \quad 9$$

Ecuación 57

El número de cifras significativas en la expresión de la incertidumbre es generalmente uno, o dos cuando la exactitud es alta (si la primera cifra significativa es uno o dos, cabe la posibilidad de usar un dígito más para evitar la pérdida de información útil). Además debe asegurarse que el número de cifras significativas del valor del mensurando sea consistente con el de la incertidumbre.

APÉNDICE C. DEDUCCIÓN DEL MÉTODO APROXIMADO EMPLEADO EN LA DETERMINACIÓN DEL % DE ERROR

Símbolos utilizados en las fórmulas:

V_G = Volumen en m^3 indicado por el medidor bajo calibración

V = Volumen en m^3 que realmente paso a través del medidor bajo calibración

V_N = Volumen en m^3 indicado por el patrón

V' = Volumen en m^3 que realmente paso a través del patrón

z = Factor de estado

p = Presión absoluta, expresada en mbar

Δp = Diferencia de presión entre el patrón y el medidor bajo calibración, expresada en mbar

T = Temperatura Termodinámica en K

$\Delta \vartheta$ = Diferencia de temperatura entre el patrón y el medidor bajo calibración

m = Masa de gas expresada en kg

R = Constante específica del gas relativa a la masa, en $J / (kg \cdot K)$

f_r = Error sin corrección del medidor bajo calibración, en %

f_N = Error relativo del patrón, en %

f_G = Error relativo del contado bajo ensayo

Según la definición, el % de error sin corrección del medidor bajo ensayo esta expresado por:

$$f_r = \frac{V_G - V_N}{V_N} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 58}$$

o bien

$$\frac{f_r}{100} = \frac{V_G}{V_N} - 1 \quad \text{Ecuación 59}$$

y el error conocido del patrón esta dado por:

$$f_N = \frac{V_N - V'}{V'} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 60}$$

O bien,

$$\frac{f_N}{100} = \frac{V_N}{V'} - 1 \quad \text{Ecuación 61}$$

A efectos de poder comparar los volúmenes que han pasado a través del patrón y el medidor bajo calibración, se debe convertir los valores al mismo estado termodinámico con ayuda del factor de estado z.

Sea

$$z = \frac{V'}{V} \quad \text{Ecuación 62}$$

El error del contador de gas, según su definición es:

$$f_G = \frac{V_G - V}{V} \cdot 100\% \quad \text{Ecuación 63}$$

o bien

$$\frac{f_G}{100} = \frac{V_G}{V} - 1 \quad \text{Ecuación 64}$$

y luego de introducir las relaciones (2), (4) y (5)

$$\frac{f_G}{100} = \left[\left(1 + \frac{f_r}{100} \right) \left(1 + \frac{f_N}{100} \right) \cdot z \right] - 1 \quad \text{Ecuación 65}$$

El factor de estado z se calcula a partir de la ecuación de estado para un gas ideal.

Para el estado correspondiente al patrón:

$$p_N \cdot V' = m \cdot R \cdot T_N \quad \text{Ecuación 66}$$

Para el correspondiente al contador bajo ensayo:

$$p_G \cdot V = m \cdot R \cdot T_G \quad \text{Ecuación 67}$$

Al efectuar la conversión del volumen real V' del estado correspondiente del patrón, al estado correspondiente al medidor bajo calibración, no solo la constante individual del gas permanece constante sino también la masa. La presión y la temperatura pueden variar. A partir de ambas ecuaciones de estado se obtiene el factor de estado.

$$z = \frac{V'}{V} = \frac{p_G}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_G} \quad \text{Ecuación 68}$$

Dado que las diferencias de presión y la diferencia de temperatura entre el patrón y el medidor son por regla general menores que 0.01 de p_N o de T , se puede desarrollar una fórmula aproximada para el factor de estado, permaneciendo por debajo de 0.1% el error originado por esta aproximación.

$$p_G = p_N + \Delta p \quad \text{Ecuación 69}$$

$$T_G = T_N + \Delta\mathcal{G} \quad \text{Ecuación 70}$$

se obtiene como expresión del factor de estado z

$$z = \frac{p_N + \Delta p}{p_N} \cdot \frac{T_N}{T_N - \Delta\mathcal{G}} = \left(1 + \frac{\Delta p}{p_N}\right) \cdot \left(1 - \frac{\Delta\mathcal{G}}{T_N}\right) \quad \text{Ecuación 71}$$

Dividiendo e interrumpiendo la serie después del término cuadrático se obtiene:

$$z = 1 + \frac{\Delta p}{p_N} + \frac{\Delta\mathcal{G} \cdot \Delta p}{T_N \cdot p_N} + \frac{\Delta\mathcal{G}^2}{T_N^2} + \dots \quad \text{Ecuación 72}$$

Introduciendo en la ecuación (8) y multiplicando, después de aproximar las variables resulta la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{f_G}{100} &= \left[\left(1 + \frac{f_r}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{f_N}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{\Delta p}{p_N} + \frac{\Delta\mathcal{G}}{T_N} + \frac{\Delta\mathcal{G} \cdot \Delta p}{T_N \cdot p_N} + \frac{\Delta\mathcal{G}^2}{T_N^2}\right) \right] - 1 \\ \frac{f_G}{100} &= \frac{f_r}{100} + \frac{f_N}{100} + \frac{\Delta p}{p_N} + \frac{\Delta\mathcal{G}}{T_N} + \frac{f_r \cdot f_N}{100 \cdot 100} + \frac{f_r \cdot \Delta p}{100 \cdot p_N} + \frac{f_N \cdot \Delta p}{100 \cdot p_N} + \frac{f_r \cdot \Delta\mathcal{G}}{100 \cdot T_N} + \frac{\Delta p \cdot \Delta\mathcal{G}}{p_N \cdot T_N} + \frac{\Delta\mathcal{G}^2}{T_N^2} + \\ &+ \frac{f_r \cdot f_N \cdot \Delta p}{100 \cdot 100 \cdot p_N} + \frac{f_r \cdot f_N \cdot \Delta\mathcal{G}}{100 \cdot 100 \cdot T_N} + \frac{f_r \cdot \Delta p \cdot \Delta\mathcal{G}}{100 \cdot p_N \cdot T_N} + \frac{f_r \cdot \Delta\mathcal{G}^2}{100 \cdot T_N^2} + \frac{f_N \cdot \Delta\mathcal{G}^2}{100 \cdot T_N^2} + \frac{f_r \cdot f_N \cdot \Delta p \cdot \Delta\mathcal{G}}{100 \cdot 100 \cdot p_N \cdot T_N} + \\ &+ \frac{f_r \cdot f_N \cdot \Delta\mathcal{G}^2}{100 \cdot 100 \cdot T_N^2} + \dots \quad \text{Ecuación 73} \end{aligned}$$

La cantidad de términos de tercer grado no es completa, ya que al dividir por z fue interrumpida después del término cuadrático. Usualmente el cálculo del error se interrumpe después de los términos lineales.

Cuando las diferencias de presión o temperatura son muy altas, hasta 7 términos cuadráticos pueden ser de importancia. Cuando se incluye los términos cuadráticos, el método se torna sustancialmente más complicado que si se aplica la ley de los gases ideales.

Bajo condiciones de calibración normales, esto es para $p_N \approx 1000$ mbar y $\vartheta_N \approx 20^\circ C$, se puede dar las fórmulas de cálculo que se describe a continuación.

De la conversión de las ecuaciones (12) y (13) resulta:

$$\Delta p = p_G + p_N \quad \text{y} \quad \Delta \vartheta = T_N - T_G = \vartheta_N - \vartheta_G$$

Para la primera corrección de presión se obtiene:

$$k_{p1} = \frac{1}{p_N} \cdot (p_G - p_N) \quad \text{Ecuación 74}$$

y para $p_N \approx 1000$ mbar:

$$k_p = 0.1 \cdot (p_G - p_N) \quad \text{Ecuación 75}$$

p_G y p_N se deben expresar en mbar

Para la primera corrección de temperatura se obtiene:

$$k_{\vartheta 1} = \frac{1}{T_N} (\vartheta_N - \vartheta_G) \quad \text{Ecuación 76}$$

y para $T_N = 293.15$ K:

$$k_j \approx 0.34(J_N - J_G)\% \quad \text{Ecuación 77}$$

J_N y J_G se deben expresar en °C

Con los términos de primer orden a partir de la ecuación (16), se obtiene entonces la siguiente fórmula de evaluación simple:

$$f_G = f_r + f_N + k_p + k_g \quad \text{Ecuación 78}$$

Como se puede ver de los términos de segundo orden en la ecuación (16), para la aplicación de este método se requiere que el error del patrón sea pequeño. Además, para errores sin correcciones mayores del medidor bajo calibración se requiere de una segunda corrección, la cual se indica como sigue, para la segunda corrección por presión:

$$k_{p2} = \frac{f_r}{100} \cdot k_{p1} \quad \text{Ecuación 79}$$

y para la segunda corrección por temperatura:

$$k_{g2} = \frac{f_r}{100} \cdot k_{g1} \quad \text{Ecuación 80}$$

Incluyendo esta segunda corrección, se puede escribir entonces la siguiente relación simplificada para el error ajustar el medidor bajo calibración:

$$f_G \approx f_r + f_N + k_p + k_g + \frac{f_r}{100}(k_p + k_g) \quad \text{Ecuación 81}$$

APÉNDICE A. GENERALIDADES SOBRE LOS GASODOMÉSTICOS

Los gasodomésticos pueden ser de dos tipos:

- ✓ Artefactos para la cocción de alimentos (cocinas)
- ✓ Calentadores tipo acumuladores y de paso continuo

D.1 ARTEFACTOS PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS

Los equipos de cocción, tales como estufas, hornos, parrillas y gratinadores, son aparatos diseñados para integrarse al ambiente de la cocina, por tal motivo deben ser resistentes a los impactos moderados, a la corrosión y por supuesto al uso continuo. Hoy día, se hace especial énfasis en los modelos de estufas, ofreciendo a los clientes modelos de diversos colores y formas que se adaptan a ambientes de múltiples decoraciones.

D.1.1 Generalidades sobre su funcionamiento

Una cocina es un artefacto para cocción que comprende: una mesa de trabajo, uno o más hornos con o sin termostato, posiblemente con gratinador. Las partes que conforman una cocina se pueden apreciar en la figura D.1 y una descripción breve de cada una de ellas en la tabla D.1.

Un equipo de cocción posee sobre su mesa de trabajo uno o varios quemadores, los cuales están conectados cada uno a una válvula de control de flujo de gas. En la medida que se opera dicha válvula, por intermedio de la perilla de control, se suministra gas al quemador. Este gas pasa a través de un venturi, la caída de presión originada, succiona aire del ambiente el cual se mezcla con el gas antes de llegar al quemador, esta operación se denomina premezcla o mezcla primaria, posteriormente, al contacto con la llama de un piloto o la chispa de un piezoeléctrico inicia la combustión y el aire necesario para realizar la combustión completa se toma directamente del ambiente, este aire se denomina aire secundario. En la figura D.2. se puede observar un detalle del conjunto.

Figura D.40. Partes de una cocina

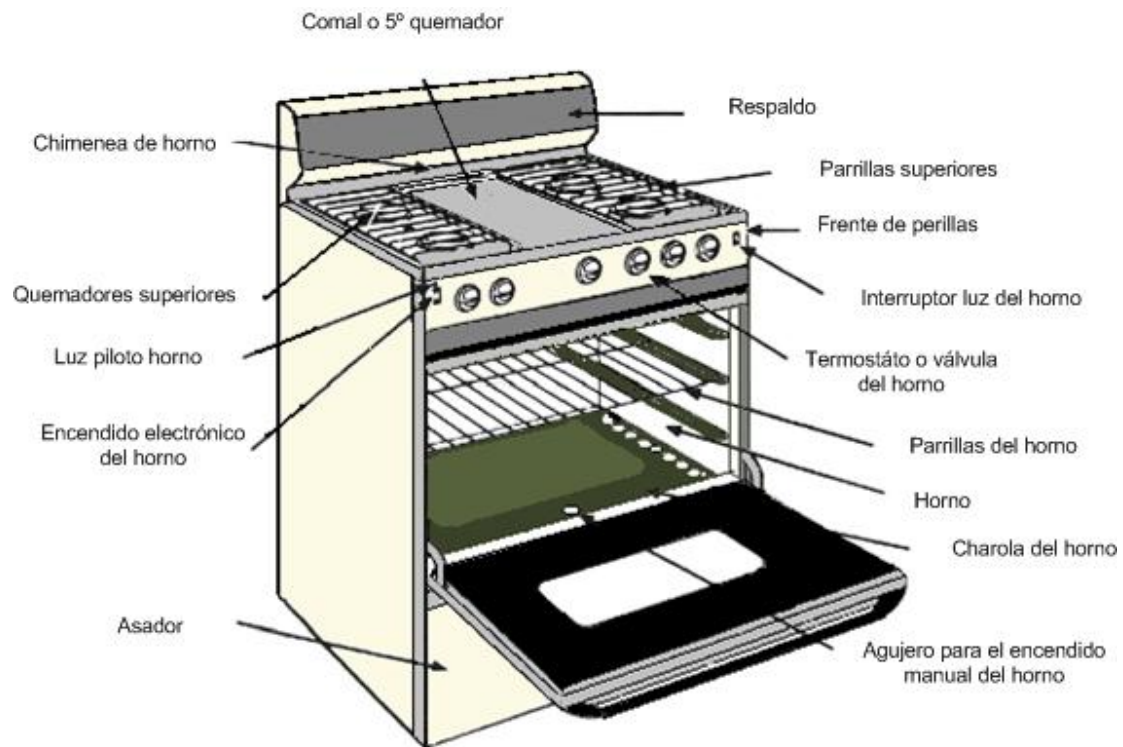


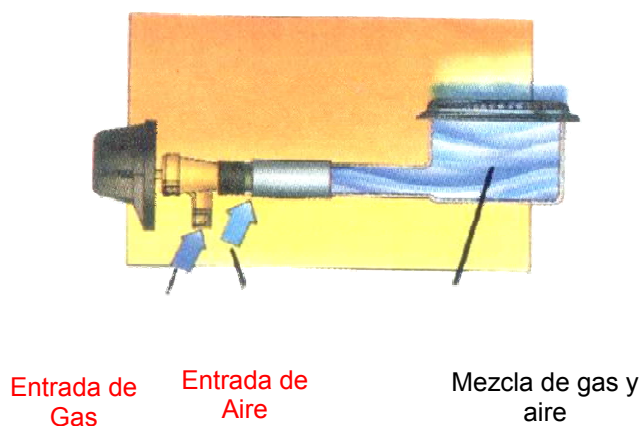
Tabla D-53. Componentes de un equipo de cocción

Componente	Descripción
	<p>Dispositivos que efectúan la mezcla gas y aire en la proporción adecuada y que garantizan la combustión del gas. Popularmente se les conoce con el nombre de fogones. Pueden ser de uno de los siguientes tipos:</p>
<p>Quemadores</p>	<p>No aireados: En los que el aire para combustión se toma completamente en la salida del quemador.</p>
	<p>Aireados: En los que el aire primario se induce por el flujo de gas y se mezcla con gas antes de la salida del quemador. El aire secundario se toma después de la salida del quemador. Estos quemadores constan</p>

	de los siguientes componentes: inyector de gas, un cuerpo que forma el tubo de mezcla, una cabeza equipada con puertos para la mezcla aire-gas.
Quemadores de ignición	Quemadores pequeños, cuya llama está prevista para encender un quemador principal.
Piloto	Quemador de ignición controlado independientemente de los quemadores principales.
Inyector	Este componente admite la entrada del gas en el quemador, hay dos tipos de inyectores: - Calibrados: En los que el tamaño del orificio es fijo. - Ajustables: En los que el tamaño del orificio de salida es variable.
Dispositivos de ignición	Dispositivos para encender 2 o más quemadores directa o indirectamente, pueden ser: -Un medio eléctrico (resistencia, chispa, etc.) -Un medio térmico (llama, piloto, etc.)
Ajustador primario de aire	Dispositivo que permite fijar en un valor predeterminado la aireación primaria de un quemador, de acuerdo con las condiciones de suministro.
Ajustador de la tasa de flujo de gas	Dispositivo que permite fijar la tasa de flujo de gas de un quemador a un valor predeterminado de acuerdo con las condiciones de suministro. Este ajuste puede ser continuo (con tornillos de ajuste) o discontinuo (cambio de orificios calibrados)
Regulador	Dispositivo que mantiene una presión sensiblemente constante aguas abajo cuando la presión aguas arriba y la tasa de flujo de gas varía dentro de un rango de valores dados.
Válvula	Dispositivo para mantener el suministro de gas a un quemador y posiblemente ajustar su tasa de flujo de gas durante el uso.
Termostato	Dispositivo para mantener automáticamente una temperatura dentro de determinados límites. Generalmente incluye una escala graduada para seleccionar la temperatura de cocción dependiendo de lo que se vaya a cocinar.

Perilla de control	Parte destinada para ser operada manualmente con el fin de accionar un dispositivo de control, como un válvula, distribuidor rotativo, termostato, etc.
Mesa de trabajo	Parte de un artefacto para cocción que comprende uno o varios quemadores cubiertos o no cubiertos, y/o una o varias placas eléctricas para cocción, y posiblemente una plancha asadora.
Soporte para los recipientes	Soporte colocado encima de un quemador de mesa de trabajo no cubierto, que sostiene el recipiente que se va a calentar. Usualmente conocido como parrilla.
Plancha asadora	Parte de una mesa de trabajo que consta de una plancha situada por encima de un quemador que permite cocinar la comida por contacto directo con su superficie cuando se calienta a alta temperatura.
Horno	Compartimiento cerrado para preparar asados, repostería, etc.
Gratinador	Artefacto o parte de el que permite cocinar por el calor que irradia una superficie que se eleva a una temperatura alta.

Figura D.2. Funcionamiento del conjunto Válvula – Inyector – Mezclador – Quemador

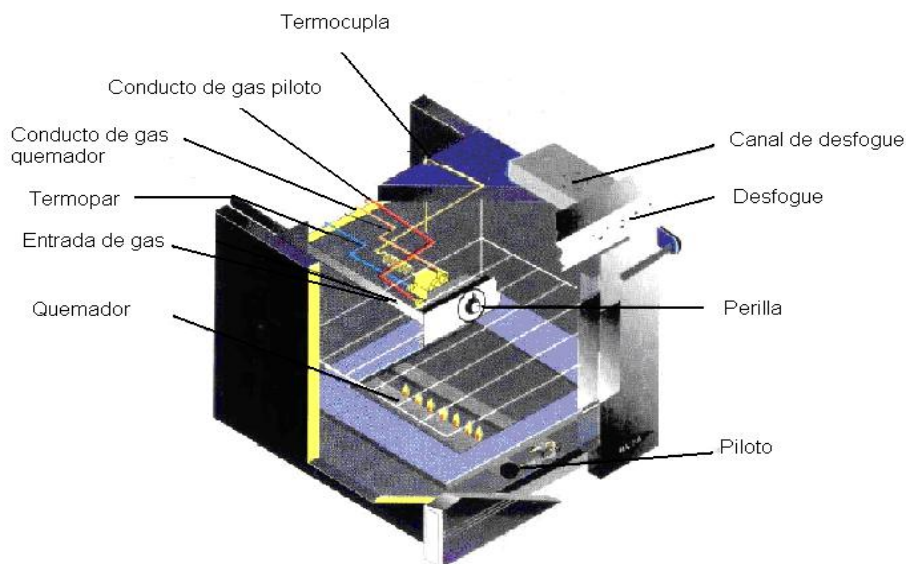


El calor generado por los quemadores puede ser aprovechado de diversas formas, cada una se caracteriza por los medios de transferencia de calor empleados. En el caso de un fogón, la transferencia de calor se realiza en su mayor parte por conducción y convección

entre la parrilla, los productos de la combustión y el recipiente, además, se presenta en menor proporción transferencia por radiación de la llama.

Por otra parte, en un horno, la transferencia de calor se realiza por un equilibrio entre la fracción transmitida por convección y la de radiación. La conducción aporta un mínimo de calor en el porcentaje total. Ver figura D.3.

Figura D.3. Funcionamiento y partes del horno



El gratinador se instala en la parte inferior de los equipos de cocción, se conoce también como asador, en éste la transferencia de calor es predominantemente por la radiación emitida por las placas metálicas que rodean el compartimiento donde se coloca el alimento.

D.1.2 Clasificación de los artefactos para la cocción de alimentos

Los artefactos se clasifican de dos maneras a saber:

- En Categorías definidas de acuerdo con los gases y presiones para los que estén diseñados.
 - En clases, según la forma de su estructura.
- ✓ **Categoría de los Artefactos.** Existen tres grandes categorías que pueden abarcar diversas variaciones. Ver tabla D-2.

Tabla D-2. Categorías de los gasodomésticos⁴⁰

Categoría I	Los artefactos de la categoría I se diseñan exclusivamente para gas de una sola familia o de un solo grupo.
Categoría II	Artefactos diseñados para uso con gases de dos familias.
Categoría III	Los artefactos de la categoría III están diseñados para uso con gases de las tres familias.

En Colombia únicamente se comercializan gases de la segunda familia del grupo H y gases de la tercera familia. En la tabla D-3 pueden apreciarse las categorías aplicables en Colombia.

Tabla D-3. Categorías aplicables en Colombia

Categoría I	I2H	Artefactos diseñados para utilizar únicamente gases del grupo H de la segunda familia (gas natural)
	I3	Artefactos diseñados para emplear todos los gases de la tercera familia (GLP)
Categoría II	II2H3	Artefactos susceptibles de emplear gases del grupo H de la segunda familia (gas natural) o bien todos los gases de la tercera familia.

⁴⁰ Fuente: Norma Técnica Colombiana NTC 3527 “Definiciones: Reglas comunes aplicables de artefactos para uso doméstico y comercial que emplean gases combustibles “ para las tablas 22 y 23.

- ✓ **Clases de Artefactos.** Los gasodomésticos para la cocción se clasifican en primer lugar por su estructura (Ver figura D-4), de esta manera los gasodomésticos pueden dividirse en los siguientes grupos:

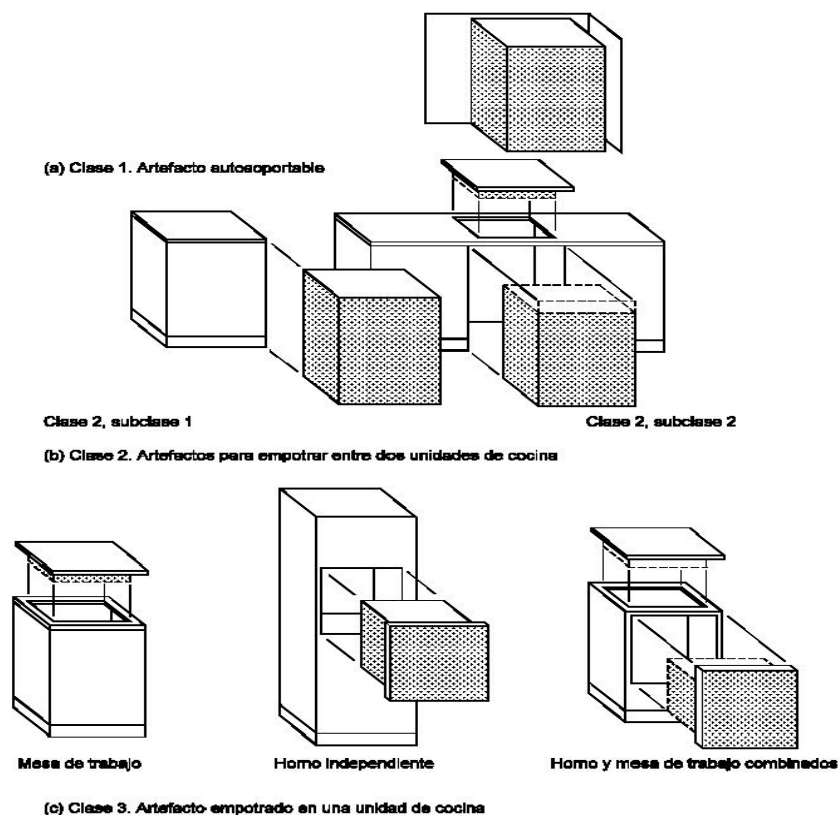
Figura D.4. Diversas configuraciones de equipos de cocción.



Arriba a la izquierda equipo completo autosoportable; arriba a la derecha mesa de trabajo empotrable; abajo a la izquierda mesa de trabajo autosoportable; abajo a la derecha horno

- ❖ Clase I: artefactos autosoportables
- ❖ Clase II: Artefactos para ubicar en medio de dos unidades de muebles.
 - Clase II-subclase I: Artefactos de clase II que se construyen para instalar en una unidad completa pero que también se pueden instalar de forma que las paredes laterales sean accesibles.
 - Clase II-Subclase II: Artefactos de clase II que constan de uno o más hornos u hornos /gratinadores colocados bajo un módulo de cocina y, posiblemente, de una mesa de trabajo empotrada dentro de dicho módulo.
- ❖ Clase III: Artefactos para empotrar dentro de un módulo de cocina o mesón.

Figura D.5. Clase de Artefactos para la Cocción de Alimentos



D.1.3 Gases de referencia y límite

Los quemadores se ensayan con los gases indicados en la Tabla D-4, de acuerdo con la categoría del artefacto, solamente para las categorías de artefactos comercializados en Colombia.

Tabla D-4. Gases de ensayo correspondientes a las categorías de los artefactos comercializados en Colombia.

Categoría	Gas de referencia	Gas límite de combustión incompleta	Gas límite de retroceso de la llama	Gas límite de elevación de la llama	Gas límite de hollín
I _{2H}	G20	G21	G222	G23	G21
I _{3B/P} , I ₃₊	G30	G30	G32	G31	G30
II _{2H3B/P}	G20, G30	G21, G30	G222, G32	G23, G31	G21, G30

Nota: Los ensayos con gases de límite se realizan con el inyector y ajuste correspondiente al gas de referencia del grupo al que pertenece el gas límite utilizado.

Las composiciones y características principales de los gases de ensayo relacionados en la Tabla D-4, se indican en la Tabla D-5. Los valores reportados en la Tabla D-5, medidos y expresados a 15 °C, resultan de la aplicación de la norma ISO/DIS 6976:1992, como se referencia en la norma NTC 2832-1, numeral 7.1.1.1.

Tabla D-5. Características de los gases secos de ensayo, a 15 °C y 1013.25 mbar

Familias y grupos de gases	Gas de ensayo	Composición por volumen %	Wi MJ/m ³	Hi MJ/m ³	Ws MJ/m ³	Hs MJ/m ³	d
Gases de la segunda familia							
Grupo H	G20	CH ₄ = 100	45.67	34.02	50.72	37.78	0.555
	G21	CH ₄ = 87 C ₃ H ₈ = 13	49.60	41.01	54.76	45.28	0.684
	G222	CH ₄ = 77 H ₂ = 23	42.87	28.53	47.87	31.86	0.443
	G23	CH ₄ = 92.5 N ₂ = 7.5	41.11	31.46	45.66	34.95	0.586
Gases de la tercera familia							
Tercera familia y grupo B/P	G30	n-C ₄ H ₁₀ = 50 i-C ₄ H ₁₀ = 50	80.58	116.09	87.33	125.81	2.075
	G31	C ₃ H ₈ = 100	70.69	88.00	76.84	95.65	1.550
	G32	C ₃ H ₆ = 100	68.14	82.78	72.86	88.52	1.476
Notas:							
<ol style="list-style-type: none"> 1. El número de Wobbe del gas utilizado debe estar dentro de ± 2% del valor indicado en la Tabla 2 para el correspondiente gas de ensayo (esta tolerancia incluye el aporte del equipo de medición). 2. Para el G30, en caso de no poder la mezcla indicada, se puede emplear butano que cumpla los requisitos de número de Wobbe y poder calorífico especificados en la Tabla 2. 							

Para facilitar ciertos ensayos, los gases de referencia se pueden reemplazar por gases que normalmente se distribuyen, si cumplen los siguientes requisitos:

- Los gases que se vayan a usar para ensayos deben ser de la misma familia y grupo que el gas de referencia especificado.
- Los quemadores se ajustan al mismo consumo calorífico que con el correspondiente gas de referencia y la aireación primaria de los quemadores se debe ajustar para que sea lo más cercana a la que se obtiene con el correspondiente gas de referencia, bien

sea utilizando el ajustador de aireación o ajustando el suministro de presión y/o cambiando el inyector.

D.1.4 Presiones de ensayo

Las presiones de ensayo, es decir las presiones estáticas que se apliquen a la conexión de entrada del gas del artefacto en operación, se indican en la Tabla D-6.

Tabla D-6. Presiones de ensayo (valores en milibares)

Categoría del artefacto	Gas de ensayo	P _n	P _{min}	P _{max}
2 _H	G20, G21, G222, G23	20	17	25
3 _{B/P}	G30, G31, G32	29 ¹	25	35
¹ Los artefactos de esta categoría se pueden usar sin ajuste de las presiones de suministro especificadas de 28 mbar y 30 mbar.				

Antes de todos los ensayos que se deben realizar con el consumo calorífico nominal o uno especificado, y tomando en cuenta las condiciones de temperatura, las condiciones de presión atmosférica y de medición de volumen (medidor seco o no), debe garantizarse que la presión aguas arriba de los inyectores es tal que el consumo calorífico se puede obtener hasta dentro de $\pm 2\%$ (por medio de los ajustadores o del regulador de presión del artefacto si éste es ajustable, o con la presión de suministro del artefacto).

Si el laboratorio tiene que emplear una presión de suministro p'_n diferente de la presión normal de ensayo p_n para obtener una entrada nominal dentro de $\pm 2\%$, el ensayo que se lleve a cabo en los quemadores individualmente a las presiones mínimas y máximas de ensayo p_{min} y p_{max} , se debe realizar a presiones mínima y máxima corregidas p'_{min} y p'_{max} de manera que:

$$\frac{P'_n}{P_n} = \frac{P'_{min}}{P_{min}} = \frac{P'_{max}}{P_{max}}$$

Se deben realizar ensayos en varios quemadores funcionando simultáneamente a presiones de ensayo no corregidas.

D.1.5 Instalación para ensayos

El laboratorio de ensayos debe garantizar como mínimo las siguientes condiciones:

- Debe ser un local ventilado, exento de corrientes de aire (velocidad del aire inferior a 0.5 m/s)
- La temperatura ambiente para los ensayos debe ser 20 ± 5 °C.
- La humedad relativa del local no debe en ningún momento ocasionar condensaciones.
- Los aparatos quedarán protegidos de la radiación solar directa.
- La intensidad de la luz debe ser la adecuada para el buen desarrollo de las labores.
- El local debe estar aislado de ruido y vibraciones excesivas.

Para los artefactos de clase 1, a menos que se especifique lo contrario en numerales particulares, los ensayos se realizan con el artefacto ajustado a la altura más baja especificada por el fabricante y colocado en la instalación para ensayo como se describe a continuación (ver Figuras D.6. y D.7.)

Figura D.6. Instalación para ensayos

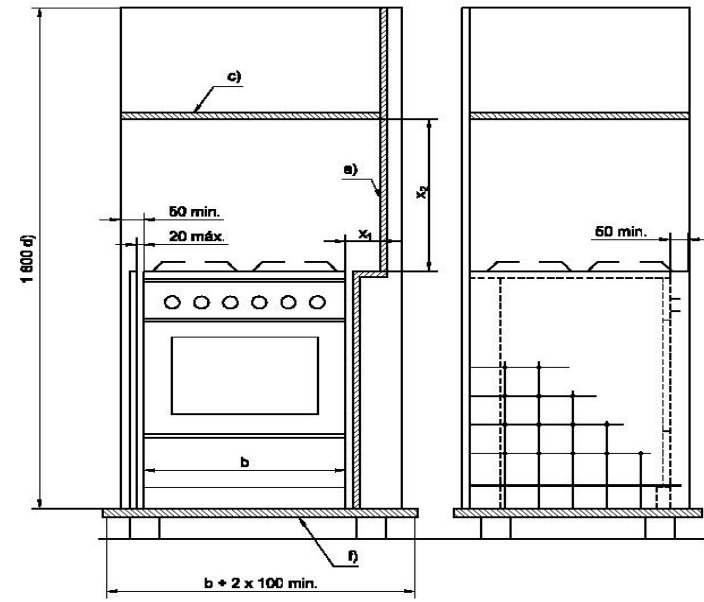
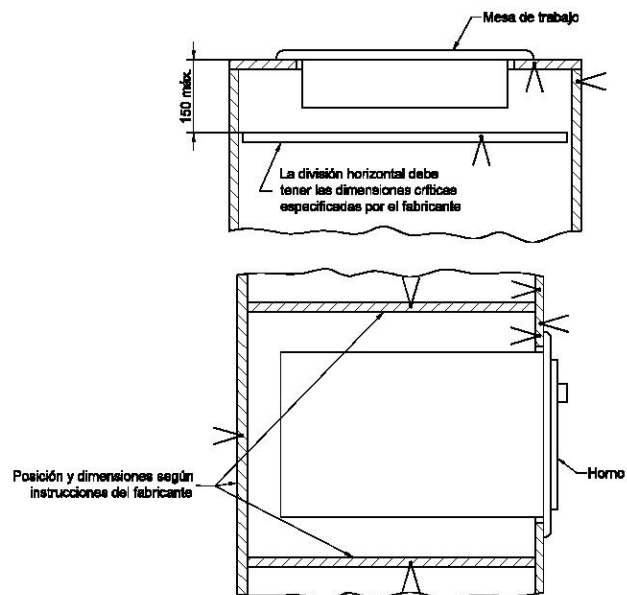


Figura D.7. Ejemplos de unidades de alojamiento para artefactos clase 3



Las instalaciones para el ensayo de otras clases de artefactos es similar a la descrita en el numeral anterior, las modificaciones que se realizan se describen en detalle en el Manual de procedimientos técnicos de ensayo del área de gasodoméstico, capítulo sobre generalidades, anexo 7.

D.2 CALENTADORES

D.2.1 Calentadores acumuladores

Un aparato de producción de agua caliente por acumulación, es aquel destinado a calentar y almacenar el agua contenida en un recipiente hasta alcanzar una temperatura determinada, estando el elemento de calentamiento incorporado en el recipiente.

Los calentadores a gas tipo acumulador surgen como alternativa a los tradicionales calentadores de acumulación eléctricos. El principio de acumulación se basa en confinar un volumen de agua definido en un recipiente; a dicho volumen se le transfiere calor mediante la combustión del gas, adicionalmente, un termostato controla que la temperatura del agua permanezca en el valor ajustado.

En estos artefactos, el usuario debe esperar un tiempo de calentamiento, hasta que el agua alcance la temperatura de ajuste del termostato, dicho tiempo varía según el volumen del calentador, la potencia de los quemadores y la eficiencia del diseño térmico.

Una vez el agua alcance la temperatura requerida, el agua caliente está lista para ser distribuida, el tanque de almacenamiento se encuentra presurizado de acuerdo con el valor de la acometida hidráulica de la instalación, a medida que se suministra agua caliente va entrando agua fría de reposición para mantener presurizado el sistema.

D.2.2 Componentes

A continuación se listan los componentes principales de un calentador de agua tipo acumulador, además, en la Figura D.8 pueden apreciarse en conjunto, relacionados entre sí.

- ⊕ Cuerpo externo.
- ⊕ Tanque interno.
- ⊕ Ánodo
- ⊕ Elementos calefactores
- ⊕ Termostato
- ⊕ Válvula de drenaje
- ⊕ Válvula de alivio
- ⊕ Material aislante
- ⊕ Tubo de inmersión
- ⊕ Controles
- ⊕ Elemento de encendido
- ⊕ Conexiones
- ⊕ Piloto
- ⊕ Accesorios

D.2.3 Categorías de artefactos

Los gasodomésticos, no solo los de cocción sino también los calentadores de agua se clasifican en categorías definidas de acuerdo con los gases y presiones para los que están diseñados.

Existen tres grandes categorías que pueden abarcar diversas variaciones, estas están condensadas en la Tabla D-7.

Figura D.8. Componentes de un calentador tipo acumulador



NOTA: Este modelo trae protección catódica integral.

Tabla D-7. Categorías de los gasodomésticos en Colombia

Categoría I	Los artefactos de la categoría I se diseñan exclusivamente para gas de una sola familia o de un solo grupo.
Categoría II	Artefactos diseñados para uso con gases de dos familias.
Categoría III	Los artefactos de la categoría III están diseñados para uso con gases de las tres familias.

En Colombia únicamente se comercializan gases de la segunda familia del grupo H y gases de la tercera familia, en el Cuadro 6 pueden apreciarse los gases que pueden obtenerse en Colombia para cada categoría.

Cuadro 6. Categorías aplicables en Colombia

CATEGORÍA I	13 I2H	Artefactos diseñados para utilizar únicamente gases del grupo H de la segunda familia (gas natural)
	I3	Artefactos diseñados para emplear todos los gases de la tercera familia (GLP)
CATEGORÍA II	II2H3	Artefactos susceptibles de emplear gases del grupo H de la segunda familia (gas natural) o bien todos los gases de la tercera familia.

D.3 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO CALORÍFICO

Con el valor de caudal suministrado por la cámara húmeda y el poder calorífico del gas de referencia se determina el consumo calorífico:

$$Q_n = 0.278 \cdot V_n \cdot H_s$$

Donde:

Q_n : se expresa en kilovatios

V_n : es la tasa de volumen de gas seco bajo las condiciones de referencia correspondiente al consumo calorífico nominal en metros cúbicos por hora

H_s : es el poder calorífico bruto del gas de referencia expresado en megajulios por metro cúbico. CALENTADORES de referencia, gas límite de retroceso de llama, gas límite de desprendimiento de llama según la categoría del artefacto.

D.4 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA

Para determinación la eficiencia η_u en porcentaje (%) se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\eta_u = \frac{mC_p\Delta T}{V_\eta H_i} \cdot 100\%$$

Donde:

m = Masa de agua recogida durante el ensayo, en kilogramos (kg).

C_p = Calor específico del agua recogida, igual a $4,186 \times 10^{-3}$ megajulios por kilogramo – grado centígrado (MJ / kg °C).

ΔT = Incremento de la temperatura del agua, en grados centígrados.

V_η = Volumen de gas seco (gases de la 1ª, 2ª y 3ª familias) consumido por el artefacto durante el ensayo, conducido a las condiciones de referencia, expresado en metros cúbicos (m³).

H_i = Poder calorífico inferior del gas seco utilizado.

D.5 DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS

Las pérdidas se determinan mediante la siguiente relación:

$$q_c = \left(a + \frac{b}{CO_2} \right) \frac{(t_c - t_a)}{100}$$

Donde:

q_c = pérdida en la chimenea expresada en tanto por ciento de consumo calórico.

CO_2 = contenido de dióxido de carbono en los productos de la combustión, secos, en tanto por ciento.

t_c = temperatura de los productos de la combustión, en grados centígrados (°C).

t_a = temperatura ambiente, en grados centígrados (°C)

a y b = coeficientes indicados en la siguiente tabla según el gas utilizado durante el ensayo.

Tabla 1. Coeficientes para el cálculo de las pérdidas en la chimenea

Coeficiente	Gases de Referencia			
	G 110	G 20	G 25	G 30
a	1.05	0.86	0.85	0.65
b	23.2	36.6	36	42.5

Determinación del consumo de mantenimiento

este **consumo** se determina mediante las siguientes relaciones:

$$G' = G \frac{t_{ch} - 20}{t_{ch} - t_a} \frac{45}{t_{ch} - t_a} \frac{24}{T_e}$$

Donde:

$$t_{ch} = \frac{t_{ch1} + t_{ch2}}{2}$$

Donde:

G = consumo de mantenimiento obtenido durante el ensayo, en metros cúbicos por hora (m³/h).

t_{ch1} = temperatura media del agua a comienzo del ensayo

t_{ch2} = temperatura media del agua al finalizar el ensayo.

t_a = temperatura ambiente media durante el ensayo

T_e = duración del ensayo, en horas (h)

El consumo de mantenimiento q, en vatios (W), se obtiene mediante la siguiente formula:

$$q = \frac{1000}{3.6} \left(\frac{G' H_i}{24} \right)$$