



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS E
IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL DE LAS
CALIBRACIONES Y VERIFICACIONES DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS
DE MEDIDA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL LABORATORIO DE
METROLOGÍA DE ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.**



ALCANOS DE COLOMBIA S.A ESP

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS E
IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL DE LAS
CALIBRACIONES Y VERIFICACIONES DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS
DE MEDIDA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL LABORATORIO DE
METROLOGÍA DE ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.**

**LEIDY CONSTANZA CAUPAZ ARBOLEDA
CÓD. 2001200220**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA-HUILA
2008**

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS E
IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL DE LAS
CALIBRACIONES Y VERIFICACIONES DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS
DE MEDIDA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL LABORATORIO DE
METROLOGÍA DE ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.**

**LEIDY CONSTANZA CAUPAZ ARBOLEDA
CÓD. 2001200220**

**Trabajo de Pasantía Supervisada presentado como requisito para optar
el título de Ingeniero Electrónico**

**Director
Ing. AGUSTIN SOTO**

**Asesor
Ing. TULIO DAZA BOLAÑOS
Gerente Técnico Alcanos de Colombia S.A E.S.P**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
NEIVA-HUILA
2008**

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Neiva, Julio de 2008

DEDICATORIA

Por encima de todas las cosas está Dios, quien ha sido mi amigo incondicional y me ha dado fuerzas para luchar por mis metas. Esta es una de ellas; encontrarme próxima a recibir mi título profesional es un gran logro para mí, es por ello que dedico este triunfo a él, mi amigo del alma; a mis padres, mis hermanos y mi abuelita, porque sin su cariño y apoyo incondicional no hubiera podido hacer este sueño realidad y muy especialmente a mi tía Inés y Don Omar quienes fueron y seguirán siendo unos padres para mí.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Al Ing. Agustín Soto, Director del proyecto por haberme asesorado y dirigido en la elaboración de este proyecto.

Al Ing. Tulio Daza Bolaños, Gerente Técnico de Alcanos de Colombia S.A ESP, porque sin él no hubiera podido desarrollar mi trabajo de grado.

A la empresa ALCANOS DE COLOMBIA S.A ESP. por darme la oportunidad de interactuar con el sector den servicio público de Gas; a Luis Iginio Martínez por compartir todos sus conocimientos conmigo, además de su amistad.

A mi familia que me colaboró tanto: mi tío Erminso, Mariela, mi abuelita.

A mis amigos de la Universidad: Guillermo, José Manuel, Carolina Bonilla, Wilber, Marlio, Wenceslao.

Y por último a una persona que fue muy especial para mí, y que justo en ese momento de mi vida lo tuve a él y su gran familia a mi lado apoyándome incondicionalmente.

TABLA DE CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. ALCANOS DE COLOMBIA S.A. ESP.....	17
1.1 ACERCA DE LA ENTIDAD.....	17
1.2 VISION.....	18
1.3 MISION.....	18
1.4 POLITICA DE CALIDAD.....	18
1.5 OBJETIVOS DE CALIDAD.....	18
2. DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. OBJETIVOS.....	23
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
5. MARCO TEÓRICO.....	25
5.1 LA METROLOGIA EN COLOMBIA.....	25
5.2 ASEGURAMIENTO DE LA MEDIDA.....	26
5.3. NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS.....	33
5.4. VISUAL BASIC.....	34
5.5 BASE DE DATOS EN ACCES.....	35
6. ESTADO ACTUAL.....	36
6.1 REQUISITOS DE CALIDAD.....	36
6.2 INSTRUMENTOS DE MEDICION.....	36
6.2.1 Manómetros.....	36
6.2.2 Detectores de monóxido (CO) y metano (CH ₄).....	41
6.2.3 Plancha de Termofusión.....	45
6.2.4 Termómetros.....	47
7. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	48
7.1 ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS METROLOGICAS Y COMPORTAMIENTO DE LOS EQUIPOS.....	48
7.1.1 Error puntual.....	48
7.1.2 Trazabilidad.....	48
7.1.3 Clase de exactitud.....	53
7.1.4 Tolerancia.....	55

7.1.5	Sensibilidad.....	56
7.1.6	Frecuencia de verificación de los instrumentos.....	57
7.2	ANALISIS MATEMATICO Y ESTADISTICO DE LAS CARACTERISTICAS METROLOGICAS.....	58
7.2.1	Exactitud y precisión.....	58
7.2.2	Metodología para el cálculo de incertidumbre.....	65
7.2.3	Cálculo del factor de cobertura k.....	73
7.2.4	Indice de calidad (Q).....	75
7.2.5	Factor de corrección.....	76
7.2.6	Error de linealidad.....	76
7.2.7	Error combinado admisible.....	77
7.2.8	Estabilidad.....	77
7.2.9	Análisis de la presión atmosférica dentro del laboratorio.....	78
7.2.10	Temperatura.....	80
7.2.11	Humedad relativa.....	81
7.2.12	Punto de rocío.....	81
7.3	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.....	82
7.3.1	Condiciones ambientales.....	82
7.3.2	Evaluación y control de calidad del sistema de medición.....	82
7.3.3	Capacitación del personal.....	83
7.3.4	Procesos de confirmación metrológica.....	83
7.3.5	Manutención y transporte de instrumentos.....	85
7.3.6	Consideraciones de seguridad.....	85
7.3.7	Orden y limpieza.....	86
7.3.8	Administración y documentación.....	86
7.3.9	Beneficios obtenidos.....	87
7.4	DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SOFTWARE.....	87
8.	CONCLUSIONES.....	92
9.	RECOMENDACIONES.....	93
10.	VOCABULARIO.....	94
	BIBLIOGRAFIA.....	98
	ANEXOS.....	99

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
FIGURA 1. Ciclo de aseguramiento de la medida.....	26
FIGURA 2. Estructura interna de un manómetro.....	36
FIGURA 3. Detectores de monóxido y metano.....	41
FIGURA 4. Verificación con gases patrones.....	41
FIGURA 5. Plancha de termofusión.....	45
FIGURA 6. Patrones de trabajo.....	49
FIGURA 7. Clasificación de manómetros por clase.....	54
FIGURA 8. Número de verificaciones realizadas.....	57
FIGURA 9. Distribución normal o campana de Gauss.....	59
FIGURA 10. Distribución normal.....	62
FIGURA 11. Distribución t-Student con diferentes grados de libertad.....	63
FIGURA 12. Gráfica de exactitud y precisión.....	64
FIGURA 13. Distribución rectangular.....	67
FIGURA 14. Banco de pruebas para manómetros.....	69
FIGURA 15. Linealidad de un instrumento.....	76
FIGURA 16. Representación de la estabilidad.....	77
FIGURA 17. Trazabilidad de los instrumentos.....	83

FIGURA 18. Relación de base de datos.....	87
FIGURA 19. Tablas de la base de datos.....	89
FIGURA 20. Menú principal del software.....	89

LISTA DE TABLAS

	Pag.
TABLA 1. Intervalo de Distribución Gaussiana.....	29
TABLA 2. Características de los manómetros.....	37
TABLA 3. Clasificación de manómetros.....	39
TABLA 4. Códigos de los diferentes municipios.....	39
TABLA 5. Clasificación de detectores.....	42
TABLA 6. Equipo de termofusión.....	47
TABLA 7. Errores máximos permisibles.....	53
TABLA 8. Tamaño nominal de manómetros.....	53
TABLA 9. Clasificación de manómetros según su clase.....	54
TABLA 10. Frecuencia de verificación del total de los equipos.....	57
TABLA 11. Contribución a la incertidumbre.....	72
TABLA 12. Determinación del número de grados efectivos.....	74

LISTA DE DIAGRAMAS

	Pag.
DIAGRAMA 1. Trazabilidad del patrón de presión.....	49
DIAGRAMA 2. Trazabilidad del patrón de temperatura.....	52
DIAGRAMA 3. Trazabilidad de patrones volumétricos.....	51
DIAGRAMA 4. Ciclo de confirmación metrológica.....	83
DIAGRAMA 5. Diagrama de bloques del software.....	88

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1: Manual del usuario del software SIVCE (Sistema informativo de verificación y calibración de equipos).....	99
ANEXO 2: Unidades de presión.....	113
ANEXO 3: Rediseño del Banco de pruebas para medidores	114
ANEXO 4: Requisitos de la norma 17025 para acreditación de laboratorios.....	121
ANEXO 5: Gráficas de trazabilidad de patrones.....	124
ANEXO 6: Tablas de distribuciones estadísticas.....	127

RESUMEN

Alcanos de Colombia una empresa reconocida a nivel Nacional y con una gran cobertura, se fortalece cada vez más con la calidad de su servicio; este depende básicamente del buen funcionamiento de los instrumentos y en gran parte del mantenimiento preventivo y correctivo que se den a los equipos de las estaciones reguladoras. Para ello deben realizarse programas de verificación de equipos y calibración de patrones, generando trazabilidad en las mediciones.

Con este proyecto se busca profundizar en el tema de la Metrología realizando un estudio de las características metrológicas de los equipos, cálculos matemáticos y estadísticos que se requieren para la Acreditación, basándose en algunas normas técnicas colombianas y la norma 17025 para Acreditación de laboratorios. Además se diseñó el software “SIVCE” (Sistema informativo de verificación y calibración de equipos), para el control de la información de los procedimientos que se llevan a cabo en el laboratorio, ofreciendo seguridad, confianza y agilidad en el manejo de los datos.

Lo que se busca con este trabajo es reunir todos los requisitos necesarios para la Acreditación del laboratorio ante la SIC (Superintendencia de industria y comercio), mediante una propuesta de mejoramiento y soporte que contribuya en un futuro al desarrollo de este proceso.

SUMMARY

Alcanos of Colombia a grateful company at National level and with a great covering, it's strengthens more and more with the quality of their service; this it depends basically on the good operation of the instruments and in a large part of the preventive maintenance and corrective that are given to the teams of the stations regulators. For they should be carried out programs of verification of teams and calibration of patterns, generating trazabilidad in the mensurations.

With this project it is looked for to deepen in the topic of the Metrology carrying out a study of the characteristic metrológicas of the teams, mathematical and statistical calculations that are required for the Accreditation, being based on some Colombian technical norms and the norm 17025 for Accreditation of laboratories. The software was also designed "SIVCE" (informative System of verification and calibration of teams), for the control of the information of the procedures that you/they are carried out in the laboratory, offering security, trust and agility in the handling of the data.

What is looked for with this work is to gather all the necessary requirements for the Accreditation of the laboratory before the SIC (industry Superintendence and trade), by means of a proposal of improvement and support that it contributes in a future to the development of this process.

INTRODUCCION

Los Sistemas de Gestión de Calidad optados hoy en día por las organizaciones se han convertido en una de las estrategias claves para obtener el sello de garantía de sus servicios o productos ofrecidos. La norma NTC-ISO 9001 permite implementar y mejorar la eficacia de estos sistemas, aumentando la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos; de igual manera la norma NTC-ISO-IEC 17025 proporciona las pautas generales de competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración llevándose a cabo unos procedimientos, registros y controles que demuestren su correcto funcionamiento produciendo los resultados exigidos por el Sistema de Gestión de Calidad.

El propósito que se tiene al estudiar estas normas, es el de adquirir conocimientos necesarios y los requisitos que se deben tener en cuenta para obtener la acreditación del Laboratorio de Metrología que tiene actualmente la empresa ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P. el cual ya logró su certificación ante la norma NTC-ISO 9001. Debido a esto, la empresa busca fortalecerse en el área de metrología para producir datos y resultados técnicamente válidos de los ensayos y calibraciones correspondientes a cada uno de sus equipos e instrumentos de medida.

El laboratorio cuenta con un banco de pruebas y equipos de medida para realizar las correspondientes verificaciones de instrumentos, los cuales requieren de un correcto procedimiento para sus calibraciones, analizando cada una de sus características y condiciones que deben cumplir. La información que manejan está organizada en hojas de Excel donde se realizan todas las operaciones estadísticas que se requieren para las calibraciones y la obtención de informes técnicos.

Lo que se busca en este proyecto, es realizar un estudio metrológico de los equipos e instrumentos de medida y la implementación de un software para sistematizar los procedimientos de registro y control de las verificaciones y calibraciones, cumpliendo con lo establecido por el SGC (Sistema de Gestión de Calidad).

1. ALCANOS DE COLOMBIA S.A ESP

1.1 ACERCA DE LA ENTIDAD

ALCANOS DE COLOMBIA S.A ESP fue fundada en el año de 1977 mediante el esfuerzo de la empresa privada y el gobierno departamental, como ALCANOS DEL HUILA LTDA. El primer municipio que recibió el servicio de gas natural por redes fue Neiva. En 1987 se utilizó por primera vez la tecnología de Gas Natural Comprimido (GNC) en el municipio de AIPE, posteriormente se implementó en otros municipios como YAGUARÁ y RIVERA, en este mismo año se inició la tecnología del gas natural vehicular.

Posteriormente en 1998 adquirió el contrato de concesión especial para la prestación del servicio público de distribución domiciliaria de gas natural por redes, con exclusividad en el área denominada Centro y Tolima correspondiente a la licitación pública No. 01 de 1997. Este proyecto abarca 26 municipios en los departamentos de TOLIMA, CUNDINAMARCA, CALDAS Y BOYACA. En 1999 se modifica la razón social de la Compañía a **ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.** La Compañía cuenta con 30 años de experiencia en la distribución y comercialización de Gas Natural.

Es pionera en la implementación de la tecnología del gas natural comprimido (GNC), el cual es el único operador en el país. Actualmente esta presente en 7 departamentos del país, con una cobertura de más de 60 municipios: HUILA, TOLIMA, CUNDINAMARCA, CALDAS, BOYACA, ANTIOQUIA Y CAUCA.

ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P., es una empresa con solvencia y respaldo económico, que tiene tendido más de 3'913.923 metros lineales de redes. Hoy se cuenta con más de 298.000 usuarios y a través de una de sus filiales **METROGAS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.** Se presta el servicio a 48.264 usuarios en Floridablanca/Santander.

ALCANOS DE COLOMBIA es una empresa que ha logrado el reconocimiento a nivel nacional, asegurando la prestación del servicio público de gas natural, bajo condiciones

de seguridad y confiabilidad. Cuenta con profesionales calificados en cada una de las múltiples disciplinas y servicios que se ofrecen.

1.2 MISION

Alcanos de Colombia es una empresa que distribuye y comercializa gas natural, asociado con la construcción de instalaciones, a precios competitivos, alto nivel de efectividad, calidad, seguridad y protección del medio ambiente; propendiendo por el mejoramiento del bienestar de la comunidad, la creciente rentabilidad de sus accionistas y el continuo desarrollo de su talento humano.

1.3 VISION

En el año 2012 Alcanos de Colombia será una empresa de servicios públicos con excelencia en la distribución y comercialización de gas natural, alta cobertura y densificación de redes, en constante crecimiento y desarrollo, gracias a su reconocida calidad y efectividad en la prestación del servicio, a nivel nacional.

1.4 POLITICA DE CALIDAD

Es política de Alcanos de Colombia S.A. E.S.P., garantizar la construcción de instalaciones para asegurar la prestación del servicio público de gas natural, bajo condiciones de seguridad y confiabilidad. Satisfacer de manera oportuna las necesidades de nuestros clientes, cumpliendo con los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad. Para ello, contamos con personal competente que desarrolla procesos estandarizados y se encuentra comprometido con el mejoramiento continuo.

1.5 OBJETIVOS DE CALIDAD

- Cumplir con la promesa básica de prestación del servicio en máximo 20 días calendario.
- Cumplir con los requisitos de la normatividad técnica en todas las construcciones.

- Garantizar la satisfacción continua de las necesidades de los clientes 100%.
- Lograr la efectividad del programa de capacitación en un 80%.
- Aumentar la densificación de redes en 80%.
- Conseguir que el mejoramiento de los procesos esté en más del 80%.

2. DESCRIPCION Y FORMULACION DEL PROBLEMA

ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P. una Empresa prestadora de servicios públicos extendida a nivel Nacional, gracias a su excelente labor en la distribución y comercialización de gas natural; ha venido desarrollando su proceso de Sistema de Gestión de Calidad desde el año 2004 logrando este año la certificación de trece procesos dentro de los cuales se encuentra el de verificación, mantenimiento y calibración de equipos pertenecientes al Laboratorio de Metrología. En ésta sala de ensayo se desarrollan todos los procesos de control para equipos e instrumentos de Operación y Mantenimiento, Construcciones, Inspecciones y medidores en servicio.

Dentro de las actividades realizadas en el Laboratorio de Metrología se encuentran: calibración de instrumentos y equipos patronados, verificación, registros, toma de medidas correctivas y preventivas que se desarrollan siguiendo algunas Normas Técnicas Colombianas. Esta información se maneja en hojas de Excel puesto que es una herramienta que permite manipular tablas, organizar hojas de vida de instrumentos, realizar cálculos estadísticos y operaciones como la interpolación para las calibraciones y generar gráficas respectivas de trazabilidad y cumplimiento de equipos.

La empresa en su anhelo de obtener la acreditación para mejorar el nivel de servicio requiere del cumplimiento de la norma NTC 17025, la cual establece que los certificados (informes) de calibración y reportes de prueba, deben incluir como parte de la información mínima, identificación del método de análisis utilizado. Este método a nivel instrumental y las características metrológicas de cada uno de los equipos e instrumentos de medida, es una de las necesidades que tiene el Banco de Pruebas junto con la manipulación de la información, puesto que la empresa cuenta con alrededor de 400 usuarios que poseen equipos e instrumentos, sin contar con los medidores residenciales que son manejados a través del sistema interno de la empresa, volviéndose el sistema lento, desorganizado y sin ningún tipo de seguridad.

Además se sugiere que el análisis de calibración sea un resultado inmediato luego de

cada operación estadística; esto es, determinar si el equipo cumple o no cumple según el comportamiento de la gráfica de error máximo y de histéresis resultante de las mediciones tomadas y comparadas con el patrón de medida, el grado de incertidumbre presente, entre otros. También se debe incluir dentro de los procedimientos la interpretación de cada una de las formulas utilizadas en el análisis, debido a que esta interpretación se requiere en el momento de la acreditación.

El estudio realizado junto con el software que sistematice la información, serán un gran aporte para la optimización del laboratorio pues se contarán con soportes técnicos, metódicos, permitiendo al personal encargado, poder caracterizar sus equipos agilizando mediante el software los cálculos para cada uno de ellos, manejando adecuadamente unidades de presión, temperatura, condiciones del laboratorio entre otros entregando informes diarios, semanales o mensuales tanto de los instrumentos de medida como el de los patronados, demostrando su trazabilidad y comportamiento.

3. JUSTIFICACIÓN

Por medio de la modalidad de Pasantía Supervisada, estipulada en el acuerdo No. 100 de 2004 (25 de octubre de 2004), la empresa ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P. en busca del mejoramiento tecnológico junto con la UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA que pretende contribuir en trabajos de investigación e intercambiar conocimientos con el sector productivo, ha considerado conveniente vincular un estudiante de Ingeniería Electrónica para lograr el mejoramiento y adecuación del Laboratorio de Metrología.

La importancia de calibrar un instrumento, es que permite verificar el grado de confianza en las mediciones; este proceso debe operarse puesto que todos los instrumentos de medida se envejecen o deterioran con el tiempo o con el uso, cambiando así su aptitud para medir.

Debido a que la eficiencia del laboratorio se basa en las pruebas de calibración se desea contribuir con sus procedimientos, analizando el comportamiento de cada uno de ellos y los requisitos exigidos por las normas de calidad, determinando los cálculos matemáticos, estadísticos y características propias del instrumento. De igual manera, se contribuye con la implementación del software usando la herramienta de desarrollo Visual Basic, que posee la empresa, el cual brinda múltiples servicios, generando seguridad y economía una vez desarrollada la aplicación.

Con este proyecto se busca beneficiar tanto a la empresa como a todos los usuarios que hacen parte de ella, ejerciendo un mayor control y calidad del servicio creando un ambiente de confianza y credibilidad del laboratorio a nivel nacional, contribuyendo al proceso de acreditación.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Investigar y analizar las características metrológicas de los equipos e instrumentos de medida pertenecientes al laboratorio de metrología de ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P. y diseñar el software para el control de calibraciones y verificaciones, generando reportes claros y concisos.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las características de medida de cada uno de los equipos e instrumentos para mejorar los procedimientos e instructivos, acerca de los cálculos matemáticos y estadísticos realizados en las calibraciones, de acuerdo con lo establecido por la norma NTC 17025.
- Conocer y relacionar cada una de las medidas de presión y temperatura que se utilizan en el banco de pruebas.
- Analizar el comportamiento de la trazabilidad y controlar la periodicidad de las mediciones de los instrumentos y equipos patronados.
- Diseñar un Software capaz de realizar los cálculos estadísticos durante los procesos de calibración y manejar la información correspondiente a hojas de vida, registros, y control de cada uno de los equipos e instrumentos del laboratorio de metrología utilizando la herramienta de desarrollo Visual Basic 6.0 de Microsoft Visual Studio.
- Manipular a través del software la información correspondiente a todos los usuarios del banco de pruebas y determinar el estado de los equipos para generar

informes diarios, semanales o mensuales.

- Generar en los reportes el análisis detallado de las operaciones determinando el comportamiento del equipo.

- Realizar un manual del programa para el usuario y desarrollar un instructivo acerca de los cálculos realizados en las calibraciones de cada uno de los instrumentos para próximas interventorías.

5. MARCO TEÓRICO

La Metrología es considerada como una de las áreas del conocimiento indispensable para el desarrollo tecnológico. Es importante comprender y aplicar los conceptos básicos para poder realizar mediciones exactas y confiables y de esta manera saber si el producto o servicio cumple con las expectativas del cliente, midiendo sus características de calidad.

5.1 LA METROLOGÍA EN COLOMBIA

La metrología legal en Colombia es controlada y desarrollada por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y más propiamente en el Centro de Control de Calidad y Metrología (CCCM). Por resolución número 140 del 4 de febrero de 1994, por la cual se establece el procedimiento para la acreditación y se regulan las actividades que se realicen dentro del Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología, se le confiere a la SIC: “Establecer, coordinar, dirigir y vigilar los programas nacionales de control industrial de calidad, pesos, medidas y metrología que considere indispensables para el adecuado cumplimiento de sus funciones”, así como “Acreditar y supervisar”:

- Organismos de certificación
- Laboratorios de pruebas y ensayos
- Laboratorios de calibración
- Organismos de inspección y ensayo

Un denominador común de todas las normas internacionales para la Gestión de la Calidad es la obligación de controlar y calibrar los equipos de medida, esto es así porque el equipo es un elemento tangible y necesario en toda medida, sin embargo no es el único y no siempre es el factor decisivo en los resultados.

5.2 ASEGURAMIENTO DE LA MEDIDA

Asegurar un nivel de calidad adecuado de las medidas es un modo de evitar decisiones erróneas y de reducir las pérdidas económicas derivadas de productos deficientes. Pero este aseguramiento no es solo un modo de reducir pérdidas por falta de calidad, es también una herramienta de mejora para proporcionar un fiel conocimiento de lo que se produce y del modo en que se llega a ese resultado, enfocado en los procesos de medida en beneficio de su eficacia y rentabilidad.

El conjunto de operaciones, procedimientos, equipos de medición, personal autorizado y el software que se implemente, es lo que se llama un SISTEMA DE MEDICIÓN. Para cumplir con todos estos requerimientos, se necesita de unos procesos, los cuales surgen de la necesidad de obtener datos para manipular la información y tomar decisiones; estos datos nunca serán 100% perfectos, puesto que quien toma decisiones lo hará con cierto grado de incertidumbre.

CICLO DE ASEGURAMIENTO DE LA MEDIDA

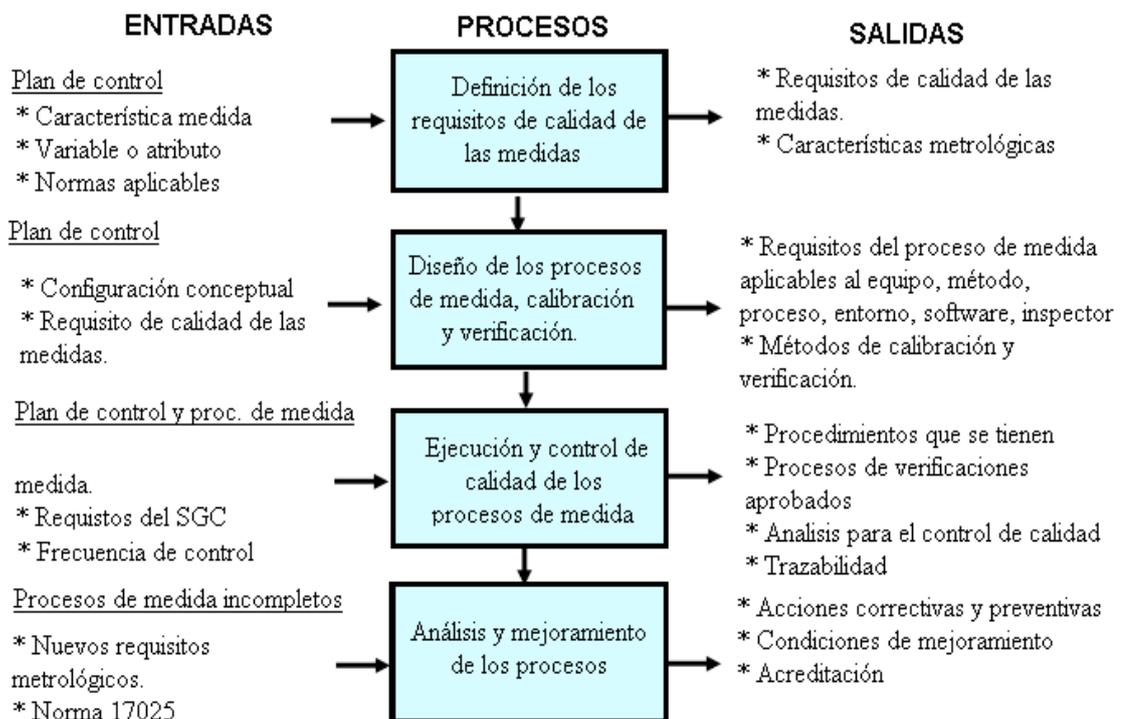


Figura 1. Ciclo de aseguramiento de la medida

DEFINICION DE LOS REQUISITOS DE CALIDAD DE LAS MEDIDAS

Requisitos de calidad de las medidas: Los requisitos de la calidad de las medidas son los parámetros que determinan el nivel de calidad aceptable para las medidas, el significado y valor de los mismos se determina a partir de la finalidad, especificaciones y condiciones de medida del punto de control: características metrológicas, tolerancias, índices de capacidad, etc.

Características metrológicas: A continuación se definirán cada una de las características que se deben tener en cuenta como requisitos importantes para generar confianza y calidad en las mediciones.

Teoría de errores: Es el resultado de una medición menos un valor verdadero del mensurando. Como el valor verdadero no puede ser determinado, en la práctica se utiliza un valor convencionalmente verdadero. Existen dos tipos de errores:

- **Error sistemático:** Es el resultado promedio de un gran número de mediciones repetidas del mismo mensurando menos un valor verdadero del mensurando
- **Error aleatorio:** Es aquel cuyo valor y sentido son desconocidos y que por tanto, no puede corregirse, aunque si puede acotarse.

En general, la estimación de estos dos tipos de errores se realiza por separado y en muchos casos se evaluará su efecto combinado; cuando se analice el tema de la INCERTIDUMBRE.

En términos cuantitativos la medida perfecta no existe, pero podemos aproximarnos a ella reduciendo los errores sistemáticos mediante el uso de patrones trazados, y los errores aleatorios minimizando los efectos de las magnitudes de influencia.

- **Error puntual:** Hecha una medición en un punto en particular, se puede definir como:

- Error absoluto

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \text{Pr ueba} - \text{Normal} = \text{Pr} - \text{No} \quad (\text{Unidades}) \\ \varepsilon &= \text{Experimental} - \text{Teórico} = E - T \quad (\text{Unidades})\end{aligned} \quad - \quad (1)$$

- Error relativo porcentual o por ciento

$$\begin{aligned}\varepsilon = \% &= \frac{\text{Pr ueba} - \text{Normal}}{\text{Normal}} * 100 = \frac{\text{Pr} - \text{No}}{\text{No}} * 100 \quad (\text{a dim ensional}) \\ \varepsilon &= \frac{\text{Experimental} - \text{Teórico}}{\text{Teórico}} * 100 = \frac{E - T}{T} * 100 \quad (\text{a dim ensional})\end{aligned} \quad (3)$$

- **Error en un mismo punto:** Hecha una serie de n , mediciones en un mismo punto las cuales muestran diferencias entre sí, por causa de los errores aleatorios. Mediante la estadística se puede conocer este error (sistemático); llamado también dispersión estadística, a partir de las mediciones que se hayan realizado.

- Promedio aritmético

$$\bar{\text{Pr}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Pr}_i}{n} \quad (4)$$

- Desviación estándar o error típico por grupo (finito)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Pr}_i - \bar{\text{Pr}})^2}{n - 1}} \quad (5)$$

- Desviación o error típico de la distribución

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Pr}_i - \bar{\text{Pr}})^2}{n}} \quad (6)$$

La desviación estándar propia de cualquier distribución (generalmente se trabaja la Gaussiana), permite demarcar entre $-\sigma$ y $+\sigma$, alrededor del máximo de la distribución o del centro del mismo, un intervalo de valores, en el cual se ubica siempre

un porcentaje fijo de mediciones, que es característico para cada tipo de distribución; para el caso de la distribución Gaussiana, tenemos los siguientes valores:

Tabla 1. Intervalo de Distribución Gaussiana

Intervalo comprendido entre:	Porcentaje de puntos, aproximadamente:
$\pm 1\sigma$	68.3 %
$\pm 2\sigma$	95.4%
$\pm 3\sigma$	99.7%
$\pm 4\sigma$	99.9%

Incertidumbre de medición: Es la estimación que caracteriza el intervalo de valores dentro de los cuales se encuentra el valor verdadero de la magnitud de medida. Debe expresarse como una desviación estándar y con un nivel de confianza, el cual puede ser del 68%, 95%, 99% o cualquier otro.

- **Incertidumbre tipo A:** Son las que se determinan por medios estadísticos para series de mediciones efectivamente realizadas.
- **Incertidumbre tipo B:** Son las que se determinan por otros medios. Las incertidumbres tipo B, no siendo inicialmente estadísticas, se pueden estandarizar o calcular con la ayuda de las distribuciones estadísticas rectangular, triangular o apropiada.

Tolerancia: Intervalo especificado de valores dentro del cual debe estar un resultado, la cual es determinada por la criticidad del proceso o de la medición.

Trazabilidad: Es la propiedad de un resultado de medición consistente en poder relacionarlo con las referencias establecidas, generalmente como patrones Internacionales o nacionales, por medio de una cadena no interrumpida de comparaciones. En la actualidad, para que una medición sea aceptada, es necesario que ésta tenga trazabilidad a los patrones del Sistema Internacional (SI). El nivel más alto de exactitud se encuentra en el inicio de la cadena de trazabilidad (Se toma como inicio el patrón físico que representa la unidad.) y ésta se va degradando conforme baja la

cadena, debido a que la transferencia de la unidad se realiza por medio de comparaciones sucesivas que introducen errores de los patrones de mayor exactitud a patrones de menor exactitud.

Repetibilidad o precisión: Es la aptitud de un instrumento de medición para proporcionar indicaciones próximas entre sí por aplicaciones repetidas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición. Puede expresarse cuantitativamente en términos de las características de dispersión de los resultados.

Linealidad: Variación de la exactitud a lo largo del rango operativo del instrumento de medida. Si el sistema no tiene la linealidad esperada, verificar la calibración del instrumento al principio y en el fondo de su escala, si no existe desgaste del instrumento.

Exactitud: Es la propiedad de una medida consistente en la aproximación de su estimación al valor verdadero. Se obtiene promediando varias mediciones con el más exacto equipo de medición disponible.

Estabilidad: Es la variación en la exactitud del sistema de medida a lo largo del tiempo, sobre un patrón. Es importante para predecir la performance de un proceso en un futuro.

Sensibilidad: Cambio de la respuesta de un instrumento de medición dividido por el correspondiente cambio de estímulo. Puede depender del valor del estímulo.

Escala del instrumento: Es el conjunto de trazos y números que indican el valor del mensurando.

DISEÑO DE LOS PROCESOS DE MEDIDA

Calibración: Es el conjunto de operaciones que establecen, en unas condiciones determinadas, la relación entre lecturas de un equipo de medida y los valores de esa magnitud realizados por patrones.

Entorno donde se realiza la medida: Es importante que se cuente con un área de trabajo lo suficientemente grande para que se realicen las actividades de forma cómoda. Se recomienda que la amplitud, ubicación y control ambiental se diseñe considerando factores como: tipo de mediciones que se realizarán, carga de trabajo, cantidad de técnicos, control ambiental entre otros.

Personal autorizado: El laboratorio debe contar con personal capacitado que demuestre que cuenta con la competencia técnica requerida. El personal debe adquirir todos los conocimientos y habilidades necesarios, con esto se asegura que ellos realicen correctamente los procesos de medición.

EJECUCION Y CONTROL DE CALIDAD DE LOS PROCESOS DE MEDIDA

En esta etapa se especifican las pruebas de verificación y los procedimientos relacionados, siguiendo los requisitos exigidos en la etapa anterior. Un proceso de medida consiste en verificar en cada punto de control que los elementos del proceso son los planificados y que cumplen los requisitos especificados cada uno por separado, ya que de este modo se asegura que también los cumplirán en conjunto.

Procedimientos de confirmación metrológica: La confirmación consiste en todas las actividades para asegurar que el equipo de medición de resultados confiables para el uso determinado. Entre estas actividades se encuentran la calibración (incluyendo los conceptos de calificación o caracterización), la verificación, el ajuste, el mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, recalibración, etc, siguiendo unos procedimientos e instructivos.

Verificación es el acto administrativo de comparar los resultados de una calibración con los errores máximos tolerados definidos para el instrumento que se está confirmando.

Identificación: Todos los instrumentos requieren de una identificación antes de realizar algún proceso. El método de identificación deberá documentarse y registrarse en todos los formatos que se utilicen en el momento de la confirmación metrológica.

Documentación: Cada uno de los instrumentos de medida que sean verificados o calibrados en el laboratorio deben tener unos formatos (Registros, hojas de vida) para validar que sus características cumplen o no cumplen con los requisitos. Todo equipo nuevo que entre al laboratorio debe ser revisado en cuanto a su correcto funcionamiento y al cumplimiento de las normas.

Software: Consiste en elegir el sistema apropiado que se relacione con los procesos de medición, tanto administrativos como técnicos que hayan sido aprobados. El objetivo del sistema es evidenciar las verificaciones y calibraciones de los instrumentos.

Plan de control en los procesos de medida: Realizar verificaciones y calibraciones periódicas, ajuste respectivo a los equipos, control de inventarios y controles ambientales.

Análisis de los resultados: Incluye la trazabilidad de los equipos, análisis de los informes de verificación y cálculos matemáticos.

ANALISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS

La información procedente de la aplicación del ciclo de aseguramiento de la medida es la base para identificar mejoras que pueden implicar cambios de diseño del proceso de medida o del control de calidad plantificado.

El mejoramiento de los procesos existentes consiste en generar acciones correctivas y preventivas sobre las inconformidades que se presenten; cumplir con normas específicas que aplicadas contribuyan al control de calidad de un producto o servicio.

5.3 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS

La calidad de los procesos está basada en normas técnicas colombianas que permiten estandarizarlos, dentro de estas normas se encuentran:

- **NTC-ISO-IEC 9001:** SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD. REQUISITOS:

Esta norma promueve la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de calidad; para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos. La norma aplica a todos los procesos la metodología conocida como “Planificar-Hacer-Verificar-Actuar” (**PHVA**) que se describe como:

- **NTC-ISO-IEC 17025: REQUISITOS GENERALES DE COMPETENCIA DE LABORATORIOS DE ENSAYO Y CALIBRACIÓN:** Esta norma contiene todos los requisitos que los laboratorios de ensayo y calibración tienen que lograr si quieren demostrar que operan un sistema de calidad, son técnicamente competentes, y se encuentran en capacidad de generar resultados válidos técnicamente.

La importancia de la norma NTC-ISO-17025 radica en que todas las actividades de acreditación de laboratorios deben cumplir con los siguientes procedimientos:

- Ensayo y calibración
 - Inspección
 - Certificación de los sistemas de gestión
 - Certificación de productos
 - Certificación del personal
 - La verificación ambiental
- **NTC-2728: MEDIDORES DE GAS TIPO DIAFRAGMA:** Esta norma es aplicada a los medidores de gas tipo diafragma (medidores volumétricos), especificando sus características y métodos de ensayo y verificación inicial.
- **NTC-2263: METROLOGÍA. MANÓMETROS INDICADORES DE PRESIÓN, MANÓMETROS DE VACÍO Y MANÓMETROS DE PRESIÓN-VACÍO PARA USOS GENERALES:** Especifica las características metrológicas que deben poseer los manómetros de vacío y manómetros de presión-vacío, utilizados en la medición de presiones manométricas y presiones vacuométricas de líquidos, vapores y gases.

5.4 VISUAL BASIC

El lenguaje de programación BASIC (Beginner's All purpose Symbolic Instruction Code) nació en el año 1964 como una herramienta destinado a principiantes, buscando una forma sencilla de realizar programas, empleando un lenguaje casi igual al usado en la vida ordinaria (en inglés), y con instrucciones muy sencillas y escasas. Teniendo en cuenta el año de su nacimiento, este lenguaje cubriría casi todas las necesidades para la ejecución de programas.

Características Generales de Visual-Basic

Visual-Basic es una herramienta de diseño de aplicaciones para Windows, en la que estas se desarrollan en una gran parte a partir del diseño de una interfase gráfica. En una aplicación Visual Basic, el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interface gráfica.

Es por tanto un término medio entre la programación tradicional, formada por una sucesión lineal de código estructurado, y la programación orientada a objetos. Combina ambas tendencias. Ya que no podemos decir que VB pertenezca por completo a uno de esos dos tipos de programación, debemos inventar una palabra que la defina: PROGRAMACION VISUAL.

5.5 BASE DE DATOS EN ACCES

El primer paso para crear una base de datos, es planificar el tipo de información que se quiere almacenar en la misma, teniendo en cuenta dos aspectos: la información disponible y la información que necesitamos.

La planificación de la estructura de la base de datos, en particular de las tablas, es vital para la gestión efectiva de la misma. El diseño de la estructura de una tabla consiste en una descripción de cada uno de los campos que componen el registro y los valores o datos que contendrá cada uno de esos campos.

Los campos son los distintos tipos de datos que componen la tabla, por ejemplo:

nombre, apellido, domicilio. La definición de un campo requiere: el nombre del campo, el tipo de campo, el ancho del campo, etc.

Los registros constituyen la información que va contenida en los campos de la tabla, por ejemplo: el nombre del paciente, el apellido del paciente y la dirección de este. Generalmente los diferente tipos de campos que se pueden almacenar son los siguientes: Texto (caracteres), Numérico (números), Fecha / Hora, Lógico (informaciones lógicas si/no, verdadero/falso, etc.), imágenes.

En resumen, el principal aspecto a tener en cuenta durante el diseño de una tabla es determinar claramente los campos necesarios, definirlos en forma adecuada con un nombre especificando su tipo y su longitud.

6. ESTADO ACTUAL

6.1 REQUISITOS DE CALIDAD

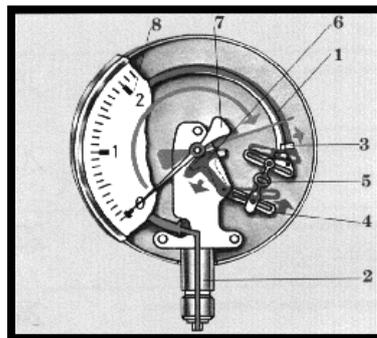
El Banco de pruebas cuenta con unos procedimientos e instructivos que hacen parte del SGC (Sistema de Gestión de Calidad) certificados por la Norma Técnica Colombiana ISO 9001; estos procesos están basados en otras Normas Técnicas relacionadas con cada uno de los equipos que pertenecen a la empresa.

Actualmente la empresa cuenta con alrededor de 680 equipos entre manómetros, planchas de Termofusión, Detectores de Monóxido y Detectores de fuga que se encuentran distribuidos en las diferentes áreas que son: Interventoría, Operación y Mantenimiento, Construcciones e Inspecciones. También cuenta con equipos Patrones con los que se realizan las diferentes pruebas de los instrumentos.

6.2 INSTRUMENTOS DE MEDICION

6.2.1 Manómetros

Los manómetros utilizados por la empresa son Bourdon Haenni que son instrumentos cuyo sistema consta de un Tubo Bourdon como lo indica su marca; el cual es un tubo curvado de forma circular de sección oval.



- (1) Tubo de Bourdon
- (2) Soporte fijo del tubo
- (3) Extremo móvil del tubo
- (4) Corredera
- (5) Biela
- (6) Engranaje
- (7) Aguja indicadora
- (8) Escala calibrada

Figura 2. Estructura interna de un Manómetro

La presión a medir actúa sobre la cara interior del tubo, con lo que la sección oval se aproxima a la forma circular, produciendo tensiones en el borde que flexionan el tubo. El extremo sin tensar ejecuta un movimiento que representa una medida de la presión.

Estos tubos de Bourdon tienen una fuerza de retorno relativamente baja. Los manómetros de tubo Bourdon se utilizan para tensiones de medición de 0.6 bar a 4000 bar, principalmente en las clases 0.6 a 2.5 (Anexo 2. Unidades de presión).

Tabla 2. Características de los manómetros

AREA	TIPO	MARCA	RANGO	CARATULA	CLASE	ESCALA	
INSPECCIONES	MB	BOURDON HAENNI	0-15 INH2O	2"1/2	1.6	0.5	
			0-15 INH2O	2"1/2	2.5		
			0-15 INH2O	4"			
			0-25 INH2O	2"1/2	1.6		
			0-40 INH2O	2"1/2	3		
			0-40 INH2O	2"1/2	1.6		
			0-60 INH2O	2"1/2	3		
			0-60 INH2O	4"	1.6		
	MM	BOURDON SEDEME	BOURDON SEDEME	0-30 PSI	4"	3	1
				0-30 PSI	2"1/2		1
0-30 PSI				2"1/2		1	
CONSTRUCCIONES	MM	BOURDON HAENNI	0-30 PSI	2"1/2	3		
		ROYAL GAUGE	0-30 PSI	2"1/2			
	MA	SWAGELOK	0-100 PSI	4"			
		ROYAL GAUGE	0-100 PSI	2"1/2	3		
O Y M	MB	BOURDON HAENNI	0-60 INH2O	2"1/2	3		
		BOURDON HAENNI	0-15 INH2O	2"1/2			
		BOURDON HAENNI	0-15 INH2O	2"1/2	1.6		
	MA	ASCHOFT	0-100 PSI	2"1/2			
		SWAGELOK	0-100 PSI	4"	1		
		SWAGELOK	0-600 PSI	4"	1		
		ASCHOFT	0-160 PSI	4"			
		SWAGELOK	0-300 PSI	4"	1		
		BOURDON SEDEME	0-160 PSI	4"			
		BOURDON SEDEME	0-300 PSI	4"			
		ROYAL GAUGE	0-160 PSI	4"			
		SWAGELOK	0-600 PSI	4"			
		BOURDON SEDEME	0-100 PSI	4"	1		
		INTERVENTORIA	MM	BOUR.SEDEME	0-30 PSI		

- Los manómetros de las clases 2.5 y 4.0 se utilizan para tareas de supervisión sin requisitos especiales de precisión.

1. Método de medición:

Para verificar el correcto funcionamiento del equipo se hace una medición por comparación directa; que consiste en comparar el instrumento con el patrón adecuado por medio de un Banco de pruebas para manómetros. Utilizando una bomba neumática, la cual contiene aceite mineral para evitar la humedad presente en el aire corriente. El patrón utilizado es el manómetro digital marca AMETEK que tiene un rango de medición de 0-1000 PSI; este se envía a calibración cada 36 meses.

2. Entorno donde se realiza la medida: La prueba de verificación que se aplica a los manómetros se lleva a cabo en el Laboratorio de metrología ubicado en Alcanos de Colombia. Las condiciones ambientales que se controlan dentro del recinto, son la temperatura de aproximadamente $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa entre 40 y 60%.

Ejecución y control de calidad:

El procedimiento que se aplica es el Procedimiento 0802: Verificación de manómetros; cuyo objetivo fundamental es verificar las medidas tomadas en los manómetros, con el fin de alcanzar un control efectivo en las mediciones de los mismos.

Es importante que el operario de cada instrumento cumpla con lo especificado en el

Instructivo 0803. Este debe:

- Realizar inspección visual antes de iniciar cualquier operación como tornillos, aguja, visor, cuerpo del manómetro.
- Transportarlo en condiciones que no presente vibraciones o golpes.
- No someterlo a presiones mayores a su rango de medida
- Presentarlo al Banco de Pruebas con su Sticker de verificación y no realizar ningún tipo de ajuste.

Los instructivos del laboratorio relacionados con la verificación de manómetros son:

Instructivo 0801: Cronograma de verificación. Se debe realizar el cronograma de revisión (2 meses) con el fin de controlar la periodicidad de verificación de los

instrumentos. Según los resultados de cada equipo se determinarán las Calibraciones en el momento que sea necesario. Este instructivo es aplicado para la verificación de todos los instrumentos.

Instructivo 0802: Identificación de equipos. La identificación de manómetros se ha establecido teniendo en cuenta el rango de medición y el municipio al cual pertenece. El código consta de una serie de tres códigos; el primero identifica al tipo de manómetro; el segundo, representa el municipio al que pertenece y el último es el consecutivo del instrumento.

Tabla 3. Clasificación de manómetros

EQUIPO	TIPO DE EQUIPO	SIGLA	RANGO
Manómetro	Presión Baja	MB	< 2 PSI
	Presión Media	MM	2 < 60 PSI
	Presión Alta	MA	60 < 300 PSI

Ejemplo: MA-101-0001 lo que indica que es un manómetro de alta, perteneciente a la ciudad de Neiva con Número 1.

Tabla 4. Códigos de los diferentes municipios

COD.	MUNICIPIO	CODIGO	MUNICIPIO
101	NEIVA	135	EL CAGUAN
102	AIPE	136	ORTEGA
103	YAGUARA	137	ARBELAEZ
104	PALERMO	138	ICONONZO
105	RIVERA	139	SILVANIA
106	TELLO	140	VALLE DE SAN JUAN
107	EL JUNCAL	141	CHINAUTA
108	FORTALECILLAS	501	IBAGUE
109	BARAYA	502	PUERTO BOYACA
110	SAN FRANCISCO	503	ESPINAL
111	CAMPOALEGRE	504	LA DORADA
112	TERUEL	505	SAN LUIS
113	BETANIA	506	CHICORAL
114	PAICOL	507	AMBALEMA
115	HOBO	508	VENADILLO
116	TESALIA	509	PIEDRAS
117	VILLAVIEJA	510	ALVARADO
118	GIGANTE	511	ARMERO-GUAYABAL
119	GASOD. TRONCAL DEL SUR	512	LERIDA
120	NATAGAIMA	513	DOIMA

121	LA PLATA	514	PUERTO SALGAR
122	PACARNI	515	HERVEO
123	CHAPARRAL	516	LA SIERRA
124	ALGECIRAS	517	FRESNO
125	GARZON	518	MANZANARES
126	GUACIRCO	519	MARIQUITA
127	SALDAÑA	520	FLANDES
128	EL GUAMO	521	VICTORIA
129	PURIFICACION	522	LIBANO
130	TARQUI	523	GIRARDOT
131	GUALANDAY	524	HONDA
132	MELGAR	525	TIERRADENTRO
133	CARMEN DE APICALA	526	RICaute
134	FUSAGASUGA		

El instrumento se identifica mediante un Sticker que contiene su serie, fecha de verificación, acta generada y próxima fecha de revisión. Además de esto se marca con un pirograbador para asegurar su identificación.

Instructivo 0803: Verificación de manómetros por comparación: El objetivo de este instructivo es garantizar la veracidad de las mediciones. Estos deben estar claramente identificados.

El método de comparación consiste en tomar lecturas ascendentes y descendentes para calcular el error máximo, el error mínimo, la histéresis y el porcentaje de error del manómetro, verificando que estos valores cumplan con lo establecido por las normas de calidad. Antes de registrar las lecturas, se debe verificar el punto cero, tanto del manómetro como del patrón de prueba.

Resultados Obtenidos: Los resultados que se obtienen en una prueba de verificación son: error absoluto, error de histéresis, factor de corrección del patrón y gráficas de error. Dependiendo de estos resultados se analiza si el manómetro cumple o no cumple con su correcto funcionamiento.

Documentación: Todos los instrumentos cuentan con unos registros, (Ver manual del software) donde se especifica su comportamiento durante el tiempo. Estos documentos se encuentran archivados en el Laboratorio en medio impreso y magnético, en formato de Excel. Los registros utilizados son los siguientes:

- Reg 0801 Ingreso y salida de equipos
- Reg 0804 Informe de verificación de manómetros
- Reg 0810 Hoja de vida de Instrumentos

6.2.2 Detectores de monóxido (CO) y metano (CH4)

Detectores de monóxido (CO)

Su funcionamiento es detectar la presencia de oxígeno o gas tóxico en el aire. La concentración de gas tóxico es monitoreada en ppm (partes por millón) de la atmósfera y la concentración de oxígeno en (%). Cuando el nivel del gas excede el nivel presente, actúa la alarma pulsante, alumbra el Led y presenta vibración.

Las funciones de alarma para gases tóxicos incluyen alarma promedio de tiempo ponderado (TWA) y la alarma de límite de exposición por corto plazo (STEAL). La alarma audible por falta de sensor o sensor incompatible, es idéntica a la pulsación de tono de 1 sg que ocurre durante la condición de alerta. Los instrumentos que se tienen son Pulsar y Scott.



Figura 3. Detectores de monóxido y metano

1. *Método de medición:* La prueba que se realiza es la de verificación de la calibración. Consiste en tomar una medición directamente con el Gas patrón: Mezcla Patrón certificada de CO 300 ppm marca AGA.



Figura 4. Verificación con gases patrones

2. *Entorno donde se realiza la medida:* La prueba de verificación se lleva a cabo en el laboratorio en un lugar ventilado, amplio, a una temperatura ambiente, en un espacio limpio sin presencia de otros gases.

Ejecución y control de calidad:

El procedimiento que se aplica es el Procedimiento 0809: Verificación de detectores; cuyo objetivo fundamental es verificar las medidas tomadas con los detectores de monóxido para poder brindar una mayor confiabilidad en el trabajo realizado por la empresa.

Según el **Instructivo 0806** al igual que con los manómetros se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Realizar una inspección visual del instrumento; verificar sus tornillos, sticker de identificación, baterías y sensor en buen estado.
- No se debe realizar ningún tipo de ajuste antes de llevarlo al laboratorio.

Instructivo 0802: Identificación de equipos

Tabla 5. Clasificación de detectores

EQUIPO	TIPO DE EQUIPO	SIGLA	AREA
Detector	Detector de Monóxido	DCO	Inspecciones
	Detector de fuga	DFU	OyM, Inspecciones Interventoria
	Detector de THT	DTHT	O y M

Ejemplo: DCO-501-32157 lo que indica que es un detector de monóxido, perteneciente a la ciudad de Ibagué con serie 32157.

Instructivo 0806: Verificación de detectores: El método de calibración de detectores consiste en comparar el detector con un gas patrón (Ver 5.4), se debe instalar el detector con el patrón y establecer el punto cero. Tomar las lecturas del instrumento verificando el tiempo de respuesta y el resultado que se encuentre dentro de los rangos especificados por el manual de operación; si este se encuentra dentro de lo especificado, se le da la conformidad al equipo.

Si la lectura no es correcta se realiza un ajuste si es posible, de lo contrario se debe enviar al proveedor para que sea reparado. Se diligencian los registros correspondientes al proceso.

Resultados Obtenidos: El único resultado que se obtiene luego de la verificación es la lectura registrada en el equipo, según el gas patrón y los ajustes realizados. De esto dependerá el cumplimiento del funcionamiento del instrumento.

Documentación: Como se mencionó anteriormente en los manómetros la documentación se encuentra en el banco de pruebas. Estos registros son:

- Reg 0801 Ingreso y salida de equipos
- Reg 0810 Hoja de vida de los instrumentos
- Reg 0811 Informe verificación detector de fuga
- Reg 0813 Informe de verificación del detector de monóxido

Detector de metano o fugas (CH₄)

Estos instrumentos se utilizan para detectar fugas de gas natural (metano) en bajas concentraciones como 20 ppm. También es sensible ante el acetileno, amonio, benceno, butano, gasolina, entre otros. Los detectores que se tienen son Bacharach y Tecom. Inicialmente la alarma auditiva presenta un sonido cuya tasa es de alrededor de una vez por segundo sin detección de gas, este indica la presencia de gas combustible aumentando el sonido junto con la concentración de gas. Además la alarma visual (conjunto de led), aumenta la rapidez del parpadeo con la concentración de gas.

El detector de fuga **Bacharach** consta de las siguientes partes:

- * 5 baterías Alkaline
- * Sonda de 20"

- * Sensor de estado sólido, vida 5 años y no requiere calibración.
- * La pantalla muestra los valores predeterminados de alarma, el nivel de la batería, los

íconos de alarma baja y alta, el valor de gas de calibración por tres segundos y el indicador de latido del corazón.

- * La rotación del control de ganancia en sentido de las manecillas del reloj aumenta la sensibilidad mientras que en sentido contrario la disminuye.
- * El reemplazo del sensor se hace de acuerdo al factor de sensibilidad y está acompañado con un par de resistencias que asegura el buen funcionamiento cuando está instalado.
- * Los errores que se presentan se detectan según la frecuencia del sonido de la alarma, cuando la batería está sin carga, se escucha una alta frecuencia de tono y luego el instrumento se apaga. Cuando existe un error en el sensor, rápidamente cambia los tonos de alta y baja frecuencia.

El detector de fuga **Tecom** consta de las siguientes partes:

- * Microprocesador
- * Sensor catalítico semiconductor (sensibilidad)
- * Batería recargable de Níquel

Este detector permite visualizar los errores en el display mediante mensajes como:

- * ErrdsE: Daño en el sensor
- * ErrCLn: Sensor contaminado
- * Errblo: Indica batería descargada

Las pruebas realizadas son similares a las del detector de monóxido, variando la concentración de gas patrón utilizada.

Detector de THT (Tetrahidrotiofeno)

Son detectores de Odorizantes, utilizados para inspeccionar redes, tanto internas como externas; verificando que el recorrido del gas sea uniforme por toda la tubería. Aunque son pocos los detectores de este tipo que posee la empresa en el área de operación y mantenimiento es importante mencionar sus características. THT es un agente odorizante habitual aplicado al gas natural para poder detectarlo, puesto que el metano no presenta ningún tipo de olor. Estos instrumentos no son apropiados para el empleo

en áreas con mezclas explosivas de gas y aire.

Durante la medición el detector indica la concentración de THT, que llega al aparato en mg/m³. Este necesita de 1 – 2 minutos para indicar un valor de medición estable. Se debe continuar midiendo hasta que la indicación no se modifique más durante un periodo de 1 minuto.

6.2.3 Plancha de Termofusión: Este instrumento es utilizado por el área de Construcciones en el momento de realizar las pegas de tuberías durante la construcción de redes. Aplica el principio de transferencia de calor.

El principio de la fusión por calor consiste en calentar dos superficies a una temperatura determinada y después fusionarlas mediante la aplicación de fuerza. Dicha presión hace que fluyan los materiales fundidos, se mezclen y se fusionen. Cuando se calienta el tubo de polietileno, la estructura molecular cambia de un estado cristalino a un estado amorfo. Cuando se aplica presión de fusión, las moléculas de los extremos del tubo se mezclan. Mientras se enfría la unión, las moléculas vuelven a su forma cristalina, las interfaces originales desaparecen y, finalmente, los dos tubos se convierten en un tubo homogéneo. El área de la unión adquiere más resistencia que el tubo mismo, ya sea en condiciones de tensión o de presión.



Figura 5. Plancha de termofusión

Las partes que conforman una plancha son las siguientes:

- 2 Resistencias de 2SW o 4SW
- 1 Termoswith de 2SW o 4SW
- Termómetro
- Conector de alimentación
- Socket de ½” IPS y de ½” CTS y de 1”

- 2 Caras planas de hierro
- Mango y portamango

1. *Método de medición:* La medición consiste en verificar el correcto funcionamiento de la plancha; comprobando la uniformidad de la temperatura en ambas caras con un termómetro digital ATKINS serial NPS 1269-1.

2. *Entorno donde se realiza la medida:* La prueba de verificación se lleva a cabo en el laboratorio. No requiere condiciones de temperatura ni humedad relativa.

Ejecución y control de calidad:

Según el **Instructivo 0805** el cual es aplicado para instrumentos de termometría y cuyo objetivo es verificar su calibración, mantenimiento y transporte; el procedimiento es el siguiente:

- Se conecta la plancha a 110 V
- Se calienta a 210°C o 480 °F (+-10)
- Con el termómetro digital se toman cuatro lecturas para verificar que está calentando homogéneamente
- Se deja por un periodo de 10 minutos para ver si es estable en su temperatura máxima de trabajo.
- Si se requiere ajuste, se gira el tornillo del termoswitch en sentido contrario a las manecillas del reloj.

Instructivo 0802: Identificación de equipos.

Tabla 6. Equipo de termofusión

EQUIPO	TIPO DE EQUIPO	SIGLA	AREA
TERMOFUSION	PLANCHA	PTS	CONSTRUCCIONES
	TERMOMETRO	TERM	CONSTRUCCIONES

Resultados Obtenidos: El resultado que se obtiene son las lecturas tomadas con el termómetro digital en las caras de la plancha, y el estado de cada una de sus partes. De esta manera se certificará el instrumento, mediante una etiqueta de identificación.

Documentación: Los registros que se diligencian son los siguientes:

- Reg 0801 Ingreso y salida de equipos
- Reg 0810 Hoja de vida de los instrumentos
- Reg 0816 Informe verificación de planchas de termofusión

6.2.4 Termómetros: En realidad los instrumentos que comúnmente se verifican son las termocuplas con rango entre -40 y 500 °F mediante el patrón Bloque seco. Según el **instructivo 0805** el método de medición por comparación directa consiste en tomar cuatro lecturas de forma ascendente y descendente controlando la temperatura de la sala de ensayo en 23°C (+- 2) y la humedad relativa entre 50-60% esto solamente cuando se esté verificando en la sala de ensayo.

Las lecturas que se toman son en 0, 50%, 75% y 100% del rango de medición tanto ascendente como descendente, de esta manera se calcula el error para determinar si cumple o no cumple el equipo.

7. DESARROLLO DEL PROYECTO

7.1 ANALISIS DE LAS CARACTERISTICAS METROLOGICAS Y COMPORTAMIENTO DE LOS EQUIPOS.

El siguiente análisis consta del estudio de las principales características metrológicas que se manejan dentro del Banco de pruebas. Se mostrarán los resultados de acuerdo a la Normatividad que se tienen para realizar los procedimientos. En el Banco de Pruebas, las verificaciones que se realizan a los equipos incluyen, dentro de su análisis:

7.1.1 Error puntual

El error encontrado en términos absolutos de las medidas tomadas con el instrumento referenciadas a las medidas del patrón. Este error es el resultado de posibles errores sistemáticos o aleatorios puesto que no se tiene certeza de ello, ya que el laboratorio no se encuentra en condiciones “ideales” requeridas para realizar pruebas de calibración y caracterización de los equipos. El cálculo de error se aplica a los manómetros y termómetros para determinar el cumplimiento de su funcionamiento.

$$\varepsilon = \text{Prueba} - \text{Normal} \rightarrow \text{Instrumento} - \text{Patrón} \quad (\text{Unidades}) \quad (7)$$

El error encontrado del instrumento es sumado con el **factor de corrección** que se toma del certificado de calibración del Patrón con el que se tiene Trazabilidad.

7.1.2 Trazabilidad

A continuación se explica el proceso de trazabilidad de cada uno de los patrones de trabajo que se encuentran en el laboratorio. (Ver Anexo 5.Graficas de trazabilidad).

* El Patrón de trabajo utilizado rutinariamente para calibrar los manómetros es:

- Manómetro Digital marca AMETEK
- Modelo APC01KGINDG
- Número de serie: 8744059
- Rango de medición: 0 a 1000 psi y de 0 a 27710 inH₂O
- Exactitud: 0.1

- El Patrón de Referencia, el cual es de mayor calidad metroológica es el Manómetro a Pistón P-BP-01 que se encuentra en el Laboratorio de Metrología de la Universidad del Valle-Metrocalidad; su **exactitud es de 0.0093%**. La Trazabilidad es la siguiente:

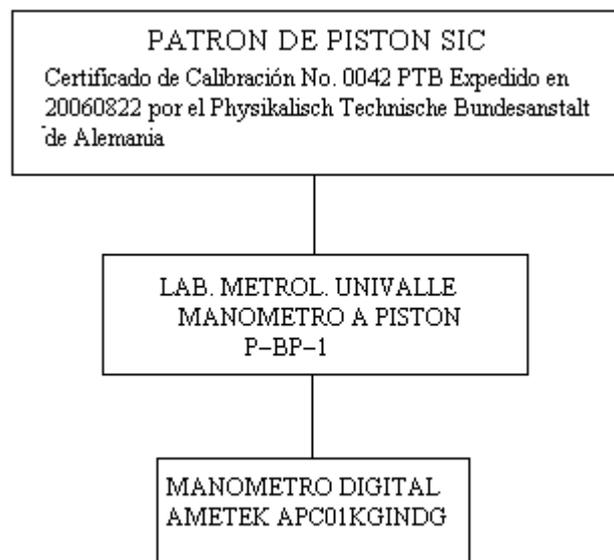


Diagrama 1. Trazabilidad del patrón de presión

* El Patrón de trabajo utilizado para calibrar los termómetros o termocuplas es:

- Calibrador de Temperatura
- AMETEK
- Modelo CTC-140-A
- Número de serie: 534900-00544
- Rango: -30 a 140 °C
- Resolución: 0.1 °C

- El bloque térmico ha sido calibrado y caracterizado con Patrones de Referencia:

- En SICOTRONICA fue calibrado con dos patrones de Referencia (Ver Diagrama 2.)
 - En SURTIGAS con una RTD Pt-100 con el digitalizador F-150. Los patrones utilizados en la calibración están trazados a los patrones de la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC).
 - En AMETEK con un sensor primario de referencia: Rosemount 162 CE
- * El termómetro ATKINS, No. De serie: NSP-1269-1, rango: 32 a 240 °F ha sido comparado con un Patrón de Referencia de temperatura, utilizando como medio un baño líquido y un bloque seco B-550. Los Patrones Nacionales utilizados son los patrones de la SIC (Superintendencia de Industria y Comercio).
- * La mezcla Patrón certificada de Monóxido de Carbono 300 ppm, Serie: CC18232 es trazable con el Laboratorio de Gases Especiales AGA mediante el Patrón certificado A31, conexión CGA-350, presión de llenado 14000 kpa y volumen de gas 4.0 m3. Su vida útil es de 24 meses.
- * Los Patrones de CH₄, son mezclas certificadas por AGA. Estas se clasifican según la concentración de gas de verificación como:
- Serie: CC218234 , Rango: 2.3% VOL, vida útil 36 meses
 - Serie: CC218236, Rango: 1.1% VOL, vida útil 36 meses
 - Serie: CC255906, Rango: 99.99%, vida útil 36 meses

 - Serie: CC152675, Rango: 10 ppm, vida útil 24 meses
- * Los patrones de trabajo utilizados para la verificación de los medidores residenciales e industriales, son:
- Patrón de cámara húmeda PCH-101-63003929,
 - Marca Elster Andel
 - Rango de medición: 25 a 2500 litros
 - Patrón de referencia: Campana Gasométrica del CDT de GAS marca Brooks

Instrument, serie 9601HC030419/1 Volumen 300 dm³

- Patrón de trabajo volumétrico diafragma
- American Meter
- Rango: 0 a 9.2 m³/h
- Patrón de referencia: Campana Gasométrica del CDT de GAS

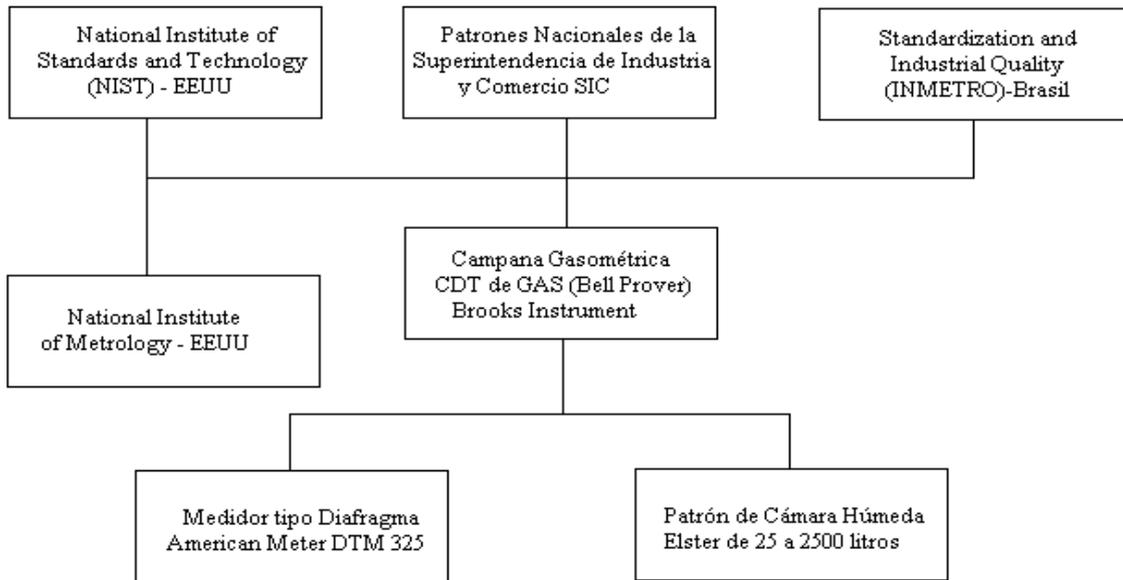


Diagrama 3. Trazabilidad de Patrones Volumétricos

Patrones utilizados:



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Patrones de trabajo. (a) Patrón de temperatura. (b) Patrón de presión. (c) Patrones volumétricos.

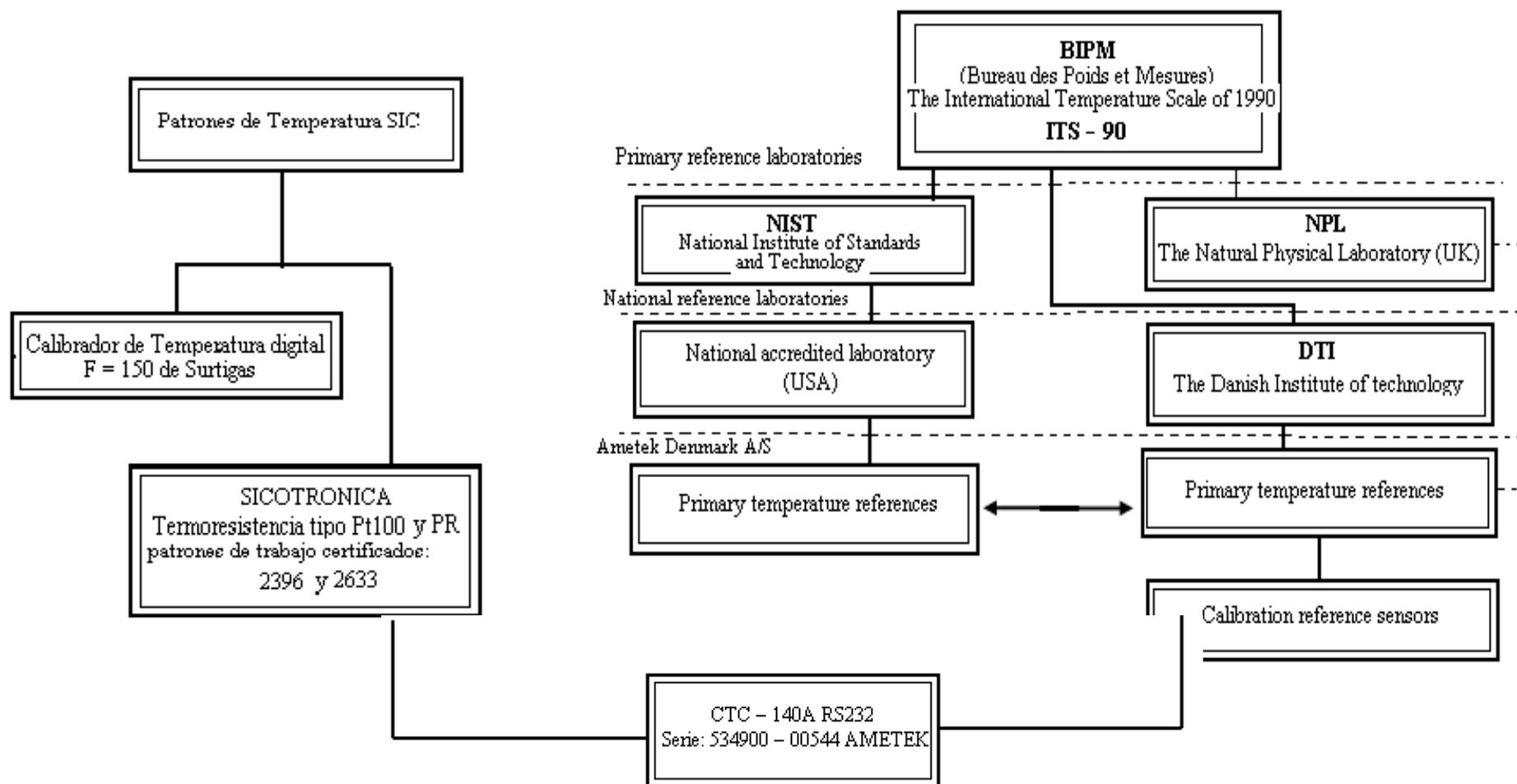


Diagrama 2. Trazabilidad del Patrón de Temperatura

7.1.3 Clase de exactitud

En algunos manómetros esta especificada por el fabricante y viene impresa dentro de su carátula. Aunque la mayoría de los instrumentos no hacen referencia a su clase, es decir no son muy precisos, hay algunos de clase 1, 1.6 y 2.5; cuyo tamaño nominal es de 40, 50 y 63 dependiendo del diámetro externo de la carátula (**Ver tabla 8.**)

Para los manómetros con tope en la aguja indicadora, la clase de exactitud cubrirá del 10% al 100% del intervalo; mientras que para los manómetros con cero libre, la clase de exactitud cubrirá de 0% al 100% del intervalo y el cero se debe usar como un punto de verificación de exactitud.

Tabla 7. Errores máximos permisibles¹

Clases de exactitud	Límites de error permisible (porcentaje del intervalo)
0.1	+ - 0.1 %
0.25	+ - 0.25 %
0.6	+ - 0.6 %
1	+ - 1 %
1.6	+ - 1.6 %
2.5	+ - 2.5 %
4	+ - 4 %

Tabla 8. Tamaño nominal de manómetros

TAMAÑO NOMINAL	DIAMETRO CAJA(mm – in)
40	61 – 2.5
50	71 – 2.5
63	86 – 4
80	110- 4
100	134 – 5
150	186 – 7
160	196 – 8
250	290 - 11

Los equipos de mayor diámetro y menor clase tienen una división de escala muy pequeña permitiendo tomar mediciones más exactas que los de mayor clase.

¹ NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 1420. Literal 9.1

Tabla 9. Clasificación de manómetros según su clase²

MANOMETROS	
CLASE	CANTIDAD
1,6	41
2,5	10
NO TIENE	240
1	47
TOTAL	338

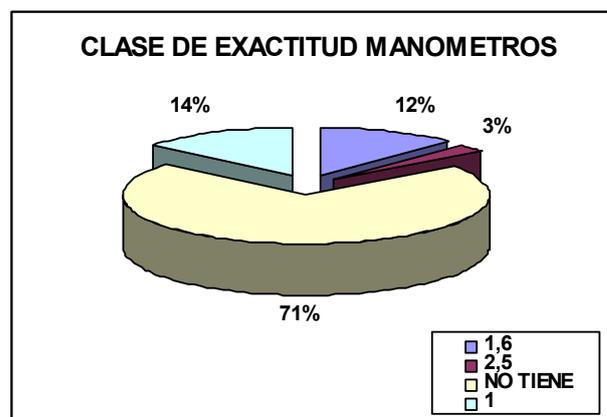
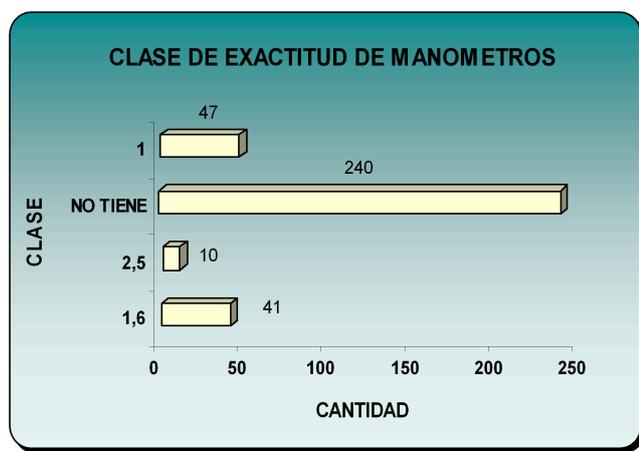


Figura 7. Clasificación de manómetros por clase

- La gráfica anterior muestra que el 71% de los manómetros en general no tienen clase, el 14% son de clase 1 los cuales exigen un porcentaje de error menor, siendo más exactos; el 12% del total son de 1.6 y solamente el 3% son de clase 2.5.

Analizando cada área se encontró que el 67% de los manómetros que pertenecen al área de Inspecciones no especifican su clase. La mayoría de estos equipos son utilizados para medir presiones medias (con manómetros de 0-30 psi), e inspeccionar las inconformidades que se puedan presentar. Se usan manómetros de este rango ya que los 60 psi que llegan a una acometida se regulan hasta 3.5 psi (7 inH₂O) aproximadamente, que es la presión normal que llega al gaseoducto residencial. Los manómetros de baja son utilizados para inspeccionar las presiones pequeñas, en escala de pulgadas columna de agua (inH₂O).

² Fuente Alcanos de Colombia S.A ESP.

- El diámetro de carátula es de 2 ½” en la mayoría de los equipos y de 4”. Los manómetros de mayor tamaño (63) pueden ser más exactos que los de 40 y 50; a medida que aumenta el tamaño, aumenta la escala y por lo tanto pueden estar dentro de las clases menores (0.1, 0.25, 0.6, 1) y ser más exactos.
- En el área de Construcciones el 93% de los equipos no indican su clase, solo el 7% aproximadamente son de clase 1, los cuales son de 4” (tamaño 63) y se utilizan para medir presiones en construcciones de redes de acometidas, estaciones de servicio; estos se clasifican en manómetros de alta (MA). Los manómetros de media (0-30 psi) se usan en las instalaciones internas.
- En el área de Operación y Mantenimiento se tienen equipos de clase 1, 1.6, 2.5 y algunos que no especifican su clase de exactitud.

La clase de exactitud de un manómetro se puede calcular conociendo los resultados obtenidos de una calibración, tales como el máximo error encontrado y el rango máximo del equipo.

$$Tol=(\varepsilon_{\text{máx}})=\frac{Cl}{100}*RANGO \quad (8)$$

$$CL=\frac{(\varepsilon_{\text{máx}})*100}{RANGO} \quad (9)$$

Este valor encontrado es confiable siempre y cuando las condiciones ambientales donde se realice la prueba sean apropiadas y el grado de incertidumbre sea menor.

7.1.4 Tolerancia

La tolerancia equivale al máximo error que se puede encontrar conociendo la clase de exactitud del instrumento. En el caso de manómetros y termómetros, el error máximo encontrado se representa como la tolerancia del instrumento porque es el error de **alinealidad**. (Ver ecuación 8.)

7.1.5 Sensibilidad

Los manómetros de mayor sensibilidad son aquellos cuya escala está dada en unidades inH₂O (pulgadas/columna de agua), y su respuesta es más rápida ante los cambios de presión. Estos son utilizados en las áreas de Inspecciones y O y M.

La sensibilidad es una de las principales características que se considera para verificar el funcionamiento de los equipos detectores de monóxido y metano. Los tipos de sensores son los siguientes:

- Detector de Fugas Bacharach: Sensor de estado sólido que tiene una vida típica de 5 años; este sensor detecta gas en bajas concentraciones como 20 ppm con un tiempo de respuesta de 3 sg. Tiene una sensibilidad muy buena respondiendo inmediatamente si aumenta la concentración de gas. No requiere calibración simplemente limpieza del filtro y mantenimiento.

Cuando la concentración es mayor, aumenta la frecuencia del tono de alarma y viceversa. Cuando hay un error en el sensor cambia rápidamente los tonos de alta y baja frecuencia. Aumentando también la alarma de led visual. Cuando hay un daño en el sensor la alarma cambia de verde a rojo constantemente.

- Detector de Fugas Tecom: Sensor catalítico semiconductor. El sensor no debe exponerse a vapores de silicona o metales alcalinos valores de 0-300 ppm con medición directa cuando sobrepasa los 300 la medición es convertida o autorango, muestra en el display el número y una señal auditiva. Por ejemplo si detecta 310 ppm muestra 31 con señal auditiva. Si se pasa de 9990 ppm el display muestra Fdr (fuera de rango). Si hay daño en el sensor el mensaje de error es ErrdsE, si es contaminado muestra ErrCLn

- Detectores de monóxido: La precisión del sensor es de +-3% de gas aplicado. Tiene dos alarmas que miden el promedio de gas toxico sobre un periodo de 8 horas y suena cuando el valor es excedido (TWA) 25 ppm y (STEL) mide el nivel de gas tóxico durante 15 minutos; nivel es de 100 ppm.

Detector de THT: El detector ODOR handy pierde durante el transcurso del tiempo su sensibilidad. Esto se compensa mediante un reajuste del amplificador (calibración). El detector debe cambiarse cuando la amplificación en el potenciómetro ya no permite ser incrementada, si el valor de CE (indica hasta que punto está incrementada la amplificación) es mayor de 250 o si el detector reacciona de forma antinatural.

7.1.6 Frecuencia de verificación de los instrumentos

El control de verificaciones que se lleva a cabo según el cronograma planteado por el Banco de pruebas, muestra que durante cada periodo programado se presentan menos instrumentos para su revisión; esto ha traído graves consecuencias puesto que es imposible analizar el funcionamiento de los equipos, su estabilidad durante el tiempo, ampliar el periodo de verificación y además cumplir con el Indicador de Calidad.

Tabla 10. Frecuencia de verificaciones del total de los equipos

No.VERIFICACION	MANOMETROS	DETECTORES	PLANCHAS
1	219	16	48
2	65	18	19
3	30	37	11
4	12	33	8
5	0	14	0
6	0	8	0
TOTAL	326	126	86

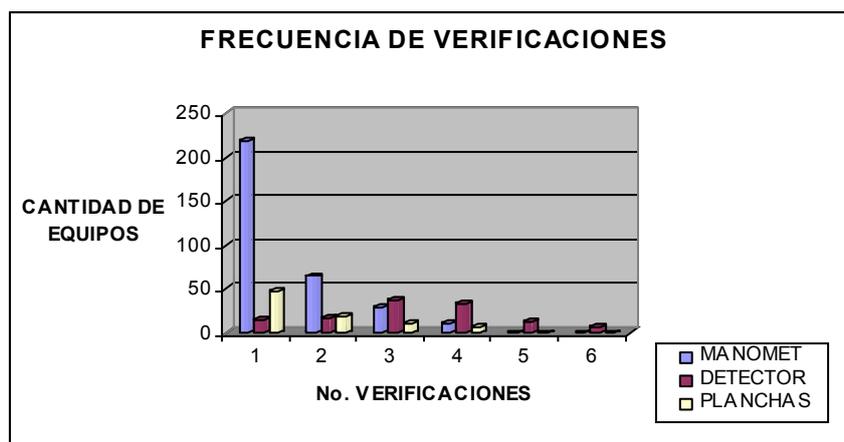


Figura 8. Numero de verificaciones realizadas

- En la gráfica anterior se observa que predominan los equipos que solamente tienen una verificación, como son las planchas de termofusión y los manómetros

pertenecientes al área de Construcciones y de Operación y Mantenimiento. Esto se debe a la falta de compromiso de estas con el Sistema de Gestión de Calidad.

- Los instrumentos que tienen más de tres verificaciones son los detectores de fuga y de monóxido que pertenecen al área de inspecciones.
- La mayor parte de los instrumentos utilizados en el área de O y M solamente han sido verificados al ingresar como equipos nuevos al Banco de Pruebas; por lo tanto no se conoce el funcionamiento de estos, ni la respuesta ante las características metroológicas estudiadas actualmente; indicando la falta de control en ésta área.

7.2. ANALISIS MATEMATICO Y ESTADISTICO DE LAS CARACTERISTICAS METROLOGICAS

7.2.1 Exactitud y precisión

La exactitud y precisión del instrumento está determinada por los errores sistemáticos y aleatorios presentes en la medida. El error que se especifica en las medidas está representado mediante el **error absoluto** (ver teoría de errores) de la siguiente manera:

$$\text{Error} = Pr - No \quad (\text{Prueba} - \text{Normal}) \quad (10)$$

Este error se expresa en unidades de medición. Para determinar si el error de medida es grande o no en comparación con esta se recurre al **error relativo** definido como:

$$\varepsilon_{rel} (\%) = \frac{Pr - No}{Pr} * 100 \quad (11)$$

En un proceso de medición los errores aleatorios aparecen espontáneamente y no pueden corregirse. Esto se debe a que se desconocen las fuentes que los originan, haciendo imposible la estimación de los posibles procesos de corrección. Sin embargo su efecto puede ser reducido incrementando el número de repeticiones o controlando las

fuentes de origen. Para reducir la variabilidad y aumentar la precisión se debe reducir el grado de incertidumbre.

Tanto la exactitud como la precisión del equipo se analizan según las Distribuciones de probabilidad estadísticas.

* **Análisis de la Distribución Normal**

También llamada distribución de Gauss o distribución Gaussiana, es la distribución de probabilidad que con más frecuencia aparece en estadística y teoría de probabilidades, ya que su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo a gran número de variables estadísticas.

Su función de densidad es simétrica y con una forma de campana:

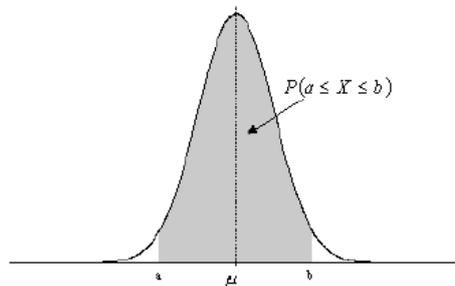


Figura 9. Distribución normal o campana de Gauss.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (12)$$

$\mu = \text{Media}$

$\sigma = \text{Desviación estándar}$

$\sigma^2 = \text{Varianza}$

El valor de σ representa la dispersión de los datos; un valor pequeño de este indica una gran probabilidad de obtener datos cercanos al valor medio de la distribución.

Propiedades de la Distribución Normal:

- La curva es asintótica al eje de las abscisas (x) por ello cualquier valor entre $-\infty$ y $+\infty$ es teóricamente posible. El área total bajo la curva es por tanto igual a 1.
- Es simétrica con respecto a su media. Existe la probabilidad de un 50% de observar un dato mayor que la media y un 50% de observar un dato menor.
- El área bajo la curva comprendida entre los valores situados a dos desviaciones estándar de la media es igual a 0.95. Existe un 95% de posibilidades de observar un valor comprendido en el intervalo.

$$\begin{aligned} &(\mu - 1.96\sigma, \mu + 1.96\sigma) \\ &(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma) \end{aligned} \quad (13)$$

Generalmente no se dispone de información acerca de la distribución teórica de la población, sino que a partir de una muestra extraída al azar de la población que se desea estudiar se calcula el intervalo de dispersión.

Como se toma una muestra, se obtiene es una media muestral \bar{X} y una desviación estándar muestral S.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Pr } i - \bar{P}_r)^2}{n - 1}} \quad (14)$$

Como se quiere extraer una conclusión acerca del valor medio real en la población original. Para esto se basa la estadística en el teorema central del límite el cual dice que “Todas las medidas de muestras aleatorias de cualquier variable, siguen ellas mismas una Distribución Normal, con igual media que la de la población y desviación estándar de la población dividida por \sqrt{n} . La media muestral será:

$$\bar{X} \approx N(\mu, \sigma/\sqrt{n}) \quad (15)$$

Conociendo las propiedades, aproximadamente un 95% de los posibles valores de \bar{X} caerán dentro del intervalo.

$$\begin{aligned} & \left(\mu - \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}}, \mu + \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}} \right) \\ & \left(\mu - \frac{2\sigma}{\sqrt{n}}, \mu + \frac{2\sigma}{\sqrt{n}} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

Puesto que μ y σ son desconocidos se aproximan por sus análogos muestrales.

Esta distribución es la que se utiliza más adelante también para el cálculo de INCERTIDUMBRE DEL METODO.

Ejemplo:

- Con las condiciones ambientales controladas, se debe realizar diferentes pruebas con varios instrumentos, para encontrar los errores sistemáticos y aleatorios. Se toman diferentes lecturas en varios puntos de la escala y en cada punto repetir mínimo 10 veces para analizar el error puntual.
- Con estos valores realizar los cálculos para encontrar los límites de Distribución Normal, y mediante las tablas de distribución (Tabla 1. Anexo 6) encontrar el valor de k para un porcentaje de confiabilidad deseado.

Para un manómetro de 0-30 psi, se han tomado las siguiente lecturas en un mismo punto (10 psi). 10.5, 10.0, 10.2, 10.3, 10.5, 10.4, 10.2.

$n = 7$ $\bar{X} = 10.3$ $S = 0.18$ calculada según la ecuación (14).

$$\begin{aligned} \bar{X} &\approx N\left(\mu, \sigma/\sqrt{n}\right) = \left(\mu - \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}}, \mu + \frac{1.96\sigma}{\sqrt{n}}\right) \\ &= \left(10.3 - \frac{1.96(0.18)}{\sqrt{7}}, 10.3 + \frac{1.96(0.18)}{\sqrt{7}}\right) = (10.17, 10.43) \end{aligned}$$

Por lo tanto se está un 95% seguro de que la medida media real, se encuentra oscilando en la población de origen, entre un 10.17 y 10.43 psi.

Exactitud: $\frac{\bar{X} - V.verdadero}{Rango} * 100 = \frac{10.3 - 30}{30} * 100 = 1\%$

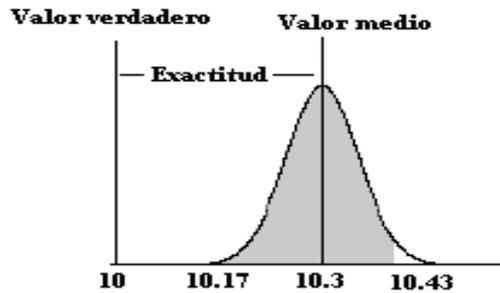


Figura 10. Distribución Normal

El intervalo de confianza del 95% está entre $\pm 0.13 \text{ psi}$. Este intervalo se conoce como Incertidumbre del manómetro tipo A obtenida según su característica de Repetibilidad.

La clase de exactitud de un instrumento, si no está especificada, se puede calcular mediante la siguiente fórmula, encontrando el máximo error representativo de las mediciones realizadas en diferentes puntos de escala.

$$CL = \frac{(\varepsilon)_{\text{máx}} * 100}{RANGO} \quad (17)$$

Según lo establecido por la norma NTC 1420 para manómetros, el número de puntos de ensayo según la clase será:

- Clases 0.1; 0.25; 0.6 mínimo 10 puntos
- Clases 1; 1.6; 2.5 mínimo 5 puntos
- Clases 4 mínimo 4 puntos

*** Análisis de la Distribución “t de Student”**

- En muchas ocasiones no se conoce la desviación estándar de la población y el número de observaciones en la muestra es menor de 30. En estos casos se utiliza la distribución t.

- Es una distribución continua, tiene una media de cero, es simétrica respecto de la media y se extiende de $-\infty$ a $+\infty$ la varianza de t es $\frac{v}{v-2}$ para $v > 2$. Cuando los

grados de libertad son suficientemente grandes la varianza de la distribución t tiende a 1.

$$t = \frac{Z}{\sqrt{\frac{x^2}{v}}} \quad (18)$$

Donde $Z = \frac{X - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$ y $x^2 = \frac{S^2(n-1)}{\sigma^2}$ reemplazando estos valores en t se obtiene:

$$t = \frac{X - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (19)$$

Despejando la fórmula anterior se puede calcular el límite del intervalo de la siguiente manera:

$$t * \frac{s}{\sqrt{n}} = X - \mu$$

$$X = \mu \pm t * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{donde } t \text{ se halla mediante la tabla de la distribución } t - \text{student}$$

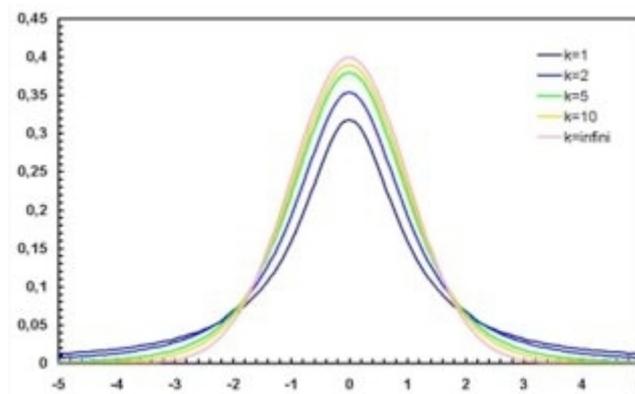


Figura 11. Distribución t-Student con diferentes grados de libertad

Con $v = n-1$ grados de libertad. Los grados de libertad son el número de valores que se pueden elegir libremente de una población. En la gráfica anterior se muestra la gráfica para valores de v ó k diferentes.

- Esta distribución se comporta igual a la distribución normal, en el límite cuando n tiende a infinito, pero difiere considerablemente de ella cuando n es pequeño. Refleja

las limitaciones de la información disponible debidas al número finito de mediciones.

- De lo anterior se concluye que si el número de mediciones es grande, mediante el teorema del límite central se utiliza la Distribución Normal, pero cuando el tamaño de la muestra es muy pequeño y se exige una estimación de la incertidumbre más rigurosa donde se requiera mayor exactitud es necesaria utilizar la Distribución t de Student, para calcular el factor de cobertura K descrito en su tabla de probabilidad.

Ejemplo: Retomando el ejemplo anterior, para los manómetros; en este caso, el número de grados de libertad sería 6. Pues se tomaron 7 mediciones por lo tanto $v = 7 - 1 = 6$ con una media de 10.3 psi.

$n = 7$, $v = 6$, $\bar{X} = 10.3$, $S = 0.18$, $t = 1.943$ para un intervalo de confianza del 95 %
Los límites de intervalo de confianza son por consiguiente:

$$X = 10.3 \pm (1.943) * \frac{0.18}{\sqrt{7}}$$
$$X = 10.3 \pm 0.132$$
$$X1 = 10.432$$
$$X2 = 10.168$$

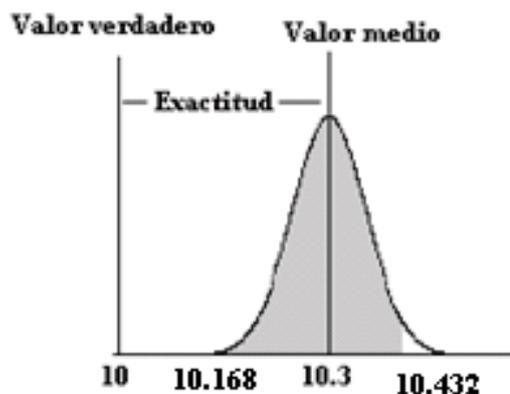


Figura 12. Gráfica de exactitud y precisión

- Se observa que los valores encontrados mediante la distribución “t” son muy similares a los encontrados mediante las aproximaciones de la distribución normal.

- El valor encontrado mediante la tabla de distribución t-student, representa el factor de cobertura k. En el cálculo de incertidumbre, este valor es multiplicado por la incertidumbre combinada en el momento de su expansión.

7.2.2 Metodología para el cálculo de incertidumbre

De acuerdo a la norma ISO / IEC 17025 un laboratorio de calibración o de ensayos debe tener y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de medición. Generalmente, estos procedimientos requieren el uso de tablas donde se resumen los valores de incertidumbre encontrados.

El literal 5.4.6.1 de la norma ISO / IEC 17025 señala que un laboratorio de calibración o de ensayos, que realiza sus propias calibraciones, debe tener y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de medición para todas las calibraciones y tipos de calibración. Estos procedimientos de calibración deben incluir la información e instrucciones necesarias para llevar a cabo el cálculo de incertidumbre de medición correspondiente. Esta información proviene de un análisis de sistemas de medición, patrones de referencia y factores de influencia.

Es importante tener en cuenta que la incertidumbre se puede disminuir utilizando un instrumento con una división de escala mayor y así obtener un error de apreciación menor, es decir trabajar con un instrumento de mejor clase. A continuación se explicarán los pasos para encontrar la incertidumbre, usando como ejemplo el calculo de incertidumbre de la calibración de un manómetro de carátula.

Pasos para encontrar la incertidumbre de una medición:

1. Elaboración de un modelo (matemático) de la medición

La presión del manómetro se mide mediante una comparación directa. Mediante una bomba hidráulica se ejerce presión sobre el instrumento y se compara la lectura directamente con el Patrón de presión digital.

La indicación del Patrón digital presenta un error según su certificado de calibración. Por lo tanto la relación matemática es la siguiente:

$$Pr = No + \varepsilon \quad (20)$$

Donde ε se conoce como el factor de corrección, el cuál se incluye en el análisis a través de la incertidumbre descrita en el certificado de calibración del Patrón.

2. Identificación de las fuentes de incertidumbre

Con base en el modelo matemático de la medición se identifican las siguientes fuentes de incertidumbre:

- Respecto a la indicación del manómetro:
 - a) Resolución de las lecturas
 - b) Dispersión de las lecturas (Repetibilidad)

- Respecto al error de indicación del Patrón:
 - a) Incertidumbre de calibración
 - b) Posicionamiento del patrón

Según el ejemplo anterior, de acuerdo a los resultados obtenidos en un manómetro de 0 -30 psi en el punto 10 psi; y a la información del certificado de calibración se tienen los siguientes datos:

- Promedio de 7 lecturas $\bar{X} = 10.3$
- $\varepsilon_p = 0.016$ psi

3. Evaluación de la Incertidumbre Estándar

La incertidumbre estándar $u(x_i)$ se evalúa usando la información proveniente de certificados de calibración, especificaciones y características de los instrumentos, datos experimentales y las funciones de probabilidad.

a) Resolución: Mínima cantidad que puede ser medida de manera repetible. Es una incertidumbre de tipo B y se calcula con ayuda de la Distribución Rectangular.

Una distribución rectangular de medición se distingue porque todas las mediciones de la variable medible, caen dentro de un solo intervalo fijo de valores y la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos dentro del intervalo es igual para todas. Por afuera de dicho intervalo su probabilidad es nula.

Análisis de la distribución rectangular:

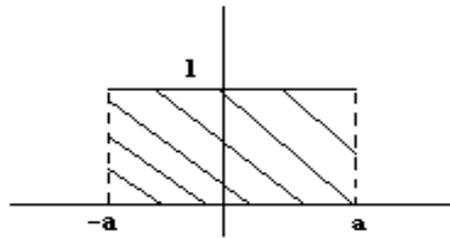


Figura 13. Distribución rectangular

$g(A) = C$; constante para el intervalo $-a \leq A \leq a$

$g(A) = 0$ para $A < -a$ y $A > a$

$$\int_{-\infty}^{\infty} g(A).dA = \int_{-a}^a g(A).dA = \int_{-a}^a C.dA = C.A \Big|_{-a}^a = C[a + a] = C.2a$$

$$C.2a = 1$$

$$C = \frac{1}{2a}$$

Se calcula la varianza según su definición:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (A - \bar{A})^2 .g(A).dA \quad (21)$$

Si el promedio de las mediciones es cero:

$$\sigma^2 = \int_{-a}^a A^2 .g(A).dA = \int_{-a}^a A^2 .\left(\frac{1}{2a}\right).dA = \frac{1}{2a} .\frac{A^3}{3} \Big|_{-a}^a = \frac{1}{2a} \left[\frac{a^3}{3} + \frac{a^3}{3} \right]$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{2a} \left[\frac{2a^3}{3} \right] = \frac{a^2}{3}$$

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{r}{\sqrt{3}} \text{ para el caso de resolución} \quad (22)$$

La Incertidumbre encontrada por el equipo sería igual a $u_i = \pm \sigma$ donde $a = a/2$

El instrumento tiene una resolución de 0.5 psi

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{a/2}{\sqrt{3}} \quad u(\text{resolucion}) = \frac{r}{\sqrt{3}} = \frac{0.25}{\sqrt{3}} = \pm 0.144 \text{ psi}$$

b) Repetibilidad: Son fuentes de incertidumbre que se estiman con procedimientos de tipo estadístico. Se calcula mediante la aplicación de la Distribución Normal o campana de Gauss y se obtiene de la repetición de las mediciones. (Ver análisis de la Distribución Normal en el cálculo de exactitud). Se expresa como incertidumbre estándar con un factor de cobertura de $k=1$.

$$u_M = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (23)$$

Donde S es la distribución estándar muestral y n el número de muestras o repeticiones.

Según el ejemplo anterior se tiene:

$$n = 7 \quad \bar{X} = 10.3 \quad S = 0.18 \text{ calculada según la ecuación (14).}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Pr } i - \bar{P}_r)^2}{n - 1}} = 0.18$$

$$u_M = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.18}{\sqrt{7}} = \pm 0.068 \text{ psi}$$

c) Incertidumbre de la calibración: Esta incertidumbre se consulta en los informes de calibración. Este valor se tiene que reducir a incertidumbre estándar teniendo en cuenta el factor de cobertura k que viene incluido.

La incertidumbre del Patrón se obtiene de la siguiente manera:

$$u_P = \frac{U}{k} \quad (24)$$

u_p es la incertidumbre estándar proveniente del informe de calibración

U es la incertidumbre expandida

k es el factor de cobertura

El certificado de calibración del Patrón indica que la incertidumbre del error es de ± 0.11 psi a un nivel de confianza del 95%, por lo tanto $k = 2$.

$$u_p = \frac{0.11}{2} = \pm 0.055 \text{ psi}$$

d) Posicionamiento del Patrón: El banco de pruebas que se tiene dentro de la sala de ensayo contiene el instrumento Patrón en una posición fija al lado derecho y los manómetros se ubican a cierta altura al lado izquierdo. Debido a que el patrón tiene como elemento transmisor de presión una bomba hidráulica, que funciona con aceite mineral, se debe analizar la contribución de su posición en la incertidumbre de medida de acuerdo a la diferencia de alturas entre el manómetro y el patrón y la densidad del aceite.

Para lo cual se aplica la Hidrostática, específicamente la **Presión hidrostática** la cual dice que todo líquido en cualquier dos puntos (X1 y X2) que estén separados por una diferencia de alturas de valor h se presenta, en virtud del efecto de la existencia de una columna líquida entre ellos una diferencia de presión dada por:

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho * g * h \quad (25)$$

$$\rho = \frac{m}{v} \text{ (gr / cm}^3\text{)} \quad v = h.A \quad (26)$$

Donde P_1 y P_2 son las presiones del manómetro y el Patrón respectivamente; ρ es la densidad del aceite; g es la gravedad; h la altura; v el volumen; m la masa y A es el área.

En nuestro caso lo que se tiene es lo siguiente:

$$\rho = 920 \text{ kgr / cm}^3$$

$$g = 9.8 \text{ m / s}^2$$

$$h = 18.5 \text{ cm}$$

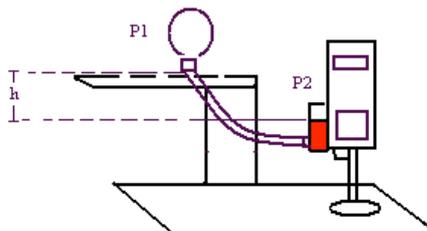


Figura 14. Banco de pruebas para manómetros

Si $P_1 = 10.3 \text{ psi}$ y $P_2 = 10 \text{ psi}$, se sabe que la diferencia es de 0.3 psi en condiciones ideales es decir sin tener en cuenta el efecto del aceite mineral.

Para analizar su efecto, considerando a $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$ y la gravedad y altura especificadas anteriormente, se calcula la diferencia de presiones:

$$\Delta P = \rho * g * h. = 920 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/sg}^2 * 0.185 \text{ m}$$

$$\Delta P = 1667.96 \text{ kg/ms}^2 = 1667.96 \text{ Pa}$$

$$\Delta P = 0.242 \text{ psi}$$

El resultado anterior indica que hay una diferencia de 0.06 psi entre el verdadero valor. Esto se debe al efecto de la altura o la densidad del aceite mineral. Si se aumenta la altura el valor se acercará al real. En cualquiera de los casos, se deben realizar varias pruebas para encontrar el valor exacto de incertidumbre.

Para calcular la incertidumbre estándar, en este caso, se puede utilizar la gráfica de distribución rectangular, conociendo con certeza el valor diferencial de presión. El método es igual que en el cálculo de incertidumbre por resolución. Según el ejemplo anterior se tiene:

$$\sigma = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{a/2}{\sqrt{3}} \quad u(\text{posición}) = \frac{0.242/2}{\sqrt{3}} = \frac{0.121}{\sqrt{3}} = \pm 0.070 \text{ psi}$$

4. Determinación de la incertidumbre estándar combinada

La formula anterior se obtiene de la expresión “Ley general de propagación de incertidumbre”

$$U^2_c(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N u_i(y) u_j(y) r(x_i, x_j) \quad (27)$$

$r(x_i, x_j)$ es el coeficiente de correlación para las cantidades de entrada.

$$U_i(y) = ci u(xi) \quad (28)$$

donde ci es el coeficiente de sensibilidad y $ui(y)$ es la contribución de incertidumbre es tan dar de la cantidad de entrada xi

$$ci = \frac{\partial f}{\partial x_i} \quad (29)$$

- La ecuación anterior representa la derivada parcial de la medida respecto a cada uno de sus componentes. El coeficiente de sensibilidad describe qué tan sensible es el mensurando con respecto a variaciones de la magnitud de entrada correspondiente.

- Los coeficientes de sensibilidad para cada valor de entrada es igual a 1 ya que las magnitudes no están correlacionadas, debido a que el proceso de medición es de forma comparativa, es decir no dependen de otra variable del método, para el cálculo del resultado obtenido.

- La incertidumbre estándar combinada $Uc(y)$ para magnitudes no correlacionadas, como en nuestro caso particular, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$U^2_c(y) = \sum_{i=1}^N ui^2 \quad (30)$$

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N ui^2}$$

$$u_c = \sqrt{u_i^2 + u_p^2 + u_M^2 + u_{pos}^2} \quad (31)$$

Para el ejemplo, la incertidumbre estándar combinada es:

$$u_c = \sqrt{(0.144)^2 + (0.055)^2 + (0.068)^2 + (0.070)^2} = \pm 0.182 \text{ psi}$$

- Los cálculos siempre deben hacerse con la incertidumbre estándar de las cantidades sin expandir ($k=1$); una vez conseguida la incertidumbre, si se desea expandir se deberá multiplicar por el respectivo k .

- La Incertidumbre resultante no puede ser menor que la incertidumbre de la calibración del manómetro.

- En los certificados de calibración, debe incluirse una nota explicatorio que, en el caso general, debería tener el siguiente contenido: “La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

5. Determinación de la Incertidumbre expandida

La incertidumbre expandida se calcula multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cobertura k. Este valor de k se elije con base en el nivel de confianza requerido de la medición.

$$U = k * u_c \quad (32)$$

$$U = 2 * 0.182 = \pm 0.364$$

Tabla 11. Contribuciones a la Incertidumbre

FUENTE	DISTRIBUCION	INCERTIDUMBRE ESTANDAR u(xi)	COEFICIENTE SENSIBILIDAD ci	CONTRIBUCION ui(y)
Resolución	Rectangular	0.144 psi	1	0.144 psi
Calibración	Normal	0.055 psi	1	0.055 psi
Repetibilidad	Normal	0.068 psi	1	0.068 psi
Posición	Rectangular	0.070 psi	1	0.070 psi
Incertidumbre estándar combinada				$\pm 0.182 \text{ psi}$
Incertidumbre expandida				$\pm 0.364 \text{ psi}$

La incertidumbre se expresa como $\pm 0.36 \text{ psi}$ ó $\pm 1.2\%$ de la escala.

7.2.3 Calculo del factor de cobertura k

- El factor de cobertura k por lo tanto se puede calcular conociendo cada una de las contribuciones de las fuentes de incertidumbre. Este valor entonces, se puede calcular

por medio de la distribución “t” para un número de grados efectivos de libertad ν_{eff} , los cuales pueden estimarse mediante la siguiente expresión conocida como “Fórmula de Welch-Satterthwaite”.

$$\frac{1}{\nu_{eff}} = \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{u_i(y)}{u_c(y)} \right)^4}{\nu_i} \quad (33)$$

ν_{eff} es el número efectivo de grados de libertad, que considera el número e grados de libertad ν_i de cada fuente de incertidumbre.

Según el ejemplo anterior para determinar los grados de libertad para cada contribución de incertidumbre se usa la información disponible, como datos experimentales, confianza adquirida con la experiencia, etc. Para este caso se detalla a continuación:

1. Resolución: Se tiene completa seguridad de que la resolución de las lecturas es la misma. Por lo tanto el número de grados de libertad de esta contribución es infinito; entonces se considera un número grande como 10000.
2. Incertidumbre de calibración: El certificado de calibración indica que el factor de cobertura es $k = 2$ para un nivel de confianza de aproximadamente 95%. Recurriendo a la tabla de distribución “t”, el número de grados de libertad mínimo para obtener dicho factor de cobertura es aproximadamente es 60, sin embargo para asegurar la confiabilidad se propone usar 100 grados de libertad.
3. Repetibilidad: Según el ejemplo anterior se realizó un total de 7 mediciones, de modo que el número de grados de libertad es de 6 ($n-1$).
4. Posicionamiento patrón: Según los cálculos de posición conociendo la densidad del aceite mineral, se está seguro de su valor. El número de grados de libertad por tanto, es infinito; al igual que la resolución se considera un número grande de 10000.

Aplicando la fórmula de Welch-Satterthwaite

$$\frac{1}{v_{ef}} = \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{u_i(y)}{u_c(y)}\right)^4}{v_i} = \sum_{i=1}^3 \frac{\left(\frac{0.144}{0.182}\right)^4}{10000} + \frac{\left(\frac{0.055}{0.182}\right)^4}{100} + \frac{\left(\frac{0.068}{0.182}\right)^4}{6} + \frac{\left(\frac{0.070}{0.182}\right)^4}{10000} = 0.00372 \quad (34)$$

$$v_{ef} = 268$$

La siguiente tabla muestra el número de grados de libertad.

Tabla 12. Determinación del número de grados efectivos.

FUENTE	CONTRIBUCION <i>u_i(y)</i>	GRADOS DE LIBERTAD <i>v_i</i>
Resolución	0.144 psi	10000
Calibración	0.055 psi	100
Repetibilidad	0.068 psi	6
Posición patrón	0.070 psi	10000
Incertidumbre Estándar combin.	$\pm 0.182 \text{ psi}$	268

Si se requiere un nivel de confianza del 95% el valor de k se podrá determinar mediante la tabla de Distribución normal, ya que el número de grados de libertad es muy grande (268). Según la tabla se busca la probabilidad 0.025 que corresponde al 2.5%; 95% es el grado de confianza que se busca, por lo tanto la probabilidad de que no caiga dentro de ese intervalo, para calcular el límite es de 0.025 que corresponde a $5/2 = 2.5\%$. Para su mayor comprensión observar las tablas de probabilidades. Según la tabla de distribución normal $k = 1.96$

En el caso anterior calculándose el k mediante la distribución t-student (Tabla 2. Anexo) la incertidumbre expandida es:

$$U = k * u_c$$

$$U = 1.96 * 0.182$$

$$U = \pm 0.356 \text{ psi}$$

De esta manera se puede calcular el valor de k considerando los grados de libertad de todas las contribuciones de incertidumbre.

7.2.4 Índice de calidad de calibración (Q)

Es uno de los criterios que sirve para aceptar o rechazar una calibración. Expresa la proporción que existe del patrón respecto al instrumento la cual era de 10/1 inicialmente, rebajándose a 4/1.

$$Q = \frac{TOL}{u} \quad (10) \quad \text{Si } Q \geq 4 \text{ } \textit{aceptable}; \text{ Si } Q \leq 4 \text{ } \textit{no aceptable}$$

$$TOL = (\varepsilon)_{\text{máx}} = \frac{CL}{100} * RANGO \quad (35)$$

u = Incertidumbre total de medición

Para el cálculo de la tolerancia es necesaria realizar mediciones en todo el rango del instrumento, encontrando el máximo error absoluto.

7.2.5 Factor de corrección (ε): Según ecuación 1.

$$\varepsilon = Pr - No$$

Pr = Prueba o valor experimental (Instrumento)

No = Normal o valor teórico (Patrón)

El factor de corrección se expresa en los certificados de calibración como el error presente durante las pruebas de exactitud realizadas con el Patrón; este error es sumado a las lecturas del patrón o restado a la lectura de medición tomada por el instrumento (ver ecuación 13 y 14)

$$Pr = \varepsilon + No \quad (37)$$

$$No = Pr - \varepsilon \quad (38)$$

7.2.6 Error de linealidad

Este error resulta de realizar una serie de mediciones en puntos diferentes de medición, a parte del *error de histéresis* también es importante analizar el *error de linealidad*. El

error que se calcula en cada punto es un error absoluto que representa la no linealidad del instrumento.

$$\% = \frac{(\varepsilon)_{m\acute{a}x}}{A_{m\acute{a}x}} * 100 \quad (39)$$

Este error representa la desviaci3n de las mediciones de un comportamiento ideal en cuanto a linealidad del conjunto; este se modela mediante la funci3n llamada **Identidad** expresada matemáticamente como

$$Y = X \quad \acute{o} \quad Pr = No \quad (40)$$

- La linealidad se puede analizar mediante un gráfic0 en dos dimensiones, representando la ecuaci3n $Y = X$ y dibujando la variaci3n de la exactitud a lo largo del rango operativo del instrumento de medida. Tambi3n se puede graficar seg3n la ecuaci3n (15) los valores en forma porcentual.

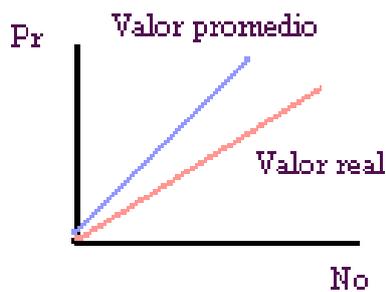


Figura 15. Linealidad de un instrumento

- Conociendo el error de linealidad del instrumento, se puede calcular su clase de exactitud puesto que la clase es la relaci3n del error m3ximo absoluto con respecto al valor m3ximo de referencia, multiplicado por 100. Por tanto es importante incluir el este error dentro de los certificados de calibraci3n.

7.2.7 Error combinado admisible

Es el m3ximo error combinado admisible para la medida de una característica. De acuerdo a la Tabla 2. en el caso de las características funcionales la fórmula que se debe seguir en el caso de calibraci3n de equipos sería:

$$2(y + |U|) < \frac{TOL}{5} \quad (41)$$

7.2.8 Estabilidad

La estabilidad depende de aspectos como:

- Características metrológicas del sistema o instrumento
- Condiciones de operación
- Condiciones ambientales
- Buenas prácticas de mantenimiento preventivo
- Frecuencia de uso
- Severidad de uso
- Exactitud requerida

La estabilidad se puede analizar mediante las gráficas de trazabilidad del instrumento durante su funcionamiento. Otra forma de analizarla es mediante las gráficas de exactitud a lo largo del tiempo, mediante gráficos de control se grafican los valores de \bar{X} durante intervalos definidos de tiempo y se analiza si los puntos fuera de control son señales que requieren de una calibración.

Puntos fuera de control en el gráfico de rangos: indica la inestabilidad en la repetibilidad.

Puntos fuera de control en el gráfico de \bar{X} media: indica que la exactitud ha variado (ver grafico).



Figura 16. Representación de la estabilidad

7.2.9 Análisis de la presión atmosférica dentro del laboratorio

La presión atmosférica dentro de un laboratorio depende principalmente de la altitud sobre el nivel del mar. Es la presión que ejerce la atmósfera en este lugar.

Además, en determinadas aplicaciones la presión se mide no como la presión absoluta sino como la presión por encima de la presión atmosférica, denominándose presión relativa, presión normal, presión de Gauge o presión manométrica. Consecuentemente, la presión absoluta es la presión atmosférica más la presión manométrica (presión que se mide con el manómetro).

$$P_{\text{absoluta}} = P_{\text{atmosférica}} + P_{\text{manométrica}}$$

$$P_{\text{atmosférica}} = P_{\text{absoluta}} - P_{\text{relativa}}$$

Según la norma NTC 2263, la presión ambiental puede ser igual a la presión atmosférica, o puede tener un valor cercano al de la presión atmosférica, cuando las mediciones se realizan en un espacio cerrado, con una temperatura ideal de 20 °C.

La altura y presión atmosférica registrada mediante el GPSmap 60CS marca GARMIN fue la siguiente:

- Altura del laboratorio: 477 m presión sobre el nivel del mar
- Presión atmosférica: 954.5 mb
- Presión atmosférica sobre el nivel del mar: 1011 mb

El valor de la presión atmosférica del laboratorio fue posible conocerlo directamente a través del GPS, sin embargo este resultado se pudo comprobar mediante la siguiente fórmula:

$$P = P_0 \left(1 - \frac{k}{T_s} * h\right)^{\frac{g}{kR}} \quad (42)$$

P_0 , es la presión a nivel del mar.

$k = 0.0065 \text{ K/m}$, es la tasa de variación de la temperatura con la altitud.

$T_s = 288,15 \text{ K}$ es la temperatura en superficie.

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$, la aceleración de la gravedad.

$R' = 287 \text{ J/kg K}$, el cociente entre la constante universal de los gases R y el peso molecular M del aire.

h = altura sobre el nivel del mar.

Reemplazando los valores anteriores en la fórmula, la expresión queda de la siguiente manera:

$$P = P_0 \cdot (1 - 22,557 \cdot 10^{-6} \cdot h)^{5,256} \quad (43)$$

Reemplazando los valores reales del laboratorio la presión atmosférica calculada es igual a la encontrada mediante el GPS.

$$P = 1011 \cdot (1 - 22.557 \cdot 10^{-6} \cdot 477)^{5.256}$$

$$P = 955.098$$

$$954.5 \approx 955.098$$

7.2.10 Temperatura

Según la Norma NTC 1420 para manómetros la temperatura tiene efecto en sus mediciones. La variación de la indicación causada por los efectos de la Temperatura no debe exceder los valores porcentuales dados por:

$$\pm 0.04 \cdot (t_2 - t_1) \% \quad \text{del intervalo} \quad (44)$$

t_1 = es la temperatura de referencia, en grados Celsius.

t_2 = es la temperatura ambiente, en grados Celsius.

La temperatura de ensayo debe mantenerse en un rango de $20 \pm 2^\circ\text{C}$

Ejemplo: Para un manómetro de 0 – 30 psi cuya sala de ensayo tiene una temperatura controlada de 22°C y la temperatura ambiente sea de 28°C ; la variación de indicación no debe exceder a:

$$\begin{aligned} &\pm 0.04 * (28 - 22) \% \quad \text{del intervalo} \quad (45) \\ &\pm 0.24\% \quad \text{de } 30 \\ &\pm 0.072 \text{ psi} \approx 0.1 \text{ psi} \end{aligned}$$

Esta prueba debe realizarse en el laboratorio, controlando las condiciones ambientales al máximo, y realizando variaciones de temperatura para observar su efecto y de esta manera estar conformes con lo establecido por la norma.

7.2.11 Humedad relativa

La humedad relativa es el porcentaje de presión de vapor de saturación que representa la presión de vapor real, es la relación de la cantidad de humedad contenida en un espacio dado y la que podría contener en el mismo espacio, si estuviera saturado.

Efectos de la humedad relativa:

- Es importante controlarla, puesto que si alcanza el 100% se produce el fenómeno llamado “rocío”, cuando el vapor de agua se condensa. Por lo tanto la norma NTC 1420 para manómetros especifica que no debe ser mayor de 80%.
- El instrumento que se ha utilizado en el Banco de Pruebas para especificar la humedad relativa es el Higrómetro marca OAKTON, que a su vez incluye dos escalas (°F y °C) para medir la temperatura del laboratorio.
- Los valores de humedad relativa dependen fuertemente de la temperatura del momento.

7.2.12 Punto de rocío

El punto de rocío o temperatura de rocío es aquella a la que empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

Conociendo la humedad relativa del laboratorio se puede calcular el punto de rocío de la siguiente manera:

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} * [112 + (0.9T)] + (0.1T) - 112 \quad (46)$$

Donde T es la temperatura en °C y H la humedad relativa.

7.3 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

7.3.1 Condiciones ambientales

- Uno de los factores que mas afectan cuando se realiza la calibración de un instrumento de medición son las instalaciones físicas en el laboratorio; estas deben estar libres de polvo, humedad, ruido, vibraciones.
- Se requiere de la optimización del Banco de prueba para medidores (Ver diseño Anexo 3).
- La temperatura adecuada, tanto para realizar prueba de medidores y manómetros dentro de la sala debe ser de 20 °C ± 2°C (Según lo establecido por la norma 2826 para medidores y 1420 para manómetros. Realizar un estudio exhaustivo durante un periodo de tiempo largo, registrando cada hora la temperatura ambiente del patrón, de la sala en varios puntos, de los medidores y del aire en la entrada y salida del recorrido.
- Los computadores que se tienen dentro de la sala de ensayo deben ubicarse fuera de ésta evitando así interferencias de tipo electromagnética y térmica.

7.3.2 Evaluación y control de calidad del sistema de medición

- Para realizar un control de calidad continuo en las mediciones de los instrumentos es importante registrar unas verificaciones periódicas y de ésta manera analizar su estabilidad en el tiempo.
- Obtener equipos patronados de referencia para calcular la exactitud y precisión de los

patrones de trabajo en el laboratorio, cuya exactitud sea mayor.

- Una vez controlada las condiciones ambientales del laboratorio, realizar pruebas en varios puntos de medida analizando las desviaciones de error mediante las gráficas de probabilidad de Distribución Normal o Distribución t-Student, que se utilizan para el cálculo de exactitud y precisión de la siguiente manera:

- Evaluar la linealidad de las mediciones mediante una gráfica del error de linealidad igual a:

$$\% = \frac{(\varepsilon)_{m\acute{a}x}}{A_{m\acute{a}x}} * 100 \quad \text{donde } A_{m\acute{a}x}. \text{ Es el mayor valor de referencia.}$$

- Analizar el estado del instrumento y actualizar todas sus características (resolución, escala, carátula, etc.) para ingresar los datos al nuevo software de verificación y calibración.

- Una vez controladas las condiciones ambientales, y realizadas las pruebas de exactitud y precisión del instrumento y encontradas las fuentes de errores aleatorios, calcular la incertidumbre, error máximo, linealidad, índice de calidad y tolerancia.

7.3.3 Capacitación del personal

- El personal debe adquirir todos los conocimientos y habilidades necesarios, asistiendo a cursos, capacitaciones o pasantías. Con esto se asegura que ellos realicen correctamente los procesos de medición.

7.3.4 Procesos de confirmación metrológica

- Diseñar un formato de calibración de equipos cumpliendo con los requisitos de la norma ISO 17025 (5.10); demostrando la trazabilidad de las mediciones, incluyendo la incertidumbre de medición del laboratorio y errores máximos tolerados.

- Observar el comportamiento y funcionamiento del equipo durante el periodo de vida de éste. Las verificaciones se realizarán cada dos meses, y la calibración cada año

realizando ajuste y mantenimiento. (Ver grafica trazabilidad)

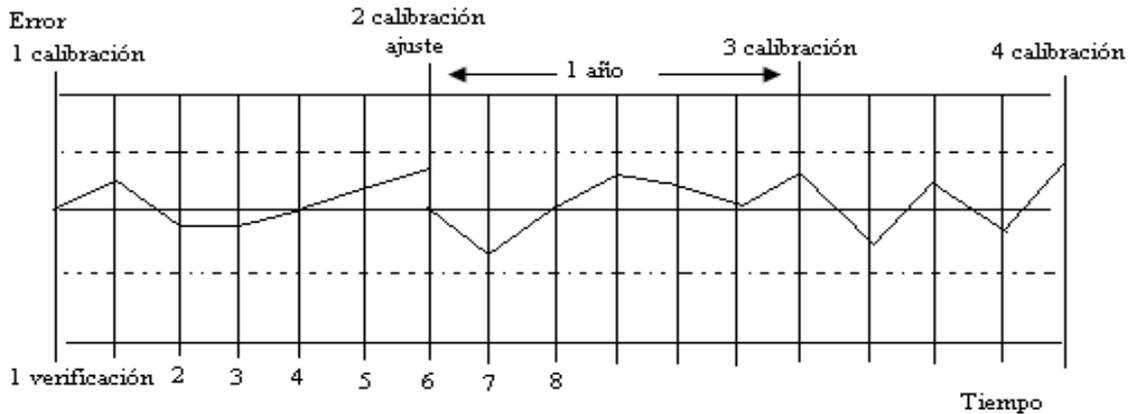


Figura 17. Trazabilidad de los instrumentos

- Durante cada verificación se realizará un mantenimiento preventivo, que consiste en la limpieza del instrumento.
- Cuando el equipo presenta errores representativos al realizarse mantenimiento o ajustes se debe realizar una recalibración. El siguiente diagrama representa el proceso de confirmación metrológica.

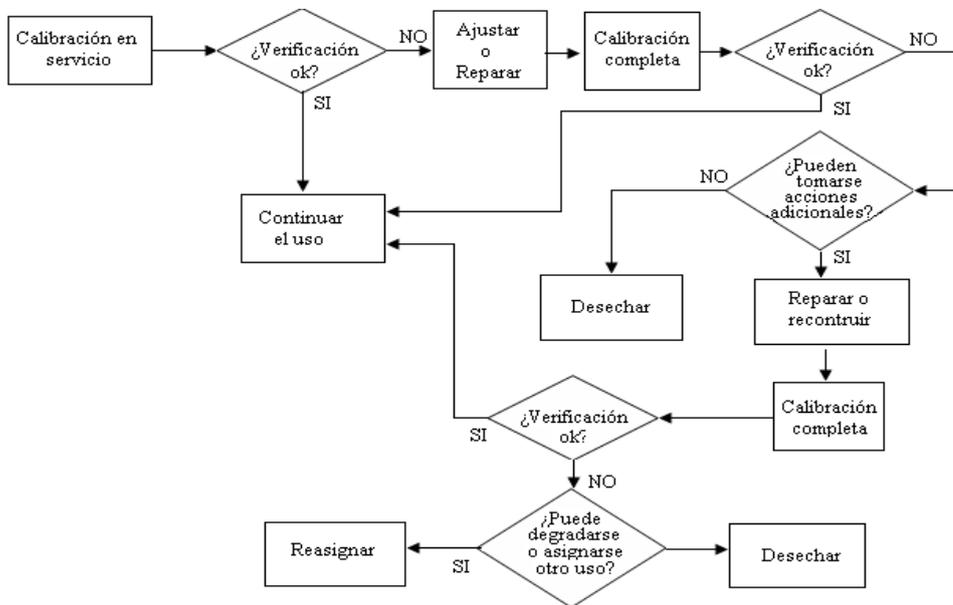


Diagrama 4. Ciclo de confirmación metrológica

- Realizar calibraciones a los computadores de flujo presentes en las estaciones de gas y

modificar los parámetros según la cromatografía, a través del computador portátil.

- Formalizar la documentación actual, analizarla y realizar modificaciones necesarias., adicionando análisis estadístico dentro de los resultados.

7.3.5 Manutención y transporte de instrumentos

- Se deben poner en práctica las recomendaciones básicas de uso y almacenamiento especificadas en los instructivos.
- Utilizar el embalaje necesario para la protección de los equipos y asegurar el manejo y la preservación de estos, manteniendo la exactitud indicada para su uso. Estas protecciones deben ser: estuches (canguros) para cada usuario que manipule manómetros; estuche para detectores; estuche en madera con tela de asbesto para las planchas de termofusión.
- Realizar un cronograma de supervisión por parte del coordinador de cada área y exigir el buen uso de los instrumentos a los usuarios y contratistas.
- Durante el transporte de equipos, los instrumentos de termofusión deben ser protegidos contra golpes que puedan afectar sus partes importantes como Sockers y termómetros; ya que de estos depende la eficiencia en las pegas de termofusión.
- Proteger a los sensores de todo tipo de impurezas, que producen cambios en la sensibilidad de los detectores.

7.3.6 Consideraciones de seguridad

- Proporcionar al personal el equipo de seguridad adecuado para las actividades que realice. En el caso de la prueba de verificación de detectores donde se utilizan gases patrones peligrosos como el monóxido de carbono, se debe mejorar el sistema de seguridad puesto que las pequeñas concentraciones de gas pueden repercutir en un futuro sobre la salud del auxiliar técnico. Para tal caso se debería utilizar tapaboca,

guantes, bata, etc.

- Proveer al laboratorio de equipos de seguridad como: Bata de laboratorio, zapatos de seguridad (trabajo en estaciones), tapones auditivos, lentes de protección, botiquín.

7.3.7 Orden y limpieza

- Ordenar todos los cajones de herramienta, archivo y eliminar todo el material, equipos, piezas, manuales, papelería, etc. que no se utilicen.
- Definir dos espacios independientes; uno para recibir y colocar los instrumentos a calibrar y otro para los instrumentos ya calibrados.
- Para la sala de ensayo se debe establecer una política de orden y limpieza que describa como deben estar las áreas de trabajo como por ejemplo: definir los lugares específicos para cada cosa, antes de salir dejar el área de trabajo siempre limpia y en orden, prohibir la entrada de alimentos u objetos personales, establecer un programa mensual de orden y limpieza, colocar anuncios del buen uso de la sala y el laboratorio en general.

7.3.8 Administración y documentación

- Integrar dentro del SGC la verificación y calibración de medidores y computadores de flujo en las estaciones de gas; adicionando al sistema un procedimiento, instructivo y registros necesarios para controlar su trazabilidad.
- Realizar un procedimiento para el manejo de medidores y fraudes.
- Dentro del inventario de equipos es importante identificar y relacionar todos los computadores de flujo y medidores con los que cuenta la empresa en los diferentes centros operativos (Estaciones de GNV, Estaciones reguladoras (City Gate), usuarios industriales) los cuales controlan las altas presiones (0-300 psi).

- Documentar dentro del SGC todos los procesos creados para verificación y calibración de equipos.

7.3.9 Beneficios obtenidos

- La empresa cuenta con un reconocimiento importante gracias a la certificación de sus procesos. Mediante la acreditación de estos, se logrará una mayor confianza y credibilidad en sus servicios.
- Genera ingresos mediante calibraciones realizadas a entes externos.
- Mediante los análisis matemáticos y estadísticos, se asegurará que las mediciones sean lo mas exactas posibles.
- Buen desempeño en la prestación de servicios gracias a la calidad de los instrumentos y equipos de medición.
- El cliente estará satisfecho con la calidad de las mediciones y atención en el Banco de pruebas.
- El ajuste y mantenimiento preventivo de los instrumentos durante cada periodo de verificación y calibración permite el ahorro de calibraciones a terceros y mantenimientos correctivos.

7.4 DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SOFTWARE

Realmente es necesaria la implementación del software para agilizar los procedimientos de verificación con una mayor efectividad, y de esta manera evitar errores humanos que se han encontrado durante el análisis de la información. (Ver diagrama 5.)

DISEÑO DEL SOFTWARE

SIVCE (Sistema de información de verificación y calibración de equipos) es el resultado del estudio y el análisis de las características metroológicas de los equipos que permanentemente se utilizan en las diferentes áreas como son: Inspecciones, Construcciones e Interventoría siguiendo las exigencias del proceso de certificación de calidad: ISO 9001. Esta herramienta brinda seguridad, en el manejo de información del proceso de verificación y calibración para cada equipo que ingresa al Banco de pruebas, analizando su funcionalidad y trazabilidad. Es de suma importancia para todo el proceso de construcción, mantenimiento y ventas del servicio ofrecido por la compañía; puesto que los equipos e instrumentos de medición son la base de la calidad y desarrollo del servicio a lo largo del tiempo, generando confianza y credibilidad en la empresa.

BASE DE DATOS

La base de datos fue desarrollada mediante ACCES manipulando los datos a través de VISUAL BASIC 6.0. Está formado por 28 tablas relacionadas entre sí.

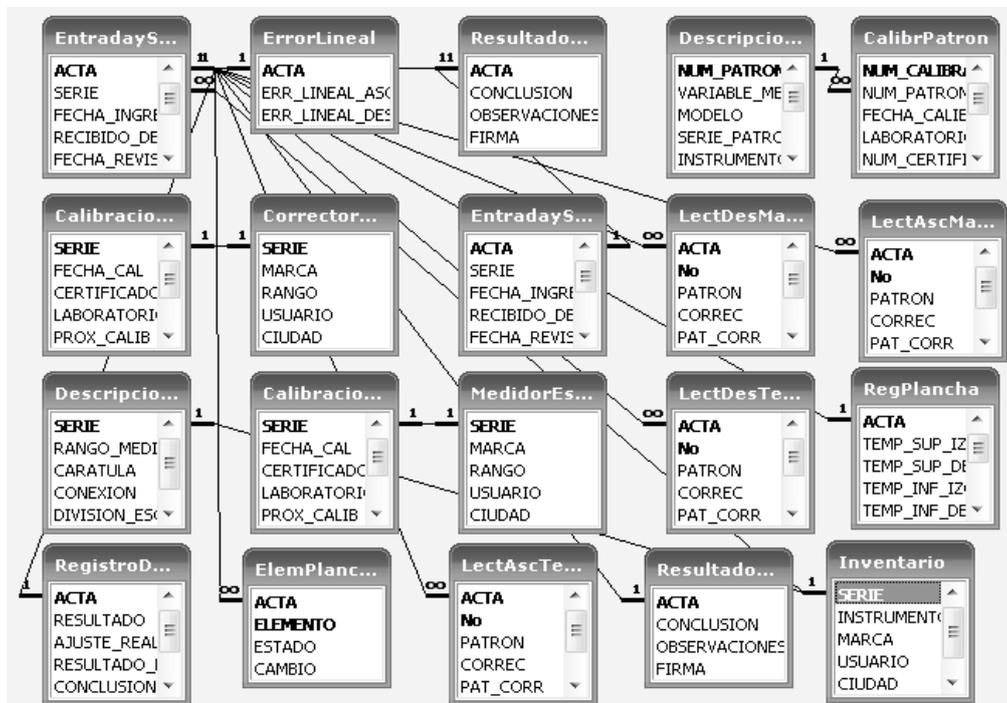


Figura 18. Relación de base de datos

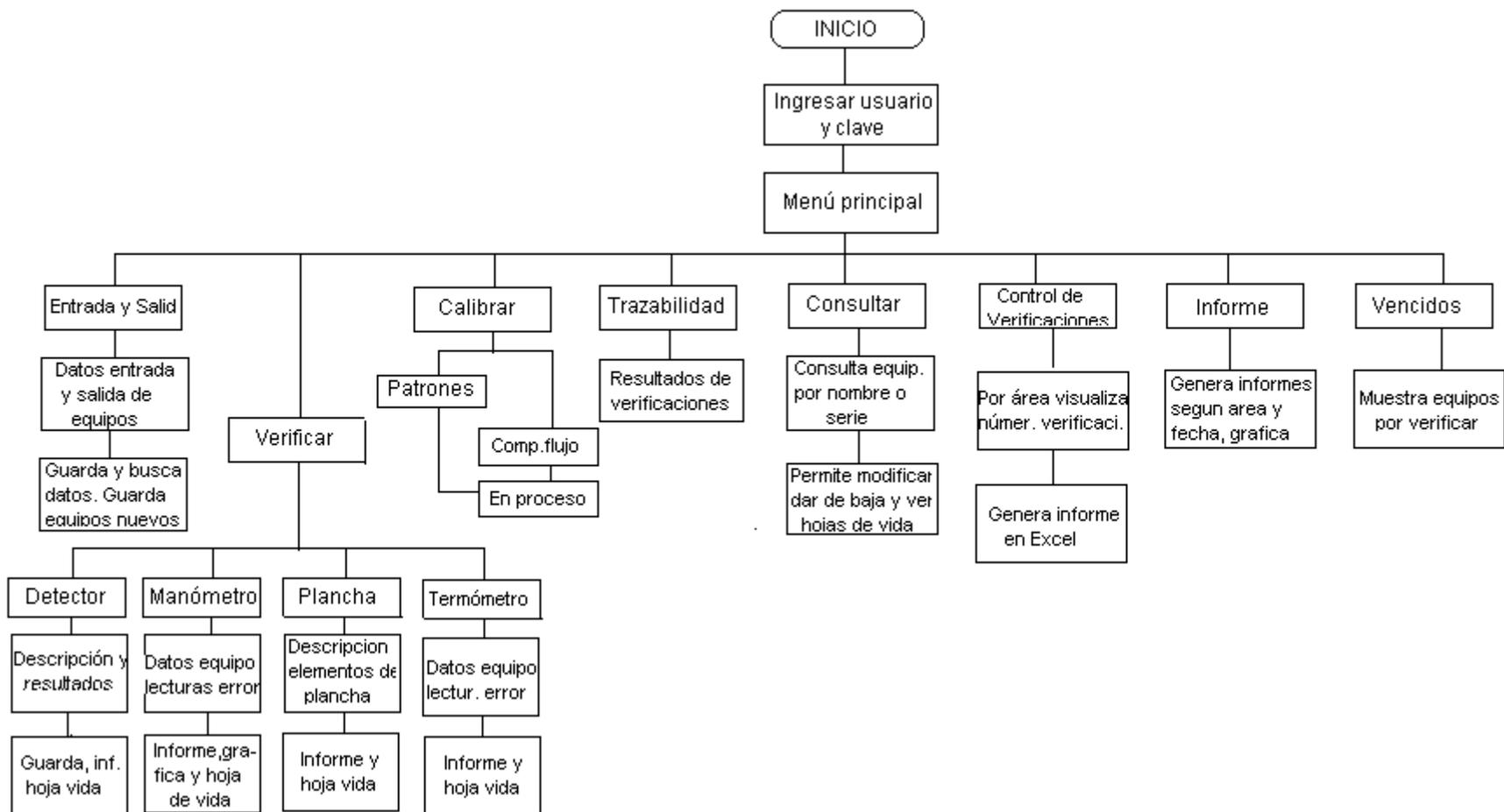


Diagrama 5. Diagrama de bloques del software.

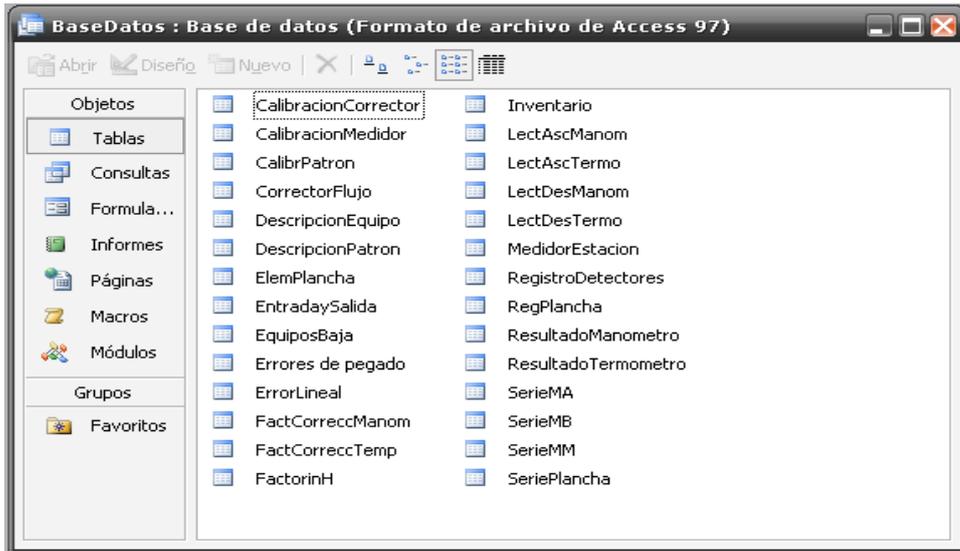


Figura 19. Tablas de la base de datos

Las tablas relacionan información centralizada en el ingreso y salida de equipos y en la tabla inventario, las cuales especifican las características de cada instrumento. Además existen tablas independientes que guardan los factores de corrección obtenidos de los certificados de calibración de presión y temperatura de los patrones, utilizados para llevar a cabo los cálculos de error.

INTERFAZ VISUAL



Figura 20. Menú principal del software

Como se mencionó anteriormente, se utilizó el programa VISUAL BASIC 6.0 para diseñar la interfaz con el usuario, el cual ofrece muchas herramientas gráficas para la creación de un software sencillo y de fácil manejo.

Para el diseño del software se recopiló toda la información del Banco de Pruebas, la cual estaba en formato de EXCEL, utilizando éste mismo para la generación de informes y reportes, protegiéndolo contra escritura para una mayor seguridad. Se realizó un “Backup” de toda la información guardada, y se inició el programa a partir del año 2008.

La gráfica anterior muestra la presentación inicial del software SIVCE, con todas las opciones necesarias para el manejo de información y control del proceso de verificación y calibración de los instrumentos. (Ver Anexo 1. Manual del Usuario).

8. CONCLUSIONES

- Es importante para Alcanos de Colombia la acreditación de sus procesos ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y demostrar que es una organización competente y confiable.
- La calidad de los estudios analíticos está condicionada por la calidad de los datos.
- Mejorar en la calidad de los datos y en la confiabilidad de estos es el principal objetivo de los procesos de acreditación de un laboratorio metrológico.
- Se debe garantizar que el beneficio obtenido es mayor que el costo de obtener los datos.
- No necesariamente se requiere de alta Tecnología para optimizar el laboratorio sino de demostrar la calidad de los resultados fundamentados en bases teóricas.

9. RECOMENDACIONES

- Llevar a cabo las acciones de mejoramiento y desarrollar los procedimientos de calibración, cálculo de incertidumbre, seguridad, entre otros, que hacen falta en el laboratorio y que son necesarios para la Acreditación de este.
- Capacitación del personal sobre Incertidumbres y aseguramiento metrológico.
- En cuanto al software, se requiere de más tiempo para integrar todos los procedimientos como son: verificación de medidores y calibración de electrocorrectores. Además adicionar otros resultados estadísticos importantes en el proceso de acreditación.

10. VOCABULARIO

Metrología: Campo de los conocimientos relativos a las mediciones. También puede ser definida como “ciencia de la medición” ya que incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con cualquier tipo de medición involucrada en cualquier campo científico o tecnológico.

Sistema de medición: Es un conjunto de operaciones, control de condiciones, equipos de medición, Software y personal utilizado para asignar un número a la característica medida (presión, temperatura, concentración de gas).

Proceso de medición: Surge de la necesidad de poseer datos que transformados en información pueden ser útiles para las personas encargadas de tomar decisiones; hay que aclarar que este conocimiento es parcial e incompleto ya que quien toma las decisiones lo hará con cierto grado de INCERTIDUMBRE. Para poder contrarrestar este error se debe asegurar un adecuado nivel **cualitativo** de los datos disponibles (corregir errores aleatorios) mejorando condiciones ambientales, posición instrumento, etc.

Estudios analíticos: Son los estudios basados en datos que brindan una información objetiva para tomar decisiones (cálculos matemáticos, estadística).

Acreditación: La acreditación es el procedimiento mediante el cual se reconoce la competencia técnica y la idoneidad de organismos de certificación e inspección, laboratorios de ensayos y de metrología, para que lleven a cabo sus funciones. Dentro de los organismos que pueden ser acreditados por la SIC están: Organismos de Inspección, Organismos de Certificación, Laboratorio de Pruebas y Ensayo, Laboratorio de Calibración y Organismo Nacional de Normalización.

Instrumento de Medición: Elemento con el cual se efectúan las mediciones.

Patrón: Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar o conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud que sirva como referencia.

Patrón Internacional: Patrón reconocido mediante acuerdo internacional, utilizable como base para asignar valores a otros patrones de la magnitud que interesa.

Patrón nacional: Patrón reconocido mediante una decisión nacional utilizable en un país, como base para asignar valores a otros patrones de la magnitud que interesa.

Patrón de referencia: Patrón que generalmente posee la máxima calidad metrológica disponible en un sitio dado o en una organización dada, a partir de la cual se derivan las mediciones hechas.

Patrón de trabajo: Patrón que se utiliza rutinariamente para calibrar o comprobar medidas materializadas, instrumentos de medición o materiales de referencia

Ajuste (de un equipo de medida): Operación destinada a llevar a un instrumento de medida a un estado de funcionamiento conveniente para su utilización.

Error (de medida): Resultado de una medición menos un valor verdadero del mensurando.

Corrección: Es el valor que agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición, compensa un error sistemático supuesto.

Desviación: Valor menos su valor de referencia. Es el resultado de una medición menos el valor (convencionalmente) verdadero de la magnitud medida.

Estabilidad: Es la capacidad de un material de referencia, cuando se almacena bajo condiciones especificadas, para mantener un valor de una propiedad declarado dentro de los límites especificados por un periodo de tiempo especificado.

Presión: Es la fuerza que obra perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria. El origen de estas fuerzas puede derivarse de los fluidos (gases, líquidos) que están comprimidos. Matemáticamente

Presión manométrica: presión mayor que la presión ambiente, siendo esta última el punto de referencia.

Presión vacuométrica: presión menor que la presión ambiente, siendo esta última el punto de

referencia.

Presión ambiental: presión del ambiente en el lugar donde se realizan las mediciones con el instrumento.

DIFERENCIA ENTRE VERIFICACION Y CALIBRACION

VERIFICACION	CALIBRACION
<ul style="list-style-type: none">- Verificar el comportamiento de las mediciones. - Realizar un mantenimiento general al instrumento y revisión de manutención y transporte. - Llevar registros de control de verificación el cual debe hacerse cada dos meses como mínimo; o mas, según la estabilidad del equipo - Generar informes donde especifique el Resultado de la verificación indicando el error Permisible.	<ul style="list-style-type: none">- Rectificar la inexactitud y falta de Precisión de un instrumento de medida. - Ajustar si es necesario el instrumento. - Realizar pruebas bajo condiciones estrictas para la caracterización del equipo. - El período de calibración depende del comportamiento y la respuesta del instrumento. Este debe ser mayor al de verificación. - Durante el proceso de calibración se analiza cuidadosamente al equipo y se hace una revisión minuciosa de sus partes, además de un buen mantenimiento. - El informe de calibración incluye, el análisis mediante gráficos y tablas sobre la variación de error de estabilidad, cálculo de incertidumbre, trazabilidad y descripción del proceso estadístico para la obtención de resultados.

BIBLIOGRAFIA

IDROVO, Calderón Roberto. Laboratorio de Presión y Manometría. Superintendencia de Industria y Comercio. Santafé de Bogotá. 1998. 60 páginas.

MARTINEZ, Ramírez Ricardo. Principios de metrología científica. Quito, Ecuador. 2006. 50 páginas.

NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS PARA INSTRUMENTOS DE MEDIDA

- NTC – ISO – IEC 17025. Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración.
- NTC – 2728. Medidores de gas tipo diafragma.
- NTC-2263. Metrología. Manómetros indicadores de presión, manómetros de vacío y manómetros de presión-vacío para usos generales.
- NTC – 2826. Aparatos mecánicos. Disposiciones generales para medidores de volumen de gas.

ANEXOS

ANEXO 1.

MANUAL DEL USUARIO DEL SIVCE (SISTEMA DE INFORMACION DE VERIFICACION Y CALIBRACION DE EQUIPOS)

La estructura del programa es la siguiente:

1. Ingreso y salida al sistema (seguridad)



Figura 1. Ingresar al sistema

* El nombre del usuario es “laboratorio”. Ingrese la clave predeterminada y click en el icono (candado) para ingresar al sistema. Si la clave es correcta ingresa al menú principal. Si la clave o el usuario no son los predeterminados el sistema genera un advertencia de error.

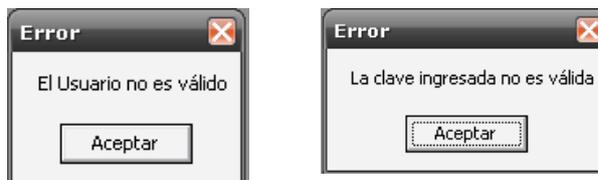


Figura 2. Mensajes de error

* El usuario y la clave deben escribirse en minúscula.

2. Presentación inicial



Figura 3. Menú principal

* Si el nombre del usuario y la clave son correctos se ingresa al sistema mostrándose el pantalla anterior. El menú principal consta de varias opciones para verificar, calibrar, consultar, generar informes, entre otros que se describirán a continuación.

3. Ingreso y salida de equipos

* Click en el botón “Entrada y Salida” para ingresar los datos del equipo antes de su verificación. Consta de serie, fecha de ingreso, recibido de, fecha de revisión, fecha de próxima verificación, a quien se entrega y el laboratorio donde se revisa.



Figura 4. Entrada y salida de equipos

* Si el equipo se encuentra dañado o no funciona correctamente y requiere de su revisión en otro laboratorio (proveedor), en la caja de texto “Entregado” se debe colocar “POR REPARAR”. Todos los datos se deben escribir en mayúscula sostenida.

* Click en “Guardar” para ingresar la información a la base de datos.



Figura 5. Guardar datos de entrada y salida

* Click en “Buscar” para consultar fechas de ingreso y revisión de equipos, o para ver los equipos revisados por periodos de tiempo específicos.



Figura 6. Buscar ingreso o salida de equipos

* También se tiene en este formulario la opción de “Completar” en el menú principal, cuando no se haya revisado el equipo o cuando aún no se haya dado salida del laboratorio.



Figura 7. Completar datos de verificación

* Click en salir para volver al menú principal. Si el equipo es nuevo seleccionar el botón “Equipo nuevo” para ingresar los datos al inventario. Además se tienen varias opciones para conocer el

número de consecutivo para cada tipo de instrumento.

The screenshot shows the 'SIVCE - [Equipo nuevo]' window. The main area is titled 'INSTRUMENTO NUEVO'. On the left, under 'CONSECUTIVO', there are four rows: 'Manómetro de alta', 'Manómetro de media', 'Manómetro de baja', and 'Plancha'. Each row has an input field and a green checkmark icon. A note says 'Click en espacio y luego OK, para conocer el consecutivo'. On the right, under 'DESCRIPCION', there are several dropdown menus: 'Serie' (value: DCD-501-0089), 'Instrumento' (value: DETECTOR DE MONO), 'Marca' (value: SCOTT), 'Usuario' (value: DANIEL MENDEZ), 'Ciudad' (value: IBAGUE), and 'Area' (value: INSPECCIONES). At the bottom right of the form are two buttons: 'Guardar Nuevo' and 'Volver'. The status bar at the bottom shows '10:57 a.m.' and '26/05/2008'.

Figura 8. Ingresar un equipo nuevo

4. Verificación

* Luego de ingresar los datos, seleccionar en el menú principal “Verificar”. Se observará un submenú el cual muestra los tipos de instrumentos a verificar.(detectores, manómetros, planchas y termómetros).

The screenshot shows the 'SIVCE' window with the 'Verificar' menu selected. A sub-menu is visible with options: 'Detectores', 'Manómetros', 'Planchas', and 'Termómetros'. The main area displays a banner for 'VERIFICACION Y CALIBRACION DE EQUIPOS ALCANOS DE COLOMBIA S.A. ESP' with a photograph of an industrial facility. The status bar at the bottom shows '10:59 a.m.' and '26/05/2008'.

Figura 9. Verificar equipos

* Si selecciona “Detectores” aparecerá el siguiente formulario:

The screenshot shows the 'SIVCE - [Verificación de detectores]' window. The main area is titled 'VERIFICACION DE DETECTORES'. On the left, under 'DESCRIPCION DEL EQUIPO', there are several dropdown menus: 'Serie' (value: DCD-501-0089), 'Instrumento' (value: DETECTOR DE MONO), 'Usuario' (value: FABIO MACIAS), 'Marca' (value: SCOTT), 'Ciudad' (value: IBAVE), and 'Area' (value: INSPECCIONES). At the bottom left of the form are two buttons: 'Guardar' and 'Borrar'. On the right, under 'RESULTADOS', there are input fields: 'Acta' (value: 1099), 'Resultado (ppm)' (value: 275), 'Ajuste' (radio buttons for SI and NO, with NO selected), and 'Resultado posterior' (value: 275). Below this is a text area for 'CAMBIOS REALIZADOS' with the value 'ninguno'. At the bottom right are two fields: 'Verificó' (value: LUIS) and 'Conclusión' (value: CUMPLE). The status bar at the bottom shows '11:23 a.m.' and '26/05/2008'.

Figura 10. Verificación de detectores

* Si el detector es de monóxido los resultados se escriben en unidades de ppm (partes por millón), que indica la cantidad de monóxido presente en un recinto. Los detectores de fuga, tienen una alarma sonora; en este caso el resultado debe colocarse “SONORO” si el equipo se encuentra en buen estado. Si es necesario hacer algún cambio de batería, de sensor u otro elemento se debe especificar en la caja de texto “CAMBIOS REALIZADOS”, si no se debe colocar la palabra “NINGUNO”.

* Antes de generar el informe se deben guardar los datos y en el menú seleccionar el tipo de detector.



Figura 11. Generar informes para detectores

* El registro que se genera y la hoja de vida es la siguiente:

A	B	C	D	E	F
INFORME DE VERIFICACIÓN DETECTORES DE CO					REG - 0813
					V3.07.2007
INFORME No					1099
SERIE		DCO-91-1045			
MARCA		SCOTT			
USUARIO		FABIO MACIAS			
FECHA VERIFICACION		02/05/2008			
MEZCLA PATRON CERTIFICADA		MSA 300 PPM COY AIRE - MEZCLA PATRON CERTIFICADA 300PPM AGA			
No ANALISIS AGA		0665-17-01-07	VENCIMIENTO		07/09/2008
No ANALISIS MSA		472380	VENCIMIENTO		06/07/2008
Concentración de gas de verificación		Permisible	Resultado	se realizó	Proxima verificación
300			275	NO	02/05/2008
CONCLUSION					CUMPLE
Los resultados contenidos en este informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El banco de pruebas no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos verificados.					
LA TRAZABILIDAD					
Los patrones utilizados en estas verificaciones son trazables con los patrones nacionales e internacionales de referencia.					
LUIS					VERIFICADO

A	B	C	D	E	F	G
HOJA DE VIDA						REG - 0810
						V3.07.2007
BANCO DE PRUEBAS						
EQUIPO						
DETECTOR DE MONOXIDO						
INFORMACION BASICA						
SERIE		DCO-91-1045				
MARCA		SCOTT				
RANGO DE MEDICION		CARATELA				
CLASE		FABIO MACIAS				
USUARIO						
CAMBIOS VARIOS						
FECHA		MODIFICACION REALIZADA			FIRMA	
VERIFICACIONES REALIZADAS						
FECHA VERIFICACION	LABORATORIO	CERTIFICADO	REGISTRO	OBSERVACIONES	FECHA VERIFICACION	
2008/05/02	ALCANOS	1099		CUMPLE	2008/05/02	
*La serie es la establecida según la compañía de acuerdo al REG-0802						
NOTA: Los certificados de verificación se encuentran en la carpeta de cada Departamento.						

Figura 12. Formato de registro detectores y hoja de vida



Figura 20. Calibración de patrones

6. Trazabilidad

* Para ver la trazabilidad de un instrumento seleccionar el tipo de equipo y la serie, luego click en o.k. En el cuadro se observan las verificaciones realizadas. Al dar click sobre las celdas aparecerán los resultados de las pruebas.

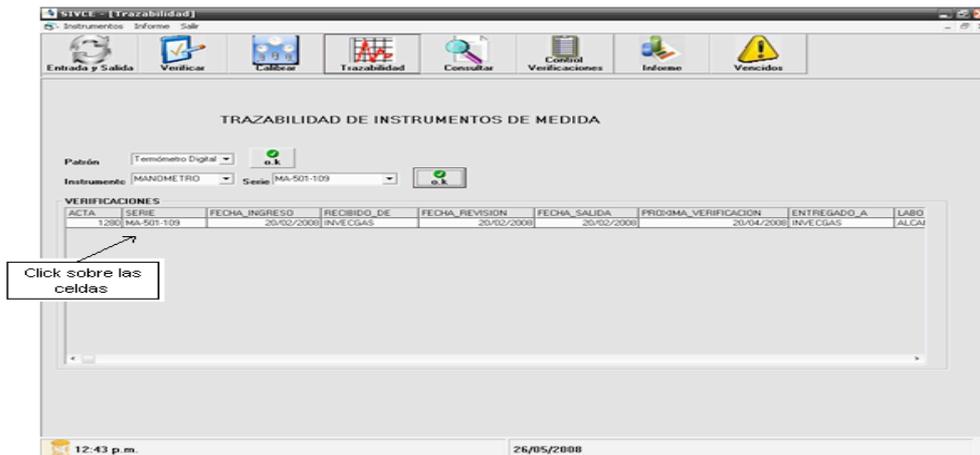


Figura 21. Trazabilidad de equipos

* Para ver el informe se debe dar click en “Informe” en el menú del formulario.

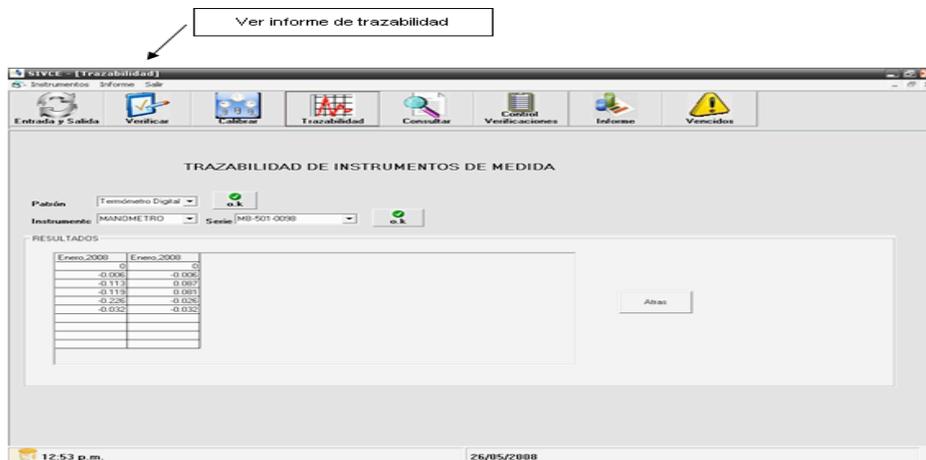


Figura 22. Resultados de las pruebas

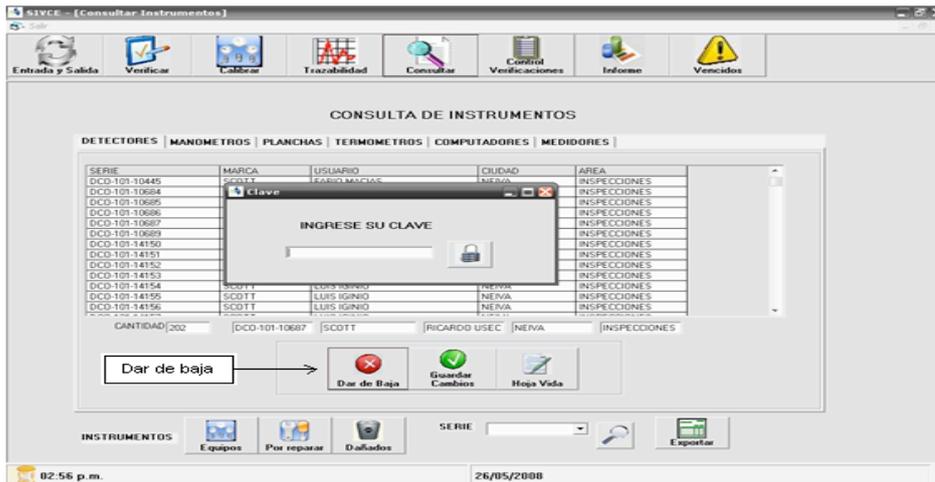


Figura 25. Dar de baja un equipo

* Para poder imprimir los listados de instrumentos se debe dar click en “Exportar”.

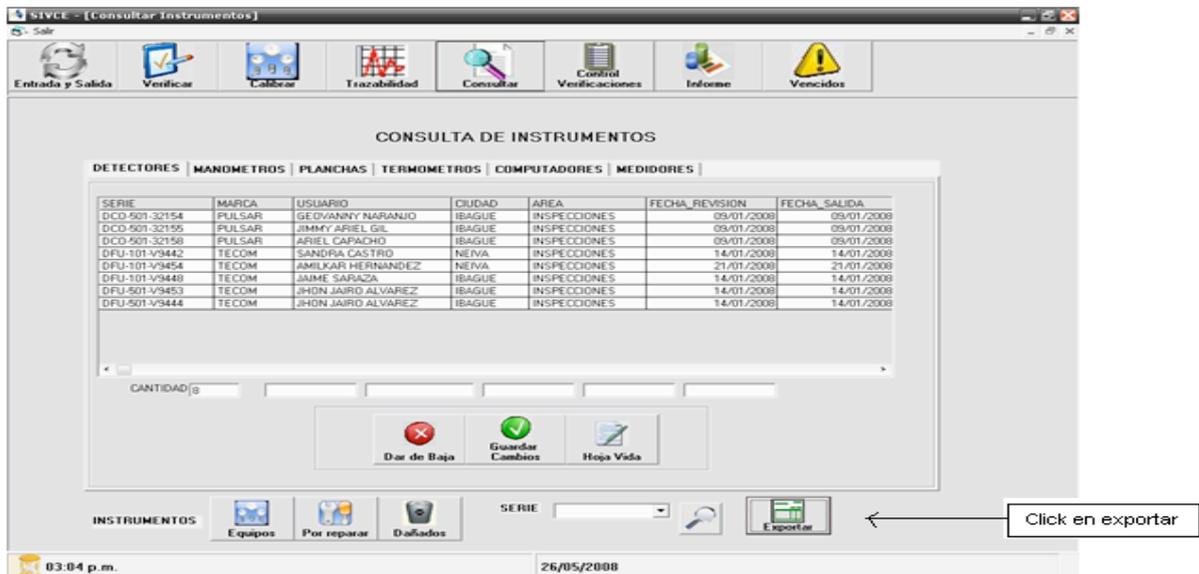


Figura 26. Exportar Tablas

El resultado es el siguiente:



**ALCANOS DE COLOMBIA S.A. ESP
CONSULTA DE EQUIPOS EN INVENTARIO
DETECTORES POR REPARAR**

SERIE	MARCA	USUARIO	CIUDAD	AREA
DCO-501-32154	PULSAR	GEOVANNY NARANJO	IBAGUE	INSPECCIONES
DCO-501-32155	PULSAR	JIMMY ARIEL GIL	IBAGUE	INSPECCIONES
DCO-501-32158	PULSAR	ARIEL CAPACHO	IBAGUE	INSPECCIONES
DFU-101-V9442	TECOM	SANDRA CASTRO	NEIVA	INSPECCIONES
DFU-101-V9454	TECOM	AMILKAR HERNANDEZ	NEIVA	INSPECCIONES
DFU-101-V9448	TECOM	JAIME SARAZA	IBAGUE	INSPECCIONES
DFU-501-V9453	TECOM	JHON JAIRO ALVAREZ	IBAGUE	INSPECCIONES
DFU-501-V9444	TECOM	JHON JAIRO ALVAREZ	IBAGUE	INSPECCIONES

Figura 27. Informe de la consulta

* Para modificar información de los instrumentos se debe dar click sobre la celda; así aparecerán los datos que se quieren editar. Una vez cambiados, seleccionar “Guardar cambios”.

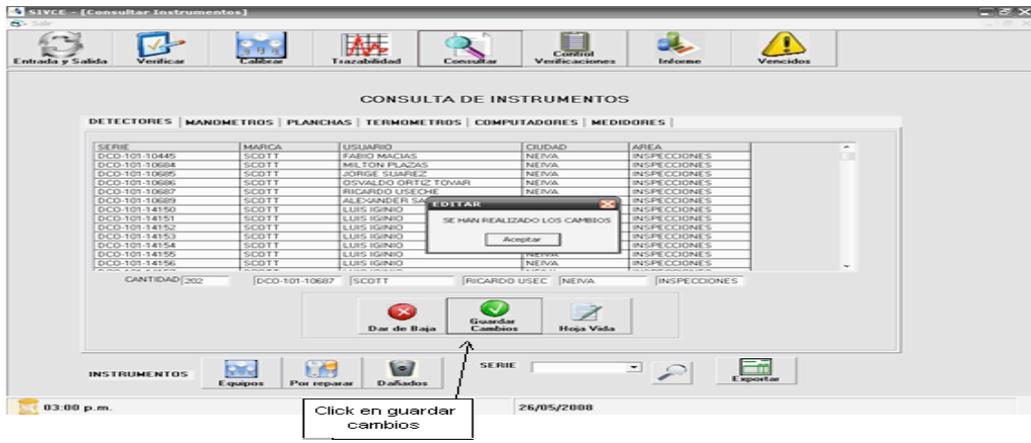


Figura 28. Editar información

8. Control de verificaciones

* Para observar el número de verificaciones que se hayan realizado al equipo, en el menú principal seleccionar “Control de verificaciones”; seleccionar el área, el tipo de instrumento y dar click en “Ver”.

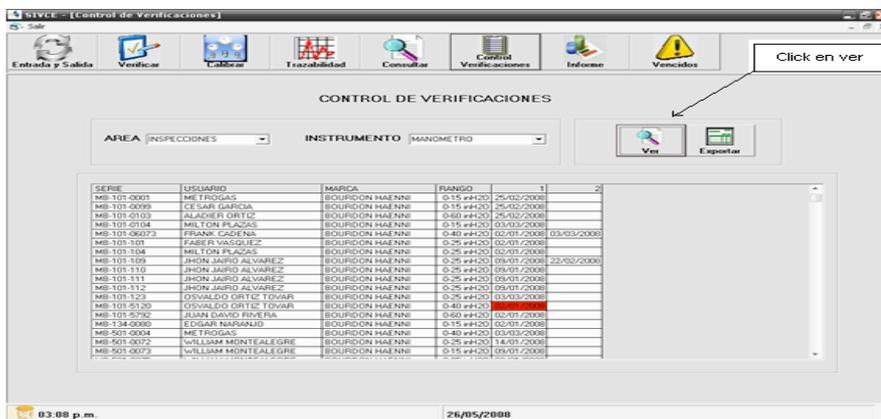


Figura 29. Control de verificaciones

* Se mostrará el listado de equipos con su serie, usuario, marca, rango y número de verificaciones realizadas. Si el instrumento “NO CUMPLE”, la celda donde especifica la fecha aparecerá sombreada de color rojo. Al seleccionar “Exportar”, aparecerá el listado en formato Excel, para su impresión.



No	SERIE	DETECTORES DE FUGAS	USUARIO	MARCA	CONTROL DE VERIFICACIONES	
					1	2
1	DFU-101-01704	JORGE SUAREZ	BACHARACH		03/03/2008	
2	DFU-101-8427	ALACIER ORTIZ	TECOM		15/02/2008	
3	DFU-101-8441	FRANK CADENA	TECOM		03/03/2008	
4	DFU-101-8445	DIEGO HERRAN	SCOTT		03/01/2008	
5	DFU-101-LG00673	FREYRE BRAVO	BACHARACH		03/01/2008	
6	DFU-101-LG00679	ALFREDO ALDANA	BACHARACH		03/01/2008	
7	DFU-101-LG00680	RICARDO USECHE	BACHARACH		25/02/2008	
8	DFU-101-LG00690	SILVESTRE MEDINA	BACHARACH		12/02/2008	
9	DFU-101-LG00693	DIEGO HERRAN	BACHARACH		03/01/2008	
10	DFU-101-LG00698	MILTON PLAZAS	BACHARACH		02/01/2008	03/03/2008
11	DFU-101-LG01114	OSVALDO ORTIZ TOVAR	BACHARACH		02/01/2008	
12	DFU-101-MN01450	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
13	DFU-101-MN02176	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
14	DFU-101-MN02183	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
15	DFU-101-MN02184	LUIS IGNIO	BACHARACH		25/02/2008	
16	DFU-101-MN02186	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
17	DFU-101-MN02444	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
18	DFU-101-MN02896	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
19	DFU-101-MN02899	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
20	DFU-101-MN02966	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
21	DFU-101-MN02980	LUIS IGNIO	BACHARACH		26/02/2008	
22	DFU-101-MN00476	DANIEL MENDEZ	BACHARACH		03/01/2008	
23	DFU-101-V9441	FRANK CADENA	TECOM		02/01/2008	
24	DFU-101-V9442	SANDRA CASTRO	TECOM		14/01/2008	
25	DFU-101-V9443	JAIIME SARRAZA	TECOM		14/01/2008	
26	DFU-101-V9454	AMILKAR HERNANDEZ	TECOM		14/01/2008	
27	DFU-101-V9455	JUAN CARLOS ROJAS	TECOM		03/01/2008	
28	DFU-101-V9459	JIMMY OIL	TECOM		03/01/2008	
29	DFU-134-1678	FABER VASQUEZ	BACHARACH		02/01/2008	
30	DFU-134-LG01703	FABIO MACIAS	BACHARACH		02/01/2008	
31	DFU-501-8443	ARELL LEZEMA	TECOM		03/01/2008	
32	DFU-501-8452	SHON CONTRALEZ	TECOM		03/01/2008	
33	DFU-501-KV1058	ROBERTO RESTREPO	BACHARACH		03/01/2008	
34	DFU-501-KV1068	ARELL CAPACHO	BACHARACH		03/01/2008	

Figura 30. Informe del control de verificaciones

9. Informe

* En el menú principal, seleccionar el botón “Informe” para conocer la cantidad de equipos verificados durante el mes, o durante un rango específico de fechas. Click en “Ver” para observar la cantidad de equipos, clasificados por áreas.

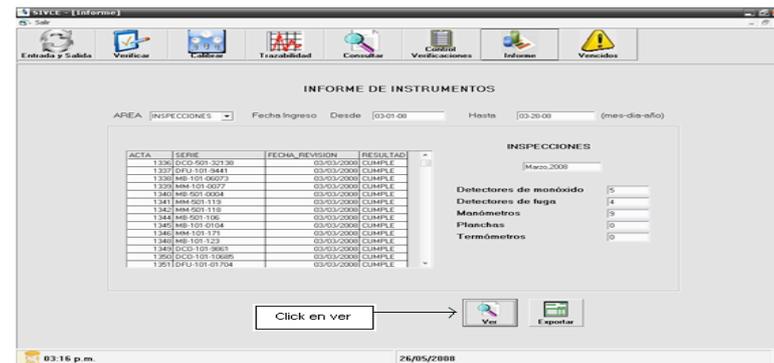


Figura 31. Informe de equipos verificados

* Click en “Exportar” para imprimir el listado de instrumentos y observar el informe completo junto con su gráfica.



ACTA	SERIE	FECHA REVISION	RESULTADO
1336	DCO-601-32139	03/03/2008	CUMPLE
1337	DFU-101-49411	03/03/2008	CUMPLE
1338	ME-101-86013	03/03/2008	CUMPLE
1339	ME-101-00077	03/03/2008	CUMPLE
1340	ME-101-0004	03/03/2008	CUMPLE
1341	ME-101-118	03/03/2008	CUMPLE
1342	MM-501-118	03/03/2008	CUMPLE
1343	ME-101-106	03/03/2008	CUMPLE
1345	ME-101-6104	03/03/2008	CUMPLE
1346	ME-101-171	03/03/2008	CUMPLE
1348	ME-101-123	03/03/2008	CUMPLE
1349	DCO-101-8961	03/03/2008	CUMPLE
1350	DCO-101-10685	03/03/2008	CUMPLE
1351	DFU-101-41034	03/03/2008	CUMPLE
1352	DFU-101-4000071	03/03/2008	CUMPLE
1353	DFU-101-LG00988	03/03/2008	CUMPLE
1354	DCO-101-10686	03/03/2008	CUMPLE
1355	DCO-101-10686	03/03/2008	CUMPLE



CLASIFICACION DE INSTRUMENTOS

DET. FUGA	DET. MONOXIDO	MANOMETROS	PLANCHAS	TERMOMETROS
4	5	9	0	0
TOTAL	18			

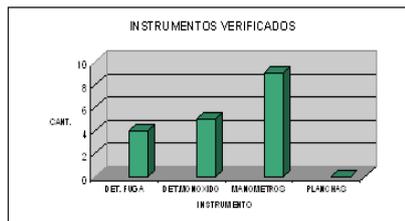


Figura 32. Resultado del informe

10. Vencidos

* En el menú principal seleccionar el botón “Vencidos” para mirar los instrumentos que estén próximos a verificar.



Figura 33. Equipos vencidos

ANEXO 2. Unidades de presión

	PSI	Bar	Atm	Pa	cm agua 20 °C	Pulg. agua 20 °C	mm Hg 20 °C	g/cm ²	m Agua de Mar
PSI	1	0,068947 6	0,0680 46	6894, 76	70,433	27,73	51,714 9	70,3069 6	0,68448 2
Bar	14,5083	1	0,9869 23	10000 0	1021,5	402,18	750,06	1019,71 6	9,9276
Atm	14,6959	1,01325	1	10132 5	1035,0 8	407,511	760	1033,22 7	10,0591
Pa	1,45038 $\times 10^{-4}$	0,00001	9,8692 3×10^{-5}	1	0,0102 15	0,00402 18	7,5006 $\times 10^{-3}$	0,01097 16	9,9276 $\times 10^{-5}$
cm agua 20 °C	0,14550 38	9,7891 x 10^{-4}	9,6610 5×10^{-4}	97,89 1	1	0,3937	0,7342 4	0,99821	0,00971 82
Pulg. Agua 20 °C	0,03606 3	0,002486 4	2,4539 2×10^{-3}	248,6 4	2,54	1	1,865	2,5354	0,02468 4

mm Hg 20 °C	0,01933 68	0,001333 22	0,0013 1579	133,3 22	1,3619	0,5362	1	1,35951	0,01323 6
g/cm ²	0,01422 33	9,80665 $\times 10^{-4}$	9,6784 2×10^{-4}	98,06 65	1,0018	0,39441	0,7355 59	1	0,00973 55
m Agua Mar	1,46096	0,100730	0,0994 09	10073	102,9	40,512	75,553	102,716	1

ANEXO 3. REDISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS PARA MEDIDORES

CALCULO DE INSTALACION DE BAJA PRESION PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE MEDIDORES

El Banco de pruebas que se encuentra en la sala de ensayo; consta de cinco puestos de trabajo para medidores residenciales e industriales. Para reducir pérdidas de presión y asegurar una mayor confiabilidad en los resultados es importante su optimización cumpliendo con los requerimientos de la Norma Técnicas 2728 y 17025 analizando las variables de presión y temperatura, mejorando los siguientes aspectos:

- Reducir las pérdidas de presión
- Utilizar tubería de acero inoxidable en vez de tubo galvanizado
- Disminuir la longitud de línea de presión (18 mb)
- Verificar en cada punto de trabajo la diferencia de presión y la temperatura interna.



Fotografía 1. Banco de pruebas de medidores

En la fotografía anterior se observa el Banco de pruebas para cinco medidores junto con los patrones de trabajo volumétricos los cuales tienen capacidad máxima de 2.5 y 7.2 m³/h o 2500 y 7200 litros. Para calcular el diámetro de las tuberías que soportarán dichos caudales se utilizó la **Ecuación de Pole.**

$$Q = 0.00304 * C * \left(\frac{H * D^5}{G * L} \right)^{0.5} \quad (1)$$

Q = Caudal de gas m³/h

C = Factor en función del diámetro

H = Pérdida de presión (mb)

D = Diámetro de la tubería interna (mm)

L = Longitud equivalente (m)

G = Gravedad específica del gas GN = 0.6 y para GLP = 1.52

Despejando la fórmula anterior, para **el cálculo de D** y H se tiene:

$$Q = 0.00304 * C * \left(\frac{H * D^5}{G * L} \right)^{0.5} = Q = 0.00304 * C * \left(\frac{H^{1/2} * D^{5/2}}{G^{1/2} * L^{1/2}} \right)$$

$$\frac{Q}{0.00304 * C} * \frac{G^{1/2} * L^{1/2}}{H^{1/2}} = D^{5/2} \text{ elevando en ambos lados al cuadrado}$$

$$\left(\frac{Q}{0.00304 * C} \right)^2 * \frac{G * L}{H} = D^5 \text{ elevando ahora la expresión a } 1/5$$

$$D = \left[\left(\frac{Q}{0.00304 * C} \right)^2 * \left(\frac{G * L}{H} \right) \right]^{0.2} \quad (2)$$

Para calcular H:

$$Q = 0.00304 * C * \left(\frac{H * D^5}{G * L} \right)^{0.5} = Q = 0.00304 * C * \left(\frac{H^{1/2} * D^{5/2}}{G^{1/2} * L^{1/2}} \right)$$

$$\frac{Q}{0.00304 * C} * \frac{G^{1/2} * L^{1/2}}{H^{1/2}} = D^{5/2} \text{ elevando en ambos lados al cuadrado}$$

$$H = \left(\frac{Q}{0.00304 * C} \right)^2 * \frac{G * L}{D^5} \quad (3)$$

Velocidad máxima del gas:

$$V = \frac{354 * Q}{D^2 * P} \quad (4)$$

- La pérdida de presión no debe ser mayor del 5% de la presión estándar (18 mb) = 0.9 mb y la velocidad máxima del gas dentro de la tubería no debe ser mayor de 20 m/s.

- Las fórmulas despejadas anteriormente fueron aplicadas para comprobar los cálculos del Banco de pruebas existente dentro de la sala de ensayo realizándose una prueba de verificación para lo cual se ubicaron 4 manómetros de 0-15 inH2O a lo largo de la tubería. Los resultados fueron los siguientes:

Tabla 1. Resultados de prueba

PRESION ENTRADA	PATRON	ENTRADA	PRIMER PUESTO	ULTIMO PUESTO
Presión línea	18 mb	18 mb	18 mb	18 mb
Presión con caudal Máximo(2.5lt)	15.5 mb	6.5 inH2O 15.5 mb	6.5 inH2O 15.5 mb	4 inH2O 9.9 mb

Presión estática= 18 mb

Presión Dinámica= 15.5 mb

- Los cálculos matemáticos de caudal máximo (Q), diámetro utilizado (D) y pérdidas encontradas (H), se realizaron en Excel para facilitar el manejo de fórmulas y la simplificación de los resultados obteniéndose lo siguiente:

Tabla 2. Cálculo de pérdida para el diseño actual.

CALCULO DE PERDIDAS SEGÚN FORMULA POLE		
	$H = \left(\frac{Q}{0.00304 * C} \right)^2 * \frac{G * L}{D^5}$	
DATOS ENTRADA		
VARIABLES	VALOR	UNIDADES
CAUDAL(Q)	2,50	<i>m3/h</i>
LONGITUD(L)	14,00	<i>m</i>
DIAMETRO(D)	12,00	<i>mm</i>
GRAV.ESPECIF.GAS(G)	0,60	
FAC.EN FUNC.DIAM- C	1,65	
PRESION ENTRADA	18,00	<i>mb</i>
CONDICIONES		

MAX % PERDIDAS(5%)	0,90	mb
LIMITE VELOCIDAD		
MAX	20,00	m/s
$V = \frac{354 * Q}{D^2 * P}$		
RESULTADOS		
CALCULO H	8,39	mb
VALOR H CORRECTO?	FALSO	
CALCULO VEL.MAX		
(V)	0,34	m/s
VALOR V CORRECTO?	VERDADERO	
PRESION SALIDA	9,61	mb

- El factor “C” en función del diámetro para la fórmula de Pole en el diseño de líneas de baja presión se toma de la siguiente tabla:

Tabla 3. Factor “C” en función del diámetro.

Diámetro Nominal (pulgadas)	Diámetro, mm	Factor en función del diámetro, “C”
3/8 a 1/2”	9.53 a 13.0	1.65
3/4” a 1”	19.05 a 25.4	1.80
1-1/4” a 1-1/2”	31.75 a 38.10	1.98
2”	50.80	2.16
3”	76.20	2.34
4”	101.6	2.42

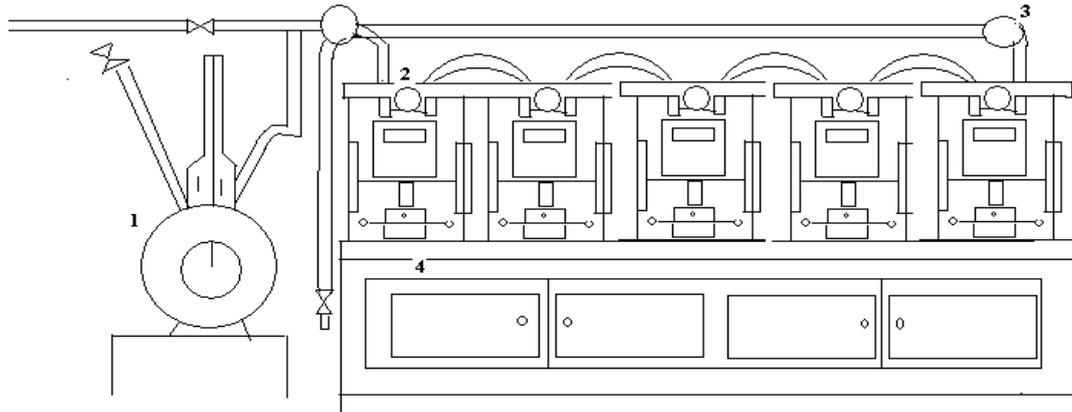
- Según la prueba realizada, la presión de salida es de 9.9 mb por lo tanto existe una pérdida de presión de 8.1 mb. Esta pérdida se debe principalmente a la variación del diámetro de tubería, puesto que la conexión al medidor es de 12 mm reduciendo la presión de entrada.

- En la tabla anterior se demuestran estos resultados tomando como diámetro 12 mm, aplicando la ecuación (2) de pérdidas, la cual indica que el diámetro es inversamente proporcional a las pérdidas de presión, es decir, a medida que se reduce el diámetro de la tubería existe mayor riesgo de pérdidas. En la tabla se indica que el valor de pérdidas no es correcto debido a que supera el valor

máximo permisible; por lo tanto se debe rediseñar el Banco de pruebas para reducir estas pérdidas.

Rediseño del Banco de Pruebas para medidores:

El siguiente plano muestra la reestructuración del Banco de Pruebas, realizando algunas modificaciones aprovechando lo que se tiene, demostrando que cumple con todos los requisitos de la norma.



1. Patrón cámara húmeda 2. Manómetros diferenciales 3. Termocupla.

Gráfico 1. Rediseño del Banco de pruebas para medidores.

- Se consideró un diámetro de tubería aproximado al de entrada del medidor igual a **20 mm**, para compensar la pérdida de presión que se presenta en los puestos de trabajo.
- Se deben modificar el diámetro de las conexiones o acoples de la tubería con el medidor a 20 mm.
- La longitud será reducida a 10 m reubicando el Patrón de cámara húmeda al lado izquierdo del primer puesto de trabajo.
- Según lo especificado por la norma 2728 (B.1.3.2), las señales de presión deben ubicarse a una distancia de 1 diámetro de la tubería en la entrada y salida del medidor, es decir a una distancia de 20 mm. En este caso se sugiere colocar cinco (5) manómetros diferenciales de rango 0-15 inH₂O en cada puesto de trabajo, perpendicular a la tubería con un diámetro no menor a 3 mm.
- Medir la temperatura interna del flujo colocando 4 termómetros a distancias iguales a lo largo de la tubería. Suprimir los indicadores de nivel de presión de cada puesto de trabajo. Los cálculos matemáticos que demuestran el funcionamiento del diseño son los siguientes:

Tabla 4. Cálculo de pérdida para el nuevo diseño

CALCULO DE PERDIDAS SEGÚN FORMULA POLE		
	$H = \left(\frac{Q}{0.00304 * C} \right)^2 * \frac{G * L}{D^5}$	
DATOS ENTRADA		
VARIABLES	VALOR	UNIDADES
CAUDAL(Q)	2,50	<i>m3/h</i>
LONGITUD(L)	10,00	<i>m</i>
DIAMETRO(D)	20,00	<i>mm</i>
GRAV.ESPECIF.GAS(G)	0,60	
FAC.EN FUNC.DIAM- C	1,80	
PRESION ENTRADA	18,00	<i>mb</i>
CONDICIONES		
MAX % PERDIDAS(5%)	0,90	<i>mb</i>
LIMITE VELOCIDAD MAX	20,00	<i>m/s</i>
	$V = \frac{354 * Q}{D^2 * P}$	
RESULTADOS		
CALCULO H	0,39	<i>mb</i>
VALOR H CORRECTO?	VERDADERO	
CALCULO VEL.MAX (V)	0,12	<i>m/s</i>
VALOR V CORRECTO?	VERDADERO	
PRESION SALIDA	17,61	<i>mb</i>

- Los cálculos demuestran que con un diámetro de 20 mm y una longitud de 10 m aproximadamente, las pérdidas de presión serían de 0.39 mb. Este valor no sobrepasa la máxima presión de pérdidas calculada, por lo tanto es aceptable el diseño. Además por cada medidor existe una pérdida aproximada de 0.1 mb, cumpliendo con lo establecido por la norma 2728 (numeral 6), donde indica que la pérdida por medidor a un caudal máximo, no debe ser mayor de 220 Pa es decir, 2.2 mb.
- La velocidad del fluido dentro de la tubería no supera los 20 m/s.

ANEXO 4. REQUISITOS DE LA NORMA 17025

En la siguiente tabla se especifican los puntos de la norma que se han aplicado al Laboratorio de ensayo y los que hacen falta, establecimiento propuestas para su cumplimiento.

Numeral	Tema	Aplicado		Actividades desarrolladas y propuestas
		Si	No	
4	Requisitos de Gestión (Organización)	X		-Dirección de O y M y personal técnico.
4.2	Sistema de Calidad	X*		- Certificación de los procesos e instructivos ante la ISO-9001. - Realizar un manual de calidad referente a los procedimientos incluyendo los soportes técnicos. (fórmulas, gráficas, programas).
4.3	Control de documentos	X		- Control de documentación por parte de la ISO, mediante sus auditorias internas.
4.7	Servicio al Cliente	X		- La atención a usuarios ha sido la apropiada, permitiendo presenciar las pruebas de verificación. - Documentar los trámites relacionados con la comunicación de asuntos técnicos del laboratorio y el cliente
4.8	Quejas	X*		- Atención al usuario mediante las PQR. - Realizar políticas para atender quejas y reclamos de clientes.
4.10 y 4.11	Acciones correctivas y preventivas	X		- Se han llevado a cabo acciones correctivas y preventivas siguiendo los procesos ante el SGC.
4.12	Control de registros	X*		- Los registros en medio impresos son legibles y se encuentran en lugares adecuados. - Mediante la implementación del Software de verificación y calibración, se tendrá un mayor control de trazabilidad, y manipulación de la información. - El archivo se llevará en medio electrónico , ahorrando papelería; así

4.12.2	Registros técnicos	X*	<p>como el archivo de pruebas de medidores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los registros de ensayo contienen la información necesaria (máx. error) para determinar la exactitud y funcionamiento del equipo. - Diseñar un registro de calibración indicando las posibles fuentes de incertidumbre, cálculo de Tolerancia, Factor de calidad y gráficos estadísticos.
5	Requisitos Técnicos:		<ul style="list-style-type: none"> - El Auxiliar Técnico que realiza las pruebas de verificación cuenta con toda la capacidad para llevar a cabo todos procesos.
5.2	- Factores humanos	X*	<p>-Se analizar y demostrar que los resultados obtenidos son válidos Técnicamente en los procesos de verificación y próximos procesos de calibración.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alcanos cuenta con un laboratorio bien estructurado y equipos con trazabilidad reconocida que los hace confiables; permitiendo su optimización con los recursos existentes. (Ver condiciones ambientales).
5.3	- Instalaciones y condiciones ambientales	X*	<ul style="list-style-type: none"> - Rediseñar el Banco de prueba para medidores. (Ver diseño) - Independizar la sala de ensayo de los puestos de trabajo del personal encargado. Evitando interferencias electromagnéticas. - Se cuentan con los procedimientos de verificación para todos los equipos, especificando el método de medición.
5.4	- Método de ensayo y calibr.	X*	<ul style="list-style-type: none"> - Especificar el método de calibración que se desea utilizar, en la sala de ensayo para manómetros, termómetro y computadores de flujo; incluyendo el procedimiento de cálculo de incertidumbre y técnicas estadísticas.

5.5	- Equipo	X*		<ul style="list-style-type: none"> - Existen seis (6) patrones debidamente calibrados, con muy buenas características técnicas. - Los patrones que existen actualmente, cuentan con calibraciones recientes demostrando su trazabilidad.
5.6	- Trazabilidad de la medic.	X*		<ul style="list-style-type: none"> - Realizar calibraciones a los equipos de trabajo dentro del laboratorio, y a los equipos empleados en el ensayo que tengan efecto sobre la validez del resultado. (manómetros, termómetros). - Se sugiere la compra de patrones de referencia para implementar los procesos de calibración (Ver Mejoras). Estos serán usados solamente para calibración.
5.6.3	Patrones de referencia		X	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar procedimientos de control de calidad para hacer seguimiento de la validez de resultados aplicando técnicas estadísticas.
5.9	Aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo y calibración.		X	<ul style="list-style-type: none"> - El reporte de las verificaciones incluye la información necesaria para la interpretación de resultados por el cliente.
5.10	Reporte de resultados	X*		<ul style="list-style-type: none"> - Diseñar un certificado de calibración incluyendo condiciones, incertidumbre y trazabilidad.

* Indica que falta complementar el requisito

NOTA: Lo que está resaltado en negrilla, son las actividades propuestas para el cumplimiento del requisito.

ANEXO 5. Gráficas de trazabilidad de patrones

Tabla 1. Calibraciones del patrón volumétrico tipo diafragma

VOLUMEN DE CALIBRACION	CAUDAL NOMINAL	ERROR PROMEDIO 2006	ERROR PROMEDIO 2005	ERROR PROMEDIO 2002	ERROR PROMEDIO 2001
dm ³	dm ³ /min	%	%	%	%
100	3,3	1,03	-0,06	0,2	0,2
100	30,67	1,66	0,43	0,45	0,44
100	61,33	1,76	0,53	0,64	0,64
100	107,33	1,88	0,6	0,96	0,94
100	153,33	1,62	0,34	0,87	0,87

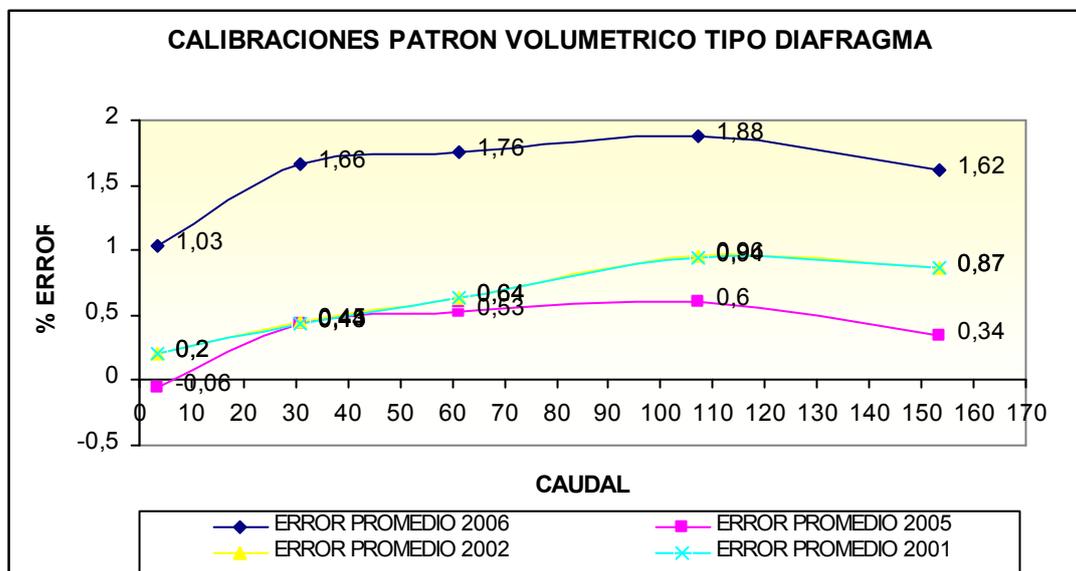


Tabla 2. Calibraciones del patrón volumétrico Cámara Húmeda

VOLUMEN DE CALIBRACION	CAUDAL NOMINAL	ERROR PROMEDIO 2006	ERROR PROMEDIO 2005	ERROR PROMEDIO 2004	ERROR PROMEDIO 2002
dm ³	dm ³ /min	%	%	%	%
100	0,5				0,33
100	10				0,13
100	20				-0,07
100	30				-0,28
100	41,66				-0,52
100	0,42			0,86	
100	8,33			0,64	
100	16,66			0,61	
100	29,16			0,1	
100	41,66			-0,5	

100	0,42		0,08	
100	1,25		0,69	
100	4,17		0,6	
100	16,67		0,59	
100	41,67		-0,43	
100	0,41	0,9		
100	1,25	0,76		
100	4,17	0,71		
100	16,67	0,33		
100	41,67	-0,86		

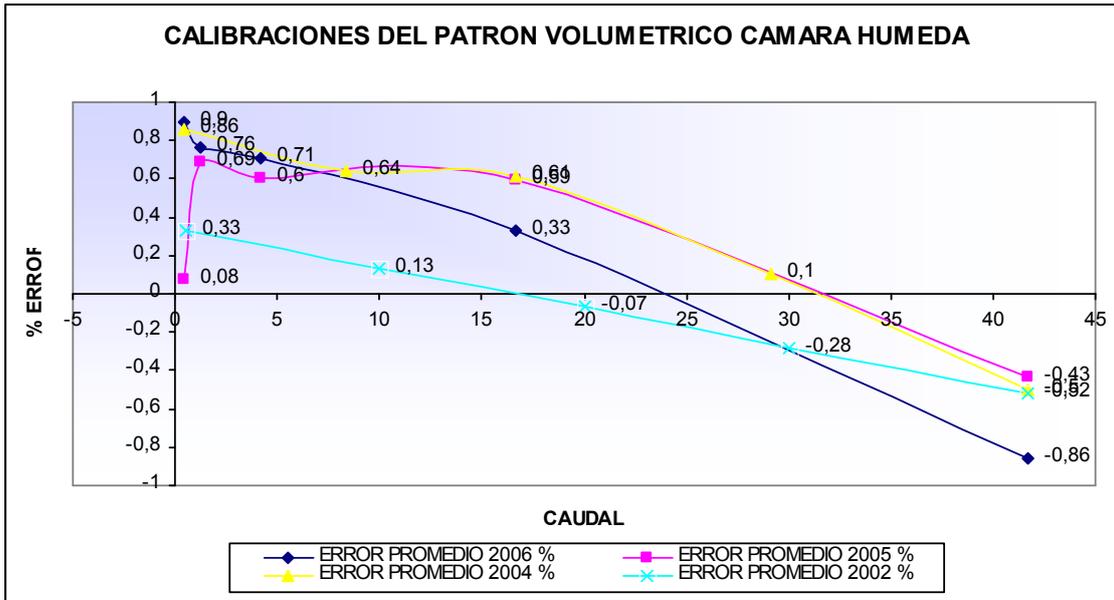


Tabla 2. Calibraciones del Patrón de Temperatura

T.PATRON (°C)	ERROR 2008	ERROR 2006	ERROR 2005
	(°C)	(°C)	(°C)
-15	0	-0,1	-0,03
0	0	0	0
20	0,3	0,017	0
60	0,3	0,19	-0,04
100	0,7	0,29	-0,06
140	0,9	0,34	0

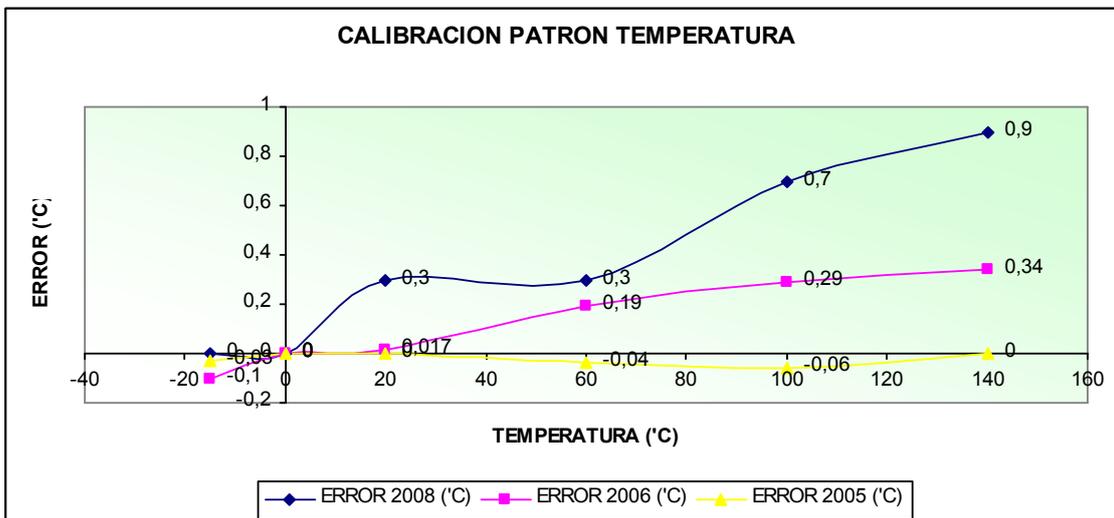


Tabla 3. Calibración del Patrón de presión

P.PATRON (psi)	ERROR 2008 (psi)	ERROR 2006 (psi)	ERROR 2005 (psi)
100	0,12	0,056	0,05
200	0,24	0,164	0,01
300	0,24	0,174	0,01
400	0,4	0,282	0,07
500	0,4	0,387	-0,07
600	0,43	0,401	-0,12

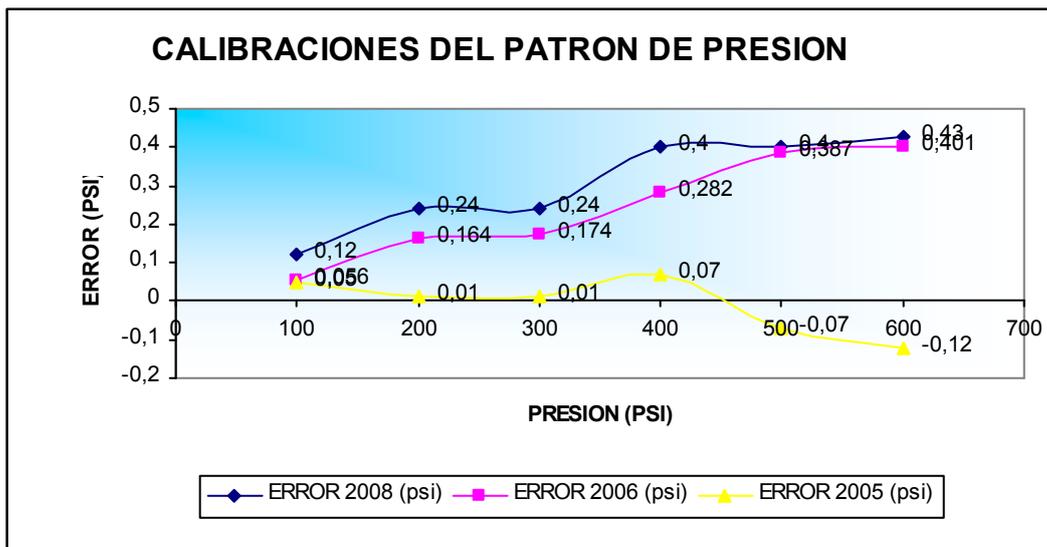
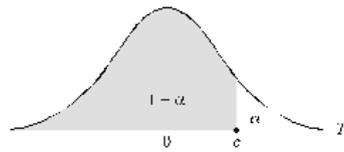


Tabla 2. Distribución t-student (1- α)

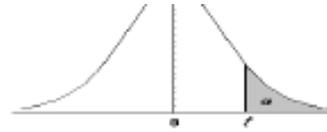


		$1 - \alpha$						
r	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Tabla 3. Distribución t-student (α)

Tabla de la t de Student.

Contiene los valores t tales que $p[T > t] = \alpha$,
donde n son los grados de libertad.

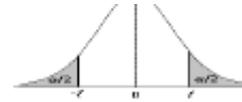


$n \setminus \alpha$	0,30	0,25	0,20	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0025	0,001	0,0005
1	0,7265	1,0000	1,3764	3,0777	6,3137	12,7062	31,8210	63,6559	127,3213	318,3088	636,6192
2	0,6172	0,8165	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9645	9,9250	14,0890	22,3271	31,5991
3	0,5844	0,7849	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8408	7,4533	10,2145	12,9240
4	0,5686	0,7407	0,9410	1,5332	2,1318	2,7765	3,7469	4,6041	5,5976	7,1732	8,6103
5	0,5594	0,7267	0,9195	1,4759	2,0150	2,5708	3,3649	4,0321	4,7733	5,8934	6,8688
6	0,5534	0,7176	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	4,3168	5,2076	5,9588
7	0,5491	0,7111	0,8980	1,4149	1,8946	2,3848	2,9979	3,4995	4,0293	4,7853	5,4079
8	0,5459	0,7064	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	3,8325	4,5006	5,0413
9	0,5435	0,7027	0,8834	1,3830	1,8331	2,2822	2,8214	3,2498	3,6897	4,2968	4,7809
10	0,5415	0,6998	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1893	3,5814	4,1437	4,5869
11	0,5399	0,6974	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	3,4966	4,0247	4,4370
12	0,5386	0,6955	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	3,4284	3,9296	4,3178
13	0,5375	0,6938	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	3,3725	3,8520	4,2208
14	0,5366	0,6924	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9766	3,3257	3,7874	4,1405
15	0,5357	0,6912	0,8662	1,3406	1,7531	2,1315	2,6025	2,9467	3,2860	3,7328	4,0728
16	0,5350	0,6901	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	3,2520	3,6862	4,0150
17	0,5344	0,6892	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8992	3,2224	3,6458	3,9651
18	0,5338	0,6884	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,1966	3,6105	3,9216
19	0,5333	0,6876	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,1737	3,5794	3,8834
20	0,5329	0,6870	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,1534	3,5518	3,8495
21	0,5325	0,6864	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314	3,1352	3,5272	3,8193
22	0,5321	0,6858	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,1188	3,5050	3,7921
23	0,5317	0,6853	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,1040	3,4850	3,7676
24	0,5314	0,6848	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7970	3,0905	3,4668	3,7454
25	0,5312	0,6844	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,0782	3,4502	3,7251
26	0,5309	0,6840	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,0669	3,4350	3,7066
27	0,5306	0,6837	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,0565	3,4210	3,6896
28	0,5304	0,6834	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,0469	3,4082	3,6739
29	0,5302	0,6830	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,0380	3,3962	3,6594
30	0,5300	0,6828	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,0298	3,3852	3,6460
40	0,5286	0,6807	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045	2,9712	3,3089	3,5510
80	0,5265	0,6776	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387	2,8870	3,1953	3,4163
120	0,5258	0,6765	0,8446	1,2886	1,6576	1,9799	2,3578	2,6174	2,8599	3,1595	3,3735
∞	0,5244	0,6745	0,8416	1,2816	1,6449	1,9600	2,3263	2,5758	2,8070	3,0902	3,2905

Tabla 4. Distribución t-student (α)

Tabla de la t de Student.

Contiene los valores t tales que $p(|T| > t) = \alpha$,
donde n son los grados de libertad.



$n \setminus \alpha$	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,1584	0,3249	0,5095	1,0000	1,9628	3,0777	6,3137	12,7082	31,8210	63,6559	636,5778
2	0,1421	0,2887	0,4447	0,8165	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9645	9,9250	31,5998
3	0,1366	0,2767	0,4242	0,7649	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8408	12,9244
4	0,1338	0,2707	0,4142	0,7407	1,1896	1,5332	2,1318	2,7765	3,7469	4,6041	8,6101
5	0,1322	0,2672	0,4082	0,7267	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8685
6	0,1311	0,2648	0,4043	0,7178	1,1342	1,4398	1,9432	2,4489	3,1427	3,7074	5,9587
7	0,1303	0,2632	0,4015	0,7111	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9979	3,4995	5,4081
8	0,1297	0,2619	0,3995	0,7064	1,1081	1,3968	1,8595	2,3080	2,8965	3,3554	5,0414
9	0,1293	0,2610	0,3979	0,7027	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2496	4,7809
10	0,1289	0,2602	0,3966	0,6998	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5868
11	0,1286	0,2596	0,3956	0,6974	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4369
12	0,1283	0,2590	0,3947	0,6955	1,0832	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	4,3178
13	0,1281	0,2586	0,3940	0,6938	1,0795	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	4,2209
14	0,1280	0,2582	0,3933	0,6924	1,0763	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9788	4,1403
15	0,1278	0,2579	0,3928	0,6912	1,0735	1,3408	1,7531	2,1315	2,6025	2,9467	4,0728
16	0,1277	0,2576	0,3923	0,6901	1,0711	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	4,0149
17	0,1276	0,2573	0,3919	0,6892	1,0690	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	3,9651
18	0,1274	0,2571	0,3915	0,6884	1,0672	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,9217
19	0,1274	0,2569	0,3912	0,6878	1,0655	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,8833
20	0,1273	0,2567	0,3909	0,6870	1,0640	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,8498
21	0,1272	0,2566	0,3906	0,6864	1,0627	1,3232	1,7207	2,0796	2,5178	2,8314	3,8193
22	0,1271	0,2564	0,3904	0,6858	1,0614	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,7922
23	0,1271	0,2563	0,3902	0,6853	1,0603	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,7678
24	0,1270	0,2562	0,3900	0,6848	1,0593	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7970	3,7454
25	0,1269	0,2561	0,3898	0,6844	1,0584	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,7251
26	0,1269	0,2560	0,3896	0,6840	1,0575	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,7067
27	0,1268	0,2559	0,3894	0,6837	1,0567	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,6895
28	0,1268	0,2558	0,3893	0,6834	1,0560	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,6739
29	0,1268	0,2557	0,3892	0,6830	1,0553	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,6595
30	0,1267	0,2556	0,3890	0,6828	1,0547	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,6460
40	0,1265	0,2550	0,3881	0,6807	1,0500	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045	3,5510
80	0,1261	0,2542	0,3867	0,6778	1,0432	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387	3,4164
120	0,1259	0,2539	0,3862	0,6765	1,0409	1,2886	1,6576	1,9799	2,3578	2,6174	3,3734
∞	0,126	0,253	0,385	0,674	1,036	1,282	1,645	1,96	2,326	2,578	3,291

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS METROLÓGICAS E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE DE CONTROL DE LAS CALIBRACIONES Y VERIFICACIONES DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDIDA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE ALCANOS DE COLOMBIA S.A. E.S.P.

RESUMEN

Alcanos de Colombia una empresa reconocida a nivel Nacional y con una gran cobertura, se fortalece cada vez más con la calidad de su servicio; este depende básicamente del buen funcionamiento de los instrumentos y en gran parte del mantenimiento preventivo y correctivo que se den a los equipos de las estaciones reguladoras. Para ello deben realizarse programas de verificación de equipos y calibración de patrones, generando trazabilidad en las mediciones.

Con este proyecto se busca profundizar en el tema de la Metrología realizando un estudio de las características metrológicas de los equipos, cálculos matemáticos y estadísticos que se requieren para la Acreditación, basándose en algunas normas técnicas colombianas y la norma 17025 para Acreditación de laboratorios. Además se diseñó el software “SIVCE” (Sistema informativo de verificación y calibración de equipos), para el control

de la información de los procedimientos que se llevan a cabo en el laboratorio, ofreciendo seguridad, confianza y agilidad en el manejo de los datos.

INTRODUCCION

Los Sistemas de Gestión de Calidad optados hoy en día por las organizaciones se han convertido en una de las estrategias claves para obtener el sello de garantía de sus servicios o productos ofrecidos. La norma NTC-ISO 9001 permite implementar y mejorar la eficacia de estos sistemas, aumentando la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos; de igual manera la norma NTC-ISO-IEC 17025 proporciona las pautas generales de competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración llevándose a cabo unos procedimientos, registros y controles que demuestren su correcto funcionamiento produciendo los resultados exigidos por el Sistema de Gestión de Calidad.

La empresa busca fortalecerse en el área de metrología para producir datos y resultados técnicamente válidos de los

ensayos y calibraciones correspondientes a cada uno de sus equipos e instrumentos de medida. El laboratorio cuenta con un banco de pruebas y equipos de medida para realizar las correspondientes verificaciones de instrumentos, los cuales requieren de un correcto procedimiento para sus calibraciones, analizando cada una de sus características y condiciones que deben cumplir.

Lo que se busca en este proyecto, es realizar un estudio metrológico de los equipos e instrumentos de medida y la implementación de un software para sistematizar los procedimientos de registro y control de las verificaciones y calibraciones, cumpliendo con lo establecido por el SGC (Sistema de Gestión de Calidad).

METODOLOGIA

Para la realización del análisis metrológico y desarrollo del software se llevó a cabo:

1. Recolección de información: Se recopiló toda la información existente en el banco de pruebas, sobre registros y hojas de vida de cada uno de los equipos (manómetros, detectores,

equipos de termofusión) involucrados en el proceso de certificación para organizar la base de datos a partir del presente año; teniendo en cuenta la caracterización de cada uno de ellos. Además, se estudió toda la literatura ofrecida por parte de la empresa, como normas, manuales, pasantías para la obtención de bases teóricas sobre metrología e instrumentación.

2. Análisis de las características metrológicas y comportamiento de los equipos: Se estudiaron las principales características metrológicas que se manejan en el laboratorio tales como:

- Error puntual
- Trazabilidad
- Clase de exactitud
- Tolerancia
- Sensibilidad
- Precisión

3. Análisis matemático y estadístico de las características metrológicas: Se hizo un análisis matemático con cada una de las características que deben tenerse en cuenta en un certificado de calibración y que aportan información valiosa para conocer la confiabilidad del servicio.

Exactitud y precisión: La exactitud y precisión del instrumento está

determinada por los errores sistemáticos y aleatorios presentes en la medida. El error que se especifica en las medidas está representado mediante el **error absoluto** (ver teoría de errores) de la siguiente manera:

$$\text{Error} = \text{Pr} - \text{No} \quad (\text{Prueba} - \text{Normal})$$

Distribución Normal: También llamada distribución de Gauss o distribución Gaussiana, es la distribución de probabilidad que con más frecuencia aparece en estadística y teoría de probabilidades, ya que su función de densidad es simétrica y con forma de campana, lo que favorece su aplicación como modelo a gran número de variables estadísticas.

Su función de densidad es simétrica y con una forma de campana:

Distribución “t de Student”:

- En muchas ocasiones no se conoce la desviación estándar de la población y el número de observaciones en la muestra es menor de 30. En estos casos se utiliza la distribución t.

- Es una distribución continua, tiene una media de cero, es simétrica respecto de la media y se extiende de $-\infty$ a $+\infty$ la

varianza de t es $\frac{v}{v-2}$ para $v > 2$.

Cuando los grados de libertad son

suficientemente grandes la varianza de la distribución t tiende a 1.

$$t = \frac{Z}{\sqrt{\frac{x^2}{v}}} \quad (1)$$

$$\text{Donde } Z = \frac{X - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad \text{y} \quad x^2 = \frac{S^2(n-1)}{\sigma^2}$$

reemplazando estos valores en t se obtiene:

$$t = \frac{X - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (2)$$

Despejando la fórmula anterior se puede calcular el límite del intervalo de la siguiente manera:

$$t * \frac{s}{\sqrt{n}} = X - \mu$$

$$X = \mu \pm t * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Con $v = n-1$ grados de libertad. Los grados de libertad son el número de valores que se pueden elegir libremente de una población. En la gráfica anterior se muestra la gráfica para valores de v ó k diferentes.

Metodología para el cálculo de incertidumbre: De acuerdo a la norma ISO / IEC 17025 un laboratorio de calibración o de ensayos debe tener y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de medición.

Generalmente, estos procedimientos requieren el uso de tablas donde se resumen los valores de incertidumbre encontrados.

El literal 5.4.6.1 de la norma ISO / IEC 17025 señala que un laboratorio de calibración o de ensayos, que realiza sus propias calibraciones, debe tener y aplicar un procedimiento para estimar la incertidumbre de medición para todas las calibraciones y tipos de calibración. Estos procedimientos de calibración deben incluir la información e instrucciones necesarias para llevar a cabo el cálculo de incertidumbre de medición correspondiente. Esta información proviene de un análisis de sistemas de medición, patrones de referencia y factores de influencia.

Pasos para encontrar la incertidumbre de una medición:

1. Elaboración de un modelo (matemático) de la medición
2. Identificación de las fuentes de incertidumbre
3. Evaluación de la Incertidumbre Estándar
4. Determinación de la incertidumbre estándar combinada

5. Determinación de la Incertidumbre expandida

Calculo del factor de cobertura k: El factor de cobertura k por lo tanto se puede calcular conociendo cada una de las contribuciones de las fuentes de incertidumbre. Este valor entonces, se puede calcular por medio de la distribución “t” para un número de grados efectivos de libertad v_{eff} , los cuales pueden estimarse mediante la siguiente expresión conocida como “*Fórmula de Welch-Satterthwaite*”.

$$\frac{1}{v_{ef}} = \sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{u_i(y)}{u_c(y)} \right)^4}{v_i} \quad (4)$$

Índice de calidad de calibración (Q): Es uno de los criterios que sirve para aceptar o rechazar una calibración. Expresa la proporción que existe del patrón respecto al instrumento la cual era de 10/1 inicialmente, rebajándose a 4/1.

$$Q = \frac{TOL}{u} \quad (5) \quad \text{Si}$$

Si $Q \geq 4$ aceptable; Si $Q \leq 4$ no aceptable

$$TOL = (\varepsilon)_{m\acute{a}x} = \frac{CL}{100} * RANGO \quad (6)$$

u = Incertidumbre total de medición

Para el cálculo de la tolerancia es necesaria realizar mediciones en todo el rango del instrumento, encontrando el máximo error absoluto.

4. Propuesta de mejoramiento: Según lo establecido por la norma 17025 dentro de las instalaciones del banco de pruebas de la empresa se deben mejorar muchos aspectos tales como:

- Condiciones ambientales
- Evaluación y control de calidad del sistema de medición
- Capacitación del personal
- Mantenimiento y transporte de instrumentos
- Consideraciones de seguridad
- Administración y documentación

5. Diseño del software SIVCE (Sistema informativo de verificación y calibración de equipos): Realmente es necesaria la implementación del software para agilizar los procedimientos de verificación con una mayor efectividad, y de esta manera evitar errores humanos que se han encontrado durante el análisis de la información. Este software se ha diseñado bajo la plataforma de Visual Basic y Acces. A través de este programa se ha logrado consultar

rápidamente el estado y la trazabilidad de los equipos.

CONCLUSIONES

- Es importante para Alcanos de Colombia la acreditación de sus procesos ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y demostrar que es una organización competente y confiable.

- La calidad de los estudios analíticos está condicionada por la calidad de los datos.

- Mejorar en la calidad de los datos y en la confiabilidad de estos es el principal objetivo de los procesos de acreditación de un laboratorio metrológico.

- Se debe garantizar que el beneficio obtenido es mayor que el costo de obtener los datos.

- No necesariamente se requiere de alta Tecnología para optimizar el laboratorio sino de demostrar la calidad de los resultados fundamentados en bases teóricas.

BIBLIOGRAFIA

IDROVO, Calderón Roberto. Laboratorio de Presión y Manometría.

Superintendencia de Industria y Comercio. Santafé de Bogotá. 1998. 60 páginas.

MARTINEZ, Ramírez Ricardo. Principios de metrología científica. Quito, Ecuador. 2006. 50 páginas.

**NORMAS TÉCNICAS
COLOMBIANAS PARA
INSTRUMENTOS DE MEDIDA**

- NTC – ISO – IEC 17025. Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración.
- NTC – 2728. Medidores de gas tipo diafragma.
- NTC-2263. Metrología. Manómetros indicadores de presión, manómetros de vacío y manómetros de presión-vacío para usos generales.
- NTC – 2826. Aparatos mecánicos. Disposiciones generales para medidores de volumen de gas.