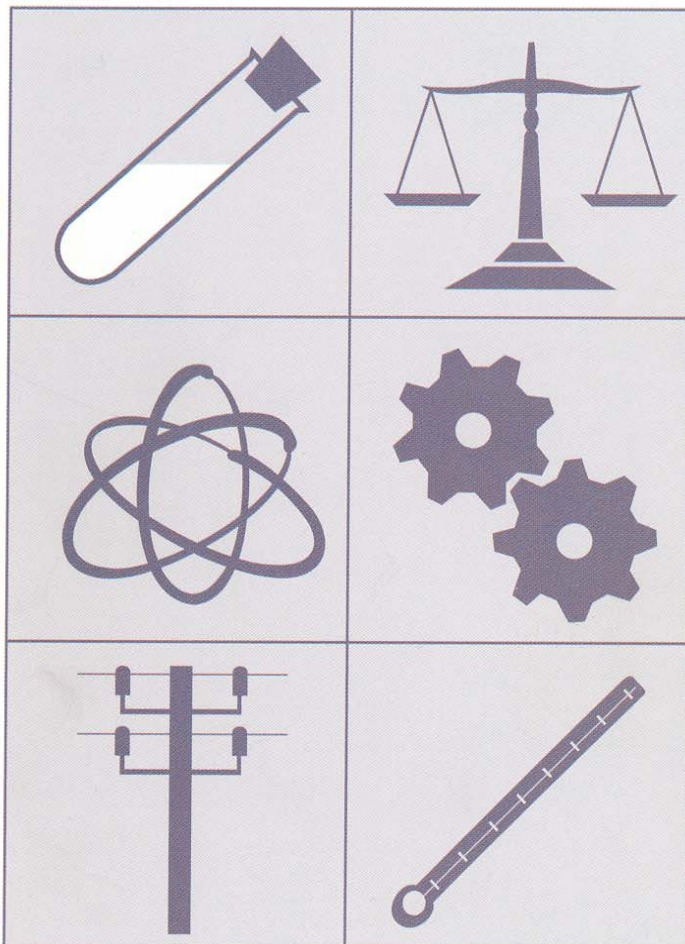


PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



**PROCEDIMIENTO TH- 007 PARA LA CALIBRACIÓN
DE MEDIDORES DE CONDICIONES AMBIENTALES
DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN AIRE**

m 08



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Este procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, si ha sido necesario.

La presente edición se emite en formato digital. Hay disponible una edición en papel que se puede adquirir en nuestro departamento de publicaciones.

Este procedimiento de calibración es susceptible de modificación permanente a instancia de cualquier persona o entidad. Las propuestas de modificación se dirigirán por escrito, justificando su necesidad, a cualquiera de las siguientes direcciones:

Correo postal
Centro Español de Metrología
C/ del Alfar, 2,
28760 Tres Cantos, Madrid

Correo electrónico
cem@cem.es



ÍNDICE

1.-	OBJETO	4
2.-	ALCANCE	4
3.-	DEFINICIONES	4
4.-	GENERALIDADES	8
5.-	DESCRIPCIÓN	14
5.1.-	Equipos y materiales	14
5.2.-	Operaciones previas	15
5.3.-	Proceso de calibración	16
5.4.-	Toma y tratamiento de datos	20
6.-	RESULTADOS	21
6.1.-	Cálculo de incertidumbres	21
6.2.-	Interpretación de resultados	27
7.-	REFERENCIAS	30
8.-	ANEXOS	31



1.- OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto dar a conocer un método de calibración para medidores de condiciones ambientales de temperatura y humedad en aire, por comparación en medios isotermos de temperatura y humedad relativa controlada.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a medidores de humedad relativa y temperatura en aire con presentación digital, para el margen de 10 % hr a 90 % hr y a una temperatura de 10 °C a 40 °C. La utilización de este proceso está indicada para la calibración de dichos instrumentos cuando los sensores dispongan de características adecuadas de longitud, diámetro e inmersión que permitan ser introducidos en los medios generadores de temperatura y humedad relativa, y dentro de las zonas de calibración previamente caracterizadas para tal fin.

Quedan fuera del alcance de este procedimiento los aspirópsicrómetros, higrómetros electrolíticos (P_2O_5) y otros higrómetros cuyo principio de funcionamiento no se base en la variación de impedancia.

3.- DEFINICIONES

Calibración [1] (6.11):

Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones.



NOTAS

- 1 Una calibración puede también servir para determinar otras propiedades metrológicas tales como los efectos de las magnitudes de influencia.
- 2 Los resultados de una calibración puede consignarse en un documento denominado, a veces, certificado de calibración o informe de calibración.

Corrección [1] (3.15):

Valor sumado algebraicamente al resultado sin corregir de una medición para compensar un error sistemático.

NOTAS

- 1 La corrección es igual al opuesto del error sistemático estimado.
- 2 Puesto que el error sistemático no puede conocerse perfectamente, la compensación no puede ser completa.

Estabilidad (de temperatura o humedad):

Es la variación temporal de la temperatura y/o humedad medida en la zona de calibración en un periodo suficiente para realizar el proceso de comparación teniendo en cuenta la constante de tiempo de los patrones e instrumentos. Se cuantifica mediante la obtención de la desviación típica de las lecturas de los patrones.

Histéresis (o estabilidad frente a ciclos de temperatura y/o humedad):

Propiedad de un instrumento de medida cuya respuesta a una señal de entrada determinada, depende de la secuencia de las señales de entrada precedentes. En el caso de medidores de condiciones ambientales corresponde a la variación en la indicación del instrumento, en función de si ha sido sometido con anterioridad a una temperatura u humedad u otra.



Incertidumbre de medida [1] (3.9):

Parámetro, asociado al resultado de un medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

NOTAS

- 1 La incertidumbre de medida comprende, en general, varios componentes. Algunos pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden caracterizarse por sus desviaciones estándar experimentales. Los otros componentes, que también pueden ser caracterizados por desviaciones estándar, se evalúan asumiendo distribuciones de probabilidad, basadas en la experiencia adquirida o en otras informaciones.
- 2 Esta definición es la de la “Guía para la expresión de la incertidumbre de medida” donde sus bases están expuestas con detalle (en particular ver 2.2.4 y anexo D [2]).

Resolución (de un dispositivo visualizador) [1] (5.12):

La menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de forma significativa.

NOTAS

- 1 Para un dispositivo visualizador digital, diferencia de la indicación que corresponde al cambio de una unidad en la cifra menos significativa.
- 2 Este concepto se aplica también a un dispositivo registrador.

Repetibilidad (de los resultados de las mediciones) [1] (3.6):

Grado de concordancia entre resultados de sucesivas mediciones del mismo mensurando, mediciones efectuadas con aplicación de la totalidad de las mismas condiciones de medida.



NOTAS

- 1 Estas condiciones se denominan **condiciones de repetibilidad**.
- 2 Las condiciones de repetibilidad comprenden: el mismo procedimiento de medida, el mismo observador, el mismo instrumento de medida utilizado en las mismas condiciones, el mismo lugar y repetición durante un corto periodo de tiempo.
- 3 La repetibilidad puede expresarse cuantitativamente por medio de las características de dispersión de los resultados.

Termohigrómetro digital:

Dispositivo destinado a utilizarse para hacer mediciones de humedad y temperatura que muestra una indicación digital en unidades de humedad: % de humedad relativa, y de temperatura: grados Celsius. Normalmente está constituido por uno o varios sensores y un equipo de lectura.

Termómetro de resistencia de platino:

Elemento sensible a las variaciones de temperatura constituido por una resistencia termométrica dentro de una vaina protectora, hilos de conexión internos y terminales externos que permiten su conexión a equipos de medida eléctricos. Su resistencia es función de la temperatura [11].

Termistor:

Sensor construido con un material semiconductor cuya resistencia varía con la temperatura, ver [9], código 05.05.

Uniformidad (de temperatura o humedad) :

Es el semi-intervalo de la diferencia máxima de la medida de ambos patrones, durante el proceso de calibración ubicados cerca del centro de la zona de calibración.



Zona de calibración (volumen útil):

Es aquella parte interior del medio generador de condiciones de temperatura y/o humedad, claramente delimitada, y que se destina a la calibración de instrumentos por comparación. Suele estar situada en el centro del recinto, alejada de las paredes y otros sumideros o focos de calor.

4.- GENERALIDADES

Un termohigrómetro digital estará constituido por una o dos sondas, en las que estarán integrados los sensores de humedad y temperatura que permitirán obtener directamente las lecturas de dichas magnitudes, una vez procesadas las señales por el indicador.

El sensor de humedad será del tipo capacitivo formado por un condensador cuya impedancia varía en función del contenido de agua existente en el aire. Por otro lado tendremos el sensor medidor de temperatura, generalmente constituido por un termistor o termómetro de resistencia de platino y cuya característica principal es su alta sensibilidad con la temperatura, lo que significa que un pequeño cambio de temperatura provoca una gran variación de la resistencia del sensor. La función que representa la variación de la resistencia con la temperatura es de la forma $R = R_0 e^{-a/T}$.

Un aspecto importante a tener en cuenta es el tiempo de estabilización, mayor en el caso en el que se varía la humedad en sentido decreciente que en sentido creciente. A continuación se enumeran algunos de los factores que determinan el tiempo de respuesta:

- Volumen de la cámara climática
- Características de circulación del aire
- Materiales de construcción y acabado de superficies
- Temperatura ambiente
- Nivel previo de humedad.



Otro factor que afecta al tiempo de estabilización es la utilización de materiales tales como el plástico, nylon o goma, debiendo evitar cualquier uso de ellos.

Es imprescindible asegurar una inmersión adecuada de cada una de las sondas del instrumento a calibrar, para reducir la conducción térmica entre el sensor y el exterior [15].

La calibración por comparación se realiza utilizando generadores de temperatura y/o humedad relativa, es decir, un medio isoterma donde se crea un volumen útil con una uniformidad y estabilidad, tanto en temperatura como en humedad relativa, previamente evaluado y caracterizado en las condiciones de uso. Los medios generadores pueden ser: cámaras climáticas o cámaras de generadores de humedad. Las sondas de los instrumentos a calibrar se introducirán por completo dentro de la propia cámara (inmersión completa) o a través de pasamuros adecuados que mantengan la estanqueidad del sistema (inmersión parcial).

Con la calibración por comparación de un medidor de condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en aire, se busca determinar la corrección del medidor, tanto para temperatura (C_t) como para humedad relativa (C_h). Es decir, la diferencia entre la temperatura y humedad relativa del generador que indican los patrones t_{ref} y h_{ref} , y las indicadas por el instrumento a calibrar t_x y h_x , calculadas en cada punto de calibración y expresadas de la siguiente forma:

$$\text{Para Temperatura: } C_t = t_{ref} - (t_x + \delta t_{x,res} + \delta t_r + \delta t_{x,mi}) \quad (1)$$

$$\text{Para Humedad: } C_h = h_{ref} - (h_x + \delta h_{x,res} + \delta h_r + \delta h_{x,mi}) \quad (2)$$

donde se han tenido en cuenta las posibles correcciones por resolución, repetibilidad y otras magnitudes de influencia del medidor a calibrar (pueden existir otras según cada caso particular: la imposibilidad de inmersión adecuada para eliminar errores de



conducción de la sonda, sección de la sonda, etc., y se añadirían como otros δt o δh en las ecuaciones (1) ó (2), respectivamente.

La temperatura y humedad indicada por los patrones, t_{ref} y h_{ref} , es la lectura media de los dos patrones utilizados, t_1 y t_2 para temperatura y, h_1 y h_2 para humedad, ya corregidas según los resultados de sus certificados y con una serie de correcciones adicionales que se muestran a continuación:

$$t_{ref} = \frac{1}{2} \cdot [t_1 + \delta t_{c1} + \delta t_{d1} + \delta t_{1,res} + \delta t_{1,mi} + \delta t_{1,int} + t_2 + \delta t_{c2} + \delta t_{d2} + \delta t_{2,res} + \delta t_{2,mi} + \delta t_{2,int}] + \delta t_{ut} + \delta t_{et} \quad (3)$$

$$h_{ref} = \frac{1}{2} \cdot [h_1 + \delta h_{c1} + \delta h_{d1} + \delta h_{1,res} + \delta h_{1,mi} + \delta h_{1,int} + h_2 + \delta h_{c2} + \delta h_{d2} + \delta h_{2,res} + \delta h_{2,mi} + \delta h_{2,int}] + \delta h_{uh} + \delta h_{eh} \quad (4)$$

donde se han tenido en cuenta las posibles correcciones debidas a la estabilidad y uniformidad del medio generador y las debidas a la incertidumbre de calibración, deriva, resolución, magnitudes de influencia e interpolación en los resultados del certificado en cuanto a los patrones (pueden existir otras según cada caso particular: repetibilidad, histéresis y/o uniformidad del patrón si no están contempladas en la de calibración, correcciones del certificado de calibración no realizadas, cociente de temperatura de las medidas de humedad, etc.).

Si el instrumento tiene posibilidad de ajuste, se realizarán las medidas previas necesarias para determinar si necesita ajuste. Para el ajuste se siguen las instrucciones del manual técnico del instrumento a calibrar. El ajuste sólo se hará si el cliente lo desea y tras anotar las correcciones del medidor antes del ajuste.

Denominaciones utilizadas:

C_t : corrección en temperatura.

C_h : corrección en humedad relativa.



d : deriva de un patrón, intervalo máximo de variación de la magnitud (temperatura o humedad) indicada por el patrón entre calibraciones expresada en \pm .

e_h : estabilidad del generador en humedad, intervalo máximo de variación de la humedad del medio generador en los puntos de calibración.

e_t : estabilidad del generador en temperatura, intervalo máximo de variación de la temperatura del medio generador en los puntos de calibración.

h_{ref} : humedad relativa media a la que se encuentran los patrones.

h_x : humedad relativa indicada por el medidor a calibrar.

h_1 , h_2 : humedad relativa indicada por el primer y segundo patrón corregida por los resultados del certificado de calibración a través de la curva de interpolación.

k : factor de cobertura.

r : repetibilidad del instrumento.

R : resolución del instrumento.

t_{ref} : humedad relativa media a la que se encuentran los patrones.

t_x : humedad relativa indicada por el medidor a calibrar.

t_1 , t_2 : humedad relativa indicada por el primer y segundo patrón corregidas por los resultados del certificado de calibración a través de la curva de interpolación.

u_h : uniformidad en humedad relativa del medio isoterma, intervalo máximo de variación de la humedad relativa en la zona de calibración.



u_i : uniformidad en temperatura del medio isoterma, intervalo máximo de variación de la temperatura en la zona de calibración.

u : incertidumbre típica.

U : incertidumbre expandida.

δh_{c1} , δh_{c2} : correcciones en la humedad relativa indicada por el primer y segundo patrón debido a la incertidumbre de calibración.

δh_{d1} , δh_{d2} : correcciones en la humedad relativa indicada por el primer y segundo patrón debido a la deriva entre calibraciones.

$\delta h_{1,res}$, $\delta h_{2,res}$: correcciones en la humedad relativa indicada por el primer y segundo patrón debido a la resolución de los instrumentos.

$\delta h_{1,mi}$, $\delta h_{2,mi}$: correcciones en la humedad relativa indicada por el primer y segundo patrón debido a magnitudes de influencia.

$\delta h_{1,int}$, $\delta h_{2,int}$: correcciones en la humedad relativa indicada por el primer y segundo patrón debidas al error de interpolación en los resultados del certificado.

δh_{uh} : corrección en la humedad relativa indicada por los patrones debido a la falta de uniformidad del medio generador.

δh_{eh} : corrección en la humedad relativa indicada por los patrones debido a la falta de estabilidad del medio generador.

$\delta h_{x,res}$: corrección en la humedad relativa indicada por el instrumento a calibrar debido a la resolución.

$\delta h_{x,mi}$: corrección en la humedad relativa indicada por el instrumento a calibrar debido a magnitudes de influencia.

δh_r : corrección en la humedad relativa indicada por el instrumento a calibrar debido a la falta de repetibilidad.



δt_{c1} , δt_{c2} : Correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a la incertidumbre de calibración.

δt_{d1} , δt_{d2} : Correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a la deriva entre calibraciones.

$\delta t_{1,res}$, $\delta t_{2,res}$: Correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a la resolución de los instrumentos.

$\delta t_{1,mi}$, $\delta t_{2,mi}$: Correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a magnitudes de influencia.

$\delta t_{1,int}$, $\delta t_{2,int}$: Correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debidas al error de interpolación en los resultados del certificado.

δt_{u1} : corrección en la temperatura indicada por los patrones debido a la falta de uniformidad del medio generador.

δt_{e1} : corrección en la temperatura indicada por los patrones debido a la falta de estabilidad del medio generador.

$\delta t_{x,res}$: Corrección en la temperatura indicada por el instrumento a calibrar debido a la resolución.

$\delta t_{x,mi}$: Corrección en la temperatura indicada por el instrumento a calibrar debido a magnitudes de influencia.

δt_r : corrección en la temperatura indicada por el instrumento a calibrar debido a la falta de repetibilidad.

%hr: Porcentaje de humedad relativa. Unidad que no debe ser confundida con el término relativo porcentual.



5.- DESCRIPCIÓN

5.1.- Equipos y materiales

Para la calibración contemplada en este procedimiento serían necesarios los siguientes equipos y materiales:

- Un termo-higrómetro digital patrón con dos sondas, preferiblemente con incertidumbre de calibración del orden del 1,0 %/hr o mejor en humedad relativa y de 0,10 °C o mejor en temperatura, para un nivel de confianza aproximadamente del 95 %.
- Medio isoterma generador de temperatura y humedad controlada con funcionamiento en el margen de calibración del instrumento, caracterizado en estabilidad y uniformidad, tanto en temperatura como en humedad, que deben ser coherentes con la incertidumbre de calibración.
- Registrador de condiciones ambientales (temperatura y humedad) para el laboratorio, calibrado en el margen de uso.

5.2.- Operaciones previas

- Este proceso solo podrá ser llevado a cabo por personal cualificado a tal efecto.
- Habrá que establecer unas condiciones ambientales (temperatura y humedad) en el laboratorio donde se realice la calibración, fijadas por los requisitos de los patrones e instrumentos a utilizar durante la calibración.
- Se inspeccionará el instrumento a calibrar para comprobar que se encuentra debidamente identificado, como mínimo, con los siguientes datos: MARCA, MODELO y NUMERO DE SERIE. En caso contrario se solicitará la información por escrito al peticionario de los trabajos así como su permiso para grabar los mismos al instrumento.



- Se comprobará la ausencia de daños tanto del indicador como el sensor y cable de interconexión. Si existen muestras evidentes de defectos mecánicos, contaminación, o de otra índole, se anotará en la hoja de datos y se notificará al cliente si, a juicio del responsable técnico, pueda comprometerse la validez de la calibración.
- Realizar una inspección visual del interior del medio generador para comprobar que se encuentra en buen estado y sin evidencias de contaminación. En caso contrario se procederá a la limpieza de las paredes con alcohol y posteriormente con agua pura.
- Se comprobará el estado de la batería del instrumento, asegurando que se encuentra dentro de los valores normales para su correcto funcionamiento e indicados en el manual del fabricante.
- Si el instrumento tiene una indicación configurable y ésta afecta los resultados de la calibración, se anotarán los valores de los parámetros utilizados. Estos parámetros pueden ser por ejemplo un polinomio de conversión, la resolución o una corrección de calibración.
- Se comprobará el cumplimiento de las condiciones ambientales (temperatura y humedad), anotando sus valores.
- Con el fin de evitar posibles daños por condensaciones, no se abrirá el acceso a la cámara del medio isoterma, salvo que se haya estabilizado previamente en un punto de consigna cercano a 23 °C y el 50 % de humedad relativa.
- Conectar los equipos a utilizar, incluyendo el instrumento a calibrar, si su alimentación es a través de red, siguiendo las instrucciones del manual del fabricante, observando los periodos de estabilización indicados.
- En el caso de equipos con registro programable, se procederá a su configuración mediante la aplicación de *software* correspondiente, para obtener un intervalo entre lecturas de cómo mínimo 30 segundos



5.3.- Proceso de calibración

- Se realizará la calibración con una inmersión adecuada para minimizar los errores debidos a conducción, explicados anteriormente. Anotar el valor en la hoja de datos. Si no es posible introducir por completo el sensor dentro de la cavidad del medio isoterma, se deberá determinar la profundidad de inmersión. Ésta se determinará metiendo la mayor longitud posible de sonda y sacándola paulatinamente hasta observar que existen variaciones significativas de las medidas del instrumento. La profundidad de inmersión estará en el margen en el que los valores medidos no varían. Si incluso con el sensor sumergido en su totalidad se observan variaciones que exceden los límites de uniformidad del medio isoterma, se rechazará el instrumento.
- Introducir el sensor o sensores de los instrumentos y patrones a medir en el centro de la zona de calibración del generador y a través de los pasamuros habilitados para tal fin. Los patrones se situarán a una distancia lo más cercana posible que permita introducir entre ellos el sensor o sensores a calibrar, bien en una o dos filas en una línea recta trazada entre los patrones, evitando tocarse entre sí. Esquemáticamente sería como se muestra en la figura 1.

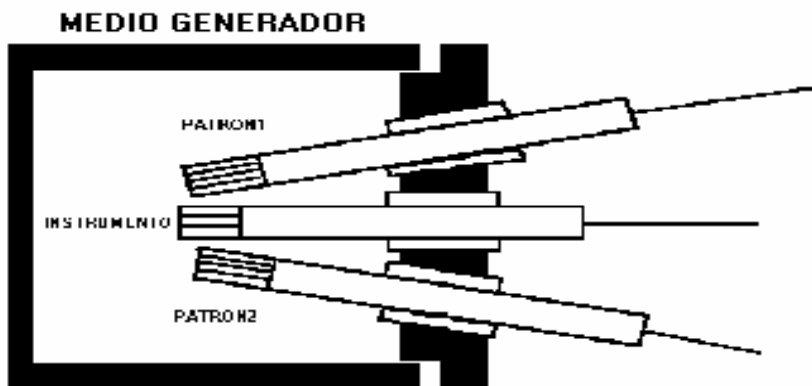


Fig. 1: Esquema de ubicación de patrones e instrumentos a calibrar

- La calibración se realizará en puntos de humedad crecientes a una temperatura fija. Antes de comenzar la calibración se someterá al sensor a un período de secado, consistente en mantener durante un intervalo de tiempo a una humedad inferior a la asignada como primer punto de calibración. El periodo de secado se establecerá en función de la humedad mínima alcanzada. Típicamente para un secado al 10 %hr para una primera medida al 25 %hr a 23 °C, se necesitarán como mínimo tres horas.
- En ningún momento se deberá exceder la temperatura o humedad máxima de uso del instrumento.
- Una vez realizada la medida del punto más alto de temperatura y humedad se procederá a repetir uno de los puntos anteriormente medidos (normalmente se repetirá el más próximo a las condiciones nominales del laboratorio).



- Para comprobar si el generador está lo suficientemente estable, es conveniente registrar las lecturas de temperatura y humedad de uno de los patrones durante un periodo como mínimo de 20 minutos tras alcanzar el régimen de control en el punto de consigna seleccionado.
- El proceso de lectura que se repetirá para cada punto de calibración será el siguiente:
 1. Lectura del primer patrón corregida según certificado, t_{11} y h_{11} .
 2. Lectura del instrumento a calibrar, t_{x1} y h_{x1} .
 3. Lectura del segundo patrón corregida según certificado, t_2 y h_2 .
 4. Lectura del instrumento a calibrar, t_{x2} y h_{x2} .
 5. Lectura del primer patrón corregida según certificado, t_{12} y h_{12} .

NOTA: En el caso de que se calibraran simultáneamente varios instrumentos, en el punto 4 se leerán éstos en orden inverso al del punto 2.

- En este proceso, se establecen los siguientes criterios de aceptación y rechazo⁽¹⁾ de las medidas:
 - a) Si la diferencia entre el valor medio de la temperatura o humedad del primer patrón (media de t_{11} y t_{12} ó media de h_{11} y h_{12}) y del segundo (t_2 ó h_2) es mayor que la combinación cuadrática de la uniformidad y la estabilidad asignada al generador⁽²⁾, se repetirá la medida por falta de uniformidad o estabilidad.
 - b) Si se observan diferencias mayores que la estabilidad asignada al generador⁽³⁾, entre las dos lecturas del primer patrón (t_{11} y t_{12} ó h_{11} y h_{12}), por falta de estabilidad, .

NOTAS:



- (1) Si la diferencia persiste se tomarán las medidas correspondientes según la sistemática aplicable para la detección de equipos no conformes. Estas pueden incluir: incrementar la incertidumbre de calibración utilizando los nuevos valores de uniformidad y estabilidad observados o el rechazo de las medidas.
- (2) Se considera que la diferencia entre las lecturas de los dos patrones puede ser debida a la falta de estabilidad y uniformidad del generador. Se permite que dicha diferencia esté dentro de los límites de estabilidad y uniformidad del generador utilizado, para asegurarse de que las medidas se han tomado con el generador suficientemente estable y uniforme (sistema bajo control estadístico).
- (3) Se considera que la diferencia entre la primera y segunda lectura del patrón puede ser debida a la falta de estabilidad del medio isoterma. Se permite que dicha diferencia esté dentro de los límites de estabilidad del generador utilizado, para asegurarse de que las medidas se han tomado con el generador suficientemente estable (sistema bajo control estadístico).
 - La temperatura y humedad asignada a cada punto de calibración será la media de las obtenidas con los patrones. Esta media se obtiene primero para las determinadas por el primer patrón (t_1) y (h_1), según sea temperatura o humedad respectivamente, y después se vuelve a hacer la media para los dos patrones.
 - Si el instrumento tiene posibilidad de ajuste, se realizarán las medidas previas necesarias para determinar si el mismo necesita ajuste. Para el ajuste se siguen las instrucciones del manual técnico del fabricante. El ajuste sólo se hará si el cliente lo desea y tras anotar las correcciones del instrumento antes del ajuste.
 - Con el fin de asegurar los valores de estabilidad a largo plazo asignados a los patrones, se fijará una serie de controles a realizar entre los períodos de calibración de los mismos. Dichos controles pueden ser realizar una medida a una temperatura y humedad nominal utilizando el propio medio generador y que se utilizará como registro de la estabilidad de los patrones.



5.4.- Toma y tratamiento de datos

Para cada punto de calibración se anotarán los siguientes datos :

- Los valores en grados que indican los patrones, t_{11} y t_{12} (cuya media es t_1 y t_2). Con estos datos se harán los cálculos correspondientes para asegurarse de la estabilidad y uniformidad del generador, según se indica en 5.3.
- Los valores en grados que indica el medidor a calibrar, t_{x1} y t_{x2} , de los que se calculará la media, t_x .
- La corrección, C_t , según:

$$C_t = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_x \quad (5)$$

- Los valores en %hr que indican los patrones, h_{11} y h_{12} (cuya media es h_1 y h_2). Con estos datos se harán los cálculos correspondientes para asegurarse de la estabilidad y uniformidad del generador.
- Los valores en %hr que indica el medidor a calibrar, h_{x1} y h_{x2} , de los que se calculará la media, h_x .
- La corrección, C_h , según:

$$C_h = \frac{h_1 + h_2}{2} - h_x \quad (6)$$

- Para calcular la estabilidad del sensor durante la calibración (componente de repetibilidad) se calculará la diferencia entre las correcciones obtenidas en temperatura y humedad relativa realizados en las mismas condiciones nominales del punto de repetición (ver 5.3).



- Los valores de referencia tanto para temperatura como para humedad se calcularán como valor medio de t_1 y t_2 para la temperatura y como media de h_1 y h_2 para humedad.
- Los resultados de la calibración se expresarán en forma de una tabla, conteniendo los valores obtenidos:
- Temperatura

Temperatura de referencia en °C (media de t_1 y t_2); Lectura del instrumento en °C (t_x); Corrección de la lectura del instrumento en °C (C_t); Incertidumbre en °C con su factor de cobertura.
- Humedad

Humedad relativa de referencia en %hr (media de h_1 y h_2); Lectura del instrumento en %hr (h_x); Corrección de la lectura del instrumento en %hr (C_h); Incertidumbre en %hr con su factor de cobertura.
- En el caso de realizar algún ajuste, se anotarán las medidas previas realizadas, para su inclusión en el correspondiente certificado de calibración. En ningún caso se realizarán ajustes sin el consentimiento previo del cliente.

6.- RESULTADOS

6.1.- Cálculo de incertidumbres

El cálculo de incertidumbres se realizará aplicando los criterios establecidos en la “Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida” editada por el Centro Español de Metrología [2] y la guía EA-4/02 “Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration” [3].



El resultado de la calibración, según se recoge en las ecuaciones (1) y (2), es la corrección, donde la t_{ref} y h_{ref} se han expresado por separado en las ecuaciones (3) y (4) respectivamente.

A partir de estas expresiones, se distinguen por un lado las incertidumbres del sistema de calibración (patrones y medios generadores) y por otro las correcciones al medidor a calibrar durante la calibración, que variarán según sus características y comportamiento. Las del sistema serán debidas a la calibración, deriva, lectura y resolución de los patrones, magnitudes de influencia sobre los patrones, interpolación o correcciones del certificado no realizadas así como la estabilidad y uniformidad del medio generador. Para el instrumento a calibrar siempre tendremos la incertidumbre de lectura (resolución), la debida a la repetibilidad y las magnitudes de influencia (pueden existir incertidumbres adicionales en algunos casos: por conducción térmica, etc.).

6.1.1.- Incertidumbre del sistema de calibración

La incertidumbre de la temperatura y humedad del medio isoterma, que se hace a través del valor medio de la lectura de dos patrones se expresa según (3) y (4) respectivamente, teniendo en cuenta todas las variables que intervienen.

Para calcular la incertidumbre se aplica la ley de propagación de incertidumbres en las ecuaciones (3) y (4), donde se considera que las correcciones de temperatura y humedad relativa son nulas (no se hacen correcciones a las lecturas de los patrones por incertidumbre de calibración, deriva, resolución, error de interpolación, magnitudes de influencia y estabilidad y uniformidad del medio isoterma), mientras que no lo son sus incertidumbres. Se considera también que todas las variables de (3) y (4) no tienen correlación. El desarrollo matemático completo se encuentra en el Anexo 1 donde se obtienen las ecuaciones:

$$u^2(t_{ref}) = \frac{1}{4} \cdot [u^2(t_1) + u^2(t_2) + u^2(\delta t_{c1}) + u^2(\delta t_{d1}) + u^2(\delta t_{1,res}) + u^2(\delta t_{1,mi}) + u^2(\delta t_{1,in}) + u^2(\delta t_{c2}) + u^2(\delta t_{d2}) + u^2(\delta t_{2,res}) + u^2(\delta t_{2,mi}) + u^2(\delta t_{2,int})] + u^2(\delta t_{ut}) + u^2(\delta t_{et}) \quad (7)$$



$$u^2(h_{\text{ref}}) = \frac{1}{4} \cdot [u^2(h_1) + u^2(h_2) + u^2(\delta h_{c1}) + u^2(\delta h_{d1}) + u^2(\delta h_{1,\text{res}}) + u^2(\delta h_{1,\text{mi}}) + u^2(\delta h_{1,\text{int}}) + u^2(\delta h_{c2}) + u^2(\delta h_{d2}) + u^2(\delta h_{2,\text{res}}) + u^2(\delta h_{2,\text{mi}}) + u^2(\delta h_{2,\text{int}})] + u^2(\delta h_{\text{un}}) + u^2(\delta t_{\text{eh}}) \quad (8)$$

Cada término de incertidumbre se explica a continuación:

$u(t_1)$, $u(t_2)$, $[u(h_1)$, $u(h_2)]$: Incertidumbres de lectura del primer y segundo patrón. Como no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración no se consideran estas contribuciones.

$u(\delta t_{c1})$, $u(\delta t_{c2})$, $[u(\delta h_{c1})$ y $u(\delta h_{c2})]$: Las incertidumbres de calibración de los patrones que se obtienen a partir de los datos de sus certificados de calibración, U/k . Si en la incertidumbre del certificado no está incluida la repetibilidad, o la posible histéresis o uniformidad, debería añadirse un término adicional. Si se trata de sensores conectados a un lector calibrado independientemente habría que considerar también la incertidumbre de calibración del indicador, en °C o %hr, según proceda.

$u(\delta t_{d1})$, $u(\delta t_{d2})$, $[u(\delta h_{d1})$ y $u(\delta h_{d2})]$: Deriva máxima de los patrones en el periodo de calibración elegido expresada en \pm , dividida por $\sqrt{3}$, que se estimará a través de los históricos de los patrones o de datos suministrados por el fabricante. Si se trata de sensores conectados a un lector calibrado independientemente habría que considerar también la incertidumbre por deriva del indicador, en °C o %hr, según proceda.

$u(\delta t_{1,\text{res}})$, $u(\delta t_{2,\text{res}})$, $[u(\delta h_{1,\text{res}})$, $u(\delta h_{2,\text{res}})]$: Si los patrones están conectados a un equipo de lectura que da valores en °C o %hr, sería la resolución del equipo dividida por $\sqrt{12}$. Si fueran sensores conectados a un lector que da lecturas en °C o %hr, sería la resolución de dicho lector dividida por $\sqrt{12}$, expresada en °C o %hr, según proceda.

$u(\delta t_{1,\text{int}})$, $u(\delta t_{2,\text{int}})$, $[u(\delta h_{1,\text{int}})$, $u(\delta h_{2,\text{int}})]$: Corresponde a la incertidumbre debida al error de interpolación a través de una curva obtenida de los resultados de los certificados de calibración



de los patrones, calculada como la raíz cuadrada de la suma de las diferencias al cuadrado de los valores del certificado y los obtenidos a partir de la curva dividida por el número de puntos del certificado menos el número de parámetros del ajuste (dos en el caso de una recta).

NOTA: En el caso de que no se corrijan los valores de los patrones a través de una interpolación en los datos del certificado de calibración, se deberá considerar en lugar de la incertidumbre de interpolación una contribución debida a la corrección no realizada (ver apartado F.2.4.5 [2]).

$u(\delta t_{1,mi})$, $u(\delta t_{2,mi})$, [$u(\delta h_{1,mi})$, $u(\delta h_{2,mi})$]: en algunos casos pueden existir magnitudes de influencia.(p. e. temperatura ambiente) sobre los patrones, en cuyo caso sería necesario evaluar su influencia en las condiciones de calibración.

NOTA: Por ejemplo, si el equipo de lectura del patrón tiene un coeficiente de variación con la temperatura, a , expresado en $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ o $\% \text{hr}/^{\circ}\text{C}$, se estimaría como $a \cdot \Delta t / \sqrt{3}$, bajo la hipótesis de distribución rectangular y siendo $\pm \Delta t$ la variación de temperatura a considerar (entre la calibración que se está realizando y la calibración de los patrones).

$u(\delta t_e)$ y $u(\delta t_u)$: [$u(\delta t_e)$ y $u(\delta t_u)$]: Las incertidumbres debidas al medio isoterma se calculan a partir de pruebas experimentales de estabilidad y uniformidad realizadas en el laboratorio.

NOTA: Si se han dispuesto los patrones y el instrumento a calibrar en una zona limitada, la contribución a considerar será la correspondiente a estas condiciones.

En el Anexo 2 se hace un ejemplo de cálculo de incertidumbres.



6.1.2.- Incertidumbre de la corrección

La corrección del instrumento a calibrar, durante la calibración, C , se ha expresado en (1) y (2) teniendo en cuenta las variables que intervienen en la medida.

Para calcular la incertidumbre se aplica la ley de propagación de incertidumbres en las ecuaciones (1) y (2), donde se considera que las correcciones de temperatura y humedad relativa son nulas (no se hacen correcciones a la lectura del termohigrómetro por resolución, magnitudes de influencia, repetibilidad, histéresis y/o uniformidad), mientras que no lo son sus incertidumbres. Se considera también que todas las variables de (1) y (2) no tienen correlación. El desarrollo matemático completo se encuentra en el Anexo 2 donde se obtienen las ecuaciones:

$$u^2(C_t) = u^2(t_x) + u^2(\delta t_{x,res}) + u^2(\delta t_h) + u^2(\delta t_{un}) + u^2(\delta t_r) + u^2(\delta t_{ref}) \quad (9)$$

$$u^2(C_h) = u^2(h_x) + u^2(\delta h_{x,res}) + u^2(\delta h_h) + u^2(\delta h_{un}) + u^2(\delta h_r) + u^2(\delta h_{ref}) \quad (10)$$

Cada término de incertidumbre se explica a continuación

$u(t_x)$ [$u(h_x)$]: Es la incertidumbre de la lectura del instrumento. Como no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración no se puede considerar esta contribución.

$u(t_{x,res})$ [$u(h_{x,res})$]: La incertidumbre de resolución del instrumento, que corresponde a la resolución del equipo de lectura dividida por $\sqrt{12}$.

$u(\delta t_r), u(\delta t_h)$, [$u(\delta h_r), u(\delta h_h)$]: La repetibilidad (y/o histéresis) del instrumento se estima a partir de medidas repetidas entre los extremos del margen de calibración.

$u(\delta t_{x,mi})$: En algunos casos pueden existir magnitudes de influencia (p. e. temperatura ambiente) sobre el instrumento a



calibrar, en cuyo caso sería necesario evaluar su influencia en las condiciones de calibración.

NOTA: Por ejemplo, si el instrumento tiene un coeficiente de variación con la temperatura a , expresado en $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ o $\% \text{hr}/^{\circ}\text{C}$, se estimaría como $a \cdot \Delta t / \sqrt{3}$, bajo la hipótesis de distribución rectangular y siendo $\pm \Delta t$ la variación de temperatura a considerar.

$u(t_{\text{ref}})$ [$u(h_{\text{ref}})$]: Es la incertidumbre calculada en el apartado 6.1.1.

En el anexo 2 se realiza un ejemplo de cálculo de incertidumbres.

6.1.3.- Cálculo final de la incertidumbre

La incertidumbre combinada obtenida en las ecuaciones (9) y (10) se multiplicaría por un factor $k = 2$, para tener la incertidumbre expandida (se considera que la incertidumbre combinada corresponde a una distribución normal, por lo que este factor supone una probabilidad de cobertura del 95,45 %). En el Anexo 2 se hace un ejemplo de cálculo de incertidumbres.

NOTA: Esto será cierto en general, ya que todas las contribuciones a la incertidumbre combinada son de tipo B y se puede asumir que se cumplen las condiciones del Teorema Central del Límite, y que, por lo tanto, la incertidumbre combinada sigue una distribución normal.

Se recomienda recoger todas las contribuciones del cálculo de incertidumbre en una tabla [2]. En este caso conviene hacer dos tablas: una para calcular $u(t_{\text{ref}})$ y $u(h_{\text{ref}})$, y otra para $u(C_t)$ y $u(C_h)$ (en el ejemplo del Anexo 2 se escriben las tablas desarrolladas con datos numéricos). A continuación (tablas 1 y 2) se facilitan las tablas resumen a partir de la cual se puede realizar el cálculo de la incertidumbre asociada a la calibración de Medidores de Condiciones Ambientales de acuerdo con este procedimiento.



6.2.- Interpretación de resultados

Si se detecta que alguna de las correcciones obtenidas en los puntos de calibración es significativamente más alta que en el resto, conviene repetir la medida en dicho punto de calibración. Las correcciones obtenidas, con su incertidumbre, deben ser coherentes con la tolerancia asignada por el usuario al termómetro para su calibración.

Para ello se comparará la corrección obtenida., aumentada en la incertidumbre, con dicho límite de tolerancia. Si la corrección más la incertidumbre es menor que el límite de tolerancia en todos los puntos de calibración, se puede declarar el cumplimiento con dicho límite de tolerancia, en caso contrario, se decidirán acciones a tomar: ajuste, etc.

En caso de que sea necesario realizar un ajuste, se procederá a una nueva calibración completa, y en el certificado de calibración deben figurar los resultados de la calibración antes y después de los ajustes realizados.

El responsable final de asignar el período de recalibración, y revisarlo cuando sea preciso, es siempre el usuario del equipo.



Tabla 1: Resumen del cálculo de incertidumbre, $u(t_{ref})$ (*)

Magnitud X_i	Valor estimado x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Coef. de sensibilidad c_i	Contrib. a la Invertid. típica $u_i(y)$
t_1	$\frac{t_{11} + t_{12}}{2}$	$u(t_1)$	$\frac{1}{2}$	$u(t_1)/2$
t_2	t_2	$u(t_2)$	$\frac{1}{2}$	$u(t_2)/2$
δt_{c1}	0	$u(\delta t_{c1})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{c1})/2$
δt_{c2}	0	$u(\delta t_{c2})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{c2})/2$
δt_{d1}	0	$u(\delta t_{d1})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{d1})/2$
δt_{d2}	0	$u(\delta t_{d2})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{d2})/2$
$\delta t_{1,res}$	0	$u(\delta t_{1,res})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{1,res})/2$
$\delta t_{2,res}$	0	$u(\delta t_{2,res})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{2,res})/2$
$\delta t_{1,mi}$	0	$u(\delta t_{1,mi})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{1,mi})/2$
$\delta t_{2,mi}$	0	$u(\delta t_{2,mi})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{2,mi})/2$
$\delta t_{1,int}$	0	$u(\delta t_{1,int})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{1,int})/2$
$\delta t_{2,int}$	0	$u(\delta t_{2,int})$	$\frac{1}{2}$	$u(\delta t_{2,int})/2$
δt_{et}	0	$u(\delta t_{et})$	1	$u(\delta t_{et})/2$
δt_{ut}	0	$u(\delta t_{ut})$	1	$u(\delta t_{ut})/2$
t_{ref}	$\frac{t_1 + t_2}{2}$			$u(t_{ref})$



NOTA: (*) Los correspondientes valores para las lecturas de humedad son idénticos pero sustituyendo los índices “t” por “h”.

Tabla 2: Resumen del cálculo de incertidumbre, $u(C_t)$ (*)

Magnitud X_i	Valor estimado x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Coef. de sensibilidad c_i	Contrib. a la incertidumbre típica $u_i(y)$
t_x	$\frac{t_{x1} + t_{x2}}{2}$	$u(t_x)$	-1	$-u(t_x)$
t_2	t_2	$u(t_2)$	-1	$-u(t_2)$
$\delta t_{1,res}$	0	$u(\delta t_{1,res})$	-1	$-u(\delta t_{1,res})$
$\delta t_{1,mi}$	0	$u(\delta t_{1,mi})$	-1	$-u(\delta t_{1,mi})$
δt_r ó δt_h	0	$u(\delta t_r)$ ó $u(\delta t_h)$	-1	$-u(\delta t_r)$ ó $-u(\delta t_h)$
t_{ref}	$\frac{t_1 + t_2}{2}$	$u(\delta t_{ref})$	1	$u(\delta t_{ref})$
C	$t_{ref} - t_x$			$U(C_t)$

NOTA: (*) Los correspondientes valores para las lecturas de humedad son idénticos pero sustituyendo los índices “t” por “h”



7.- REFERENCIAS

- [1] Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología (VIM). CEM. 2ª Edición en español. 2000.
- [2] Guía para la expresión de la Incertidumbre de medida. CEM 2ª Edición 2000.
- [3] Guía EA-4/02. Expression of the uncertainty of measurement in calibration. EA. December 1999.
- [4] Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración. CEM. Edición 4. 2003.
- [5] Procedimiento TH-001 para la calibración de termómetros digitales CEM. Edición 0.
- [6] "La Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90)", CEM.
- [7] A Guide to the Measurement of Humidity, ISBN 0-904457-24-9 (1996).
- [8] BS 1339-1: 2001 "Humidity: terms, definitions and formulae"
- [9] Clasificación de instrumentos de metrología de temperatura, 1ª Edición, MINER.
- [10] UNE-EN 60751/A2:1996, "Sondas industriales de Resistencia Termométrica de Platino."
- [11] UNE-EN 60751:1996, "Sondas industriales de Resistencia Termométrica de Platino".
- [12] ENAC NT-04, Nota Técnica sobre la caracterización de medios isoterms



- [13] Benyon R, De Lucas J. and Moratilla A "Humidity calibration in the modern accredited laboratory" Third International Symposium on Humidity and Moisture, Kempton Park, U.K. (1998). Vol1. 206-213.
- [14] Benyon R, Lovell-Smith J, Mason R and Vicente T, "State-of-the-art calibration of relative humidity sensors", Proc. of International conference on Temperature Measurement: TEMPMEKO 01, Berlin, June 2001, 2, 1003-1008.
- [15] Lovell-Smith J., Benyon R and Mason R, "Immersion Error in Relative Humidity Probes", Papers and Abstracts from the Fourth International Symposium on Humidity and Moisture, ITRI, Taiwan, 2002.

8.- ANEXOS

ANEXO 1.- Desarrollo del cálculo de incertidumbres.

ANEXO 2.- Ejemplo numérico.

ANEXO 1

DESARROLLO DEL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES

Incertidumbre del sistema de calibración:

Para calcular la incertidumbre del sistema de calibración, se aplica la ley de propagación de incertidumbres en las ecuaciones (3) y (4) según lo indicado en la referencia [2], obteniéndose:



$$\begin{aligned}
 u^2(t_{\text{ref}}) = & c_1^2 \cdot u^2(t_1) + c_2^2 \cdot u^2(t_2) + c_3^2 \cdot u^2(\delta t_{c1}) + c_4^2 \cdot u^2(\delta t_{c2}) + c_5^2 \cdot u^2(\delta t_{d1}) + c_6^2 \cdot u^2(\delta t_{d2}) \\
 & + c_7^2 \cdot u^2(\delta t_{1,\text{res}}) + c_8^2 \cdot u^2(\delta t_{2,\text{res}}) + c_9^2 \cdot u^2(\delta t_{1,\text{mi}}) + c_{10}^2 \cdot u^2(\delta t_{2,\text{mi}}) + c_{11}^2 \cdot u^2(\delta t_{1,\text{int}}) + \\
 & c_{12}^2 \cdot u^2(\delta t_{2,\text{int}}) + 2 \cdot c_7 \cdot c_8 \cdot r(\delta t_{1,\text{res}}, \delta t_{2,\text{res}}) \cdot u(\delta t_{1,\text{res}}) \cdot u(\delta t_{2,\text{res}}) + 2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot r(t_1, t_2) \cdot u(t_1) \\
 & \cdot u(t_2) + 2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot r(\delta t_{c1}, \delta t_{c2}) \cdot u(\delta t_{c1}) \cdot u(\delta t_{c2}) + u^2(\delta t_{\text{ut}}) + u^2(\delta t_{\text{et}}) \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u^2(h_{\text{ref}}) = & c_1^2 \cdot u^2(h_1) + c_2^2 \cdot u^2(h_2) + c_3^2 \cdot u^2(\delta h_{c1}) + c_4^2 \cdot u^2(\delta h_{c2}) + c_5^2 \cdot u^2(\delta h_{d1}) + c_6^2 \cdot u^2(\delta h_{d2}) \\
 & + c_7^2 \cdot u^2(\delta h_{1,\text{res}}) + c_8^2 \cdot u^2(\delta h_{2,\text{res}}) + c_9^2 \cdot u^2(\delta h_{1,\text{mi}}) + c_{10}^2 \cdot u^2(\delta h_{2,\text{mi}}) + \\
 & c_{11}^2 \cdot u^2(\delta h_{1,\text{int}}) + c_{12}^2 \cdot u^2(\delta h_{2,\text{int}}) + 2 \cdot c_7 \cdot c_8 \cdot r(\delta h_{1,\text{res}}, \delta h_{2,\text{res}}) \cdot u(\delta h_{1,\text{res}}) \cdot u(\delta h_{2,\text{res}}) + \\
 & 2 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot r(h_1, h_2) \cdot u(h_1) \cdot u(h_2) + 2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot r(\delta h_{c1}, \delta h_{c2}) \cdot u(\delta h_{c1}) \cdot u(\delta h_{c2}) + u^2(\delta h_{\text{ut}}) + \\
 & u^2(\delta h_{\text{et}}) \quad (12)
 \end{aligned}$$

En las ecuaciones (11) y (12), los términos de $u(t_1)$ y $u(t_2)$ y $u(h_1)$ y $u(h_2)$ en general no se consideran, ya que no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración. Se han incluido los términos de correlación que pueden ser distintos de cero: las lecturas y la resolución en el caso de que las lecturas de los patrones se realicen con el mismo equipo de lectura y la incertidumbre de calibración, en el caso de que las calibraciones se hayan realizado con los mismos equipos o procedimientos. El resto de variables se considera que no están correlacionadas. En cuanto a los coeficientes de sensibilidad, sólo se han escrito los que salen distintos de 1 al derivar con respecto a cada variable en (8), que valen:

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = c_6 = c_7 = c_8 = c_9 = c_{10} = c_{11} = c_{12} = 1/2 \quad (13)$$

Un caso particular sería el caso de correlación total (de incertidumbre más alta o cota superior a la incertidumbre) cuando los coeficientes de correlación $r(t_1, t_2)$, $r(\delta t_{1,\text{res}}, \delta t_{2,\text{res}})$ y $r(\delta t_{c1}, \delta t_{c2})$, $r(h_1, h_2)$, $r(\delta h_{1,\text{res}}, \delta h_{2,\text{res}})$ y $r(\delta h_{c1}, \delta h_{c2})$ tomen como máximo el valor 1. En este caso las ecuaciones (11) y (12) se podrían simplificar de la forma:

$$\begin{aligned}
 u^2(t_{\text{ref}}) = & 1/4 \cdot [u(t_1) + u(t_2)]^2 + 1/4 \cdot [u(\delta t_{c1}) + u(\delta t_{c2})]^2 + 1/4 \cdot [u(\delta t_{1,\text{res}}) + u(\delta t_{2,\text{res}})]^2 + \\
 & 1/4 \cdot u^2(\delta t_{d1}) + 1/4 \cdot u^2(\delta t_{d2}) + 1/4 \cdot u^2(\delta t_{1,\text{mi}}) + 1/4 \cdot u^2(\delta t_{2,\text{mi}}) + 1/4 \cdot u^2(\delta t_{1,\text{int}}) + \\
 & 1/4 \cdot u^2(\delta t_{2,\text{int}}) + u^2(\delta t_{\text{ut}}) + u^2(\delta t_{\text{et}}) \quad (14)
 \end{aligned}$$



$$u^2(h_{ref}) = \frac{1}{4} \cdot [u(h_1) + u(h_2)]^2 + \frac{1}{4} \cdot [u(\delta h_{c1}) + \delta h_{c2}]^2 + \frac{1}{4} \cdot [u(\delta h_{1,res}) + u(\delta h_{2,r})]^2 + \frac{1}{4} \cdot u^2(\delta h_{d1}) + \frac{1}{4} \cdot u^2(\delta h_{d2}) + \frac{1}{4} \cdot u^2(\delta h_{1,mi}) + \frac{1}{4} \cdot u^2(\delta h_{2,mi}) + \frac{1}{4} \cdot u^2(\delta h_{1,int}) + \frac{1}{4} \cdot u^2(\delta h_{2,int}) + u^2(\delta h_{ut}) + u^2(\delta h_{et}) \quad (15)$$

Para calcular la incertidumbre de la corrección, se aplica la ley de propagación de incertidumbres en la ecuación (1) según lo indicado en la referencia [2], obteniéndose:

$$u^2(C_t) = u^2(t_{ref}) + u^2(t_x) + u^2(\delta t_{x,res}) + u^2(\delta t_h) + u^2(\delta t_{un}) + u^2(\delta t_{x,mi}) \quad (16)$$

$$u^2(C_h) = u^2(h_{ref}) + u^2(h_x) + u^2(\delta h_{x,res}) + u^2(\delta h_h) + u^2(\delta h_{un}) + u^2(\delta t_{x,mi}) \quad (17)$$

En este caso las variables no están correlacionadas y los coeficientes de sensibilidad al cuadrado son todos iguales a 1. Los términos $u(t_x)$ y $u(h_x)$, en general no se consideran, ya que no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración. Los términos $u^2(t_{ref})$ y $u^2(h_{ref})$ son los obtenidos en las ecuaciones (11) y (12). De los términos $u(\delta t_h)$ y $u(\delta t_r)$ [$u(\delta h_h)$ y $u(\delta h_r)$] aparecerá sólo uno según aplique (ver Anexo 2).

ANEXO 2

EJEMPLO NUMÉRICO

Incertidumbre del sistema de calibración:

El sistema de calibración utilizado consta de:

- 1) Dos termohigrómetros digitales de precisión con sensores de resistencia de platino y de impedancia para temperatura y humedad relativa, respectivamente. Los instrumentos proporcionan las lecturas directamente en °C y %hr, resolución R igual a 0,01 °C y 0,1 %hr.
- 2) Las incertidumbres de calibración del instrumento, U , son de 0,05 °C y 1,0 %hr para $k=2$. Estas incertidumbres incluyen la histéresis y la repetibilidad de los sensores de temperatura y humedad. El error por interpolación a una recta en los resultados en el



certificado de calibración es despreciable frente a la incertidumbre de calibración para el termómetro y es de $\pm 0,3$ %hr para el higrómetro. Las correcciones a los patrones en el certificado de calibración se aplican a las lecturas de los mismos y no se incluyen en la incertidumbre. No se consideran magnitudes de influencia sobre el termómetro. En el caso del higrómetro se considera un término de 0,2 %hr debido al coeficiente de temperatura de la indicación de humedad.

- 3) La deriva, d , se obtiene de los históricos de las calibraciones del instrumento y es de 0,03 °C y 1,0 %hr, respectivamente.
- 4) Un generador de humedad portátil con control de temperatura y humedad en el margen de (10 a 40) °C y (10 al 90) %hr. La estabilidad es de $\pm 0,06$ °C y $\pm 0,50$ %hr. La uniformidad en el peor de los casos es de 0,12 °C y 1,0 %hr, respectivamente.

Con estos datos se elabora una tabla de incertidumbres como se recomienda en [2] teniendo en cuenta todas las variables que intervienen en las ecuaciones (7) y (8). Las correcciones de temperatura y humedad se han considerado iguales a cero (aunque no lo sean sus incertidumbres) ya que no se hacen correcciones a las lecturas de los patrones por estas causas. Como no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración, no se consideran $u(t_1)$, $u(t_2)$, $u(h_1)$ y $u(h_2)$.

Los resultados obtenidos son:

t_{11} / t_{12}	t_{x1}	t_2
23,04	23,2	23,04
22,96	23,2	

h_{11} / h_{12}	h_{x1}	h_2
49,7	51	50,2
50,3	51	



Incertidumbre de la calibración:

El termohigrómetro que se va a calibrar es:

- 1) Un termohigrómetro digital de resolución $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1 \%hr en el margen de $(10\text{ a }40)\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $(10\text{ a }90)\text{ \%hr}$.

Con estos datos se elabora una tabla de incertidumbres como se recomienda en [2] teniendo en cuenta todas las variables que intervienen en las ecuaciones (9) y (10) y utilizando los valores de $u(t_{\text{ref}})$ obtenido en la tabla 3. Las correcciones de temperatura y humedad se han considerado iguales a cero (aunque no lo sean sus incertidumbres). Como no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración, no se consideran $u(t_x)$, $u(h_x)$. La estabilidad del instrumento durante la calibración se ha estimado en base a la repetición del punto al 50 \%hr tras haber completado la calibración, siendo la diferencia obtenida de $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y de $1,0\text{ \%hr}$, que se ha incluido como $u(t_r)$ y $u(h_r)$, respectivamente.

Dada la naturaleza de la obtención de las estimaciones de incertidumbre (tipo B), los grados efectivos de libertad son suficientemente altos para aconsejar un factor de cobertura, k , igual a 2,0 en todos los casos indicados.



Tabla 3: Ejemplo de incertidumbre del sistema de calibración (temperatura)

Magnitud X_i	Valor estimado X_i	Incertidumbre típica $u(X_i)$	Distribución de Probabilidad	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contrib. a la incertid. $c_i \cdot u_i(X_i)$
t_1	23,00	-	-	$\frac{1}{2}$	-
t_2	23,04	-	-	$\frac{1}{2}$	-
δt_{c1}	0	0,025	normal	$\frac{1}{2}$	0,013
δt_{c2}	0	0,025	normal	$\frac{1}{2}$	0,013
δt_{d1}	0	0,017	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,009
δt_{d2}	0	0,017	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,009
$\delta t_{1,res}$	0	0,003	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,001
$\delta t_{2,res}$	0	0,003	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,001
$\delta t_{1,mi}$	0	0,000	-	$\frac{1}{2}$	0,000
$\delta t_{2,mi}$	0	0,000	-	$\frac{1}{2}$	0,000
$\delta t_{1,int}$	0	0,006	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,003
$\delta t_{2,int}$	0	0,006	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,003
δt_{et}	0	0,017	rectangular	1	0,017
δt_{ut}	0	0,035	rectangular	1	0,035
t_{ref}	23,02			$u(t_{ref})=$	0,045



**Tabla 4: Ejemplo de incertidumbre de la corrección
(temperatura)**

Magnitud X_i	Valor estimado X_i	Invertid. típica $u(X_i)$	Distribución de Probabilidad	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contrib. a la incert. $c_i \cdot u_i(X_i)$
t_x	23,2	-	-	-	-
$\delta t_{1,res}$	0	0,02 9	rectangular	-1	-0,029
$\delta t_{1,mi}$	0	0,00 0	-	-1	0,000
δt_r	0	0,00 6	rectangular	-1	-0,006
t_{ref}	23,02	0,04 5	normal	1	0,045
C	-0,18			$u(C_t) =$	0,053
				$U = k \cdot u(C_t) =$	0,11

NOTA: Valores en grados Celsius (°C)



Tabla 5: Ejemplo de incertidumbre del sistema de calibración (humedad)

Magnitud X_i	Valor estimado X_i	Incertidumbre típica $u(X_i)$	Distribución de Probabilidad	Coficiente de sensibil. C_i	Contrib. a la invertid. $C_i \cdot u_i(X_i)$
h_1	50,0	-	-	$\frac{1}{2}$	-
h_2	50,2	-	-	$\frac{1}{2}$	-
δh_{c1}	0	0,50	normal	$\frac{1}{2}$	0,25
δh_{c2}	0	0,50	normal	$\frac{1}{2}$	0,25
δh_{d1}	0	0,58	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,29
δh_{d2}	0	0,58	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,29
$\delta h_{1,res}$	0	0,03	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,01
$\delta h_{2,res}$	0	0,03	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,01
$\delta h_{1,mi}$	0	0,12	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,06
$\delta h_{2,mi}$	0	0,12	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,06
$\delta h_{1,int}$	0	0,17	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,09
$\delta h_{2,int}$	0	0,17	rectangular	$\frac{1}{2}$	0,09
δh_{et}	0	0,14	rectangular	1	0,14
δh_{ut}	0	0,29	rectangular	1	0,29
h_{ref}	50,1			$u(h_{ref})=$	0,65



**Tabla 6: Ejemplo de incertidumbre de la corrección
(humedad)**

Magnitud X_i	Valor estimado X_i	Incertidumbre típica $u(X_i)$	Distribución de Probabilidad	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contrib. a la incert. $c_i \cdot u_i(X_i)$
h_x	51	-	-	-	-
$\delta h_{1,res}$	0	0,29	rectangular	-1	-0,29
$\delta h_{1,mi}$	0	0,58	-	-1	-0,58
δh_r	0	0,58	rectangular	-1	-0,58
h_{ref}	50,1	0,65	normal	1	0,65
C_h	-0,9			$u(C_h)=$	1,08
				$U=k \cdot u(C_h)=$	2,2

NOTA: Valores en porcentaje de humedad relativa (%hr)

