

**DOCUMENTACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS Y
ORGANIZACIONALES DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE PRESIÓN
BAJO LA NORMA ISO/IEC 17025**

**DOCUMENTACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS Y
ORGANIZACIONALES DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE PRESIÓN
BAJO LA NORMA ISO/IEC 17025**

DIRECTOR DEL PROYECTO:

MsC. Nancy Stella Páez Araque

REALIZADO POR:

Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

000070494

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2011

**DOCUMENTACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS Y
ORGANIZACIONALES DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE PRESIÓN
BAJO LA NORMA ISO/IEC 17025**

ÁLVARO FERNANDO AGUILAR JIMÉNEZ

**Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero Electrónico**

Directora:

MsC. Nancy Stella Páez Araque

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA**

2011

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

A mis padres Zoraida y Álvaro, quienes han puesto en este largo proceso universitario una gran dedicación y esfuerzo por este logro. Con su paciencia y amor sin importar las condiciones. A ellos dedico este resultado como producto de la creencia en mis capacidades y por ser los grandes maestros de quienes se sigue aprendiendo por todo el recorrido de vida.

A ellos GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

Expreso un enorme agradecimiento hacia un gran grupo que se involucró con este objetivo que quise desarrollar, y son todas aquellas personas que de manera positiva influyeron en la puesta en marcha de este trabajo de documentación, con satisfacciones finales.

Al grandioso apoyo sentimental de Elena, una motivación que hace posible el éxito de cada cosa que me propongo y una inmejorable esposa para cada situación de mi vida. De igual manera, con el ofrecimiento de una dedicación importante a mi crecimiento personal y excelente hermana Alba, con la que cuento desde cualquier lugar del mundo. No menos importantes mis dos otros apoyos fraternales con los que he compartido los mejores momentos de la vida en crecimiento, Jhancy mi ejemplo personal, que me demuestra la forma correcta de combinar el amor con el intelecto sin dejar de ser la hermana que no se desea abandonar jamás. A Jimena la menor pero más grande hermana en todo, le agradezco todo el corazón que me ha puesto cuando necesito de su compañía y a mis padres, a los que nunca descansaría de agradecer esa inexplicable forma de hacer las cosas bien por los hijos, son ellos mismos quienes crean un gran orgullo por la vida.

Al excelente grupo de profesores de la facultad de ingeniería electrónica UPB, quienes construyeron las bases sólidas para mi progreso. A mi directora Nancy quien puso toda su confianza en mí, con ayudas inmejorables durante el proceso construido junto a su excelente conocimiento. A Juan Carlos Mantilla por su generosa disposición al ofrecerme una confiable ayuda para lograr este trabajo. Al profesor Fabio Guzmán por ser una guía durante el proceso de formación universitaria y su apoyo durante el progreso de esta investigación.

Y al resto de personas indispensables en todo este camino que se disfruta solo con la ayuda de ellos como son Cesar Álvarez, Mauricio Martínez, Daniel, Carrillo, Carlos, Moni, Alarcón, Natiko, Soni, etc.

DOCUMENTACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS Y ORGANIZACIONALES DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA DE PRESIÓN BAJO LA NORMA ISO/IEC 17025

RESUMEN

AUTOR

Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

DIRECTOR

Nancy Stella Páez Araque

FACULTAD

Ingeniería Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana

PALABRAS CLAVES:

Calibración, incertidumbre, manómetro, presión, metrología, laboratorio, procedimientos técnicos

Este proyecto ha sido desarrollado con el objetivo de dar a conocer de una forma didáctica, todo el procedimiento técnico y administrativo que debe cumplirse al realizar una calibración de manómetros tipo Bourdon dentro de un laboratorio de metrología. La guía principal que se ha tomado como base en la realización de esta documentación ha sido la norma técnica internacional NTC/ISO/IEC 17025, si bien se han estudiado otras normas que sirven como complemento a ésta. La intención primordial del trabajo era ofrecer una recopilación y síntesis de las normas más relevantes que suelen aplicarse al proceso de calibración de presión. De este modo se pretendía que el interesado adquiriera conocimientos suficientes para poder elaborar un certificado de calibración completo, así como también un Manual de Gestión de Calidad dentro de un laboratorio de metrología. De esta manera se pretende lograr que cualquier laboratorio pueda seguir las pautas recomendadas y así obtener su acreditación. Por ello se ha propuesto la creación de un laboratorio de estas características en la Universidad Pontificia Bolivariana, considerando incluso el presupuesto que sería necesario obtener para su montaje.

En primer lugar, se han dado a conocer las expresiones recomendadas por el vocabulario internacional de metrología con la intención de describir en detalle y de manera completa todos los pasos que deben seguirse en el proceso de calibración de la variable presión en un laboratorio. El manómetro específico que hemos elegido ha sido el de tipo Bourdon, ya que es uno de los más utilizados a nivel industrial por su fiabilidad y buenos resultados.

Las fuentes que se han utilizado durante este proceso (instituciones, universidades, expertos y documentos), han permitido que la información recopilada constituya una selección básica e indispensable a la hora de realizar una correcta calibración. De este modo el trabajo que se presenta ofrece una guía fundamental para el desarrollo metrológico de presión hasta el punto de que cualquier interesado en el proceso pueda elaborar un certificado de calibración que satisfaga los requerimientos internacionales.

DOCUMENTATION OF THE TECHNICAL AND ORGANIZATIONAL PROCEDURES OF A LABORATORY OF PRESSURE'S METROLOGY UNDER THE NORM ISO/IEC 17025

ABSTRACT

AUTHOR

Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

DIRECTOR

Nancy Stella Páez Araque

FACULTY

Electronic Engineering, University Pontificia Bolivariana

KEY WORDS:

Calibration, uncertainty, gauge, pressure, metrology, laboratory, technical procedures

The aim of this project is to show in a didactic manner all the technical and administrative process that must be done in a laboratory of metrology to make a proper calibration with a Bourdon's gauge. The international technical norm NTC/ISO-IEC 17025 has been taken as the base for the whole documentation, although other norms have been also considered as a complement of this one. The principal objective of this project was to offer a complete compilation and summary of the most important norms that are usually applied to the calibration of the pressure. With this information any interested in this process could acquire enough knowledge to elaborate a complete calibration's certificate at the same time that gets a Manual of Quality's procedure in a metrology laboratory. It was also projected that any laboratory could achieve a proper calibration following the recommended steps that are explained to obtain their accreditation. That's why it has been proposed the creation of a laboratory of these properties in the University Bolivarian Pontifical, offering even an estimate budget that would be needed to construct it.

Firstly, it has been given the recommended expressions of the international metrology's vocabulary with the objective of describing in detail and in a complete way all the steps that must be followed in the process of calibration of the pressure variable in a laboratory. The specific pressure gauge that has been chosen was the type known as Bourdon

because it is one of the most used in an industrial level for his reliability and his good results.

The sources that have been used during this procedure (institutions, universities, experts and documents) have allowed that the compiled information constitutes a basic and indispensable selection to make a proper calibration. Therefore this project offers an essential guide to the metrological development of the pressure to the point that any interested in the procedure would be able to elaborate a certificate of calibration that satisfy the international requirements.

INTRODUCCIÓN GENERAL

En la actualidad, la metrología juega un papel muy importante tanto en la industria como en el campo del comercio mundial, siendo ésta una ciencia que nace desde el comienzo de la humanidad y que hasta ahora en Colombia está tomando relevancia por la necesidad de apertura económica.

Esta propuesta quiere sembrar desde la academia el conocimiento metrológico a los futuros profesionales, para ofrecerles un mayor rango de aplicación a la carrera de ingeniería electrónica en cualquier industria, como base fundamental de desarrollo económico de un país y para comprender gran parte de la necesidad académica de nuestras facultades.

Una gran motivación para el desarrollo de este trabajo, ha sido la preocupación de ofrecer un documento que permanezca dentro de la Universidad Pontificia Bolivariana y que reúna todo lo concerniente al tema de metrología, haciendo enfoque en la calibración de la variable presión y que pueda ser consultado fácilmente por un grupo heterogéneo de interesados en esta investigación.

Al ver la necesidad de aplicar múltiples conocimientos en un laboratorio de nuestra facultad de Ingeniería Electrónica, nace la idea de realizar este proyecto con la intención de que en un futuro sea incluido dentro de una planeación académica que nos prepare para un desarrollo real de las necesidades laborales y nos forme como ingenieros íntegros, para ir emergiendo paulatinamente a este país en el que vemos grandes posibilidades de progreso, adaptándonos a las normas que ya otros países más avanzados y preocupados por la estandarización de interpretaciones de medidas nos han sugerido por su gran experiencia.

La variable presión es clave en un país con una marcada necesidad de desarrollo como Colombia. Es muy importante la correcta calibración de los instrumentos de trabajo en las industrias tales como en el sector petrolero, en las clínicas y centros médicos, en las empresas fabricantes de alimentos, llantas, productos farmacéuticos y químicos, sector de la construcción, metalmecánica, aeronáutica y laboratorios de pruebas y ensayos en donde la medición es importante y pueda contribuir positivamente al sector financiero y de progreso.

En el estudio que tiene que ver con la metrología a nivel general todavía hay un gran campo por explorar y dar a conocer. Asimismo, se requiere implantar las normativas correctas que regulan la estandarización metrológica. Falta tanto que las industrias inviertan un poco en el conocimiento e implementación de las adecuadas formas de calibración de manera autónoma (pero calificada por agentes cada vez más cercanos al superior internacional situado en Francia BIPM), como que también la academia, con una mayor preocupación por intercambiar el conocimiento que existe entre universidades, institutos encargados, empresas y centros de investigación que llevan varios años de experiencia en el sector de la calibración, aproveche adecuadamente y de forma colaborativa el lenguaje técnico que se utiliza con el fin de mejorar y asegurar una adecuada interpretación entre entes que están ligados para un mejor entendimiento metrológico.

Afortunadamente existen excelentes fuentes de información e institutos dispuestos a ofrecer sus aportes de conocimiento, a fin de establecer una expansión del valioso recurso educativo. Obtener documentación calificada exige una dedicación completa. El acceso a algunas fuentes tiene un costo, a otras es limitado y para obtener algunas se necesita una completa capacitación. Sin embargo, viendo el avance tecnológico y de desarrollo que hemos logrado a lo largo de los últimos años, nos damos cuenta de las capacidades y las ganas que se tienen para salir del letargo en el que no merecemos permanecer. Porque

aunque siempre hayan existido intereses creados para que nuestro país continúe en un escaso estado de desarrollo, son más fuertes las ganas de salir adelante, como se han venido logrando desde nuestras instituciones educativas, quienes tienen grandes capacidades y brindan inmensas oportunidades para nuestros buenos investigadores.

Por muchas razones es que notamos cómo podemos lograr que la historia de la metrología cambie drásticamente en nuestra vida como colombianos y haga parte de una formación bien guiada por nosotros mismos, que tenemos los recursos gracias al avance tecnológico y de comunicación que se ha logrado recientemente. Gracias a esto y a que expertos en el tema van influenciando positivamente en nuestra visión de las necesidades reales de progreso, pronto estaremos a niveles universales de competencia.

ABREVIATURAS

VARIABLES

M1...M6: Series de medición

max.load: Valor más alto del rango de calibración

Y: Cantidad de salida

X: Valor determinado de la cantidad de entrada

δX : Desviación de medición desconocida

K: Factor de corrección

x: Estimación de la cantidad de entrada

y: Estimación de cantidad de salida

c: Coeficiente de sensibilidad

k: Factor de expansión

α : Ancho-medio de una distribución

P: Probabilidad

E[...]: Valor esperado

u: Incertidumbre estándar

U: Incertidumbre expandida

w: Incertidumbre relativa estándar

W: Incertidumbre relativa expandida

p: Presión

Δp : Desviación sistemática de medida de la cantidad de presión

δp : Desviación desconocida de medición de la cantidad de presión

S: Coeficiente de transmisión (de transductor de presión)

- ΔS : Desviación sistemática del coeficiente de transmisión para valoración numero-sencillo ($DS=S-S'$)
- V: Voltaje
- G: Factor de amplificación
-
- r: Resolución
- f_0 : Desviación cero
- b' : Repetibilidad
- b : Reproducibilidad
- h : Histéresis
-
- U' : Error spam
- W' : Error spam relativo
-
- S' : Pendiente de una función de regresión lineal
-
- P_e : Presión excesiva
- m: Masa de masas cargadas
- g: Aceleración de la gravedad
- ρ : Densidad
- A: Sección transversal eficaz del sistema de pistón-cilindro
- λ : Coeficiente de deformación del sistema pistón-cilindro
- α : Coeficiente de expansión térmica lineal del pistón
- β : Coeficiente de expansión térmica lineal del cilindro
- t: Temperatura del sistema pistón-cilindro
- h : Diferencia entre los niveles de presión del instrumento de referencia y el instrumento calibrado

INDICES

| | |
|--------------|--|
| Supply: | Tensión de alimentación |
| j: | Números de puntos de medida |
| m: | Números de series de medida |
| n: | Número de ciclos de medida |
| a: | Aire |
| F1: | Media |
| m: | Carga de masa |
| 0: | Condiciones de referencia $t=20^{\circ}\text{C}$ |
| ref: | condiciones de referencia |
| cond of use: | condiciones de uso |
| corr: | corrección (de valores de medición) |

VOCABULARIO

Este vocabulario ha sido basado con la versión del vocabulario Internacional de Metrología Conceptos Fundamentales y Generales, y Términos Asociados (VIM), primera edición en español 2008

MEDICIONES

- ❖ **CADENA DE TRAZABILIDAD METROLÓGICA:** Sucesión de patrones y calibraciones que relacionan un resultado de medida con una referencia.

- ❖ **CALIBRACIÓN:** Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación, puede ser expresada mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración.

- ❖ **COMPARABILIDAD METROLÓGICA DE RESULTADOS DE MEDIDA:** Comparabilidad de resultados de medida, para magnitudes de una naturaleza dada, que son metrológicamente trazables a la misma referencia.

- ❖ **COMPATIBILIDAD METROLÓGICA DE RESULTADOS DE MEDIDA:** Propiedad de un conjunto de resultados de medida de un mensurando específico, tal que el valor absoluto de la diferencia de los valores medidos, para cualquier par de resultados

de medida, sea inferior a un cierto múltiplo seleccionado de la incertidumbre típica de esta diferencia.

- ❖ **CONDICIÓN DE PRECISIÓN INTERMEDIA DE UNA MEDICIÓN:** Condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medición, el mismo lugar y mediciones repetidas del mismo objeto u objetos similares durante un periodo amplio de tiempo, pero que puede incluir otras condiciones que involucren variaciones

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

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

- ❖ **CONTRIBUCIONES A LA INCERTIDUMBRE:** Declaración de una incertidumbre de medida y las componentes de esa incertidumbre, junto con su cálculo y combinación.

- ❖ **CORRECCIÓN:** Compensación de un efecto sistemático estimado.

- ❖ **DERIVA:** variación lenta de una característica metrológica de un instrumento de medición.

- ❖ **ERROR ALEATORIO DE MEDIDA:** Componente del error de medida que, en mediciones repetidas, varía de manera impredecible, el valor de referencia es la medida que se obtendrá de un número infinito de mediciones repetidas del mismo medido.

- ❖ **ERROR DE MEDIDA:** Diferencia entre un valor de una magnitud y un valor de referencia, puede ser empleado cuando exista un único valor de referencia o cuando el medido se supone representado por un valor verdadero único o por conjunto de valores.

- ❖ **ERROR SISTEMÁTICO DE MEDIDA:** Componente del error de medida que, en mediciones repetidas, permanece constante o varía de manera predecible, su valor de referencia es un valor verdadero, un valor medido de un patrón cuya incertidumbre de medida es despreciable o un valor convencional.

- ❖ **ESTABILIDAD:** Aptitud de un instrumento de medición para mantener constante en el tiempo sus características metrológicas.
- ❖ Nota: cuando la estabilidad es considerada con respecto a otra magnitud que no sea el tiempo, debe ser especificada.

- ❖ **EXACTITUD DE MEDIDA:** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando

- ❖ **EXACTITUD DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:** aptitud de un instrumento de medición para entregar respuestas cercanas al valor verdadero.
Nota: "Exactitud" es un concepto cualitativo.

- ❖ **FACTOR DE COBERTURA:** Número mayor que uno por el que se multiplica una incertidumbre típica combinada para obtener una incertidumbre expandida.

- ❖ **FUNCIÓN DE MEDICIÓN:** Función de magnitudes cuyo valor es un valor medido de la magnitud de salida en el modelo de medición, cuando se calcula mediante los valores conocidos de las magnitudes de entrada en el modelo de medición.

- ❖ **INCERTIDUMBRE DEBIDA A LA DEFINICIÓN:** Componente de la incertidumbre de medida resultante de la falta de detalles en la definición del mesurado, cualquier variación de los detalles descriptivos del mesurado conduce a otra incertidumbre debida a la definición.

- ❖ **INCERTIDUMBRE DE MEDIDA:** Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mesurado, a partir de la información que se utiliza, incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición.

- ❖ **INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DE MEDIDA:** Producto de una incertidumbre típica combinada y un factor mayor que uno.

- ❖ **INCERTIDUMBRE TÍPICA COMBINADA DE MEDIDA:** Incertidumbre típica obtenida a partir de las incertidumbres típicas individuales asociadas a las magnitudes de entrada de un modelo de medición.

- ❖ **INCERTIDUMBRE TÍPICA DE MEDIDA:** Incertidumbre de medida expresada con una desviación típica.

- ❖ **INCERTIDUMBRE TÍPICA RELATIVA DE MEDIDA:** Cociente entre la incertidumbre típica y el valor absoluto del valor medido.

- ❖ **INCERTIDUMBRE OBJETIVO:** Incertidumbre de medida especificada como un límite superior y elegida en base al uso previsto de los resultados de medida.

- ❖ **INTERVALO DE COBERTURA:** Intervalo que contiene el conjunto de valores verdaderos de un mesurado con una probabilidad determinada, basada en la información disponible, no necesita estar centrado en el valor medido elegido.

- ❖ **JERARQUÍA DE CALIBRACIÓN:** Secuencia de calibraciones desde una referencia hasta el sistema de medida final, en el cual el resultado de cada calibración depende del resultado de la calibración precedente, la incertidumbre de medida va aumentando necesariamente a lo largo de la secuencia de calibraciones, los elementos de una jerarquía de calibración son patrones y sistemas de medida utilizados según procedimientos de medida.

- ❖ **MAGNITUD DE INFLUENCIA:** Magnitud que, en una medición directa, no afecta a la magnitud que realmente se está midiendo, pero sí afecta a la relación entre la indicación y el resultado de medida.

- ❖ **MEDICIÓN:** Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud, no son de aplicación a propiedades cualitativas

- ❖ **MESURADO:** Magnitud que se desea medir, requiere del conocimiento de la naturaleza y la descripción del estado del fenómeno, cuerpo o sustancia cuya magnitud es una propiedad

- ❖ **MÉTODO DE MEDIDA:** Descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición.

- ❖ **METROLOGÍA:** Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, junto a sus aspectos teóricos y prácticos.

- ❖ **MODELO DE MEDICIÓN:** Relación matemática entre todas las magnitudes conocidas que intervienen en una medición.

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

- ❖ **PRECISIÓN INTERMEDIA DE MEDIDA:** Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de precisión intermedia.

- ❖ **PRINCIPIO DE MEDIDA:** Fenómeno que sirve como base de una medición.

- ❖ **PROBABILIDAD DE COBERTURA:** Probabilidad de que el conjunto de los valores verdaderos de un mensurando esté contenido en un intervalo de cobertura especificado.

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

- ❖ **PROCEDIMIENTO DE MEDIDA DE REFERENCIA:** Procedimiento de medida de referencia utilizado para obtener un resultado de medida, independientemente de cualquier patrón de medida de una magnitud de la misma naturaleza.

- ❖ **PROCEDIMIENTO DE MEDIDA PRIMARIO:** Procedimiento de medida de referencia utilizado para obtener un resultado de medida, independientemente de cualquier patrón de medida de una magnitud de la misma naturaleza.

- ❖ **REPETIBILIDAD DE MEDIDA:** Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad.

- ❖ **REPRODUCIBILIDAD DE MEDIDA:** Precisión de medida bajo un conjunto de condiciones de reproducibilidad.

- ❖ **RESOLUCIÓN (DE UN DISPOSITIVO INDICADOR:** Menor diferencia entre indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguida significativamente.
 Nota: para un dispositivo indicador digital es el cambio en la indicación cuando el dígito menos significativo cambia en un paso.

- ❖ **RESULTADO DE MEDIDA:** Conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mesurado, acompañados de cualquier otra información relevante disponible.

- ❖ **SENSIBILIDAD:** Cambio en la respuesta de un instrumento de medición dividido por el correspondiente cambio en el estímulo.
Nota: la sensibilidad puede depender del valor del estímulo

- ❖ **SESGO DE MEDIDA:** Valor estimado de un error sistemático.

- ❖ **TIEMPO DE RESPUESTA:** intervalo de tiempo entre el instante en que es provocado un cambio brusco en el estímulo y el instante en que la respuesta alcanza y se mantiene dentro de límites especificados, próximos a su valor final estable.

- ❖ **TRANSPARENCIA:** aptitud de un instrumento de medición de no modificar la magnitud a medir.

- ❖ **TRAZABILIDAD METROLÓGICA:** Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida, Requiere de una jerarquía de calibración establecida.

- ❖ **TRAZABILIDAD METROLÓGICA A UNA UNIDAD DE MEDIDA:**
Trazabilidad metrológica en la que la referencia es la definición de una unidad de medida mediante su realización práctica.

- ❖ **VALIDACIÓN:** Verificación de que los requisitos especificados son adecuados para un uso previsto.

- ❖ **VALOR CONVENCIONAL DE UNA MAGNITUD:** Valor asignado a una magnitud, mediante un acuerdo, para un determinado propósito.

- ❖ **VALOR MEDIDO DE MAGNITUD:** Valor de una magnitud que representa un resultado de medida.

- ❖ **VALOR VERDADERO DE UNA MAGNITUD:** Valor de una magnitud compatible con la definición de la magnitud.

- ❖ **VERACIDAD DE MEDIDA:** Proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

- ❖ **VERIFICACIÓN:** Aportación de evidencia objetiva de que un elemento satisface los requisitos especificados.

- ❖ **ZONA MUERTA:** Máximo intervalo a través del cual un estímulo puede cambiar en ambas direcciones sin producir cambios en la respuesta del instrumento de medición.

Notas:

- i. La zona muerta puede depender de la velocidad de cambio.
- ii. La zona muerta, en ocasiones, se hace deliberadamente grande para prevenir el cambio en la respuesta a pequeños cambios en el estímulo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar la documentación de los procedimientos técnicos, organizacionales en la calibración de medidores de presión, siguiendo el vocabulario y la normatividad metrológica vigente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Dar a conocer las nociones básicas de metrología en la variable presión, así como las condiciones adecuadas para la conservación los patrones de medición y los requerimientos técnicos necesarios para asegurar la calidad de las calibraciones con base en la norma NTC/ISO/IEC 17025.
- Realizar una descripción completa del procedimiento de calibración con la variable presión para diferentes instrumentos de medición incluyendo la expedición del certificado de calibración.
- Generar un modelo didáctico de calibración y estimación de la incertidumbre de sensores de presión, a nivel de práctica de laboratorio que cumpla con la norma NTC/ISO/IEC 17025.
- Realizar un estimado de costos de los recursos necesarios para el montaje de un laboratorio de metrología de la variable presión.

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | CAPITULO. FUNDAMENTOS DE METROLOGÍA..... | 32 |
| 1.1 | DEFINICIONES | 32 |
| 1.1.1 | Metrología: | 32 |
| 1.1.2 | ASEGURAMIENTO METROLÓGICO:..... | 35 |
| 1.2 | HISTORIA Y ANTECEDENTES..... | 35 |
| 1.2.1 | ASPECTOS GENERALES DEL MARCO LEGAL..... | 36 |
| 1.2.2 | ESTADO DE LA TECNOLOGÍA EN COLOMBIA | 37 |
| 1.3 | SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES..... | 38 |
| 1.4 | INTRUMENTOS DE MEDICIÓN..... | 39 |
| 1.4.1 | Manómetros de tubo en forma de “U”..... | 40 |
| 1.4.2 | Medidor de peso muerto | 41 |
| 1.4.3 | Medidor tipo Diafragma..... | 41 |
| 1.4.4 | Medidor tipo Fuelle | 42 |
| 1.4.5 | Tubo de Bourdon..... | 43 |
| 1.4.6 | Dispositivos de cable resonante..... | 45 |
| 1.4.7 | Medidor de termopar (Mediciones de presiones bajas) | 46 |
| 1.4.8 | Medidor de Pirani..... | 47 |
| 1.4.9 | Medidor de McLeod..... | 48 |
| 1.4.10 | Medidor de ionización..... | 49 |
| 1.5 | CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS SENSORES DE PRESIÓN | 50 |
| 1.5.1 | Instrumentos que miden la presión..... | 50 |
| 1.5.2 | Factores de conversión para unidades de presión | 51 |
| 2 | GUIAS, PROTOCOLOS Y NORMATIVIDAD PARA LA METROLOGÍA | 52 |
| 2.1 | Norma técnica colombiana NTC-ISO/IEC 17025..... | 52 |
| 2.2 | Norma técnica colombiana NTC 2263..... | 54 |
| 2.3 | Guía de calibración de manómetros de presión DKD-R 6-1..... | 55 |
| 2.4 | Guía para estimar la incertidumbre de la medición GTC-51..... | 55 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 2.5 | Guía para la determinación de intervalos de calibración en instrumentos de medición ILAC-G24..... | 56 |
| 2.6 | Vocabulario internacional de metrología VIM, JCGM 200..... | 56 |
| 3 | CAPITULO. CONDICIONES PARA EL PROCESO DE CALIBRACIÓN..... | 58 |
| 3.1 | Clasificación de los manómetros..... | 62 |
| 3.1.1 | El rango..... | 62 |
| 3.1.2 | La clase..... | 64 |
| 3.1.3 | Histéresis | 65 |
| 3.1.4 | Temperatura..... | 66 |
| 3.2 | condiciones para la conservación los patrones de medición..... | 66 |
| 3.3 | Ítem a calibrar | 67 |
| 3.4 | Condiciones ambientales dentro del laboratorio | 68 |
| 3.5 | Otros factores que influyen en la determinación y análisis de incertidumbre | 69 |
| 3.5.1 | Resolución | 69 |
| 3.5.2 | Desviación cero f_0 | 70 |
| 3.5.3 | Repetibilidad b' | 70 |
| 3.5.4 | Reproducibilidad b | 71 |
| 3.6 | Tipos de error..... | 71 |
| 3.6.1 | Error en un punto..... | 71 |
| 3.6.2 | Error colectivo..... | 72 |
| 4 | CAPITULO.ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DE LA GUIA TÉCNICA COLOMBIANA GTC-51 Y CONTRIBUCIONES DE LA DKD-R 6-1..... | 81 |
| 4.1 | Incertidumbre | 81 |
| 4.1.1 | Evaluación de la incertidumbre..... | 82 |
| 4.1.2 | Determinación de la incertidumbre estándar | 85 |
| 4.1.3 | La estimación de la incertidumbre en una medición por medio de un diagrama 96 | |
| 4.1.4 | Ejemplo para el cálculo de incertidumbre de un manómetro de presión tipo Bourdon 98 | |
| 5 | CAPITULO. METROLOGÍA Y CONDICIONES DE CALIBRACIÓN SEGÚN LA NORMA NTC/ISO/IEC 17025..... | 101 |
| 5.1 | Selección de métodos | 102 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.2 | Validación de los métodos..... | 103 |
| 5.3 | La incertidumbre en la medición | 103 |
| 5.4 | Los equipos..... | 104 |
| 5.5 | Trazabilidad | 105 |
| 5.6 | conservación de los patrones..... | 106 |
| 5.7 | Manipulación de los ítems de calibración..... | 107 |
| 5.8 | Garantía de calidad en los resultados de calibración..... | 107 |
| 5.9 | Resultados..... | 108 |
| 5.10 | Aplicación de la norma NTC-ISO-IEC17025 al proceso de calibración de manómetros 109 | |
| 5.10.1 | Manual de gestión de calidad | 110 |
| 6 | CAPITULO. PROCEDIMIENTO PRÁCTICO PARA LA CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS DE TIPO BOURDON..... | 138 |
| 6.1 | Secuencias de calibración..... | 143 |
| 7 | CAPÍTULO. ELABORACIÓN DE UN CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SIMILAR AL EXPEDIDO POR ORGANISMOS ENCARGADOS DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS EN METROLOGÍA..... | 149 |
| 8 | CAPÍTULO.PREGUNTAS MÁS FRECUENTES QUE SE PRESENTAN DURANTE EL ESTUDIO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS EN METROLOGÍA | 157 |
| 8.1 | ¿CON QUE CONTINUIDAD DEBO RECALIBRAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIÓN O PATRONES? | 157 |
| 8.2 | ¿CALIBRAR UN INSTRUMENTO ES DIFERENTE QUE VERIFICARLO? | 158 |
| 8.3 | ¿EN QUE CONSISTE LA DIFERENCIA ENTRE PRESICIÓN Y EXACTITUD?..... | 159 |
| 8.4 | ¿EN QUE CONSISTE LA TRAZABILIDAD?..... | 160 |
| 9 | CAPÍTULO. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LOS RECUSOS NECESARIOS MÁS IMPORTANTES PARA EL MONTAJE DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA EN LA VARIABLE PRESIÓN | 161 |
| 9.1 | TERMO-HIGRÓMETRO MT-242..... | 161 |
| 9.2 | TERMO-HIGRÓMETRO | 162 |
| 9.3 | MANÓMETRO DE BOURDON | 163 |
| 9.4 | MANÓMETRO DE BOURDON | 165 |
| 9.5 | CALIBRADOR MODULAR DE PRESIÓN BETAGAUGUE II | 166 |
| 9.6 | CALIBRADOR DE PRESIÓN BETAGAUGE PI | 168 |
| 9.7 | TERMÓMETRO DIGITAL..... | 169 |

| | | |
|------|---|-----|
| 9.8 | TERMOMETRO DIGITAL..... | 170 |
| 9.9 | BOMBA DE PRESIÓN NEUMÁTICA MECP100..... | 171 |
| 9.10 | KIT BOMBA DE PRESIÓN MECP10K KIT..... | 173 |
| 9.11 | Estimación de costos | 174 |
| 10 | CONCLUSIONES..... | 176 |
| 11 | REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 179 |

1 CAPITULO. FUNDAMENTOS DE METROLOGÍA

1.1 DEFINICIONES

1.1.1 METROLOGÍA:

Aunque aún no exista un acuerdo a cerca de la definición clara que debe darse a la METROLOGÍA por parte de los metrologos, debido a que tiene una gran importancia en todos los campos de nuestra cotidianidad pero con muy poca conciencia de su existencia por parte de las personas, un buen acercamiento a la definición podría darse de esta manera:

“Es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medida y su campo de aplicación” [1].

La metrología se ha organizado de tal forma que se puede clasificar en tres importantes grupos que son:

1. Metrología Legal:

La metrología legal más que una justiciera de las normas, es una protectora de la igualdad de factores entre los miembros de una sociedad que se beneficia con un entendimiento. Se establece una coordinación a nivel internacional por parte de la Organización Internacional de Metrología Legal OIML, también se encarga de estos aspectos otras agrupaciones similares como lo son: Sistema Interamericano de Metrología SIM con su grupo WELMEC (Trabajo en Metrología Legal y la Cooperación Europea en Metrología Legal). La

metrología legal es la parte de la metrología encargada de velar y hacer cumplir normas relacionadas con las mediciones, evitando de esta manera cualquier tipo de competencia desleal entre productor y consumidor, impulsando principios éticos comerciales.

Esta rama de la metrología goza de diversas definiciones por grupos sin llegar a contradicciones como son algunas de las siguientes:

- La OIML define la metrología legal como el conjunto de procedimientos legislativos, administrativos y técnicos, establecidos por las autoridades públicas o en referencia a ellas y puestos en práctica en su nombre con el fin de especificar y asegurar, de forma reglamentaria o contractual, el nivel apropiado de calidad y de credibilidad de las mediciones relativas a los controles oficiales en el comercio, la sanidad, y el medioambiente.
- El Vocabulario Internacional de Metrología Legal, publicado por la misma OIML, la expresa como aquella parte de la metrología relacionada con las actividades que resultan de exigencias reglamentarias y que se aplican a las mediciones, a las unidades de medida, a los instrumentos de medición y a los métodos de medición y que son efectuadas por organismos competentes.
- Según la Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), la metrología legal abarca los campos en los cuales existe un especial interés público en la corrección de los dispositivos de medición y las medidas indicadas.

- Para otro tipo de individuos simplemente *“es aquella parte de la metrología que actúa cuando existe posibilidad de conflicto, particularmente cuando el afectado no tiene las posibilidades o la pericia para evaluar las mediciones”*. [9]

- *Metrología Científica:*

El principal objetivo que busca la metrología científica es acerca de los patrones primarios, su correcta producción y control de mantenimiento, esto generalmente se hace dentro de instituciones encargadas a la investigación o en laboratorios especializados llamados Institutos Nacionales de Metrología y aplicados de acuerdo a cada país. Es una característica de esta parte de la metrología, también alimentar una constante búsqueda de mejores tecnologías, de acuerdo al estudio de teorías que se aplican al control de las mediciones y sus pautas a seguir.

- *Metrología Técnica o Industrial*

La función de la metrología industrial reside en la calibración, control y mantenimiento adecuados de todos los equipos de medición empleados en producción, inspección y pruebas. Esto con la finalidad de que pueda garantizarse que los productos están de conformidad con normas. *“El equipo se controla con frecuencias establecidas y de forma que se conozca la incertidumbre de las mediciones. La calibración debe hacerse contra equipos certificados, con relación válida conocida a patrones, por ejemplo los patrones nacionales de referencia”*. [10]

1.1.2 ASEGURAMIENTO METROLÓGICO:

Corresponde a toda acción emprendida para cumplir los requisitos estipulados en normas propias, nacionales o internacionales, las cuales están dirigidas al desarrollo de la forma que genera más confianza para realizar una medición.

[2]

Un sistema de aseguramiento metrológico (SAM), se toma como la forma que una empresa puede generar *confianza* a sus clientes y al sector comercial, llevando a cabo diferentes actividades y siguiendo las exigencias propuestas por una norma, para producir elementos satisfactorios. Esto se puede lograr creando un diseño que cumpla con el compromiso del vendedor, pero que también pueda lograr un impacto en el medio con las intenciones del productor. Para lograr implantar e implementar con éxito un sistema de aseguramiento metrológico es necesario contar con individuos capacitados que conozcan los puntos reales necesarios de una empresa y no tengan presente algún otro interés individual que perjudique el esfuerzo por la pulcritud. Es indispensable que el personal calificado conozca y se mantenga actualizado a cerca de las normas, el manejo de las variables metrológicas, los instrumentos con su calibración, las normas y demás aspectos importantes.

1.2 HISTORIA Y ANTECEDENTES

- En 1790, a finales de la Revolución Francesa, la Academia de Ciencias de París por encargo de la Asamblea Nacional Francesa presenta la proposición para crear un sistema único de medidas.
- El 20 de mayo de 1875 se adoptó universalmente el Sistema Métrico Decimal mediante el tratado denominado: “La Convención del Metro”.

- En 1875 se crea la Conferencia General de Pesas y Medidas, el Comité y la Oficina de Pesas y Medidas
- En un principio existieron varios sistemas: CGS, MKS, MKSA, MTS.
- En 1948 se selecciona el MKS para su estudio y en 1954 se establece como sistema de medición.
- En 1960 se denomina al MKS como Sistema Internacional de Unidades.
- La Conferencia General de Pesas y Medidas es la máxima autoridad de la metrología científica y es la que aprueba las nuevas definiciones del SI y recomienda a los países que lo integren a sus legislaciones.

1.2.1 ASPECTOS GENERALES DEL MARCO LEGAL

El decreto 2153 de 1992 establece entre las funciones de la División de Protección al Consumidor que se divulgue el Sistema Internacional de Unidades en los diferentes sectores industriales.

El Concejo Nacional de Normas y Calidades a través de la Resolución No. 005 del 3 de abril de 1995 oficializa el uso del SI mediante la Norma Técnica Colombiana NTC 1000 (Metrología Sistema Internacional de Unidades - Cuarta revisión equivalente a la ISO 1000).

1.2.2 ESTADO DE LA TECNOLOGÍA EN COLOMBIA

- En 1905 se promulga la ley 33 "la unidad de pesas y medidas es un elemento de unidad nacional".
- El sistema internacional se hace obligatorio y oficial en Colombia mediante el decreto No. 1731 de 1967 del MDE.

La metrología legal en Colombia es controlada y desarrollada por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y más propiamente en el Centro de Control de Calidad y Metrología (CCCM).

Por la resolución número 140 del 4 de febrero de 1994, por la cual se establece el procedimiento para la acreditación y se regulan las actividades que se realicen dentro del Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología, se le confiere a la SIC: "Establecer, coordinar, dirigir y vigilar los programas nacionales de control industrial de calidad, pesos, medidas y metrología que considere indispensables para el adecuado cumplimiento de sus funciones", así como "acreditar y supervisar" [7]:

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

La Ley 489 de 1998 y las normas sobre ciencia y tecnología expresan lo siguiente: “suprímense las funciones de acreditación de la Superintendencia de Industria y Comercio, sin perjuicio del régimen de transición previsto, designase como Organismo Nacional de Acreditación al Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), corporación de carácter privado, de naturaleza mixta, sin ánimo de lucro, constituida mediante documento privado del 20 de noviembre de 2007, debidamente autenticado por la Notaría Sexta de Bogotá”.

Con el fin de tener una infraestructura amplia se crea **REMEC**, que es la Red de Laboratorios de Metrología, en la cual todo laboratorio que realice calibraciones tiene el compromiso de prestar obligatoriamente servicios a quien los solicite sin discriminación alguna.

ASOREMEC, que es la Asociación de la Red de Laboratorios de Metrología, tiene el fin de defender los derechos de los laboratorios de metrología acreditados y participar activamente en el direccionamiento de la metrología en Colombia.

1.3 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Las unidades del SI están basadas en fenómenos físicos fundamentales [3]. Un ejemplo de ello es la definición de **metro**: *longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío en un lapso de 1 / 299 792 458 de segundo (17ª Conferencia General de Pesas y Medidas de 1983).*

La única excepción es la unidad de la magnitud masa, el kilogramo, que está definida como la masa del prototipo internacional del kilogramo o aquel cilindro de platino e iridio almacenado en una caja fuerte de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM).

Las unidades del SI son la referencia internacional de las indicaciones de los instrumentos de medida y a las que están referidas a través de su *trazabilidad*.

1.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Los medidores de presión que existen actualmente son tan extensos que siempre quedaría alguno sin mencionar, dado que cada fabricante produce manómetros con características diferentes o con algunas variaciones en su desempeño, eso sin mencionar una vasta lista de fabricantes a nivel mundial aceptados para la distribución de estos instrumentos.

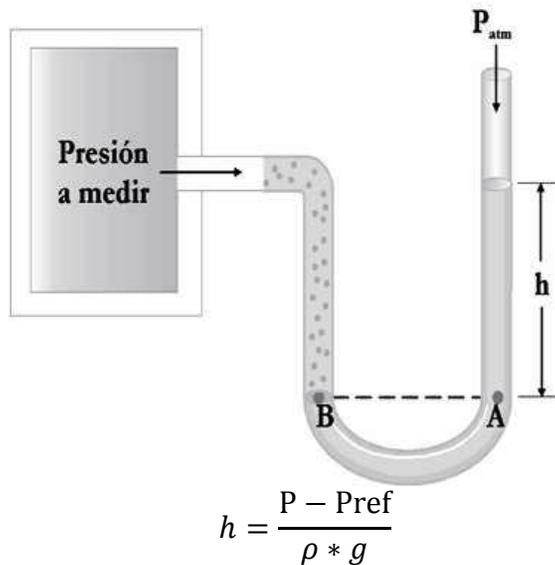
Por esta razón y con el fin de profundizar un poco más el estudio de los dispositivos es necesario acotar la relación de manómetros, buscando a su vez un acercamiento hacia la aplicación de los elementos actuales en nuestras industrias colombianas. Los manómetros que dan motivo a esta documentación tienen características analógicas en la indicación de valores (son también llamados comúnmente manómetros de carátula dentro del dominio en laboratorios de presión), aunque es preciso mencionar la aplicación y el gran servicio que ofrecen los dispositivos digitales.

Algunos de los instrumentos de medición de la variable presión son los siguientes:

1.4.1 MANÓMETROS DE TUBO EN FORMA DE “U”

El manómetro de tubo en forma de “U” consiste en un recipiente de cristal en forma de la letra “U” [4]. Cuando se usa para medir la presión de dispositivo ambos extremos del tubo están abiertos, con una presión desconocida aplicada en uno de los extremos y el otro, abierto a la presión atmosférica como se muestra en la figura 1. La presión de indicador desconocida del fluido (P) se relaciona con la diferencia de los niveles de fluido (h) en las dos mitades del tubo y la densidad del fluido (ρ) mediante la expresión: [4]

Figura 1 Medidor de presión “Tubo en U”

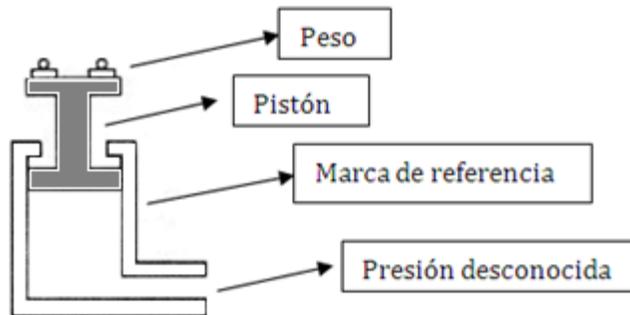


DE GYVES L., GUSTAVO A. "Física II., En: Clases digitales CCA exactas. Veracruz México: 2011. http://profdegyvesludewig.blogspot.com/2011_02_01_archive.html

1.4.2 MEDIDOR DE PESO MUERTO

La figura 2 muestra un medidor de peso muerto. Consiste en un instrumento de lectura nula en el que se añaden pesos a la plataforma de un pistón hasta que el pistón alcanza una marca fija de referencia. En ese momento la fuerza de los pesos sobre el pistón equilibra la presión ejercida por el fluido bajo el pistón. La presión del fluido se calcula, por tanto, en términos del peso añadido a la plataforma y el área conocida del pistón. El instrumento posee la capacidad de medir presiones con un alto grado de precisión, pero es incómodo. Su mayor aplicación es como instrumento de referencia con el que calibrar otros dispositivos medidores de presión. Existen versiones disponibles que permiten medir presiones por encima de los 7000 bares. [4]

Figura 2 Medidor de peso muerto



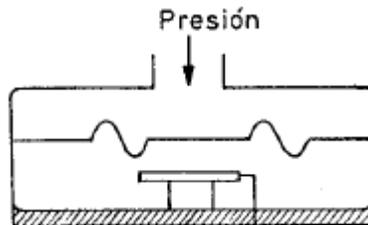
Fuente: Autor

1.4.3 MEDIDOR TIPO DIAFRAGMA

Constituye uno de los tres tipos comunes de transductores de presión de elemento elástico, y se muestra la figura 3. Los instrumentos de diafragma se usan para

medir presiones por encima de los 10 bares. La presión aplicada provoca el desplazamiento del diafragma, y este desplazamiento se mide por un transductor de posición. Ambas, la presión de indicador y la diferencial, pueden ser medidas por diferentes versiones de instrumentos basados en diafragma. En el caso de la presión diferencial, se aplican ambas presiones a ambos lados del diafragma y el desplazamiento del diafragma corresponde a la diferencia de presiones. La magnitud de desplazamiento típica en ambas versiones es de 0,1 mm, que se adapta bien a un sensor de deformación. [4]

Figura 3 Medidor tipo Diafragma

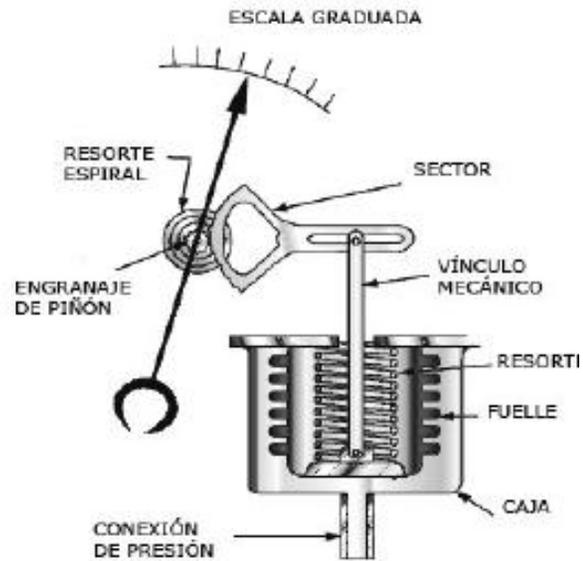


De Creus Solé, Antonio: *Instrumentación industrial*. Barcelona: Alfaomega grupo editor, 1997

1.4.4 MEDIDOR TIPO FUELLE

El fuelle, mostrado en la figura 4 opera según un principio similar al del diafragma, aunque se emplean en aplicaciones que requieran mayor sensibilidad que la conseguida con un diafragma. Los cambios de presión en el fuelle producen un movimiento de traslación al final del fuelle que se mide por transductores capacitivos, inductivos (LVDT) o resistivos de acuerdo con el rango de movimiento producido. Un rango típico de medida para un instrumento de fuelle es de 0-1 bar (presión de dispositivo). [4]

Figura 4 Medidor tipo Fuelle



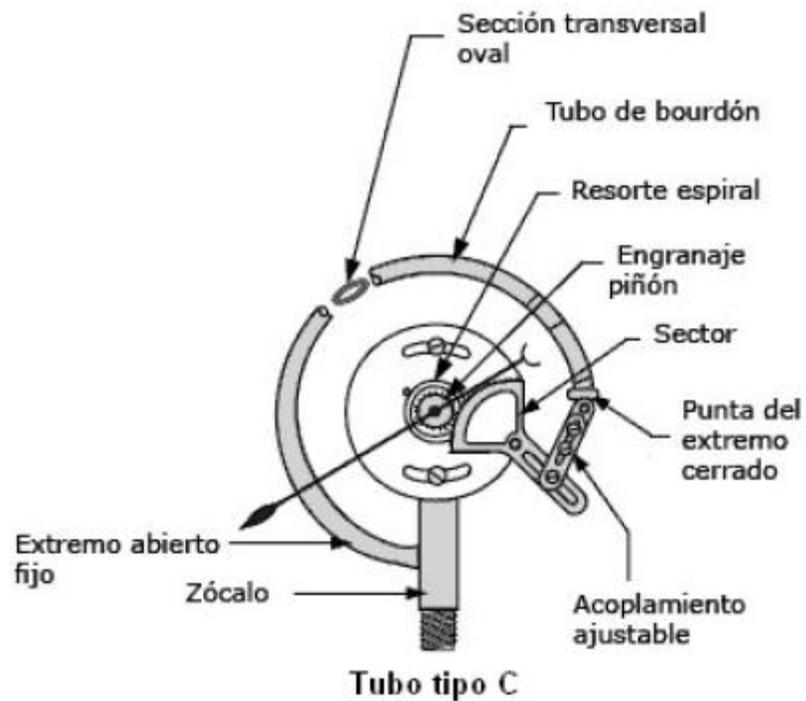
De Rodríguez Pumisacho, Pául S., Salazar Pérez, Santiago a.: *Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de presión de aire*. Quito: Escuela politécnica Nacional, 2000

1.4.5 TUBO DE BOURDON

El tubo de Bourdon es el tercer tipo de transductor de elemento elástico y es muy común de medición industrial de la presión de líquidos y gases. Consiste en un tubo flexible de sección ovalada fijo en uno de sus extremos y libre en el otro. Cuando se aplica presión al fijo, y abierto, del tubo, la sección ovalada se hace más circular causando un desplazamiento de la parte cerrada y libre del tubo. Este desplazamiento se mide por algún tipo de transductor de desplazamiento. Que es comúnmente un potenciómetro o un LVDT, o menos frecuentemente un sensor capacitivo. En otras versiones se puede medir el desplazamiento ópticamente. Las tres formas más comunes del tubo de Bourdon se muestran en la figura 5. La deflexión máxima del extremo libre del tubo es proporcional al ángulo del arco que

define el tubo. Para un tubo en forma de "C", el valor máximo del arco es menor que 360°. Donde se requieran resoluciones y sensibilidades mayores se usan tubos en espiral o helicoidales. El incremento de las cualidades de medición se consigue a costa de costes de fabricación comparados con los de tipo "C", aparte de un gran descenso en la presión máxima que puede medirse. [4]

Figura 5 Medidor tipo Bourdon

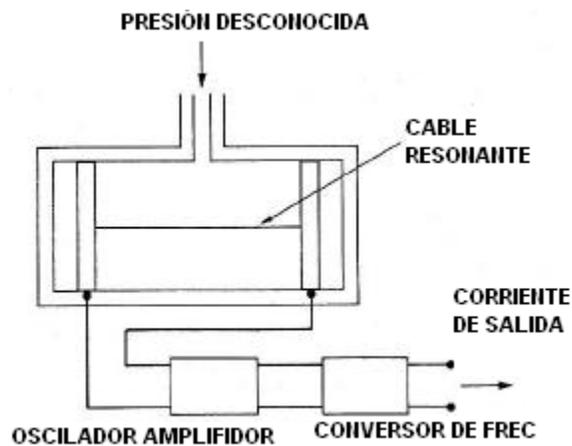


De Rodríguez Pumisacho, Pául S., Salazar Pérez, Santiago a.: *Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de presión de aire*. Quito: Escuela politécnica Nacional, 2000

1.4.6 DISPOSITIVOS DE CABLE RESONANTE

El dispositivo de cable resonante es un instrumento relativamente nuevo que procede los recientes avances en el campo de la Electrónica. Un dispositivo típico se muestra en la figura 6. El cable se tiende a lo largo de una cámara que contiene el fluido a una presión desconocida y sometido a un campo magnético. El cable resuena a su frecuencia natural de acuerdo con su tensión, que varía con la presión. Esa frecuencia se mide por circuitos electrónicos integrados en el dispositivo. Tales dispositivos son muy precisos, típicamente $\pm 0.2\%$ del fondo de escala, y son particularmente insensibles a los cambios en las condiciones ambientales. [4]

Figura 6 Dispositivo cable resonante

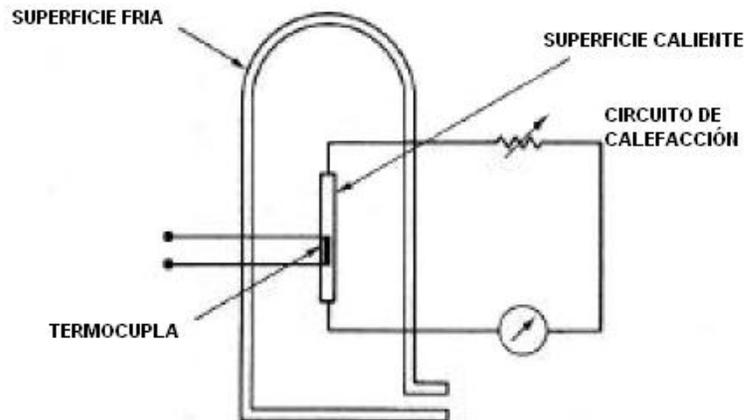


De Rodríguez Pumisacho, Pául S., Salazar Pérez, Santiago a.: *Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de presión de aire*. Quito: Escuela politécnica Nacional, 2000

1.4.7 MEDIDOR DE TERMOPAR (MEDICIONES DE PRESIONES BAJAS)

El medidor de termopar es uno de los del grupo de medidores que funcionan basados en el principio de la conductividad térmica. Los medidores de Pirani y los basados en termistor también pertenecen a este grupo. A baja presión, la teoría cinética de los gases predice una relación lineal entre la presión y la conductividad térmica. La medición de la conductividad térmica da una indicación de la presión. La figura 7 muestra un esquema básico de un medidor basado en termopar. La operación del medidor depende de la conducción de calor entre la lámina caliente en el centro y la superficie fría exterior del tubo de cristal (que normalmente está a la temperatura de la habitación.) La lámina metálica se calienta por el paso de una corriente a su través, y su temperatura se mide por un termopar, la temperatura medida depende de la conductividad térmica del gas, que depende de la presión del mismo. Una fuente de error en este instrumento lo constituye el hecho de que el calor se transmite por radiación así como por conducción. El calor transmitido por radiación es una magnitud constante e independiente de la presión que puede ser medida y corregida. Sin embargo, es más conveniente diseñar el sistema para que presente una pérdida de radiación baja, eligiendo un elemento a calentar con baja emisividad. Los instrumentos de termopar se usan típicamente para medir presiones en el rango de 10^{-4} milibares a un milibar. [4]

Figura 7 Medidor de Termopar

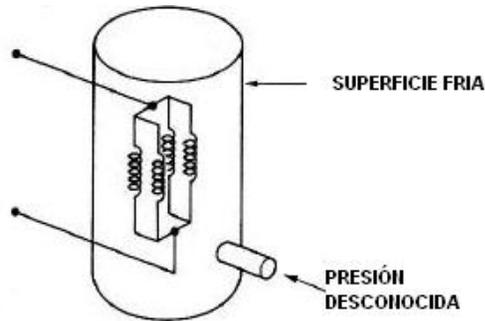


De Rodríguez Pumisacho, Pául S., Salazar Pérez, Santiago a.: *Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de presión de aire*. Quito: Escuela politécnica Nacional, 2000

1.4.8 MEDIDOR DE PIRANI

Una forma típica del medidor de Pirani se muestra en la figura 8. Es parecido al medidor de termopar pero tiene un elemento calefactor que consiste en 4 bobinas de alambres de wolframio conectadas en paralelo. Dos tubos idénticos se conectan normalmente en un circuito puente, conteniendo uno el gas a la presión desconocida, mientras en otro se mantiene a muy baja presión. La corriente pasa por el elemento de wolframio, que alcanza una cierta temperatura de acuerdo con la conductividad térmica del gas. La resistencia del elemento cambia con la temperatura y produce el desequilibrio del puente de medida. De este modo, el medidor de Pirani evita el uso de un termopar para medir la temperatura (como en el medidor de termopar. Tales medidores cubren el rango de presiones de $1E-5$ milibares a 1 milibar. [4]

Figura 8 Medidor de Pirani

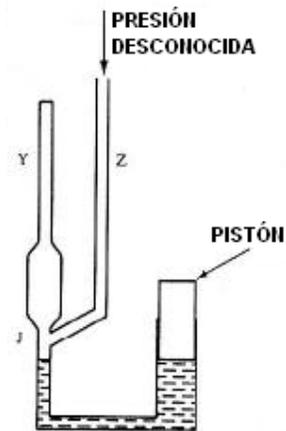


De Rodríguez Pumisacho, Pául S., Salazar Pérez, Santiago a.: *Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de presión de aire*. Quito: Escuela politécnica Nacional, 2000

1.4.9 MEDIDOR DE MCLEOD

La figura 9 muestra la forma general de un medidor de McLeod, en el que un fluido a baja presión se comprime a presiones superiores, las cuales pueden ser leídas empleando un manómetro. En esencia, el medidor puede ser visualizado como un manómetro de tubo en forma de "U", sellado en un extremo y donde el fondo del tubo en forma de "U" puede ser bloqueado a voluntad. Para operar el medidor, el pistón se retira previamente, causando que el mercurio en la parte más baja del medidor caiga bajo el nivel de la unión "J" entre los dos tubos en el medidor marcados como "Y" y "Z". [11]

Figura 9 Medidor de McLeod

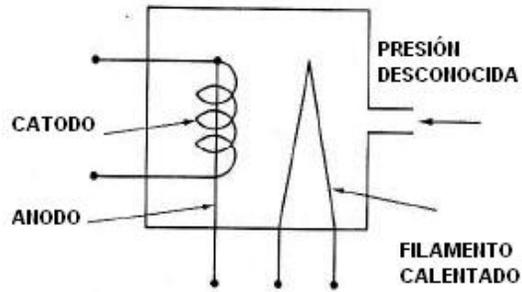


De González de la rosa, Juan J.: "Transductores de presión". En: *Apuntes de transductores*. Cádiz España: Universidad de Cádiz.

1.4.10 MEDIDOR DE IONIZACIÓN

El medidor de ionización es un tipo especial de instrumento usado para medir presiones muy pequeñas en el rango de 10^{-13} a 10^{-3} bares. El gas a presión desconocida se introduce en un recipiente de cristal que contiene un filamento que descarga electrones al ser calentado, como se muestra en la figura 10. La presión se determina mediante la medición de la corriente que fluye entre el ánodo y el cátodo. Esta corriente es proporcional al número de iones por unidad de volumen, cuyo número es proporcional a la presión. [11]

Figura 10 Medidor de Ionización



De González de la rosa, Juan J.: "Transductores de presión". En: *Apuntes de transductores*. Cádiz España: Universidad de Cádiz.

1.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS DISPOSITIVOS SENSORES DE PRESIÓN

La presión es una de las variables más importantes en instrumentación, comúnmente conocida como fuerza por unidad de superficie, que puede expresarse en unidades tales como pascal, bar, atmósferas, kilogramos por centímetro cuadrado y psi (Antonio Creus Solé, 1997: p73).

1.5.1 INSTRUMENTOS QUE MIDEN LA PRESIÓN

Tabla 1 Instrumentos de medición de presión

| TIPO DE INSTRUMENTO | RANGO ÓPTIMO DE MEDIDA | EXACTITUD (%) |
|---------------------|-------------------------|---------------|
| Tubo en U | 20-120 H ₂ O | 0,5-1,0 |

| | | |
|----------------------------|---------------------------------|---------|
| Manómetro de pozo | 10-300 H2O | 0,5-1,0 |
| Tubo inclinado | 1-120 cm H2O | 0,5-1,0 |
| Manómetro campana | 0,5-100 cm H2O | 0,5-1,0 |
| Bourdon simple | 0,5-600 kg/cm ² | 2,0 |
| Bourdon espiral | 0,5-2500 kg/cm ² | 1,5 |
| Burdon helicoidal | 0,5-5000 kg/cm ² | 1,5 |
| Fuelle | 10 cm H2O -2 kg/cm ² | 2,0 |
| Diafragma | 5 cm H2O -2 kg/cm ² | 1,5 |
| Transductor resistivo | 0,5-350 kg/cm ² | 0,5 |
| Transductor capacitivo | 0-420 kg/cm ² | 0,2 |
| Transductor magnético | 0-700 kg/cm ² | 0,2 |
| Transductor piezoeléctrico | 0-350 kg/cm ² | 0,2 |

1.5.2 FACTORES DE CONVERSIÓN PARA UNIDADES DE PRESIÓN

Tabla 2 Conversión de unidades en presión

| | Psi | Bar | Atm | Pa | cm H ₂ O 20 °C | Pulg. H ₂ O 20 °C | mmHg20 °C | g/cm ² | m H ₂ O de Mar |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------|
| PSI | 1,00E+00 | 6,89E-02 | 6,80E-02 | 6,89E+03 | 7,04E+01 | 2,77E+01 | 5,17E+01 | 7,03E+01 | 6,84E-01 |
| Bar | 1,45E+01 | 1,00E+00 | 9,87E-01 | 1,00E+05 | 1,02E+03 | 4,02E+02 | 7,50E+02 | 1,02E+03 | 9,93E+00 |
| Atm | 1,47E+01 | 1,01E+00 | 1,00E+00 | 1,01E+05 | 1,04E+03 | 4,08E+02 | 7,60E+02 | 1,03E+03 | 1,01E+01 |
| Pa | 1,45E-04 | 1,00E-05 | 9,87E-05 | 1,00E+00 | 1,02E-02 | 4,02E-03 | 7,50E-03 | 1,10E-02 | 9,93E-05 |
| cm H ₂ O 20 °C | 1,46E-01 | 9,79E-04 | 9,66E-04 | 9,79E+01 | 1,00E+00 | 3,94E-01 | 7,34E-01 | 9,98E-01 | 9,72E-03 |
| Pulg. H ₂ O 20 °C | 3,61E-02 | 2,49E-03 | 2,45E-03 | 2,49E+02 | 2,54E+00 | 1,00E+00 | 1,87E+00 | 2,54E+00 | 2,47E-02 |
| mmHg20 °C | 1,93E-02 | 1,33E-03 | 1,32E-03 | 1,33E+02 | 1,36E+00 | 5,36E-01 | 1,00E+00 | 1,36E+00 | 1,32E-02 |
| g/cm ² | 1,42E-02 | 9,81E-04 | 9,68E-04 | 9,81E+01 | 1,00E+00 | 3,94E-01 | 7,36E-01 | 1,00E+00 | 9,74E-03 |
| m H ₂ O Mar | 1,46E+00 | 1,01E-01 | 9,94E-02 | 1,01E+04 | 1,03E+02 | 4,05E+01 | 7,56E+01 | 1,03E+02 | 1,00E+00 |

2 GUIAS, PROTOCOLOS Y NORMATIVIDAD PARA LA METROLOGÍA

En la actualidad se cuenta con valiosos documentos que se aplican a la forma correcta de llevar a cabo un método de calibración de manómetros en metrología, cumpliendo los puntos establecidos para un entendimiento entre entidades encargadas del control de instrumentos de medición de presión. Toda esta facilidad de acceso surge debido a una gran necesidad de unificación de conceptos y técnicas con las que es posible medirnos respecto al resto.

Para lograr una adecuada calibración de sensores de presión es preciso tomar apartes de cada guía que correspondan al proceso que se requiere documentar y en este caso se basan de cinco guías que dedican gran parte a la explicación de lo que se busca en esta ampliación del proceso de calibración. Cada uno de estos documentos es necesario para complementar.

2.1 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-ISO/IEC 17025

Esta norma básica internacional tiene como característica importante; establecer requisitos necesarios para la implementación de un sistema de gestión en laboratorios de metrología que involucra tanto aspectos de calidad como técnicos o administrativos y cuya finalidad es demostrar una competencia técnica a nivel de laboratorios de metrología. Contiene una componente integral de los MRA (Mutual Recognition Arrangement) la cual es una herramienta esencial para los organismos de acreditación

Esta norma dio sus inicios después de adquirir una gran experiencia en la implementación de otras como la ISO 25, ISO/IEC 17000, VIM 2009, ISO 9000:2000, ISO 9001:2000, ISO

190011, GUM, GTC-51 Y EN la EN 45001. Como resultado ha surgido esta norma como una mejora conteniendo todo lo que debe cumplir un laboratorio de ensayo y calibración, en esta norma se ha incluido todos los requisitos de la norma ISO 9001 concerniente al alcance de estos servicios, gestionado por los laboratorios que cumplen esta norma internacional y que por lo tanto funcionarán de acuerdo con la norma ISO 9001. Aunque la conformidad demostrada en esta norma internacional no quiere decir que el sistema de gestión de la calidad realizado por el laboratorio cumpla todos los requisitos de la norma ISO 9001, simplemente facilita la cooperación entre organismos para el intercambio de información, coordinación de normas y procedimientos. Dicho de otra manera cuando se cumple correctamente con el numeral cuatro de la norma 17025 logrando la acreditación significa que también se está implementando la norma 9001, pero en el sentido inverso no se cumple, esto quiere decir que si se cumple con la 9001 no significa que cumple con la 17025

Es una norma internacional aplicada para fijar requerimientos generales para el proceso de calibración y/o ensayos junto con sus metodologías y puede ser empleado por todas las organizaciones que realizan estas actividades, también a laboratorios de todo tipo de tamaño quienes desarrollan sistemas de gestión de calidad, técnicas y administrativas. Esta norma es de gran importancia para el desarrollo de este proceso de documentación porque además de servir como una orientación durante la fase de calibración, es el principal objetivo que un laboratorio debe realizar.

Esto quiere decir que es de gran importancia para un laboratorio de metrología, cumplir con lo especificado dentro de esta norma para lograr su acreditación y de esta manera evidenciar que se cuenta con las condiciones tecnológicas y científicas adecuadas, para la realización de ensayos y/o calibraciones.

Dado que la razón de acreditarse bajo esta norma establece a un laboratorio de metrología un cumplimiento con los estándares mundiales, demostrando ser competentes técnicamente e idóneamente, dando a sus clientes tranquilidad y garantías de un trabajo

recibido conforme a lo requerido. Una acreditación para una organización ofrece la capacidad de mejorar sus procesos implementados, realizar análisis retroalimentados, reflexionar a cerca de la política actual que lleve al cumplimiento de sus objetivos y detectar las oportunidades de progreso. Una entidad certificada con la norma ISO/IEC 17025, además de dar motivación a todos los miembros de la organización, también recibe reconocimiento a nivel nacional e internacional, esto se ve representado en la optimización de los recursos con los que se cuenta, reduciendo costos a corto y largo plazo

2.2 NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2263

La aplicación más importante que ofrece esta norma es la clasificación que podemos hacer de los manómetros indicadores de presión, de vacío, presión-vacío, etc., los cuales están dentro del límite superior del rango de medición entre 0,05MPa y 1000MPa. También se pueden conocer los requerimientos impuestos por la metrología legal en lo que respecta con las condiciones ambientales dentro del laboratorio de calibración como la temperatura, humedad, variaciones de presión, posiciones, medios de transmisión, escalas y todo lo que hay que tener en cuenta para una exitosa calibración.

Para el trabajo con manómetros indicadores de presión, de vacío y demás ha sido autorizada el Pascal (Pa) como unidad, junto con sus respectivos múltiplos, por la norma del Sistema Internacional (SI). El bar se han autorizado junto con sus múltiplos mientras las regulaciones nacionales lo admiten y la decisión internacional sobre el uso es positiva. Hay que tomar en cuenta también que existe un límite en el error por histéresis posible tanto para instrumentos usados como para los nuevos.

2.3 GUÍA DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS DE PRESIÓN DKD-R 6-1

Este documento se ha convertido en la base fundamental del proceso de calibración de manómetros que es aplicado por las instituciones, por ofrecer alto grado de fiabilidad y al ser una recomendación del Comité Técnico “Presión” en cooperación con el PTB, aprobada por el Consejo Consultivo del DKD, la cual luego de la publicación se ha convertido en una obligación aplicada para los laboratorios de calibración del DKD, a menos de que exista un método de procedimiento propio aprobada por una entidad de acreditación. Esta guía también nos brinda una opción instructiva de la técnica para estimar la incertidumbre de una medición en la calibración de manómetros, además de precisarnos sobre las condiciones ambientales correctas, necesarias para el éxito de la medición.

2.4 GUÍA PARA ESTIMAR LA INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN GTC-51

Para entrar un poco más en detalle y ampliar conocimientos a cerca de una estimación de incertidumbre, se ha querido aprovechar la información que se encuentra en este documento elaborado por el centro nacional de metrología, el cual se referencia por reunir criterios en la estimación de incertidumbre de acuerdo a la Guía para estimar la incertidumbre de la medición(GUM), hecha por expertos en el tema y de manera apropiada para ser aplicada en el proceso descrito en este trabajo de documentación metrológica. Esta guía dispone de un esquema y hace énfasis en algunos aspectos críticos que se deben tener en cuenta a la hora de estimar la incertidumbre, así como los que pueden generar algún tipo de confusiones durante la misma.

2.5 GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE INTERVALOS DE CALIBRACIÓN EN INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN ILAC-G24

Gracias a este documento los laboratorios de metrología tienen una mejor orientación en la determinación de los intervalos de calibración y en la implementación de sus sistemas. También realiza una identificación de los métodos que se conocen y están actualmente disponibles y de esta manera evaluar los intervalos de calibración. Este es un documento desarrollado por la organización Internacional de Metrología Legal (OIML) y por la Cooperación Internacional para Acreditación de Laboratorios (ILAC), quienes enfatizan la gran importancia para un laboratorio de mantener su capacidad de producir trazabilidad y resultados de medición confiables.

2.6 VOCABULARIO INTERNACIONAL DE METROLOGÍA VIM, JCGM 200

Es muy importante que en todo tipo de documentación que se realiza cumpla con un adecuado uso del vocabulario propio del tema, en este caso trabajando con metrología hay que remitirse a la documentación que ofrezca una completa forma de conocer todas y cada una de las palabras que se necesita dominar si se quiere realizar una calibración de manómetros adecuada. Un vocabulario es generalmente un diccionario especializado en un tema seleccionado, el cual contiene definiciones, conceptos y denominaciones de aquella o aquellas materias específicas en las que se quiere profundizar.

Este vocabulario además de referirse a la metrología (ciencia de las mediciones y sus aplicaciones), introduce conceptos de los principios básicos que rigen las unidades y cantidades. Se quiere también dar a conocer que no existe mucha diferencia en la

concepción de principios fundamentales de medición en física, química, biología, laboratorio de medicina o ingeniería. Ha sido desarrollado para plantear algunas preguntas fundamentales sobre diferentes filosofías actuales y descripciones a cerca de las mediciones.

3 CAPITULO. CONDICIONES PARA EL PROCESO DE CALIBRACIÓN

La intención que se tiene con el desarrollo de esta documentación es lograr establecer los requerimientos mínimos para la medición de la calibración de manómetros de presión y en especial los de tipo Bourdon, acotando en ellos por ofrecer gran cantidad de ventajas para una aplicación práctica dentro de un laboratorio de metrología. Pero se aclara que el desarrollo de este proceso se aplica tanto para los manómetros de presión con tubo Bourdon, como también manómetros de presión eléctricos y transmisores de presión con salida eléctrica para presión absoluta, presión diferencial, sobrepresión con valores positivos y negativos.

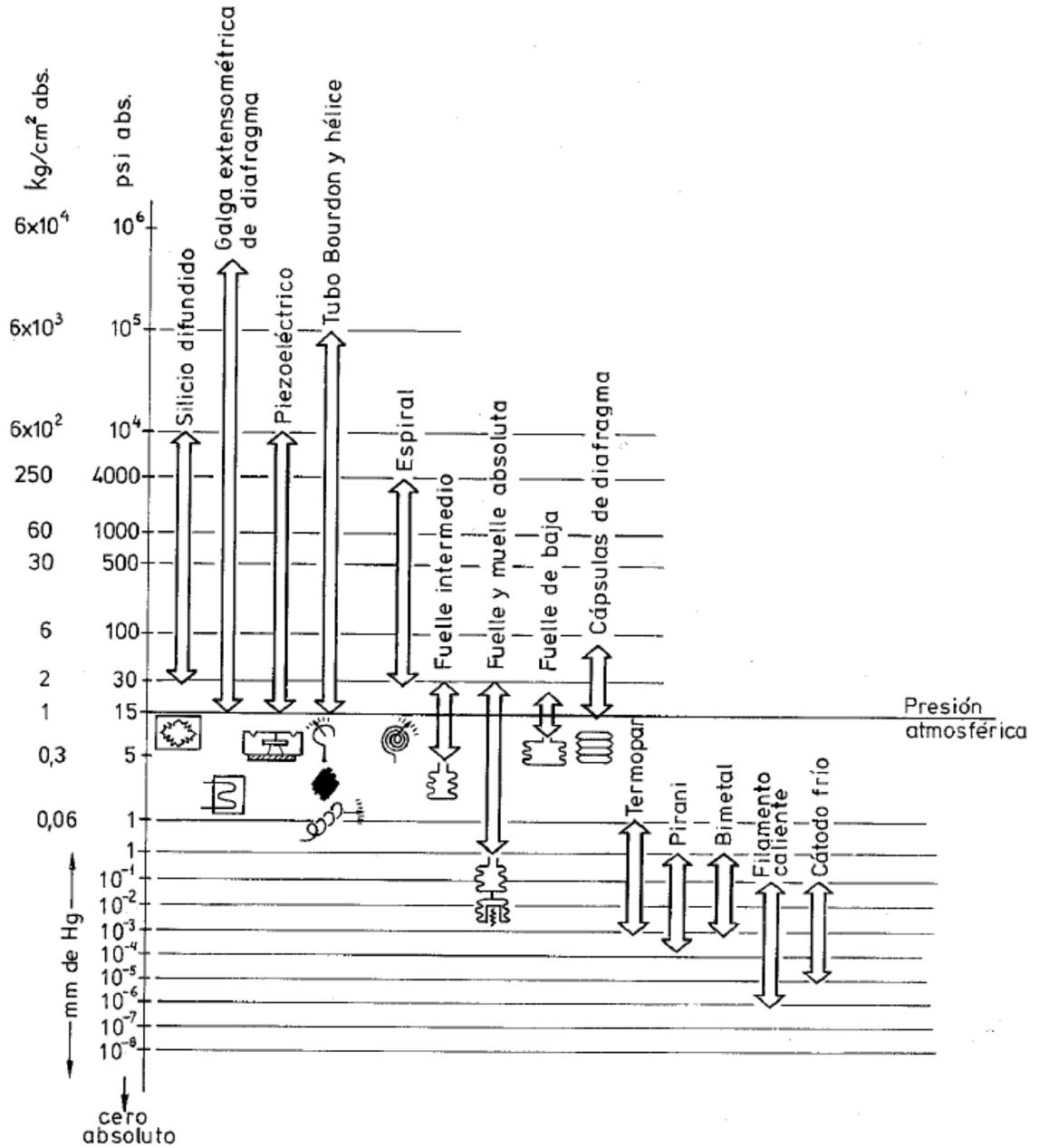
Los manómetros de presión tipo Bourdon son los comúnmente utilizados en las industrias y laboratorios de presión, dado que ofrecen un buen rendimiento y efectividad en la toma de mediciones. El mercado de este tipo de manómetros es muy amplio y ofrece un costo relativamente bajo y si se compara con los digitales puede observarse que son mucho más asequibles.

La versatilidad que ofrece también es un factor influyente en la elección de esta clase de manómetro, y el tipo Bourdon brinda la opción de trabajar con algunos líquidos, aceites o gases, dependiendo de su campo de acción. Esto hace que un laboratorio opere con mayor porcentaje de este tipo. También se ha analizado que al momento de requerir mantenimiento, el tipo Bourdon permite hacerlo a bajos costos y con una mayor cantidad de personal capacitado para realizarlo. Su diseño a su vez está hecho para que la vibración en la aguja afecte en mínimas cantidades y con esto conseguir una mayor confiabilidad en la indicación.

Dichos manómetros pueden ser utilizados como patrones secundarios, de trabajo o como simplemente indicador dentro de un proceso que requiera únicamente una indicación de referencia. Su instalación es muy sencilla de realizar y no requiere pre-acondicionamiento para trabajar. Tanto su frecuencia natural como su rigidez son bajas, pero posee una gran sensibilidad de desplazamiento, su intervalo de trabajo característico se encuentra por el rango de 35KPa a 100MPa. Tiene algunas desventajas también como la falla por fatiga, por sobrepresión, por corrosión o por explosión y a su funcionamiento afecta la temperatura del ambiente.

En busca de una comparación con los diferentes tipos de manómetros existentes en el mercado se encuentra una tabla muy apropiada para este caso en el libro “Instrumentación Industrial”, sexta edición, del ingeniero Antonio Creus Solé, presentada a continuación:

Figura 11 Relación de rangos de medidores de presión



De Creus Solé, Antonio: *Instrumentación industrial*. Barcelona: Alfaomega grupo editor, 1997

El manómetro tipo Bourdon a su vez se sub divide en varios tipos que se conocen como: Tubo Bourdon en "C", tubo Bourdon torcido, tubo Bourdon espiral y tubo Bourdon helicoidal. Estos pueden ser fabricados con materiales como latón, aleación de acero, aceros inoxidable, bronce fosforado o cobre con berilio. Pero el tipo Bourdon en "C", es comercialmente más recomendado por su confiabilidad debida al mecanismo empleado para la indicación, sus partes pueden observarse mucho mejor utilizando un grafico de él.

Figura 12 Tubo Bourdon



De MetAs & Metrólogos Asociados: *El manómetro Bourdon*. Jalisco México: La guía MetAs, 2007.

3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MANÓMETROS

De acuerdo a lo establecido por la norma técnica colombiana NTC-2263 sobre metrología se obtiene una buena guía para la organización adecuada de los manómetros con los que se desea trabajar, ya sea que se trate de manómetros indicadores, de vacío, presión-vacío, sensores elásticos o indicación directa. Siguiendo esta norma y teniendo en cuenta los requisitos impuestos por la metrología legal se pueden seleccionar dispositivos con sus límites superiores del rango de medición entre 0,05 MPa y 1000 MPa, asumiendo el Pa como unidad de las mediciones.

3.1.1 EL RANGO

Es necesario elegir los rangos superiores de medición en dos de las siguientes series

- | | | | | |
|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| 1) 1×10^n | 1.6×10^n | $2,5 \times 10^n$ | 4×10^n | 6×10^n |
| 2) 1×10^n | 2×10^n | 5×10^n | | |

Teniendo en cuenta que n es un entero positivo o negativo o igual a cero

En cuanto a las presiones manométricas para el límite superior del rango de medición L indicado de la siguiente manera:

Tabla 3 Rango en las mediciones

| Límite superior del rango de medición, L | Límite normal del rango de medición | |
|--|-------------------------------------|------------------|
| | Presión estacionaria | Presión variable |
| L > 100MPa | 3/4 L | 2/3 L |
| L ≥ 100MPa | 2/3 L | 1/3 L |

Ahora si se mira la recomendación de la Súper Intendencia de Industria y Comercio también se encuentra una tabla guía para seleccionar los rangos de medición en un laboratorio de presión, clasificadas por su tipo de sustancia (generalmente gas o aceite) y magnitud del equipo, en la que nos recomienda trabajar de la siguiente manera:

Para presiones absolutas

| | |
|-----------------------|---------------------------|
| Gas: >3,0kPa a 8,0kPa | Aceite: >0,24MPa a 7,1MPa |
| >8,0kPa a 350kPa | >7,1MPa a 280MPa |
| >0,35MPa a 1,75MPa | |
| >1,75MPa a 7,0MPa | |

Para presiones manométricas

| | |
|------------------------|---------------------------|
| Gas: -100kPa a -1.5kPa | Aceite: >0,14MPa a 7,0MPa |
| -1.0kPa a 1.5kPa | >7MPa a 280MPa |
| >1.5kPa a 5,0kPa | |
| >5,0kPa a 350kPa | |
| >0,35MPa a 1,75MPa | |
| >1,75MPa a 7,0MPa | |

3.1.2 LA CLASE

La clase de un instrumento da una información sobre su funcionamiento y es muy importante conocerla para hacer una correcta selección de las herramientas que estamos utilizando en nuestras mediciones, gracias a ella se tiene la capacidad de excluir o aceptar un instrumento con justificación apropiada. La clase de un instrumento puede ser calculada teniendo en cuenta su escala y rango con la siguiente relación:

$$Clase = \frac{\text{División de escala del instrumento} \times 100}{\text{Rango más alto del instrumento}} \quad \{\text{ecuación 1}\}$$

Dado el caso que el resultado de la operación no coincida exactamente con los valores propuestos a continuación es conveniente realizar una aproximación hacia el valor inmediatamente siguiente hacia arriba en la tabla. La selección puede ser realizada con respecto al valor unitario, siendo los mayores adecuados para utilizar y con los menores hay que tener la precaución de saber que no son instrumentos tan exactos como los anteriores a la hora de las mediciones. En el caso de obtener una clase por encima de cuatro, el instrumento puede ser dado de baja, debido a que la manipulación interna no es apropiada para los manómetros de caratula.

Para seleccionar la clase de presión del manómetro hay que tener en cuenta dos tipos de series (aunque la más común en los laboratorios visitados es la primera).

- | | | | | | | | |
|----|------|-----|-----|---|-----|-----|---|
| 1) | 0,25 | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,6 | 2,5 | 4 |
| 2) | 0,2 | 0,5 | 1 | 2 | 5 | | |

Estos valores generalmente son porcentajes pero que se encuentran en modo normal en los manuales.

3.1.3 HISTÉRESIS

En el momento de realizar la medición del error dentro de una calibración es necesario tener en cuenta algunas condiciones en el estado de los instrumentos a utilizar como las siguientes:

- ✓ La posición de los instrumentos a instalar tiene que ser la recomendada por el fabricante para su normal y correcto funcionamiento.
- ✓ Es necesario desprender el equipo y tomar datos ascendentes y descendentes para medir histéresis.
- ✓ Es importante que la temperatura que se maneja tanto en el ambiente como en los instrumentos sea igual a 20 C, permitiendo una variación de indicación límite de 1/5 del error máximo admisible causado por una desviación
- ✓ La máxima humedad relativa no debe superar el 80% y en condiciones ambientales se recomienda entre 30 y 70% de HR, entre más cercana a 50 se encuentre mucho mejor.
- ✓ La aguja indicadora no debe registrar oscilaciones de ningún motivo que presenten una amplitud superior al 10% de la mínima división de escala
- ✓ Se debe encontrar dentro del mismo plano horizontal el punto de acople del instrumento que se desea calibrar y el del instrumento patrón, de lo contrario hay que tomarse en cuenta la presión causada por la columna del líquido empleado.
- ✓ Para la transmisión de presión durante la verificación se debe utilizar como medio un gas neutro para instrumentos con 0,5MPa como límite máximo del rango de

medición o un líquido no corrosivo para instrumentos con 0,5MPa como límite máximo del rango de medición.

3.1.4 TEMPERATURA

La variación de la temperatura no debe influir en la indicación de los instrumentos de una forma superior a la siguiente:

$$\alpha \times (t_2 - t_1)\% \quad \{ecuación 2\}$$

Siendo α el coeficiente de temperatura expresado en [%/°C] obedeciendo solicitudes nacionales, t_1 la temperatura de referencia y t_2 temperatura ambiente, ambas en °C.

3.2 CONDICIONES PARA LA CONSERVACIÓN LOS PATRONES DE MEDICIÓN

Los patrones que se utilizan como referencia son manómetros de presión que poseen una estabilidad a largo plazo como por ejemplo las balanzas de presión y manómetros de columna de líquido. Dichos manómetros son calibrados por el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) con regularidad empleando intervalos y emitiendo un certificado de calibración, en donde se especifica la estimación de la incertidumbre expandida bajo condiciones de referencia como la aceleración estándar debido a la gravedad y a $20^\circ\text{C} \pm 1$.

En el caso de realizar la calibración por fuera de las condiciones de referencia, es necesario hacer las correcciones aplicadas al cálculo de la presión y la incertidumbre observada en la medición se presumirá por dichas correcciones, debido a que la cuantía de la influencia será considerada como una contribución al cálculo de la incertidumbre en un futuro.

En el manual de calidad de laboratorio (DKD), se han documentado los patrones con los que se trabaja, calibrando en un laboratorio acreditado y se emite un certificado de calibración para ellos, en los que se expresa la incertidumbre expandida según lo disponga la referencia. El PTB otorga una aprobación a los patrones con los que se trabaja, sean de igual o de diferente tipo.

En las mediciones, la incertidumbre se atribuye a los valores de medición del patrón de referencia y trabajo, por lo tanto la incertidumbre no debe sobrepasar de $1/3$ de la incertidumbre que se desea, y por esta razón se le atribuirá posiblemente a los valores de medición del objeto que se está calibrando.

3.3 ÍTEM A CALIBRAR

Los elementos de presión que generalmente se calibran en los laboratorios son de tres tipos; manómetros de presión tipo Bourdon, manómetro de presión eléctrico y transmisor de presión con salida eléctrica. Aunque el desarrollo de estos procesos presentados en la documentación aplique a cada uno de ellos, se realizará un especial enfoque en los primeros, por ser estos los que en una práctica de laboratorio estarán mucho más asequibles a los estudiantes, así mismo por su versatilidad en sus mediciones, debido a que es posible hacer mediciones de presión con aceites, gases o diferentes líquidos, posee un relativo bajo costo en el comercio y en el mantenimiento. Son fabricados con un relleno de glicerina para resolver el problema de vibraciones en la aguja, su proceso de instalación es sencillo, permiten caracterizarse por poseer una rigidez baja y también baja frecuencia natural.

Algunas de sus desventajas es que su vida útil se agota por fatiga, sobrepresión, corrosión o por explosión. Un factor que influye importantemente en el funcionamiento del

manómetro de presión tipo Bourdon es la temperatura ambiente en la que se encuentra el instrumento, las vibraciones externas y su forma de instalación. Todas estas características pueden controlarse teniendo en cuenta a la hora de realizar la calibración el proceso y la aplicación para el cual se ha dispuesto el manómetro.

Es necesario disponer de instrumentos auxiliares de medición calibrados y con indicación de la incertidumbre que se asignen a los valores medidos para garantizar la trazabilidad en las mediciones

La aptitud del instrumento es muy importante para la tramitación de una solicitud de calibración, esto quiere decir que el objeto a calibrar debe contar con un estado actual que tiene que cumplir con las reglas generales, así mismo con una técnica reconocida y las especificaciones del fabricante. Para verificar la aptitud del instrumento que se va a calibrar es necesario contar con la intervención de inspecciones externas - como la inspección visual en lo concerniente a las averías, contaminaciones y su limpieza, inspección visual de las indicaciones legales y la comprobación de que la documentación requerida para la calibración se encuentre a disposición - y pruebas de funcionamiento – como obstrucción de las vías en el sistema a calibrar, actividad eléctrica, comprobación del funcionamiento en los componentes de mando,

3.4 CONDICIONES AMBIENTALES DENTRO DEL LABORATORIO

En lo que se requiere a la parte de condiciones ambientales, el DKD hace referencia al establecimiento de condiciones entre el objeto a calibrar y dichas condiciones. Una calibración correcta debe ser realizada enseguida de que su establecimiento suceda, teniendo presente el tiempo que emplea el objeto que se quiere calibrar, para su calentamiento o su posible calentamiento causado por la tensión de alimentación. La temperatura adecuada que se ha establecido anteriormente para una calibración, debe

permanecer ambientalmente estable con $\pm 1K$, entre 18°C y 28°C, siendo registrada dentro del protocolo que se quiere seguir. La norma GTC-51 indica también que la temperatura debe medirse al inicio y al final de la prueba, de igual manera se mide la variación, ya que esto será un factor de aporte a la estimación de la incertidumbre.

Si en el resultado de la calibración influyen factores ambientales como la densidad del aire, es conveniente registrar dentro del protocolo los valores de la presión atmosférica y de la humedad relativa del aire.

3.5 OTROS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE

3.5.1 RESOLUCIÓN

Para instrumentos de indicación analógica la resolución es obtenida con el radio del ancho del indicador a la distancia central entre dos líneas cercanas de graduación. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{5}$ o $\frac{1}{10}$ se recomienda como valor del radio. Para instrumentos digitales la indicación varía por un paso digital como máximo y la resolución corresponde a este paso digital. Para la contribución de la incertidumbre puede determinarse como $r/2$.

Para el caso que las lecturas fluctúen más que el valor determinado previamente, para presión medida con un manómetro sin haber sido cargado. La resolución entonces será tomada como la mitad del intervalo de fluctuación, que es adicionalmente añadida con un paso digital

3.5.2 DESVIACIÓN CERO f_0

El punto cero puede ser marcado tanto antes como después de cada ciclo de medición de una serie ascendente y descendente. Para realizar la lectura es necesario tener el instrumento totalmente descargado, el cálculo se realizará de la siguiente manera

$$f_0 = \max\{|x_{2,0} - x_{1,0}|, |x_{4,0} - x_{3,0}|, |x_{6,0} - x_{5,0}|\} \quad \{\text{ecuación 3}\}$$

3.5.3 REPETIBILIDAD B'

La repetibilidad que se realiza con el montaje sin sufrir ninguna variación, es determinada por la diferencia de los factores de medición de la señal cero corregida correspondiente a la medición.

$$b'_{up,j} = |(x_{3,j} - x_{3,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})|$$

$$b'_{down,j} = |(x_{4,j} - x_{4,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0})|$$

$$b'_{media,j} = \max\{b'_{up,j}, b'_{down,j}\} \quad \{\text{ecuación 4}\}$$

3.5.4 REPRODUCIBILIDAD B

La reproducibilidad de un instrumento está determinada por la diferencia de los valores de la medición de la señal cero corregida de la serie correspondiente y el instrumento en segundo montaje no debe haber sido modificado en sus condiciones. De la siguiente manera:

$$b_{up,j} = |(x_{5,j} - x_{5,0}) - (x_{1,j} - x_{1,0})|$$
$$b_{down,j} = |(x_{6,j} - x_{6,0}) - (x_{2,j} - x_{2,0})|$$
$$b_{media,j} = \max\{b_{up,j}, b_{down,j}\} \quad \{\text{ecuación 5}\}$$

3.6 TIPOS DE ERROR

3.6.1 ERROR EN UN PUNTO

Cuando se realiza solamente una medición en cierto punto específico, este error se puede evaluar de la siguiente manera:

Error absoluto

$\epsilon = \text{Prueba} - \text{Normal} = \text{Pr} - \text{No}$ [Unidades]

$\epsilon = \text{Experimental} - \text{Teórico} = \text{E} - \text{T}$ [Unidades]

Error relativo por unidad

$$\varepsilon = \frac{\textit{Prueba} - \textit{Normal}}{\textit{Normal}} = \frac{\textit{Pr} - \textit{No}}{\textit{No}} \text{ [Adimensional]} \quad \{\textit{ecuación 6}\}$$

$$\varepsilon = \frac{\textit{Experimental} - \textit{Teórico}}{\textit{Teórico}} = \frac{\textit{E} - \textit{T}}{\textit{T}} \text{ [Adimensional]} \quad \{\textit{ecuación 7}\}$$

Error relativo porcentual

$$\begin{aligned} \varepsilon = \% &= \frac{\textit{Prueba} - \textit{Normal}}{\textit{Normal}} \times 100 \\ &= \frac{\textit{Pr} - \textit{No}}{\textit{No}} \times 100 \text{ [Adimensional]} \quad \{\textit{ecuación 8}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon = \% &= \frac{\textit{Experimental} - \textit{Teórico}}{\textit{Teórico}} \times 100 \\ &= \frac{\textit{E} - \textit{T}}{\textit{T}} \times 100 \text{ [Adimensional]} \quad \{\textit{ecuación 9}\} \end{aligned}$$

3.6.2 ERROR COLECTIVO

En el mismo punto

Al realizar mediciones en un mismo punto con una serie de n mediciones, es de gran ayuda aplicar métodos estadísticos de la matemática, porque da la posibilidad de conocer o estimar los errores en la medición (o dispersión estadística) a través de cantidades

propias, adecuadamente definidas que pueden ser calculadas a partir de mediciones que se han desarrollado.

Promedio aritmético

$$\overline{Pr} = \frac{\sum_{i=1}^n Pr_i}{n} \quad \{\text{ecuación 10}\}$$

Desviación estándar por grupo (finito)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pr_i - \overline{Pr}_i)^2}{n - 1}} \quad \{\text{ecuación 11}\}$$

Desviación estándar de la distribución

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Pr_i - \overline{Pr}_i)^2}{n}} \quad \{\text{ecuación 12}\}$$

Desviación estándar de la distribución para el valor promedio de Pr, con n mediciones

$$\sigma_m = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \{\text{ecuación 13}\}$$

Varianza

$$\sigma^2$$

En puntos diferentes

Es una manera de representar el error característico de un conjunto de mediciones realizadas en diferentes puntos, pero considerándolo como un todo. Generalmente este error se relaciona con los instrumentos de medición y elementos.

Error de linealidad

Unos de los mejores procedimientos dentro de la estadística por su beneficio es la regresión lineal. La linealidad por ende continua siendo analizada por medio de recursos gráficos, aunque el análisis numérico sigue siendo importante para la obtención de resultados cuantitativos.

La relación obtenida de una tabla de valores de mediciones organizada de acuerdo al orden de realización creciente, junto con su respectiva grafica, deja ver una curva que ofrece la información de linealidad.

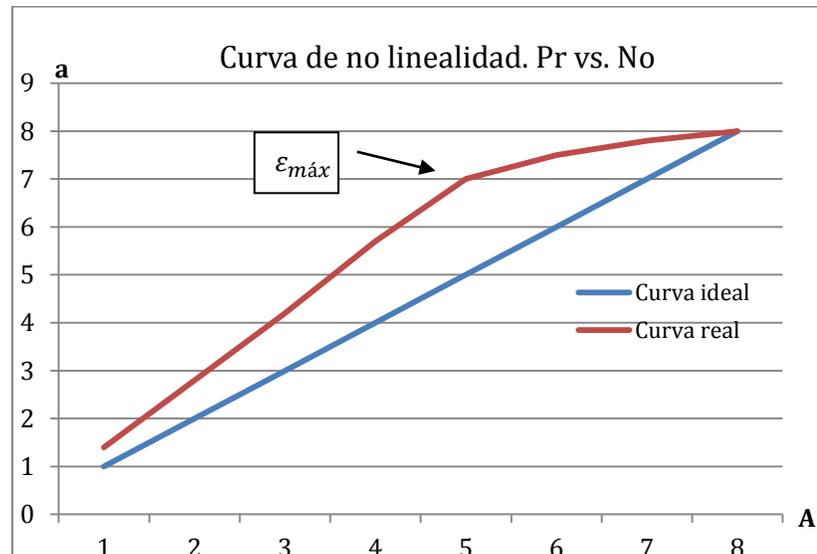
Tabla 4 Relación de errores de linealidad

| No Valor verdadero | Pr Medición | E $\varepsilon = Pr - No$ $\varepsilon_i = a_i - A_i$ |
|-----------------------|----------------|---|
| 0 | a_0 | ε_0 |
| A_1 | a_1 | ε_1 |
| A_2 | a_2 | ε_2 |
| A_3 | a_3 | ε_3 |
| A_4 | a_4 | ε_4 |

| | | |
|-------|-------|-----------------|
| A_5 | a_5 | ε_5 |
| A_6 | a_6 | ε_6 |
| A_7 | a_7 | ε_7 |
| A_8 | a_8 | ε_8 |

Se evalúa el error absoluto ε en cada punto, lo cual puede entonces interpretarse como un error por no linealidad de la siguiente manera:

Figura 13 Curva de NO linealidad



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

El error de linealidad comúnmente se designa como el error porcentual del error absoluto máximo que se encuentra, con respecto al más grande valor entre los valores de referencia.

$$\% = \frac{\varepsilon_{máx}}{A_{máx}} \times 100 \quad \{ecuación\ 14\}$$

Este error indica una desviación de las mediciones de un comportamiento ideal en cuanto a la linealidad del conjunto.

Error de histéresis

Conociendo que la histéresis es la máxima diferencia encontrada entre los valores de salida teniendo una misma entrada, podemos recorrer la escala en ambos sentidos, tanto ascendente como descendente. De esta manera se define que la histéresis generalmente se toma como el error porcentual del error absoluto, por el mayor histéresis encontrado con respecto al máximo de los valores de referencia:

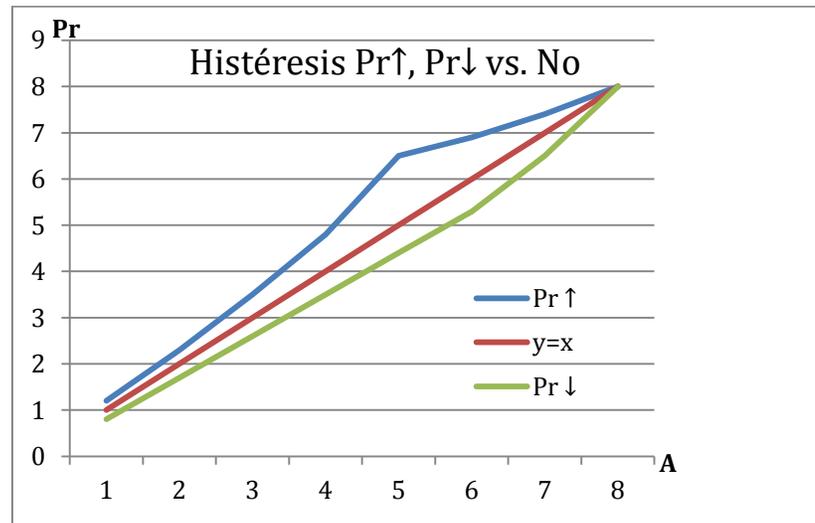
$$\% = \frac{\varepsilon_{máx}}{A_{máx}} \times 100 \quad \{ecuación\ 15\}$$

Tabla 5 Medición de histéresis

| No Valor verdadero | Pr ↑ Medición | Pr ↓ Medición | ε ε = Pr ↓ - Pr ↑ ε _i = a _i - A _i |
|-----------------------|------------------|------------------|--|
| 0 | a ₀ | A ₀ | ε ₀ |
| A ₁ | a ₁ | A ₁ | ε ₁ |
| A ₂ | a ₂ | A ₂ | ε ₂ |
| A ₃ | a ₃ | A ₃ | ε ₃ |
| A ₄ | a ₄ | A ₄ | ε ₄ |
| A ₅ | a ₅ | A ₅ | ε ₅ |
| A ₆ | a ₆ | A ₆ | ε ₆ |

| | | | |
|-------|-------|-------|-----------------|
| A_7 | a_7 | A_7 | ε_7 |
| A_8 | a_8 | A_8 | ε_8 |

Figura 14 Histéresis



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

INTERVALOS DE CALIBRACIÓN

Para la determinación de elegir un adecuado intervalo de calibración, influyen algunos factores importantes descritos de la siguiente manera:

- Las recomendaciones que ha hecho el fabricante.
- Expectativas que se tienen de su alcance y de la frecuencia de uso.
- Factores ambientales que afectan.

- Requerimientos de la incertidumbre en la medición.
- Error permisible máximo.
- La influencia en la cantidad de la medición (por ejemplo como influye la temperatura)
- Conglomerar o notificar los datos obtenidos sobre los mismos equipos o dispositivos similares.

La determinación elegida tiene que ser tomada por personal experto en mediciones, que tenga conocimiento a cerca de los instrumentos que van a ser calibrados y preferiblemente que conozca sobre algunos intervalos utilizados en otros laboratorios. La estimación que se realice puede ser de uno o de varios instrumentos a lo largo de algún tiempo y dicho instrumento probablemente permanezca dentro del máximo error permitido después de la calibración.

En el momento que se quiera realizar una revisión de los intervalos de calibración, es útil tener en cuenta puntos que influyen en ella tanto positivos como negativos, aquí algunos criterios para su elección:

- Los instrumentos pueden ser manipulados individualmente o en conjunto.
- Dependiendo del instrumento puede encontrarse diferencia de estabilidades.
- Presencia de ajuste en algunos instrumentos.
- Sus datos históricos disponibles a cerca de su calibración.

Luego de haber establecido cierta rutina de calibración, se debe (en lo posible) ajustar los intervalos de calibración, con el propósito de optimizar los balances de riesgo y costo. No es recomendable aplicar algún tipo de intuición para asignar los intervalos de calibración inicial y también un sistema que mantenga intervalos fijos con revisión.

Exactitud

Antes de iniciar el proceso de calibración es necesario realizar algunas valoraciones convenientes respecto al tipo de manómetro que se pretende utilizar, una fundamental para este caso es *la clasificación dependiendo de su clase*. La clase de un instrumento de medición de presión da una indicación a cerca de la exactitud con la que se cuenta dentro de un rango que señala la clasificación que debe hacerse.

Hablando de manómetros de carátula (análogos), se toma la recomendación hecha por la norma NTC-2263 para la selección de su clase, de esta manera:

0,25 0,4 0,6 1 1,6 2,5 4

Así que los que estén por debajo del rango anterior (0,25) son instrumentos patrones y los que se salen de rango por encima de 4 se considera que están por fuera de clase y no ofrecen ninguna garantía de trabajo, por esta razón son excluidos de las mediciones a realizar.

Por medio de la siguiente fórmula planteada para evaluar la clase en instrumentos de medición logramos conocerlos.

$$Clase = \frac{\text{División de escala del instrumento} \times 100}{\text{Rango más alto del instrumento}} \quad \{\text{ecuación 16}\}$$

Si se presenta el caso en el que el valor obtenido sea un punto intermedio entre dos valores de la escala, se recomienda hacer su aproximación hacia el valor inmediatamente más alto. Su escala puede estar en Psi (libras por pulgada cuadrada). La norma 17025 recomienda hacer mantenimientos preventivos entre calibración y calibración con un adecuado cronograma. Ver tabla 2

4 CAPITULO.ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES SIGUIENDO LAS RECOMENDACIONES DE LA GUIA TÉCNICA COLOMBIANA GTC-51 Y CONTRIBUCIONES DE LA DKD-R 6-1

4.1 INCERTIDUMBRE

La incertidumbre está presente en cada medición que se realiza, debido a que en la naturaleza siempre existirán imperfecciones que no permiten conocer con certeza absoluta si hay un valor verdadero dentro de una magnitud, de hecho el término “valor verdadero” ha sido retirado de las ultimas definiciones del Vocabulario de Metrología Internacional VIM, estableciendo la incertidumbre como “un parámetro, asociado al resultado de una medida, que caracteriza el intervalo de valores que pueden ser razonablemente atribuidos al mesurado” [14] de esta forma tenemos que la incertidumbre es un parámetro asociado a la caracterización de la dispersión de valores que pueden ser asignados razonablemente al mesurado.

El valor de la estimación de la incertidumbre depende de una manera importante del método, el procedimiento y su principio.

Existen varias fuentes para la estimación de la incertidumbre dentro de una medición que son necesarias tomarlas en cuenta, como son por ejemplo; Los resultados de la calibración del instrumento, la incertidumbre del patrón, la repetibilidad, la reproducibilidad debido a algunos cambios, particularidades específicas del instrumento (histéresis, resolución, deriva...), modificaciones en las condiciones ambientales, medición con modelo específico, definición del mesurado, magnitudes de influencia variables.

4.1.1 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Si queremos obtener la incertidumbre de una magnitud de entrada X_i , partiendo de repetidas observaciones en condiciones de repetibilidad, se puede estimar con base en la dispersión de los resultados individuales. Si se realizan n mediciones independientes para determinar X_i , obteniendo así en valores q_1, q_2, \dots, q_n , la mejor estimación x_i para el valor X_i es la media de cada resultado individual.

$$x_i = \bar{q} = \frac{1}{n} \times \sum_{j=1}^n q_j \quad \{\text{ecuación 17}\}$$

Para expresar la dispersión de los resultados q_1, q_2, \dots, q_n en la medición puede ser expresada por medio de su desviación estándar experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad \{\text{ecuación 18}\}$$

Para calcular la incertidumbre estándar $u(x_i)$ de X , se consigue mediante la desviación estándar experimental de la media:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad \{\text{ecuación 19}\}$$

De tal forma se consigue la incertidumbre estándar

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad \{\text{ecuación 20}\}$$

Asumiendo que la distribución de los q_j no varía por varios días o diferentes metrologos.

No es posible en este caso dar sugerencias para el número ideal de repeticiones n , ya que depende de las mediciones específicas; sus exigencias y condiciones, pero si es posible tener en cuenta que si aumentamos la cantidad de repeticiones, se refleja en una reducción de la incertidumbre por repetibilidad, proporcional a $1/\sqrt{n}$. Si se obtiene una gran cantidad de repeticiones entonces el tiempo de medición, esto puede no ser beneficioso si las condiciones ambientales no se mantienen constantes por largo tiempo. No es recomendable que n sea mayor de 10. Si se quiere saber qué impacto tiene n en la incertidumbre expandida, puede hacerse estimándose su influencia en el número de grados de libertad.

Otra forma de estimación de la incertidumbre de una magnitud es recurriendo a su información externa o la obtenida por la experiencia como por ejemplo los certificados existentes de calibración, los manuales del instrumento de medición, las normas, los valores de mediciones anteriores y conociendo sobre el comportamiento o características del sistema de medición.

Como parte del análisis que ofrece la guía DKD-3 y DKD-R 6-1, puede describirse la siguiente secuencia que utiliza tanto términos como reglas de cálculo, excluyendo las correlaciones entre las cantidades de entrada para:

Tabla 6 Evaluación de la incertidumbre

| | | | |
|------------------------|----------|---|--------------------------|
| Desempeño del modelo | | | $y = f(X_1, \dots, X_N)$ |
| Incertidumbre estándar | $u(x_i)$ | Incertidumbre estándar atribuida a la cantidad de entrada | |

| | | | |
|-------------------------|---------------|--|--|
| | c_i | Coeficiente de sensibilidad | $c_i = \frac{\delta f}{\delta x_i}$ |
| | $u_i(y)$ | Contribución a la incertidumbre estándar atribuida al resultado, debido a $u(x_i)$ de la cantidad de entrada (x_i) | $u_i(y)$ $= c_i \times u(x_i)$ |
| | $u(y)$ | Incertidumbre estándar atribuida al resultado | $u^2(y)$ $= \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$ $u(y)$ $= \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$ |
| Incertidumbre expandida | $U(y)$ k | Incertidumbre expandida Factor de cobertura | $U(y) = k \times u(y)$ $k = 2$ Para una magnitud de distribución normal y una probabilidad de cobertura de 95% |

4.1.2 DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR

Cuando se tienen que combinar los aportes a la estimación de incertidumbre con distribuciones diferentes, es indispensable representar los valores de las incertidumbres originales como incertidumbre estándar.

Distribución normal

En un certificado de calibración tenemos:

$$u(x_i) = \frac{U}{k} \quad \{\text{ecuación 21}\}$$

Contando con valores de incertidumbre expandida U y suponiendo normal la distribución del medido, siendo k el factor de cobertura.

Distribución rectangular

Conociendo que la magnitud de entrada X_i tiene una distribución rectangular con límites superiores e inferiores a_+ y a_- , respectivamente, entonces la estimación sería:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2} \quad \{\text{ecuación 22}\}$$

Y para calcular la incertidumbre estándar lo hacemos con:

$$u(x_i) = \frac{a_+ + a_-}{\sqrt{12}} \quad \{\text{ecuación 23}\}$$

Distribución triangular

De igual manera como en una distribución de tipo rectangular, con magnitud de entrada X_i y con distribución triangular de límites a_+ y a_- , se obtendrá el mejor estimado con:

$$x_i = \frac{a_+ + a_-}{2} \quad \{\text{ecuación 24}\}$$

Y esta vez la incertidumbre estándar con

$$u(x_i) = \frac{a_+ + a_-}{\sqrt{24}} \quad \{\text{ecuación 25}\}$$

En los casos que se presenta que la magnitud de entrada X_i , está afectada por varias fuentes e incertidumbre, como la dispersión, resolución del instrumento, incertidumbre de calibración, etc. Se puede recurrir a dos métodos equivalentes (que se profundizarán en líneas posteriores) para calcular una incertidumbre combinada.

La incertidumbre combinada es el resultado de la mezcla de contribuciones de todas las fuentes y se denomina con $u_c(y)$ llamada incertidumbre estándar combinada. Por otra parte existe la contribución u_i de cada fuente para llegar a la incertidumbre combinada y esta depende de la incertidumbre estándar $u(x_i)$ que pertenece a la propia fuente y al impacto de la fuente sobre el medido. Para calcular de esta manera $u_i(y)$ se realiza el producto de $u(x_i)$ con su coeficiente de sensibilidad c_i

$$u_i(y) = c_i * u(x_i) \quad \{\text{ecuación 26}\}$$

La primera forma de calcular la incertidumbre combinada es con la incertidumbre total (combinada) relacionada con la magnitud de entrada X_i , por medio de la adición geométrica de las incertidumbres individuales.

$$u(x_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^{M_i} [u_j(x_i)]^2} \quad \{\text{ecuación 27}\}$$

Siendo $u_j(x_i)$ la incertidumbre estándar de la fuente de incertidumbre número j de las M_i fuentes relacionadas con la magnitud de entrada X_i

La otra forma de realizarlo suponiendo que no se está interesado en conocer el efecto particular que muestra una de las fuentes en la incertidumbre combinada $u_c(y)$ cada fuente puede entrar independientemente en la ecuación:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N [c_i \times u(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[\frac{\delta f}{\delta x_i} \times u(x_i) \right]^2} \quad \{\text{ecuación 28}\}$$

Sustituyendo la cantidad de magnitudes de entrada N en la suma total de fuentes de incertidumbre. El coeficiente de sensibilidad C_i es igual para todas las fuentes de incertidumbre relacionadas con la misma magnitud de entrada X_i

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N c_i^2 \times \sum_{j=1}^{M_i} [u(x_i)]^2} \quad \{\text{ecuación 29}\}$$

Dado el caso que el coeficiente de sensibilidad C_i sea igual a cero o si la función no admite una representación lineal adecuada en el intervalo $\pm u(x_i)$ es necesario considerar términos de segundo orden.

Incertidumbres relativas

Sabiendo que los productos de las magnitudes de entrada X_i componen el modelo matemático

$$f(X_1, \dots, X_N) = const \times \prod_{i=1}^N (X_i)^{P_i} \quad \{ecuación 30\}$$

Donde

$const$ = una constante

P_i = son constantes reales positivas o negativas

Entonces el cálculo numérico de la incertidumbre combinada se hace más fácil al usar las incertidumbres relativas. Siendo P_i los coeficientes de sensibilidad y la ley de propagación de incertidumbre para lograr calcular la incertidumbre combinada relativa se logra de esta manera:

$$u_{c,rel}(y) = \frac{u_c(y)}{y} = \sqrt{\sum_{i=1}^N [P_i \times u_{rel}(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[P_i \times \frac{u(x_i)}{x_i} \right]^2} \quad \{ecuación31\}$$

A manera de resumen práctico se pueden encontrar dos reglas de cálculo generales para modelar el análisis de la incertidumbre, estas son la suma y el producto con las siguientes ecuaciones

Para la suma:

$$Y = X + \sum_{i=1}^N \delta X_i \quad \{\text{ecuación 32}\}$$

Para el producto:

$$Y = X \times \prod_{i=1}^N K_i \quad \{\text{ecuación 33}\}$$

Teniendo en cuenta que:

Y = cantidad de salida

X = cantidad de entrada

δX_i = desviación desconocida de la medición

$K_i = (1 + \delta X_i)$ = Factor o factores de corrección

$E\delta X_i = 0$ = Valor esperado

$E\delta K_i = 1$ = Valor esperado

Incertidumbre expandida

Siempre que se requiere expresar la estimación de la incertidumbre es imprescindible comunicar la manera de hacerlo, ya sea que se quiera expresar los resultados como la incertidumbre estándar combinada, como un cierto número de veces de incertidumbre o en algunos casos expresarse en términos de un nivel de confianza dado, esto depende de lo que le conviene al usuario.

Factor de cobertura y nivel de confianza

La incertidumbre estándar u_c contiene su valor equivalente al de la desviación estándar de la función de distribución del medido. El intervalo que se encuentra justo en el centro del mejor estimado del medido, contiene el valor verdadero con una probabilidad p de aproximadamente el 68%, suponiendo que los posibles valores del medido se rigen por una distribución normal.

Habitualmente se quiere tener una probabilidad mayor de 68% y esto se logra expandiendo este intervalo por un factor k denominado factor de cobertura y su resultado; incertidumbre expandida U

$$U = k * u_c \quad \{\text{ecuación 34}\}$$

Esta incertidumbre señala un intervalo llamado *intervalo de confianza* que interpreta una fracción p (*nivel de confianza*) de aquellos valores que podrían tomar el medido y puede ser seleccionado según el interés que se tenga.

La relación que exista entre el factor de cobertura k y el nivel de confianza p depende de la distribución de probabilidad del medido.

Distribución t de Student

Este tipo de distribución es reconocida por un parámetro ν llamado número de grados de libertad, dado que generalmente los valores del medido siguen una distribución normal. Sin embargo, la mejor estimación del medido, la media dividida entre su desviación estándar, se rige por una distribución que se denomina t de student, la cual deja ver que restricciones de la información disponible producida por la cantidad finita de mediciones.

Dicha distribución concuerda con la distribución normal justo en el límite, cuando n tiende a infinito, pero cambia notablemente respecto a ella cuando n es pequeña.

De esta forma el intervalo respectivo al nivel de confianza p se calcula por

$$U = u_c * t_p(v) \quad \{\text{ecuación 35}\}$$

Dado que el factor $t_p(v)$ indica los límites del intervalo que corresponde al nivel de confianza p de la distribución y su valor siempre es más grande o igual que el factor k

La función t-student es reconocida explícitamente como base para la expresión de la incertidumbre, la cual es escalada y desplazada. Esto tiene un parámetro adicional, los grados de libertad, v , y el límite cuando v tiende a infinito, la distribución t-student converge a la distribución gaussiana mencionada.

Grados de libertad

Los grados de libertad representados por v es una cantidad que está ligada a una distribución de magnitud X_i o Y , que se puede entender como una medida de incertidumbre de la incertidumbre de cierta magnitud. De esta manera si se tiene un valor de v grande entonces la estimación de la incertidumbre será más confiable.

La cantidad efectiva de grados de libertad v_{ef} del mesurado valora el número de grados de libertad v_i de cada fuente de incertidumbre. Una medición de repetibilidad, estimada por la desviación estándar experimental de n lecturas tiene entonces $n-1$ grados de libertad y una regresión lineal de M puntos por medio de una ecuación de m parámetros tiene $M-m$ grados de libertad.

A manera de resumen se puede decir que si se encuentra una función de distribución de probabilidad del medido y esta es normal, entonces de manera estricta, la incertidumbre expandida se obtiene de forma que:

$$U = u_c * t_p(v_{ef}) \quad \{\text{ecuación 36}\}$$

Siendo $t_p(v_{ef})$ el factor derivado de la distribución t de student que posee un nivel de confianza p y v_{ef} grados de libertad. Muchas veces si v_{ef} es muy grande, no se detecta una significativa diferencia en la respuesta numérica obtenida.

Expresión para la incertidumbre

Es muy complicado garantizar un valor preciso de la incertidumbre ya que existen múltiples aproximaciones hechas durante su estimación. Por esta razón frecuentemente los valores de $t_p(v_{ef})$ para $p=95\%$ se aproximan a 95,45% para de esta forma garantizar un valor de $k = 2,00$ justo en el límite de una distribución normal, mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 7 Aproximación de valores de t_p

| v | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 50 | 100 | ∞ |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----------|
| $t_p(v_{ef})$ | 13,9 | 4,5 | 3,3 | 2,8 | 2,6 | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 2,0 | 2,02 | 2,0 |
| | 7 | 3 | 1 | 7 | 5 | 2 | 3 | 7 | 2 | 8 | 3 | 5 | 5 | 0 |

Para designar la incertidumbre expandida U que incluye su indicación como un intervalo centrado en el mejor estimado y del medido. Se considera que p es aproximadamente

el 95% y a su vez el número efectivo de grados de libertad, cuando esto lo requiera. En las mediciones se puede expresar el resultado de forma que

$$Y = y \pm U \quad \{\text{ecuación 37}\}$$

Modelo de evaluación

Simplemente con un sencillo modelo de suma/diferencia basta para conocer la desviación de medición de indicación. Separando los valores en dirección a la presión ascendente y descendente.

$$\begin{aligned} \Delta p_{up/down} &= p_{ind, up/down} - p_{patrón} \\ &+ \sum_{i=1}^2 \delta p_i = p_{ind, up/down} - p_{patrón} + \delta p_{desviación\ cero} + \delta p_{repetibilidad} \end{aligned} \quad \{\text{ecuación 38}\}$$

Para valores de la media

$$\begin{aligned} \Delta p_{media} &= p_{ind, media} - p_{patrón} \\ &+ \sum_{i=1}^3 \delta p_i \\ &= p_{ind, media} - p_{patrón} + \delta p_{desviación\ cero} + \delta p_{repetibilidad} + \delta p_{histéresis} \end{aligned} \quad \{\text{ecuación 39}\}$$

$$\Delta p_{media} = \frac{p_{ind,up} + p_{ind,down}}{2} \quad \{\text{ecuación 40}\}$$

Δp =medido, desviación de la medición de indicación

p_{ind} =indicación del manómetro de presión

$p_{patrón}$ =valor del patrón de referencia

$\delta p_{desviación\ dero}$ =desviación desconocida de la medición debido a la desviación del cero

$\delta p_{repetibilidad}$ =desviación desconocida de la medición debido a la repetibilidad

$\delta p_{histéresis}$ =desviación desconocida de la medición debido a la histéresis

De manera general para el análisis de la incertidumbre para la calibración de un manómetro tipo Bourdon, es preferible siempre determinar toda la información en una tabla en la que reúna lo necesario.

Tabla 8 Matriz del modelo de evaluación de la incertidumbre

| # | X_i | x_i | 2*a | $P(x_i)$ | div | $u(x_i)$ | c_i | $u_i(y)$ | [] |
|---|----------------------------|----------------|-----------|------------------|------------|---|-------|--------------|-----|
| 1 | p_{ind} | $p_{i,ind}$ | 2r | rectángulo lo | $\sqrt{3}$ | $u(r)$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times \left(\frac{2r}{2}\right)^2}$ | 1 | u_r | bar |
| 2 | $p_{patrón}$ | $p_{i,patrón}$ | | normal | 2 | | -1 | $u_{patrón}$ | bar |
| 3 | $\delta p_{desv\ cero}$ | 0 | $f_0 = a$ | rectángulo lo | $\sqrt{3}$ | $u(f_0)$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times \left(\frac{2f_0}{2}\right)^2}$ | 1 | u_{f_0} | bar |
| 4 | $\delta p_{repetibilidad}$ | 0 | $b' = a$ | rectángulo lo | $\sqrt{3}$ | $u(b')$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times \left(\frac{2b'}{2}\right)^2}$ | 1 | $u_{b'}$ | bar |

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------|---------|------------|------------|--|---|-------|-----|
| 5 | $\delta p_{histéresis}$ | 0 | $h = a$ | rectángulo | $\sqrt{3}$ | $u(h)$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times \left(\frac{h}{2}\right)^2}$ | 1 | u_h | bar |
| | Y | Δp | | | | | | | bar |

Para el análisis de la incertidumbre con las cantidades de influencia relevante al valor de la presión del patrón:

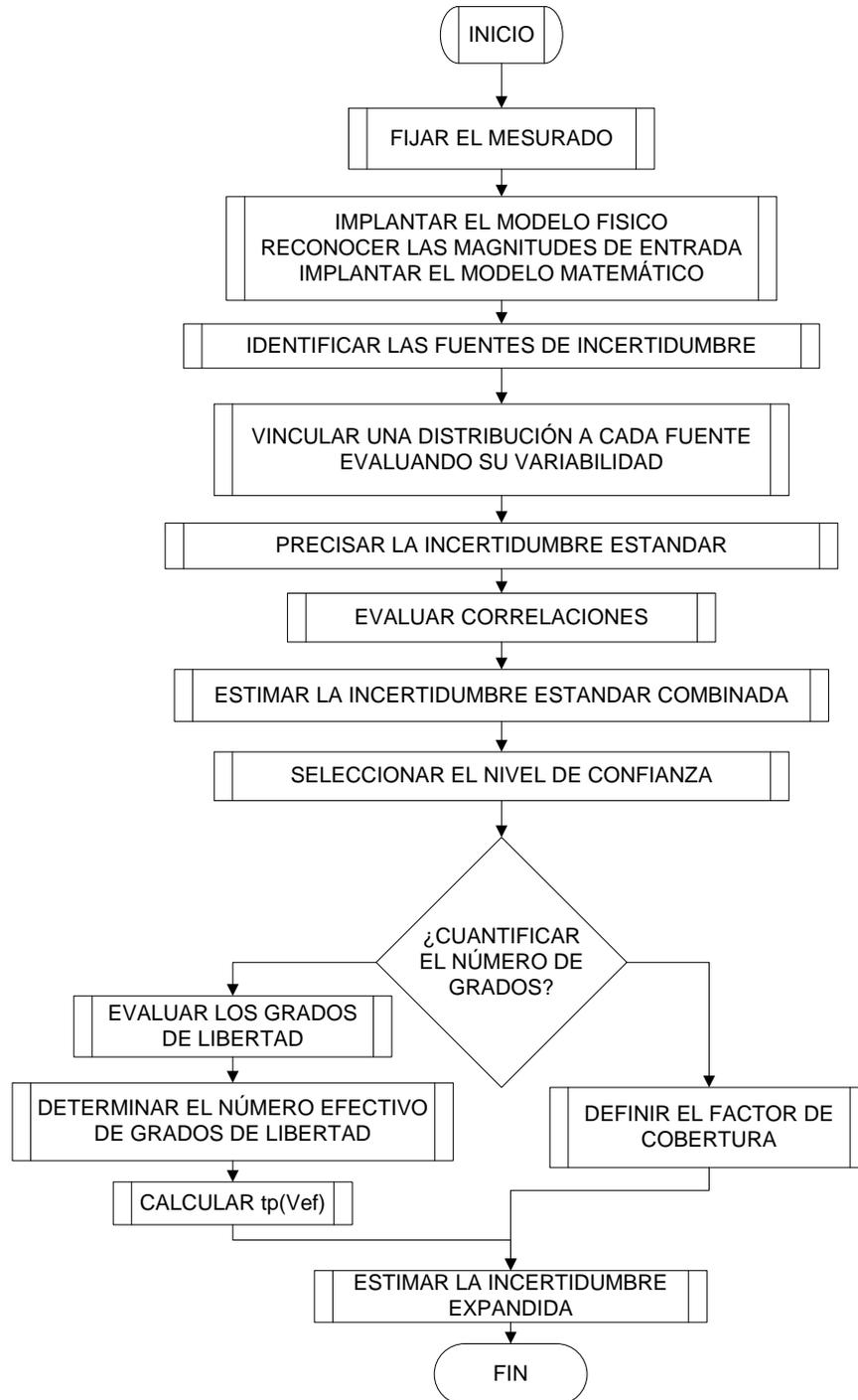
| | |
|---|-------------|
| Cantidad | : X_i |
| Estimación | : x_i |
| Mitad del ancho | : a |
| Distribución de la probabilidad | : $P(x_i)$ |
| Divisor | : div |
| Incertidumbre del patrón | : $u(x_i)$ |
| Coefficiente de sensibilidad | : c_i |
| Contribución de la incertidumbre | : $u_i(y)$ |
| Temperatura | : T |
| Coefficiente de expansión termal lineal | : α |
| Aceleración debido a la gravedad | : |
| Coefficiente de deformación | : λ |

Tabla 9 Análisis de Incertidumbre

| X_i | x_i | a | $P(x_i)$ | div | $u(x_i)$ | c_i | $u_i(y)$ | [] |
|-----------|------------------|-------------|----------|------------|---|--|---|-----|
| T | t_k | a_1 | Rect | $\sqrt{3}$ | $u(t)$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times a_t^2}$ | $c_t = -2 \times a \times p$ | $u_t = c_t \times u(t)$ | bar |
| α | $\alpha + \beta$ | a_α | Rect | $\sqrt{3}$ | $u(\alpha)$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times a_\alpha^2}$ | $c_\alpha = -2(t - 20^\circ\text{C}) \times p$ | $u_\alpha = c_\alpha \times u(\alpha)$ | bar |
| g | g | a_g | Rect | $\sqrt{3}$ | $u(g)$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times a_g^2}$ | $c_g = \frac{p}{g}$ | $u_g = c_g \times u(g)$ | bar |
| λ | λ | a_λ | Rect | $\sqrt{3}$ | $u(\lambda)$ $= \sqrt{\frac{1}{3} \times a_\lambda^2}$ | $c_\lambda = -p^2$ | $u_\lambda = c_\lambda \times u(\lambda)$ | bar |
| Y | y | | | | | $u_{corr 1} = \sqrt{u_t^2 + u_\alpha^2 + u_g^2 + u_\lambda^2}$ | | bar |

4.1.3 LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN UNA MEDICIÓN POR MEDIO DE UN DIAGRAMA

Figura 15 Diagrama para la estimación de la incertidumbre



De Schmid, Wolfgang A., Lazos, Ruben J.: *Guía para estimar la incertidumbre de la medición*. México, CENAM 2004, <http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/>

4.1.4 EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE UN MANÓMETRO DE PRESIÓN TIPO BOURDON

C =secuencia de calibración

M_{iw} =valor de la media

Δp =desviación de la medición

h =histéresis

p_{ind} =lectura del objeto a calibrar (indicación)

U=incertidumbre expandida

Objeto a calibrar:

Manómetro tipo Bourdon

Exactitud expresada por el fabricante : DIN cl. 1,0

Intervalo de escala : 0.5 bar (con 1/5 estimado)

Aparato patrón

Designación :xxx

Incertidumbre expandida : 1×10^{-4}

Condiciones ambientales

Medio de presión-transmisión : nitrógeno purificado

$\rho_{F1}(20^{\circ}C, 1bar)$: 1,15 kg/m³

Δh : (0 m \pm 0,005) m

t_{amb} :(21,6 \pm 1) °C

p_{amb} : (990 \pm 1) mbar

Tabla de resultado

Tabla 10 Resultados de mediciones en incertidumbre

| Presión $p_{patrón}$ | p_{ind} | | M_{iw} | Δp | h | U |
|-------------------------|-----------|------|---------------------|----------------|-------------|------|
| | M1 | M2 | $\frac{M1 + M2}{2}$ | $M_{iw} - p_e$ | $ M2 - M1 $ | |
| bar | bar | bar | bar | bar | bar | bar |
| 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,12 |
| 12,02 | 12,1 | 12,2 | 12,2 | 0,2 | 0,1 | 0,12 |
| 24,03 | 24,2 | 24,2 | 24,2 | 0,2 | 0,0 | 0,12 |
| 36,04 | 36,1, | 36,2 | 36,2 | 0,2 | 0,1 | 0,13 |
| 48,04 | 48,1 | 48,1 | 48,1 | 0,1 | 0,0 | 0,12 |
| 60,05 | 60,0 | 60,1 | 60,1 | 0,0 | 0,1 | 0,13 |

Estimación : x_i
 Ancho de distribución : 2ª
 Distribución de la probabilidad : $P(x_i)$
 Incertidumbre del patrón : $u(x_i)$
 Coeficiente de sensibilidad : c_i
 Contribución de la incertidumbre : $u_i(y)$
 Divisor : div

Tabla 11 Matriz de incertidumbre

| X_i | x_i | 2a | div | $u(x_i)$ | c_i | $u_i(y)$ | u^2 |
|-------------|--------------|----|------------|-----------|-------------------|----------|---------|
| p_{pat} | 60,05 bar | | 2 | 3E-3 bar | -1 | 3E-3 | 9,02E-6 |
| $p_{pat,t}$ | 0,9999 97 | 2K | $\sqrt{3}$ | 5,77E-1 K | -1,32E-3 bar/K | 7,63E-4 | 5,82E-7 |

| | | | | | | | |
|----------------------|--------------|------------------------|------------|-------------|-------------------|----------|-----------------------------|
| $p_{pat,h}$ | 0 | 1E-2 m | $\sqrt{3}$ | 2,89E-3 m | -6,74E-3 bar/m | 1,95E-5 | 3,79E-10 |
| p_{ind} | 60,05 bar | 0,1 bar | $\sqrt{3}$ | 5,77E-2 bar | 1 | 5,77E-2 | 3,33E-3 |
| δp_{desv0} | 0 | 0,0 bar | $\sqrt{3}$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $\delta p_{repetib}$ | 0 | 0,0 bar | $\sqrt{3}$ | 0 | 1 | 0 | 0 |
| $\delta p_{histé}$ | 0 | 0,1 bar | $\sqrt{3}$ | 2,89E-2 bar | 1 | 2,89E-2 | 8,33E-4 |
| Δp | 0,00 bar | $u =$ | | | | 6,46E-2 | $\sum u_i^2 = 4,17E$ - 3 |
| Δp | 0,00 bar | $U=(k)(u) \quad (k=2)$ | | | | 0,13 bar | |

Usando la aproximación para la dependencia de presión de la densidad del gas con:

$$\rho_{p,t} = \rho_{20^\circ C, 1bar} \times \left[\frac{p_{abs} \times (T + 20K)}{1bar \times (T + t)} \right]$$

Con T=273,15K

$$t_k = (21,6 \pm 1)^\circ C$$

$$g = (9,812533 \pm 0,000020)E - 6 m * s^2$$

$$\alpha + \beta = (11 \pm 1,1)E - 6 K^{-1}$$

5 CAPITULO. METROLOGÍA Y CONDICIONES DE CALIBRACIÓN SEGÚN LA NORMA NTC/ISO/IEC 17025

Un laboratorio que esté encargado de calibración debe tomar en cuenta su responsabilidad legal, ofreciendo un respaldo a sus clientes a forma de garantía por un trabajo correcto en todos sus aspectos. Debe contar con una buena organización de su capital humano cumpliendo una jerarquía regulada, especificando las responsabilidades para hacer buen desempeño de sus actividades como un equipo en mejoramiento continuo. El laboratorio debe realizar una documentación completa de toda la información que contiene como sus políticas, programas, procedimientos, sistemas, etc.

En lo concerniente a las condiciones ambientales y de las instalaciones hay que ser muy metódico porque es un aspecto que influye de gran forma en la entrega de resultados y su validación, no hay que permitir que el poco interés prestado comprometa la calidad del proceso. Es por esta razón que se debe hacer un seguimiento para controlar y registrar las condiciones ambientales permanentemente de los procedimientos o características que influyen como la humedad, temperatura, radiación, suministro eléctrico, ruido, vibración y todo lo pertinente del caso. Tanto la limpieza como el orden dentro del laboratorio son fundamentales en el momento de las mediciones, para no permitir que la contaminación de cualquier tipo perjudique el trabajo realizado.

Un laboratorio de metrología que trabaja con calibración de manómetros debe tener completo dominio de los métodos y procedimientos apropiados que deben ser aplicados en los procesos, así como una capacitación adecuada, con soportes en hojas de vida del personal, sobre las instrucciones para la utilización y el funcionamiento de toda la instrumentación relacionada con el desarrollo, la manipulación y preparación de los puntos a calibrar. Es necesario realizar las actualizaciones de las normas, instrucciones,

manuales y datos de referencia que tienen que ver con el desempeño dentro del laboratorio, la documentación actualizada debe ser muy asequible al personal que labora con sus indicaciones. Cualquier modificación es aceptable si se cuenta con una justificación previamente documentada y autorizada por el usuario.

5.1 SELECCIÓN DE MÉTODOS

Lo más adecuado respecto a la selección de un método de calibración es regirse por las normas establecidas por entidades encargadas que sean nacionales o internacionales y que se encuentren actualizadas asegurando que la versión sea la última vigente, cuando sea necesario es conveniente completarla con puntos adicionales de forma coherente. Generalmente el método puede ser seleccionado en común acuerdo con el cliente, pero en caso de no ser así, entonces se puede recurrir al recomendado por el fabricante del equipo o los convencionalmente legales encontrados en normas, libros o revistas especializadas. El mismo laboratorio puede contar con un procedimiento de calibración acogido por conveniencia y validado. Para tal caso el cliente debe aprobarlo después de haber sido informado sobre la elección.

Los métodos desarrollados por el laboratorio deben ser muy bien planificados con asignación de personal calificado que cuente con las herramientas adecuadas para su elaboración, contando con una excelente comunicación entre el personal encargado y con actualización de dicho método a lo largo del proceso.

Los métodos que no se encuentran normalizados deben tener el visto bueno del cliente junto con sus claras especificaciones a cerca de los requisitos de calibración. Este método también necesita ser validado para su aplicación

5.2 VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS

Un método propuesto es validado al demostrar por medio de una prueba y con razones evidentemente demostradas de que su funcionamiento es correcto y cumple con los requerimientos propios para un uso específico. Cada método que diseña, desarrolla o modifica un laboratorio, es necesario ser llevado a validación para ratificar que son apropiados para su fin propuesto, validando los métodos no normalizados y con comparaciones entre laboratorios. La validación tiene que contar con una previa documentación de los resultados obtenidos, su procedimiento usado y una explicación acerca de la competencia del método propuesto. La extensión del procedimiento puede ser tan amplia como se necesite, siendo lo primordial satisfacer las necesidades planteadas por el cliente. Para este fin, deben ser fijadas para el uso previsto la gama y la exactitud de los valores obtenidos.

5.3 LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN

Una característica indispensable que un laboratorio de calibración debe cumplir es contar con la capacidad máxima y óptima de medición ($U_a=0$), para aplicar un procedimiento para la estimación de incertidumbre en la medición en cada tipo de calibración realizada. Puede que en dados casos el método de calibración exceptúe un cálculo estrictamente valido en metrología y estadística para la incertidumbre de medición. Para esta situación el laboratorio debe hacer un reconocimiento de los componentes de la incertidumbre asegurándose que la manera como se presenta el resultado no de una impresión errónea de la incertidumbre. Si se quiere realizar una estimación de la incertidumbre correcta, hay que basarse en ser competentes en la realización del método, en el efecto esperado con la medición y emplear toda la experiencia adquirida anteriormente con la información de validaciones.

Los datos obtenidos durante la calibración deben calcularse de manera que puedan estar sujetos a posibles verificaciones realizadas de forma sistemática y cuando sea necesario el uso de computadores o equipo automatizados es conveniente tener en ratificar que el software que se ha desarrollado haya sido documentado detalladamente y también validado para garantizar el éxito. Cuando se realice la protección de datos, hay que procurar no limitar la información sobre los datos, el almacenamiento, transmisión y procesamiento.

5.4 LOS EQUIPOS

Si un laboratorio realiza calibraciones de presión debe contar con todas las herramientas requeridas para hacerlo adecuadamente, si es el caso de necesitar instrumentos con los que no se cuente hay que asegurarse de que cumplan lo que las normas internacionales requieren. Cuando se empleen los equipos o software para calibración, estos deben permitir la exactitud que se requiere obtener, cumpliendo con las especificaciones adecuadas.

Siempre que se vaya a usar un equipo nuevo es conveniente que lo calibremos y verifiquemos para confirmar que cumple con la demanda del laboratorio. La manipulación de los instrumentos tiene que ser realizada por personas autorizadas, las cuales deben contar con la disponibilidad de las instrucciones actualizadas sobre el manejo y mantenimiento de los equipos. Cada componente del equipo que sea relevante para la ejecución de la calibración, junto con su software debe tener establecido un registro el cual incluirá al menos la identificación del equipo, software, nombre del fabricante, modelo, serie, verificaciones de conformidad, ubicación actual, instrucciones del fabricante, así como también a cerca de las calibraciones sus fechas, resultados, copias de los informes, certificados y fecha prevista de la próxima calibración. Si han sucedido

reparaciones al equipo se deben registrar unido a su modificación, daño o mal funcionamiento.

Para garantizar un funcionamiento adecuado de los instrumentos y prevenir posibles contaminaciones o desgaste es necesario que el laboratorio realice un procedimiento de manipulación que asegure el transporte, almacenamiento, uso y mantenimiento.

En el caso de que exista un instrumento que entregue resultados dudosos debido al mal uso i sobrecarga, debe ser puesto fuera de servicio junto con un rotulo que lo indique y aislándolo para evitar ser utilizado, hasta que por medio de una calibración y ensayo se demuestre que funciona correctamente. De esta manera y con la ayuda de rótulos debe hacerse con todos los elementos que necesiten ser calibrados, indicando su última fecha de calibración, de vencimiento y criterio para su próxima calibración.

5.5 TRAZABILIDAD

Antes de ser puesto en servicio un equipo de laboratorio es necesario realizar su calibración incluyendo los de mediciones auxiliares y que tengan cualquier tipo de influencia importante en la exactitud o validez de resultados y debe existir un programa y procedimiento para la calibración de equipos.

Para asegurar que las calibraciones y las mediciones hechas en el laboratorio sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), se requiere diseñar y operar un programa de calibración de equipos adecuado que lo permita.

La trazabilidad de sus propios patrones de medición dentro de un laboratorio de calibración establecida por el mismo el sistema SI debido a una cadena ininterrumpida de calibraciones o comparaciones, debe ser establecida por el propio laboratorio de calibración. Gracias a la referencia de los patrones de medición nacionales se puede lograr

una vinculación a las unidades del Sistema Internacional. Los patrones nacionales pueden ser primarios o secundarios dependiendo del instituto que los calibra. En el caso que la calibración la realice algún agente externo es conveniente asegurar la trazabilidad de la medición mediante una calibración realizada por laboratorios con la capacidad de demostrar ser competentes y capaces para este propósito, emitiendo un certificado que incluya incertidumbre y una declaración especificando la conformidad metrológica registrada.

Si se presenta el caso de no poder realizar las mediciones de la calibración en unidades SI, entonces el laboratorio debe ofrecer fiabilidad en las mediciones estableciendo trazabilidad por medio de la utilización de materiales certificados obtenidos de un proveedor competente con el propósito de identificar adecuadamente el material, también puede hacerlo usando métodos y/o normas claramente descritas y en común acuerdo con las partes que participan.

5.6 CONSERVACIÓN DE LOS PATRONES

Cada laboratorio que cuente con un patrón de referencia debe poseer un programa junto a su procedimiento, además deben ser calibrados por una entidad que tenga la capacidad de proporcionar la trazabilidad demandada. Los instrumentos utilizados como patrones que se conservan en el laboratorio deben ser estrictamente utilizados para calibración y por esta razón serán calibrados antes y después de cualquier ajuste.

La trazabilidad de los materiales de referencia a las unidades de medida SI debe hacerse en cada instante que sea posible y los que se encuentran en una parte interna debe ser verificada en la medida técnica y económica que sea posible. Y las verificaciones que sean

necesarias deben ser llevadas a cabo para conservar la confianza en el estado de la calibración de los patrones de referencia.

5.7 MANIPULACIÓN DE LOS ÍTEMS DE CALIBRACIÓN

Para la parte de los ítems de calibración incluyendo las distribuciones necesarias para la protección del ítem de calibración, deben existir los procedimientos para el almacenamiento, transporte, recepción, protección, manipulación, conservación y/o disposición final. Debe existir en el laboratorio un sistema para la identificación de ítems de calibración, el cual debe ser conservado durante la permanencia del laboratorio, debe ser diseñado y operado de tal forma que garantice que los ítems no pueden ser confundidos físicamente ni cuando se referencien en registros o en documentos.

Es necesario contar con los procedimientos y las instalaciones apropiadas para evitar el deterioro, pérdida o daño del ítem de calibración mientras sucede el almacenamiento, la preparación y la manipulación. Si los ítems son almacenados o puestos en condiciones ambientales diferentes, es necesario llevar un seguimiento, mantenimiento y registro de sus condiciones.

5.8 GARANTÍA DE CALIDAD EN LOS RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Todo laboratorio debe contar con los procedimientos para el control de la calidad y de esta manera crear un seguimiento de la validez de las calibraciones llevadas a cabo. Estos datos deben ser registrados de tal forma que tenga la capacidad de detectar tendencias intentando poner en práctica técnicas estadísticas para revisar los resultados obtenidos, esto puede incluir algunas de los siguientes elementos:

- La regularidad en el uso de materiales de referencia certificados
- La puesta en común de los resultados le permite a los laboratorios llegar a determinadas conclusiones, estas permitirán archivar en la base de datos los resultados
- Tener métodos alternativos válidos.
- Los ítems con diferentes características dependiendo de los resultados de sus correlaciones.

5.9 RESULTADOS

El informe de resultados que se realiza de las calibraciones que se desarrollan dentro de un laboratorio, debe ser de una forma objetiva, clara y exacta, que coincida con las instrucciones particulares de los métodos de calibración sin presentar ambigüedades. Una expedición de certificado de calibración es importante para dar informe de los resultados de calibración, que incluirá lo que el cliente requiera saber para dar una buena interpretación de los resultados de la calibración y la descripción del método que ha sido utilizado.

Un informe de calibración necesita incluir información que contenga un título, información del laboratorio en donde se han realizado las calibraciones, una identificación exclusiva del informe de la calibración, datos del cliente, descripción del método utilizado, fecha en la que se recibió el ítem a calibrar, resultados con unidades de medida de las

calibraciones y una descripción del personal involucrado con las calibraciones quienes autorizan el certificado de calibración.

Cuando se realiza el certificado de la calibración realizada, este debe contener los siguientes puntos importantes:

- En qué condiciones ha sido realizada la calibración junto con lo que influye esto en el resultado.
- La estimación de la incertidumbre de la medición unida a la declaración del cumplimiento, especificando la metrología identificada en el proceso.
- Demostración de la trazabilidad de las mediciones.

Hay que tener en cuenta la incertidumbre de la medición al realizar declaraciones de cumplimiento. Si el instrumento usado para la calibración de elementos ha sido ajustado o reparado, se debe presentar un informe de resultados de calibración antes del ajuste y después de él. El certificado de calibración no tiene porque tener recomendación alguna a cerca del intervalo de su calibración, a menos que el cliente lo haya especificado (numeral 5.10.4.4 de la norma 17025).

5.10 APLICACIÓN DE LA NORMA NTC-ISO-IEC17025 AL PROCESO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS

Aprovechando que la Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con todo un proyecto final de carrera dedicado al diseño, documentación e implementación de esta norma [20] y con el fin de no hacer lo mismo, pero si ampliar el alcance de esta norma, se introducirá la

parte desarrollada en esta documentación de manómetros. De tal forma que se tenga una idea de la forma como se puede ver dentro del Manual de Gestión de la Calidad ISO9001. Dado que la realización de un manual de calidad implica un largo estudio y que además ya se ha realizado dentro de la universidad, se tomarán los numerales tanto de gestión como de requisitos técnicos, relevantes para el proceso de calibración de manómetros tipo Bourdon. Dado que la idea de este trabajo es dar una explicación concreta y práctica de la correcta forma de realizar el procedimiento de calibración, se intentará omitir puntos del manual de calidad que sean más generales y ya desarrollados detalladamente en otras ocasiones, para dedicar más espacio a los dos puntos más importantes del manual de calidad que tratan sobre la gestión y los requisitos técnicos necesarios para el cumplimiento de la norma internacional en el momento de implementar un laboratorio de metrología con calibración de manómetros (los numerales numeral cuatro y cinco).

Se toma por hecho que la Universidad Pontificia Bolivariana cuenta con la normatividad, la cual se debe realizar siguiendo las respectivas pautas del caso, de esta manera se utilizará una nomenclatura hipotética, dado que se desconoce.

Se dará también más adelante un ejemplo de "Manual de Gestión de Calidad" ofrecido gratuitamente a manera de muestra, con el fin de continuar con el desarrollo didáctico de la documentación presentada.

5.10.1 MANUAL DE GESTIÓN DE CALIDAD

La norma NTC/ISO-17025 es un texto que describe punto a punto, lo que debe seguir un laboratorio para su correcto funcionamiento y esté preparado para una acreditación bajo la norma internacional, este proyecto de documentación quiere de manera didáctica

exponer como se interpreta la norma para ser aplicada al manual de gestión de calidad en sí, tomando como ejemplos algunos textos observados de entidades expertas en este proceso de calibración. Dichos manuales son de uso privativo de los organismos y no se permite más que su observación dentro de sus instalaciones, con el fin de proteger tanto su trabajo como su propiedad intelectual en estos procesos de metrología.

La manera como se aplica la norma para la elaboración del manual de gestión de calidad depende de la forma como la empresa o laboratorio haya hecho la implementación. Una manera de hacerlo es la siguiente:

| | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

REQUISITOS RELATIVOS A LA GESTIÓN

➤ Organización

| | |
|------------------------|--|
| Razón social: | Laboratorio de Instrumentación Electrónica LIE Universidad Pontificia Bolivariana |
| Dirección: | Autopista Piedecuesta Kilometro 7 |
| Teléfono: | + (577) 679 6220 |
| Dirección electrónica: | http://www.upb.edu.co |

Este laboratorio fue legalmente creado en cumplimiento con lo requerido por la norma internacional NTC/ISO 17025, en respuesta a una necesidad de documentar el procedimiento de calibración de manómetros tipo Bourdon y de esta manera conocer lo necesario para implementar el laboratorio de metrología dentro de la facultad de electrónica. Contando con el personal capacitado (director, técnicos, responsables de áreas y sus sustitutos) para la puesta en marcha del laboratorio con sus obligaciones y responsabilidades asignadas, trabajando libre de presiones dentro de los procesos de calibración. Este laboratorio cuenta con buena comunicación interna de sus procesos para garantizar una eficacia en su desarrollo y permite ofrecer a sus usuarios disponibilidad de desplazamiento dentro de toda el área que corresponde a la universidad, para realizar sus labores de calibración de manómetros

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

➤ Sistema de gestión

El laboratorio de metrología de la UPB ha establecido, implementado y mantenido un sistema de gestión de calidad de acuerdo al alcance de sus actividades. Se registran sus sistemas, políticas, programas, procedimientos e instrucciones de manera que la calidad quede asegurada en los resultados de las calibraciones. Se comunica la documentación al personal que requiera acceso y pueda ser aplicada correctamente.

Política de calidad:

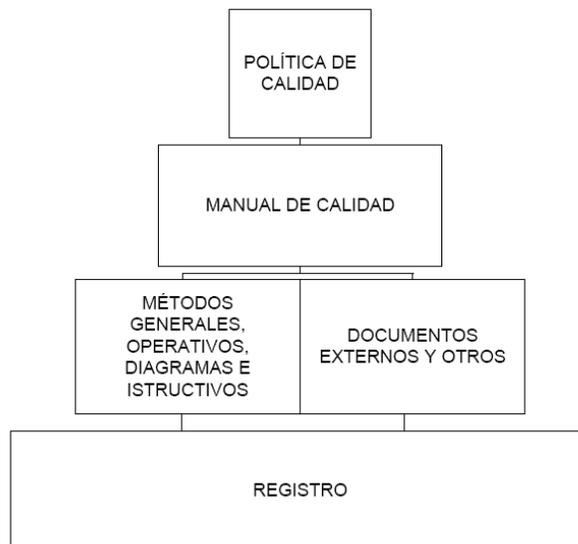
Se ha establecido dentro de la facultad de ingeniería electrónica la política de los laboratorios de instrumentación electrónica en metrología, asociándola con la referencia PC-XX-UPB (supuesto) que cumple a cabalidad lo fijado por la norma internacional respecto a su compromiso con la calidad, servicio, propósito, documentación y mejoramiento continuo.

Se evidencia el desarrollo del laboratorio con un registro de sus implementaciones, conformidad de usuarios y un manual que incluye procedimientos técnicos, funciones, personal responsable y garantizando también el mantenimiento del sistema de calidad cuando existan cambios.

| | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

➤ Control de documentos

El laboratorio de metrología de la UPB se ha encargado de establecer los procedimientos para el control de todos los documentos (reglas, normas, dibujos, software, especificaciones, instrucciones, manuales, etc) que hacen parte de su sistema de calidad.



Anterior a su emisión, los documentos dispuestos para el personal, han sido revisados y aprobados para el uso autorizado. El procedimiento de la UPB para el mantenimiento y establecimiento de los documentos se ha construido a partir de los siguientes parámetros:

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

- Posee ediciones autorizadas de los documentos y son puestas a disposición en todos los sitios donde aplique y garantice el eficaz funcionamiento
- Todos los documentos son examinados periódicamente, modificados para cumplir los requisitos aplicables
- Cada documento que pierde su validez o queda obsoleto es retirado inmediatamente e identificado para posibles confusiones.

Los documentos del sistema que son generados en el laboratorio son identificados, en dicha identificación se incluye la fecha, numeración de páginas y el personal autorizado para hacerlo, esto incluye la carátula de cada uno.

Los cambios a los documentos son revisados y aprobados por el personal que posee el acceso a los antecedentes con los que se está basando. Se identifican las modificaciones al texto, si son hechas a mano debe ser aprobado, firmado y fechado. Este procedimiento también indica cómo se realizan y controlan las modificaciones de los documentos conservados en los sistemas informáticos.

- Revisión de pedidos, ofertas y contratos

El LIE de la UPB ha desarrollado y aplicado un procedimiento para la revisión de los pedidos, ofertas y contratos asegurando que:

| | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

- Los requisitos, incluyendo los métodos a utilizar, están adecuadamente definidos, documentados y entendidos
- El laboratorio tiene la capacidad y los recursos para cumplir con los requisitos
- Se selecciona el método apropiada, que sea capaz de satisfacer los requisitos de los usuarios

Los contratos realizados con los usuarios serán aprobados por las dos partes en cuestión, conservando registros de los cambios y revisiones realizados, conversaciones con el usuario durante el proceso o con los resultados obtenidos. Las revisiones incluyen subcontratos y se informará al usuario si existen desvíos del contrato, en este caso, si existe alguna modificación del contrato después de comenzar, es necesario repetir el proceso de revisión, comunicando a los afectados tal situación.

➤ Subcontratos de calibraciones

Cuando el LIE subcontrate un trabajo, por algún motivo excepcional, debidamente justificado, se encarga este trabajo a un subcontratista competente que cumpla con las normas internacionales, informando al usuario por escrito y registrando todos y cada uno de los subcontratistas con evidencias de cumplimiento con la norma internacional

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

➤ **Compra de servicios y suministros**

Para la selección y la compra de los servicios y suministros que se utilizan y afectan la calidad de las calibraciones, el LIE ha establecido el procedimiento PCSS-XX-UPB (supuesto) dicho procedimiento también establece los métodos para la compra, recepción y almacenamiento de los materiales empleados en el laboratorio, necesarios para las calibraciones.

El LIE (Laboratorio de Instrumentación Electrónica) siempre realiza una comprobación de que los materiales comprados sean inspeccionados o verificados al inicio y que también cumplan con las especificaciones y los requisitos necesarios. Se lleva un registro de las acciones realizadas para el cumplimiento de la norma internacional.

Siempre que se realicen documentos de compras del laboratorio, deben describir los servicios y suministros solicitados. Los elementos deben ser revisados y aprobados antes de su puesta en servicio.

Todos los proveedores de servicios y suministros estarán evaluados y registrados en un listado de los aprobados por el LIE

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| PROCESO: METROLOGIA | | Mayo de 2011 | |

➤ Servicio al usuario

Se coopera con los usuarios o con los representantes de los usuarios, con el fin de clarificar su pedido y realizar el seguimiento del desempeño del sector en relación con el trabajo realizado, asegurando siempre la confidencialidad hacia ellos. La cooperación incluye:

- Permitir al usuario el acceso razonable a las áreas pertinentes para presenciar calibraciones cuando sea posible. Para ello se ha desarrollado y aplicado en el instructivo SU-XX-UPB (supuesto)
- Informar al usuario cualquier demora o desviación de lo acordado en la realización de las calibraciones
- Obtener información de retorno de los usuarios, tanto positiva como negativa, por medio de encuestas o revisión de los informes de calibración con los usuarios, para mejorar el sistema de calidad, las actividades de calibración y el servicio al usuario.

➤ Quejas

Para resolver las quejas recibidas de los usuarios o de algunas otras partes, el LIE cuenta con el procedimiento Q-XX-UPB (supuesto). Se conservan los registros de todas las quejas recibidas, como también las investigaciones y correcciones hechas por el LIE.

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| PROCESO: METROLOGIA | | Mayo de 2011 | |

➤ Control de trabajos de procedimientos no conformes

En el LIE se cuenta con una política y un procedimiento que es implementado cuando cualquier aspecto de calibración o de resultado obtenido, no cumple con los procedimientos o requisitos acordados con el usuario, esta política asegura que:

- Al identificar el trabajo no conforme, se asignan las responsabilidades y las autoridades para la gestión de trabajo no conforme, definiendo y tomando acciones adecuadas
- Se evalúa la importancia del trabajo no conforme
- Son tomadas acciones correctivas inmediatamente y también decisiones respecto a la aceptabilidad del trabajo no conforme
- Si es necesario, se notifica al usuario y se anula el trabajo
- Es definida la responsabilidad para autorizar la reanudación del trabajo

En el momento que la evaluación indique que puede ocurrir de nuevo una inconformidad, se debe seguir el procedimiento de acciones correctivas.

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

➤ Mejora

El LIE mejora continuamente la eficacia del sistema de gestión por medio de la política de calidad, los objetivos de calidad, los resultados de las auditorias, el análisis de los datos, las acciones correctivas, preventivas y la revisión por parte de la dirección.

➤ Acciones correctivas

Dado el caso en que el LIE detecte trabajos no conformes o desvíos de las políticas y procedimientos del sistema de calidad o ejecuciones técnicas, estos se tratan de acuerdo a lo especificado en el procedimiento AC-XX-UPB (supuesto) que trata a cerca de las acciones correctivas y preventivas.

Dicho procedimiento inicia con la investigación y la determinación de las causas del problema, si requiere acción correctiva el LIE elegirá de las posibles, la que ofrezca mayor posibilidad de eliminar y prevenir problemas. Los cambios necesarios son documentados e implementados para las investigaciones de aseguramiento correctivo.

El LIE debe hacer seguimiento de los resultados obtenidos de las acciones correctivas para asegurar su eficacia.

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| PROCESO: METROLOGIA | | Mayo de 2011 | |

Si se presenta el caso en que las inconformidades pongan en duda el cumplimiento del laboratorio o de la norma internacional, debe hacerse una auditoría tan pronto como sea posible

➤ Acciones preventivas

Se identifican las mejoras necesarias y potenciales fuentes de inconformidades, ya sean técnicas o relativas al sistema de la calidad. Si se identifican oportunidades de mejora o se requiere una acción preventiva, se desarrolla el seguimiento de planes de acción para reducir la probabilidad de ocurrencia de tales inconformidades, así como para utilizar las oportunidades de mejoramiento.

El procedimiento para las acciones preventivas incluye un análisis de causa y la aplicación de controles para asegurar la eficacia

➤ Control de registros

El LIE establece y mantiene procedimientos para la identificación, recopilación, codificación, acceso, archivo, almacenamiento, conservación y eliminación de los registros de calidad y técnicos.

Los registros deben ser legibles y deben ser almacenados de modo que su acceso sea fácil, seguro, confidencial, con un ambiente adecuado y estableciendo el tiempo de retención

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

de los registros, para los que existe el procedimiento CR-XX-UPB quien protege también los registros electrónicos, previniendo el acceso no autorizado o la incorrecta manipulación de ellos. Dichos registros son conservados por periodos determinados junto a las observaciones originales que contengan información suficiente para establecer un protocolo de control, calibraciones, personal y copias de certificados emitidos. Los registros de las calibraciones deben ofrecer suficiente información sobre los factores que afectan a la incertidumbre y las observaciones hechas con cálculos o datos se registran en el momento que se está llevando a cabo el proceso para relacionarlo con sus operaciones. Para realizar el registro de errores es necesario tacharlos (más no borrarlos), escribiendo el valor correcto al margen. Estas alteraciones se firman por el encargado que corresponde a ese sector y si se trata de registros electrónicos se hace lo mismo.

➤ Auditorías internas

El LIE efectúa, periódicamente, de acuerdo con su calendario y el procedimiento AI-XX-UPB, las auditorías internas de sus actividades para verificar que sus operaciones continúan cumpliendo con los requisitos del sistema de calidad y la norma ISO/NTC-17025 para laboratorios. La planificación y organización de las auditorías se hace por el responsable de la calidad y realizadas por el personal adecuadamente formado y calificado para ello.

Si existe el caso en que los hallazgos de las auditorías pongan en duda la eficacia de las operaciones de exactitud o validez de resultados de las calibraciones, se hacen las

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

correcciones oportunas y si también pueden afectar a los resultados se notifica por escrito. De esta manera se registran sectores, hallazgos y acciones realizadas por la auditoría

➤ Revisiones por la dirección

La dirección del laboratorio realiza periódicamente de acuerdo al calendario y a su procedimiento RD-XX-UPB (supuesto) documentado, la revisión del sistema de calidad y de las actividades de calibración en el laboratorio, manteniendo una eficacia y adecuación constante, la revisión contiene:

- Adecuación de políticas y procedimientos
- Informe del personal directivo y de supervisión
- Resultados de auditorías internas
- Acciones correctivas y preventivas
- Evaluación de externos
- Resultados de las comparaciones con diferentes laboratorios
- Cambios de volumen y tipos de trabajos hechos
- Retroalimentación con los usuarios
- Quejas
- Recomendaciones para mejoras

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

 Requisitos técnicos

➤ Generalidades

La Universidad Pontificia Bolivariana por medio del LIE, garantiza la confiabilidad de sus procesos con exactitud en la calibración de los servicios realizados. La metodología general para la gestión contiene factores que determinan esto, aquí mencionados:

- factores humanos
- las instalaciones y condiciones ambientales
- los métodos de calibración y la validación de los métodos
- los equipos
- la trazabilidad de las mediciones
- el muestreo (no para este caso de calibración de manómetros)
- la manipulación de los ítems de calibración

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

➤ Personal

El LIE asegura la competencia de todo el personal que opera equipos específicos, que realiza calibraciones, evalúa los resultados y firma los informes de calibraciones. En el caso de emplear personal en formación, provee una supervisión apropiada. El personal que realiza tareas específicas está calificado sobre bases educativas, formación, experiencia apropiada y habilidades demostradas según lo requiera el puesto que ocupa. El encargado de la parte técnica del LIE formula los perfiles de los puestos que definen requerimientos con respecto a la educación, formación y aptitudes del personal de cada sector. Se tiene un procedimiento para identificar las necesidades de formación personal y para proporcionarla.

El LIE dispone de personal contratado directamente, en el caso de utilizar personal de apoyo clave, este es supervisado, competente y trabaja de acuerdo con el sistema de gestión del laboratorio. Los perfiles del personal directivo, técnico y de apoyo, son continuamente actualizados. La dirección del LIE es la que autoriza a los miembros específicos del personal para que realice los tipos de calibración, emita opiniones e interpretaciones y para que opere los instrumentos particulares del laboratorio, registrándolo al igual que las autorizaciones, el nivel de estudios, la competencia, calificaciones profesionales, la formación, las habilidades y de la experiencia de cada individuo que conforme el personal contratado.

| | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

➤ Instalaciones y condiciones ambientales

La disposición de las instalaciones para la puesta en marcha de la calibración de manómetros, incluyendo fuentes de energía, iluminación y las condiciones ambientales están adecuadas para facilitar la correcta realización de las calibraciones. El LIE garantiza que las condiciones ambientales no invalidan los resultados ni comprometan la calidad de las mediciones, prestando especial atención, por ejemplo al suministro eléctrico, la temperatura, los niveles de vibración y corrientes de aire, según corresponde a las actividades técnicas en cuestión. En el caso que las condiciones ambientales comprometan los resultados, estos se interrumpen.

Existe una efectiva separación entre áreas vecinas en las que se llevan a cabo actividades incompatibles.

Existe un especial cuidado con el acceso y el uso de las áreas que afectan la calidad de las pruebas de calibración, de la misma forma se asegura al personal de las instalaciones unas buenas condiciones de seguridad.

➤ Método de calibración y validación de los métodos

El LIE aplica métodos y procedimientos apropiados para las calibraciones. Estos incluyen la manipulación, transporte, almacenamiento y preparación de los ítems a

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

calibrar, de igual manera cuando corresponda la estimación de la incertidumbre en las mediciones.

Se tienen instrucciones en el LIE para el uso y el funcionamiento de todo el equipamiento correspondiente, actualizado y con disposición. De igual forma el laboratorio asegura la disponibilidad y uso de elementos de seguridad para prevenir y controlar posibles efectos adversos que pongan en riesgo la salud del operador y/o analista. La parte que corresponde a manuales, normas y datos de referencia de trabajos, son oportunamente actualizados y a disposición de los encargados.

El método que se realiza dentro del LIE para la calibración, satisfacen lo requerido por el usuario, se usan preferiblemente los métodos publicados como normas internacionales, regionales o nacionales, asegurándose de aplicar la última versión disponible de cada documento. Dado el caso en que el usuario no de especificaciones sobre el método a utilizar, el LIE selecciona el más apropiado que esté vigente. En algunos casos se utiliza también los métodos desarrollados por el propio laboratorio, asegurando que sea el apropiado y anteriormente validado. En cualquier caso el usuario es informado sobre la elección.

Cuando sea necesario usar algún método no normalizado, en acuerdo con el usuario, incluyendo especificaciones claras de los requisitos del usuario. El método desarrollado es documentado y validado de forma adecuada antes de ser usado. Para la validación de estos métodos no normalizados, se desarrollan tan amplios como sean necesarios con el fin de satisfacer las necesidades del tipo de aplicación o del campo

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

de aplicación dado. El LIE registra todos los resultados obtenidos, el procedimiento utilizado y una declaración sobre la aptitud del método.

En los procesos de calibración dentro del laboratorio, se aplican procedimientos para estimar la incertidumbre de medición para todas las calibraciones y todos los tipos de calibraciones. El LIE posee procedimientos para la estimación de la incertidumbre en las mediciones, tomando en cuenta todos los componentes de la misma que son de importancia en la situación dada. Los cálculos realizados junto con la transferencia de datos están sujetos a verificaciones adecuadas que se llevan a cabo de manera sistemática.

➤ equipos

El LIE está provisto con todos los componentes del equipamiento para la medición, calibración y procesamiento, para la correcta ejecución de los mismos. En algún caso en que sea necesario utilizar equipos que estén fuera de su control permanente, se asegura cumplir los requisitos de las normas internacionales.

Los equipos y software utilizados para las calibraciones permiten lograr la exactitud requerida y cumplen con las especificaciones pertinentes para las calibraciones correspondientes. Se establecen programas de calibración para las magnitudes o los valores esenciales de los instrumentos cuando estas propiedades afecten significativamente a los resultados. Antes de que un equipo se ponga en

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

funcionamiento, es calibrado o verificado con la intención de garantizar que cumple con las exigencias requeridas del laboratorio, estos equipos debidamente identificados, siempre son manipulados por personal autorizado con acceso a las instrucciones de ellos.

Para la realización de calibraciones, equipamiento y software es importante realizar registros de cada componente que contenga:

- La identificación del equipo y su software
- El nombre del fabricante, identificación del modelo, número de serie u otra identificación única
- Las verificaciones de conformidad del equipo con la especificación
- Las instrucciones del fabricante o la referencia de su ubicación
- Las fechas, resultados, copias de informes y los certificados de todas las calibraciones, criterios de aceptación y la fecha prevista de la próxima calibración

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

- El plan de mantenimiento, cuando corresponda y el mantenimiento llevado a cabo hasta la fecha
- Todo daño, mal funcionamiento, modificación o reparación del equipo

El LIE tiene los procedimientos para la manipulación segura, el transporte, almacenamiento y mantenimiento de los equipos de medición. Cuando un equipo ha demostrado ser defectuoso, es puesto fuera de servicio, es aislado para evitar su uso y marcado para el reconocimiento, hasta su reparación, calibración y muestra de correcto funcionamiento. Todos los instrumentos del laboratorio para la calibración son rotulados, codificados e identificados, incluyendo la última calibración realizada con su vencimiento.

Cuando las calibraciones den lugar a un conjunto de factores de corrección, el LIE tiene procedimientos para asegurar que las copias se actualicen correctamente. Los equipos de calibración tanto hardware como software son protegidos contra ajustes que puedan invalidar los resultados de las calibraciones.

➤ Trazabilidad en las mediciones

Todos los equipos utilizados para la calibración, incluyendo los de mediciones secundarias que tienen efecto significativo en la exactitud o en la validez de los

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

resultados, son calibrados antes de ser puestos en servicio. El LIE cuenta con un programa y un procedimiento para la calibración de sus equipos.

Para las calibraciones el laboratorio se asegura que el equipo utilizado puede proveer la incertidumbre de medición requerida, el LIE garantiza la trazabilidad de los resultados de las calibraciones internas y externas para los puntos críticos.

Para los patrones de referencia, el laboratorio posee un programa y un procedimiento para el control de los patrones de referencia. Dichos patrones de referencia para la medición (conservados adecuadamente), son utilizados solo para la calibración y para ningún otro propósito, a menos que se demuestre que su desempeño como patrón de referencia no será invalidado. Al material utilizado como referencia, cada vez que sea posible se establece la trazabilidad a las unidades de medición SI o a materiales de medición certificados, los materiales de referencia interna son verificados en la medida que sea técnica y económicamente posible.

Las verificaciones se llevan a cabo cuando sean necesarias, para mantener la confianza en la condición de calibración de los patrones de referencia, primarios, de transferencia o de trabajo y de los materiales de referencia de acuerdo con procedimientos y una programación definida

| | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

Para el transporte y el almacenamiento de los patrones de referencia y materiales de referencia, se tiene un procedimiento para su seguridad, con el fin de prevenir su contaminación o deterioro y así preservar su integridad.

➤ Muestreo

En el caso de la calibración de manómetros el muestreo no se aplica por tratarse de cantidad de elementos relativamente pequeña, esto requiere que las calibraciones se desarrollen para todos y cada uno de los ítems o manómetros a calibrar y no hacer muestreo.

➤ Manipulación de los ítems de calibración

En el laboratorio se tiene el procedimiento MC-XX-UPB (supuesto), dedicado a la recepción, manipulación, protección, almacenamiento, conservación o la disposición final de los ítems de calibración, incluyendo todas las disposiciones necesarias para la protección de la integridad del ítem de calibración, de igual manera como los intereses del LIE y de los usuarios. Se cuenta con un sistema para la identificación de los ítems de calibración conservado durante la vida útil del ítem dentro del laboratorio. Este sistema está diseñado para asegurar que los ítems no sean confundidos físicamente ni tampoco al referenciarlos en registros.

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

Cuando se reciben los ítems, se registra cualquier anomalía o desvío de las condiciones normales o especificadas en el método correspondiente. Para evitar el deterioro, pérdida o daño del ítem, el laboratorio cuenta con unas instalaciones y procedimientos apropiados, durante el almacenamiento, manipulación y preparación, siguiendo las instrucciones adecuadas. Dado el caso que un ítem requiera condiciones ambientales específicas, estas son mantenidas, monitoreadas y registradas.

➤ **Aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración**

El LIE dispone del procedimiento AC-XX-UPB (supuesto), para el control de la calidad con monitoreo de la validación de las calibraciones realizadas. Los datos obtenidos se registran de tal manera que se puedan detectar tendencias y en la medida que sea posible, se aplican técnicas estadísticas para la revisión de los resultados. Este monitoreo planificado y revisado puede incluir lo siguiente:

- El uso regular de materiales de referencia certificados o el control interno de la calidad usando materiales de referencia secundarios
- La participación en programas de comparaciones inter-laboratorios o de ensayos de aptitud
- Repetición del ensayo de los ítems retenidos
- La correlación de los resultados para diferentes características de un mismo ítem

| | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

➤ Informe de los resultados

Los resultados de cada calibración realizada son informados en manera exacta, clara, no ambigua y objetiva, de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de calibración. Los resultados obtenidos generalmente se notifican dentro de un informe o un certificado de calibración, en donde se incluye toda la información requerida por el usuario y necesaria para la interpretación de los resultados de la calibración, de igual manera la información del método usado por el LIE.

Si existe el caso de realizar calibraciones para usuarios internos, los resultados son informados en forma simplificada y están fácilmente disponible dentro del laboratorio que efectuó la calibración.

Los certificados de calibración incluyen la siguiente información:

- Título
- Nombre, dirección del laboratorio donde se realizan las calibraciones
- La identificación única del certificado de calibración y en cada página una identificación para asegurar que es reconocida como parte del certificado de calibración y una identificación final clara del certificado
- Nombre y dirección del cliente

| | | | |
|---|--|------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

- La identificación del método utilizado
- Una descripción, la condición e identificación no ambigua de los ítems calibrados
- Fecha de recepción de los ítems sometidos a calibración cuando esta sea esencial para la validez y la aplicación de los resultados, junto con la fecha de ejecución de la calibración
- Los resultados de las calibraciones con sus unidades de medida, cuando sea correspondiente
- El o los nombres, funciones y firmas o una identificación equivalente de las personas que autorizan el certificado de calibración

Certificado de calibración

El LIE incluye dentro de los certificados de calibración, cuando es necesario para la interpretación de los resultados de la calibración, lo siguiente:

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

- Condiciones bajo las cuales fueron realizadas las calibraciones y que tengan una influencia en los resultados de la medición
- La incertidumbre de la medición y/o declaración de cumplimiento con una especificación metrológica identificada o con partes de esta
- Evidencia de que las mediciones son trazables

El certificado de calibración está relacionado con las magnitudes y los resultados de los ensayos funcionales. Cuando se hace una declaración de conformidad con una especificación omitiendo los resultados de la medición y las incertidumbres asociadas, el LIE registra dichos resultados y los mantiene para posibles referencias futuras.

Los certificados de calibración no contienen ningún tipo de recomendación sobre el intervalo de calibración, excepto cuando ha sido acordado con el usuario. Si se incluyen opiniones o interpretaciones, el LIE asienta por escrito las bases que respaldan dichas opiniones e interpretaciones, estas deben estar claramente identificadas como tales en un informe de calibración. Cuando se subcontrata una calibración, el laboratorio que efectúa el trabajo remite el certificado de calibración al laboratorio contratado y en el caso que los resultados de la calibración se transmitan por medios electrónicos, se cumplen los requisitos de la norma internacional NTC-ISO/IEC 17025.

| | | | |
|---|--|---|---------------|
|  | MANUAL DE CALIDAD INSTRUCTIVO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS TIPO BOURDON | UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA | |
| | | Versión: 00001 | Página i de n |
| | PROCESO: METROLOGIA | Mayo de 2011 | |

Al momento de presentar el certificado de calibración, dicha presentación elegida es concebida para responde a cada tipo de calibración efectuada y para minimizar la posibilidad de mala interpretación o mal uso. Si se modifica de fondo un certificado de calibración después de su emisión, se hace solamente en un nuevo documento que incluya la declaración, dichas correcciones cumplen con todos los requisitos de esta norma internacional.

6 CAPITULO. PROCEDIMIENTO PRÁCTICO PARA LA CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS DE TIPO BOURDON

En el momento en el que se cuenta con las condiciones ambientales de temperatura, humedad, presión ambiental controlada y demás requisitos adecuados para realizar el proceso de calibración garantizados y dentro de un recinto cerrado. Se registran estos datos y se comienza con la clasificación del manómetro a calibrar

Temperatura = $20 \pm 2^\circ\text{C}$

Humedad = $50\% \pm 15\%$

$$\text{Clase} = \frac{\text{División de escala del instrumento} \times 100}{\text{Rango más alto del instrumento}}$$

Figura 16 Ítem de ejemplo



De Alfonzino, Orazio: *Ferramenta e articoli tecnici italiani*. Italia: 2009,
<http://eshop.articolitecniagr.com/images/product/MANOMETRO-D50-P-0-16.jpg>.

$$Clase = \frac{5 \times 100}{225} = 2,22 = \text{clase } 2,5$$

A continuación, al tener tanto el manómetro patrón como el que se quiere calibrar preparados, se realiza la correcta conexión de los mismos procurando verificar posibles fugas, para obtener resultados de medición adecuados.

El patrón que se va a emplear puede ser tanto digital como análogo y debe tener la jerarquía correspondiente para su evaluación.

$$\frac{\text{Exactitud de prueba}}{\text{Exactitud patrón}} \geq 4$$

Resolución con la que se trabaja en el laboratorio de metrología por recomendación es aproximadamente; de la prueba en manómetros de caratula div/5 y para los manómetros digitales es div/2.

El laboratorio de metrología del ICP, quien fue uno de los mayores apoyos durante este proceso de investigación, trabaja comúnmente con manómetros patrones digitales muy completos, para métodos de calibración por comparación ya que está acreditado ante la ONAC.

Figura 17 Instrumento, Ítem, Medio y Cronómetro



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

Estos manómetros patrones han sido calibrados anteriormente con patrones de mayor jerarquía por el método indirecto de calibración llamado “Peso muerto”.

Este manómetro patrón con el que previamente se ha calibrado el digital que es utilizado en el método anterior es el presentado aquí:

Figura 18 Patrón de peso muerto



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

Las visitas a las instalaciones del ICP han permitido conocer y familiarizarse, no solo con el proceso de medición sino también con los instrumentos involucrados en él.

Figura 19 Visita técnica a los laboratorios



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

Los instrumentos más importantes durante el proceso de calibración son señalados en la siguiente imagen:

Figura 20 Instrumentos para la calibración



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

6.1 SECUENCIAS DE CALIBRACIÓN

- ✓ Se le deben realizar tres precargas al manómetro que se va a calibrar con el fin de acondicionarlo a la medición y disminuir la generación de histéresis en los resultados, llevando la presión al valor máximo de la escala (100% de su carga) y mantenerlo en ese estado por treinta segundos (30s). Enseguida hay que volver a su valor mínimo despresurizando el sistema y permanecer igualmente por 30s.

- ✓ Luego de haber realizado la anterior precarga y repetirla hasta completar una serie de tres precargas, es conveniente mantener el sistema en reposo por cinco minutos y luego comenzar con la serie de mediciones.

- ✓ Partiendo de cero por ciento de la carga, se debe llevar con la bomba manual de presión o con el suministro de presión deseado, hasta el 25% de la carga total permitida por el ítem en calibración y permanecer por 30s mientras se registra el valor mostrado por ambos instrumentos utilizados en la medición a manera de comparación. De esta manera continuar el registro de los datos en el 50%, 75% y el 100% y en su máximo valor de presión añadir diez minutos de permanencia a los 30s de cada aumento. Con la finalización de este tiempo de espera de 10min 30s, junto con la toma de datos se completa la sección de medidas ascendentes y se continúa con la medición descendente de los valores de presión por comparación.

- ✓ Ahora en lugar de aumentar la presión se debe reducir su valor desde el 100% hasta el cero, pasando por los mismos valores anteriores de subida (75%, 50% y 25%) y en el momento que el manómetro señale cero con aguja indicadora, se debe esperar por un tiempo de cinco minutos para continuar con la tercera serie del procedimiento.

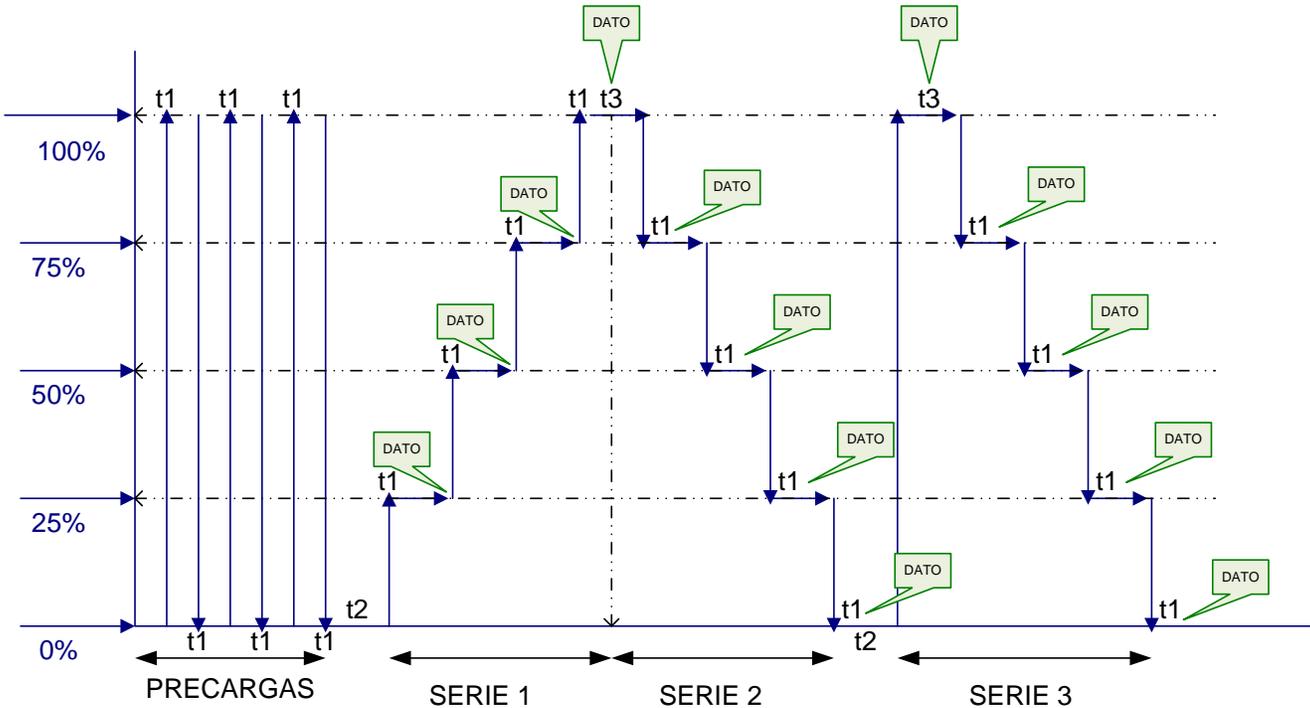
- ✓ Esta última fracción de la toma de datos en la calibración de presión inicia con una carga total, se comprueba que el manómetro patrón se encuentra indicando el máximo valor del instrumento que se calibra, se mantiene ese valor por diez minutos y se registran los valores expuestos por ambos.

- ✓ De igual forma como se hizo en la serie de mediciones descendentes, se realiza esta vez la toma de datos, con la intención de comprobar la similitud de los valores

y hallar muestras de error en la medición. Pausando cada 25% de la presión en disminución por 30s y registrando la información conjunta de manómetros.

Una manera grafica de organizar las series de mediciones junto con la toma de datos de la calibración basada en la metodología interna del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) se presenta de manera completa a continuación.

Figura 21 Series para calibración



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

Tabla 12 Tiempos de espera

| Representación de tiempos | |
|---------------------------|-------------|
| t1 | 30 segundos |
| t2 | 5 minutos |
| t3 | 10 minutos |

Una recomendación para la toma de datos durante las series de mediciones es tomar la resolución del manómetro en cada variación, con subdivisiones imaginarias, relacionándolas proporcionalmente con la resolución del manómetro. Esto quiere decir que si la división de escala del instrumento entre sus números indicadores es cinco entonces procurar realizar subdivisiones del mismo valor. Si solo existe una división entre numerales, realizar también una subdivisión para el cálculo. Esto es de gran ayuda para los casos en los que la aguja indicadora queda entre dos líneas divisorias de señal.

De esta manera:

Figura 22 Sub-divisiones de Manómetros



Fuente: Álvaro Fernando Aguilar Jiménez

El manómetro en este caso si se habla de PSI tienen cinco subdivisiones entre numerales y por eso las divisiones imaginarias entre líneas de medición serían cinco también.

De otra manera pero con igual valor se observa con la escala de bares. En este caso la subdivisión también es de cinco (NO de diez) y en el momento de tomar un dato situado entre dos líneas, puede hacerse imaginando cinco divisiones.

7 CAPÍTULO. ELABORACIÓN DE UN CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN SIMILAR AL EXPEDIDO POR ORGANISMOS ENCARGADOS DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS EN METROLOGÍA

La mejor forma de aprender, un método y en este caso el de calibración de manómetros, es conocer paso a paso lo relacionado con el proceso en cuestión. Por otra parte es visto que la expedición de un certificado final, como resultado de la calibración de instrumentos, en muchas ocasiones es el propósito de las instituciones encargadas, como forma de ofrecer un producto al cliente que necesita de un concepto garantizado para sus exigencias.

A manera de taller ilustrativo y didáctico, se expondrá una secuencia de cálculos, similares a los realizados por los organismos expertos en el tema de calibración de manómetros de carátula, para la obtención de un “CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN”, con la información brindada en el actual documento.



FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRONICA

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Número:

LABORATORIO : METROLOGÍA
INSTRUMENTO : MANÓMETRO DE CARÁTULA
FABRICANTE :
MODELO :
NÚMERO DE SERIE :
RANGO DE MEDICIÓN :
SOLICITANTE :
DIRECCIÓN :
FECHA RECEPCIÓN EQUIPO :
FECHA DE CALIBRACIÓN :
NÚMERO DE PÁGINAS :

Ingeniero

Calibrado por:

Físico

Revisado por:

Radicación número:

Fecha de emisión:

Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido total o parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente permiso por escrito del laboratorio que lo emite.

Los resultados contenidos en el presente certificado, se refieren al momento y condiciones en que se realizan las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos calibrados.

El usuario es responsable de la recalibración de sus instrumentos a intervalos apropiados.

Autopista Piedecuesta Kilometro 7 Tel: + (577) 679 6220

Bucaramanga, COLOMBIA. ©Copyright 2008 UPB ®Todos los Derechos Reservado

1 consecutivo interno No /

2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CALIBRANDO

| DESCRIPCIÓN | CALIBRANDO |
|---------------------|-----------------------|
| Tipo | Manómetro de carátula |
| Marca | |
| Serie | |
| Alcance de medición | |
| Resolución | |
| Clase de exactitud | |

3 MÉTODO DE CALIBRACIÓN

El manómetro referido fue comparado con un manómetro de carátula patrón, por método de comparación, utilizando una bomba manual de presión para realizar las cargas. Las lecturas del calibrado se efectuaron en ascenso y descenso, en el intermedio de las series el manómetro se mantuvo durante diez minutos en carga máxima

4 CONDICIONES AMBIENTALES

La temperatura en el Laboratorio de Metrología fue de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y la humedad relativa se conserva en el intervalo de 40-30 %HR, medidos con un termo-higrómetro calibrado.

5 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

5,1 DE LLEGADA

En la siguiente tabla se encuentran consignados los datos resultantes de la calibración, a su llegada

| Presión | Lecturas (Pr) | |
|---------|---------------|--------------|
| | De ida ↑ | De regreso ↓ |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

La diferencia máxima que se tiene en esta calibración entre las lecturas del calibrando y los valores generados por el patrón:

$$Pr - No =$$

Esa diferencia en porcentaje, respecto al valor máximo de las escalas es:

$$\% = \frac{\quad \times 100}{\quad} = \quad \%$$

El porcentaje de error así obtenido NO es permitido en manómetros de la clase especificada; por lo tanto se requiere ajustar el manómetro para disminuir el error del instrumento; después efectuar la nueva calibración (suponiendo que se encuentra en el laboratorio alguien encargado del ajuste de manómetros, dado que no es el propósito de esta documentación describir la parte de ajuste).

5,2 CALIBRACIÓN DESPUÉS DEL AJUSTE (SALIDA)

Se presenta a continuación los datos de calibración de Calibrando, actuales, después de realizado el ajuste correspondiente.

| Presión | Lecturas (Pr) | |
|---------|---------------|--------------|
| | De ida ↑ | De regreso ↓ |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

La diferencia máxima tenida en esta calibración entre las lecturas del calibrado y los valores generados por el patrón:

$$Pr - No =$$

Esa diferencia en porcentaje, respecto al valor máximo de las escalas es:

$$\% = \frac{\quad \times 100}{\quad} = \quad \%$$

El porcentaje de error así obtenido, es permitido en manómetros que corresponden a la clase de exactitud:

CL.0,06; CL.0,1; CL.0,16; CL.0,25; CL.0,4; CL.0,6; CL.1,0; CL.1,6; CL.2,5; CL.4,0

6 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

La incertidumbre de la calibración es:

$$U =$$

La incertidumbre reportada de ha determinado multiplicando la incertidumbre estándar combinada (del patrón, método y calibrando) por el factor de cubrimiento k (calculado), con el cual se logra un nivel de confianza de aproximadamente un 95%

7 TRAZABILIDAD DE LA MEDICIÓN

Los patrones utilizados en la calibración de este instrumento están trazados a los patrones nacionales, los cuales tienen trazabilidad a patrones internacionales reconocidos.

| Nombre | Marca | Modelo | No serie | Trazabilidad |
|--------|-------|--------|----------|--------------|
| | | | | |

8 OBSERVACIONES

a) Con el certificado de calibración se entrega una estampilla de la Universidad Pontificia Bolivariana, que contiene fecha y número del certificado de calibración, la cual va adherida al equipo.

b)

c)

Calibrado por:

Revisado por:

Técnico/Ingeniero/Físico

Físico/Ingeniero/Técnico

8 CAPÍTULO.PREGUNTAS MÁS FRECUENTES QUE SE PRESENTAN DURANTE EL ESTUDIO DE CALIBRACIÓN DE MANÓMETROS EN METROLOGÍA

Con la finalidad de reforzar algunos vacíos que pudieron haber quedado durante el proceso de conocimiento metrológico, se presenta aquí la oportunidad de fortalecer, por medio de algunas preguntas que generalmente reciben los expertos en metrología, este proceso de aprendizaje que involucra una dedicada formación en todos sus aspectos.

8.1 ¿CON QUE CONTINUIDAD DEBO RECALIBRAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PRESIÓN O PATRONES?

La efectividad de la respuesta depende bastante de varios factores que afectan a los manómetros, como por ejemplo la exigencia con que se trabaje el manómetro, la frecuencia de uso, el cuidado con que se trabaje en él o las condiciones ambientales en donde permanezca el instrumento.

Tanto los patrones como los manómetros nuevos deben calibrarse más seguido con el fin de diagnosticar su estabilidad metrológica a lo largo del tiempo, la incertidumbre de igual manera es importante estimarla, porque si tras varias calibraciones se nota una estabilidad superior a la incertidumbre requerida, este periodo puede ser ampliado hasta un máximo de cinco años, pero si se observa lo opuesto, este periodo puede alcanzar una frecuencia diaria. Por estos motivos cuando se expide un certificado de calibración, este no incluye la fecha de la próxima calibración. El cliente en su empresa o laboratorio es el

que tiene que planificar el plazo de las calibraciones de sus instrumentos (numeral 5.10.4.4 de la norma 17025)

8.2 ¿CALIBRAR UN INSTRUMENTO ES DIFERENTE QUE VERIFICARLO?

Según el Vocabulario Internacional de Términos Metrológicos (VIM) la calibración es: "operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación"

De alguna manera una calibración está determinando las particularidades metrológicas de un instrumento, que es realizado por medio de la comparación directa con patrones de medida. El resultado de una calibración se expresa con un "Certificado de calibración", señalándolo en el instrumento con una etiqueta adherida a él.

Por otra parte la definición de verificación ofrecida por la norma ISO 10012, dice que es "aportación de evidencia objetiva de que un elemento satisface los requisitos especificados", lo cual se basa en revisar, inspeccionar ensayar comprobar, supervisar o realizar alguna ocupación analógica en la cual constituya y registre que los elementos, procesos, servicios o documentos satisfacen los requerimientos especificados.

Una verificación podría verse como una calibración relativa, debido a que esta no se encuentra muy interesada en obtener un resultado final o certificado, el verdadero interés es si se está cumpliendo con los requisitos.

8.3 ¿EN QUE CONSISTE LA DIFERENCIA ENTRE PRECISIÓN Y EXACTITUD?

Dentro de la jerga popular es muy frecuente utilizar cualquiera de estos términos para referirse a lo mismo, pero en este caso por tratarse de metrología y su correcto manejo del lenguaje, hay que señalar una marcada diferencia en su aplicación.

El VIM define la exactitud como "proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando", debido a que la exactitud está asociada con el error y la precisión con la repetibilidad, pero además de eso tiene una "Nota" explicativa refiriéndose a la confusión que existe con estos términos que dice así:

NOTA: El término "exactitud de medida" no debe utilizarse en lugar de "veracidad de medida", al igual que el término "precisión de medida" tampoco debe utilizarse en lugar de "exactitud de medida", ya que esta última incluye ambos conceptos."

Por otra parte dentro del Vocabulario VIM no se encuentra la definición del término "precisión"

Interpretando la "Nota" podemos hacer una especie de fórmula para definir la exactitud de la siguiente manera:

EXACTITUD=VERACIDAD+PRECISIÓN

Definiendo veracidad con respecto al VIM como "proximidad entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia". Y dando una interpretación a la precisión como el grado de coincidencia hallado entre resultados independientes que conforman una medición.

8.4 ¿EN QUE CONSISTE LA TRAZABILIDAD?

La trazabilidad está definida por el VIM como “propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida” [13]

9 CAPÍTULO. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LOS RECURSOS NECESARIOS MÁS IMPORTANTES PARA EL MONTAJE DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA EN LA VARIABLE PRESIÓN

9.1 TERMO-HIGRÓMETRO MT-242



USD 45, 00 (ex. IVA)

USD 50, 85 (inc. IVA)

Fabricante: Minipa

Características:

- Modelo MT-242
- Display Triple
- Temperatura interna en °C o °F
- Temperatura Interna 0 °C a + 50 °C / + 32 °F a + 122 °F

- Humedad Relativa 20 % a 90 %
- Resolución (RH) 0,1 %
- Función Min / Max
- Reloj integrado
- Precisión Básica ± 5 % RH
- Dimensiones 108 mm x 58 mm 15 mm
- Peso 100 g

9.2 TERMO-HIGRÓMETRO



USD 675, 46 (ex. IVA)

USD 763, 27 (inc. IVA)

Fabricante: Delta OHM

Características:

- Modelo HD 2101.2
- Pantalla LCD
- Grado de protección IP67
- Alimentación 4 baterías 1.5 V tipo AA
- Unidad de medida °C - °F - %HR - g/kg - g/m³ - hPa - J/g - Td - Tw - DI - NET
- Es un datalogger, memoriza hasta 38 000 muestras
- Mide la humedad y la temperatura con sondas combinadas humedad relativa y temperatura con sensor Pt100 o termopar.
- Dispone de un puerto multi-estándar RS232C y USB 2.0 para transferir los datos a un PC.
- Adaptador de red con un conector 2 polos (positivo en el centro)

9.3 MANÓMETRO DE BOURDON



USD 25, 00 (ex. IVA)

USD 25, 00 (inc. IVA)

Características:

- Exactitud:

2" & 2½": ± 2/1/2% of span (ASME B40.100 Grade A)

4": ± 1% of span (ASME B40.100 Grade 1A)

- Rango:

Vacio / Compuesto a 200 psi

Presión de 15 psi a 15 000 psi

Presión de 15 psi a 10 000 psi - 2" equivalentes a presión o vacío

- Resistente a los golpes y vibraciones

- Cuerpo de acero inoxidable

9.4 MANÓMETRO DE BOURDON



USD 25, 00 (ex. IVA)

USD 25, 00 (inc. IVA)

Características:

- Exactitud:

2" & 2½": ± 2/1/2% of span (ASME B40.100 Grade A)

4": ± 1% of span (ASME B40.100 Grade 1A)

- Rango:

Vacio / Compuesto a 200 psi

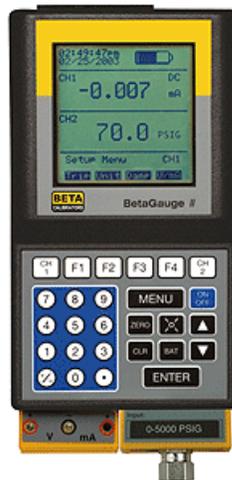
Presión de 15 psi a 15 000 psi

Presión de 15 psi a 10 000 psi - 2" equivalentes a presión o vacío

- Resistente a los golpes y vibraciones
- Cuerpo de acero inoxidable

9.5 CALIBRADOR MODULAR DE PRESIÓN BETAGAUGUE II Calibrador modular de presión.

Número de parte 910325-110



USD 1895, 00 (ex. IVA)

USD 1895, 00 (inc. IVA)

Fabricante: Martel

Características:

- DC de mediciones eléctricas; 0,01 % de exactitud
- Medidas de presión; $\pm 0,025$ % FS
- Pantalla LCD
- Presión aparece en 13 unidades de medida
- % Error

Especificar el modelo que necesita.

| # Parte | | Modelo |
|------------|---|--|
| 910325-110 | A | BetaGaugell con cargador de energía primaria de 120 VAC y un paquete de batería intrínsecamente seguro |
| 910325-112 | B | BetaGaugell con cargador de energía primaria de 220 VAC y un paquete de batería intrínsecamente seguro |
| 910325-210 | C | BetaGauge II con cargador de 120 VAC y un paquete de batería de carga rápida |
| 910325-212 | D | BetaGauge II con cargador de 220 VAC y un paquete de batería de carga rápida |

Condiciones del precio: FOB USA

Plazo de entrega: Inmediato en Estados Unidos.

Plazo de garantía: 1 año contra defectos de fábrica

9.6 CALIBRADOR DE PRESIÓN BETAGAUGE PI

Número de parte 1919299.



USD 795, 00 (ex. IVA)

USD 795, 00 (inc. IVA)

Fabricante: Martel

Características:

- Modelo BetaGauge PI
- Exactitud de compensación de temperatura de 0° C a 50° C
- Gran exactitud en comparación con medidores de prueba analógicos; -0,05% F.S.
- Muestra 18 unidades de medidas
- Muestra la temperatura en grados C o grados F
- Pantalla grande retroiluminada.
- Casco robusto de acero inoxidable cumple con NEMA 4/IP65

- Recordar MIN/MAX
- Auto apagado para extender la vida de la batería
- CSA intrínsecamente seguro, Class1, Div.2
- CE aprobado.
- Incluye certificado de calibración NIST

Condiciones del precio: FOB USA.

Plazo de entrega: Inmediato en Estados Unidos.

Plazo de garantía: 1 año contra defectos de fábrica.

9.7 TERMÓMETRO DIGITAL



USD 92, 00 (ex. IVA)

USD 103, 96 (inc. IVA)

Fabricante: Minipa

Características:

- Display LCD 3 1/2 dígitos
- Velocidad de muestreo: 0,6 vez / segundo
- Indicación de batería baja
- Alimentación 1 batería de 1.5 V (AAA)
- Data Hold
- Unidad de medida °C
- Rango de medición tipo K: - 200 °C a 1372 °C
- Precisión: ±0,75 %
- Resolución: 0,1 °C o 0,1 °F
- Dispone de un conector sondas termopar tipo K
- Incluye
 - 1 batería
 - Manual de instrucciones
 - 1 sonda termopar tipo k

9.8 TERMOMETRO DIGITAL



USD 2443, 00 (ex. IVA)

USD 2760, 59 (inc. IVA)

Características

- Modelo F100
- Pantalla LCD retroiluminada
- Rango de -200 °C a 850 °C
- Exactitud del F100 solo: $\pm 0,02$ °C
- Resolución: 0,001 °C
- Unidad de medida: °C, °F, K y ohm
- Repetibilidad 2 dígitos

9.9 BOMBA DE PRESIÓN NEUMÁTICA MECP100



USD 365, 00 (ex. IVA)

USD 365, 00 (inc. IVA)

Fabricante: Martel

Bomba de mano neumática de calibración para dispositivos de proceso.

Número de parte 80297

Características

Bomba neumática MECP100:

- Fácil de usar
- Ajuste fino de la válvula
- Vacío a 100 psi
- Liberación fina del flujo del aire

- Disponible en kit

9.10 KIT BOMBA DE PRESIÓN MECP10K KIT

Kit de Bomba de presión

Número de parte 1919406.



USD 1049, 00 (ex. IVA)

USD 1049, 00 (inc. IVA)

Fabricante: Martel

Características:

- Bomba hidráulica de presión MECP10000:

- Estuche
- Accesorios de desconexión rápida
- Manual de usuario
- Manguera de calibración

[12]

9.11 ESTIMACIÓN DE COSTOS

| CANTIDAD | ELEMENTO | VALOR (dólares) |
|----------|-------------------------------|-----------------|
| 1 | TERMO-HIGRÓMETRO 1 | 50,85 |
| 1 | TERMO-HIGRÓMETRO 2 | 763,27 |
| 1 | MANÓMETRO DE BOURDON 1 | 25 |
| 1 | MANÓMETRO DE BOURDON 2 | 25 |
| 1 | CALIBRADOR MODULAR DE PRESIÓN | 1895 |
| 1 | CALIBRADOR DE PRESIÓN | 795 |
| 1 | TERMÓMETRO DIGITAL 1 | 103,96 |
| 1 | TERMÓMETRO DIGITAL 2 | 2760,59 |
| 1 | BOMBA DE PRESIÓN NEUMÁTICA | 365 |
| 1 | KIT BOMBA DE PRESIÓN | 1049 |
| | TOTAL | 7832,67 |

La empresa encargada del suministro de instrumentos para el montaje de un laboratorio de metrología "SCM Metrología y Laboratorios S.A." se encuentra situado en su sede

central de Costa Rica, en la ciudad de Alajuela con dirección 2 km este del cruce del aeropuerto 20109 Rio Segundo, teléfono +506 2431 5252, fax +506 2432 4180, correos electrónicos de Calibraciones: calibraciones@scmmetrologia.com, Venta de Equipos: ventas@scmmetrologia.com, Capacitaciones: capacitacion@scmmetrologia.com. Sus laboratorios están ubicados en Parque Industrial Zeta, Cartago.

Esta empresa fue fundada en el año 2002 por personal con amplia experiencia en el campo de la metrología y con una clara visión de llevar soluciones en el campo de la Metrología a todos los clientes. Actualmente cuenta con 3 sedes y un equipo de 40 personas dispuestas a atender a su público.

10 CONCLUSIONES

- Se realizó una documentación de las características técnicas y administrativas que requiere un proceso de calibración, para ser aplicada en el momento de poner en marcha un laboratorio de metrología dedicado a la variable presión y teniendo en cuenta la normatividad vigente que tiene que ver con el tratamiento de manómetros tipo Bourdon. Haciendo un registro de información asequible a una gran variedad de personas que puedan estar interesadas en seguir por esta interesante rama de la ingeniería, como una opción de conocimiento productivo a nivel industrial, con notorios beneficios al progreso nacional de expansión
- Se presentó de una manera didáctica y aplicada la descripción de todo el procedimiento que se debe seguir para la implementación de un laboratorio bajo la norma ISO/IEC-17025, propuesto para la Universidad Pontificia Bolivariana como una opción de práctica a nivel académico, para calibración de manómetros tipo Bourdon (manómetros de carátula). Este mismo proceso puede ser aplicado a los demás tipos de manómetros, extrapolando su aplicación hacia ellos
- Con la finalidad de involucrar un poco más a los estudiantes de ingeniería en el sistema que atañe a las mediciones dentro de los laboratorios y su normatividad, se dieron a conocer las pautas importantes que la norma internacional recomienda para la acreditación (por parte de la ONAC) de un laboratorio de calibración, con la interpretación de cada punto del manual de gestión de calidad que hace referencia al proceso de calibración de manómetros. Dejando ver lo que requiere una entidad para su correcto funcionamiento ante la normatividad establecida y en lo que dedica una buena parte de sus recursos económicos con la finalidad de cumplir lo fijado por los entes encargados o la metrología legal

- A partir de auditorías realizadas con algunos expertos en cuestiones de metrología y dentro de sus sitios de trabajo, se logró documentar completamente lo concerniente a la manometría y lo que rige su manipulación para ser aplicado a el sistema de calibración en los laboratorios industriales con miras a un desarrollo dentro de la academia, como parte de la formación integral de un ingeniero de esta universidad.
- Se elaboró un documento que está comprendido por varias secciones dedicadas a la puesta en práctica, de manera instructiva, de la forma como se realiza actualmente en muchos de los laboratorios colombianos el proceso de calibración de manómetros, incorporando técnicas propias o en ocasiones reservadas únicamente para su propio uso, de dichos laboratorios, que cordialmente colaboraron con el desarrollo de esta causa educativa.
- Gracias a entidades con experiencia en este campo de investigación que positivamente brindaron sus espacios, para el aprendizaje y conocimiento de sus modelos de desarrollo, se logró registrar en su totalidad lo vivido en la inmersión dentro de sus laboratorios, desde la parte básica de iniciación del proceso, hasta la forma como se elabora un certificado de calibración de manómetros tipo Bourdon, dejando de igual manera una plantilla que puede ser usada por cualquier persona interesada en la calibración de manómetros, como si se tratara de una institución acreditada. Todo con el fin de motivar a los estudiantes en general, a ver más cercana esta faceta de la ingeniería aplicada a la metrología.
- Con una visión proyectada al progreso de la enseñanza metrológica dentro de la ingeniería investigativa, se ha planteado la inquietud a quien corresponda, a cerca de la necesidad de implantar un laboratorio de calibración, ya sea a nivel pregrado o posgrado, para la formación en este sector tan necesario para cualquier empresa

con aspiraciones internacionales, pero que aún queda camino por recorrer. Además con una introducción básica expuesta a base de recursos adecuados y beneficiosos como este trabajo y partiendo desde el vocabulario exigido, hasta el presupuesto necesario para conocer a fondo una práctica de laboratorio de metrología, se espera que sea aprovechado eficazmente el trabajo realizado en esta ocasión.

- Se ha dado a conocer la importancia de la estimación de la incertidumbre para la realización del certificado de calibración dentro de su proceso en un laboratorio de metrología, el cual consiste en ofrecer un error en la medición con más o menos una incertidumbre. Esta brinda una gran información al informe de resultados por ser la variable con más información ofrecida en su estimación.

- Visto que en el sistema colombiano de mediciones hace falta mucho por desarrollar, es importante resaltar lo primordial que debe convertir el conocimiento de la metrología en la academia. Colombia al no pertenecer a la conferencia de pesas y medidas, tiene un camino largo por cumplir y llegar a un punto en el que la metrología sea dominada en su totalidad, para que comience el verdadero surgimiento del país

11 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[5] DEUTSCHER KALIBRIERDIENST, "Guideline DKD-R 6-1 Calibration of Pressure Gauges", 2003, www.dkd.eu/dokumente/Richtlinien/dkd_r_6_1_e.pdf

[6] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC): *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*, Norma técnica colombiana NTC-ISO/IEC 17025, 2005-10-26

[14] DE NORMAS TÉCNICAS, BIPM, CEI, IFCC, ILAC, ISO, UICPA, UIPPA ET OIML: *Vocabulario Internacional de Metrología, Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*, JCGM 200:2008, <http://www.bipm.org/en/publications/guides/vim.html>

[15] INTERNATIONAL LABORATORY ACCREDITATION COOPERATION, ORGANISATION INTERNATIONALE DE METROLOGIE LEGALE: *Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instrument*, ILAC-G24:2007 / OIML D 10:2007, <http://www.ilac.org/guidanceseries.html>

[8] CREUS SOLÉ, ANTONIO: *Instrumentación industrial*. Barcelona: Alfaomega grupo editor, 1997.

[B] SCHMID, WOLFGANG A., LAZOS, RUBEN J.: *Guía para estimar la incertidumbre de la medición*. Mexico, CENAM 2004, <http://www.cenam.mx/publicaciones/gratuitas/>

[16] PAVESE, FRANCO, FORBES, ALISTAIR: *Data Modeling for Metrology and Testing in Measurement Science*. New York: Birkhäuser Boston, 2009.

[17] ERARD, LUC Y REPOSEUR, PATRICK: "Traceability to National Standards". En: *Metrology in Industry: the key for quality*. London: Iste, 127-145, 2006.

[10] MARBÁN, ROCÍO, PALLECER, JULIO: *Metrología para No-Metrólogos*. Mixco Guatemala: OEA, 21, 2002.

[18] PORRAS, G.: "Curso de Metrología", especialización de instrumentación y control UPB seccional Bucaramanga, 2010.

[2] VIDAL VALENCIA, JULIÁN: *Aseguramiento metrológico y aseguramiento de equipos*. Antioquia Colombia: SENA, EAFIT, COMFAMA

[13] CEM EL CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA: *Preguntas frecuentes*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España: © CEM 2011, http://www.cem.es/preguntas_frecuentes/

[1] MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO: *Laboratorio de Presión "Manometría"*, División de Metrología: Industria y Comercio. Bogotá Colombia.1998 <http://www.sic.gov.co/index.php?idcategoria=5>

[3] GONZÁLEZ GONZÁLEZ, CARLOS Y ZELENY VÁZQUEZ, RAMÓN: *Metrología*. U.S: Mc Graw Hill, 1998.

[7] MINISTERIO DE COMERCIO, INDUSTRIA Y TURISMO (REPÚBLICA DE COLOMBIA), 1992, <http://www.dmsjuridica.com/CODIGOS/LEGISLACION/decretos/1992/D2153de1992.htm>

[11] GONZÁLEZ DE LA ROSA, JUAN J.: “Transductores de presión”. En: *Apuntes de transductores*. Cádiz España: Universidad de Cádiz.

[12] SCM METROLOGÍA Y LABORATORIOS S.A: *Catalogo de equipos y patrones*. Holbi: 2011, http://www.scmmetrologia.com/new_store/Equipos+y+Patrones.221/?osCsid=4b074020abfa78c65e7f98e718badd08

[9] MARBÁN, ROCÍO, PALLECER, JULIO: *Metrología Legal*. Mixco Guatemala: OEA, 34, 2003.

[4] RODRÍGUEZ PUMISACHO, PÁUL S., SALAZAR PÉREZ, SANTIAGO A.: *Diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de presión de aire*. Quito: Escuela politécnica Nacional, 2000

[A] DE GYVES L., GUSTAVO A.: “Física II., En: *Clases digitales CCA exactas*. Veracruz México: 2011. http://profdegyvesludewig.blogspot.com/2011_02_01_archive.html

[C] ALFONZINO, ORAZIO: *Ferramenta e articoli tecnici italiani*. Italia: 2009, <http://eshop.articolitecnicigr.com/images/product/MANOMETRO-D50-P-0-16.jpg>.

[D] METAS & METRÓLOGOS ASOCIADOS: *El manómetro Bourdon*. Jalisco México: La guía MetAs, 2007.

[19] INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA Buenos Aires Argentina, 2002, <http://www.inta.gov.ar/ins/calidad/>

[20] LUZ MERLY GORDILLO MELO: *Diseño, documentación e implementación del sistema de gestión de calidad bajo la ntc iso/iec 17025:2005 en el laboratorio de validación y metrología de la uen fcv bioingeniería*. Floridablanca Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2010.