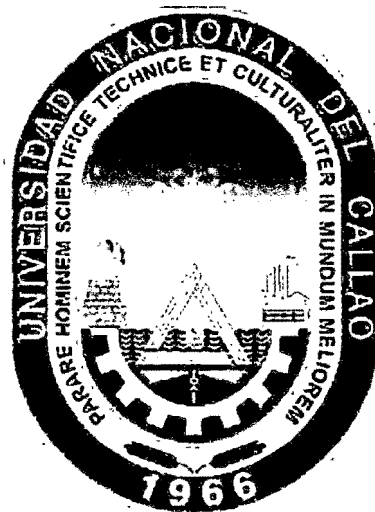


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA



**CALIBRACIÓN DE ESFIGMOMANÓMETROS MECÁNICOS
POR COMPARACIÓN CON UN MANÓMETRO DE COLUMNA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO

PROFESIONAL DE LICENCIADO EN FÍSICA

Bach. Ricardo Alfonso Sánchez Avilés

CALLAO – PERÚ

Diciembre – 2013

HOJA DE PRESENTACIÓN

CALIBRACIÓN DE ESFIGMOMANÓMETROS MECÁNICOS POR COMPARACIÓN CON UN MANÓMETRO DE COLUMNA

Bach. Ricardo Alfonso Sánchez Avilés

Tesis presentada a consideración del Cuerpo Docente de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao, como parte de los requisitos para obtener el Título Profesional de Licenciado en Física.

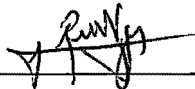
Aprobada por:



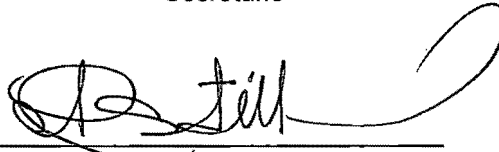
Mg. Roel Mario Vidal Guzmán
Presidente



Lic. Eladio Gilberto Casapía Almonte
Vocal



Lic. Rolando Manuel Vega De la Peña
Secretario



Lic. Absalón Castillo Valdivieso
Suplente

CALLAO – PERÚ

FICHA CATALOGRÁFICA

SÁNCHEZ AVILÉS, RICARDO ALFONSO

Calibración de esfigmomanómetros mecánicos por comparación con un manómetro de columna, Callao (2013).

viii, 104 páginas. (UNAC, Licenciado en Física, 2013)

Tesis, Universidad Nacional del Callao, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática 1.

Física.

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo, consejos, comprensión, amor y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi hermano, Waltito, por estar siempre a mi lado apoyándome y quererme tanto.

A Patty, mi novia, por su apoyo incondicional, amor y por darme siempre el aliento para realizar mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Al Lic. Carlos Quiñones Monteverde por su asesoramiento y estímulo durante la elaboración del trabajo de tesis.

A mis padres por haberme apoyado constantemente durante mis estudios y la elaboración de mi tesis.

Al Lic. Leonardo De la cruz García por el asesoramiento en el aprendizaje de metrología en presión.

RESUMEN

CALIBRACIÓN DE ESFIGMOMANÓMETROS MECÁNICOS POR COMPARACIÓN CON UN MANÓMETRO DE COLUMNA

RICARDO ALFONSO SÁNCHEZ AVILÉS

AGOSTO 2013

Asesor: Lic. Carlos Alberto Quiñones Monteverde

Título obtenido: Licenciado en Física

En este trabajo se realizó la calibración de un esfigmomanómetro usando como patrón un manómetro de columna para mostrar que es posible dicha calibración, además de una mejora en su incertidumbre comparada con la calibración del esfigmomanómetro usando como patrón un manómetro de deformación elástica.

Los datos se obtuvieron con 5 calibraciones para cada patrón de un esfigmomanómetro marca OMRON.

Estas calibraciones permitieron determinar los errores para cada punto de calibración además de sus incertidumbres.

Finalmente, se comparó los errores obtenidos con el manómetro de deformación elástica patrón y los errores obtenidos con el manómetro de columna haciendo uso del estadístico t de student. También se comparó las incertidumbres obtenidas.

PALABRAS CLAVES

CALIBRACIÓN

ESFIGMOMANÓMETRO

ERROR

INCERTIDUMBRE

ABSTRACT

CALIBRATION OF MECHANICAL SPHYGMOMANOMETERS BY COMPARISON WITH A COLUMN MANOMETER

RICARDO ALFONSO SÁNCHEZ AVILÉS

AGOSTO 2013

Asesor: Lic. Carlos Alberto Quiñones Monteverde

Title obtained: Licentiate in Physics

In this work was performed the calibration of a sphygmomanometer using a standard column manometer to show that it is possible, in addition to an improvement in its uncertainty compared with calibration sphygmomanometer using as measurement standard an manometers measuring elastic deformation.

The data were obtained with five calibrations for each measurement standard of a sphygmomanometer with mark OMRON.

These calibrations allowed determining the errors for each calibration point as well as their uncertainties.

Finally, we compared the errors obtained with the standard manometers measuring elastic deformation and errors obtained with standard column manometer using the statistical t student. We also compared the uncertainties obtained.

PALABRAS CLAVES

CALIBRATION

SPHYGMOMANOMETER

ERROR

UNCERTAINTY

ÍNDICE

CAPITULO I

| | | |
|-----|------------------------|---|
| I. | Introducción | 1 |
| 1.1 | Revisión bibliográfica | 3 |

CAPITULO II

| | | |
|-------|--|----|
| II. | Fundamentos teóricos | 4 |
| 2.1 | Antecedentes del estudio | 4 |
| 2.2.1 | Definición | 5 |
| 2.2.2 | Tipos de presión | 5 |
| 2.2.3 | Unidad de presión | 6 |
| 2.2.4 | Principio de Pascal | 7 |
| 2.2.5 | Presión hidrostática | 7 |
| 2.3 | La presión arterial y su medición | 7 |
| 2.3.1 | Presión arterial | 7 |
| 2.3.2 | Tipos de presión arterial | 8 |
| 2.3.3 | Métodos de medición | 8 |
| 2.3.4 | Medición no invasiva de la presión sanguínea | 8 |
| 2.4 | Esfigmomanómetro | 9 |
| 2.4.1 | Mecánicos | 9 |
| 2.4.2 | Electromecánicos | 10 |
| 2.4.3 | Unidades de medida de presión arterial | 10 |
| 2.5 | Términos metroológicos | 11 |
| 2.5.1 | Metrología | 11 |
| 2.5.2 | Medición | 11 |
| 2.5.3 | Mensurando | 12 |
| 2.5.4 | Patrón de medición | 13 |
| 2.5.5 | Trazabilidad metroológica | 13 |
| 2.5.6 | Calibración | 14 |
| 2.5.7 | Procedimiento de medición | 15 |
| 2.5.8 | Método de calibración | 16 |

| | | |
|---------------------|---|-----|
| 2.5.9 | Error de medición | 16 |
| 2.5.10 | Error máximo permitido | 17 |
| 2.5.11 | Error de histéresis | 17 |
| 2.5.12 | Incertidumbre de medición | 17 |
| 2.6 | Cálculo de Incertidumbre | 18 |
| 2.6.1 | Evaluación Tipo A de la incertidumbre estándar | 20 |
| 2.6.2 | Evaluación Tipo B de la incertidumbre estándar | 21 |
| 2.7 | Prueba t-student | 22 |
| CAPITULO III | | |
| III. | Materiales y métodos | 24 |
| 3.1 | Principio de medición de la presión en manómetro de esfigmomanómetro aneroide | 24 |
| 3.2 | Método de calibración | 24 |
| 3.3 | Norma OIML R16-1: Noninvasive mechanical sphygmomanometers | 25 |
| 3.4 | Modelo matemático | 25 |
| 3.5 | Incertidumbre | 35 |
| 3.6 | Procedimiento de calibración | 41 |
| 3.7 | Hoja de cálculo en Excel | 50 |
| CAPITULO IV | | |
| IV. | Resultados | 51 |
| 4.1 | Resultados de calibraciones | 56 |
| 4.2 | Presupuestos de incertidumbre | 50 |
| 4.3 | Comparación entre los errores hallados con la calibración | 101 |
| CAPITULO V | | |
| V. | Conclusiones y Recomendaciones | 109 |
| 5.1 | Conclusiones | 109 |
| 5.2 | Recomendaciones | 109 |
| CAPITULO VI | | |
| VI. | Referencias bibliográficas | 111 |
| ANEXOS | | |
| A. | | 114 |

CAPITULO I:

Introducción

Para realizar la calibración de esfigmomanómetros, se debe emplear el método de comparación con un patrón adecuado de bajo alcance (mayor o igual que el esfigmomanómetro a calibrar) y de mejor exactitud. Una manera de realizar esta calibración es usando como patrón un manómetro de deformación elástica de bajo alcance y mejor exactitud.

En nuestro caso emplearemos el método de comparación usando como patrón un manómetro de columna de mercurio, para ello se debe diseñar un procedimiento de calibración, además de diseñar una hoja de cálculo tanto para la calibración de esfigmomanómetros usando como patrón un manómetro de deformación elástica como para la calibración de esfigmomanómetros usando como patrón un manómetro de columna.

La desventaja de usar el manómetro de columna de mercurio es que el mercurio es tóxico por lo que hay que tener mucho cuidado al emplearlo.

Actualmente se viene realizando la calibración de esfigmomanómetros usando como patrón un manómetro de deformación elástica de bajo alcance. Nuestro propósito es demostrar que es posible calibrar los esfigmomanómetros por comparación con un manómetro de columna además de mejorar la incertidumbre de medición.

En el desarrollo del trabajo se mejora el procedimiento y la hoja de cálculo para la calibración de esfigmomanómetros usando como patrón un manómetro de deformación elástica de bajo alcance y mejor exactitud y se diseña un procedimiento y una hoja de cálculo para la calibración de esfigmomanómetros usando como patrón un manómetro de columna de mercurio; de esta manera comparar los resultados de cinco calibraciones para cada patrón y demostrar que

es posible la calibración de esfigmomanómetros con un manómetro de columna además de obtener los errores para cada punto de calibración con una mejor exactitud.

La presentación del trabajo sigue el siguiente esquema:

En el capítulo II se tratan los fundamentos de la presión en un fluido, presión arterial, cálculo de incertidumbre y términos metroológicos para un mejor entendimiento del presente trabajo.

En el capítulo III se describe los materiales y los métodos usados. Asimismo, se explican detalladamente los modelos matemáticos para la calibración con cada uno de los patrones mencionados, también se detalla el cálculo de la incertidumbre y se presenta el procedimiento de calibración diseñado para cada patrón empleado.

En el capítulo IV se exponen los resultados obtenidos para las calibraciones con cada uno de los patrones.

En el capítulo V se presentan las conclusiones que se pueden obtener del trabajo realizado.

En el capítulo VI se listan los textos y revistas científicas que sirvieron de referencia para la realización del presente trabajo.

Finalmente se incluye un apéndice A que trata sobre algunos términos metroológicos adicionales para un mejor entendimiento de la presente investigación.

1.1 Revisión bibliográfica

Los textos y publicaciones seleccionados como referencia para la realización de este trabajo fueron los siguientes:

- a) Tipler, P. A. (2010). *Física para la Ciencia y la Tecnología*. Barcelona: Ed. Reverté.

Este libro expone la definición de presión, así como el principio de Pascal y presión hidrostática.

- b) International Organization of Legal Metrology (2002), *Noninvasive mechanical sphygmomanometers*. Obtenido de <http://www.oiml.org> (OIML R 16-1).

Esta Recomendación Internacional describe todos los términos referentes a la medición de presión arterial con esfigmomanómetros además recomienda los requisitos metrológicos que deben cumplir estos instrumentos de medición y describe el proceso para la aprobación de modelo, verificación inicial y verificación posterior de los esfigmomanómetros mecánicos no invasivos.

- c) Joint Committee for Guides in Metrology, *Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, JCGM, Francia, 2008.

Esta guía describe el tratamiento para la estimación de la incertidumbre de medida.

- d) Joint Committee for Guides in Metrology, *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*, JCGM, Francia, 2012.

Este vocabulario contiene todos los conceptos básicos de los términos usados en metrología en general.

CAPITULO II:

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes del estudio

Para la realización de éste trabajo de investigación se ha tomado como antecedentes los siguientes estudios:

En 1970 la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) publicó la primera versión de la recomendación R 16 en Francés, posteriormente en 1973 se publicó la versión en Inglés [9].

En 1988 el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas ITINTEC, preparó las normas metrológicas ITINTEC LFP-005 “Manómetros de los instrumentos de medición de la presión arterial (Esfigmomanómetros) – Manómetros de Deformación Elástica” y ITINTEC LFP-006 “Manómetros de los instrumentos de medición de la presión arterial (Esfigmomanómetros) – Manómetros de Mercurio”. En estas normas se especifican los campos de aplicación; condiciones generales de uso, requisitos, errores máximos permisibles, métodos de ensayo y controles metrológicos [12] y [13].

La última edición de la OIML R 16-1 (Non-invasive mechanical sphygmomanometers), que fue publicada en el año 2002 la cual fue desarrollada por el sub-comité técnico TS 18/SC 1 Blood pressure instruments de la OIML [9].

Said Ortiz (Guatemala, 2005 octubre) ha presentado la calibración y mantenimiento de equipo médico de diagnóstico. Dejando

procedimientos de calibración de equipos médicos de diagnóstico, entre los que se encuentra uno de nuestro interés para este trabajo: Procedimiento de calibración de esfigmomanómetros [1].

Corzo Manzo (Guatemala, 2005 noviembre) ha presentado un diagnóstico a instrumentos de medición de la presión arterial (Esfigmomanómetros) utilizados en el hospital Roosevelt, mediante la utilización del protocolo de verificación de medidores de presión arterial no invasivos de la recomendación OIML R 16-1. En éste trabajo el autor ha mostrado un procedimiento de calibración de esfigmomanómetros [2].

2.2. Presión

2.2.1 Definición:

La definición básica de presión nos dice que es la fuerza ejercida por unidad de área en forma perpendicular y se expresa en N/m^2 equivalente al pascal de símbolo Pa, esta definición se muestra en la ecuación y es aplicable para la presión en sólidos (esfuerzo), líquidos (presión hidráulica) y gases (presión neumática) [6] y [7].

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

2.2.2 Tipos de presión:

En la figura 2.1 se muestra los tipos de presión, dados a continuación:

- Presión atmosférica: Presión que ejerce la atmósfera que rodea la tierra sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella. La presión atmosférica cambia con la altitud, a mayor altitud menor presión atmosférica.

- Presión atmosférica normalizada: Presión ejercida por la atmósfera bajo condiciones normalizadas, igual a 1 013,25 hPa (760 mmHg). La cual idealmente se presenta a una altitud de 0 m sobre el nivel del mar, temperatura ambiente de 20°C, humedad de 65 %HR y densidad del aire de 1,2 kg/m³.
- Presión barométrica: Presión atmosférica local más una corrección por la altura con respecto al nivel del mar.
- Presión relativa: También conocida como presión positiva o manométrica. Presión que toma como referencia a la presión atmosférica local.
- Presión diferencial: Es la presión que mide la diferencia entre dos presiones A y B, la presión relativa y vacío relativo son ejemplos de presión diferencial cuando la presión B es igual a la presión atmosférica local.
- Vacío relativo: También conocida como presión negativa. Medida menor a la presión atmosférica local.
- Cero absoluto: Presión nula que se obtendría en el caso ideal de la ausencia total de moléculas.
- Presión absoluta: Presión que se mide respecto del cero absoluto.

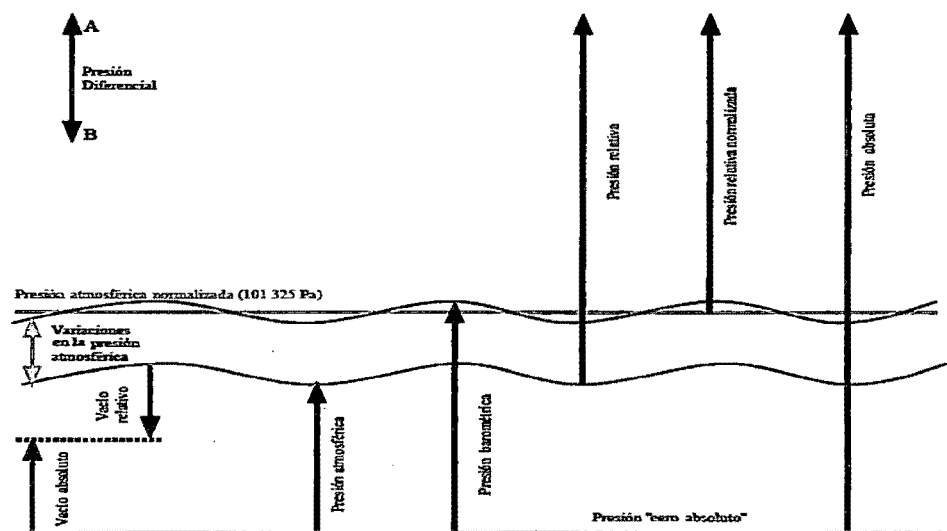


Figura 2.1: Tipos de presión [5]

2.2.3 Unidad de presión:

En el Sistema Internacional de unidades (SI) está normalizada con el nombre de pascal, de símbolo Pa de acuerdo con la 14ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) que tuvo lugar en París en 1971 [3] y [4].

2.2.4 Principio de Pascal:

Este principio establece que en ausencia de la gravedad, es decir, despreciando el peso del propio fluido, la presión en un fluido en reposo es el mismo en todas partes.

2.2.5 Presión hidrostática:

Es la que ejerce un líquido sobre un cuerpo que se encuentra en el seno del líquido; se debe al peso de la columna de ese líquido sobre el cuerpo. El cálculo de esta presión corresponde a una presión manométrica, ya que en realidad la que se ejerce es la suma de la presión atmosférica que actúa sobre la superficie del líquido más la presión hidrostática.

La ecuación de la hidrostática es la siguiente:

$$p = p_0 + \rho gh \quad (2.2)$$

Donde:

p : Presión aplicada sobre el cuerpo.

p_0 : Presión atmosférica.

ρ : Densidad del líquido.

g : La gravedad.

h : Altura de columna de líquido sobre el cuerpo.

2.3. La presión arterial y su medición

2.3.1 Presión arterial:

Se refiere a la presión (fuerza por unidad de superficie) que ejerce la sangre contra la pared de las arterias. Esta presión es imprescindible para que circule la sangre por los vasos sanguíneos y aporte el oxígeno y los nutrientes a todos los órganos del cuerpo para que puedan funcionar [8].

2.3.2 Tipos de presión arterial

- **Presión sanguínea diastólica (valor) (OIML R-16 [9]):** Valor mínimo de la presión sanguínea arterial como resultado de la relajación del sistema ventricular.

Nota: Debido a los efectos hidrostáticos, este valor deberá ser medido con el brazalete a la altura del corazón.

- **Presión sanguínea sistólica (valor) (OIML R-16 [9]):** Máximo valor de la presión arterial sanguínea como resultado de la contracción del sistema ventricular.

Nota: Debido a los efectos hidrostáticos, este valor deberá ser medido con el brazalete a la altura del corazón.

2.3.3 Métodos de medición

- **Invasiva:** A través de canalizar una arteria. Con este método se mide directamente la presión en la arteria y de manera continua. Este método nos da un resultado de la medición de la presión más confiable pero es de alto riesgo para el paciente.

- **No invasiva:** Con este método se mide de manera indirecta la presión arterial. No se conecta el instrumento de medición directamente a la arteria.

2.3.4 Medición no invasiva de la presión sanguínea

- **Método auscultatorio:** Técnica mediante la cual se escuchan sonidos (conocidos como sonidos Korotkoff) de una arteria ocluida conforme a la presión de oclusión se libera lentamente, coincidiendo con la aparición de sonidos con la presión sistólica y la desaparición de los mismos con la presión diastólica.
- **Método oscilométrico:** Método por el cual se coloca un brazalete alrededor de una extremidad y se aumenta la presión en el brazalete hasta que el flujo sanguíneo en la arteria se interrumpa y luego se reduce, lentamente, la presión en el brazalete. La presión es monitoreada continuamente.

2.4 Esfigmomanómetro

El instrumento usado para la medición no invasiva de la presión arterial sanguínea es el esfigmomanómetro. Existen dos tipos de esfigmomanómetros:

2.4.1 Mecánicos: Esfigmomanómetro que usa un manómetro de **mercurio o aneroide** para la medición de presión arterial sanguínea no invasiva a través de un brazalete inflable.

- **Esfigmomanómetro de mercurio.** Consiste en una cubeta que contiene mercurio conectada a un tubo vertical de cristal con un extremo abierto por donde sube el mercurio al inflar el manguito, ver figura 2.2.

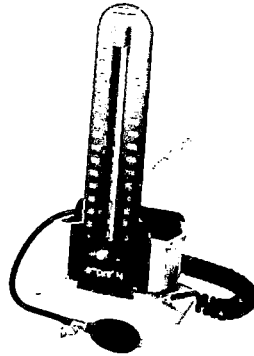


Figura 2.2: Esfigmomanómetro de columna de mercurio

- **Aneroide:** Se trata de un resorte móvil que mueve una aguja sobre escala circular, con divisiones cada 2 mm Hg, ver figura 2.3.

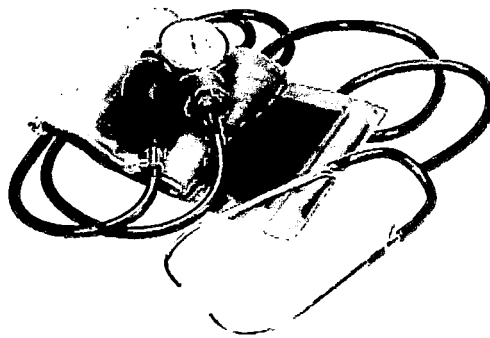


Figura 2.3: Esfigmomanómetro Aneroid

2.4.2 Electromecánicos: Que utiliza al menos, un transductor electromecánico que genera una señal eléctrica de acuerdo a la presión en la cámara inflable, y la convierte en digital para posteriormente mostrar los resultados de la presión arterial en un display. Ver figura 2.4.

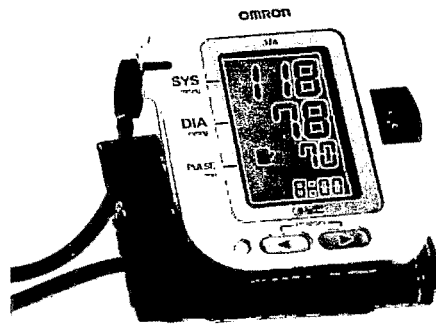


Figura 2.4: Esfigmomanómetro Electromecánico

2.4.3 Unidades de medida de la presión arterial (OIML R-16

[9]): La presión sanguínea en los esfigmomanómetros es indicada en kilopascales (kPa) o en milímetros de mercurio (mmHg).

2.5. Términos metrológicos

Los siguientes términos nos será útil para el mejor entendimiento del presente trabajo de investigación; éstos han sido extraídos del “International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology” [11]:

2.5.1 Metrología: Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones.

NOTA: La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medición y su campo de aplicación.

2.5.2 Medición: Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.

NOTA 1: Las mediciones no son de aplicación a las propiedades cualitativas.

NOTA 2: La medición supone una comparación de magnitudes, e incluye el conteo de entidades.

NOTA 3: Una medición supone una descripción de la magnitud compatible con el uso previsto de un resultado de medición, un procedimiento de medición y un sistema de medición calibrado operando conforme a un procedimiento de medición especificado, incluyendo las condiciones de medición.

2.5.3 Mensurando: Magnitud que se desea medir.

NOTA 1: La especificación de un mensurando requiere el conocimiento de la naturaleza de la magnitud y la descripción del estado del fenómeno, cuerpo o sustancia que tiene a dicha magnitud como una propiedad, incluyendo las componentes relevantes y las entidades químicas involucradas.

NOTA 2: En la 2ª edición del VIM y en IEC60050-300:2001, el mensurando está definido como la “magnitud sujeta a medición”.

NOTA 3: La medición, incluyendo el sistema de medición y las condiciones bajo las cuales se realiza ésta, podría alterar el fenómeno, cuerpo o sustancia, de tal forma que la magnitud que se está midiendo pueda diferir del mensurando tal como ha sido definido. En este caso sería necesario efectuar la corrección apropiada.

EJEMPLO 1 La diferencia de potencial entre los terminales de una batería puede disminuir cuando se utiliza un voltímetro con una conductancia interna significativa. La diferencia de potencial en circuito abierto puede calcularse a partir de las resistencias internas de la batería y del voltímetro.

EJEMPLO 2 La longitud de una varilla cilíndrica de acero en equilibrio con la temperatura ambiente de 23 °C será diferente de su

longitud a la temperatura de 20 °C, para la cual se ha definido el mensurando. En este caso, es necesaria una corrección.

NOTA 4: En química, la “sustancia a analizar”, el analito, o el nombre de una sustancia o de un compuesto, se emplean algunas veces en lugar de “mensurando”. Esta práctica es errónea debido a que estos términos no se refieren a magnitudes.

2.5.4 Patrón de medición: Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medición asociada, tomada como referencia.

2.5.5 Trazabilidad metrológica: Propiedad de un resultado de medición por la cual dicho resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición.

NOTA 1 En esta definición, la “referencia” puede ser la definición de una unidad de medida, mediante su realización práctica, o un procedimiento de medición que incluya la unidad de medida cuando se trate de una magnitud no ordinal, o un patrón.

NOTA 2 La trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración establecida.

NOTA 3 La especificación de la referencia debe incluir la fecha en la cual se utilizó dicha referencia, junto con cualquier otra información metrológica relevante sobre la referencia, tal como la fecha en que se haya realizado la primera calibración en la jerarquía.

NOTA 4 Para mediciones con más de una magnitud de entrada en el modelo de medición, cada valor de entrada debiera ser metrologicalmente trazable y la jerarquía de calibración puede tener forma de estructura ramificada o de red. El esfuerzo realizado para establecer la trazabilidad metrological de cada valor de entrada debería ser en proporción a su contribución relativa al resultado de la medición.

NOTA 5 La trazabilidad metrological de un resultado de medición no garantiza por sí misma la adecuación de la incertidumbre de medición a un fin dado, o la ausencia de errores humanos.

NOTA 6 La comparación entre dos patrones de medición puede considerarse como una calibración si ésta se utiliza para comprobar, y si procede, corregir el valor y la incertidumbre atribuidos a uno de los patrones.

NOTA 7 ILAC considera que los elementos necesarios para confirmar la trazabilidad metrological son: una cadena ininterrumpida de trazabilidad metrological a un patrón de medición internacional o a un patrón de medición nacional, una incertidumbre de medición documentada, un procedimiento de medición documentado, una competencia técnica acreditada, la trazabilidad metrological al SI y los intervalos entre calibraciones establecidos (véase ILAC P-10:2002).

NOTA 8 Algunas veces el término abreviado “trazabilidad” se utiliza en lugar de “trazabilidad metrological” así como para otros conceptos, como trazabilidad de una muestra, de un documento, de un instrumento, de un material, etc., cuando interviene el historial (“traza”) del elemento en cuestión. Por tanto, es preferible utilizar el término completo “trazabilidad metrological” si hay algún riesgo de confusión.

2.5.6 Calibración: Operación que, bajo condiciones especificadas, establece en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición asociadas obtenidas a partir de los patrones de medición, 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 medición a partir de una indicación.

NOTA 1: Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.

NOTA 2: Conviene no confundir la calibración con el ajuste de un sistema de medición, a menudo llamado incorrectamente “autocalibración”, ni con una verificación de la calibración.

NOTA 3: Frecuentemente se interpreta que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.

2.5.7 Procedimiento de medición: Descripción detallada de una medición conforme a uno o más principios de medición y a un método de medición dado, basado en un modelo de medición y que incluye los cálculos necesarios para obtener un resultado de medición

NOTA 1 Un procedimiento de medición se documenta habitualmente con suficiente detalle para que un operador pueda realizar una medición.

NOTA 2 Un procedimiento de medición puede incluir un enunciado referido a una incertidumbre de medición objetivo.

NOTA 3 El procedimiento de medición a veces se denomina standard operating procedure (SOP) en inglés, o mode opératoire de mesure en francés.

2.5.8 Método de calibración: Descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición.

NOTA Los métodos de medición pueden clasificarse de varias maneras como:

- Método de sustitución,
- Método diferencial, y
- Método de cero;
- o
- Método directo, y
- Método indirecto.

2.5.9 Error de medición: Valor medido de una magnitud menos un valor de referencia.

NOTA 1 El concepto de error de medición puede emplearse

- a) Cuando exista un único valor de referencia, como en el caso de realizar una calibración mediante un patrón cuyo valor medido tenga una incertidumbre de medición despreciable, o cuando se toma un valor convencional, en cuyo caso el error de medición es conocido.
- b) Cuando el mensurando se supone representado por un valor verdadero único o por un conjunto de valores verdaderos, de amplitud despreciable, en cuyo caso el error de medición es desconocido.

NOTA 2 Conviene no confundir el error de medición con un error en la producción o con un error humano.

2.5.10 Error máximo permitido: Valor extremo del error de medición, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para una medición, instrumento o sistema de medición dado.

NOTA 1: En general, los términos “errores máximos permitidos” o “límites de error” se utilizan cuando existen dos valores extremos.

NOTA 2: No es conveniente utilizar el término «tolerancia» para designar el “error máximo permitido”.

2.5.11 Error de histéresis: Propiedad de un instrumento donde la respuesta a una señal de entrada depende de la secuencia de las señales de entrada (o los valores de las magnitudes de influencia) precedentes.

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

NOTA 1: La incertidumbre de medición 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. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre.

NOTA 2: El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar, en cuyo caso se denomina incertidumbre estándar de medición (o un múltiplo de ella), o el semiancho de un intervalo con una probabilidad de cobertura determinada.

NOTA 3: En general, la incertidumbre de medición incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medición, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones estándar. Las otras componentes, que pueden calcularse mediante una evaluación tipo B de la incertidumbre de medición, pueden caracterizarse también por desviaciones estándar, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.

NOTA 4: En general, para una información dada, se sobrentiende que la incertidumbre de medición está asociada a un valor determinado atribuido al mensurando. Por tanto, una modificación de este valor supone una modificación de la incertidumbre asociada.

2.6. Cálculo de Incertidumbre

De acuerdo con el “*Evaluation of Measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*” [10], cuando se reporta el resultado de una medición de una magnitud física, es obligatorio que una indicación cuantitativa de la calidad de los resultados sea dada a fin de que aquellos que lo utilizan puedan evaluar su fiabilidad. Sin tal indicación, los resultados de medición no se pueden comparar, ya sea entre sí o con valores de referencia dados en una especificación o estándar. Por lo tanto, es necesario que exista un procedimiento fácilmente implementado, de fácil comprensión, y generalmente aceptado para la caracterización de la calidad de un resultado de una medición, es decir, para evaluar y expresar su incertidumbre.

El concepto de incertidumbre como un atributo cuantificable es relativamente nuevo en la historia de la medición, a pesar de que errores y análisis de errores han sido durante mucho tiempo una parte de la práctica de la ciencia de la medición o metrología. Ahora es ampliamente

reconocido que, cuando todos los componentes conocidos de error (o de los que se sospecha) se han evaluado y se han aplicado las correcciones apropiadas, todavía queda una incertidumbre acerca de la exactitud del resultado mencionado, es decir, una duda sobre lo bien que el resultado de la medición representa el valor de la cantidad que se mide.

En la mayoría de los casos, el mensurando Y no es medido directamente, sino que es determinado a partir de otras cantidades $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ a través de una relación funcional f :

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_N) \quad (2.3)$$

Las cantidades de entrada $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ de las cuales el mensurando Y depende, también pueden ser vistas como valores de medida y pueden depender de otras cantidades, incluidas las correcciones y factores de corrección de efectos sistemáticos, lo que conduce a una relación funcional f complicada que nunca podrá ser escrita explícitamente.

El conjunto de cantidades $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ se puede categorizar como:

Cantidades cuyos valores e incertidumbres son directamente determinadas durante la medición. Estos valores e incertidumbres pueden ser obtenidos de, por ejemplo, una observación simple, repetidas observaciones, o juicios basados en la experiencia, y pueden involucrar la determinación de correcciones a las lecturas de los instrumentos y correcciones por las magnitudes de influencia, tales como la temperatura ambiente, presión barométrica y la humedad.

Cantidades cuyos valores e incertidumbres son traídos a la medición desde fuentes externas, tales como cantidades asociadas con

patrones de medición calibrados, certificados de materiales de referencia, y datos de referencia obtenidos de manuales.

Un estimado del mensurando Y , denotado por y , es obtenido por la ecuación (2.3) usando los estimados $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ para los valores de las N cantidades $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$. Así, el estimado y , el cual es el resultado de la medición, está dado por:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N) \quad (2.4)$$

Cada estimado de entrada x_i y su incertidumbre estándar asociada $u(x_i)$ son obtenidos de una distribución de posibles valores de la cantidad de entrada X_i . Esta distribución de probabilidad puede estar basada en frecuencias, esto es, basada en una serie de observaciones $X_{i,k}$ de X_i , o puede ser una distribución a priori. Las evaluaciones Tipo A de las componentes de la incertidumbre estándar se fundamentan sobre distribuciones frecuenciales, mientras que las evaluaciones Tipo B se fundamentan sobre distribuciones a priori. Se debe reconocer que en ambos casos las distribuciones son modelos que son usados para representar el estado de nuestro conocimiento.

2.6.1 Evaluación Tipo A de la Incertidumbre Estándar

En la mayoría de los casos, el mejor estimado disponible del valor estimado del valor μ_q de una cantidad q que varía aleatoriamente, y para el cual n observaciones independientes q_k han sido obtenidas bajo las mismas condiciones de medición, es el promedio aritmético \bar{q} de n observaciones:

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (2.5)$$

Las observaciones individuales q_k difieren en valor debido a las variaciones aleatorias de las magnitudes de influencia, o a efectos aleatorios. La variancia experimental de las observaciones, la cual estima la variancia σ^2 de la distribución de probabilidad de q , está dada por:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (2.6)$$

El mejor estimado de $\sigma^2(\bar{q})$ es σ^2/n , la variancia de la media, está dado por:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (2.7)$$

La variancia experimental de la media $s^2(\bar{q})$ y la desviación estándar experimental de la media $s(\bar{q})$, que es igual a la raíz cuadrada positiva de $s^2(\bar{q})$, cuantifica que tan bien \bar{q} estima al valor esperado μ_q de q , y cualquiera de las dos puede ser usada como una medida de la incertidumbre de \bar{q} .

Para una medición bien caracterizada bajo control estadístico, una variancia agrupada s_p^2 (o una desviación estándar experimental combinada s_p) que caracteriza a la medición puede estar disponible. En tales casos, cuando el valor de un mesurando q se determina a partir de n observaciones independientes, la variancia experimental de la media aritmética \bar{q} de las observaciones se estima mejor por s_p^2/n que por $s^2(q_k)/n$ y la incertidumbre estándar es $u = s_p/\sqrt{n}$.

2.6.2 Evaluación Tipo B de la Incertidumbre Estándar

Para obtener una estimación x_i de una cantidad de entrada X_i que no se ha obtenido a partir de observaciones repetidas, la variancia estimada

asociada $u^2(x_i)$ o la incertidumbre estándar $u(x_i)$ se evalúa por el juicio científico basado en toda la información disponible en la variabilidad posible de X_i . El conjunto de información puede incluir:

- Datos de medición anteriores;
- Experiencia o conocimiento general del comportamiento y las propiedades de los materiales e instrumentos pertinentes;
- Las especificaciones del fabricante;
- Los datos proporcionados en la calibración y otros certificados;
- Incertidumbres asignadas a los datos de referencia obtenidos de manuales.

El uso adecuado del grupo de información disponible para una evaluación Tipo B de la incertidumbre estándar requiere una visión basada en la experiencia y el conocimiento en general, y es una habilidad que se puede aprender con la práctica. Se debe reconocer que una evaluación Tipo B de la incertidumbre estándar puede ser tan fiable como una evaluación Tipo A, especialmente en una situación de medición en la cual una evaluación Tipo A se basa en un número relativamente pequeño de observaciones estadísticamente independientes.

Si la estimación x_i se toma de las especificaciones del fabricante, certificado de calibración, manual, o de otra fuente y se indica que su incertidumbre declarada es un múltiplo particular de una desviación estándar, la incertidumbre típica $u(x_i)$ es simplemente el valor declarado dividido por el multiplicador, y la variancia estimada $u^2(x_i)$ es el cuadrado de ese cociente.

2.7. Prueba t-Student

Esta prueba permite comparar las medias de dos grupo de datos y determinar si entre estos parámetros las diferencias son estadísticamente significativas.

En la prueba t, se procede a determinar el valor t de student calculado, obtenido de la experiencia analítica, y este valor posteriormente se compara con el llamado valor crítico, este valor crítico se obtiene de la tabla de t-student para un determinado porcentaje de confiabilidad (normalmente se utiliza el 95% de confianza, es decir, un valor α de 0,05). Si no existen diferencias significativas entre 2 grupos, la t calculada debería ser inferior al t crítico (o conocido también como t de tabla). El t de student calculado se obtiene con la siguiente fórmula:

$$t_{\text{calculado}} = \frac{|x_1 - x_2|}{t_{\text{crítico}} \times s_p \times \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Con x_1 y x_2 las medias, $t_{\text{crítico}}$ es el t de student crítico que se encuentra en tablas, n_1 y n_2 numero de observaciones para cada patrón.

CAPITULO III:

Materiales y métodos

3.1 Principio de medición de la presión en manómetro de esfigmomanómetro aneroide

El esfigmomanómetro aneroide es un instrumento de medición de la presión arterial, el cual consta de un brazalete, estetoscopio, bomba de caucho (que infla la bolsa dentro del brazalete con aire), tubo conector y el manómetro, el cual nos da la indicación de la medida de presión.

El manómetro tiene como elemento sensor una cápsula, la cual consta de dos membranas de forma circular onduladas selladas fuertemente alrededor de su circunferencia. Los actos de presión en el interior de la cápsula y el movimiento que genera son mostrados por la aguja como medida de la presión ejercida. Los manómetros con elementos de cápsula son especialmente apropiados para la medición de fluidos gaseosos y presiones bajas [14].

3.2 Método de calibración

La calibración se ha realizado con el método de comparación directa, en este método se comparan directa e instantáneamente los valores proporcionados por el equipo (instrumento de medición o medida materializada) bajo calibración, contra los valores proporcionados por un patrón [15].

3.3 Norma OIML R16-1: Noninvasive mechanical sphygmomanometers

Esta recomendación especifica requerimientos generales, de desempeño, de eficacia y de seguridad mecánica y eléctrica, e incluye métodos de ensayo para la aprobación de modelo para esfigmomanómetros mecánicos no invasivos y sus accesorios que, por medio de un brazalete inflable, se usan para la medición no invasiva de la presión sanguínea [9].

En el presente trabajo se ha hallado los errores de la medida de la presión indicada en los manómetros de los esfigmomanómetros y han sido comparados con el error máximo permisible dado en la Norma OIML R16-1 en el ítem 5.1 (Errores máximos permisibles en la indicación de presión).

3.4 Modelo matemático

Medir no es solamente el hecho de tomar una lectura y registrarla; medir es todo un conjunto de operaciones que implica al menos responder: qué mensurando deseo conocer, cuál es su aplicación, con qué magnitud le asignamos un valor, qué equipo (instrumento de medición o medida materializada) debemos utilizar, qué exactitud requerimos, qué método de medición voy a utilizar y por supuesto cómo voy a tomar y registrar la lectura, qué correcciones necesito aplicar, cómo reportaremos el resultado, etc. [15].

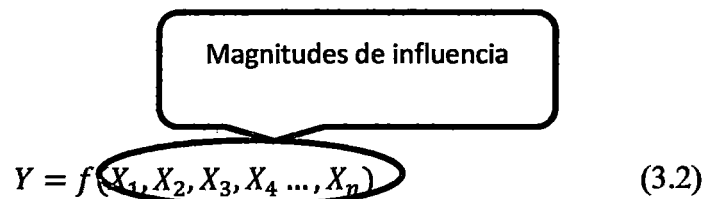
Cualquier medida puede expresarse mediante una relación funcional si se explicitan las correcciones aplicadas; para esta investigación la diferencia de las lecturas del manómetro del esfigmomanómetro y el manómetro patrón nos da como resultado

aproximado la corrección de la indicación del manómetro del esfigmomanómetro:

$$Y \approx X_1 - X_2 \quad (3.1)$$

Donde X_1 es la lectura en el manómetro del esfigmomanómetro a calibrar y X_2 es la lectura en el manómetro patrón.

Pero, en el mensurando a determinar Y (en esta investigación es el error), las magnitudes de entrada X_1 y X_2 no son las únicas que intervienen en nuestro proceso de calibración, sino también otras magnitudes, que son las llamadas magnitudes de influencia; por lo que nuestro mensurando o magnitud de salida es la siguiente:



Magnitudes de influencia

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n) \quad (3.2)$$

Donde f es la función de medida o función modelo que establece la relación existente entre el mensurando o mensurandos objeto de la medida y otros que se conocen o se determinan previamente.

¿Qué es una magnitud de influencia?

Magnitud que no es el mensurando pero que tiene un efecto sobre el resultado de la medición [11].

Por lo tanto, para esta investigación nuestras magnitudes de influencia son:

- Temperatura del ambiente.
- Presión del ambiente.
- Humedad del ambiente.

Magnitudes de influencia en la calibración de un esfigmomanómetro anerode con un manómetro de deformación elástica:

En el caso de los manómetros aneroides, y de un manómetro patrón de deformación elástica interviene la temperatura, ya que para una temperatura diferente a la temperatura de referencia de 20°C hay un error en la indicación de la presión debido a la expansión térmica del sensor, ésta se puede corregir con la siguiente fórmula [16]:

$$\Delta p_{temp} = \alpha(t_{ref} - t)p \quad (3.3)$$

Donde:

Δp_{temp} : Corrección de la presión por la temperatura

α : Constante de expansión térmica del material del sensor de manómetro

t_{ref} : Temperatura de referencia la cual es de 20°C

t : Temperatura del ambiente en °C

p : Presión medida en Pa

Para la calibración de los manómetros de los esfigmomanómetros se ha utilizado como fluido, aire, para el cual su densidad varía con la temperatura, humedad y presión del ambiente, para nuestro caso, el laboratorio durante la calibración. Esta densidad la necesitamos para la corrección por la diferencia de alturas:

$$P_c = \rho_a g \Delta h \quad (3.4)$$

Donde:

ρ_a : Densidad del aire

g : Gravedad local

Δh : Diferencia de alturas

La ecuación para la densidad del aire húmedo tiene la siguiente forma [17]:

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (3.5)$$

Donde:

p : Presión (Pa)

M_a : La masa molar de aire seco.

Z : Factor de compresibilidad.

R : Constante molar de los gases (8,314472 J mol⁻¹ K⁻¹ [18])

T : Temperatura termodinámica (K)

M_v : Masa molar del agua (0,01801528 kg mol⁻¹).

x_v : Fracción molar del vapor de agua.

Si una medida de x_{CO_2} (fracción molar de dióxido de carbono) está disponible, entonces debería usarse para mejorar la estimación de la masa molar de aire seco [17]:

$$M_a = [28,96546 + 12,011 (x_{CO_2} - 0,0004)] \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \quad (3.6)$$

Si no se puede medir, uno normalmente asume un valor histórico de 400 μmol mol⁻¹ para la fracción molar de dióxido de carbono en aire seco, este valor lo encontramos en la tabla 1 de [17], para lo cual también se ha tomado en cuenta su aportación a la incertidumbre de la medida, revisar tabla 1 de [17].

Por lo tanto, la masa molar de aire seco para nuestro cálculo de la densidad del aire es:

$$M_a = 28,96546 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \quad (3.7)$$

La fracción molar de vapor de agua, se calcula a partir de la presión de saturación de vapor (p_{sv}). Como el aire húmedo no se comporta como un gas parcial, es necesario introducir un factor de corrección f (factor de fugacidad) que depende de la temperatura y de la presión. En el apéndice A.1. de [17], nos muestra el cálculo de x_v :

$$x_v = hf(p, t) \frac{p_{sv}(t)}{p} \quad (3.8)$$

Donde:

h : Humedad relativa.

$f(p, t)$: Factor de fugacidad.

$$f(p, t) = \alpha + \beta p + \gamma t^2 \quad (3.9)$$

$$\alpha = 1,00062$$

$$\beta = 3,14 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$$

$$\gamma = 5,6 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$p_{sv}(t)$: Presión de vapor en saturación (Pa).

$$p_{sv}(t) = 1\text{Pa} \times \exp(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}) \quad (3.10)$$

$$A = 1,2378847 \times 10^{-5} \text{ K}^{-2}$$

$$B = -1,9121316 \times 10^{-2} \text{ K}^{-1}$$

$$C = 33,93711047$$

$$D = -6,3431645 \times 10^3 \text{ K}$$

p : Presión (Pa).

t : Temperatura (°C).

T : Temperatura (K).

Por último, para determinar la densidad del aire húmedo se ha calculado el factor de compresibilidad con la ecuación dada en el apéndice A.2. de [17]:

$$Z = 1 - \frac{p}{T} [a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 + c_1 t)x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} (d + ex_v^2) \quad (3.11)$$

$$a_0 = 1,58123 \times 10^{-6} \text{ K Pa}^{-1}$$

$$a_1 = -2,9331 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$$

$$a_2 = 1,1043 \times 10^{-10} \text{ K}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$$

$$b_0 = 5,707 \times 10^{-6} \text{ K Pa}^{-1}$$

$$b_1 = -2,051 \times 10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$$

$$c_0 = 1,9898 \times 10^{-4} \text{ K Pa}^{-1}$$

$$c_1 = -2,376 \times 10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$$

$$d = 1,83 \times 10^{-11} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2}$$

$$e = -0,765 \times 10^{-8} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2}$$

Donde:

p : Presión (Pa).

t : Temperatura (°C).

T : Temperatura (K).

x_v : Fracción molar del vapor de agua.

Finalmente obteniendo las ecuaciones (3.7), (3.8), (3.9), (3.10) y (3.11) podemos hallar la densidad del aire con la ecuación (3.5) y para obtener su incertidumbre se ha utilizado la *Estimación de la incertidumbre en la determinación de la densidad del aire* del CENAM [22].

Como notamos en la ecuación (3.4), para hallar la corrección de la presión por la diferencia de alturas, necesitamos la densidad del aire húmedo y la gravedad local. Por lo tanto nos hace falta la gravedad local (gravedad en el Laboratorio de Fuerza y Presión del Servicio Nacional de Metrología), la cual podemos obtenerla de acuerdo con la ecuación recomendada por la Organización Internacional de Metrología Legal en el boletín OIML 127, con una incertidumbre menor al 0,01% con la siguiente ecuación [19]:

$$g_l = G_E(1 + b_1 \text{sen}^2 \phi - b_2 \text{sen}^2(2\phi)) - 3,086 \times 10^{-6} H \quad (3.12)$$

$$b_1 = 0,0053024$$

$$b_2 = 0,0000058$$

G_E : 9,780318 m/s² aceleración de la gravedad en el Ecuador a nivel del mar (valor convencional)

ϕ : Latitud en grados.

H : Altitud del lugar, altura sobre el nivel del mar.

Finalmente con estas correcciones generadas por las magnitudes de influencia, además de la corrección por certificado del patrón y la deriva del patrón, tenemos como resultado nuestro modelo matemático para la calibración de esfigmomanómetros con un manómetro de deformación elástica patrón:

$$E = (I_x + \Delta p_{x \text{ temp}}) - (I_p + \delta_{\text{corrección_certificado}} + \delta_{\text{deriva}} + \Delta p_{p \text{ temp}} - \rho_a g \Delta h) \quad (3.13)$$

Donde:

- E : Error de indicación
- I_x : Indicación de presión del esfigmomanómetro a calibrar
- $\Delta p_{x \text{ temp}}$: Variación de la presión por efectos de la temperatura del esfigmomanómetro a calibrar
- I_p : Indicación de presión del manómetro patrón
- $\delta_{\text{corrección_certificado}}$: Corrección del patrón según certificado
- δ_{deriva} : Deriva del patrón
- $\Delta p_{p \text{ temp}}$: Variación de la presión por efectos de la temperatura del manómetro patrón
- ρ_a : Densidad de fluido utilizado (aire)
- g : Gravedad local
- Δh : Diferencia de alturas

Además el error de histéresis en cada punto de calibración será:

$$H = E_{\downarrow} - E_{\uparrow} \quad (3.14)$$

Donde:

- E_{\downarrow} : Error de indicación del instrumento a calibrar en descenso
- E_{\uparrow} : Error de indicación del instrumento a calibrar en ascenso

Para la calibración de un esfigmomanómetro aneroide con un manómetro de columna (en particular columna de mercurio):

Para la medida de la presión en un manómetro de columna de mercurio, notemos en la figura 5 que por el principio de Pascal, la presión

P3 es igual a la presión P2; por lo que para hallar P2 aplicamos la ecuación (2.2) de la presión hidrostática; donde P1 es la presión atmosférica.

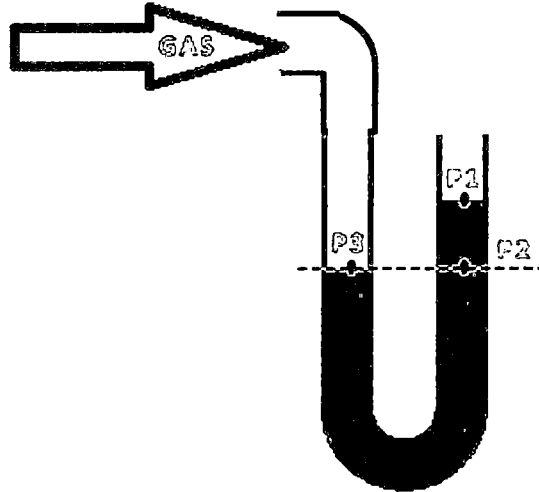


Figura 3.1: Presión en un manómetro de columna

Entonces para obtener P3 de la figura 3.1 necesitamos la gravedad local dada en la ecuación (3.12), la diferencia de alturas dada por la escala y la densidad del líquido (para nuestro caso mercurio).

La medición de la altura de la columna depende de la variación de la temperatura y del coeficiente de deformación elástica [21]:

$$h = h_0(1 + \alpha\Delta t) \quad (3.15)$$

Donde:

h : Medición de la altura corregida por temperatura

h_0 : Medición de la altura

α : Coeficiente de deformación elástica

Δt : Variación de temperatura respecto a la temperatura de referencia

La densidad del mercurio depende de la magnitud de influencia temperatura [20]:

$$\rho_{Hg}(t) = \frac{\rho_{Hg}(t = 0)}{1 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4} \quad (3.16)$$

$$a_1 = 1,815868 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$a_2 = 5,4583 \times 10^{-9} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$a_3 = 3,498 \times 10^{-11} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$$

$$a_4 = 1,5558 \times 10^{-14} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$$

Donde:

$$\rho_{Hg}(t = 0): 13\,595,08 \text{ kg/m}^3$$

t : Temperatura en $^\circ\text{C}$

La incertidumbre expandida de esta fórmula es $0,01 \text{ kg/m}^3$ de 10°C a 30°C [20].

Finalmente el error de indicación para cada valor de presión seleccionado estará dado por la siguiente ecuación:

$$E = I_x - \rho_{Hg} g h \quad (3.17)$$

Donde:

I_x : Indicación del esfigmomanómetro a calibrar

ρ_{Hg} : Densidad del mercurio

h : Altura de la columna

El error de histéresis en cada punto de calibración será:

$$H = \bar{I}_{x\downarrow} - \bar{I}_{x\uparrow} \quad (3.18)$$

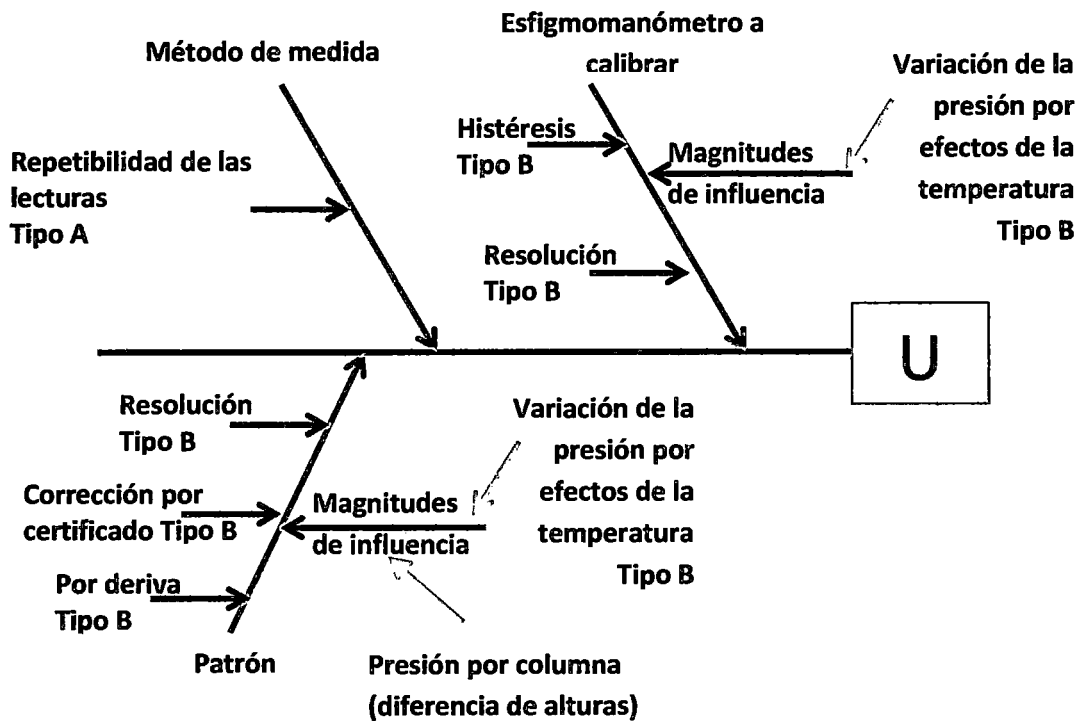
Donde:

$$\bar{I}_{x\uparrow} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{I}_{x_i\uparrow}}{n} \quad (3.19)$$

$$\bar{I}_{x\downarrow} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{I}_{x_i\downarrow}}{n} \quad (3.20)$$

3.5 Incertidumbre

Fuentes de incertidumbre en la calibración de esfigmomanómetros usando como patrón un manómetro de deformación elástica:



Para el cálculo de la incertidumbre del error de indicación y error de histéresis E y H partamos de la ecuación (3.13) para calcular los coeficientes de sensibilidad:

Con respecto a la Indicación de presión del esfigmomanómetro a calibrar:

$$\frac{\partial E}{\partial I_x} = 1$$

Con respecto a la Indicación de presión del manómetro patrón:

$$\frac{\partial E}{\partial I_p} = -1$$

Con respecto a la variación de la presión por efectos de la temperatura del esfigmomanómetro a calibrar:

$$\frac{\partial E}{\partial \Delta p_{x \text{ temp}}} = 1$$

Con respecto a la variación de la presión por efectos de la temperatura del manómetro patrón:

$$\frac{\partial E}{\partial \Delta p_{p \text{ temp}}} = 1$$

Con respecto a la corrección del patrón según certificado:

$$\frac{\partial E}{\partial \delta_{\text{Corrección_certificado}}} = -1$$

Con respecto a la deriva del patrón:

$$\frac{\partial E}{\partial \delta_{\text{deriva}}} = -1$$

Con respecto a la presión por columna la cual depende de la diferencia de alturas, gravedad local y densidad del aire

$$\frac{\partial E}{\partial h} = \rho g$$

$$\frac{\partial E}{\partial g} = \rho h$$

$$\frac{\partial E}{\partial \rho_a} = gh$$

Por lo tanto la incertidumbre combinada es la siguiente:

$$u(E_{ti}) = \sqrt{\frac{u^2(I_x) + u^2(I_p) + u^2(\Delta p_{x \text{ temp}}) + u^2(\Delta p_{p \text{ temp}}) + u^2(\delta_{\text{corrección certificado}}) + u(\delta_{\text{deriva}}) + u^2(H) + \rho g u^2(h) + \rho h u^2(g) + gh u^2(\rho_a)}{\rho g u^2(h) + \rho h u^2(g) + gh u^2(\rho_a)}} \quad (3.21)$$

Donde:

Incertidumbre por resolución del instrumento bajo calibración:

$$u(I_x) = \frac{\text{división de escala}}{2m\sqrt{3}} \quad (3.22)$$

Siendo m el número de partes en las que se puede dividir la división de escala del esfigmomanómetro a calibrar.

Incertidumbre debido a la variación de temperatura del esfigmomanómetro a calibrar:

$$u(\Delta p_{x \text{ temp}}) = \frac{\Delta p_{x \text{ temp}}}{2\sqrt{3}} \quad (3.23)$$

Incertidumbre debido a la resolución y repetibilidad del instrumento patrón:

$$u(I_p) = \sqrt{u_1^2(I_p) + u_2^2(I_p)} \quad (3.24)$$

Con:

$$u_1(I_p) = \frac{\text{división de escala}}{2r\sqrt{3}} \quad (3.25)$$

Siendo r el número de partes en las que se puede dividir la división de escala del manómetro patrón; y

$$u_2(I_p) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{p_i} - \bar{I}_p)^2}{n(n-1)}} \quad (3.26)$$

Incertidumbre del patrón según certificado:

$$u(\delta_{\text{corrección certificado}}) \quad (3.27)$$

Incertidumbre por deriva del patrón:

$$u(\delta_{\text{deriva}}) = \frac{\delta_{\text{deriva}}}{2\sqrt{3}} \quad (3.28)$$

Incertidumbre debido a la variación de temperatura del manómetro patrón:

$$u(\Delta p_{p \text{ temp}}) = \frac{\Delta p_{p \text{ temp}}}{2\sqrt{3}} \quad (3.29)$$

Incertidumbre debido al error de histéresis:

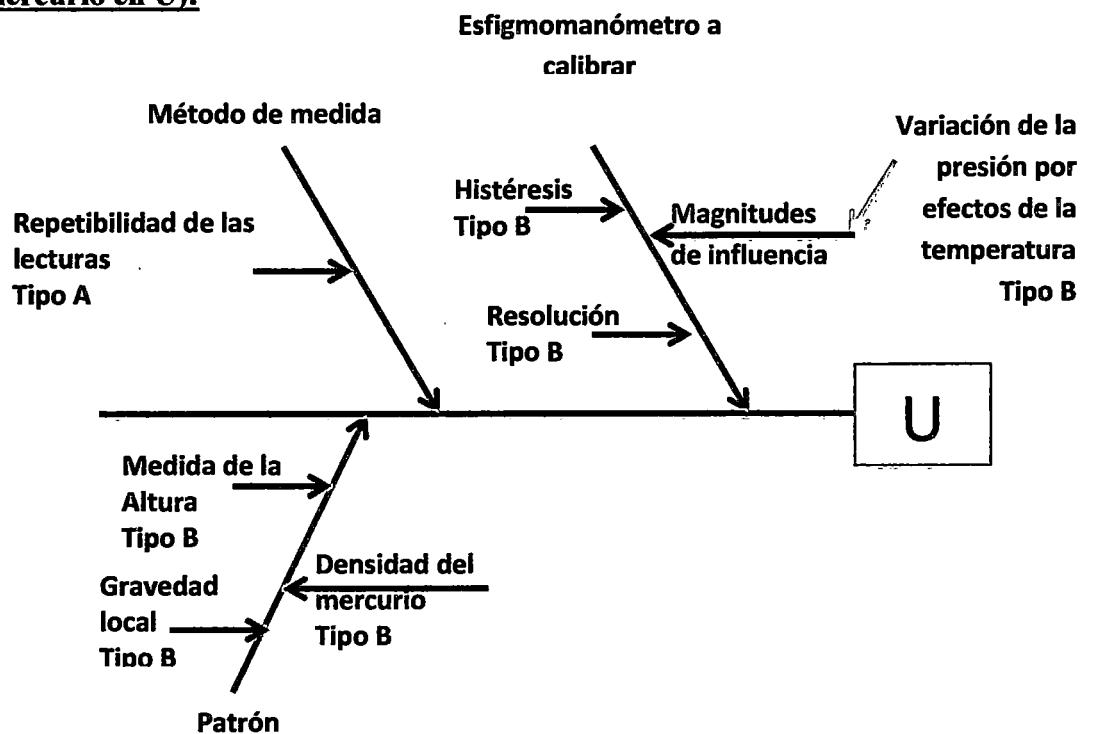
$$u(H) = \frac{H}{2\sqrt{3}} \quad (3.30)$$

Incertidumbre de la presión por columna (diferencia de alturas):

$$u(P_c) = \sqrt{(\rho g u(h))^2 + (hg u(\rho_a))^2 + (h\rho u(g))^2} \quad (3.31)$$

Donde $u(h)$ es obtenida del certificado del instrumento para medir la diferencia de alturas como una regla o un Vernier.

Fuentes de incertidumbre en la calibración de esfigmomanómetros usando como patrón un manómetro de columna líquida (columna de mercurio en U):



Para el cálculo de la incertidumbre del error de indicación y error de histéresis E y H partamos de la ecuación (3.17) para calcular los coeficientes de sensibilidad:

$$\frac{\partial E}{\partial I_x} = 1$$

$$\frac{\partial E}{\partial h} = \rho_{Hg} g$$

$$\frac{\partial E}{\partial g} = \rho_{Hg} h$$

$$\frac{\partial E}{\partial \rho_{Hg}} = g h$$

Por lo tanto la incertidumbre combinada es la siguiente:

$$u(E) = \sqrt{u^2(I_x) + (\rho_{Hg} g u(h))^2 + (h g u(\rho_{Hg}))^2 + (h \rho_{Hg} u(g))^2} \quad (3.32)$$

Donde:

$$u(I_x) = \sqrt{u_{div}^2(I_x) + u_{rep}^2(I_x) + u_{hist}^2(I_x)} \quad (3.33)$$

Con:

$$u_{div}(I_x) = \frac{div. escala}{2m\sqrt{3}} \quad (3.34)$$

Donde m es el número de partes en las que se puede dividir la división de escala del instrumento a calibrar.

$$u_{rep}(I_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{x_i} - \bar{I}_{x_i})^2}{n(n-1)}} \quad (3.35)$$

$$u_{hist}^2(I_x) = \frac{H}{2\sqrt{3}} \quad (3.36)$$

3.6 Procedimiento de calibración

a) Procedimiento de calibración de esfigmomanómetros con un manómetro de deformación elástica patrón.

MATERIALES Y/O EQUIPOS AUXILIARES

- Termómetro para la toma de la temperatura del ambiente.
- Higrómetro para la toma de la humedad relativa del ambiente.
- Barómetro para la toma de la presión del ambiente.
- Trazador de altura.

CONSIDERACIONES A TOMAR ANTES DE LA CALIBRACIÓN

1° Cuando llega el esfigmomanómetro al laboratorio, realizar una inspección visual, tanto al manómetro, brazaletes y todo el sistema como mangueras y conexiones.

2° El instrumento bajo calibración deberá permanecer en el laboratorio no menos de 6 horas para que alcance su estabilidad térmica previa a su calibración.

3° Después de la estabilización térmica, desconectar con mucho cuidado el manómetro del esfigmomanómetro.

4° El manómetro del esfigmomanómetro se debe instalar en el banco de calibración.

5° El lugar donde se efectúa la calibración no debe estar sujeto a vibraciones y/o perturbaciones que produzcan una oscilación del puntero del manómetro del esfigmomanómetro o la del manómetro de deformación

elástica patrón de tal modo que esta produzca una variación de presión mayor al 10% del error máximo permitido del manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración. El error máximo permitido del manómetro del esfigmomanómetro es $\pm 0,5$ kPa (± 4 mmHg) según [9] en el ítem 5.1.1.

6° En lo posible minimizar la diferencia de altura entre el nivel de referencia del instrumento bajo calibración (manómetro del esfigmomanómetro) y el manómetro de deformación elástica patrón para reducir la corrección de presión por columna.

7° Verificar que el volumen variable inyecte la suficiente presión para llegar a la capacidad máxima del manómetro del esfigmomanómetro a calibrar.

SELECCIÓN DEL PATRON

Para la selección del patrón se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones.

1° El alcance de indicación del instrumento patrón debe de ser mayor o igual al alcance de indicación del instrumento bajo calibración.

2° El error máximo permitido y la clase de exactitud del manómetro patrón debe de ser 4 veces mejor que la del manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración.

3° La resolución del instrumento patrón debe de ser mejor a la resolución del instrumento bajo calibración.

REALIZACION DE LAS MEDICIONES

1° Utilizar el registro de medición donde se anotarán los datos y observaciones concernientes a la calibración efectuada.

2° La calibración se efectuará en no menos de diez valores de presión distribuidos en todo el alcance de indicación manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración, estos puntos deben incluir la indicación del cero y diez puntos distribuidos desde el 10% al 100% del alcance de indicación del instrumento bajo calibración.

3° Para la lectura de indicación del esfigmomanómetro bajo calibración y del manómetro patrón se recomienda subdividir la escala con ayuda de una lupa para tomar lecturas con una mejor resolución.

4° Sin generar presión, verificar que el instrumento bajo calibración indique cero.

5° Para registrar la lectura se deberá dar ligeros golpes sobre la carátula del manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración y la del manómetro patrón, de tal modo que la estabilización del puntero indicador sea el adecuado.

6° Al momento de cerrar la válvula el controlador de volumen variable deberá encontrarse en su tope exterior, de tal modo que tenga el recorrido suficiente para generar los valores de presión predeterminados.

7° Generar desde el límite inferior del alcance de indicación hasta el 100 % del alcance de indicación tanto en el manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración y el manómetro patrón, mantener la presión en ambos instrumentos no menos de 5 minutos de tal modo que se ejercita los sensores de presión previo al proceso de calibración.

8° Durante la realización de la precarga descrita en el paso anterior se debe observar si el sistema presenta pérdida de presión debido a fugas en las conexiones.

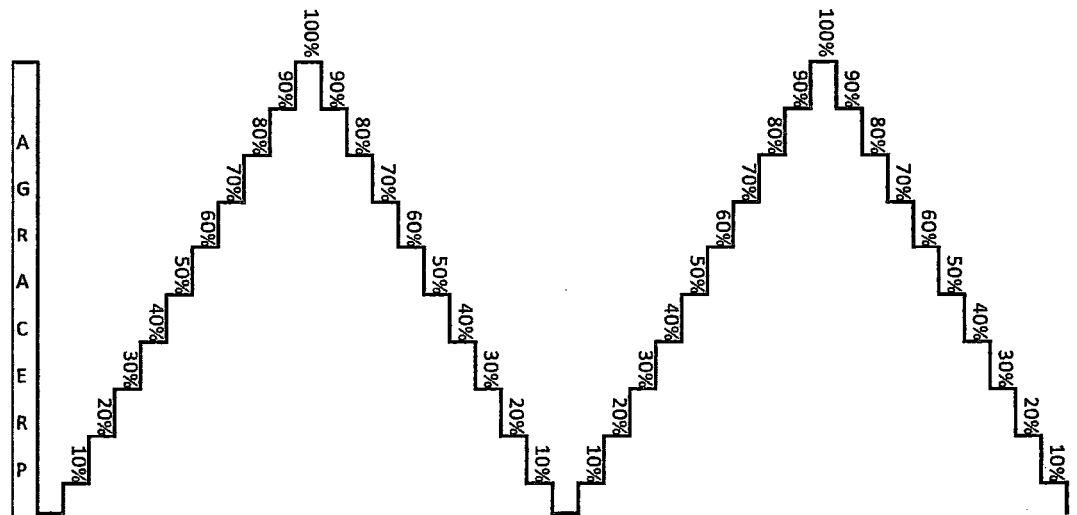


Figura 3.2: Precarga y series de medición

12° Luego de haber verificado que el sistema no presenta pérdidas de presión realizar una precarga y dos series de medición (ascenso y descenso) tal como se muestra en la figura 6 en no menos de 10 puntos de acuerdo a lo indicado en el punto 2°.

13° Seleccionar y fijar los valores de presión en el manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración como valores de referencia. Para cada valor de referencia predeterminado en el instrumento bajo calibración registrar el valor de indicación de presión dado por el instrumento patrón, registrar dicho valor.

14° Repetir el paso anterior hasta completar los valores de presión previamente seleccionados (prueba de ascenso).

15° Al llegar al punto de presión máximo seleccionado y luego de registrar el valor indicado en el patrón y generar una presión adicional no mayor al 5% del alcance de indicación y después de 5 minutos de permanecer el sistema en dicho valor, ir disminuyendo la presión (prueba de descenso) hasta conseguir los mismos puntos de presión logrados en ascenso. El descenso de la presión será lento y controlado para lograr los mismos valores de presión predeterminados en ascenso. Para cada punto logrado en descenso registrar la indicación de presión del patrón.

17° Desmontar los manómetros del dispositivo generador de presión con la debida precaución.

b) Procedimiento de calibración de esfigmomanómetros con un manómetro de columna.

MATERIALES Y/O EQUIPOS AUXILIARES

- Termómetro para la toma de la temperatura del ambiente.
- Higrómetro para la toma de la humedad relativa del ambiente.
- Barómetro para la toma de la presión del ambiente.
- Trazador de altura.
- Termómetro para la toma de la temperatura en el fluido del manómetro de columna.

CONSIDERACIONES GENERALES

1° Cuando llega el esfigmomanómetro al laboratorio, realizar una inspección visual, tanto al manómetro, brazaletes y todo el sistema como mangueras y conexiones.

2° El instrumento bajo calibración deberá permanecer en el laboratorio no menos de 6 horas para que alcance su estabilidad térmica previa a su calibración.

3° Después de la estabilización térmica, desconectar con mucho cuidado el manómetro del esfigmomanómetro.

4° El manómetro del esfigmomanómetro se debe instalar en línea con el manómetro de columna líquida utilizando la menor cantidad posible de conexiones y adaptadores a fin de minimizar posibles pérdidas de presión por fugas en las conexiones.

5° Asegurar la verticalidad del manómetro de columna líquida.

6° El lugar donde se efectúa la calibración no debe estar sujeto a vibraciones y/o perturbaciones que produzcan una oscilación del puntero del manómetro del esfigmomanómetro de tal modo que esta produzca una variación de presión mayor al 10% del error máximo permitido del manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración. El error máximo permitido del manómetro del esfigmomanómetro es $\pm 0,5$ kPa (± 4 mmHg) según [9] en el ítem 5.1.1.

7° En lo posible minimizar la diferencia de altura entre el nivel de referencia del instrumento bajo calibración (manómetro del esfigmomanómetro) y el manómetro de columna de líquido.

8° Verificar que el volumen variable inyecte la suficiente presión para llegar a la capacidad máxima del manómetro del esfigmomanómetro a calibrar.

SELECCIÓN DEL PATRÓN

1° El alcance de indicación del manómetro de columna (patrón) debe ser mayor o igual al alcance de indicación del instrumento a calibrar.

2° La incertidumbre debe de ser la tercera parte del valor del error máximo permitido del instrumento a calibrar.

REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES

1° Utilizar el registro de medición donde se anotarán los datos y observaciones concernientes a la calibración efectuada.

2° La calibración se efectuará en no menos de diez valores de presión distribuidos en todo el alcance de indicación manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración, estos puntos deben incluir la indicación del cero y diez puntos distribuidos desde el 10% al 100% del alcance de indicación del instrumento bajo calibración.

3° Para la lectura de indicación del esfigmomanómetro bajo calibración se recomienda subdividir la escala con ayuda de una lupa para tomar lecturas con una mejor resolución.

4° Sin generar presión, verificar que el instrumento bajo calibración indique cero.

5° Para registrar la lectura se deberá dar ligeros golpes sobre la carátula del manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración, de tal modo que la estabilización del puntero indicador sea el adecuado.

6° Al momento de cerrar la válvula el controlador de volumen variable deberá encontrarse en su tope exterior, de tal modo que tenga el recorrido suficiente para generar los valores de presión predeterminados.

7° Generar desde el límite inferior del alcance de indicación hasta el 100 % del alcance de indicación en el manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración, mantener la presión no menos de 5 minutos de tal modo que se ejercita el sensor de presión previo al proceso de calibración.

8° Durante la realización de la precarga descrita en el paso anterior se debe observar si el sistema presenta pérdida de presión debido a fugas en las conexiones.

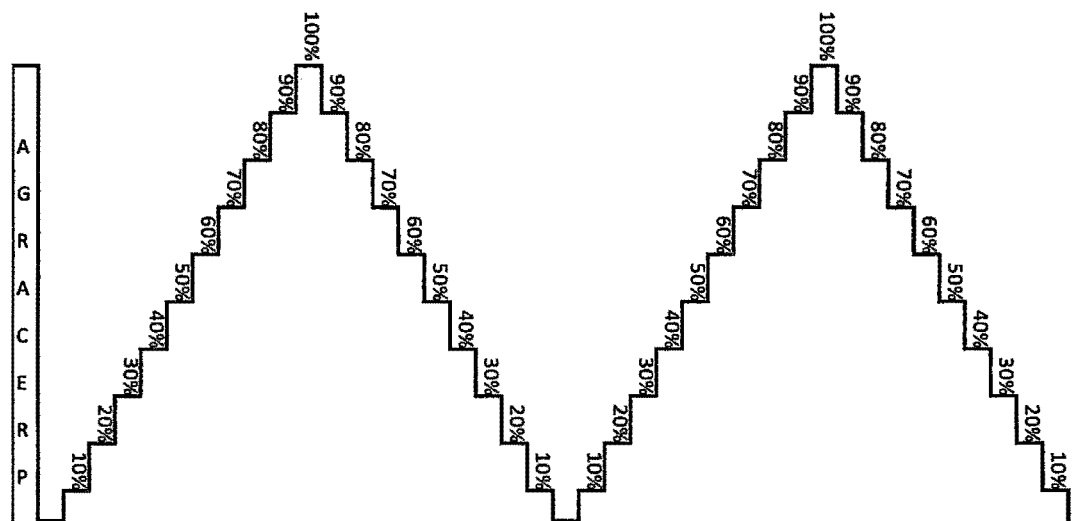


Figura 3.3: Precarga y series de medición

12° Luego de haber verificado que el sistema no presenta pérdidas de presión realizar una precarga y dos series de medición (ascenso y

descenso) tal como se muestra en la figura 6 en no menos de 10 puntos de acuerdo a lo indicado en el punto 2°.

13° Seleccionar y fijar los valores de presión en el manómetro del esfigmomanómetro bajo calibración como valores de referencia. Para cada valor de referencia predeterminado en el instrumento bajo calibración registrar la medición de altura de la columna líquida desplazada además del valor de la temperatura del fluido de la columna y las condiciones ambientales, registrar dichos valores.

14° Repetir el paso anterior hasta completar los valores de presión previamente seleccionados (prueba de ascenso).

15° Al llegar al punto de presión máximo seleccionado generar una presión adicional no mayor al 5% del alcance de indicación y después de 5 minutos de permanecer el sistema en dicho valor, ir disminuyendo la presión (prueba de descenso) hasta conseguir los mismos puntos de presión logrados en ascenso. El descenso de la presión será lento y controlado para lograr los mismos valores de presión predeterminados en ascenso. Para cada punto logrado en descenso registrar la medición de altura de la columna líquida desplazada además del valor de la temperatura del fluido de la columna y las condiciones ambientales, registrar dichos valores.

17° Desmontar los manómetros del dispositivo generador de presión con la debida precaución.

3.7 Hoja de Cálculo en Excel

Se ha diseñado dos hojas de cálculo en Excel para la calibración de esfigmomanómetros; una para la calibración usando como patrón un manómetro de deformación elástica y la otra para la calibración con un manómetro de columna.

Estas hojas han sido diseñadas de tal manera que al ingresar los datos, automáticamente nos da como resultado el cuadro con las indicaciones del patrón corregidas, el error y las incertidumbres de cada punto tomado para la calibración.

Antes del uso de estas hojas de cálculo, se validaron para obtener los resultados de manera confiable.

CAPITULO IV:

Resultados

Luego de un prolongado y minucioso proceso de evaluación, siguiendo paso a paso los procedimientos diseñados obtuvimos los resultados de las calibraciones (indicación del patrón corregida, error de indicación, error de histéresis y la incertidumbre de medición) además en este capítulo también presentamos los presupuestos de incertidumbre los cuales nos muestran la aportación de cada uno de los factores que afectan a la calibración.

4.1 Resultados de calibraciones

Los resultados de las calibraciones son presentados en las siguientes tablas:

a) Calibración del esfigmomanómetro usando como patrón un manómetro de deformación elástica:

Tabla 4.1: Resultados Calibración 1 con manómetro de deformación elástica patrón

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|-----------|---|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 3 | 60 | 60,3 | 60,3 | -0,3 | -0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 4 | 90 | 89,7 | 89,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 6 | 150 | 150,0 | 150,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 7 | 180 | 180,2 | 180,2 | -0,2 | -0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,9 |
| 9 | 240 | 239,8 | 239,8 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 10 | 270 | 269,9 | 269,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 11 | 300 | 300,1 | 300,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |

Tabla 4.2: Resultados Calibración 2 con manómetro de deformación elástica patrón

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|--|---------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS (mmHg) | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 3 | 60 | 60,3 | 60,3 | -0,3 | -0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 4 | 90 | 89,7 | 89,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 6 | 150 | 150,0 | 150,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 7 | 180 | 180,2 | 180,2 | -0,2 | -0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,9 |
| 9 | 240 | 239,8 | 239,8 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 10 | 270 | 269,9 | 269,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 11 | 300 | 300,1 | 300,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |

Tabla 4.3: Resultados Calibración 3 con manómetro de deformación elástica patrón

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|--|---------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS (mmHg) | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 3 | 60 | 60,3 | 60,3 | -0,3 | -0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 4 | 90 | 89,7 | 89,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 6 | 150 | 150,0 | 150,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 7 | 180 | 180,2 | 180,2 | -0,2 | -0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,9 |
| 9 | 240 | 239,8 | 239,8 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 10 | 270 | 269,9 | 269,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 11 | 300 | 300,1 | 300,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |

Tabla 4.4: Resultados Calibración 4 con manómetro de deformación elástica patrón

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|--|---------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS (mmHg) | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 3 | 60 | 60,3 | 60,3 | -0,3 | -0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 4 | 90 | 89,7 | 89,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 6 | 150 | 150,0 | 150,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 7 | 180 | 180,2 | 180,2 | -0,2 | -0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,9 |
| 9 | 240 | 239,8 | 239,8 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 10 | 270 | 269,9 | 269,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 11 | 300 | 300,1 | 300,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |

Tabla 4.5: Resultados Calibración 5 con manómetro de deformación elástica patrón

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|-----------|---|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS (mmHg) | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 3 | 60 | 60,3 | 60,3 | -0,3 | -0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 4 | 90 | 89,7 | 89,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,9 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 6 | 150 | 150,0 | 150,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,9 |
| 7 | 180 | 180,2 | 180,2 | -0,2 | -0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,9 |
| 9 | 240 | 239,8 | 239,8 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,9 |
| 10 | 270 | 269,9 | 269,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,9 |
| 11 | 300 | 300,1 | 300,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,9 |

b) Calibración del esfigmomanómetro con manómetro de columna:

Tabla 4.6: Resultados Calibración 1 con manómetro de columna

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis HISTÉRESIS (mmHg) | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|--|---------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 3 | 60 | 60,0 | 60,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 4 | 90 | 90,0 | 90,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 6 | 150 | 149,8 | 149,8 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,3 |
| 7 | 180 | 179,7 | 179,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |
| 9 | 240 | 239,7 | 239,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 10 | 270 | 269,7 | 269,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 11 | 300 | 299,6 | 299,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |

Tabla 4.7: Resultados Calibración 2 con manómetro de columna

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis HISTÉRESIS (mmHg) | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|--|---------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 3 | 60 | 60,0 | 60,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 4 | 90 | 90,0 | 90,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 6 | 150 | 149,8 | 149,9 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| 7 | 180 | 179,7 | 179,6 | 0,3 | 0,4 | -0,1 | 0,3 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |
| 9 | 240 | 239,7 | 239,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 10 | 270 | 269,7 | 269,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 11 | 300 | 299,6 | 299,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |

Tabla 4.8: Resultados Calibración 3 con manómetro de columna

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|---|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS (mmHg) | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 3 | 60 | 60,0 | 60,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 4 | 90 | 90,0 | 89,9 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,8 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,3 |
| 6 | 150 | 149,8 | 149,7 | 0,2 | 0,3 | 0,1 | 0,3 |
| 7 | 180 | 179,7 | 179,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,7 | 0,4 | 0,3 | -0,1 | 0,3 |
| 9 | 240 | 239,7 | 239,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 10 | 270 | 269,7 | 269,6 | 0,3 | 0,4 | 0,1 | 0,3 |
| 11 | 300 | 299,6 | 299,5 | 0,4 | 0,5 | 0,1 | 0,3 |

Tabla 4.9: Resultados Calibración 4 con manómetro de columna

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|---|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS (mmHg) | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 3 | 60 | 60,0 | 60,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 4 | 90 | 90,0 | 90,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,9 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 6 | 150 | 149,8 | 149,9 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| 7 | 180 | 179,7 | 179,6 | 0,3 | 0,4 | -0,1 | 0,3 |
| 8 | 210 | 209,6 | 209,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |
| 9 | 240 | 239,7 | 239,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 10 | 270 | 269,7 | 269,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 11 | 300 | 299,6 | 299,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |

Tabla 4.10: Resultados Calibración 5 con manómetro de columna

| | Presión indicada por esfigmomanómetro (mmHg) | Indicación del patrón corregida | | Error de indicación | | Error de histéresis | INCERTIDUMBRE (mmHg) |
|----|---|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| | | ASCENSO | DESCENSO | ASCENSO | DESCENSO | HISTÉRESIS (mmHg) | |
| | | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | Corrección (mmHg) | | |
| 1 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 2 | 30 | 30,1 | 30,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,3 |
| 3 | 60 | 60,0 | 60,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 4 | 90 | 90,0 | 90,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 |
| 5 | 120 | 119,9 | 119,8 | 0,1 | 0,2 | 0,0 | 0,3 |
| 6 | 150 | 149,8 | 149,8 | 0,2 | 0,2 | 0,0 | 0,3 |
| 7 | 180 | 179,7 | 179,7 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,3 |
| 8 | 210 | 209,7 | 209,6 | 0,3 | 0,4 | -0,1 | 0,3 |
| 9 | 240 | 239,7 | 239,6 | 0,3 | 0,4 | -0,1 | 0,3 |
| 10 | 270 | 269,7 | 269,6 | 0,3 | 0,4 | -0,1 | 0,3 |
| 11 | 300 | 299,6 | 299,6 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,3 |

4.2 Presupuestos de Incertidumbre

a) Presupuestos de incertidumbre para calibración con manómetro de deformación elástica patrón

Primera calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variacion de temp. De X | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrn | 0,00088 | 1 | 0,00088 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrn | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 300 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00042 | 1 | 0,00042 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

Segunda calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,9 |
| Variación de temp. De X | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,3 |
| Repetibilidad del patrón | 0,11630 | 1 | 0,11630 | 8,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 79,9 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41151 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,82301 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,9 |
| Variación de temp. De X | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,3 |
| Repetibilidad del patrón | 0,11630 | 1 | 0,11630 | 8,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 79,9 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41151 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,82301 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,9 |
| Variación de temp. De X | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,3 |
| Repetibilidad del patrón | 0,11630 | 1 | 0,11630 | 8,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 79,9 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41151 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,82301 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 6,5 |
| Variación de temp. De X | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 3,5 |
| Repetibilidad del patrón | 0,22270 | 1 | 0,22270 | 24,1 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 65,9 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,45322 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,90644 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,9 |
| Variación de temp. De X | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,3 |
| Repetibilidad del patrón | 0,11630 | 1 | 0,11630 | 8,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 79,9 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41151 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,82301 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 300 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00044 | 1 | 0,00044 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

Tercera calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00022 | 1 | 0,00022 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00059 | 1 | 0,00059 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 5,8 |
| Variación de temp. De X | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 3,2 |
| Repetibilidad del patrón | 0,26859 | 1 | 0,26859 | 31,6 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 59,3 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,47744 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,95489 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variación de temp. De X | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variacion de temp. De X | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00094 | 1 | 0,00094 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 300 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00106 | 1 | 0,00106 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78947 | |

Cuarta calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 60 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 90 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 120 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 150 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variacion de temp. De X | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 7,7 |
| Variacion de temp. De X | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,1 |
| Repetibilidad del patrón | 0,13429 | 1 | 0,13429 | 10,4 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 77,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,41695 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,83390 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 300 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00065 | 1 | 0,00065 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

Quinta calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00011 | 1 | 0,00011 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00023 | 1 | 0,00023 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00034 | 1 | 0,00034 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00045 | 1 | 0,00045 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00058 | 1 | 0,00058 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00068 | 1 | 0,00068 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00074 | 1 | 0,00074 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00087 | 1 | 0,00087 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variacion de temp. De X | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variacion de temp.patrón | 0,00095 | 1 | 0,00095 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

| 300 | | | | |
|--|----------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbr |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 8,6 |
| Variación de temp. De X | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Resolución de patrón | 0,08494 | 1 | 0,08494 | 4,6 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Certificado de patrón | 0,36778 | 1 | 0,36778 | 86,8 |
| Deriva | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Variación de temp.patrón | 0,00109 | 1 | 0,00109 | 0,0 |
| Histéresis | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Diferenc. De alturas | 0,00086 | 1 | 0,00086 | 0,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,39473 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,78946 | |

b) Presupuestos de incertidumbre para calibración con manómetro de columna como patrón:

Primera calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

| 300 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01439 | 1 | 0,01439 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25305 | |

Segunda calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,03154 | 1 | 0,03154 | 6,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,13277 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,26555 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,03154 | 1 | 0,03154 | 6,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,13277 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,26555 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00001 | 1 | 0,00001 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

| 300 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02887 | 1 | 0,02887 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12897 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25795 | |

Tercera calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12653 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25306 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

| 300 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 83,3 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 15,4 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,6 |
| Histéresis | 0,01440 | 1 | 0,01440 | 1,3 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12751 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25501 | |

Cuarta calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,03153 | 1 | 0,03153 | 6,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,13276 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,26552 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,03154 | 1 | 0,03154 | 6,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,13276 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,26552 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 300 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04968 | 1 | 0,04968 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

Quinta calibración:

| 0 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 30 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,5 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12992 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25984 | |

| 60 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,5 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12992 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25984 | |

| 90 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 120 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,01577 | 1 | 0,01577 | 1,5 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12992 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25984 | |

| 150 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 180 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

| 210 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,03154 | 1 | 0,03154 | 6,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,13276 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,26552 | |

| 240 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,03154 | 1 | 0,03154 | 6,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,13276 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,26552 | |

| 270 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,03154 | 1 | 0,03154 | 6,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,13276 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,26552 | |

| 300 | | | | |
|---------------------------------|----------------|-----------------------------|---------|------------------------------|
| | valor numérico | coeficiente de sensibilidad | C x u | Contribución a incertidumbre |
| Resolución de X | 0,11547 | 1 | 0,11547 | 80,2 |
| patrón | 0,04969 | 1 | 0,04969 | 14,8 |
| Repetibilidad del patrón | 0,00000 | 1 | 0,00000 | 0,0 |
| Histéresis | 0,02879 | 1 | 0,02879 | 5,0 |
| Incertidumbre combinada u | | | 0,12896 | 100,0 |
| Incertidumbre expandida U (k=2) | | | 0,25792 | |

4.3 Comparación entre los errores hallados

Se diseñó y validó una hoja de cálculo para comparar los errores encontrados en las tablas de resultados de calibración (tabla 4.1, tabla 4.2, tabla 4.3, tabla 4.4, tabla 4.5, tabla 4.6, tabla 4.7, tabla 4.8, tabla 4.9 y tabla 4.10); el estadístico empleado es la t de student, y se obtuvo para cada punto de calibración lo siguiente:

Para el ascenso:

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 30 |
| RESULTADO 1 | -0,146 |
| RESULTADO 2 | -0,146 |
| RESULTADO 3 | -0,146 |
| RESULTADO 4 | -0,146 |
| RESULTADO 5 | -0,146 |
| Media | - |
| Desviación estandar (s1) | 0,14632658 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 30 |
| RESULTADO 1 | -0,118 |
| RESULTADO 2 | -0,118 |
| RESULTADO 3 | -0,118 |
| RESULTADO 4 | -0,118 |
| RESULTADO 5 | -0,118 |
| Media | - |
| Desviación estandar (s2) | 0,11758139 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 1,2216E-05 | |
| tcritico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 1613,42116 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 60 |
| RESULTADO 1 | -0,304 |
| RESULTADO 2 | -0,304 |
| RESULTADO 3 | -0,304 |
| RESULTADO 4 | -0,304 |
| RESULTADO 5 | -0,304 |
| Media | - |
| Desviación estandar (s1) | 0,30429312 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 60 |
| RESULTADO 1 | -0,036 |
| RESULTADO 2 | -0,036 |
| RESULTADO 3 | -0,036 |
| RESULTADO 4 | -0,036 |
| RESULTADO 5 | -0,036 |
| Media | - |
| Desviación estandar (s2) | 0,03570899 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 1,5188E-05 | |
| tcritico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 12124,8284 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 90 |
| RESULTADO 1 | 0,273 |
| RESULTADO 2 | 0,273 |
| RESULTADO 3 | 0,273 |
| RESULTADO 4 | 0,273 |
| RESULTADO 5 | 0,273 |
| Media | 0,27329395 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001707 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 90 |
| RESULTADO 1 | 0,046 |
| RESULTADO 2 | 0,046 |
| RESULTADO 3 | 0,046 |
| RESULTADO 4 | 0,046 |
| RESULTADO 5 | 0,046 |
| Media | 0,04616303 |
| Desviación estandar (s2) | 2,3195E-05 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 2,0363E-05 | |
| tcritico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 7647,84388 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 120 |
| RESULTADO 1 | 0,115 |
| RESULTADO 2 | 0,115 |
| RESULTADO 3 | 0,115 |
| RESULTADO 4 | 0,115 |
| RESULTADO 5 | 0,115 |
| Media | 0,11532711 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001655 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 120 |
| RESULTADO 1 | 0,128 |
| RESULTADO 2 | 0,128 |
| RESULTADO 3 | 0,128 |
| RESULTADO 4 | 0,128 |
| RESULTADO 5 | 0,128 |
| Media | 0,12803699 |
| Desviación estandar (s2) | 3,0855E-05 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 2,4757E-05 | |
| tcritico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 352,014073 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 150 |
| RESULTADO 1 | -0,043 |
| RESULTADO 2 | -0,043 |
| RESULTADO 3 | -0,043 |
| RESULTADO 4 | -0,043 |
| RESULTADO 5 | -0,043 |
| Media | 0,04263388 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00000156 |
| Grados de libertad | 2 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 150 |
| RESULTADO 1 | 0,210 |
| RESULTADO 2 | 0,210 |
| RESULTADO 3 | 0,210 |
| RESULTADO 4 | 0,210 |
| RESULTADO 5 | 0,210 |
| Media | 0,20990978 |
| Desviación estandar (s2) | 3,8555E-05 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 3,1493E-05 | |
| tcritico | 2,44691185 | |
| Et es menor que 1 | 4487,4741 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 180 |
| RESULTADO 1 | -0,201 |
| RESULTADO 2 | -0,201 |
| RESULTADO 3 | -0,201 |
| RESULTADO 4 | -0,201 |
| RESULTADO 5 | -0,201 |
| Media | 0,20060644 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001585 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 180 |
| RESULTADO 1 | 0,292 |
| RESULTADO 2 | 0,292 |
| RESULTADO 3 | 0,292 |
| RESULTADO 4 | 0,292 |
| RESULTADO 5 | 0,292 |
| Media | 0,29178142 |
| Desviación estandar (s2) | 4,747E-05 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 3,5387E-05 | |
| tcrítico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 9540,52615 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 210 |
| RESULTADO 1 | 0,377 |
| RESULTADO 2 | 0,377 |
| RESULTADO 3 | 0,377 |
| RESULTADO 4 | 0,012 |
| RESULTADO 5 | 0,012 |
| Media | 0,23084720 |
| Desviación estandar (s1) | 0,20011417 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 210 |
| RESULTADO 1 | 0,374 |
| RESULTADO 2 | 0,374 |
| RESULTADO 3 | 0,374 |
| RESULTADO 4 | 0,374 |
| RESULTADO 5 | 0,274 |
| Media | 0,3537086 |
| Desviación estandar (s2) | 0,04463035 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 0,14497853 | |
| tcrítico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 0,58106092 | si |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 240 |
| RESULTADO 1 | 0,219 |
| RESULTADO 2 | 0,219 |
| RESULTADO 3 | 0,219 |
| RESULTADO 4 | 0,219 |
| RESULTADO 5 | 0,219 |
| Media | 0,21901468 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001773 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 240 |
| RESULTADO 1 | 0,256 |
| RESULTADO 2 | 0,256 |
| RESULTADO 3 | 0,256 |
| RESULTADO 4 | 0,256 |
| RESULTADO 5 | 0,256 |
| Media | 0,25607244 |
| Desviación estandar (s2) | 6,3328E-05 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 4,6502E-05 | |
| tcrítico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 546,404828 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 270 |
| RESULTADO 1 | 0,061 |
| RESULTADO 2 | 0,061 |
| RESULTADO 3 | 0,061 |
| RESULTADO 4 | 0,061 |
| RESULTADO 5 | 0,061 |
| Media | 0,06104782 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001708 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 270 |
| RESULTADO 1 | 0,338 |
| RESULTADO 2 | 0,338 |
| RESULTADO 3 | 0,338 |
| RESULTADO 4 | 0,338 |
| RESULTADO 5 | 0,338 |
| Media | 0,33794504 |
| Desviación estandar (s2) | 7,1231E-05 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 5,1796E-05 | |
| tcritico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 3665,49791 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 300 |
| RESULTADO 1 | -0,097 |
| RESULTADO 2 | -0,097 |
| RESULTADO 3 | -0,097 |
| RESULTADO 4 | -0,097 |
| RESULTADO 5 | -0,097 |
| Media | 0,09691862 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001668 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 300 |
| RESULTADO 1 | 0,420 |
| RESULTADO 2 | 0,420 |
| RESULTADO 3 | 0,420 |
| RESULTADO 4 | 0,420 |
| RESULTADO 5 | 0,420 |
| Media | 0,41981571 |
| Desviación estandar (s2) | 7,9024E-05 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|------------|----|
| Sp | 5,711E-05 | |
| tcritico | 2,30600414 | |
| Et es menor que 1 | 6203,89676 | no |

Para el descenso:

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 30 |
| RESULTADO 1 | -0,146 |
| RESULTADO 2 | -0,146 |
| RESULTADO 3 | -0,146 |
| RESULTADO 4 | -0,146 |
| RESULTADO 5 | -0,146 |
| Media | -0,14632617 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001602 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|--------------|
| VALOR NOMINAL | 30 |
| RESULTADO 1 | -0,068 |
| RESULTADO 2 | -0,118 |
| RESULTADO 3 | -0,068 |
| RESULTADO 4 | -0,118 |
| RESULTADO 5 | -0,068 |
| Media | -0,087663652 |
| Desviación estandar (s2) | 0,027305613 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|-------------|----|
| Sp | 0,019307987 | |
| tcrítico | 2,306004135 | |
| Et es menor que 1 | 2,083212625 | no |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 60 |
| RESULTADO 1 | -0,304 |
| RESULTADO 2 | -0,304 |
| RESULTADO 3 | -0,304 |
| RESULTADO 4 | -0,304 |
| RESULTADO 5 | -0,304 |
| Media | -0,30429064 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001462 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|--------------|
| VALOR NOMINAL | 60 |
| RESULTADO 1 | 0,014 |
| RESULTADO 2 | -0,036 |
| RESULTADO 3 | 0,014 |
| RESULTADO 4 | -0,036 |
| RESULTADO 5 | 0,014 |
| Media | -0,005791251 |
| Desviación estandar (s2) | 0,027299872 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|-------------|----|
| Sp | 0,019303927 | |
| tcrítico | 2,306004135 | |
| Et es menor que 1 | 10,60248561 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 90 |
| RESULTADO 1 | 0,273 |
| RESULTADO 2 | 0,273 |
| RESULTADO 3 | 0,273 |
| RESULTADO 4 | 0,273 |
| RESULTADO 5 | 0,273 |
| Media | 0,27329679 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001614 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 90 |
| RESULTADO 1 | 0,046 |
| RESULTADO 2 | 0,046 |
| RESULTADO 3 | 0,096 |
| RESULTADO 4 | 0,046 |
| RESULTADO 5 | 0,046 |
| Media | 0,056136893 |
| Desviación estandar (s2) | 0,022289271 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|-------------|----|
| Sp | 0,015760899 | |
| tcrítico | 2,306004135 | |
| Et es menor que 1 | 9,447318556 | no |

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 120 |
| RESULTADO 1 | 0,115 |
| RESULTADO 2 | 0,115 |
| RESULTADO 3 | 0,115 |
| RESULTADO 4 | 0,115 |
| RESULTADO 5 | 0,115 |
| Media | 0,11532905 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001467 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 120 |
| RESULTADO 1 | 0,128 |
| RESULTADO 2 | 0,128 |
| RESULTADO 3 | 0,178 |
| RESULTADO 4 | 0,128 |
| RESULTADO 5 | 0,178 |
| Media | 0,147980857 |
| Desviación estandar (s2) | 0,027286675 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|-------------------|-------------|
| Sp | 0,019294595 |
| tcrítico | 2,306004135 |
| Et es menor que 1 | 1,160329983 |

no

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 150 |
| RESULTADO 1 | -0,043 |
| RESULTADO 2 | -0,043 |
| RESULTADO 3 | -0,043 |
| RESULTADO 4 | -0,043 |
| RESULTADO 5 | -0,043 |
| Media | -0,04263774 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001445 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 150 |
| RESULTADO 1 | 0,210 |
| RESULTADO 2 | 0,110 |
| RESULTADO 3 | 0,260 |
| RESULTADO 4 | 0,110 |
| RESULTADO 5 | 0,210 |
| Media | 0,179990689 |
| Desviación estandar (s2) | 0,066867011 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|-------------------|-------------|
| Sp | 0,047282118 |
| tcrítico | 2,306004135 |
| Et es menor que 1 | 3,228446672 |

no

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 180 |
| RESULTADO 1 | -0,201 |
| RESULTADO 2 | -0,201 |
| RESULTADO 3 | -0,201 |
| RESULTADO 4 | -0,201 |
| RESULTADO 5 | -0,201 |
| Media | -0,20060463 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001419 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 180 |
| RESULTADO 1 | 0,292 |
| RESULTADO 2 | 0,392 |
| RESULTADO 3 | 0,342 |
| RESULTADO 4 | 0,392 |
| RESULTADO 5 | 0,292 |
| Media | 0,34164494 |
| Desviación estandar (s2) | 0,049896963 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|-------------------|-------------|
| Sp | 0,035282482 |
| tcrítico | 2,306004135 |
| Et es menor que 1 | 10,53780129 |

no

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 210 |
| RESULTADO 1 | 0,377 |
| RESULTADO 2 | 0,377 |
| RESULTADO 3 | 0,377 |
| RESULTADO 4 | 0,377 |
| RESULTADO 5 | 0,377 |
| Media | 0,37698146 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001760 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 210 |
| RESULTADO 1 | 0,374 |
| RESULTADO 2 | 0,374 |
| RESULTADO 3 | 0,324 |
| RESULTADO 4 | 0,374 |
| RESULTADO 5 | 0,374 |
| Media | 0,363681288 |
| Desviación estandar (s2) | 0,022323188 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|-------------------|-------------|
| Sp | 0,015784882 |
| tcrítico | 2,306004135 |
| Et es menor que 1 | 0,57773136 |

SI

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 240 |
| RESULTADO 1 | 0,219 |
| RESULTADO 2 | 0,219 |
| RESULTADO 3 | 0,219 |
| RESULTADO 4 | 0,219 |
| RESULTADO 5 | 0,219 |
| Media | 0,21901463 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001707 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 240 |
| RESULTADO 1 | 0,256 |
| RESULTADO 2 | 0,256 |
| RESULTADO 3 | 0,306 |
| RESULTADO 4 | 0,256 |
| RESULTADO 5 | 0,356 |
| Media | 0,285990551 |
| Desviación estandar (s2) | 0,044550468 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|-------------------|-------------|
| Sp | 0,03150194 |
| tcrítico | 2,306004135 |
| Et es menor que 1 | 1,45777777 |

no

| | |
|--------------------------|------------|
| VALOR NOMINAL | 270 |
| RESULTADO 1 | 0,061 |
| RESULTADO 2 | 0,061 |
| RESULTADO 3 | 0,061 |
| RESULTADO 4 | 0,061 |
| RESULTADO 5 | 0,061 |
| Media | 0,06104948 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001487 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 270 |
| RESULTADO 1 | 0,338 |
| RESULTADO 2 | 0,338 |
| RESULTADO 3 | 0,388 |
| RESULTADO 4 | 0,338 |
| RESULTADO 5 | 0,438 |
| Media | 0,367863149 |
| Desviación estandar (s2) | 0,044544373 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|-------------------|-------------|
| Sp | 0,03149763 |
| tcrítico | 2,306004135 |
| Et es menor que 1 | 6,678927756 |

no

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 300 |
| RESULTADO 1 | -0,097 |
| RESULTADO 2 | -0,097 |
| RESULTADO 3 | -0,097 |
| RESULTADO 4 | -0,097 |
| RESULTADO 5 | -0,097 |
| Media | -0,09691737 |
| Desviación estandar (s1) | 0,00001445 |
| Grados de libertad | 4 |

| | |
|--------------------------|-------------|
| VALOR NOMINAL | 300 |
| RESULTADO 1 | 0,420 |
| RESULTADO 2 | 0,420 |
| RESULTADO 3 | 0,470 |
| RESULTADO 4 | 0,420 |
| RESULTADO 5 | 0,420 |
| Media | 0,429788417 |
| Desviación estandar (s2) | 0,022261908 |
| Grados de libertad | 4 |

| | | |
|-------------------|-------------|----|
| Sp | 0,015741549 | |
| tcrítico | 2,306004135 | |
| Et es menor que 1 | 22,94196067 | no |

CAPITULO V:

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Es posible calibrar los esfigmomanómetros mecánicos por comparación con un manómetro de columna.
- La incertidumbre de la calibración con el manómetro de columna es menor que la incertidumbre de la calibración con el manómetro de deformación elástica patrón para todos los puntos escogidos para dicha calibración.
- De la comparación de los errores hallados se concluye que las diferencias son estadísticamente significativas; esto se debe a que la mínima división de escala del manómetro de deformación elástica patrón es muy gruesa (0,001 kgf/cm² equivalente a 0,74 mmHg) en cambio el manómetro de columna tiene una mínima división de escala de 0,2 mmHg.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda usar manómetros de columna de mercurio para calibrar instrumentos de bajo alcance como es el caso de los esfigmomanómetros.
- Para la verificación de esfigmomanómetros según la Recomendación Internacional OIML-R16, pide verificar los esfigmomanómetros con un patrón cuya incertidumbre de su error sea como máximo de 1 mmHg, por lo que se recomienda verificar los esfigmomanómetros con otros que hayan sido calibrados con una columna de mercurio ya que como podemos notar en las tablas de resultados de calibración la incertidumbre resulta mucho más pequeña cuando se calibró con el manómetro de columna.

Se recomienda comparar los errores de calibración de esfigmomanómetros usando un manómetro de columna con los errores de calibración de esfigmomanómetros usando como patrón una balanza de peso muerto, ya que ambos son patrones primarios (usan directamente un principio físico).

CAPITULO VI:

Referencias Bibliográficas

- [1] Montenegro, S. A. (2005). *Calibración y mantenimiento de equipo médico de diagnóstico*. Guatemala.
- [2] Manzo, A. C. (2005). *Diagnóstico metrológico a instrumentos de medición de la presión arterial (esfigmomanómetros) utilizados en el hospital roosevelt, mediante la utilización del protocolo de verificación recomendación OIML R 16-1*. Guatemala.
- [3] Castro, J. D. (Mayo, 1999). *Sistema Internacional de unidades y medida*. Perú: Fondo Editorial del Congreso del Perú.
- [4] La Guía Metas (Enero de 2004). *El pascal y Factores de Conversión de Unidades de Presión y Vacío*. Obtenido de www.metas.com.mx
- [5] La Guía Metas (Marzo de 2002). *Tipos Presión & Vacío*. Obtenido de www.metas.com.mx
- [6] Tipler, P. A. (2010). *Física para la Ciencia y la Tecnología*. Barcelona: Ed. Reverté.
- [7] Sears, F. W., Zemansky, M. W., Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física Universitaria*. México: Addison Wesley-Longman/ Pearson.
- [8] Meza Contreras, L. (Diciembre de 2007). Diseño de procedimientos para la calibración de indicadores de presión arterial no invasiva. *Scientia et Technica Año XIII*, 475-480.
- [9] International Organization of Legal Metrology (2002), *Noninvasive mechanical sphygmomanometers*. Obtenido de <http://www.oiml.org> (OIML R 16-1).

- [10] Joint Committee for Guides in Metrology, Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, JCGM, Francia, 2008.
- [11] Joint Committee for Guides in Metrology, International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), JCGM, Francia, 2012.
- [12] Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas ITINTEC, Manómetros de los instrumentos de medición de la presión arterial (Esfigmomanómetros) Manómetros de deformación Elástica, Perú, 1988.
- [13] Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas ITINTEC, Manómetros de los instrumentos de medición de la presión arterial (Esfigmomanómetros) Manómetros de mercurio, Perú, 1988.
- [14] Wika (Septiembre de 2004). *Manómetros con elementos elásticos*. Obtenido de www.wika.com.ar
- [15] La Guía Metas (Julio 2005). *Métodos de: Medición, Prueba y Calibración*. Obtenido de www.metas.com.mx
- [16] International Organization of Legal Metrology (2002), *Pressure gauges and vacuum gauges with elastic sensing elements (standar instruments)*. Obtenido de <http://www.oiml.org> (OIML R 109).
- [17] Picard A., Davis R. S., Glaser M. y Fujii K. 2008 *Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007)* Rev. Metrología 45 149-155
- [18] Mohr P. J. y Taylor B. N. 2008 *CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2002* Rev. Mod Phys. 77 1-107
- [19] Thulin, A. A *"Standardized" Gravity Formula*. OIML-Bulletin N° 127, 1992

- [20] Bettin H. y Fehlauer H. (2004) *Density of mercury –measurements and reference values*. Metrologia 41 16-23
- [21] Centro Español de Metrología *Procedimiento ME-021 para la calibración de columnas de líquido mano y barométricas*. Madrid, España. Obtenido de http://www.cem.es/sites/default/files/me-021_digital.pdf
- [22] Becerra Santiago L. y Guardado Gonzales M. (2001). *Estimación de la incertidumbre en la determinación de la densidad del aire*. CENAM, Mexico.

Anexo A

Los términos presentados a continuación complementan al presente trabajo de investigación, logrando así un mejor entendimiento.

Magnitud

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

NOTA 1 El concepto genérico de magnitud puede dividirse en varios niveles de conceptos específicos, como muestra la tabla siguiente. La mitad izquierda de la tabla presenta conceptos específicos de “magnitud”. Estos (a su vez) son conceptos genéricos para las magnitudes individuales mostradas en la columna derecha de la tabla.

NOTA 2 La referencia puede ser una unidad de medida, un procedimiento de medición, un material de referencia o una combinación de ellos.

NOTA 3 Las series de normas internacionales ISO 80000 e IEC 80000 Magnitudes y Unidades, establecen los símbolos de las magnitudes. Estos símbolos se escriben en caracteres itálicos. Un símbolo dado puede referirse a magnitudes diferentes.

NOTA 4 El formato preferido por la IUPAC/IFCC para la designación de las magnitudes en laboratorios médicos es “Sistema-Componente; naturaleza de la magnitud”.

EJEMPLO “Plasma (sangre) – Ion sodio; concentración de cantidad de sustancia igual a 143 mmol/l en una persona determinada en un instante dado”.

NOTA 5 Una magnitud, tal como se define aquí, es una magnitud escalar. Sin embargo, un vector o un tensor, cuyas componentes sean magnitudes, también se considera como una magnitud.

NOTA 6 El concepto de “magnitud” puede dividirse, de forma genérica, en “magnitud física”, “magnitud química” y “magnitud biológica”, o bien en magnitud de base y magnitud derivada.

Unidad de medida

Magnitud escalar real, definida y adoptada por convención, con la que se puede comparar cualquier otra magnitud de la misma naturaleza para expresar la razón entre ambas mediante un número.

NOTA 1 Las unidades se expresan mediante nombres y símbolos, asignados por convención.

NOTA 2 Las unidades de las magnitudes que tienen la misma dimensión, pueden designarse por el mismo nombre y el mismo símbolo, aunque no sean de la misma naturaleza. Por ejemplo, se emplea el nombre “joule por kelvin” y el símbolo J/K para designar a la vez una unidad de capacidad térmica y una unidad de entropía, aunque estas magnitudes no sean consideradas en general de la misma naturaleza. Sin embargo, en ciertos casos, se utilizan nombres especiales exclusivamente para magnitudes de una naturaleza específica. Por ejemplo la unidad “segundo a la potencia menos uno” (1/s) se denomina hertz (Hz) para las frecuencias y becquerel (Bq) para las actividades de radionucleidos.

NOTA 3 Las unidades de las magnitudes de dimensión uno son números. En ciertos casos se les da nombres especiales; por ejemplo radián, estereorradián y decibel, o se expresan mediante cocientes como el milimol por mol, igual a 10^{-3} , o el microgramo por kilogramo, igual a 10^{-9} .

NOTA 4 Para una magnitud dada, el nombre abreviado “unidad” se combina frecuentemente con el nombre de la magnitud, por ejemplo “unidad de masa”.

Principio de Medición

Fenómeno que sirve como base de una medición.

EJEMPLO 1 El efecto termoeléctrico aplicado a la medición de temperatura.

EJEMPLO 2 La absorción de energía aplicada a la medición de la concentración de cantidad de sustancia.

EJEMPLO 3 La disminución de la concentración de glucosa en la sangre de un conejo en ayunas, aplicada a la medición de la concentración de insulina en una preparación.

NOTA El fenómeno puede ser de naturaleza física, química o biológica.

Resultado de Medición

Conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mensurando, acompañados de cualquier otra información relevante disponible.

NOTA 1 Un resultado de medición contiene generalmente información relevante sobre el conjunto de valores de una magnitud de modo que algunos de ellos pueden ser más representativos del mensurando que otros. Esto puede expresarse como una función de densidad de probabilidad (FDP).

NOTA 2 El resultado de una medición se expresa generalmente como un valor medido único y una incertidumbre de medición. Si la incertidumbre de medición se considera despreciable para un determinado fin, el resultado de medición puede expresarse como un único valor medido de la

magnitud. En muchos campos ésta es la forma habitual de expresar el resultado de medición.

NOTA 3 En la bibliografía tradicional y en la edición precedente del VIM, el término resultado de medición estaba definido como un valor atribuido al mensurando y podía entenderse como una indicación, un resultado no corregido o un resultado corregido, según el contexto.

Exactitud de Medición

Grado de concordancia entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.

NOTA 1 El concepto “exactitud de medición” no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medición.

NOTA 2 El término “exactitud de medición” no debe utilizarse en lugar de “veracidad de medición”, al igual que el término “precisión de medición” tampoco debe utilizarse en lugar de “exactitud de medición”, ya que este último término incluye ambos conceptos.

NOTA 3 La exactitud de medición se interpreta a veces como el grado de concordancia entre los valores medidos atribuidos al mensurando.

Veracidad de Medición

Grado de concordancia entre la media de un número infinito de valores medidos repetidos y un valor de referencia.

NOTA 1 La veracidad de medición no es una magnitud y no puede expresarse numéricamente, aunque la norma ISO 5725 especifica formas de expresar dicho grado de concordancia.

NOTA 2 La veracidad de medición está inversamente relacionada con el error sistemático, pero no está relacionada con el error aleatorio.

NOTA 3 No debe utilizarse el término “exactitud de medición” en lugar de “veracidad de medición” y viceversa.

Precisión de Medición

Grado de concordancia entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas

NOTA 1 Es habitual que la precisión de una medición se exprese numéricamente mediante medidas de dispersión tales como la desviación estándar, la varianza o el coeficiente de variación bajo las condiciones especificadas.

NOTA 2 Las “condiciones especificadas” pueden ser, por ejemplo, condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia, o condiciones de reproducibilidad

NOTA 3 La precisión se utiliza para definir la repetibilidad de medición, la precisión intermedia y la reproducibilidad.

NOTA 4 Algunas veces, “precisión de medición” se utiliza, erróneamente, en lugar de “exactitud de medición”.

Error Sistemático de Medición

Componente del error de medición que, en mediciones repetidas, permanece constante o varía de manera predecible.

NOTA 1 El valor de referencia para un error sistemático es un valor verdadero, un valor medido de un patrón cuya incertidumbre de medición es despreciable, o un valor convencional.

NOTA 2 El error sistemático y sus causas pueden ser conocidas o no. Para compensar un error sistemático conocido puede aplicarse una corrección.

NOTA 3 El error sistemático es igual al error de medición menos el error aleatorio.

Error Aleatorio de Medición

Componente del error de medición que, en mediciones repetidas, varía de manera impredecible.

NOTA 1 El valor de referencia para un error aleatorio es la media que se obtendría de un número infinito de mediciones repetidas del mismo mensurando.

NOTA 2 Los errores aleatorios de un conjunto de mediciones repetidas forman una distribución que puede representarse por su esperanza matemática, generalmente asumida como nula, y por su varianza.

NOTA 3 El error aleatorio es igual al error de medición menos el error sistemático.

Repetibilidad de Medición

Precisión de medición bajo un conjunto de condiciones de repetibilidad.

Reproducibilidad de Medición

Precisión de medición bajo un conjunto de condiciones de reproducibilidad.

NOTA En las normas ISO 5725-1:1994 e ISO 5725-2:1994 se dan los términos estadísticos pertinentes.

Instrumento de Medición

Dispositivo utilizado para realizar mediciones, solo o asociado a uno o varios dispositivos suplementarios.

NOTA 1 Un instrumento de medición que puede utilizarse individualmente es un sistema de medición.

NOTA 2 Un instrumento de medición puede ser un instrumento indicador o una medida materializada.

Sistema de Medición

Conjunto de uno o más instrumentos de medición y, frecuentemente, otros dispositivos, incluyendo reactivos y suministros, ensamblados y adaptados para proporcionar valores medidos dentro de intervalos especificados, para magnitudes de naturalezas dadas.

NOTA Un sistema de medición puede estar formado por un único instrumento de medición.

Valor Nominal

Valor redondeado o aproximado de una magnitud característica de un instrumento o sistema de medición, que sirve de guía para su utilización apropiada.

EJEMPLO 1 El valor 100 marcado como el valor nominal sobre una resistencia patrón.

EJEMPLO 2 El valor 1000 ml marcado como el valor nominal con un trazo sobre un recipiente graduado.

EJEMPLO 3 El valor 0,1 mol/L como el valor nominal de concentración de cantidad de sustancia de una solución de ácido clorhídrico, HCl.

EJEMPLO 4 El valor $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ como la máxima temperatura Celsius de almacenamiento.

NOTA El término “valor nominal” no debería confundirse con “valor de una propiedad cualitativa”.

Clase de Exactitud

Clase de instrumentos o sistemas de medición que satisfacen requisitos metrológicos determinados destinados a mantener los errores de medición o las incertidumbres instrumentales dentro de límites especificados, bajo condiciones de funcionamiento dadas.

NOTA 1 Una clase de exactitud habitualmente se indica mediante un número o un símbolo adoptado por convención.

NOTA 2 El concepto de clase de exactitud se aplica a las medidas materializadas.

Patrón de Medición

Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medición asociada, tomada como referencia.

EJEMPLO 1 Patrón de masa de 1 kg, con una incertidumbre estándar asociada de 3 mg.

EJEMPLO 2 Resistencia patrón de $100\ \Omega$, con una incertidumbre estándar asociada de $1\ \text{m}\Omega$.

EJEMPLO 3 Patrón de frecuencia de cesio, con una incertidumbre estándar relativa asociada de 2×10^{-15} .

EJEMPLO 4 Electrodo de referencia de hidrógeno, con un valor asignado de 7,072 y una incertidumbre estándar asociada de 0,006.

EJEMPLO 5 Conjunto de soluciones de referencia, de cortisol en suero humano, que tienen un valor certificado con una incertidumbre de medición para cada solución.

EJEMPLO 6 Material de referencia con valores e incertidumbres de medición asociadas, para la concentración de masa de diez proteínas diferentes.

NOTA 1 La “realización de la definición de una magnitud dada” puede establecerse mediante un sistema de medición, una medida materializada o un material de referencia.

NOTA 2 Un patrón se utiliza frecuentemente como referencia para obtener valores medidos e incertidumbres de medición asociadas para otras magnitudes de la misma naturaleza, estableciendo así la trazabilidad metrológica, mediante la calibración de otros patrones, instrumentos o sistemas de medición.

NOTA 3 El término “realización” se emplea aquí en su sentido más general. Se refiere a tres procedimientos de realización. El primero, la realización en stricto sensu, es la realización física de la unidad a partir de su definición. El segundo, denominado “reproducción”, consiste, no en realizar la unidad a partir de su definición, sino en construir un patrón altamente reproducible basado en un fenómeno físico, por ejemplo el empleo de láseres estabilizados en frecuencia para construir un patrón del metro, el empleo del efecto Josephson para el volt o el efecto Hall cuántico para el ohm. El tercer procedimiento consiste en adoptar una medida materializada como patrón. Es el caso del patrón de 1 kg.

NOTA 4 La incertidumbre estándar asociada a un patrón es siempre una componente de la incertidumbre estándar combinada (véase la Guía ISO/IEC 98-3:2008, 2.3.4) de un resultado de medición obtenido utilizando el patrón. Esta componente suele ser pequeña comparada con otras componentes de la incertidumbre estándar combinada.

NOTA 5 El valor de la magnitud y de su incertidumbre de medición deben determinarse en el momento en que se utiliza el patrón.

NOTA 6 Varias magnitudes de la misma naturaleza o de naturalezas diferentes pueden realizarse mediante un único dispositivo, denominado también patrón.

NOTA 7 En el idioma inglés, algunas veces se utiliza la palabra “embodiment” (materialización) en vez de “realization” (realización).

NOTA 8 En ciencia y tecnología, el vocablo inglés “standard” se usa con dos significados distintos: como una norma, especificación, recomendación técnica o documento escrito similar (en el idioma francés “norme”) y como un patrón de medición (en el idioma francés “étalon”). Este vocabulario se refiere únicamente al segundo significado.

NOTA 9 El término “patrón” se utiliza a veces para designar otras herramientas metrológicas, por ejemplo un “programa de medición patrón”.

Patrón de Medición de Referencia

Patrón designado para la calibración de otros patrones de magnitudes de la misma naturaleza, en una organización o lugar dado.