



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química**

**MANOMETRÍA Y TERMOMETRÍA APLICADAS A LA OPERACIÓN DE UNA
EMPRESA QUE DISEÑA EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL.**

Luis Estuardo López Bonilla

Asesorado por el Ing. Ramiro Augusto Santizo González

Guatemala, octubre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANOMETRÍA Y TERMOMETRÍA APLICADAS A LA OPERACIÓN DE UNA
EMPRESA QUE DISEÑA EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ESTUARDO LÓPEZ BONILLA

ASESORADO POR EL ING. RAMIRO AUGUSTO SANTIZO GONZÁLEZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Inga. Hilda Pineda Palma de Martini
EXAMINADOR	Ing. Victor Herbert de León Morales
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MANOMETRÍA Y TERMOMETRÍA APLICADAS A LA OPERACIÓN DE UNA EMPRESA QUE DISEÑA EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha octubre de 2006.

Luis Estuardo López Bonilla

DEDICATORIA

AMPARO ELIZABETH BONILLA MIRANDA

Por su apoyo incondicional durante toda mi vida. Gracias madre.

AGRADECIMIENTOS A:

TODOS AQUELLOS QUE DE UNA U OTRA FORMA HAN AYUDADO AL LOGRO DE ESTE ÉXITO.

Mis tíos

Hector y Miriam de Arévalo,
Enrique y Adela de Contreras y
Vilma Sanchez.
Por su apoyo incondicional.

Mi Asesor

Ing. Ramiro Santizo
por su ayuda, amistad y guía.

Mis Padrinos

Ing. José Luis Monterroso e
Ing. Luis Alfonso Cruz
Por sus sabios consejos.

A mis amigos y compañeros de universidad

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Ingeniería Química

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	01
1.1. Presión	01
1.1.1. Tipos de instrumentos para la medición de presión	02
1.2. Temperatura	03
1.2.1. Instrumentos para medición de temperatura	04
1.3. Incertidumbre de medición	05
1.3.1. Tipos de incertidumbre	05
2. ANÁLISIS Y CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICION EN MANOMETRIA Y TERMOMETIRA	07
2.1. Análisis de la incertidumbre Tipo A	08
2.2. Análisis de la incertidumbre Tipo B	10
2.3. Cálculo de la incertidumbre en manometría	13
2.4. Cálculo de la incertidumbre en termometría	15
3. CONTENIDO DE UN CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CONFORME A LA GUIA ISO 17025	21
3.1. Información mínima que debe ser incluida en un certificado de calibración	21
3.2. Formato propuesto para la elaboración de un certificado de calibración	23

4.	TRAZABILIDAD EN LAS MEDICIONES	25
4.1.	Elaboración de cartas de trazabilidad.	26
4.1.1.	Carta de trazabilidad para presión	30
4.1.2.	Carta de trazabilidad para temperatura	31
4.2.	Selección de laboratorios de mayor exactitud	32
5.	CODIFICACIÓN Y TRAZABILIDAD DE EQUIPOS	33
5.1.	Identificación de equipos sujetos a calibración	33
5.2.	Documentación de las características metrológicas de los equipos	36
6.	ELABORACIÓN DE DOCUMENTACIÓN EXIGIDA POR NORMAS ISO	41
6.1.	Elaboración de un instructivo de control metrológico	41
6.1.1.	Designación	42
6.1.2.	Selección del equipo de medición, inspección y ensayo	42
6.1.3.	Medición del proceso	43
6.1.4.	Equipo de calibración	43
6.1.5.	Identificación y registro del equipo de medición, inspección y Ensayo (EMIE)	43
6.1.6.	Control del equipo de medición, inspección y ensayo	44
6.1.7.	Mecanismos de calibración para un EMIE	45
6.1.8.	Control de la calibración de los EMIE	45
6.1.9.	Cálculo de incertidumbre en las calibraciones	46
6.1.10.	Períodos de confirmación metrológica	46
6.1.11.	Vigencia de la calibración de los EMIE	47
6.1.12.	Validación de la calibración de un EMIE	47
6.1.13.	Conservación de los EMIE	48
6.2.	Protocolos de calibración	48
6.2.1.	Protocolo de calibración de manómetros	49

6.2.2.	Protocolo de calibración de termómetros	52
6.3.	Registros de control de calibración y seguimiento	55
7.	RESULTADOS DE LAS CALIBRACIONES	59
7.1.	Manometría	60
7.1.1.	Manómetros de alta presión	60
7.1.2.	Manómetros de baja presión	62
7.2.	Termometría	64
7.2.1.	Sensores de temperatura.	65
7.2.2.	Termopares.	66
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	73
	REFERENCIAS	75
	BIBLIOGRAFÍA	77
	APÉNDICE	79
	ANEXOS	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Definición de la escala Kelvin de temperatura	3
2	Formato de evaluación de incertidumbres en manómetros	15
3	Formato de evaluación de incertidumbres en termometría	20
4	Formato de un certificado de calibración	24
5	Ejemplo de carta de trazabilidad: masa	26
6	Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0401	60
7	Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0402	61
8	Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0403	61
9	Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0501	62
10	Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0502	63
11	Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0503	63
12	Histéresis del manómetro código 04PP0401	64
13	Histéresis del manómetro código 04PP0401	65
14	Error e incertidumbre (σ) del sensor código 04TT0301	67
15	Error e incertidumbre (σ) del termopar código 04EE0601	68
16	Error e incertidumbre (σ) del termopar código 04EE0602	69
17	Histéresis del manómetro código 04PP0401	83
18	Histéresis del manómetro código 04PP0402	83
19	Histéresis del manómetro código 04PP0403	84
20	Histéresis del manómetro código 04PP0501	84
21	Histéresis del manómetro código 04PP0502	85
22	Histéresis del manómetro código 04PP0503	85

TABLAS

I	Distribuciones útiles para analizar la incertidumbre	13
II	Características metrológicas de los patrones internos utilizados	37
III	Características metrológicas de los EMIE en termometría	38
IV	Características metrológicas de los EMIE en manometría	39
V	Tabulaciones para el manómetro código 04PP0401	79
VI	Tabulaciones para el manómetro código 04PP0402	79
VII	Tabulaciones para el manómetro código 04PP0403	80
VIII	Tabulaciones para el manómetro código 04PP0501	80
IX	Tabulaciones para el manómetro código 04PP0502	80
X	Tabulaciones para el manómetro código 04PP0503	81
XI	Tabulaciones para el sensor código 04TT0301	81
XII	Tabulaciones para el termopar código 04EE0601	81
XIII	Tabulaciones para el termopar código 04EE0602	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P	Presión
F	Fuerza
A	Área
T	Temperatura
M	Masa
A	Aceleración
G	Constante de fuerza de gravedad
H	Altura
ρ	Densidad
\bar{X}	Media aritmética
N	Número de observaciones
X_i	Observación de medición
U	Incertidumbre estándar combinada
σ	Límite de la incertidumbre (+/-).
ε	Error de medición

GLOSARIO

Ajuste	Operación de llevar a un instrumento de medición a un estado de desempeño adecuado para su uso.
Calibración	Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de las magnitudes indicadas por un instrumento o sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los valores correspondientes de la magnitud, realizados por los patrones.
Carta de trazabilidad	Documento en el cual se indica la forma en que una medición está ligada a un patrón primario, así como su incertidumbre.
Certificado de calibración	de Documento en el cual un laboratorio certifica los resultados de medición y la incertidumbre de estas, generalmente, se utiliza para dar información a clientes de estos.
Deriva	Cambio lento de una característica metrológica de un instrumento de medición.
Error de medición	Resultado de una medición menos el valor verdadero del objeto de medición.

Errores permisibles	Valores extremos de un error permitido por especificaciones, regulaciones, etc para un instrumento dado.
Exactitud de una medición	Acuerdo más cercano entre el resultado de una medición y el valor verdadero del objeto de medición.
Incertidumbre de medición	Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.
Medición	Conjunto de operaciones que tienen como objeto determinar el valor de una magnitud.
Metrología	Ciencia de la medición. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones; cualquiera que sea su incertidumbre, en cualquiera que sea su campo de la ciencia y de la tecnología.
Norma ISO 10012	El sistema de confirmación metrológica descrito en la ISO 10012, se concibió para asegurar que las mediciones realizadas usando un equipo de medición que se encuentra dentro de su intervalo de confirmación, son suficientemente exactas para este propósito.

Norma ISO 17025	Esta Norma Internacional establece los requisitos generales que un laboratorio tiene que cumplir para que se reconozca la competencia para realizar ensayos y/o calibraciones, incluyendo el muestreo. Esta norma cubre ensayos y calibraciones que se realizan usando métodos normalizados, métodos no normalizados y métodos desarrollados por el laboratorio.
Norma ISO 9000	Conjunto de normas orientadas a la gestión de sistema de calidad. Es una norma auditable y certificable.
Patrón metrológico	Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de una magnitud para servir de referencia. Existen diferentes clases de patrones, estos son: patrón de referencia, de trabajo, internacional, nacional, primario y secundario.
Protocolo de calibración	Conjunto de operaciones, descritas específicamente, para realizar mediciones particulares de acuerdo a un método dado. Es usualmente un documento a veces llamado “procedimiento” y que proporciona suficientes detalles para que un operador pueda realizar una medición sin necesitar más información.
Resolución	La más pequeña diferencia entre las indicaciones de un dispositivo de display que puede, significativamente, distinguirse.

Trazabilidad

Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón tal que esta pueda ser relacionada a referencias determinadas, generalmente, patrones nacionales o internacionales por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas, incertidumbres determinadas.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo el dar a conocer el desarrollo de los criterios generales para la elaboración de protocolos de calibración. También, se enseña la clasificación y registro de los instrumentos de medición, la realización de calibraciones que permitan conocer la historia de la incertidumbre y error de medición de los equipos. Asimismo, se desarrollan los formatos y certificados de calibración y se elabora la trazabilidad en las mediciones.

Este trabajo de investigación se desarrolla tomando como base las indicaciones de las normas ISO 9000, 17025 y 10012. Las actividades de investigación se basan en el análisis de equipos de medición de manometría y termometría pertenecientes a un laboratorio de metrología de una empresa que diseña equipos de refrigeración comercial.

Tomando como punto de partida los conceptos respecto de termometría y manometría se procedió a determinar, mediante análisis estadísticos, la incertidumbre y el error de medición de los instrumentos.

Al haber desarrollado la incertidumbre de medición se procedió a desarrollar los requisitos exigidos por las normas ISO. Dando como resultado el desarrollo de registros y codificaciones para los instrumentos de medición.

Por último, se analizan los resultados experimentales llegándose a la conclusión de las medidas necesarias a tomar para mantener el sistema de medición dentro de las tolerancias establecidas.

OBJETIVOS

- **General**

Desarrollar los criterios generales para la elaboración de protocolos de calibración e implementación de programas de aseguramiento metroológico. Esto aplicado a las magnitudes de presión y temperatura dentro de una empresa de diseño de equipos de refrigeración comercial. Acorde a normativas ISO 9000:2000, ISO 10012, ISO 17 025 y enmarcado dentro del sistema de gestión de la calidad de la empresa responsable del diseño

- **Específicos**

1. Clasificar y registrar los instrumentos de medición inspección y ensayo de la empresa.
2. Realizar calibraciones periódicas que permitan llevar un historial del error que poseen las mediciones y las variaciones generadas por equipos de medición, así como la repetibilidad que son capaces de dar.
3. Desarrollar los formatos y certificados necesarios para calcular y estimar la incertidumbre en las mediciones de los instrumentos.
4. Identificar y desarrollar la trazabilidad necesaria para los patrones que serán usados para calibración interna.

INTRODUCCIÓN

Guatemala, en condición de país en vías de desarrollo, busca su crecimiento económico mediante la creación de condiciones óptimas de las diferentes actividades económicas y sociales que permitan elevar el nivel de vida de sus habitantes. Esto mediante esfuerzos constantes por aumentar la calidad y productividad de los bienes y servicios producidos en el país.

Dentro del marco de actividades empresariales realizadas en el país, se llevan a cabo intercambios comerciales, basándose en ofertar productos o servicios en diferentes mercados, sean estos internos o externos al país. Estos productos son realizados mediante diversos procesos de manufactura. Surgiendo la necesidad de ser caracterizados, evaluados y catalogados como tales para poder ser ofertados a los diversos mercados. Esto permite asignar un valor determinado para hacer rentable el producto.

La necesidad de identificar las características de los productos exige el desarrollo de sistemas de medición confiables y universales que faciliten la comunicación entre el proceso diseño y elaboración del producto y los mercados donde éste será ofertado; facilitando así su comercialización.

Esta tesis orienta su contenido al desarrollo de un sistema de control metrológico, tomando como base las actividades de una empresa que diseña equipos de refrigeración comercial. Se define y da muestra de la forma en que se desarrollan y aplican procedimientos, protocolos, de medición. Se toma como muestra el desarrollo de un control en las magnitudes de presión y temperatura, enmarcando las actividades

metrológicas dentro del sistema de gestión de la calidad de la empresa y acorde a normativas internacionales tales como la ISO 9000, 17025 y 10012.

Como punto de partida se dispondrá de la identificación de aquellos equipos de medición que deberán ser sujetos a control metrológico. Esto a través de calibraciones periódicas que permitan llevar un historial del error que poseen las mediciones y las variaciones generadas para estos equipos de medición, así como la repetibilidad que son capaces de dar y la deriva en el tiempo que poseen. A esto se conoce como trazabilidad e incertidumbre.

Se desarrollan los diferentes certificados de calibración que permitan calcular la incertidumbre en las mediciones hechas con estos instrumentos. Para garantizar la trazabilidad en las mediciones se usarán patrones debidamente certificados por laboratorios trazados a patrones internacionales primarios.

Con estas calibraciones y el respaldo de los patrones usados para hacerlas, se llega a enmarcar el control de las mediciones hechas con los instrumentos. Usando análisis estadísticos se definen los criterios necesarios para aprobar o no el funcionamiento de estos equipos. Proveyendo así de una base confiable que permite desarrollar las demás actividades de la empresa, tomado en cuenta las tolerancias establecidas.

La gestión metrológica permitirá a la empresa parte de la realización de su política de calidad, mediante el cumplimiento de objetivos de calidad basados en el mejoramiento de la rentabilidad de la empresa, la satisfacción del cliente y el bienestar de los colaboradores. Con estas actividades se llega al cumplimiento de los objetivos propuestos por este estudio.

Es de hacer notar la importancia que poseen estas dos magnitudes, presión y temperatura, dentro de las actividades de la profesión de ingeniería química. Es indispensable que cualquier empresa donde ejerza su desempeño un ingeniero químico, el conocer y caracterizar, adecuadamente, el tratamiento metrológico de estas magnitudes para poder llevar a cabo correctos controles de producción.

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1.Presión

La presión se define como la fuerza aplicada por unidad de área. Matemáticamente se define como:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m * a}{A} = \rho * g * h \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

P: presión.

F: fuerza.

A: área de aplicación.

m: masa.

a: aceleración.

g: constante de aceleración de la gravedad.

h: altura.

ρ : densidad.

La unidad establecida en el sistema internacional es el Pascal (Pa) y se define como Newton por metro cuadrado (N/m²). También hay otras unidades de otros sistemas que son importantes, tales como el psi (lb/in²), el torr, el bar, y la atmósfera.

1.1.1. Tipos de instrumentos para la medición de presión

Existen diferentes tipos de equipos para medir la presión, todos basados en el concepto de presión y se denominan manómetros. Dependiendo de su principio de funcionamiento se dividen en los que miden la presión directamente y los que la miden indirectamente. Según su destino metrológico se dividen en:

1. **Manómetros primarios:** los cuales se basan en la medición directa de la presión. Estos pueden ser de dos tipos:
 - 1.1. Balanzas de presión: que miden la fuerza ejercida por unidad de área.
 - 1.2. Columna de líquido: miden la presión resultado de la gravedad por la altura de un fluido.

2. **Manómetros secundarios:** miden la presión en una forma indirecta. Se basan en mediciones:
 - 2.1. **Transductores mecánicos:** se basan en sistemas elásticos y su relación de presión deformidad.
 - 2.2. **Transductores electromecánicos:** son aquellos que incorporan una corriente eléctrica en su medición y asocian la presión aplicada a un voltaje.

1.2. Temperatura

La temperatura termodinámica se define como la fracción de $1/273.16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

La unidad fundamental de temperatura termodinámica es el Kelvin (K). Es de uso común expresar una temperatura termodinámica (T) en función de su diferencia por relación a la temperatura de referencia $T_0 = 273.15$ K, punto de congelación del agua. Esta diferencia de temperaturas es llamada temperatura Celsius (t) y se define por la ecuación $t=T-T_0$. La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius ($^{\circ}\text{C}$) igual a la unidad Kelvin por definición. Un intervalo o una diferencia de temperatura puede expresarse tanto en Kelvin como en grado Celsius. El Kelvin y el Celsius son unidades de la Escala Internacional de temperatura de 1990 adoptado por el Comité Internacional en 1989 en su recomendación 5.

Figura 1. Definición de la escala Kelvin de temperatura.



Fuente: Héctor Nava Jaimes. **Sistema Internacional de Unidades.** Pág. 27. Ref. 1.

1.2.1. Instrumentos para la medición de temperatura

A los instrumentos utilizados para medir la temperatura se les llama termómetros. Entre los principales tipos de termómetros que se usan comúnmente en la industria tenemos (Ref. 2):

1. **Termómetros bimetalicos de varilla:** es muy versátil y capaz de medir entre -18 °C y 104 °C. Posee los siguientes componentes:
 - Una tuerca de calibración ajustable para mantener su exactitud.
 - Marcas numéricas de temperatura fáciles de leer.
 - Una muesca para marcar el final del área sensible (que comienza en la punta).
 - Un rango de exactitud generalmente de ± 1 °C.

2. **Termopar y termistores:** estos miden la temperatura mediante una punta de prueba de metal o área sensitiva, y muestran el resultado en una pantalla digital. Algunos traen sondas intercambiables para diferentes usos, entre las principales tenemos:
 - Puntas de inmersión para líquidos.
 - Puntas de prueba para superficie.
 - Puntas de prueba de penetración.
 - Puntas de prueba de aire.

3. **Termómetro de luz infrarroja o láser:** su principio de medición se basa en la longitud de onda que puede emitir una radiación. Son termómetros muy

utilizados para medir temperatura en donde no debe haber contaminación por contacto. Se debe de tener las siguientes consideraciones:

- Eliminar todas las barreras entre la superficie y el termómetro.
- Sostener el termómetro lo más cerca posible de la superficie.
- Evitar medir la temperatura a través de vidrio o superficies metálicas pulidas.

1.3. Incertidumbre de medición

La palabra incertidumbre significa duda, y por tanto, en un sentido más amplio “incertidumbre de medición” significa duda en la validez del resultado de una medición. Debido a la falta de palabras diferentes para este concepto general de incertidumbre y para las magnitudes específicas que suministran las medidas cuantitativas del concepto. Por ello, incertidumbre de medición, se define formalmente como el parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores, que razonablemente pudieran ser atribuidos al mensurando ⁽¹⁾.

1.3.1. Tipos de incertidumbre

Entre los tipos de incertidumbre se tiene:

1. **Incertidumbre tipo A:** resultado de la evaluación de la incertidumbre mediante un análisis estadístico de una serie de observaciones.
2. **Incertidumbre tipo B:** resultado de la evaluación de la incertidumbre por otro medio que no sea el análisis estadístico de una serie de observaciones.
3. **Incertidumbre estándar combinada:** incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de algunas otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, siendo estos términos las varianzas y covarianzas de estas otras magnitudes

ponderadas de acuerdo a cómo el resultado de la medición varía con respecto a cambios en estas magnitudes.

4. **Incertidumbre expandida:** cantidad que define un intervalo alrededor del resultado de una medición del que se puede esperar que abarque una fracción grande de la distribución de valores que razonablemente pudieran ser atribuidos al mensurando. También es conocida como incertidumbre total.

2. ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN EN MANOMETRÍA Y TERMOMETRÍA

La acción de medir es el resultado de una serie de factores que interactúan entre sí para dar un valor el cual se conoce como medida. Estos factores son variados y pueden ser desde condiciones ambientales o características del equipo con que se realiza una medición hasta el criterio de la persona que realiza la medición, entre otros.

La medición como tal entonces incluye un valor de medición arrojado por el instrumento de medida y una incertidumbre asociada a esta medición. Ya que por naturaleza, los valores verdaderos de una medida son desconocidos y lo único que se puede hacer es realizar una aproximación a este valor, o sea que conforme un equipo tiende a acercarse al valor verdadero su incertidumbre disminuirá.

Del principio que el valor verdadero de una medición es desconocido, se elabora una cadena de metrología en donde el equipo con menor incertidumbre se considera que es el que más se aproxima al valor verdadero de la medición y se le conoce como patrón. Entonces surge la necesidad que existan varios patrones de primer nivel que produzca una misma medida a estos patrones se les conoce como patrones internacionales. Estos patrones se deben ínter comparar y del promedio de dichas ínter comparaciones se emite un valor internacional único tomado como patrón para una medición.

El conocimiento de la hora mundial, es un ejemplo de cómo varios patrones de tiempo en diversas partes del mundo indican su hora y del promedio de estos resultados se emite la hora aceptada internacionalmente.

La incertidumbre generalmente se trata dividiéndola en dos secciones, una aplicada a los factores que influyen directamente en el resultado de una medición la cual es conocida como incertidumbre Tipo A. La otra sección se aplica a todas las fuentes que influyen indirectamente tales como la incertidumbre que poseen los patrones y que son dadas en un certificado y es conocida como incertidumbre Tipo B.

Para conocer la incertidumbre que posee una medición, es necesario que se elabore un análisis matemático y estadístico de los resultados de la medición, esto se trata en la siguiente sección.

2.1. Análisis de la incertidumbre Tipo A

En el método de evaluación tipo A de la incertidumbre está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones. La incertidumbre está obtenida por el mismo metrólogo durante el proceso de medición, mediante la dispersión de los datos de mediciones repetidas.

Los casos más importantes de incertidumbre tipo A son:

- a. Repetibilidad.
- b. Reproducibilidad.
- c. Regresión lineal.

Los resultados de una medición repetida afectada por una o más magnitudes de influencia que varían aleatoriamente, generalmente presentan una distribución normal ⁽¹⁾. De la misma manera las incertidumbres obtenidas por el cálculo de la reproducibilidad o de una regresión lineal, corresponden a una distribución normal.

Cualquier distribución de datos medidos, puede ser caracterizada por una serie de parámetros. Dos de esos parámetros, importantes para el uso en metrología, son la media y la desviación estándar experimental.

La media aritmética al ser el promedio de los datos o la suma de los valores dividida entre el número de valores, se define con la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

\bar{X} : Media aritmética.

n: Número de observaciones.

X_i : Observaciones.

La desviación estándar experimental es una medida para la dispersión de los datos. Considerando la serie de n valores como muestra una distribución, \bar{X} es un estimado in sesgado de la media μ de la población y S es un estimador in sesgado de su desviación estándar σ . La fórmula que lo describe es la siguiente:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Tomando como ejemplo la repetibilidad se tiene que es influenciada por la desviación estándar experimental de la media $\mu(x_i)$ por la siguiente ecuación:

$$\mu(x_i) = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Mediante la división de la desviación estándar experimental S entre \sqrt{n} se obtiene la desviación estándar experimental de la media. Mientras S es una medida para la dispersión de los datos individuales, $\mu(x_i)$ es una medida para la dispersión de las medias obtenidas por n mediciones individuales (en el caso hipotético que se repitieran las mediciones para determinar varias medias, cada una con n mediciones individuales). Este último finalmente da la contribución a la incertidumbre tipo A, debido a que se estima el mensurando mediante la media de los datos medidos y no por un solo valor. Se debe notar que el valor de μ puede aumentar o disminuir según la cantidad de mediciones repetitivas que se realicen.

2.2. Análisis de la incertidumbre Tipo B

En el método de evaluación tipo B de la incertidumbre, la información sobre la dispersión de los datos está obtenida de otra manera, generalmente consultando documentos originados externamente. Estas son generalmente comunicadas al usuario o metrólogo.

Las fuentes de información que dan directamente la incertidumbre, o que sirven como base para estimar la incertidumbre tipo B son:

- a. Certificados o informes de calibración.
- b. Manuales de instrumentos de medición, especificaciones técnicas como resolución, deriva, histéresis, etc.
- c. Normas o literatura.
- d. Parámetros tomados de tablas o gráficas, por ejemplo la densidad del agua en función de la temperatura.
- e. Valores de mediciones anteriores.
- f. Conocimientos sobre las características o el comportamiento del sistema de medición, por ejemplo pruebas de la estabilidad de un baño termostático.

En el caso de los métodos de evaluación tipo B, hay que aplicar un proceso de reducción de los resultados los cuales varían según su distribución estadística.

En el certificado de calibración se reporta la incertidumbre expandida U que es la incertidumbre estándar μ multiplicada por un factor de cobertura k . La incertidumbre expandida corresponde a una distribución normal.

Una distribución rectangular o uniforme corresponde a la situación, que cada valor en un intervalo dado tiene la misma probabilidad. Sin embargo, se utiliza la distribución rectangular también en casos, cuando no se dispone de información sobre la distribución real, pero se conocen los límites superior e inferior de la distribución de datos.

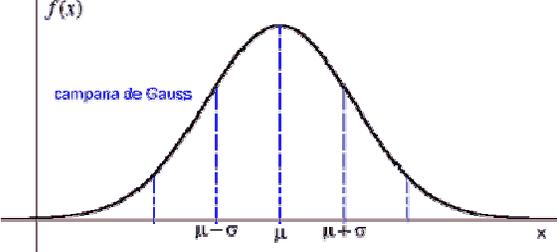
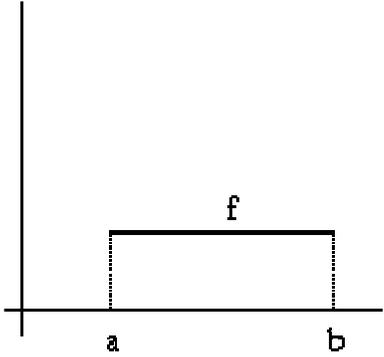
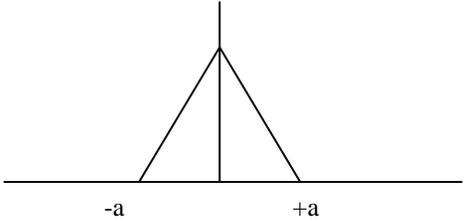
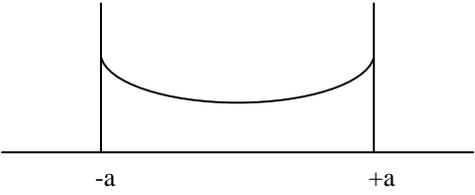
Ejemplos para utilizar una distribución rectangular son la resolución de un instrumento digital, la información técnica sobre las tolerancias de un instrumento o la estimación de las tolerancias de valores tomados de tablas o diagramas.

Una distribución triangular corresponde a la situación de que existan límites superior e inferior de la variabilidad, y que de los valores centrales son más probables que los valores cerca de los límites.

Una distribución en U resulta cuando el parámetro está variando de manera senoidal entre los límites superior e inferior. Un ejemplo puede ser la temperatura en un baño termóstático, en el caso de que esta misma esté oscilando entre los límites de control.

En todos estos casos de distribuciones simétricas, el mejor estimado del mensurando es la media aritmética. Las incertidumbres estándar están dadas según la siguiente tabla:

Tabla I. Distribuciones útiles para analizar la incertidumbre.

Tipo de distribución.	Fórmula $\mu(x_i)$	Gráfica de distribución
Normal	$\frac{U}{k}$	 <p>The graph shows a bell-shaped curve representing a normal distribution. The vertical axis is labeled $f(x)$ and the horizontal axis is labeled x. The curve is centered at μ. Vertical dashed lines mark the mean μ and the standard deviation intervals $\mu - \sigma$ and $\mu + \sigma$. The text "campana de Gauss" is written in blue above the curve.</p>
Rectangular	$\frac{a + -a -}{\sqrt{12}}$	 <p>The graph shows a rectangular distribution. The horizontal axis is labeled x and the vertical axis is unlabeled. The distribution is a rectangle with a base from a to b and a height f. Dotted lines indicate the boundaries and the height.</p>
Triangular	$\frac{a + -a -}{\sqrt{24}}$	 <p>The graph shows a triangular distribution. The horizontal axis is labeled x and the vertical axis is unlabeled. The distribution is a triangle with a base from $-a$ to $+a$ and a peak at $x=0$.</p>
En U	$\frac{a + -a -}{\sqrt{8}}$	 <p>The graph shows a U-shaped distribution. The horizontal axis is labeled x and the vertical axis is unlabeled. The distribution is a curve that is lowest at $x=0$ and highest at $x=-a$ and $x=+a$. Vertical lines mark the boundaries at $-a$ and $+a$.</p>

Ref. 3. Pág. 30.

2.3. Cálculo de la incertidumbre en manometría

En el cálculo de la incertidumbre en manometría se hizo necesario elegir un método adecuado. El método utilizado consiste en una serie de pasos los cuales guían al usuario durante la calibración de los manómetros. Estos pasos están indicados en los protocolos de calibración (ver sección 6.2.). Además el método debe ser posible realizarlo bajo diferentes circunstancias sin que esto afecte la calidad de los resultados.

Antes de poder iniciar la calibración de los manómetros, se hace necesario realizar una inspección física para determinar si el instrumento de medición califica o no para la calibración. Además se debe realizar pruebas como verificar el punto cero, la cual consiste en poder determinar si el manómetro después de haber sido sometido a un esfuerzo puede retornar a su punto cero y no a una lectura diferente.

Por último, al momento de iniciar la calibración es necesario que los datos obtenidos de la comparación entre el patrón y el instrumento calibrado sean registrados para su posterior análisis. Estos datos obtenidos deben ser procesados con las ecuaciones necesarias para calcular la incertidumbre estándar y combinada (ver secciones 2.1 y 2.2).

En el caso presente dado la cantidad de calibraciones realizadas y el tiempo necesario para poder procesar los datos, se hizo uso de programas de computadora para poder realizar los cálculos con mayor rapidez. Para ello se desarrolló una hoja de cálculo en donde se puede ingresar los datos que se han obtenido y el programa realizará los cálculos necesarios para poder calcular la incertidumbre de la medición. Una muestra de esta hoja de cálculo se muestra en la figura 2 de este documento.

Figura 2. Formato de evaluación de incertidumbres en manómetros.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN MANÓMETROS

1. VERIFICACIÓN DEL CERO

Valor de Inicio	Lectura uno	Lectura dos	Lectura tres	Promedio
0 kPa	0	0	0	0

2. PRUEBA DE EXACTITUD DE LA MEDICIÓN.

Ciclo de Ida			Ciclo de Regreso		
Patrón	Manómetro	Error Inst. Abs.	Patrón	Manómetro	Error Inst. Abs.
		0.0			0.0
		0.0			0.0
		0.0			0.0
		0.0			0.0
		0.0			0.0
	Promedio	0.0		Promedio	0.0
	Desviación Estándar	0.0		Desviación Estándar	0.0

Valor Histéresis
0.0
0.0
0.0
0.0
0.0

MÁXIMO 0.0

Número de mediciones	Ciclo ida	Ciclo regreso
	0	0

3. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN.

	VALOR	UNIDAD	Valores Cuadrados
EXACTITUD	0.00	kPa	0.0
REPETIBILIDAD	0.00	kPa	0.0
PATRÓN	0.00	kPa	0.0
INCERTIDUMBRE POR: RESOLUCIÓN	0.00	kPa	0.0
HISTÉRESIS	0.00	kPa	0.0
	Sumatoria cuadrática		0.0

Error Máximo Encontrado
Incertidumbre Expandida de la Medición:

	VALOR	UNIDAD
$\epsilon =$	0.0	kPa
$U =$	0.0	kPa

k= 2

Nota:

1 kPa = 1.450377 x 10⁻⁷ psi

2.4. Cálculo de la incertidumbre en termometría

Para el cálculo de la incertidumbre en termometría se debe de considerar dentro de las incertidumbres Tipo A y B una corrección de la lectura de un termómetro. Esta corrección está en función de diferentes variables que pueden afectar la medición. Principalmente que una temperatura cambia en función de la distancia de la fuente generadora y el lector, además de variar entre el lector patrón y el lector en calibración.

La corrección para la temperatura CT se determina con el modelo siguiente:

$$CT = tP + \delta tP + \delta tDP - tIBC - C0 + \delta tEP + \delta tGB + \delta tEB - CCE \quad \text{Ecuación 5}$$

En el cual:

- tP es el valor de temperatura del baño indicado por el termómetro patrón durante la calibración del termómetro;
- δtP es la corrección que se debe aplicar al valor indicado por el termómetro patrón, obtenida de su informe de calibración;
- δtDP es la corrección que se debe aplicar al valor indicado por el termómetro patrón, debido a la deriva que pudiera haberse presentado después de la última calibración;
- $tIBC$ es el valor de temperatura del baño indicado por el termómetro que se calibra (instrumento bajo calibración);
- $C0$ es la corrección de la indicación del termómetro bajo calibración, resultante al medir la temperatura en una referencia a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- δtEP es la corrección del “error de paralelismo”;
- δtGB es la corrección debida a las diferencias de temperaturas entre el patrón y el termómetro que se calibra, por gradientes de temperatura en el fluido del baño;

- δt_{EB} es la corrección debida a las diferencias de temperaturas entre el patrón y el termómetro que se calibra, por la inestabilidad del baño;
- CCE es la corrección por columna emergente cuando el fluido termométrico en el capilar del termómetro no queda totalmente inmerso en el fluido del baño, cuyo valor se determina con la ecuación siguiente:

$$CCE = kED n (t_1 - t) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

- t_1 es la temperatura del baño definida por el termómetro patrón, luego de ser corregida de acuerdo a los datos de su calibración o por su deriva.
- t Es la temperatura promedio determinada para la columna emergente por un termómetro o un arreglo de termómetros auxiliares.
- n Es el número de indicaciones de grados en las escalas de los termómetros que se calibran, que están incluidos en la longitud de la columna emergente. Se cuentan desde el nivel del líquido del baño hasta el menisco del fluido termométrico.
- kED Es el coeficiente de expansión diferencial entre el líquido termométrico y el vidrio del tallo del termómetro.

Cuando el termómetro se usa a inmersión total, la corrección por columna emergente vale cero. La corrección a la referencia a 0 °C es:

$$T_{cero} = t_0 - t_{IH} \quad \text{Ecuación 7}$$

En la cual:

- t_0 es la temperatura de la referencia a 0 °C (baño de fusión de hielo, celda del punto triple del agua o baño controlado), indicada por el termómetro patrón, luego de ser corregida de acuerdo a los datos de su calibración o por su deriva;
- t_H es la temperatura indicada por el termómetro que se calibra.

Según la descripción anterior se debe considerar que para las calibraciones a nivel industrial hay que tomar como cero varias de las variables antes mencionadas. Entre las principales restricciones que hay que tener es que no se debe tomar como punto de calibración el Cero de la escala, ya que este punto está establecido como el punto triple del agua y en el laboratorio de metrología en estudio no se cuenta con el equipo necesario para desarrollarlo. Así también hay que extender la precaución a aquellos puntos que están definidos por los comités tales como puntos de fusión y ebullición de compuestos puros.

Siguiendo con el análisis tenemos que, de las variables a considerar para el error de medición entre el termómetro patrón y el termómetro en calibración, son cero las siguientes variables:

- δt_P : los informes de calibración indican que el valor del error del termómetro patrón, no supera los 0.0001 °C.
- δt_{DP} : por consideraciones prácticas, se considera la deriva del patrón como cero.
- C_0 : al estar el punto cero normado y dado que el laboratorio no cuenta con el equipo necesario, se toma el valor como cero y se evita tomarlo como punto de calibración.

- δt_{EP} : por ser lectores electrónicos, los termómetros en estudio no poseen error de paralelaje.
- δt_{GB} : el gradiente de temperatura del baño de calibración es despreciable en una distancia menor a 3 cm. que es la distancia entre el termómetro y el patrón.
- δt_{EB} : el baño mantiene una temperatura estable una vez transcurrido un tiempo prudencial de estabilización.
- CCE: al igual que con el paralelaje, el error por el fluido es cero al no existir este.

Dado el análisis anterior, la ecuación 5 se reduce a un error de su forma más sencilla, y queda expresado en la siguiente ecuación:

$$CT = LP - LT \qquad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

LP: es la lectura patrón.

LT: es la lectura del termómetro en calibración.

Entonces, una vez definido el error para la corrección de la lectura del termómetro en calibración, se procede a evaluar la incertidumbre de forma similar a la de los manómetros, haciendo uso de los modelos descritos para la evaluación de la incertidumbre Tipo A y B.

A continuación se presenta un formato de una hoja de cálculo desarrollada para permitir una mejor evaluación de estas variables.

Figura 3. Formato de evaluación de incertidumbre en termometría.

EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN TERMÓMETROS

1. DATOS OBTENIDOS DE LA CALIBRACIÓN.

PUNTO	LECTURA		ERROR P-L
	PATRON	INSTRUMENTO	
1			0.00
2			0.00
3			0.00
4			0.00
5			0.00
6			0.00
7			0.00
8			0.00
9			0.00
10			0.00

3. RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN.

EXACTITUD	VALOR	UNIDAD	Valores
			Cuadrados
	0.00	°C	
REPETIBILIDAD	0.00	°C	0.0
PATRÓN	0.00	°C	0.0
INCERTIDUMBRE POR: RESOLUCIÓN	0.00	°C	0.0
HISTÉRESIS	0.00	°C	0.0
	Sumatoria		0.0

Error Máximo Encontrado
Incertidumbre Expandida de la Medición:
 k=2

	VALOR	UNIDAD
$\epsilon=$	0.0	°C
U=	0.0	°C

En esta hoja de cálculo se colocan las fórmulas descritas anteriormente para que al ingresar los resultados de las mediciones se obtenga un error promedio y una incertidumbre de la medición.

3. CONTENIDO DE UN CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN ACORDE A LA GUIA ISO 17025

Los resultados de las calibraciones efectuadas a una medición se deben emitir de forma tal que sean comprendidos por otras personas. Estos documentos deben contener información que los permitan ser accesibles y entendibles. Un certificado de calibración debe ser exacto, claro, objetivo y contener toda la información requerida.

El desarrollo de los certificados contempla varios criterios algunos son estándares y otros dependen de la magnitud evaluada. A continuación se hará un análisis de la información mínima que debe contener un certificado para que pueda ser metrológicamente aceptable.

3.1. Información mínima que debe ser incluida en un certificado de calibración

Según la ISO 17025 los certificados de calibración deben incluir por lo menos la siguiente información:

- a. Título.
- b. Nombre y dirección del laboratorio donde se efectuaron las calibraciones.
- c. Identificación única del certificado de calibración y de cada página.
- d. Nombre y dirección del cliente.
- e. Identificación del método usado.
- f. Descripción e identificación del elemento calibrado.
- g. Fecha de recepción y fecha de calibración.
- h. Referencia al muestreo y al procedimiento usado. Si es necesario.
- i. Condiciones ambientales, que tengan influencia sobre los resultados.

- j. Resultados de la calibración.
- k. Incertidumbre de la calibración.
- l. Evidencia de que las muestras son trazables.
- m. Nombre, función y firma de la persona que autorizó el certificado de calibración.

Los informes para clientes internos o de uso interno pueden tener una forma simplificada de los requisitos. En los casos que el certificado de calibración sea para un material de referencia, especialmente en lo referente a químicos, según la ISO 10030 (Ref. 4) estos deben contener la siguiente información:

- a. Nombre y dirección de la organización certificadora.
- b. Título del documento.
- c. Nombre del material.
- d. Número de muestra y de lote.
- e. Fecha de certificación.
- f. Disponibilidad de otras formas o tamaños del material de referencia.
- g. Fuente del material de referencia.
- h. Proveedor del material de referencia.
- i. Procedimiento de preparación del material.
- j. Usos propuestos.
- k. Instrucciones de estabilidad, transportación y almacenaje.
- l. Instrucciones para uso correcto del material.
- m. Método de preparación del material de referencia.
- n. Estado de homogeneidad.
- o. Valores certificados de la propiedad y sus límites de confianza.
- p. Valores no certificados.
- q. Estimación y límites de confianza de los valores certificados.
- r. Técnicas de medición usadas para la certificación.

- s. Nombre de analistas, investigadores y laboratorios participantes.
- t. Política legal.
- u. Firmas o nombres del certificador oficial.

3.2. Formato propuesto para la elaboración de un certificado de calibración

A continuación se presenta la muestra del certificado elaborado para la empresa donde se realizó el estudio. Se debe mencionar que se omite la información de la empresa por solicitud de esta.

Figura 4. Formato de un certificado de calibración.

LOGO

NOMBRE DEL LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Certificado de Calibración

INFORMACIÓN GENERAL			
No de Certificado:	Código Unico	Registro:	Por norma ISO 9000:2000
Datos del Cliente:		Datos del Instrumento	
Solicitante:	Nombre de la persona.	Marca	Equipo a ser calibrado.
Departamento:	Ingeniería, producción etc.	Modelo	Modelo del equipo.
Empresa:	Empresa cliente.	Serie	Serie del instrumento.
Fecha de calibración:	dd/mm/aa	Alcance	
Código:	Código del equipo.	Resolución	
Patrón Utilizado:		Condiciones Ambiente:	
Tipo	Termómetro o manómetro.	Temperatura	T °C
Modelo	Modelo del equipo.	Humedad	H %
Serie	Serie del equipo.		
No. Certificado	Certificado de calibración del patrón.	Procedimiento Usado	Procedimiento utilizado para realizar la calibración.

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN			
Error máximo encontrado		ϵ	°C
Incertidumbre	Por repetibilidad	μ	°C
	Por patrón	μ	°C
	Por resolución	μ	°C
	Expandida del Instrumento +/- k=2, 95%	U	°C
Conclusiones			
	Conclusiones de los resultados de la calibración.		
Recomendaciones			
	Si el laboratorio considera necesario emitir alguna recomendación adicional para beneficio del cliente.		

Notas: *

1. Los resultados aplican únicamente al o los equipos calibrados, en el estado funcional entregado por el cliente al momento de realizarse la calibración.
2. El cliente es responsable del correcto uso y cuidado de los equipos posterior a la calibración.
3. El presente informe sólo ampara las mediciones reportadas en el momento y condiciones ambientales y de uso en que se realizó esta calibración.

* Son condiciones que pone el laboratorio a los resultados de las calibraciones.

Aprobó:

FIRMA Y NOMBRE DE LA
PERSONA QUE REALIZÓ Y
APROBÓ LA CALIBRACIÓN

Número de hojas que consta el certificado 1/2

DIRECCIÓN DEL LABORATORIO
FORMAS DE CONTACTO CON EL LABORATORIO

Certificados ISO 9001:2000

4. TRAZABILIDAD EN LAS MEDICIONES

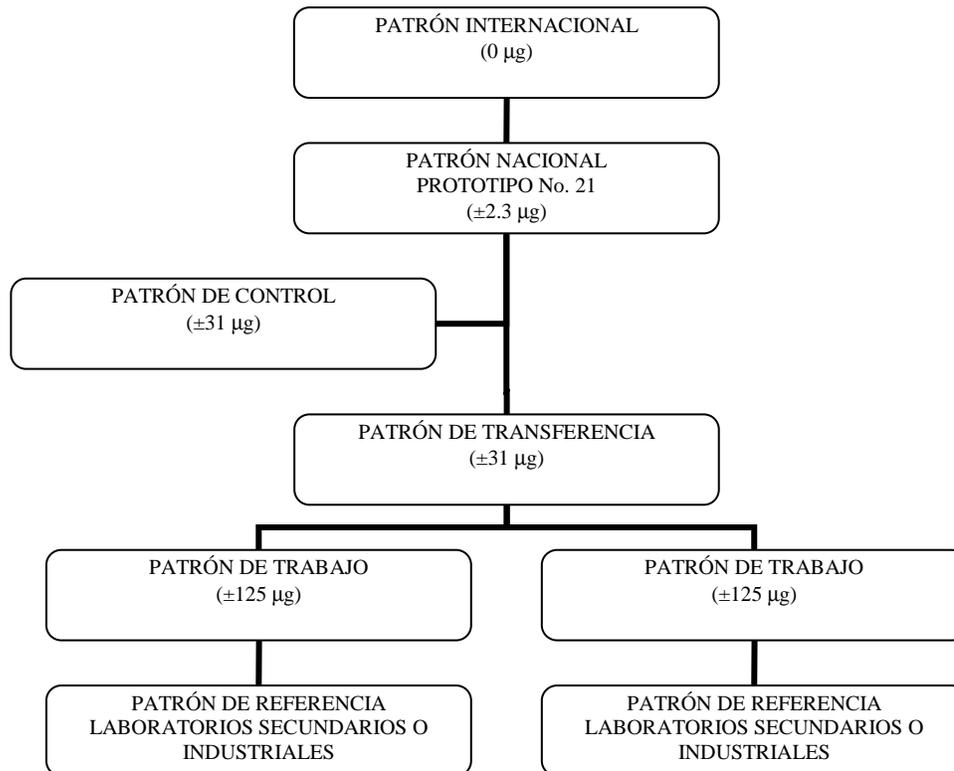
La trazabilidad es una propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, por el cual puede ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, todas ellas teniendo incertidumbres determinadas. El instrumento no es el que tiene trazabilidad, sino el resultado de la medición que se realiza con él.

Generalmente la trazabilidad termina en un patrón nacional, siempre y cuando este sea un patrón primario. Este patrón nacional aumenta su confiabilidad a través de ínter comparaciones con patrones nacionales de distintos países. No debe confundirse una calibración con una intercomparación, la cual se realiza entre laboratorios con niveles de incertidumbre similares.

A menudo se dispone en un laboratorio de uno o varios patrones de control que sirven para monitorear cambios como derivadas o variaciones bruscas en patrones del mismo nivel de jerarquía.

Existen en toda estructura metrológica, esquemas de trazabilidad los cuales indican como se relaciona una medición con la medida patrón existente. Tomando como ejemplo la unidad de masa de 1 kg la cual es un patrón internacional existente en Francia, se puede indicar una cadena o esquema de trazabilidad. A continuación se puede observar una carta de trazabilidad genérica:

Figura 5. Ejemplo de carta de trazabilidad: masa.



4.1. Elaboración de cartas de trazabilidad

Para elaborar una carta de trazabilidad se debe tener en cuenta varios elementos que pueden ayudar a definir una correcta cadena de mediciones. Estos criterios se agrupan en dos grandes áreas:

- a. Elementos de la trazabilidad.
- b. Jerarquía de calibración.

Elementos de la trazabilidad:

- a. **Cadena ininterrumpida de calibraciones:** La cadena debe tener origen en patrones de medición nacionales o internacionales que realicen las unidades del Sistema Internacional (SI). Puede pasar por patrones de laboratorios de calibración acreditados y termina con el valor del resultado de una medición o con el valor de un patrón.
- b. **Incertidumbre de medición:** La incertidumbre de la medición para cada paso en la cadena de trazabilidad debe ser calculada de acuerdo a los métodos definidos para el cálculo de la misma. Cuando un sistema particular de medición quede fuera del alcance de estos métodos, el laboratorio debe presentar un método validado generalmente aceptado. En ambos casos debe ser declarada a cada paso de la cadena de tal manera que la incertidumbre para la cadena completa pueda ser calculada. Estas incertidumbres deben estar soportadas matemáticamente y estarán representadas como incertidumbres expandidas usando un nivel de confianza de aproximadamente el 95% y su factor de cobertura. ($k = 2$).
- c. **Documentación:** Cada paso de la cadena debe ser ejecutado de acuerdo con procedimientos documentados y generalmente reconocidos, los resultados deben ser registrados de tal forma que puedan ser verificados. En el caso de laboratorios de ensayo se deben tener registros identificados para evidenciar la trazabilidad de las mediciones que se realice. Estos deben estar en registros e incluidos en los certificados de calibración.
- d. **Competencia:** Los laboratorios que realizan uno o más pasos en la cadena deben proporcionar evidencia de su competencia técnica mediante su acreditación vigente.

- e. **Referencia a unidades del SI:** La cadena de comparaciones para establecer la trazabilidad debe tener como punto único de origen a patrones de la máxima calidad metrológica para la realización de las unidades del SI. Cuando la relación a las unidades del SI no sea clara, se deberá solicitar un dictamen a la autoridad metrológica nacional.
- f. **Re-calibraciones:** Con el objetivo de mantener la trazabilidad de las mediciones, las calibraciones de los patrones de referencia se deben realizar con una frecuencia tal que asegure que la incertidumbre declarada del patrón no se degrada en un tiempo determinado. Esta frecuencia depende de aspectos tales como: incertidumbre requerida, frecuencia de uso, forma de uso y estabilidad del equipo.

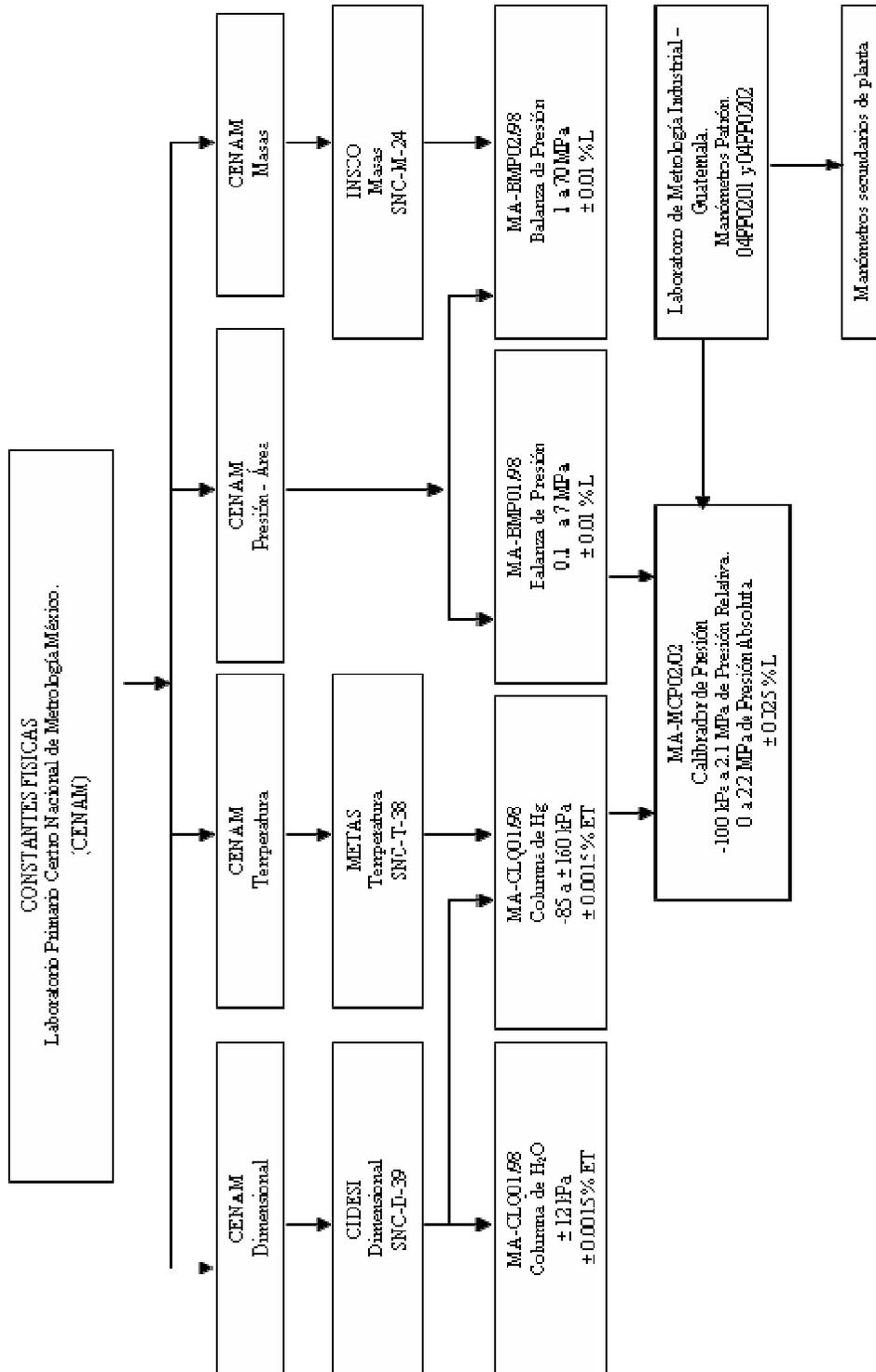
La Jerarquía de calibración, no es más que una cadena de calibraciones que poseen rangos asociados a la incertidumbre. Estos niveles están dados en una jerarquía de laboratorios, los cuales son:

- a. **Laboratorio internacional:** A nivel internacional, las decisiones respecto al Sistema Internacional de Unidades (SI) y la realización de los patrones primarios son tomados por la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM). El Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) está encargado de coordinar el desarrollo y mantenimiento de patrones primarios y organizar ínter comparaciones de alto nivel.
- b. **Instituto metrológico nacional:** El instituto nacional de metrología es la más alta autoridad en metrología en todos los países. En la mayoría de los casos mantienen los patrones nacionales del país que son las fuentes de trazabilidad para las magnitudes físicas asociadas en el país. Si el laboratorio nacional tiene instalaciones para realizar la unidad correspondientes al SI, el patrón nacional es idéntico a, o directamente trazable al patrón primario que representa la unidad.

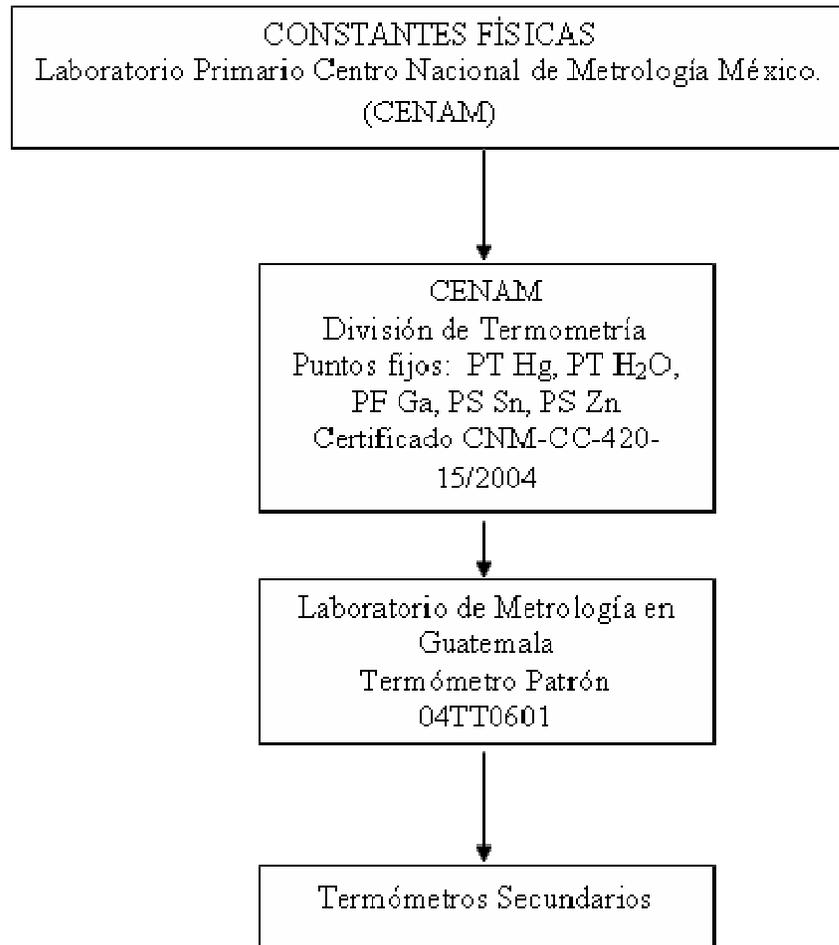
- c. **Laboratorios de calibración acreditados:** Las entidades de acreditación de laboratorios acreditan laboratorios de calibración en la industria y otras organizaciones, de acuerdo con criterios bien establecidos. Internacionalmente el criterio es la norma ISO 17025. La acreditación generalmente se da para medición de magnitudes específicas y para la menor incertidumbre que puede lograrse con los instrumentos de medición disponibles en el laboratorio de calibración.
- d. **Laboratorio interno en planta:** La labor de los patrones de calibración internos es calibrar regularmente los equipos de medición y prueba utilizados en la compañía con sus patrones de referencia que son calibrados con trazabilidad a un laboratorio de calibración acreditado o al instituto metrológico nacional.

A continuación se presenta la carta de trazabilidad para los equipos que miden presión y temperatura. Se describe a través de un diagrama el rumbo por el cual se asegura que los equipos en calibración por el laboratorio tienen relación directa con las magnitudes desarrolladas por un laboratorio primario de metrología.

4.1.1. Carta de trazabilidad para presión.



4.1.2. Carta de trazabilidad para temperatura.



4.2. Selección de laboratorios de mayor exactitud.

Como parte de garantizar la trazabilidad en las mediciones es necesario que un laboratorio seleccione otros laboratorios de mayor precisión para poder mandar sus equipos a calibración. Con este proceso se llega a enlazar desde un equipo de trabajo hasta un patrón internacional.

Todo laboratorio de metrología debe tener definida la ruta que llevan sus mediciones para asegurarse que sus resultados están relacionados a los resultados de patrones primarios.

Para poder seleccionar un laboratorio se debe de tener en cuenta diferentes criterios de selección los cuales pueden llegar a ser muy variados, sin embargo existen algunos básicos que debe de cumplirse para poder garantizar una correcta trazabilidad en las mediciones. Estos criterios son:

- a. Que tenga un sistema acorde a las normas ISO 9000, 17025 y que deseablemente trabaje según la ISO 10012.
- b. Debe de poder dar copia a los clientes de los certificados de calibración de los equipos patrones que utilizará para la calibración de los equipos, los cuales no deben de tener una fecha mayor a 1 año desde su calibración.
- c. Si el país de origen cuenta con organismos acreditados, el laboratorio debe estar acreditado por este órgano.
- d. El equipo patrón debe de tener una capacidad de medición mayor al equipo en calibración. Se recomienda que sea en el orden de 10.

Estos criterios y junto con costos adecuados podrán dar a un usuario la garantía que sus equipos serán correctamente calibrados.

5. CODIFICACIÓN Y TRAZABILIDAD DE EQUIPOS

Todos los instrumentos de medición utilizados dentro de un sistema de gestión de la calidad deben estar sujetos a calibración. Siempre que se considere que sus mediciones son críticas para el proceso que se desarrolla.

Durante este estudio se analizó la operación de los sistemas de medición de temperatura y presión en el laboratorio de pruebas de la empresa. En este laboratorio se prueban los prototipos de los equipos solicitados por los clientes. Estos prototipos son ajustados hasta que cumplan con las exigencias emitidas por los clientes o por autoridades reguladoras.

Estos instrumentos de medición deben ser codificados y se les asigna una trazabilidad hacia los patrones internacionales. De esta cuenta se debe calibrar internamente con los patrones existentes. Si son equipos que miden la misma magnitud y no exista un patrón de mayor resolución dentro del laboratorio, estos deben ser enviados a calibración externa también.

5.1. Identificación de equipos sujetos a calibración.

Los instrumentos que quedarán sujetos a calibración dentro de la empresa serán aquellos cuyos resultados de medición resulten críticos para la toma de decisiones dentro del proceso de diseño y elaboración de los prototipos. Para esto resulta necesario describir el procedimiento que se desarrolla para poder elaborar un nuevo diseño.

Todo nuevo diseño que es solicitado a la empresa, debe seguir una serie de pasos para que sea aprobado finalmente. En cada uno de estos pasos existen una serie de mediciones que se deben realizar antes de poder continuar con el proceso de diseño. En esta sección se analizan solo las mediciones de presión y temperatura.

Dentro del proceso de diseño se hacen críticas las mediciones que se generan del equipo de refrigeración. Por esto se debe de mantener un control cercano de los equipos que toman estas mediciones. Estas mediciones se toman durante el proceso de prueba de los prototipos diseñados y son realizadas en un laboratorio de pruebas. Tómese en cuenta que el laboratorio de pruebas de prototipos es diferente al de metrología.

El laboratorio de pruebas se enfoca en obtener los resultados del comportamiento de los equipos para su posterior análisis en el área de ingeniería. Sin embargo ya que dichas operaciones manejan rangos de tolerancia, las mediciones efectuadas por los instrumentos deben de ser confiables y respaldadas por el laboratorio de metrología.

Las temperaturas importan en diferentes puntos, los cuales principalmente son:

- a. Temperatura dentro de la cámara refrigerada. En uno o varios puntos.
- b. Temperatura de la superficie externa de la cámara refrigerada. Especialmente en los puntos donde se maneja poco aislante.
- c. Temperaturas de entrada y salida del evaporador y condensador.
- d. Temperatura del compresor.

Para las mediciones de presión en el equipo se deben tener en cuenta:

- a. La presión antes del compresor, al salir del evaporador.
- b. La presión después del compresor previo a entrar en el evaporador.

Entonces una vez definidos por el laboratorio de calibración los puntos de medición dentro del sistema de refrigeración, en términos de presión y temperatura, se debe proceder a seleccionar los equipos de medición (patrones de trabajo) necesarios para realizar las mediciones.

En temperatura se maneja una gran cantidad de termómetros llamados termopares y sensores de temperatura. Los sensores generalmente son utilizados para medir dentro de la cámara refrigerada y están en contacto con el material sujeto a refrigeración pudiendo ser por ejemplo refrescos o comidas. Los termopares se utilizan para medir los puntos sobre superficies, tienen la ventaja que pueden acceder fácilmente a lugares difíciles y se adhieren al cuerpo.

En presión se utilizan manómetros digitales. Un manómetro de alta presión y un manómetro de baja presión. El de alta presión se utiliza para medir la presión del gas refrigerante en la salida del compresor y el de baja presión, la presión existente antes de ingresar al compresor. Esto es debido a que una buena relación de compresiones implica que se está utilizando una buena cantidad de la capacidad de refrigeración del gas utilizado.

Este grupo de instrumentos de medición son los que serán evaluados metrológicamente para determinar si cumplen con los requisitos emitidos por los clientes, en este caso, el laboratorio de pruebas. Estos requisitos pueden ser tolerancias, rangos de medición, trazabilidad y certificados de calibración vigentes. Además de los equipos que se calibran, también deben de estar sujetos a calibración los patrones internos que se utilizaron.

5.2. Documentación de las características metrológicas de los equipos de medición.

La información de las características metrológicas de los equipos de medición se deben identificar y se registran en formatos desarrollados para tal efecto. Este registro debe tener al menos las siguientes características de los equipos:

- a. Descripción del instrumento.
- b. Código dentro del sistema de gestión de la calidad.
- c. Marca.
- d. Modelo y/o serie. Se maneja cualquiera de las dos informaciones ya que en algunos casos solo una se puede encontrar disponible.
- e. Intervalo de medición.
- f. Resolución.
- g. Nivel, véase el instructivo de control metrológico.
- h. Tipo de calibración. Externa o interna.
- i. Mesurando.
- j. Área de uso dentro de la empresa.

Además de la información metrológica de todos los instrumentos de medición que se manejan, este registro debe contener la información de los patrones internos que se utilizan para calibrar. En el desarrollo del estudio se recabó la información contenida en las tablas II, III y IV. Las cuales se presentan en las siguientes páginas.

Para el caso de los patrones se tiene:

Tabla II. Características metroológicas de los patrones internos utilizados.

	Termometría	Manometría	
Descripción	Termómetro Patrón	Baja Presión	Alta Presión
Codificación interna	04-TT-06-01	04-PP-02-02	04-PP-02-01
Marca	Hart Scientific.	Check Mate 600	Check Mate 600
Modelo / (serie)	1502A / (98834509648)	23415P / (19502586)	23415P / (10002405)
Intervalo de medición	-30 °C a 50 °C	0- 2.068 MPa	0- 6.895 MPa
Resolución	0.001 °C	0.069 kPa	0.69 kPa
Nivel interno	1	1	1
Tipo de calibración	Externa	Externa	Externa
Mesurando	Temperatura	Presión	Presión
Área de uso	Metrología	Metrología	Metrología

Para los termómetros utilizados como nivel 2 en el proceso de diseño y prueba de los equipos se tiene la siguiente información:

Tabla III. Características metrológicas de los EMIE⁽²⁾ en termometría.

Descripción ⁽¹⁾	Termopares	Sensores
Codificación interna	04-EE-06-01/02	04-TT-03-01/02
Marca	Omega	Analog Divises
Modelo / (serie)	THO	Telecom
Intervalo de medición	-30 °C a 250 °C	-10 °C a 50 °C
Resolución	0.1 °C	1 °C
Nivel	2	2
Tipo de calibración	Interna	Interna
Mesurando	Temperatura	Temperatura
Área de uso	Laboratorio de pruebas	Laboratorio de pruebas

⁽¹⁾ Existen dos juegos de termopares y sensores. Existe uno en cada cámara de prueba del laboratorio.

⁽²⁾ EMIE: Equipos de Medición, Inspección y Ensayo.

En el caso de los manómetros catalogados como nivel 2 (sujetos a calibración) se presenta la siguiente información:

Tabla IV. Características metrológicas de los EMIE en manometría.

Descripción ⁽¹⁾	Sensor de Baja Presión	Sensor de Alta Presión
Codificación interna	04-PP-05-01/02/03	04-PP-04-01/02/03
Marca	Data Instrument	Data Instrument
Modelo / (serie)	No legible.	PN: 9305921
Intervalo de medición	0 a 2 MPa	0 a 6 MPa
Resolución	7 kPa	7 kPa
Nivel	2	2
Tipo de calibración	Interna	Interna
Mesurando	Presión	Presión
Área de uso	Laboratorio de pruebas	Laboratorio de pruebas

⁽¹⁾ Se manejaron durante el estudio 3 pares de sensores, uno para cada cámara de pruebas. De ahí que en el código aparezca 01/02/03.

6. ELABORACIÓN DE DOCUMENTOS EXIGIDOS POR LAS NORMAS ISO 9000, 17025 y 10012

Para que las operaciones del laboratorio puedan ser normadas, se debe crear un sistema de gestión de la calidad y de las mediciones. Esto acorde a las normas ISO 9000, 17025 y 10012. Para esto se debe de desarrollar una serie de documentos básicos y obligatorios propios del área de metrología industrial. (Ref. 5 y 6).

Al estar el laboratorio en estudio dentro de una empresa, no se toma en cuenta la elaboración de algunos documentos como Manual de Calidad y Registros que no sean relacionados con metrología.

6.1. Elaboración del instructivo de control metrológico.

Según lo indicado por la norma ISO 9001:2000 se debe de crear un instructivo de Control Metrológico, en el cual se indique al usuario de una forma clara y resumida las actividades que se debe de realizar dentro del área de metrología industrial de la empresa. A continuación se desarrolla el instructivo que rige las actividades de metrología dentro de la empresa en estudio.

6.1.1. Designación.

Para determinar que Equipo de Medición, Inspección y Ensayo (EMIE) estarán sujetos a control metrológico, se toma la siguiente designación:

- Nivel 1:

Constituyen los EMIE que son utilizados como patrones para calibraciones internas y requieren calibración con patrones de trazabilidad nacional o internacional o patrones externos a la empresa.

- Nivel 2:

Constituyen los EMIE que requieren calibración con patrones internos o patrones de trazabilidad nacional o internacional y son utilizados para cubrir especificaciones indicadas por el cliente y especificaciones internas.

- Nivel 3:

Son aquellos EMIE que no requieren control y calibración. Estos son reemplazados cuando alguna de sus partes se deteriora o cuando no opera de acuerdo a lo que se le tiene proyectado.

El supervisor de metrología define el nivel que le corresponde a cada EMIE. También debe identificar los equipos con etiquetas de calibración.

6.1.2. Selección del equipo de medición, inspección y ensayo.

Con base en la información técnica de un nuevo diseño, emitida por Gerencia de Ingeniería, el supervisor de metrología establece el EMIE que sea indicado para medir las especificaciones.

6.1.3. Medición del proceso.

El EMIE que está directamente relacionado con el proceso de producción es seleccionado de acuerdo a las características de las magnitudes o puntos a medir. Se debe asegurar que el equipo sea compatible con dicha magnitud en los siguientes criterios:

- Intervalo de medición.
- Resolución.
- Exactitud.
- Unidad de medición.

6.1.4. Equipo de calibración:

Los equipos para calibración son seleccionados de acuerdo a las magnitudes que miden y según el nivel designado. La diferencia de nivel debe ser como mínimo de un múltiplo de 10.

6.1.5. Identificación y registro del equipo de medición, inspección y ensayo.

- a. Identificación del equipo de medición, inspección y ensayo.

La forma de identificación está definida por la Guía de Recepción e Identificación de Instrumentos de Medición, ver anexo 1. Los EMIE que no queden sujetos a este instructivo se identifica con etiqueta de instrumento de referencia.

b. Registro del equipo de medición, inspección y ensayo.

El supervisor de metrología registrará los EMIE de la empresa y certificados emitidos a los clientes donde se proyecte su utilización y llevando su control en los siguientes registros:

- Certificados de calibración. (anexo 2)
- Validaciones de lotes de equipos de medición.(anexo 3)
- Codificación de equipos. .(anexo 4)
- Historial de vigencia de calibraciones. (anexo 5)
- Registro de lista de cheque de calibraciones actualizadas. (anexo 6)

6.1.6. Control del equipo de medición, inspección y ensayo.

Es responsabilidad del cliente y del laboratorio de la empresa el asegurar que los EMIE funcionen según lo proyectado. Es obligación evitar que se utilicen EMIE con las siguientes sugerencias:

- Falta de legibilidad o desgaste excesivo de sus escalas de medición.
- Que el equipo presente golpes o ralladuras que eviten su correcto funcionamiento.
- Que presenten daños en alguno de sus componentes y que evite su utilización proyectada.
- Manejo inadecuado del EMIE.
- Uso de un EMIE en el proceso productivo cuya calibración no esté vigente.
- Evitar usar los EMIE cuyo manejo, deterioro o comportamiento en el área de trabajo indique que su calibración está perdida.

Cuando se presente cualquiera de las condiciones anteriores, el supervisor de metrología debe proceder de la siguiente manera:

- Retener y evaluar el EMIE, usando una guía para la retención de instrumentos de medición. Esta guía debe ser desarrollada según los criterios de aceptación de equipos que posea cada usuario.
- Retirar del área de trabajo de la empresa el EMIE y sugerir el retiro del EMIE propiedad del cliente que después de haber sido evaluado no cumpla con las funciones o especificaciones proyectadas.

6.1.7. Mecanismos de calibración para un EMIE.

El control de la calibración de los EMIE se ejecuta por dos mecanismos:

- Calibración Interna: consta del uso de patrones certificados propiedad de la empresa, y están bajo la responsabilidad del supervisor de metrología.
- Calibración Externa: lo constituye el control y calibración de EMIE por un proveedor. Este debe ser reconocido para la actividad de calibración y se debe utilizar patrones trazables.

6.1.8. Control de la calibración de los EMIE.

El mecanismo externo de calibración queda bajo la supervisión del Gerente de Ingeniería, y el Supervisor de Metrología. Además el mecanismo interno de calibración lo controla el Supervisor de Metrología, para ello se debe apoyar en una Guía de Calibración de Instrumentos de Medición desarrollada por el área de metrología. En esta guía se debe indicar los pasos para realizar una calibración.

6.1.9. Cálculo de incertidumbre en las calibraciones.

El Supervisor de Metrología calcula la incertidumbre de las calibraciones de los EMIE que ejecute. Para esto debe aplicar los procedimientos estadísticos apropiados que permitan conocer la incertidumbre tipo A.

Para el cálculo de incertidumbre se debe hacer uso de una guía para el cálculo y estimación de incertidumbre. Los proveedores externos que calibren EMIE están obligados a entregar reportes o certificados de calibración así como poder certificar su trazabilidad.

El Supervisor de Metrología deberá conservar el reporte o copia del reporte de calibración de los EMIE que sean calibrados externamente por un proveedor de este servicio. Además el Supervisor de Metrología debe tener los registros de las calibraciones de los EMIE a disponibilidad de los clientes (internos o externos) como mecanismo de garantía en el cumplimiento de las especificaciones solicitadas.

6.1.10. Períodos de confirmación metrológica.

El Supervisor de Metrología deberá fijar la frecuencia de confirmación metrológica de los EMIE en conjunto con el cliente, sea este interno o externo a la organización.

La frecuencia de confirmación metrológica, está basada en los siguientes aspectos:

- Recomendaciones del fabricante.
- Características de uso.
- Recomendaciones de la empresa de servicio de calibración.
- Historial de incertidumbres.

6.1.11. Vigencia de la calibración de los EMIE.

La vigencia de la calibración debe quedar indicada en el registro del Historial de Vigencia de Calibraciones. Adicionalmente debe quedar anotada la vigencia en una etiqueta de Instrumento de Medición Calibrado, la cual deberá estar pegada en cada equipo.

6.1.12. Validación de la calibración de un EMIE.

Una calibración será válida bajo las siguientes condicionantes:

- Todo usuario de un EMIE tiene la obligación de reportar al Supervisor de Metrología que ha detectado que el equipo está fuera del rango indicado en la calibración o no cumpla con las funciones para las cuales está proyectado.
- El Supervisor de Metrología evaluará el estado del EMIE conforme las indicaciones de la Guía de Retención de Instrumentos de Medición.
- Si el EMIE está fuera de calibración y pertenece a un cliente o al laboratorio de la organización, se deberá informar para someter a inspección y decidir si se calibra o se desecha.
- Si el e EMIE está fuera del rango de calibración y pertenece al laboratorio de la empresa, el Supervisor de Laboratorio deberá suspender las pruebas o investigaciones que estén relacionadas con el equipo. Deberá de verificar y ajustar el equipo para someterlo a calibración, previo a reiniciar la prueba.

Estos pasos garantizarán que el EMIE pueda operar correctamente.

6.1.13. Conservación de los EMIE.

Los EMIE deberán ser conservados según su importancia u operación que realizan dentro de la organización. Esto se debe hacer según el nivel ocupado, siendo estos los siguientes:

- Nivel 1: son responsabilidad del Supervisor de Metrología. Debe de conservarlos, manipularlos y mantenerlos de preferencia en condiciones ambientales controladas. Esto conforme a una Guía de Uso de Patrones para Calibración desarrollada por la empresa.
- Nivel 2: son responsabilidad de la persona a la cual se le asigna. Esta persona debe velar por el manejo apropiado del EMIE y utilizarlos estrictamente para las funciones para las cuales está destinado el equipo.
- Nivel 3: son responsabilidad de cada cliente o dueño del equipo. Cada cliente deberá tomar las medidas de control más apropiadas en su empresa o área. El laboratorio de metrología deberá limitarse a emitir recomendaciones de uso.

6.2. Protocolos de calibración.

El procedimiento de calibración de manómetros y termómetros se debe de documentar y estandarizar para que todo personal involucrado realice las calibraciones de manera uniforme. Además estos documentos permiten guiar a personal nuevo del laboratorio para realizar una calibración.

Las guías desarrolladas para una empresa de refrigeración indican, tanto en manometría como en termometría, las condiciones para las cuales se pueden realizar las calibraciones.

6.2.1. Protocolo de calibración de manómetros.

Los protocolos de calibración deben estar acordes al sistema de gestión de la calidad de la empresa. Se debe considerar que deben estar apoyados en la documentación necesaria para que puedan ser utilizados fácilmente por personal calificado. Los protocolos tienen como objetivo poder dar los datos necesarios para poder estimar la incertidumbre de medición en una calibración.

Para el caso de los manómetros utilizados por la empresa se consideraron los siguientes pasos para poder realizar una calibración.

- a. La unidad de medición debe ser el Pascal (Pa). Se puede convertir las unidades a libra por pulgada cuadrada (psi).
- b. La resolución de los manómetros debe ser menor a la del patrón. Al menos una décima.
- c. Pueden ser manómetros de lectura analógica o digital.
- d. Se recomienda contar con las siguientes condiciones ambientales:
 - Temperatura ambiental: 20 °C +/- 5 °C.
 - Humedad relativa: 55 % +/- 10 %.

En caso contrario se debe mantener estable las condiciones de trabajo e indicarlas en los certificados. También se debe contar con el siguiente equipo:

- e. Manómetro patrón con certificado de calibración vigente.
- f. Suministro de nitrógeno de alta pureza a presión.
- g. Material de limpieza.

Los pasos que se deben seguir para realizar la calibración deben ser los siguientes:

- a. Ejecutar la inspección preliminar del manómetro. Verificar que los equipos no tengan:
 - Golpes o ralladuras en la escala de medición.

- Falta de legibilidad en las escalas de medición.
- Daño de alguna de las partes que componen el manómetro.

Si se tiene alguna deficiencia mencionada anteriormente, y ésta no permite la calibración del manómetro, rechaza el instrumento. Si el manómetro está en condiciones de calibración, anotar en el certificado de calibración los datos que se exigen.

- Verificar que el Manómetro Patrón puede ser usado conforme las indicaciones de la guía de uso de patrones de calibración, la cual debe ser desarrollada por la empresa.
- Limpiar con precaución y cuidado el equipo que se utiliza en la calibración, se recomienda utilizar material limpio y seco, humedecido en bencina o alcohol.
- Colocar el manómetro a calibrar y el patrón en la misma línea de alimentación de nitrógeno a presión. Evitar diferencia de alturas grandes en los sensores de la presión.
- Ejecutar la prueba de puesta a cero de la siguiente manera:
 - Aplicar presión. Llevar la presión a un valor igual a dos tercios ($2/3$) del valor máximo de la escala del manómetro.
 - Después de dos minutos, liberar la presión aplicada y verificar que el lector, aguja o dígito, retornen a cero (0).
 - Anotar la lectura final en el reporte. Esta puede ser diferente a cero.
 - Repetir el ciclo dos veces más y realizar las anotaciones correspondientes.
 - Si el lector no regresa a cero, se recomienda ajustarlo o tomar en cuenta esta diferencia en la calibración.
 - Si el manómetro por su estructura no permite el ajuste y la diferencia de presión supera el valor de 10 psi, se debe rechazar el manómetro.

Determina las lecturas de incremento de presión y descenso de presión de la escala

de medición del manómetro, para ello se siguen los pasos siguientes:

- f. El primer punto de calibración se escoge al 10 % del alcance máximo, y los puntos restantes se distribuyen uniformemente hasta el 90% del alcance máximo. Además de que un punto al 50 % debe ser escogido como un punto intermedio de la calibración.
- g. Ejecutar el ciclo de carga de presión elevándola paulatinamente hasta alcanzar los valores de presión elegidos, de menor a mayor presión, sosteniendo la presión momentáneamente en cada punto de comparación. Se debe dar un tiempo prudencial (1 minuto) para que la presión se equilibre.
- h. En cada punto de carga de presión o ciclo de ida, anotar la lectura indicada por el patrón y el instrumento calibrado. Estas lecturas deben ser anotadas en la hoja de cálculo de incertidumbre diseñada para manómetros.
- i. Cuando se llegue al punto máximo de calibración, se debe de incrementar la presión aproximadamente un 10 % y mantenerse la presión por 2 minutos.
- j. Para ejecutar el ciclo de descarga de presión o ciclo de regreso se debe descender paulatinamente la presión hasta alcanzar los puntos de calibración elegidos. Estos puntos van del mayor al menor. Al llegar a cada punto dar un tiempo prudencial para que la presión se equilibre.
- k. Con los datos obtenidos se debe calcular:
 - Error del instrumento.
 - Histéresis.
 - Repetibilidad.
- l. El valor de la incertidumbre del manómetro bajo calibración se debe calcular haciendo uso de la Guía para el Cálculo de Incertidumbre. Estos están en la hoja de cálculo desarrolladas para manómetros.
- m. Los resultados se deben anotar en el certificado de calibración antes de ser emitido.

Si se aprueba la calibración del manómetro se debe ejecutar lo siguiente:

- Identificar el instrumento con una etiqueta de calibración.
- Actualizar su vigencia de calibración en el registro Historial de Calibraciones.

Si no se aprueba la calibración se debe rechazar o retener el instrumento. La aprobación o no de un instrumento de medición se aplican para calibraciones internas. Para clientes externos, solo se debe emitir el certificado de calibración y si es solicitado por él, hacer las recomendaciones necesarias en el certificado.

6.2.2. Protocolo de calibración de termómetros.

Este protocolo tiene como propósito estandarizar los pasos a seguir para realizar una calibración de termómetros. Estos termómetros pueden ser de mercurio o digitales, para cada tipo hay que tomar consideraciones indicadas en el protocolo. Además indica que herramientas se deben usar para conocer la incertidumbre de la medición de los instrumentos.

Se debe contar con los siguientes elementos:

- Recipiente aislado ó un Baño de Calibración para calentar o enfriar.
- Termómetro patrón con certificado de calibración vigente. Debe tener de 2 a 10 veces mayor resolución que el termómetro en calibración.

Los termómetros deben ser previamente revisados en su estado físico para asegurar que su operación sea correcta. Los instrumentos no deberán estar dañados o con fallas que hagan dudar de su correcto funcionamiento.

También se debe considerar que se debe utilizar un medio de calibración de preferencia líquido. Que sea químicamente neutro y que soporte las temperaturas de calibración. Dada las características de los termómetros se considera que la histéresis no afecta la calibración.

Se recomienda trabajar con condiciones ambientales controladas y que se mantengan en los siguientes límites:

- Temperatura ambiental: 20 °C +/- 5 °C.
- Humedad relativa: 55% +/- 15%.

El orden de ejecución de la calibración es el siguiente:

- a. Se debe colocar la información obtenida en la hoja de cálculo diseñada para calcular la incertidumbre de la medición en termómetros. También los resultados de la calibración se deberán indicar el certificado de calibración emitido por el laboratorio.
- b. El termómetro a calibrar y el patrón deberán estar lo más cercano posible para evitar que el gradiente de temperatura por distancia en el baño afecte la medición.
- c. Elegir al menos 3 puntos de evaluación que se encuentren dentro del rango de operación del termómetro a calibrar.

Ya que el baño de calibración es un equipo refrigerante, para poder reducir el consumo de energía y desgaste, se recomienda iniciar la calibración del punto más frío al más caliente. Si se usa un recipiente aislado, se debe considerar la velocidad de transmisión de calor del medio.

- d. Colóquese dentro del recipiente los sensores del termómetro a calibrar y del patrón.
- e. Si se usa un Baño de Calibración electrónico, se debe de ajustar los controles de

este de forma que pueda llevarse el baño a la temperatura de calibración deseada.

- f. Al alcanzarse la temperatura programada en el baño de calibración, se debe colocar el sensor del termómetro en calibración en uno de los canales de prueba disponibles. El sensor del termómetro patrón se debe colocar en el canal central del baño de calibración. Ambos sensores deben de estar lo más cerca posible. Se debe asegurar que los sensores de los termómetros tengan contacto con el líquido refrigerante del baño de calibración.
- g. Ejecutar la primera comparación de temperaturas, tanto del patrón como del o los termómetros bajo calibración.
- h. Anotar la lectura del patrón y la lectura del termómetro en la hoja de cálculo de incertidumbre.
- i. Terminada la primera comparación, si se usa el baño de calibración, programar el siguiente punto de comparación inmediato superior repitiendo los dos últimos incisos. Se recomienda usar al menos 4 puntos de calibración.
- j. Terminada las comparaciones, remover el recipiente o apagar el baño de calibración, según sea el caso. Apagar los termómetros y retirarlos del medio de calibración.
- k. Calcular el valor de la incertidumbre de la medición del termómetro con los pasos indicados en la Guía de Cálculo de Incertidumbre.
- l. Anotar los resultados de los cálculos en el certificado de calibración o reporte.
- m. Si se aprueba la calibración del termómetro, se debe ejecutar los siguientes pasos:
 - Identificar el instrumento con una etiqueta de calibración.
 - Actualiza la vigencia de calibración en el registro de historial de calibraciones.
- n. Si no aprueba la calibración, retiene el instrumento como indica la guía de retención de instrumentos de medición.

Los incisos m y n aplican para calibraciones de clientes internos de la organización. Para clientes externos solo se debe emitir el certificado de calibración y almacenar una copia digital del mismo, salvo que sea expresada como un requisito del cliente.

6.3. Registros de control de calibración y seguimiento.

Con el propósito de poder llevar un control sobre las calibraciones realizadas y los historiales metrológicos de los equipos de medición, se desarrollan una serie de registros acorde a la norma ISO 9000:2000.

Los registros abarcan las áreas de control necesarias para conocer como se ha comportado un equipo de medición en el tiempo. Además se almacenan los certificados emitidos para clientes, sean estos internos o externos.

Los registros y documentos se elaboran acorde a lo indicado en el manual de calidad de la empresa. Para explicar la codificación se tomará el siguiente ejemplo:

Código R-GI-04-03

- a. La primera letra (R) indica el tipo de documento. Puede ser un instructivo (I), un registro (R) o una guía (G) principalmente.
- b. El código GI, indica la gerencia a que pertenece el documento, en este caso a la gerencia de ingeniería.
- c. El número 04 se asigna a cada área dependiente de esta gerencia, en el caso presente, el número indica el área de metrología industrial.

- d. Por último, el número 03 es un correlativo para cada tipo de registro existente en esta área. Sean certificados (01), validaciones (02), codificaciones (03), historiales de calibración (04) y la lista de chequeo de calibraciones (05).

A continuación se indicará la información que posee cada registro que puede existir dentro de un área de metrología industrial típica.

- a. Certificados de Calibración: en este registro se almacenan los certificados emitidos por el laboratorio, tanto para clientes internos como para clientes externos. Se almacenan según la magnitud calibrada, sea manometría o termometría y siguiendo la codificación única de cada certificado.
- b. Validaciones de equipos: aquí se almacenan las validaciones de equipos. Esto aplica para las calibraciones de lotes grandes de un mismo tipo de instrumento, a los cuales por su uso y cantidad no se les aplica una calibración rigurosa.

Se elaboran validaciones, por ejemplo, para calibraciones de flexómetros (comúnmente llamados metros), manómetros que no sean críticos para el proceso, escuadras para el área de producción, etc. Estos equipos generalmente sobrepasan las 20 unidades. Para el caso de flexómetros pueden llegar a 150 unidades. Por eso en la mayoría de casos, solo se anota una comparación y se calcula el error promedio. Si este excede la tolerancia, el equipo se elimina.

- c. Codificación de equipos de medición: cada equipo de medición posee un tipo de código que indica la clase de equipo que es. En base al código el usuario puede identificar las características físicas y metrológicas que posee el equipo.
- d. Historial de calibración: este historial es para uso interno del laboratorio. En él se indica el historial de incertidumbres y errores que ha manejado un instrumento de medición en el tiempo.

- e. Listado de chequeo de calibración: este registro tiene como fin que se lleve un reporte rápido del estatus de los equipos de medición. Se chequea que los equipos estén con su certificado de calibración vigente y que se encuentren en condiciones físicas correctas.

Todos estos registros deberán ser correctamente identificados y mantenerse en condiciones legibles y accesibles a los usuarios. Además deben de estar vigentes según el sistema de gestión de la calidad que la empresa lo indica.

Se recomienda también que estén adecuados para ser llevados al lugar donde están los instrumentos, esto ya que algunos equipos no pueden ser sacados del área de uso fácilmente. Esto es muy frecuente con los protocolos de calibración del laboratorio.

La elaboración de todos estos registros, protocolos, guías y manuales son herramientas necesarias para garantizar un sistema de control metrológico acorde al sistema de gestión de la calidad. Por ello es importante tenerlos actualizados y disponibles para poder ser consultados.

7. RESULTADOS DE LAS CALIBRACIONES

En esta sección se explican los resultados obtenidos de practicar las calibraciones a los equipos que resultaron importantes o críticos para el proceso de diseño y desarrollo de los equipos de refrigeración. Estos se dividen en los que miden presión (manómetros) y los que miden temperatura (termómetros).

Los equipos fueron calibrados durante el período comprendido entre enero de 2003 a diciembre de 2005 en el laboratorio de metrología de la empresa. Aplicándose todos los cálculos necesarios para poder conocer la incertidumbre y el error de medición de estos equipos.

Se debe considerar las calibraciones fueron realizadas según lo indicado en los protocolos de calibración; los cálculos se realizaron haciendo uso de la teoría para el cálculo de la incertidumbre. Los resultados obtenidos deben ser trasladados a los registros del sistema de gestión de la calidad de la empresa. Por último, estos resultados fueron correlacionados en el tiempo, llegándose a obtener el comportamiento de la medición obtenida con un equipo en el tiempo.

Esta sección parte de los resultados de las calibraciones que se le practicaron a los equipos cuya calibración es interna y realizadas con patrones con certificados de calibración vigentes. Se separan las áreas de manometría y termometría. Los códigos de los equipos de medición son los asignados internamente por la empresa, ver sección 6.3.

7.1. Manometría.

Los manómetros se subdividen en dos tipos: aquellos manómetros que miden la alta presión en el sistema de refrigeración y los equipos que miden la baja presión en este sistema. Esto porque la diferencia de presiones dentro del equipo es útil para calcular la eficiencia de refrigeración y operación de un equipo.

7.1.1. Manómetros de alta presión.

Se entiende como manómetros de alta presión aquellos cuyo rango de medición está entre 0 y 6,894.76 kPa o su equivalente de 0 a 1000 psi. Para cada gráfica desarrollada, se muestran las tolerancias permitidas en el proceso.

Figura 6. Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0401.

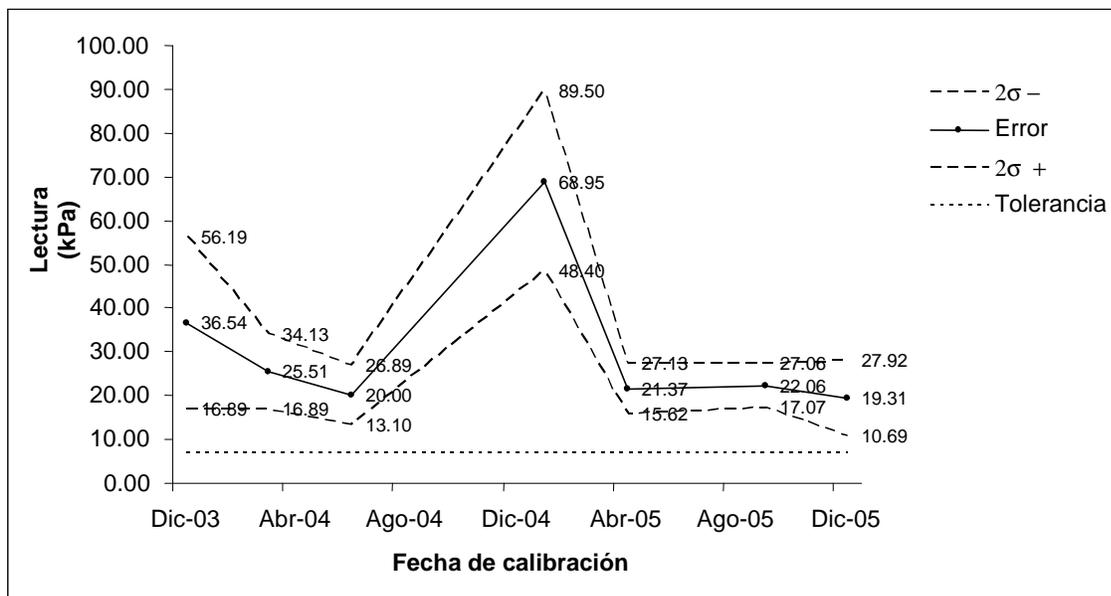


Figura 7. Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0402.

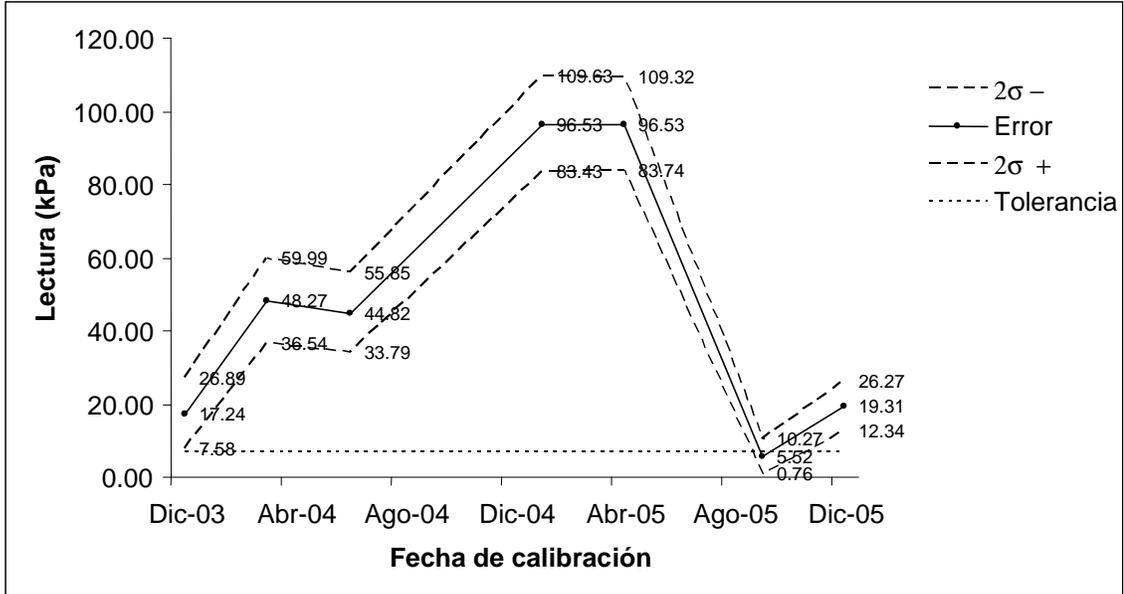
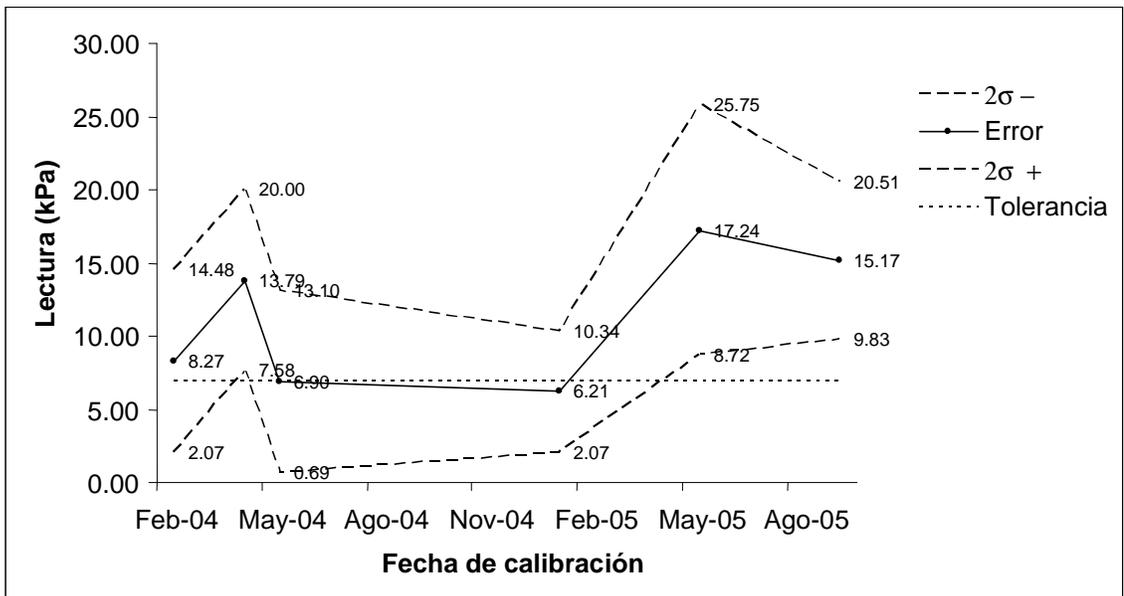


Figura 8. Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0403.



7.1.2. Manómetros de baja presión.

Se consideran manómetros de baja presión a aquellos que operan en un rango de medición de 0 a 2068.43 kPa, a su equivalente de 0 a 300 psi en el Sistema Inglés.

Figura 9. Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0501.

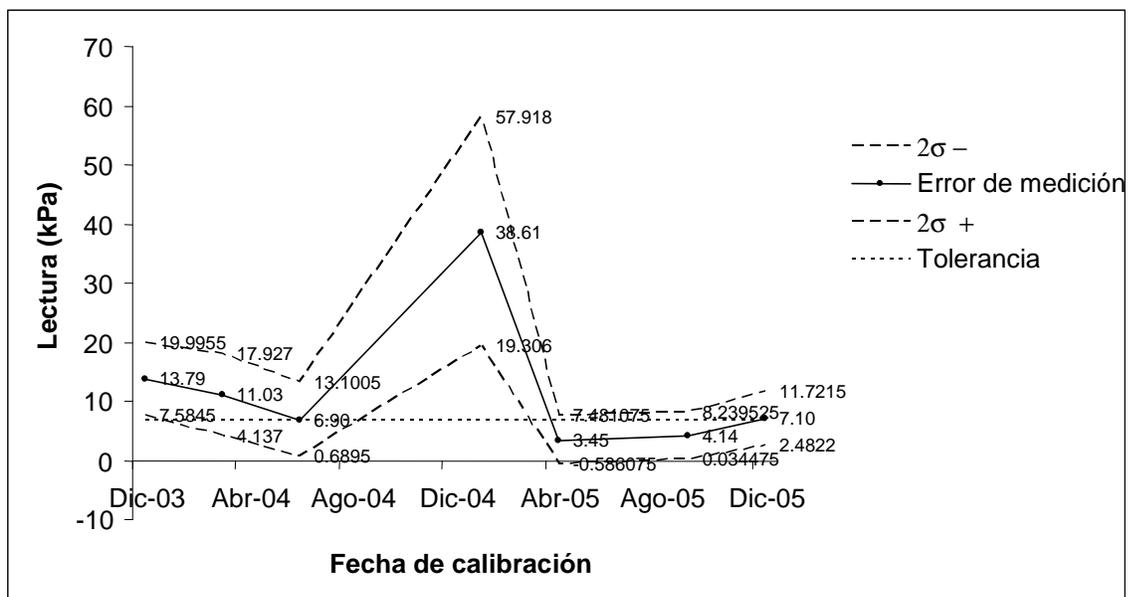


Figura 10. Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0502.

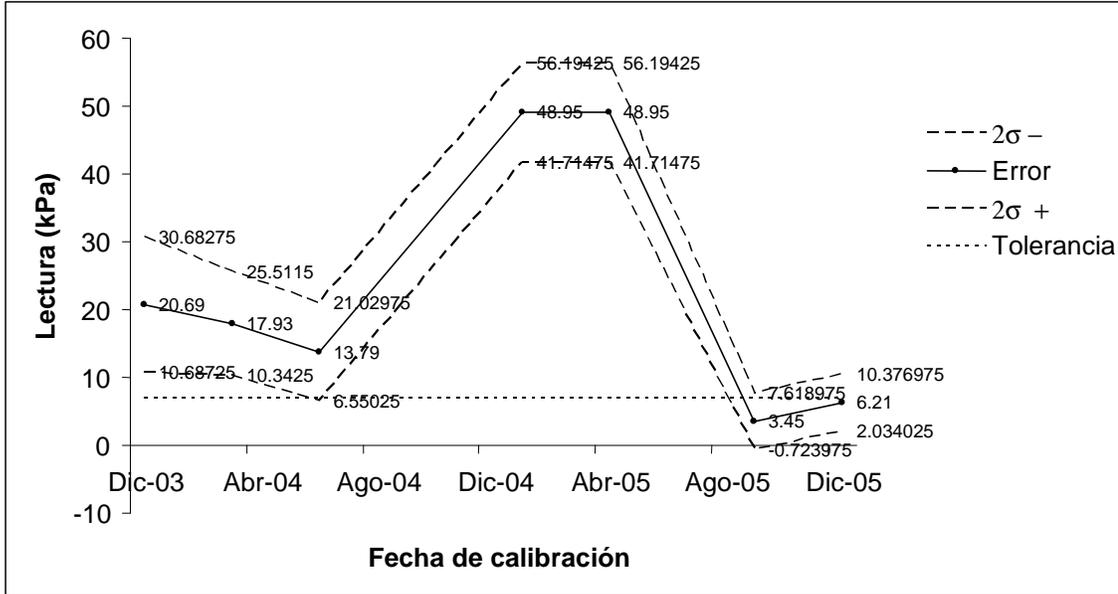
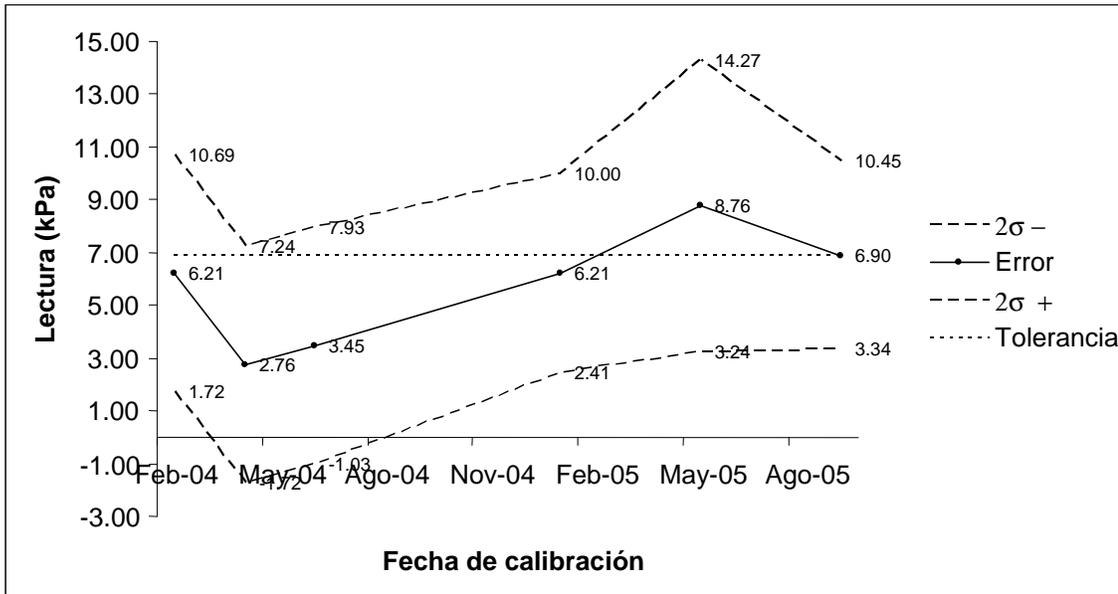


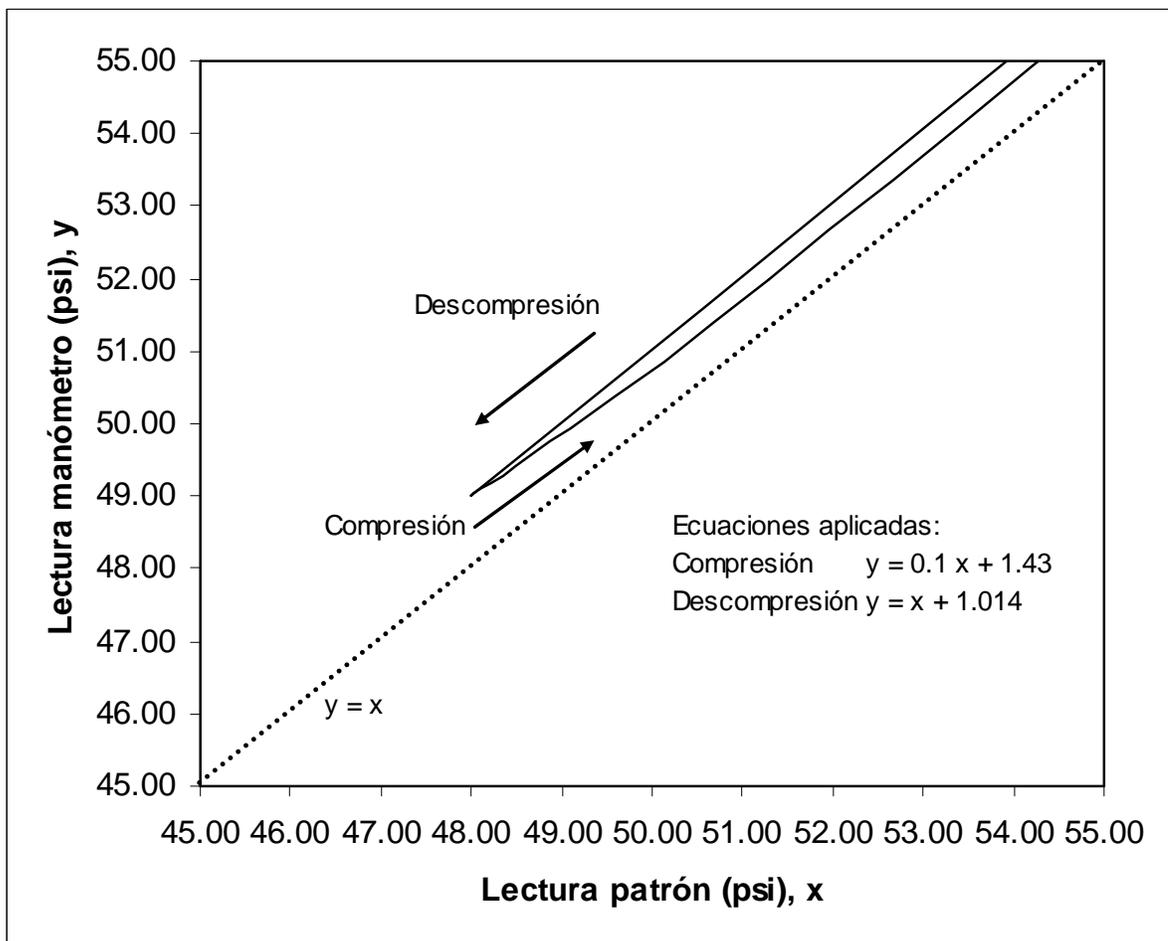
Figura 11. Error e incertidumbre (σ) del manómetro código 04PP0503.



7.1.3. Análisis de histéresis.

Otra variable importante al momento de analizar la incertidumbre de medición de un equipo es la histéresis que este posea durante su operación. El caso más notorio es el de los manómetros. A continuación se analizan las gráficas que representan el comportamiento de la histéresis de un instrumento de medición.

Figura 12. Histéresis del manómetro código 04PP0501.

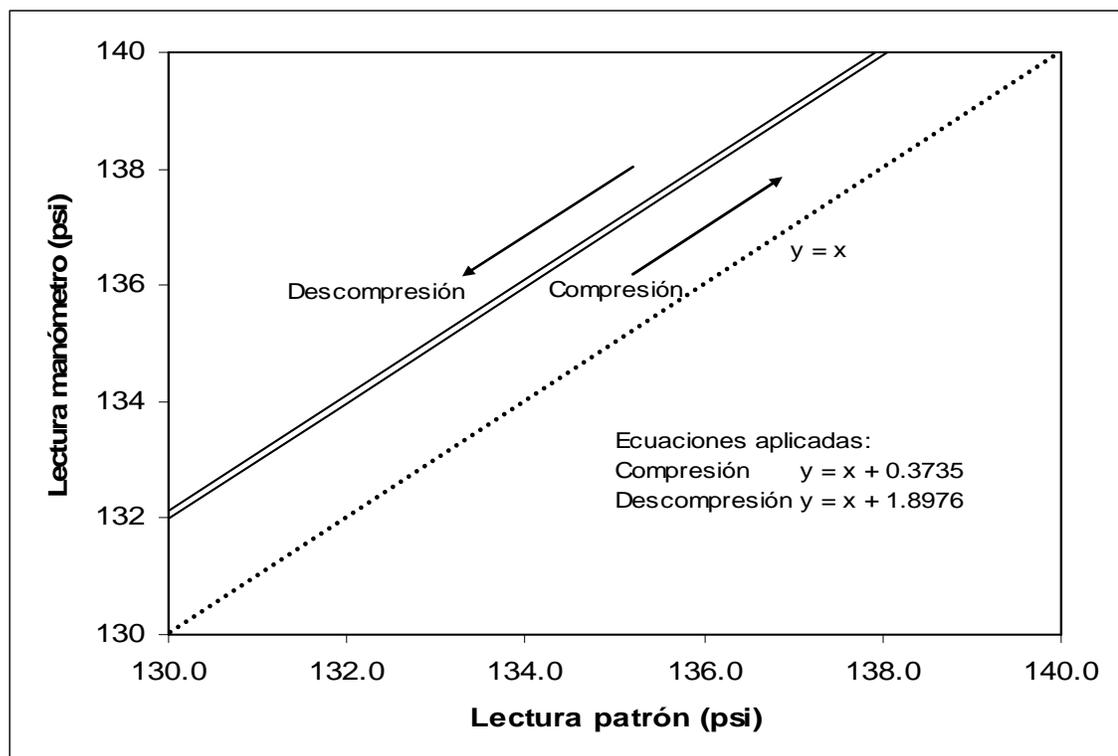


Se puede observar en la gráfica anterior, que las lecturas de un manómetro no se mantienen constantes. Estas lecturas se ven afectadas si la medición se realiza en un ciclo de carga de presión o descarga de esta. Este efecto, conocido como histéresis, se debe a la acción mecánica del equipo y sus componentes, ya que dichos componentes mecánicos de un manómetro ofrecen resistencia al cambio de presión.

Un análisis detallado de la histéresis indica que se debe conocer la relación estadística (regresión) que describe el comportamiento de la histéresis en el ciclo de compresión (ida) o descompresión (regreso).

En la idealidad un manómetro tendría un comportamiento descrito por la gráfica $y=x$, en la cual no existe la histéresis. La histéresis se mantiene en todo el ciclo de presión de un manómetro durante su calibración, según lo muestra la siguiente gráfica.

Figura 13. Histéresis del manómetro código 04PP0501.



Se puede observar en esta gráfica que el manómetro mantiene la histéresis durante todo el rango de su calibración o funcionamiento. Sin embargo existe un comportamiento de paralelismo a diferencia de la gráfica anterior en donde existe un punto de convergencia. Se observa también que el manómetro presenta una desviación general en su comportamiento respecto a la idealidad; este comportamiento puede estar por encima o debajo de la línea $y=x$.

Por último se hace notar que las líneas de comportamiento en el ciclo de ida y de regreso se pueden ajustar a una tendencia lineal, teniendo como resultado 2 ecuaciones que describen el comportamiento del manómetro.

7.2. Termometría.

Como se explicó en las secciones 2 y 6.2.3., los termómetros manejan criterios diferentes para ser calibrados que los usados en los manómetros. Principalmente se toma en cuenta que la temperatura depende de la energía transmitida y de la capacidad del medio refrigerante de mantenerla constante. Los termómetros no se ven afectados a niveles industriales por la histéresis pero si se ven afectados por los gradientes de temperatura existentes en el medio.

Durante el experimento se analizaron los siguientes tipos de termómetros:

- Sensores de temperatura.
- Termopares.

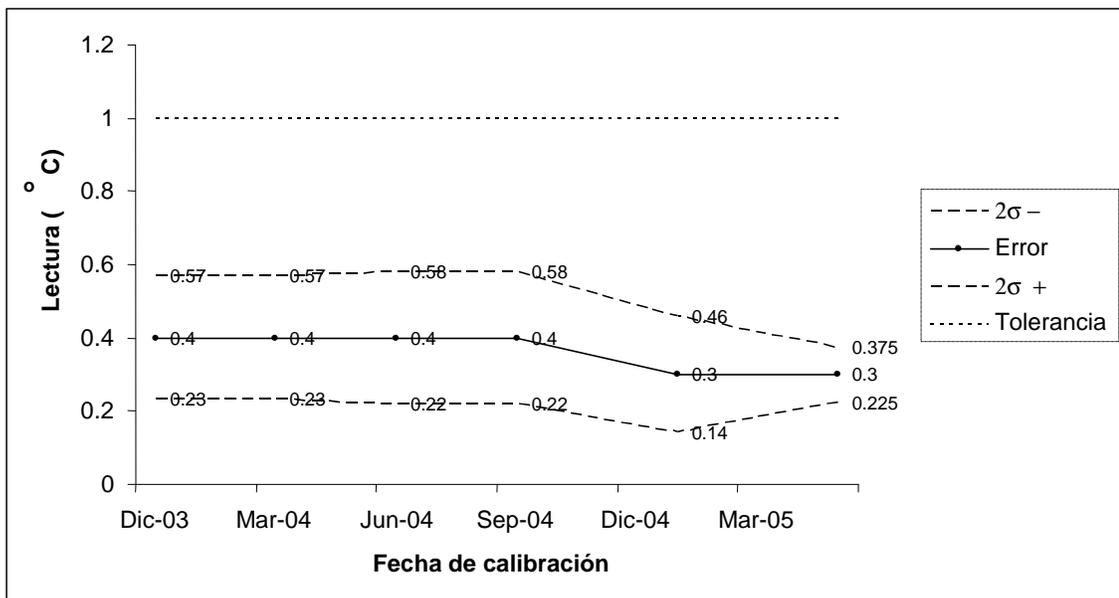
Los primeros son utilizados para ser sumergidos en el material a refrigerar y son de un rango limitado de medición, están diseñados para medir la temperatura de estructuras orgánicas como alimentos y bebidas.

Los segundos son utilizados para medir en lugares dentro del equipo de refrigeración, entiéndase compresor, evaporador, condensador etc. Por su estructura son especiales para colocarse en lugares de difícil acceso y su rango de medición es mayor al de un sensor.

7.2.1. Sensores de temperatura.

El promedio de los resultados de las calibraciones realizadas a un lote de sensores se muestra en la siguiente figura.

Figura 14. Error e incertidumbre (σ) del sensor código 04TT0301.



7.2.2. Termopares.

Se entiende como termopar a una unión de alambres de diferentes metales que permiten por diferencia de potenciales eléctricos medir la temperatura en un sistema.

Figura 15. Error e incertidumbre (σ) del termopar código 04EE0601.

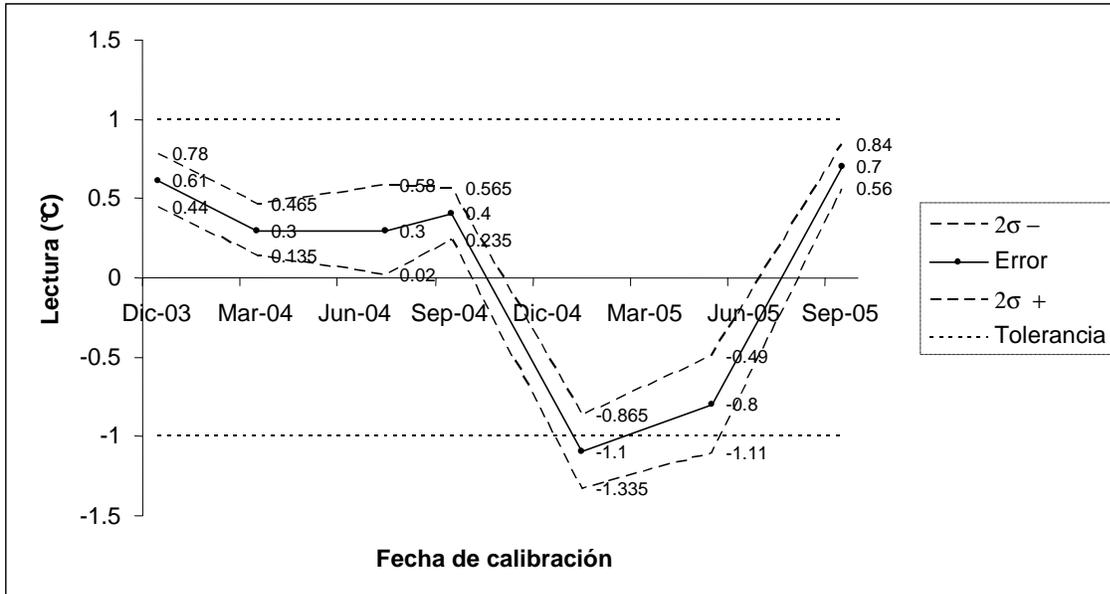
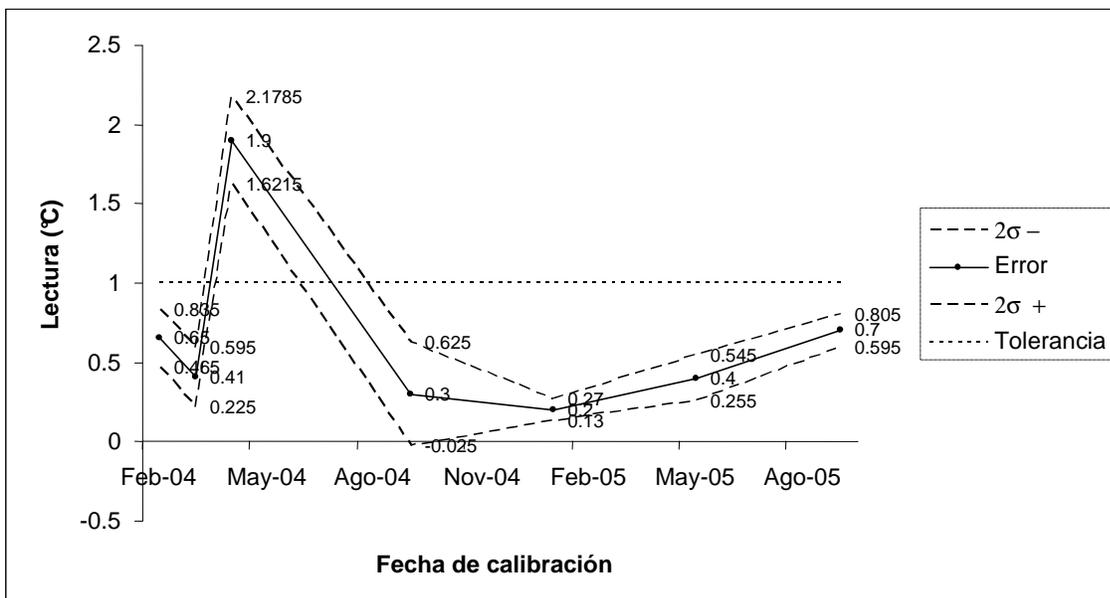


Figura 16. Error e incertidumbre (σ) del termopar código 04EE0602.



Se concluye que los instrumentos utilizados en el laboratorio para medir temperatura, en general, presentan mayor grado de confiabilidad que los manómetros. Esto implica que se debe de tener un mayor control sobre los manómetros, ya sea reduciendo el período de calibraciones o considerando un cambio cada cierto tiempo de los manómetros.

CONCLUSIONES

1. Siguiendo las instrucciones indicadas por las normas ISO 9000, 17025 y 10012; se desarrollaron los documentos necesarios para delimitar las actividades de metrología del laboratorio en estudio.
2. Los protocolos de calibración junto con una correcta aplicación estadística, ayudaron a determinar con exactitud la incertidumbre y el error de medición de un instrumento de medida.
3. Los manómetros estudiados presentaron una mayor variación que los termómetros en el tiempo en su comportamiento metrológico. Por lo cual, es necesario mantener un control más riguroso sobre los primeros.
4. El gráfico de Shewhart para la descripción del comportamiento de la incertidumbre y del error de medición de un instrumento de medición en función del tiempo ayudó a determinar el cumplimiento o no con las tolerancias establecidas para un proceso.
5. La elaboración de certificados de calibración claros y específicos, así como el desarrollo de hojas de trazabilidad y registro de las características de los equipos de medición facilitaron la estandarización de las características de los equipos de medición.
6. El análisis de la histéresis es notable para observar fenómenos de paralelismo, convergencia o divergencia, en este fenómeno para cada instrumento de medición.

RECOMENDACIONES

1. Considerar el cambio de los manómetros que no cumplan con las tolerancias establecidas para el proceso. Ya que, el uso de las graficas para las mediciones de error permiten observar la estabilidad de los manómetros en relación al no cumplimiento de los rangos establecidos.
2. Con base en el estudio desarrollado, se recomienda fortalecer el programa de aseguramiento metrológico. Y este estudio sirve para ampliar las áreas de calibración a otras mediciones.
3. Unificar a un solo patrón de medición de presión. Actualmente, existen dos patrones de medición para presión, uno para alta presión y otro para baja presión. Estos equipos también se usan como instrumento de medición. Se hace necesario, entonces, gestionar la adquisición de un manómetro patrón.
4. Desarrollar programas de capacitación para los usuarios de los equipos de medición. Estas capacitaciones deben estar enfocadas al entendimiento de la incertidumbre y el error de medición. Además, se debe dar a conocer como se interpreta un certificado de calibración.
5. Enfatizar sobre la técnica de evaluación de histéresis para propósitos de análisis técnicos de los instrumentos de medición.

REFERENCIAS

1. Jaimes Nava, Hector. **El sistema internacional de unidades**. CENAM, México 2001.
2. Ministerio de Economía de Guatemala. **Suplemento de metrología**. Guatemala, 2003.
3. NMX-CH-140-IMNC-2002. **Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición**. Instituto Mexicano de Normalización. México 2002. p 30.
4. Guía ISO 30. **Contenido de un certificado de calibración para materiales de referencia**. ISO, 2000.
5. Norma ISO 9000:2000. **Requisitos generales para un sistema de gestión de la calidad**. ISO, 2000.
6. Norma ISO 10012. **Requisitos del aseguramiento de la calidad para el equipo de medición**. ISO, año 2000.

BIBLIOGRAFÍA

1. Coguanor NGR / Copant / ISO / IEC 17025. **Requisitos Generales para la competencia en laboratorios de ensayo y calibración.** Coguanor 2005.
2. De Bievre P. y H. Günzler. **Traceability in chemical measurements.** Editorial Springer.
3. Lazos Martines, Rubén. **Uso de certificados de calibración.** CENAM, México 2002.
4. Marbán, Rocío. Metrología para no Metrólogos. Editorial Producción y Servicios Incorporados, S.A. Guatemala, 2000.
5. Norma NOM-011-SCFI-2003: **“Instrumentos de medición – Termómetros de líquido en vidrio para uso general”.** Editorial no disponible.
6. Referencia electrónica www.metas.com.mx. **Termómetros.** 2005.
7. Referencia electrónica www.cenam.mx.

APÉNDICES

APÉNDICE 1. Tabulaciones para los resultados.

Todas las mediciones de presión son realizadas en Pa o sus múltiplos (kPa, MPa).
Las mediciones de temperatura son realizadas en °C.

Tabla V. Tabulaciones para el manómetro código 04PP0401.

Fecha	Certificado	Incertidumbre U	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
12/12/2003	PP04TG1203-1	39.30	36.54	16.89	56.19	6.90
11/03/2004	PP04TG0304-1	17.24	25.51	16.89	34.13	6.90
16/06/2004	PP04TG0604-1	13.79	20.00	13.10	26.89	6.90
15/01/2005	PP04TG0105-1	41.09	68.95	48.40	89.50	6.90
01/04/2005	PP04TG0405-1	11.51	21.37	15.62	27.13	6.90
01/09/2005	PP04TG0905-1	10.00	22.06	17.07	27.06	6.90
01/12/2005	PP04TG1205-1	17.24	19.31	10.69	27.92	6.90

Tabla VI. Tabulaciones para el manómetro código 04PP0402.

Fecha	Certificado	Incertidumbre U	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
12/12/2003	PP04TG1203-2	19.31	17.24	7.58	26.89	6.90
11/03/2004	PP04TG0304-2	23.44	48.27	36.54	59.99	6.90
16/06/2004	PP04TG0604-2	22.06	44.82	33.79	55.85	6.90
15/01/2005	PP04TG0105-2	26.20	96.53	83.43	109.63	6.90
01/04/2005	PP04TG0405-2	25.58	96.53	83.74	109.32	6.90
01/09/2005	PP04TG0905-2	9.52	5.52	0.76	10.27	6.90
01/12/2005	PP04TG1205-2	13.93	19.31	12.34	26.27	6.90

Tabla VII. Tabulaciones para el manómetro código 04PP0403.

Fecha	Certificado	Incertidumbre U	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
11/02/2004	PP04TG0204-1	12.41	8.27	2.07	14.48	6.9
19/04/2004	PP04TG0404-1	12.41	13.79	7.58	20.00	6.9
14/05/2004	PP04TG0504-1	12.41	6.90	0.69	13.10	6.9
05/01/2005	PP04TG0105-3	8.27	6.21	2.07	10.34	6.9
06/05/2005	PP04TG0505-3	17.03	17.24	8.72	25.75	6.9
01/09/2005	PP04TG0905-3	10.69	15.17	9.83	20.51	6.9

Tabla VIII. Tabulaciones para el manómetro código 04PP0501.

Fecha	Certificado	Incertidumbre U	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
12/12/2003	PP05TG1203-1	12.41	13.79	7.5845	19.9955	6.89
11/03/2004	PP05TG0304-1	13.79	11.03	4.137	17.927	6.89
18/06/2004	PP05TG0604-1	12.41	6.90	0.6895	13.1005	6.89
15/01/2005	PP05TG0105-1	38.61	38.61	19.306	57.918	6.89
01/04/2005	PP05TG0405-1	8.07	3.45	-0.586075	7.481075	6.89
01/09/2005	PP05TG0905-1	8.21	4.14	0.034475	8.239525	6.89
01/12/2005	PP05TG1205-1	9.24	7.10	2.4822	11.7215	6.89

Tabla IX. Tabulaciones para el manómetro código 04PP0502.

Fecha	Certificado	Incertidumbre U	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
12/12/2003	PP05TG1203-2	20.00	20.69	10.68725	30.68275	6.89
11/03/2004	PP05TG0304-2	15.17	17.93	10.3425	25.5115	6.89
18/06/2004	PP05TG0604-2	14.48	13.79	6.55025	21.02975	6.89
15/01/2005	PP05TG0105-2	14.48	48.95	41.71475	56.19425	6.89
01/04/2005	PP05TG0405-2	14.48	48.95	41.71475	56.19425	6.89
01/09/2005	PP05TG0905-2	8.34	3.45	-0.723975	7.618975	6.89
01/12/2005	PP05TG1205-2	8.34	6.21	2.034025	10.376975	6.89

Tabla X. Tabulaciones para el manómetro código 04PP0503.

Fecha	Certificado	Incertidumbre U	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
11/02/2004	PP05TG0204-1	8.96	6.21	1.72	10.69	6.89
19/04/2004	PP05TG0404-1	8.96	2.76	-1.72	7.24	6.89
18/06/2004	PP05TG0604-3	8.96	3.45	-1.03	7.93	6.89
05/01/2005	PP05TG0105-3	7.58	6.21	2.41	10.00	6.89
06/05/2005	PP05TG0505-3	11.03	8.76	3.24	14.27	6.89
01/09/2005	PP05TG0905-3	7.10	6.90	3.34	10.45	6.89

Tabla XI. Tabulaciones para el sensor código 04TT0301.

Certificado	Fecha	Incertidumbre	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
TT03TG1203-1	20/12/2003	0.34	0.4	0.23	0.57	1
TT03TG0304-1	11/03/2004	0.34	0.4	0.23	0.57	1
TT03TG0604-1	30/06/2004	0.36	0.4	0.22	0.58	1
TT03TG0904-1	20/09/2004	0.36	0.4	0.22	0.58	1
TT03TG0105-1	10/01/2005	0.32	0.3	0.14	0.46	1
TT03TG0505-1	01/05/2005	0.15	0.3	0.225	0.375	1
TT03TG0905-1	16/09/2005	0.19	-0.2	-0.295	-0.105	1

Tabla XII. Tabulaciones para el termopar código 04EE0601.

Certificado	Fecha	Incertidumbre	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
EE06TG1203-1	12/12/2003	0.34	0.61	0.44	0.78	± 1
EE06TG0304-1	13/03/2004	0.33	0.3	0.135	0.465	± 1
EE06TG0604-1	30/07/2004	0.56	0.3	0.02	0.58	± 1
EE06TG0904-1	27/09/2004	0.33	0.4	0.235	0.565	± 1
EE06TG0105-1	03/01/2005	0.47	-1.1	-1.335	-0.865	± 1
EE06TG0505-1	01/05/2005	0.62	-0.8	-1.11	-0.49	± 1
EE06TG0905-1	01/09/2005	0.28	0.7	0.56	0.84	± 1

Tabla XIII. Tabulaciones para el termopar código 04EE0602.

Certificado	Fecha	Incertidumbre	Error	$\sigma -$	$\sigma +$	Tolerancia
EE06TG0204-1	01/02/2004	0.37	0.65	0.465	0.835	1
EE06TG0304-1	01/03/2004	0.37	0.41	0.225	0.595	1
EE06TG0404-1	19/04/2004	0.557	1.9	1.6215	2.1785	1
EE06TG0904-2	27/09/2004	0.65	0.3	-0.025	0.625	1
EE06TG0105-2	04/01/2005	0.14	0.2	0.13	0.27	1
EE06TG0505-2	01/05/2005	0.29	0.4	0.255	0.545	1
EE06TG0905-2	01/09/2005	0.21	0.7	0.595	0.805	1

APÉNDICE 2. Histéresis de los manómetros en calibración.

La histéresis que presentan los manómetros afecta directamente al resultado de la incertidumbre y error de medición. A continuación se presentan las gráficas que muestran la histéresis de cada manómetro. Los códigos de los equipos son asignados por la empresa, según la sección 6.3.

Las lecturas se hicieron en unidades psi y se muestra el rango en donde es más apreciable el efecto. Para conocer las unidades en kPa aplicar el factor de conversión de 1 psi = 6.89 kPa.

Figura 17. Histéresis del manómetro código 04PP0401.

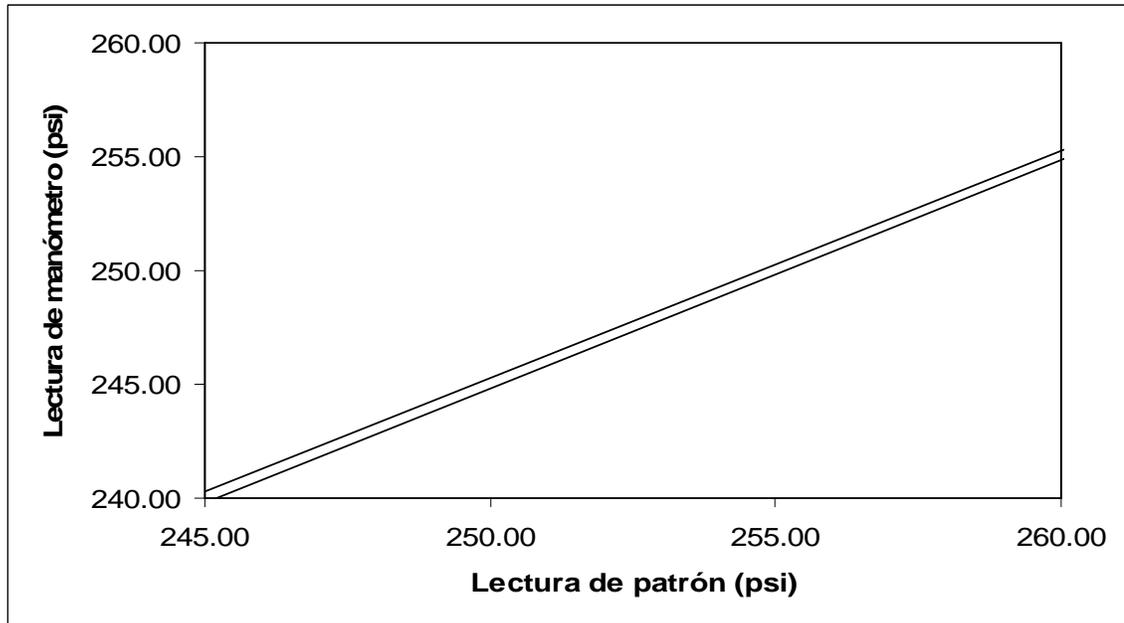


Figura 18. Histéresis del manómetro código 04PP0402.

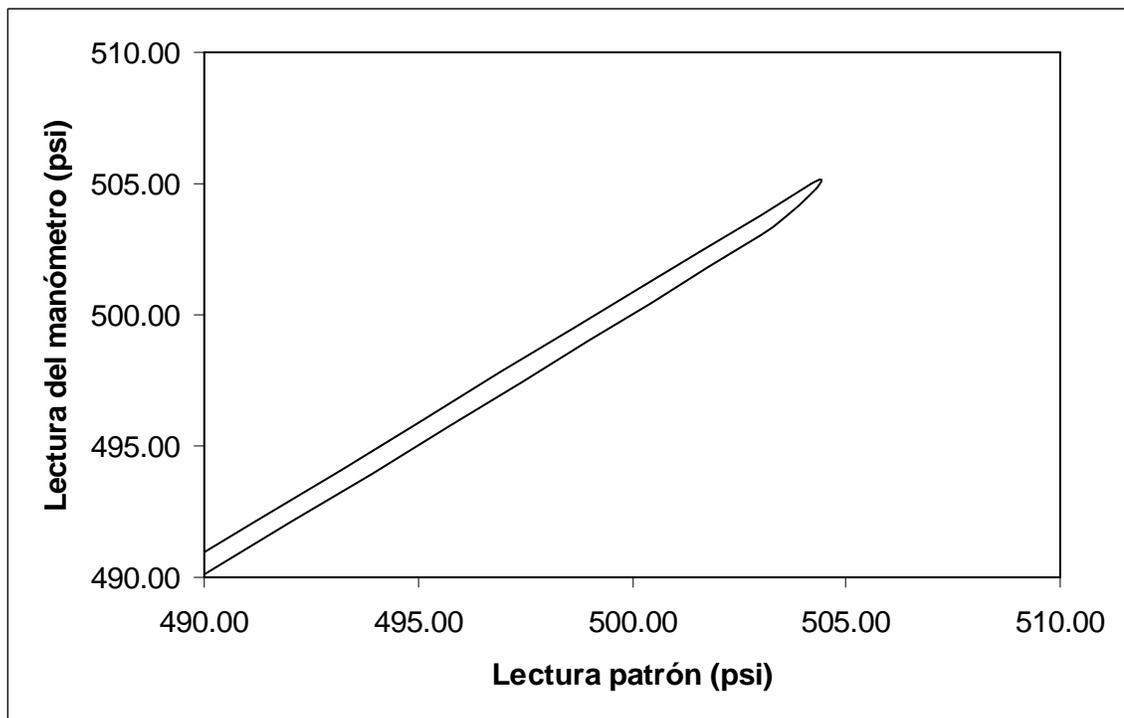


Figura 19. Histéresis del manómetro código 04PP0403.

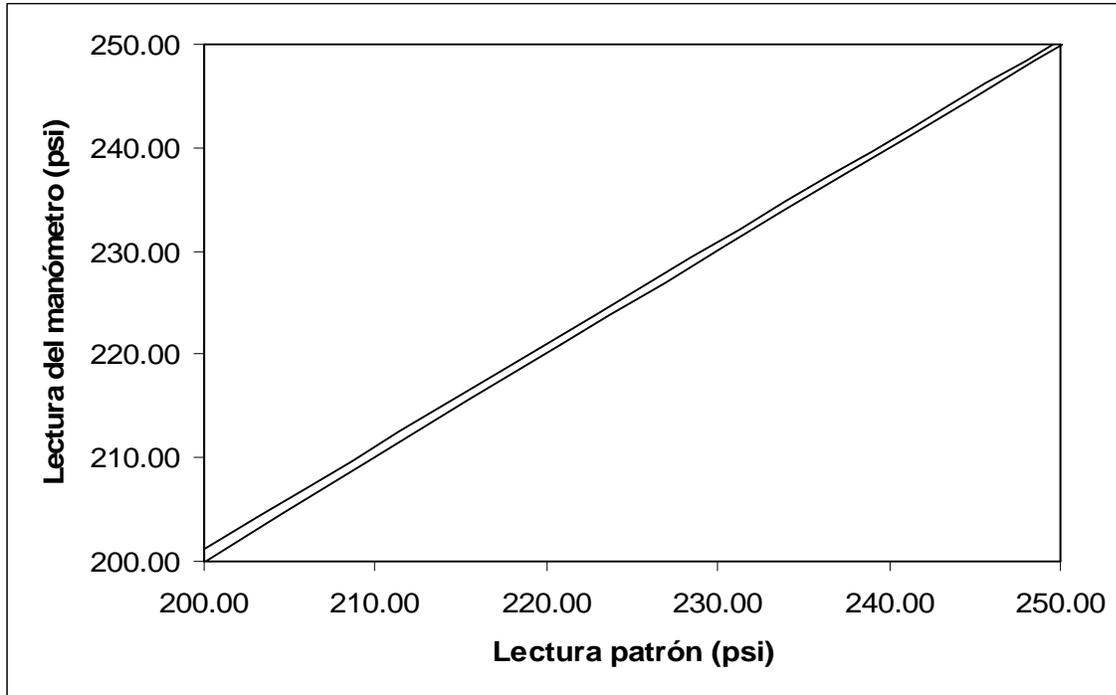


Figura 20. Histéresis del manómetro código 04PP0501.

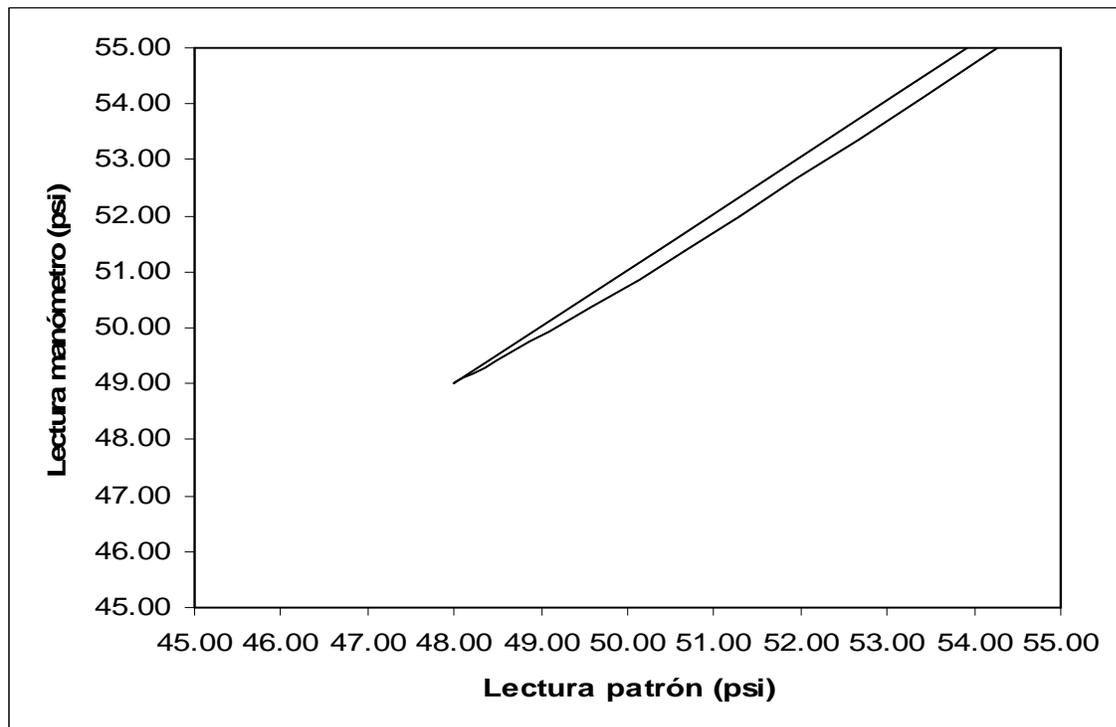


Figura 21. Histéresis del manómetro código 04PP0502.

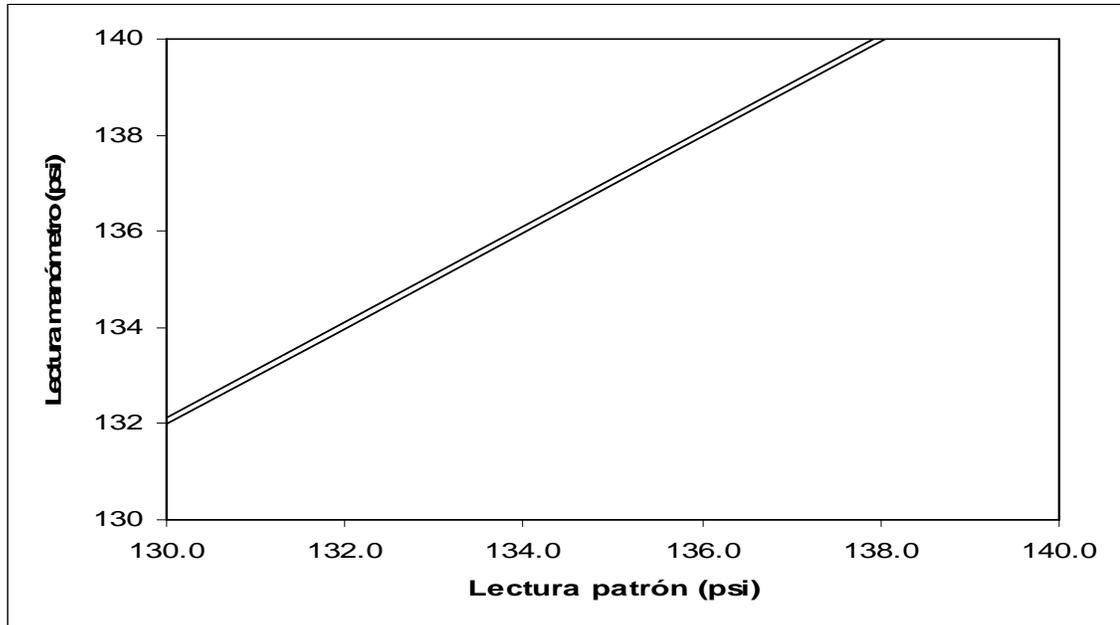
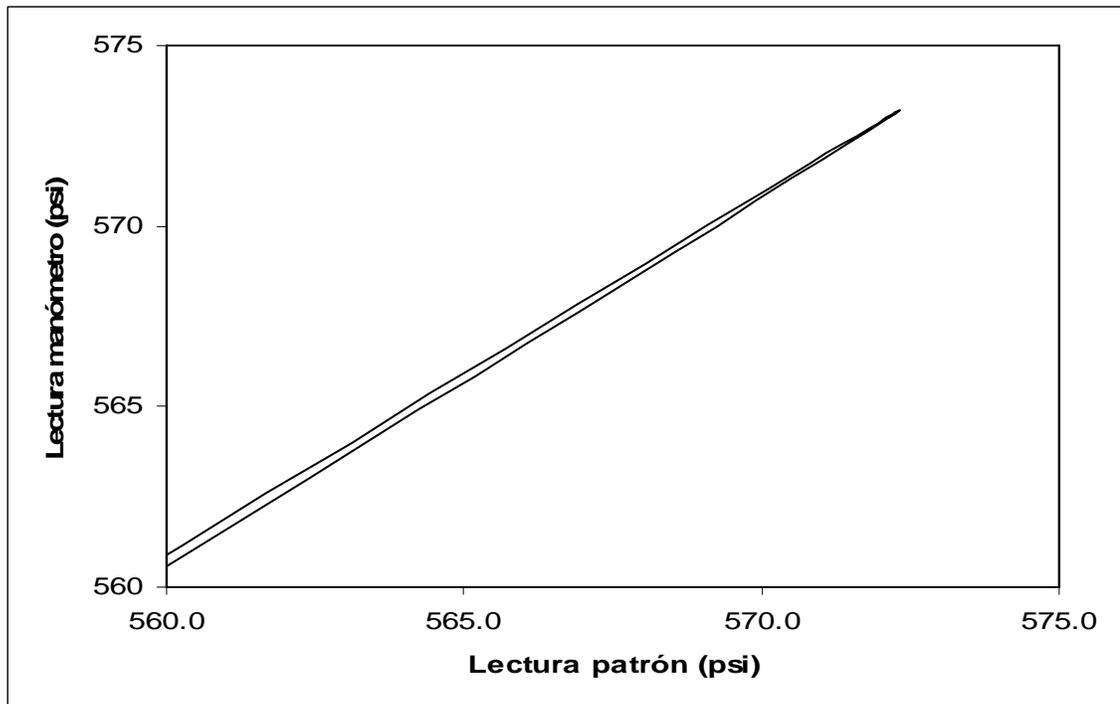


Figura 22. Histéresis del manómetro código 04PP0503.



ANEXOS

ANEXO 1. Guía de Recepción e Identificación de Instrumentos de Medición.

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICION

1. DESCRIPCIÓN

Éste instructivo se utiliza para la recepción e identificación de instrumentos de medición pertenecientes a la empresa. Todos los equipos deben estar identificados con una etiqueta que permita conocer el tipo de instrumento.

2. SECUENCIA:

El orden de ejecución es la siguiente:

1. El Supervisor de Metrología es informado por el Gerente de Ingeniería de la necesidad de identificar un instrumento de medición perteneciente a la empresa.
2. Supervisor de Metrología asigna el código de identificación interna del instrumento de medición, de la siguiente forma:
 - 2.1 La identificación interna esta compuesto por dos (2) letras y seis (6)

números como máximo, así:

04 - XX - ## - ##

1era. Posición ocupada por los números “04” que identifican el área encargada de la identificación de los equipos, en este caso Metrología.

2da. Posición ocupada por las letras que identifican el parámetro que mide el instrumento, siendo las siguientes:

MM: masa

TT: temperatura

LL: longitud.

EE: equipo especial.

HH: humedad.

IS: intensidad de sonido.

IL: intensidad luminosa.

PP: presión.

EL: electricidad.

AA: medida angular.

Nota. Los equipos designados especiales, pueden tener más de un parámetro de medición, o algún mensurando no certificado.

3era. Posición es ocupada por dos (2) números indican un correlativo único que identifica a cada equipo con el tipo de mensurando que mide.

4ta. Posición es ocupada por dos (2) números que indican la

cantidad acumulativa del instrumento de medición.

Nota: Aquellos equipos identificado I.R son los equipos usados como instrumento de referencia.

2.2 Si el Instrumento de Medición viene calibrado por alguna institución externa, se identifica el certificado que esta institución asignó a este.

2.3 Si el Instrumento de Medición no viene Calibrado, el Supervisor de Metrología ejecuta la calibración respectiva conforme la Guía de Calibración.

2.4 Además de este código, si se diera el caso de que existiera más de uno, se le asigna un correlativo para ubicarlo.

2.5 Es necesario colocar en la identificación el certificado que posee cada equipo y la fecha de vencimiento de cada calibración.

2.6 Se hará distinción en la identificación si es un equipo de clase 1, 2 ó 3.

2.7 Estos códigos se resumen en el registro.

3. Los equipos se deberán de identificar físicamente con una etiqueta de Instrumento de Medición que indique los datos explicados anteriormente.

4. Aquellos equipos que no necesiten calibración se deberán de identificar con una etiqueta de Instrumento de Referencia; esto son los designados por el nivel 3.

ANEXO 2. Registro de certificados de calibración.

LOGO DE LA EMPRESA

CÓDIGO DE REGISTRO

PERÍODO DE VIGENCIA:

REGISTRO DE CERTIFICADO DE CALIBRACIONES

PRESIÓN					
No.	CÓDIGO	FECHA DE EMISIÓN	TIPO DE CLIENTE	INCERTIDUMBRE	CALIBRADO POR
1					
2					
3					
4					
...					

TEMPERATURA					
No.	CÓDIGO	FECHA DE EMISIÓN	TIPO DE CLIENTE	INCERTIDUMBRE	CALIBRADO POR
1					
2					
3					
4					
...					

AUTORIZADO POR

REVISADO POR

ANEXO 3. Validaciones de lotes de equipos de medición.

LOGO DE LA EMPRESA

CÓDIGO DE REGISTRO

PERÍODO DE VIGENCIA:

REGISTRO DE VALIDACIONES DE LOTES DE EQUIPOS DE MEDICIÓN

PRESIÓN					
No.	CÓDIGO	FECHA DE EMISIÓN	TIPO DE CLIENTE	EQUIPOS POR LOTE	CALIBRADO POR
1					
2					
3					
4					
...					

TEMPERATURA					
No.	CÓDIGO	FECHA DE EMISIÓN	TIPO DE CLIENTE	EQUIPOS POR LOTE	CALIBRADO POR
1					
2					
3					
4					
...					

AUTORIZADO POR

REVISADO POR

IDENTIFICACION DE LA EMPRESA

Registro	R-GI-04-03
Ultima Revisión	15/03/2004

LISTADO DE EQUIPOS DE LABORATORIO DE LA EMPRESA XXX

Nº	Descripcion	Codigo	Marca	Modelo/Serie	Intervalo	Resolución	Nivel	Calibración Tipo
1	Anemómetro	04-EE-05-01	TSI	VCP 8386/40045	0 a 9999 ft/mi	1ft/min (0,1m/s)	1	Externo
....				8386 / 40045	exactitud +/-1,5% a 2000 ft/min (10,16 m/s)			
17	Manómetro SecundarioAlta Presión	04-PP-02-01	Check Mate 600	23415P / 10002405	0 - 1000 psi	*	2	Externo
18	Manómetro SecundarioBaja Presión	04-PP-02-02	Check Mate 600	23415P / 19502586	0 - 300 psi	*	2	Externo
19	Manómetro general planta	04-PP-03-xx	N.A	N.A	N.A	N.A	2	Interno
20	Manómetro Patrón	04-PP-01-01	Pendiente de compra				1	Externo
....								
35	Sensores de alta presión	04-PP-04-01	Data Instrument	No legible.	0 - 500 psi	*	2	Interno
36	Sensores de alta presión	04-PP-04-02	Data Instrument	No legible.	0 - 500 psi	*	2	Interno
37	Sensores de alta presión	04-PP-04-03	Data Instrument	No legible.	0 - 1000 psi	*	2	Interno
38	Sensores de baja Presión	04-PP-05-01	Data Instrument	PN: 9305921	0 - 250 psi	*	2	Interno
39	Sensores de baja Presión	04-PP-05-02	Data Instrument	PN: 9305921	0 - 250 psi	*	2	Interno
40	Sensores de baja Presión	04-PP-05-03	Data Instrument	PN: 9305922	0 - 300 psi	*	2	Interno
41	Sensores de Temperatura	04-TT-03-01	Analog Divices	Telecon	-10°C - 50°C	1°C/°F	2	Interno
42	Sensores de Temperatura	04-TT-03-02	Analog Divices	Telecon	-10°C - 50°C	1°C/°F	2	Interno
43	Termómetro de Mercurio	04-TT-04-xx	Fisherbrand	14-985-5C	-20°C - 150°C	1°C	2	Interno
44	Termometro Digital	04-TT-05-01	Omega	HH41	-20 a 130 C	0.01 C	2	Interno
45	Termómetro Patrón	04-TT-06-01	Hart Scientific /	1502A / 98834/509648	*	*	1	Externo
46	Termopar	04-EE-06-01	Omega	TH0	-30° - 250°C	0,1°C	2	Interno
47	Termopar	04-EE-06-02	Omega	TH1	-30° - 250°C	0,1°C	2	Interno

Vm Varias mediciones

Na. No aplica

ANEXO 5. Historial de vigencia de calibraciones.

REGISTRO DE HISTORIAL DE VIGENCIA DE CALIBRACIONES

TEMPERATURA

No. Informe	TIEMPO	INCERTIDUMBRE (°C)		ERROR (°C)	n certidumbre (°C)
		Máximo (°C)	Mínimo (°C)		
EE06TG0105-1	Ene-05	-0.63	-1.57	-1.1	0.47
EE06TG0505-1	May-05	-0.18	-1.42	-0.8	0.62
EE06TG0905-1	Sep-05	0.98	0.42	0.7	0.28
EE06TG1205-1	Dic-05	0.86	0.34	0.6	0.26

REGISTRO DE HISTORIAL DE VIGENCIA DE CALIBRACIONES

PRESIÓN

No. Informe	TIEMPO	INCERTIDUMBRE (PSI)		ERROR (PSI)	Incertidumbre (PSI)
		Máximo (PSI)	Mínimo (PSI)		
PP04TG0105-1	Ene-05	15.96	4.04	10	5.96
PP04TG0405-1	Abr-05	4.77	1.43	3.1	1.67
PP04TG0905-1	Sep-05	4.65	1.75	3.2	1.45
PP04TG1205-1	Dic-05	5.3	0.3	2.8	2.5

IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Registro	R-GI-04-05
Ultima Revisión	06-Feb-04

LISTA DE CHEQUEO DE CALIBRACIÓN

N	Descripcion	Codigo	Marca	Identificado		Prox. Calib.
				Si	No	
1						
...						
16	Manómetro SecundarioAlta Presión	04-PP-02-01	N.A			
17	Manómetro SecundarioBaja Presión	04-PP-02-02	Check Mate 600			
18	Manómetro general planta	04-PP-03-xx	Check Mate 600			
19	Manómetro Patrón	04-PP-01-01	Pendiente de compra			
34	Sensores de alta presión	04-PP-04-01	Data Instrument			
35	Sensores de alta presión	04-PP-04-02	Data Instrument			
36	Sensores de baja Presión	04-PP-05-01	Data Instrument			
37	Sensores de baja Presión	04-PP-05-02	Data Instrument			
38	Sensores de Temperatura	04-TT-03-xx	Analog Divices			
39	Termómetro de Mercurio	04-TT-04	Fisherbrand			
40	Termometro Digital	04-TT-05-01	Omega			
41	Termómetro Patrón	04-TT-06-01	Hart Scientific /			
42	Termopar	04-EE-06-xx	Omega			

Fuente: Datos de la empresa en estudio.