



Laboratorio de presión de
AEMET, en el Parque del
Retiro de Madrid

El Laboratorio de Calibración de AEMET

FORTUNATO MÁRQUEZ ORTEGA, CARMEN CALDERÓN PÉREZ. AEMET, MADRID

Introducción

El Laboratorio de Calibración es un servicio que pertenece al Área de Operación de las Redes de Observación, dentro del Departamento de Infraestructura y Sistemas de AEMET. Su trabajo puede dividirse en dos partes:

Una parte más general, que consiste en la elaboración de la documentación del Manual de Confirmación Metrológica, y en el seguimiento del Plan Anual de Confirmación Metrológica, en particular de los equipos pertenecientes a la Red Aeronáutica.

Y una parte más específica y propia de un laboratorio de calibración, como es la realización de las calibraciones de los patrones de las Unidades de Sistemas Básicos (SSBB) de los Centros Meteorológicos y de algunos equipos de la Red de Observación de AEMET.

Manual de Confirmación Metrológica

Dentro de las actuaciones emprendidas por la AEMET para la obtención del certificado de proveedor de servicios meteorológicos para la navegación aérea en España, según los reglamentos del Cielo Único, el Laboratorio de Calibración ha elaborado junto al Centro de Coordinación del Mantenimiento el Manual de Confirmación Metrológica de los equipos aeronáuticos de observación meteorológica, en base a la norma "ISO 10012: 2003 Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición", que constituye un modelo de gestión de los procesos metrológicos de una organización.

La entrada de un sistema de gestión de las mediciones son los requisitos de medición, establecidos en función de las necesidades del proceso de medición. Un aspecto importante de la ISO 10012 es que se centra en la finalidad de ese proceso, más que en el propio equipo de medición. A estos requisitos se les denomina genéricamente RMC (Requisitos Metrológicos del Cliente) y se basan en requisitos del cliente, de la organización o en requisitos legales y reglamentarios. Los equipos quedarán o no confirmados en función del cumplimiento de los requisitos fijados, y no en función de sus especificaciones técnicas. De este Manual se puede destacar:

► **Procedimiento:** recoge todas Unidades implicadas en el proceso de confirmación metrológica y establece sus responsabilidades.

► **Programa:** recoge los elementos (equipos de medición, fabricante, modelo), operaciones del proceso de confirmación metrológica a que están sujetos, instrucciones técnicas a aplicar, responsables de su aplicación, intervalos de confirmación y requisitos metrológicos establecidos, tanto para equipos de la Red Aeronáutica como para los patrones utilizados para su verificación.

► **Plan anual:** programación de las actividades a realizar sobre cada uno de los equipos de medición de cada aeropuerto. La realizan las SSBB para los aeródromos de su demarcación en coordinación con el Laboratorio de Calibración.

► **Instrucciones técnicas,** destinadas principalmente al personal de las SSBB, para el mantenimiento, ajuste y verificación in situ de los equipos de medición: barotransmisores, sistema de temperatura y humedad, interfaces, visibilímetros (transmi-

El Laboratorio de Calibración de AEMET

sómetros y dispersómetros), nefobasímetros y sensores de velocidad y dirección del viento.

► **Formatos**, a partir de los cuáles se generan los registros, certificados de verificación de los equipos de medición.

► **Controles entre calibraciones/verificaciones:** patrón de temperatura y humedad de las SSBB, barotransmisores, viento (velocidad y dirección).

► **Procedimientos de calibración en laboratorio:** patrones SSBB (presión, temperatura y humedad, calibradores multifunción y multímetros) y sondas de temperatura y humedad.

► **Instrucciones de seguimiento:** operaciones de mantenimiento preventivo y correctivo, control de la empresa.

► **Instrucciones de seguimiento:** verificación y calibración de equipos. Cálculo de indicadores de cumplimiento de requisitos metrológicos (global, por magnitud, por fabricante y modelo) y de cumplimiento del Plan Anual por parte de las SSBB y del Laboratorio de Calibración.

Las SSBB tienen, entre otras muchas responsabilidades, el mantenimiento y control metrológico de los equipos de su demarcación, y son sus técnicos los encargados de realizar *in situ* el mantenimiento, ajuste y verificación de la mayor parte de los equipos. Para realizar el mantenimiento de los equipos además se cuenta con el personal de las Oficinas Meteorológicas en aeropuertos y bases aéreas, que realizan tanto mantenimientos preventivos (junto a las SSBB) como una primera actuación en el caso de averías de los equipos.

El reglamento de ejecución (UE) N° 1035/2011 de la Comisión de 17 de octubre de 2011 establece requisitos comunes para la prestación de servicios de navegación aérea. En su Anexo 1 se establece como requisito general la "Competencia y Capacidad Técnica y Operativa: Los proveedores de servicios de navegación aérea deberán ser capaces de prestar servicios de forma segura, eficaz, continuada y sostenible, que se ajusten a un nivel razonable de demanda general en un espacio aéreo determinado. Para ello mantendrán la experiencia y la competencia técnica y operativa adecuadas."

El reglamento (UE) N° 73/2010 de la Comisión de 26 de enero de 2010 establece requisitos relativos a la calidad de los datos aeronáuticos y la información aeronáutica para el cielo único europeo. Aquí se indica: "El examen de la situación actual ha puesto de manifiesto que los requisitos de calidad en relación con los datos aeronáuticos no siempre se cumplen en el ámbito de la EATMN, en particular los relativos a exactitud e integridad." (EATMN: Red Europea de Gestión del Tránsito Aéreo).

Las incertidumbres requeridas en las observaciones meteorológicas para la aeronáutica figuran en el Adjunta del Anexo III de OACI (Servicio Meteorológico para la Navegación Aérea Internacional). En concreto figura la "precisión operacionalmente deseable de la medida u observación".

Por todo lo anterior, en el plan empresarial se establece como una de las dos estrategias con carácter prioritario, en la prestación de servicios a la navegación aérea de la AEMET, la estrategia EA.1 Suministro de servicios de alto nivel de calidad a la navegación aérea. Esta prestación de servicios está certificada

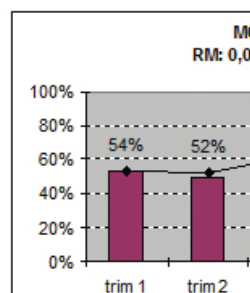
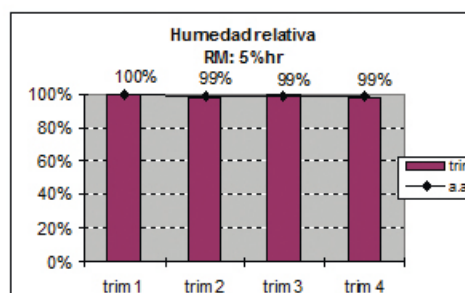
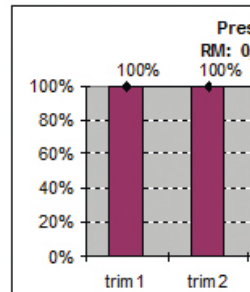
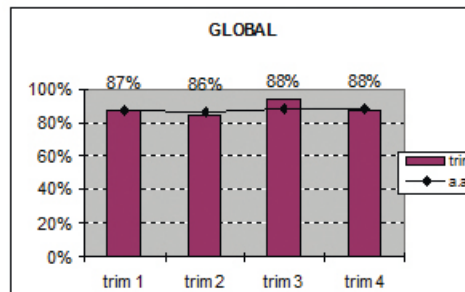
según la ISO 9001:2008, y en relación a esta estrategia se contempla que la mejora de los servicios aeronáuticos estará orientada, entre otras cosas, a "mejorar la calidad de los datos procedentes de los sistemas de observación meteorológica en los aeródromos". Con este motivo uno de los objetivos operativos se establece en relación al cumplimiento de los requisitos metrológicos en las verificaciones en los aeródromos y existen distintos proyectos que permitan alcanzar el objetivo fijado.

Resumen del trabajo realizado por las Unidades SSBB.-

A continuación se ofrece un resumen del trabajo realizado y de los resultados obtenidos durante el año 2012 en relación a la Red Aeronáutica:

- 111 verificaciones *in situ* de barotransmisores.
- 183 verificaciones *in situ* del sistema de medida de temperatura y humedad.
- 131 verificaciones *in situ* de interfaces de temperatura y humedad.
- 246 verificaciones de visibilímetros (transmisómetros y dispersómetros).
- 76 ajustes de nefobasímetros.
- 60 calibraciones en el laboratorio de sondas de temperatura y humedad.
- 14 calibraciones en el laboratorio de patrones de trabajo de presión de las SSBB.
- 14 calibraciones en el laboratorio de patrones de trabajo de temperatura y humedad de las SSBB.

Figuras 1.- Indicadores de cumplimiento de requisitos metrológicos (Gráficos de verificaciones "in situ" y de control entre calibraciones de los patrones de temperatura y humedad relativa de las unidades de sistemas básicos de AEMET)



El Laboratorio de Calibración de AEMET



su demarcación, verificaciones que forman parte de su proceso de confirmación metrológica. El equipo utilizado como patrón itinerante es un termohigrómetro digital. Consta de una sonda de temperatura y humedad y de un indicador, que convierte las señales analógicas de la sonda en valores digitales. El sensor de temperatura es una resistencia de platino, mientras que el sensor de humedad es de tipo capacitivo.

El patrón de temperatura del Laboratorio de Calibración es un termómetro digital formado por dos sondas Pt 100, un selector de canales y un puente de resistencias que es el equipo de lectura (ver Figs 3).

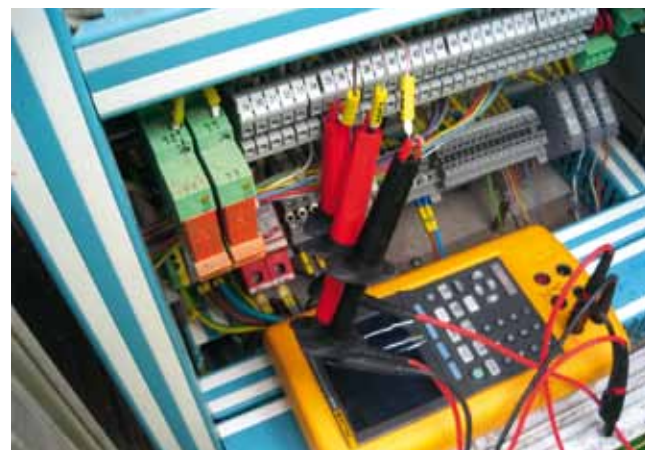
Las calibraciones se realizan con los patrones de temperatura y humedad del Laboratorio de Calibración, en la cámara de un generador de humedad de dos presiones, que proporciona la temperatura y humedad nominales de la calibración. En este medio isoterma se crea un volumen útil con una uniformidad y estabilidad, tanto en temperatura como en humedad, previamente evaluado y caracterizado en las condiciones de uso.

El equipo de lectura tiene implementadas las ecuaciones de la EIT-90 (ecuación de la temperatura como función del cociente entre la resistencia a una temperatura dada y la resistencia en el punto triple del agua, y función de desviación, que relaciona esos cocientes establecidos en la EIT-90 con los realizados por las sondas), mientras que en el selector de canales se introducen los coeficientes de calibración en los canales correspondientes. Estos coeficientes son las dos constantes de la función de desviación y la resistencia de la sonda en el punto triple del agua, que se obtienen del certificado de calibración de cada sonda.

Las sondas de temperatura se calibran en el Laboratorio de Termometría del Centro Español de Metrología (CEM) con una incertidumbre expandida para un nivel de confianza de aproximadamente el 95% ($k = 2$) en torno a 0,02 °C. El puente de re-

sistencias se calibra en el Laboratorio de Resistencia eléctrica en CC del CEM, con una incertidumbre expandida en torno a 0,004 Ω (0,01 °C).

El patrón de humedad es un higrómetro óptico de punto de rocío. El aire circula, ayudado por un pequeño ventilador, desde la cámara hasta la cabeza del higrómetro, donde se encuentra situado el espejo en el que se forma el condensado, ya sea rocío o escarcha. Con un fotodetector se constata la aparición o desaparición del condensado en el espejo, siendo sus señales procesadas por un controlador Peltier, que mantiene el espejo a una temperatura a la que se origina el condensado. La temperatura del espejo es medida por una pequeña Pt 100 que se encuentra en su interior. El higrómetro se calibra en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), con una incertidumbre expandida en torno a 0,15 °C.



B. Calibraciones en electricidad

El multímetro patrón del Laboratorio de Calibración de la AEMET permite medir con gran exactitud (7 ½ , 8 ½ dígitos) diversas variables eléctricas. Es nuestra referencia para las medidas de voltaje, resistencia y frecuencia.

Con él se calibran los calibradores multifunción y los multímetros digitales usados por todas las unidades de sistemas básicos.

C. Calibraciones en presión

El laboratorio de presión de AEMET, fue instalado en el año 1989. Desde ese año disponemos como patrón de referencia de una balanza de presión, también llamada de pesos muertos.

En el laboratorio trabajamos con dos tipos de patrones: de referencia y de trabajo.

■ Patrón de referencia: patrón secundario cuyo valor queda fijado por comparación directa con un patrón primario. Con él, se comparan otros patrones de menor precisión.

■ Patrón de trabajo: Calibrado con un patrón de referencia, verifica instrumentos ordinarios de medida que tienen menor precisión que él.

Con éstos calibramos entre otros equipos los patrones itinerantes usados por todas las unidades de sistemas básicos y utilizados entre otras tareas para la verificación *in situ* de los barotransmisores de todos los aeródromos.

■ Patrón itinerante: es un patrón de trabajo, transportable, que puede ser llevado de un lugar a otro manteniendo su precisión.



Figuras 5.- Patrón de referencia del laboratorio de presión (con campana y sin ella).



En presión estamos trazados al CEM, Centro Español de Metrología, que tiene el patrón nacional de presión, es decir, el patrón primario con el que se calibra nuestro patrón de referencia.

C.1 Patrón de referencia del laboratorio de Presión

Trabajamos en modo absoluto en el rango de 15 a 1300 hPa. La presión absoluta es la presión medida cuando la referencia es el vacío. Por eso tenemos que aislar las masas con la campana.

La balanza de presión está basada en el equilibrio de las fuerzas que intervienen, que básicamente son dos, el peso de las masas por encima del pistón cilindro y el empuje del fluido desde abajo.

Consiste en un pistón vertical que se desplaza libremente en el interior de un cilindro. Los dos elementos, el pistón y el cilindro, definen una superficie llamada área efectiva. Ésta es un área ficticia calculada en el laboratorio de presión del CEM, bajo unas condiciones específicas.

La fuerza se aplica mediante masas calibradas, que se colocan por encima del pistón de área efectiva. Estas masas están calibradas en el laboratorio de masa del CEM.

La presión se transmite al elemento móvil por un fluido que actualmente es aire seco.

La fórmula que aplicamos en el laboratorio teniendo en cuenta la corrección hidrostática y expresándola en hPa es:

$$P_{gen} = P_R + \frac{M \cdot g_l \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_M}\right)}{A_0 \cdot (1 + \alpha(t - t_0)) (1 + \lambda \cdot P_N)} \cos \Phi \cdot 10^{-2} + \rho_{gas} g_l \Delta h \cdot 10^{-2}$$

donde:

P_R : Presión residual en la campana, en hPa.

M : Masa total colocada en la balanza patrón, en kg; incluye la masa del pistón-cilindro y las masas que se colocan sobre éste. Al trabajar en modo absoluto tenemos que introducir el valor de masa verdadero y no el de masa convencional.

g_l : Valor de la gravedad local, en m/s².

ρ_a : Densidad del aire, kg/m³.

ρ_M : Densidad de las masas, kg/m³.

ρ_{gas} : Densidad del aire seco, kg/m³.

A_0 : Área efectiva del conjunto pistón cilindro a presión nula y temperatura de referencia, en m².

α : Coeficiente de dilatación térmica del sistema P/C, en 1/°C.

t : Temperatura del conjunto pistón cilindro durante su utilización, en °C.

t_0 : Temperatura de referencia del conjunto P/C. Es la temperatura a la que fue calibrado, en °C.

Φ : Ángulo del eje pistón/cilindro respecto del eje vertical.

Δh : Diferencia de altura entre el nivel de referencia de la balanza y el nivel de referencia del equipo a calibrar.

El vacío residual en la campana, P_R , es un término que influye mucho en el cálculo de la incertidumbre final, con lo que

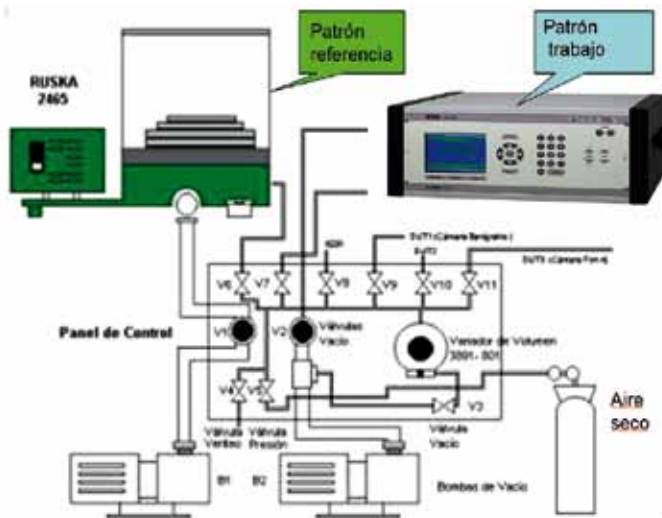
El Laboratorio de Calibración de AEMET

al generar los distintos puntos de presión tendremos que tener mucha estabilidad dentro de la campana.

C.2 Patrón de trabajo del laboratorio de Presión

Con la balanza descrita en el epígrafe anterior calibramos el patrón de trabajo del laboratorio. El sensor del patrón de trabajo es un tubo de cuarzo helicoidal, siendo el cuarzo empleado de gran pureza.

Cuando hay una presión diferencial cero entre los extremos del tubo helicoidal, las fotocélulas suministran, en forma de corriente una energía que mantiene el montaje de cuarzo en su posición cero.



Figuras 6.- Esquema del laboratorio de presión, sensor de cuarzo helicoidal del patrón de trabajo, patrón de trabajo y patrón itinerante.

Si el sistema no está en equilibrio, el módulo del sensor responde cambiando la corriente en el conjunto de la bobina electromagnética hasta que el tubo de cuarzo vuelve a su posición de equilibrio. Este sensor va incorporado dentro del patrón de trabajo.

El esquema de la instalación del laboratorio está descrito en la figura 6.

Los puntos se generan haciendo el vacío, para ello tenemos dos bombas, una conectada a la balanza y otra conectada al patrón de trabajo y por otro lado, metiendo gas en el circuito.

C.3 Patrón itinerante

Los patrones itinerantes son calibrados en el laboratorio con el patrón de trabajo. Las Unidades de Sistemas Básicos verifican con ellos los barotransmisores manteniéndose la cadena de trazabilidad al patrón nacional.

D. Calibraciones de barómetros de mercurio y barógrafos

Actualmente solo se calibran equipos electrónicos, pero en el pasado se hicieron trabajos de comparación con los barómetros de Mercurio de tipo Tonnelot

También se disponía de una cámara especial para los barómetros de mercurio de tipo Fortín y de una cámara para calibrar los barógrafos o altímetros que no tuvieran toma neumática externa (ver figs 7).



Figuras 7.- Barómetros de tipo Tonnelot, cámara barométrica para barómetros de tipo Fortín y cámara barométrica para barógrafos y altímetros.