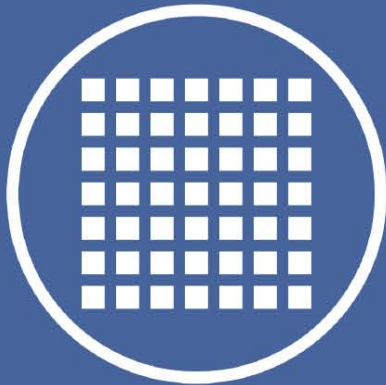


Copia No Controlada

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología



INTI



Procedimiento específico: PEC16

CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS.

Revisión: Agosto 2015

Este documento se ha elaborado con recursos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

PEC16 Lista de enmiendas: Agosto 2015

[illegible]

PEC16 Índice: Agosto 2015

| NOMBRE DEL CAPÍTULO | REVISIÓN |
|----------------------------------|-------------|
| Índice | Agosto 2015 |
| CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS. | Agosto 2015 |

PREPARADO POR


FIRMA Y SELLO
LIC. JAVIER GARCIA SKABAR
COORD. U.T. CALOR
FISICA Y METROLOGIA
INTI

REVISADO POR

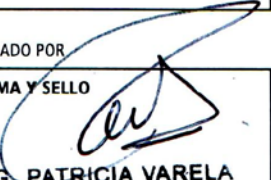
FIRMA Y SELLO

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO


REVISADO POR

FIRMA Y SELLO


ING. PATRICIA VARELA
COORD. CALIDAD Y ADMINISTRACION
INTI - FISICA y METROLOGIA

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO


Ing. JUAN A. FORASTIERI
DIRECTOR TECNICO
INTI - FISICA Y METROLOGIA

PEC16: Agosto 2015

1. Objetivo

Establecer los métodos para la calibración de termo-higrómetros. Determinar la corrección de la indicación del instrumento en temperatura y humedad relativa con sus respectivas incertidumbres.

2. Alcance

Este procedimiento afecta a Termo-higrómetros con indicación digital y/o registro digital de datos (Data logger) en temperatura y humedad relativa, aplicados a la medición de temperatura y humedad ambiente (en aire).

Es aplicable para la calibración en los siguientes 4 puntos de temperatura y 4 de humedad:

- 10 °C, 20 °C, 25 °C y 35 °C a 50 %hr. Incertidumbre mínima: 0,5 °C.
- 30 %hr 50 %hr 70 %hr y 90 %hr a 25 °C, Incertidumbre mínima: 5 %hr.

3. Definiciones y abreviaturas

hr: Humedad relativa

IR: instrumentos de referencia

IBC: Instrumento bajo calibración

4. Documentación de referencia

A Guide to the Measurement of Humidity – Published 1996 by The Institute of Measurement and Control.

Temperature and humidity Measurement- Handbook of temperature measurement Vol. 1 edited by Robin E. Bentley NML CSIRO © Springer Verlag Singapore Pte. Ltd. 1998.

Uncertainty in humidity measurements (Publication of EUROMET Workshop P758) – MIKES Publication J4/2006 Martti Heinonen.

Guía técnica sobre trazabilidad e incertidumbre de medición en la calibración de higrómetros de humedad relativa. © CENAM – ema, 30/01/2005.

5. Responsabilidades

5.1. Del Coordinador de la Unidad Técnica Calor

Supervisar la realización de las calibraciones. Verificar que se cumplan los procedimientos y revisar los resultados.

5.2. Del personal del laboratorio Realizar las calibraciones aplicando el presente procedimiento. Procesar los datos correspondientes y emitir el certificado.

6. Instrumentos de referencia

6.1. Termómetro digital Testo. Modelo 735, número de serie 01157025/512.

6.2. Termorresistencia Electrotherm, número de serie 2001-01.

6.3. Termo higrómetro Vaisala MI70 número de serie D19950042 con HMP número de serie H3120013 en canal 1 y / o con HMP número de serie D2960006 en canal 2.

6.4. Rango de aplicación y estabilidad de los medios isoterms.

6.5. Cámara climática WEISS. Modelo SB1/300/40, número de serie 222/18614.

6.6. Cámara climática Memmert CTC 256

6.7. Generador de dos presiones Thunder Scientific 2500.

7. Condiciones Ambientales

Las condiciones ambientales del laboratorio durante la calibración, estarán comprendidas entre los siguientes valores:
18 °C < Temperatura Ambiente < 28 °C.

Humedad relativa < 80 %.

8. Instrucciones para realizar la calibración

Al efectuar la calibración se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

PEC16: Agosto 2015

8.1. Se introducen los IBC en la cámara climática junto con los IR en temperatura y en hr, cuidando de mantener los sensores dentro del espacio destinado a la calibración (a 15 cm de distancia de las paredes de la cámara) según estudio de uniformidad o información del fabricante.

8.2. Orden de medición de puntos de calibración en humedad: 30 %hr, 50 %hr, 70 %hr, 90 %hr y 30 %hr a 25 °C

8.3. Orden de medición de puntos de calibración en temperatura: 10 °C, 20 °C, 25 °C, 35 °C y 25 °C a 50 %h.

8.4. Se selecciona la primera condición de calibración en la cámara climática, ver **8.2** o **8.3** según sea el caso temperatura o humedad.

8.5. Una vez que la cámara alcanza la estabilidad, $\pm 1,5$ %rh y $\pm 0,1$ °C. Se toman 4 (cuatro) lecturas correspondientes al IR y al IBC en temperatura y en hr, igualmente distribuidas en un intervalo de tiempo que abarque dos oscilaciones completas en hr de la cámara climática. El registro de datos puede realizarse manuscrito en papel, directamente en la hoja de cálculo o adquiridos electrónicamente en la memoria de los instrumentos.

8.6. Se selecciona la siguiente condición de calibración, ver **8.2** o **8.3** según sea el caso temperatura o humedad.

Se repite **8.5** y **8.6** hasta cubrir todas las condiciones de calibración requeridas.

9. Tratamiento de datos

9.1. Para cada punto de medición realizado en **8.5** se calcula el promedio de las lecturas de IR y del IBC y su diferencia, para obtener la corrección del IBC tanto en humedad como en temperatura, según planilla de cálculo PEC16U.xlsm.

9.2. En el caso del punto de medición que se repite se considera el promedio de los dos valores de corrección obtenidos.

10. Modelo e incertidumbre de medición

Humedad relativa

Se determina el valor de la corrección a la indicación del instrumento bajo calibración en humedad relativa (C_{xhr}), mediante la siguiente expresión:

$$C_{xhr} = IRhr + \delta 1 + \delta 2 + \delta 3 + \delta 4 + \delta 5 - IBChr + \delta 6 + \delta 7 + \delta 8 \quad (1)$$

Donde: $U(C_{xhr})$ es la incertidumbre de la expresión (1).

Cada una de las componentes de C_{xhr} , se describen a continuación:

IRhr: es el promedio de las indicaciones en humedad relativa del IR, su incertidumbre $U(IRhr)$ es la incertidumbre del promedio de los valores medidos.

$\delta 1$ es la corrección a las lecturas del IR debida a la **resolución del IR utilizado**, su incertidumbre **$U(\delta 1)$** se obtiene de considera una distribución rectangular de ancho igual a 1 dígito de la resolución del indicador del instrumento patrón, se calcula como el semi-ancho dividido raíz de 3.

$\delta 2$ es la corrección a las lecturas del IR debida a la **calibración del IR utilizado**, su incertidumbre **$U(\delta 2)$** se obtiene del certificado de calibración del IR.

$\delta 3$ es la corrección a las lecturas del IR debida al **Efecto de la temperatura sobre el sensor de humedad**, su incertidumbre **$U(\delta 3)$** se obtiene de considerar la variación de temperatura sobre el sensor de humedad multiplicada por un coeficiente de sensibilidad en humedad. Para el valor de variación de temperatura se considera la estabilidad de la cámara o la incertidumbre de calibración del IR en temperatura, la que resulta mayor. El coeficiente de sensibilidad se obtiene del análisis de los datos del certificado de calibración o de las especificaciones del fabricante del instrumento.

$\delta 4$ es la corrección a las lecturas del IR debida al **variación entre calibraciones de la corrección**, su incertidumbre **$U(\delta 4)$** se obtiene del análisis de certificados de calibración sucesivos. Se considera una distribución rectangular de ancho igual a la mayor diferencia entre las correcciones, se calcula como el semi-ancho dividido raíz de 3.

$\delta 5$ es la corrección al valor de humedad del ambiente de la cámara debida a la **Inhomogeneidad de la cámara**, su incertidumbre **$U(\delta 5)$** se obtiene de las especificaciones del fabricante o del ensayo de caracterización de la cámara.

IBChr: es el promedio de las indicaciones en humedad relativa del IBC, su incertidumbre $U(IBChr)$ es la incertidumbre del promedio de los valores medidos.

$\delta 6$ es la corrección a las lecturas del IBC debida a la **Repetibilidad del instrumento IBC**, efectos de histéresis o repetibilidad a largo plazo, su incertidumbre **$U(\delta 6)$** se obtiene de la dispersión de las correcciones obtenidas del punto de medición de humedad que se repite.

PEC16: Agosto 2015

$\delta 7$ es la corrección a las lecturas del IBC debida a la **resolución del IBC**, su incertidumbre **U($\delta 7$)** se obtiene de considerar una distribución rectangular de ancho igual a 1 dígito de la resolución del indicador del IBC, se calcula como el semi-ancho dividido raíz de 3.

$\delta 8$ es la corrección a las lecturas del IBC debida al **Efecto de la temperatura sobre el sensor de humedad del IBC**, su incertidumbre **U($\delta 8$)** se obtiene de considerar la variación de temperatura sobre el sensor de humedad multiplicada por un coeficiente de sensibilidad en humedad. Para el valor de variación de temperatura se considera la estabilidad de la cámara o la incertidumbre de calibración del IR en temperatura, la que resulta mayor. El coeficiente de sensibilidad se obtiene del análisis de los datos medidos o de las especificaciones del fabricante del instrumento.

Temperatura

Se determina el valor de la corrección a la indicación del instrumento bajo calibración en temperatura (C_{xt}), mediante la siguiente expresión:

$$C_{xt} = IRt + \delta 1 + \delta 2 + \delta 3 + \delta 4 + \delta 5 - IBCt + \delta 6 + \delta 7 + \delta 8 \quad (2)$$

Donde: $U(C_{xt})$ es la incertidumbre de la expresión (2).

Cada una de las componentes de C_{xt} se describen a continuación:

IRt: es el promedio de las indicaciones en humedad relativa del IR, su incertidumbre $U(IRhr)$ es la incertidumbre del promedio de los valores medidos.

$\delta 1$ es la corrección a las lecturas del IR debida a la **resolución del IR utilizado**, su incertidumbre **U($\delta 1$)** se obtiene de considerar una distribución rectangular de ancho igual a 1 dígito de la resolución del indicador del instrumento patrón, se calcula como el semi-ancho dividido raíz de 3.

$\delta 2$ es la corrección a las lecturas del IR debida a la **calibración del IR utilizado**, su incertidumbre **U($\delta 2$)** se obtiene del certificado de calibración del IR.

$\delta 3$ es la corrección a las lecturas del IR debida al **variación entre calibraciones de la corrección**, su incertidumbre **U($\delta 3$)** se obtiene del análisis de certificados de calibración sucesivos. Se considera una distribución rectangular de ancho igual a la mayor diferencia entre las correcciones, se calcula como el semi-ancho dividido raíz de 3.

$\delta 4$ es la corrección al valor de temperatura del ambiente de la cámara debida a la **Inhomogeneidad de la cámara**, su incertidumbre **U($\delta 5$)** se obtiene de las especificaciones del fabricante o del ensayo de caracterización de la cámara.

IBCt: es el promedio de las indicaciones en temperatura del IBC, su incertidumbre $U(IBCt)$ es la incertidumbre del promedio de los valores medidos.

$\delta 5$ es la corrección a las lecturas del IBC debida a la **Repetibilidad del instrumento IBC**, efectos de histéresis o repetibilidad a largo plazo, su incertidumbre **U($\delta 5$)** se obtiene de la dispersión de las correcciones obtenidas del punto de medición de temperatura que se repite.

$\delta 6$ es la corrección a las lecturas del IBC debida a la **resolución del IBC**, su incertidumbre **U($\delta 6$)** se obtiene de considerar una distribución rectangular de ancho igual a 1 dígito de la resolución del indicador del IBC, se calcula como el semi-ancho dividido raíz de 3.

11. Ejemplos de Balance de incertidumbre

Humedad relativa

| Fuente de incertidumbre | Simb | Valor estimado | Tipo | Dis | Intervalo (±) | Fac | u_i | | v_i | C_i | $(C_i u_i)^2$ | W-S | % | | |
|-----------------------------------|------|----------------|------|-----|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|------|-------|------|-------|
| Humedad relativa del IR | IRhr | 29.88 | % | A1 | N | | | 0.143 | %hr | 6 | 1 | 0.02 | 0.00 | 0.4% | |
| Resolución del IR | δ1 | 0.00 | % | BR | R | 0.005 | % | 1.73 | 0.00 | %hr | 50 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.0% |
| Calibración del IR | δ2 | 0.00 | % | BN | N | 1.000 | % | 2.00 | 0.50 | %hr | 50 | 1 | 0.25 | 0.00 | 4.9% |
| Efecto de la temperatura IR | δ3 | 0.00 | % | BR | R | 0.100 | °C | 1.73 | 0.06 | °C | 50 | 0.00 | hr/°C | 0.00 | 0.0% |
| Drift entre calibraciones del IR | δ4 | 0.00 | % | BR | R | 1.000 | % | 1.73 | 0.58 | %hr | 50 | 1 | 0.33 | 0.00 | 6.5% |
| Inhomogeneidad de la camara | δ5 | 0.00 | % | BN | N | 4.00 | % | 2.00 | 2.00 | %hr | 50 | 1 | 4.00 | 0.32 | 78.3% |
| Indicación del IBC | IBCt | 29.63 | % | A1 | N | | | 0.579 | %hr | 6 | 1 | 0.34 | 0.02 | 6.6% | |
| Repetibilidad del IBC | δ6 | 0.00 | % | A1 | N | | | 0.288 | %hr | 6 | 1 | 0.08 | 0.00 | 1.6% | |
| Resolución del IBC | δ7 | 0.00 | % | BR | R | 0.500 | % | 1.73 | 0.29 | %hr | 50 | 1 | 0.08 | 0.00 | 1.6% |
| Efecto de la temperatura IBC | δ8 | 0.00 | % | BR | R | 0.100 | °C | 1.73 | 0.06 | °C | 50 | 0.00 | hr/°C | 0.00 | 0.0% |
| Corrección indicación instrumento | Cx | 0.25 | % | N | | 4.50 | % | 1.99 | 2.26 | °C | 76 | | | | 100% |

Cx= (0,3 ± 4,50)%

PEC16: Agosto 2015

Temperatura

| Fuente de incertidumbre | Simb | Valor estimado | Tipo | Dis | Intervalo (±) | Fac | u _i | v _i | C _i | (C _i u _i) ² | W-S | % | | | |
|-----------------------------------|-------|----------------|------|-----|---------------|-------|----------------|----------------|----------------|---|----------|------|----------|------|-------|
| Temperatura del IR | IR t | 20,33 | °C | A1 | N | | 0,071 | °C | 4 | 1 | 5,00E-03 | 0,00 | 7,5% | | |
| Resolución del IR | δ1 | 0,00 | °C | BR | R | 0,005 | °C | 1,73 | 0,00 | °C | 50 | 1 | 8,33E-06 | 0,00 | 0,0% |
| Calibración del IR | δ2 | 0,00 | °C | BN | N | 0,100 | °C | 2,00 | 0,05 | °C | 50 | 1 | 2,50E-03 | 0,00 | 3,8% |
| Drift entre calibraciones del IR | δ3 | 0,00 | °C | BR | R | 0,100 | °C | 1,73 | 0,06 | °C | 50 | 1 | 3,33E-03 | 0,00 | 5,0% |
| Inhomogeneidad de la camara | δ4 | 0,00 | °C | BN | N | 0,40 | °C | 2,00 | 0,20 | °C | 50 | 1 | 4,00E-02 | 0,00 | 60,1% |
| Indicación del IBC | IBC t | 20,05 | °C | A1 | N | | 0,065 | °C | 4 | 1 | 4,17E-03 | 0,00 | 6,3% | | |
| Repetibilidad del IBC | δ5 | 0,00 | °C | A1 | N | | 0,070 | °C | 4 | 1 | 4,97E-03 | 0,00 | 7,5% | | |
| Resolución del IBC | δ6 | 0,00 | °C | BR | R | 0,050 | °C | 1,73 | 0,08 | °C | 50 | 1 | 6,56E-03 | 0,00 | 9,9% |
| Corrección indicación instrumento | Cx | 0,28 | °C | | N | 0,51 | °C | 2,0 | 0,26 | °C | 89 | | | | 100% |

$$C_x = (0,3 \pm 0,51) ^\circ\text{C}$$

12. Confección del certificado de calibración

Además de lo establecido en el capítulo 9 del MC, en el certificado de calibración se informa:

- 12.1.** Una breve descripción del método de calibración utilizado y/o la referencia al procedimiento (PEC) aplicado.
12.2. Una tabla con los valores indicados por el IBC las correcciones determinadas y sus respectivas incertidumbres.

13. Registro de la calidad

Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos, como así también copia de la orden de trabajo, salida de elementos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología, Capítulo 11.

14. Apéndices y anexos

No Aplica.

15. Confección del certificado de calibración

Además de lo establecido en el capítulo 9 del MC, en el certificado de calibración se informa:

- 15.1.** Una breve descripción del método de calibración utilizado y/o la referencia al procedimiento (PEC) aplicado.
15.2. Una tabla con los valores indicados por el IBC las correcciones determinadas y sus respectivas incertidumbres.

16. Registro de la calidad

Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos, como así también copia de la orden de trabajo, salida de elementos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología, Capítulo 11.

17. Apéndices y anexos

No Aplica.