

## Transformación digital aplicada la caracterización in situ de medios isotermos de temperatura y humedad

T. Vicente Mussons, P. Hernández Matas, R. Benyon Puig, F. Conde García, J. Higuera Sánchez y G. Elvira Nuñez

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial “Esteban Terradas” (INTA), Centro de Metrología y Calibración. Ctra. Ajalvir, km 4, 28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)

**RESUMEN:** Se presenta la aplicación en el INTA de una herramienta software en la cual el INTA participó en el diseño y desarrollo de los algoritmos para la identificación automática, de los periodos de estabilización de los parámetros físicos medidos en base a criterios de aceptación definidos y la aplicación de análisis matemático y estadístico para la interpretación de los resultados obtenidos. Se presenta la nueva operativa implantada como innovación en el servicio que ofrece el laboratorio a sus clientes y que permite al propio cliente mejorar la eficiencia de sus procesos de producción. Esta operativa permite la calibración remota de instalaciones térmicas del Instituto en los distintos emplazamientos a nivel nacional, sin necesidad de desplazar a los técnicos de calibración, con el consiguiente incremento de eficiencia en el uso de recursos humanos y ahorro en costes.

### 1. INTRODUCCIÓN

Tras la integración en el INTA de los diferentes organismos y centros de investigación del Ministerio de Defensa [1], el INTA cuenta con tres campus tecnológicos principales, en los alrededores de Madrid (Torrejón de Ardoz, El Pardo y La Marañosa), cuatro centros de ensayos principales en León (Cuadros), Lugo (Rozas), Huelva (Arenosillo) y Cádiz (Torregorda), además de un hangar para ensayos en el aeropuerto de Granada. Además, cuenta con una estación espacial propia, en Maspalomas, Gran Canaria y gestiona las estaciones espaciales internacionales situadas en territorio español, pertenecientes a NASA (Robledo de Chavela) y ESA (Cebrenos y Villafranca del Castillo), representados en la **Fig. 1**.



**Fig. 1** El INTA tras la integración de centros tecnológicos

El Centro de Metrología y Calibración del INTA (CMYC), asume el reto de satisfacer las necesidades de metrología y calibración del Instituto, de forma transversal, dando servicio de metrología e ingeniería de medida a la nueva configuración del INTA. Es el responsable de la gestión integral del plan de calibración del Instituto. Este año cumple 50 años como laboratorio de calibración acreditado (primero en España). Está acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) para la realización de las calibraciones indicadas en el alcance de acreditación [2] conforme a la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 [3]. Dentro de las capacidades de medida y calibración (CMC) del Anexo Técnico de la acreditación, se incluye la caracterización in situ de medios isotermos: baños de temperatura, cámaras climáticas, salas climatizadas, estufas, hornos, incubadoras, arcones congeladores, neveras y arcones conservadores y autoclaves industriales distintos de los de esterilización.

Las cámaras climáticas y otros medios isotermos no son estrictamente un instrumento calibrable como tal. Su propósito es proporcionar un "ambiente" homogéneo en el que se realizan ensayos o calibraciones por comparación de instrumentos de medida de temperatura y/o humedad. Son un medio auxiliar, equiparable en cierta medida con las condiciones ambientales de un laboratorio y su efecto sobre un instrumento calibrado.

Esta homogeneidad se puede caracterizar mediante el estudio de la uniformidad y estabilidad del medio durante el proceso de medida. Estos valores dependerán de las propiedades termofísicas del medio en las condiciones de medida, principalmente la conductividad térmica, la viscosidad y el método de control y transferencia de calor empleado.

La estabilidad (de temperatura/humedad), es la variación temporal de la temperatura medida en la zona útil en un periodo de tiempo adecuado a la utilización del medio isoterma, teniendo en cuenta la constante de tiempo de los patrones, instrumentos y las características de la carga. Se cuantifica mediante la obtención de la desviación típica de las lecturas de los patrones. La uniformidad (de temperatura): Es el semi-intervalo de la diferencia máxima entre los valores medios de temperatura medida por cualquiera de los patrones durante el proceso de calibración, ubicados en el volumen útil del medio isoterma.

Estas propiedades tienen una dependencia manifiesta con la temperatura y la humedad por lo que es necesario realizar la caracterización del medio en todo su margen de uso y en las condiciones reales del mismo, incluyendo la carga.

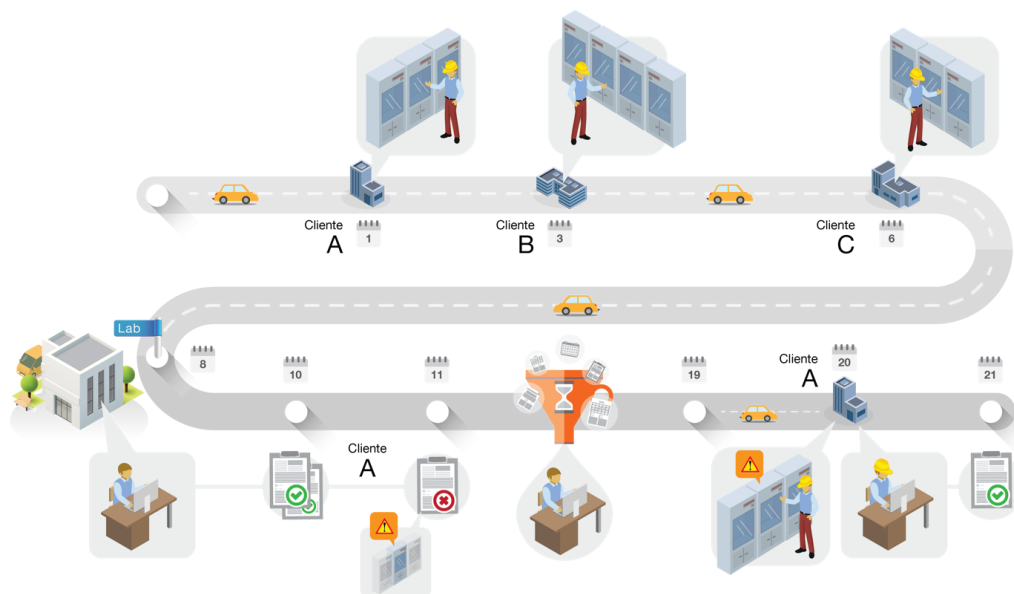
La caracterización de medios isotermos se realiza in situ de acuerdo con los procedimientos establecidos por el Laboratorio [4][5] y de acuerdo con la nota técnica de ENAC aplicable [6]. Requiere el uso de un sistema de registro de temperatura con al menos nueve sensores de resistencia de platino y un higrómetro de punto de rocío. Así mismo, se requiere diverso material auxiliar para la ejecución de los trabajos.

En la ejecución clásica de estas calibraciones se requiere el desplazamiento de los técnicos y el enfoque manual de análisis que emplean los laboratorios en la actualidad, para analizar grandes cantidades de datos, estando limitados por la propia funcionalidad de las herramientas que se utilizan (hojas de cálculo y bases de datos incluidas en paquetes de ofimática y software propio que han ido adaptando los propios técnicos a lo largo de varios años). Esto requiere una carga de recursos humanos especializados que eleva el coste y hace que sea difícil el cumplimiento de los plazos de entrega requeridos por el cliente (interno o externo) y

generalmente tiene asociada una demora entre la ejecución de los trabajos técnicos de medida, previos al análisis y la entrega al cliente del informe de resultados. Esta demora llega con frecuencia a ser de hasta 20 veces el tiempo dedicado al ensayo o calibración. Por ejemplo, en el caso de la caracterización de una instalación térmica aeronáutica con ensayo de uniformidad (TUR), ejecutado en una jornada, se tarda de media, cuatro semanas en entregar el informe.

Esto no es solo debido al tiempo necesario para el análisis y elaboración del informe, sino a que el técnico especializado debe seguir llevando a cabo medidas sin poder pausar para hacer su análisis, evaluación y preparación del informe final de resultados. Se produce un cuello de botella que retrasa la finalización del servicio por el cúmulo de datos pendientes de análisis y resultados. Esto tampoco se resuelve con el incremento de plantilla de técnicos especializados, no solo porque no es asumible a nivel de coste, sino que, con la variabilidad de procedimientos de calibración y ensayo, no se puede cubrir todas las competencias técnicas necesarias para la evaluación de medidas.

La **Fig. 2** muestra un ciclo típico de medidas en varios clientes y posterior análisis a la vuelta al laboratorio permanente, donde se puede descubrir que alguna de las medidas no es satisfactoria y se tiene que repetir parte del trabajo.



**Fig. 2 Ejemplo tradicional de caracterización in situ de medios isotermos**

A mediados de 2016, la nueva dirección del CMYC, consciente del nuevo enfoque que traería la nueva versión de la ISO 17025 [3], con énfasis en el uso de las tecnologías de la información como medio para asegurar el cumplimiento de los requisitos de la norma, se embarcó en el primer paso de la transformación digital del CMYC [7][8]. En el siguiente apartado se describe la casuística adoptada en el caso de la caracterización de medios isotermos de temperatura y humedad.

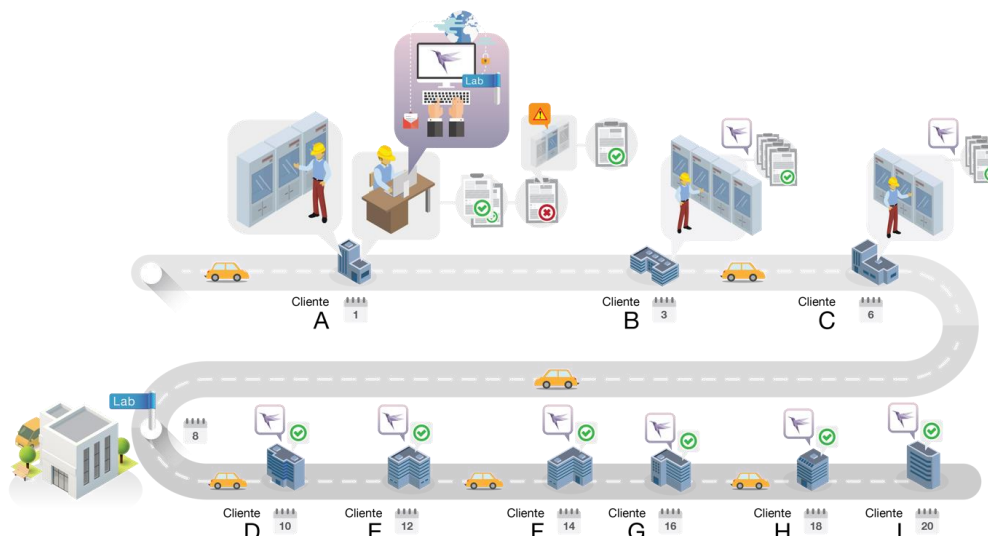
## 2. DESARROLLO, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.1 Caracterización avanzada de cámaras climáticas

En noviembre de 2016 se comenzó a trabajar en una propuesta de una empresa española de desarrollo de software, en el marco del Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) cofinanciado por el fondo europeo de desarrollo regional (FEDER), con una duración de 24 meses, que culminó a finales de 2018 [9]. Se partió de la versión existente del software WHITESTONE Calibry [10], diseñado para la gestión del equipamiento de laboratorios de calibración y ensayo, pensada principalmente para pequeñas y medianas empresas que ofrecen sus servicios de calibración a numerosos clientes industriales dentro de un entorno clásico de laboratorio.

La innovación más compleja del proyecto fue el diseño y desarrollo de los algoritmos para la identificación, de manera totalmente automática, de los periodos de estabilización de los parámetros físicos medidos en base a criterios de aceptación definidos (por ejemplo, por normativa sectorial) y la aplicación de análisis matemático y estadístico para la interpretación de los resultados obtenidos. Estos algoritmos tienen en cuenta la correlación entre magnitudes físicas y su incidencia en el resultado final de forma objetiva y concluyente.

Con esta herramienta se cambió totalmente la operativa del laboratorio porque el análisis automático permite no solo la evaluación y cálculo de los resultados, sino decidir sobre si es necesario ajustar la instrumentación asociada a la instalación térmica justo al finalizar la caracterización, y permite al cliente proceder a su puesta en servicio en el mismo momento de terminar la fase de medidas, con todas las garantías de calidad. Esto conlleva de hecho una innovación en el servicio que ofrecemos al cliente interno. La **Fig.3** muestra un ejemplo de caracterización de medios isotermos con la nueva sistemática



**Fig. 3 Ejemplo de caracterización in situ de medios isotermos con nueva sistemática**

Una de las calibraciones más demandadas en el Instituto y que es difícil de asumir con el personal disponible, es la caracterización de medios isotermos “in situ” y en especial las cámaras climáticas. Se ideó una fórmula que aprovechando el concepto de dependencia funcional y la existencia de la nueva solución software, cambiase el modelo de negocio en las calibraciones in situ.

El cambio consiste en incorporar a los técnicos de la dependencia que demanda el servicio (cliente) en nuestro sistema de calidad y cualificarles para la realización de las calibraciones con nuestro equipamiento y controlar todo el proceso de análisis y emisión de certificados desde la sede central en Torrejón de Ardoz (Madrid), amparado por nuestro expediente de acreditación ENAC [2].

Se realizó la adquisición de dos sistemas de medida compuestos por un higrómetro de punto de rocío, y un registrador de temperatura con 12 sensores de resistencia de platino y las correspondientes maletas de transporte. (ver **Fig. 4**). Estas maletas se introducen a su vez en un arcón de aluminio con material absorbente, e indicadores de impacto para su transporte. Estos equipos se calibran periódicamente en nuestro laboratorio de temperatura y humedad, con las CMC acreditadas.



**Fig. 4. Sistema de medida empleado en caracterización de cámaras climáticas**

Este equipamiento complementa a otro usado hasta la fecha con otras marcas y modelos de higrómetro y registrador de temperatura pertenecientes a las mismas familias de instrumentos, que se usan en la calibración de cámaras climáticas.

### 2.3 Ejemplo de caracterización de una cámara climática

Para ilustrar la funcionalidad se analiza en la aplicación los datos de calibración de una cámara climática. La **Fig. 5** muestra los detalles del ítem:

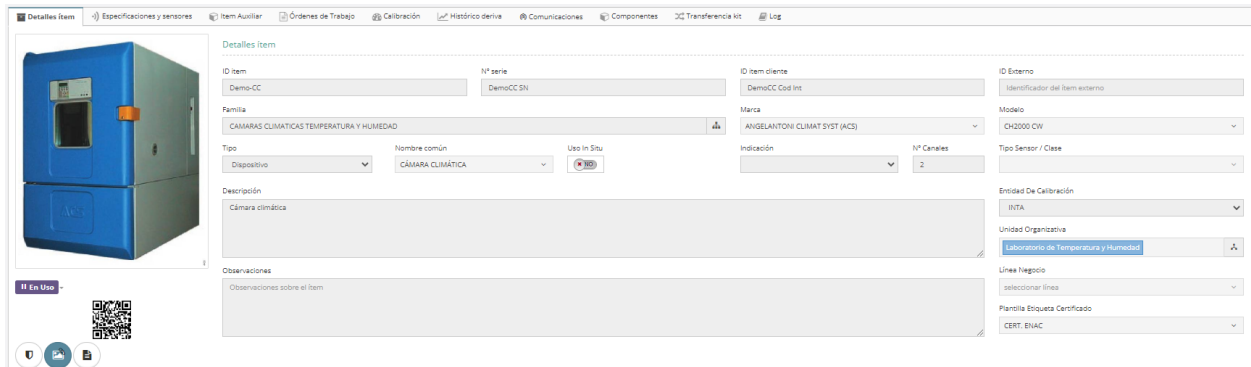


Fig. 5. Calibración de una cámara climática – detalles ítem

En la pestaña *configuración*, dentro de *calibración*, se suben los ficheros de los patrones y de la cámara climática (Fig. 6). En el caso de toma de datos local, se analizan los ficheros proporcionados por el sistema de adquisición de datos, subidos por el técnico que realiza la calibración.

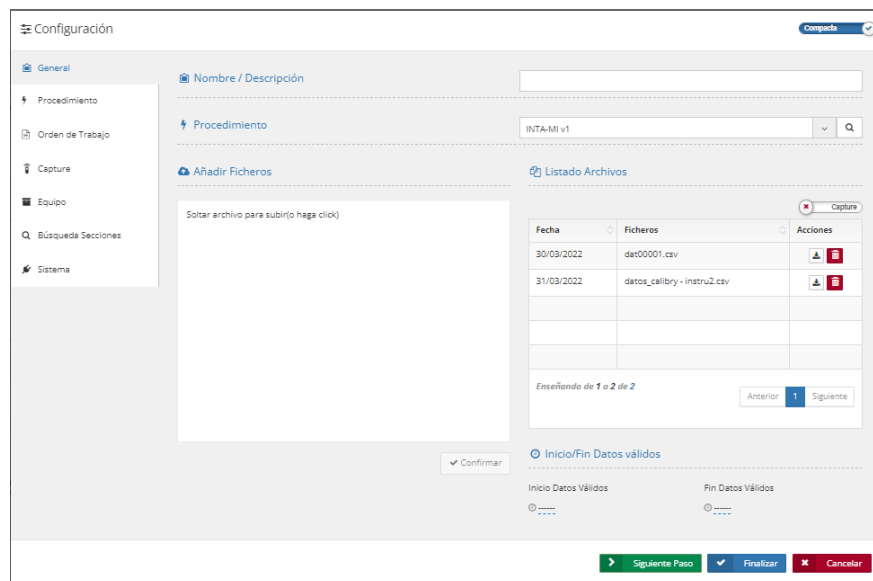


Fig. 6. Calibración de una cámara climática – configuración

Al dar al botón *siguiente paso* se obtiene la configuración del sistema de medida empleado. En la pestaña de "búsqueda secciones" se definen los criterios de búsqueda de puntos de calibración, como se muestra en la siguiente figura. Se ha habilitado el análisis de las lecturas de todos los canales para un total de 121 lecturas (Fig. 7).

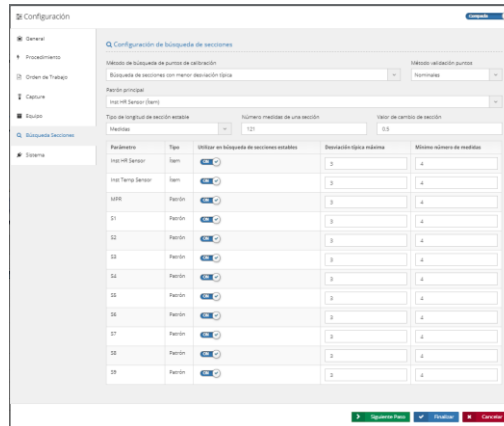


Fig. 7. Calibración de una cámara climática – búsqueda de secciones

En la pestaña sistema podemos ver los equipos empleados en la calibración (Fig. 8).

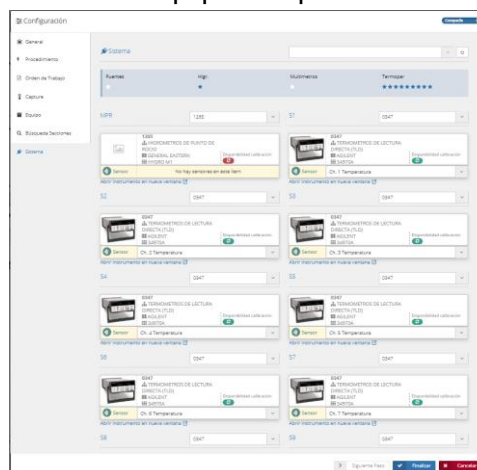


Fig. 8. Calibración de una cámara climática – sistema

En la **Fig.9** podemos ver en la pestaña *calibración*, los datos del fichero y los puntos estables detectados con 121 lecturas

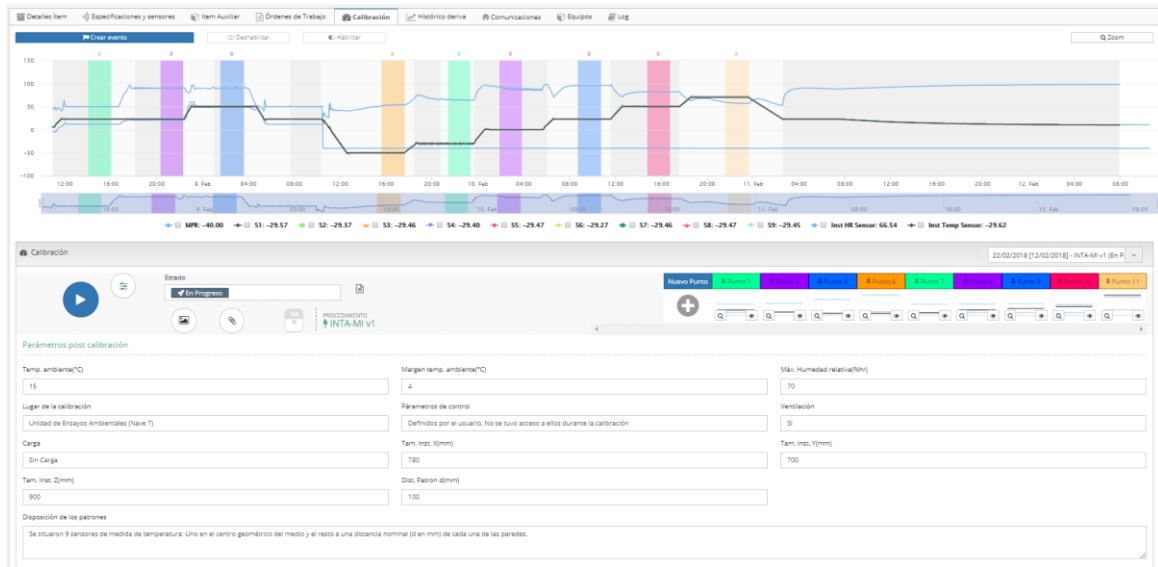


Fig. 9. Calibración de una cámara climática – calibración

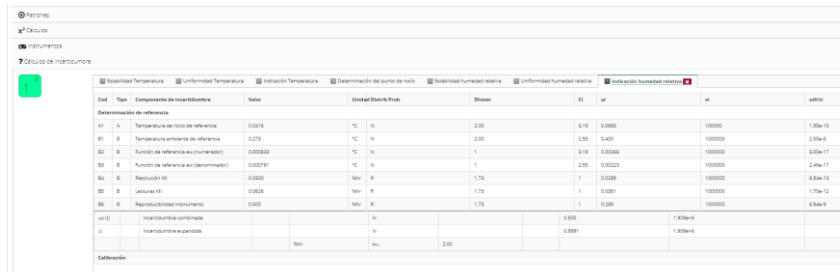
Con el cursor se puede ampliar la zona de cualquier punto y se observan en detalle las lecturas. Se pueden añadir o quitar los canales mostrados sencillamente pulsando debajo sobre el canal. Debajo en la misma figura se muestra el detalle ampliado con solo las lecturas del higrómetro de punto de rocío.



Fig. 10. Calibración de una cámara climática – nuevo punto con detalle ampliado

Al pulsar el botón “reproducir” se procede a todos los cálculos de los puntos estables. Estos se dividen en el apartado resumen en *Patrones, cálculos, instrumentos, cálculos de incertidumbre y factores de corrección*, como se ve en la Fig. 11:





Idad	Tipo	Componente de incertidumbre	Valor	Unidad	Distrib. Prob.	Divisor	U1	u1	u2	u1/u2
A1	A	Temperatura de punto de referencia	0.0016	°C	N	2.00	0.19	0.0088	100000	1.99e-10
B1	B	Temperatura ambiente de referencia	0.279	°C	N	2.00	0.40	0.0000	1000000	2.89e-9
B2	B	Función de referencia en (normalizada)	0.000000	°C	N	1	0.16	0.0000	1000000	0.00e+00
B3	B	Función de referencia en (normalizada)	0.000000	°C	N	1	0.20	0.0000	1000000	2.46e-17
B4	B	Repetibilidad	0.0000	N/A	R	1.75	1	0.0000	1000000	0.00e+00
B5	B	Leitura del instrumento	0.0000	N/A	R	1.75	1	0.0000	1000000	1.79e-12
B6	B	Repetibilidad del instrumento	0.0000	N/A	R	1.75	1	0.0000	1000000	0.00e+00
u1 (U)		Incertidumbre combinada			N		0.500			1.939e-6
u2 (U)		Incertidumbre expandida			N		0.999			1.939e-6
Calificación:										

Fig. 12. Calibración de una cámara climática – cálculo de incertidumbre

Al seleccionar en las acciones “*generar borrador*” se genera automáticamente un borrador del certificado que cumple con todos los requisitos de ENAC [6]. En la Fig. 13 se reproducen los apartados principales del certificado obtenido en versión borrador con los resultados del primer punto.



The figure displays four pages of a calibration certificate. The first page is the header with the ENAC logo and company information. The second page contains the calibration data table with columns for parameter, value, unit, distribution, and uncertainty. The third page shows the uncertainty analysis, including the combined and expanded uncertainties. The fourth page features graphical data plots showing the calibration results over time.

Fig. 13. Calibración de una cámara climática – detalle certificado

En el botón de acciones se selecciona finalizar y el certificado pasa al proceso de firmas y automáticamente sube al portal del cliente. El sistema avisa al cliente de que el certificado está disponible en el Portal. De esta manera se soluciona el problema de confidencialidad cuando se mandaban los certificados por correo electrónico.

### 3. CONCLUSIONES

Se ha presentado una de las aplicaciones de la transformación digital del Centro de Metrología y Calibración (CMYC) del INTA. Se ha presentado el nuevo enfoque del CMYC aplicado a la caracterización in situ de cámaras climáticas.

En la caracterización de medios isotermos e instalaciones térmicas, las ventajas de las funcionalidades disponibles son de elevado impacto. Gracias a los algoritmos desarrollados e implementados en la solución software, en pocos segundos, permite ofrecer gráfica y numéricamente las mesetas que mejor cumplen con los criterios de selección, que permiten tener el análisis de la calibración, incluso antes de desmontar los sensores en la cámara y haciendo disponible el certificado para la firma del responsable técnico de forma inmediata.

Esto reduce el plazo de entrega de típicamente dos semanas para el análisis a unos minutos, al no quedar deberes pendientes a la vuelta al laboratorio que se acumulan a los trabajos en curso.

Esto evita las consecuencias de errores que ocurren frecuentemente in situ al descubrir a la vuelta al laboratorio permanente que no se había esperado lo suficiente hasta alcanzar la estabilización térmica o que uno de los sensores proporciona resultados dudosos, con el considerable ahorro de costes de desplazamiento y de horas de técnico en los que se hubiese incurrido si se tiene que volver a la instalación para repetir la calibración. Todo esto cuando se usa el personal propio (para las calibraciones de clientes externos). Pero el impacto es todavía mayor en las caracterizaciones de medios isotermos del INTA, en el que no se requiere el desplazamiento de personal propio, al ser realizados los trabajos por el operario de la dependencia cliente, lo cual libera recursos del CMYC y supone un ahorro económico para el INTA, al prescindir de gastos de viaje y dietas del personal.

La adquisición de sistemas de medida adicionales ha permitido acometer calibraciones de forma simultánea en distintos emplazamientos, con total supervisión por parte de los técnicos de Torrejón con la misma plataforma conectada a la intranet del Instituto (o accesible desde cualquier acceso a internet, incluso desde dispositivos móviles corporativos), lo que incrementa la productividad, sin aumento de recursos.

Este cambio de modelo de negocio ha permitido dar un servicio óptimo sin tener que recurrir a la externalización o subcontratación por incapacidad de acometer el incremento de demanda de calibración in situ tras la integración.

El impacto en materia de imagen institucional es también importante con esta nueva sistemática y el efecto positivo sobre la motivación del personal técnico que ya no sufre por la cantidad de análisis pendientes y muy particularmente al personal de la oficina técnica que no tiene que atender las quejas de clientes.

#### 4. REFERENCIAS

- [1] Real Decreto 925/2015, de 16 de octubre, por el que se aprueba el Estatuto del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial «Esteban Terradas», BOE Nº 249 de 17 de Octubre.
- [2] Acreditación ENAC del expediente 16/LC10.007. Alcance en vigor disponible en <https://www.enac.es>. (Última consulta realizada 26/07/2022.)
- [3] UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. (Versión corregida en fecha 2018-05-09). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración
- [4] TH/PRC/7234/103/INTA Caracterización de Cámaras Ambientales de Temperatura y Humedad
- [5] TH/PRC/7234/105/INTA Caracterización “in situ” de Cámaras Ambientales e Instrumentos de Medida de Temperatura y Humedad
- [6] NT - 04 Rev. 3 Caracterización de Medios Isotermos (Diciembre 2014). Disponible en <https://www.enac.es/>
- [7] R. Benyon Puig et al “Plataforma software digital innovadora para la transformación digital a laboratorio 4.0”. 7º Congreso Español de Metrología, Ávila 27-29 de septiembre 2022.
- [8] J.M Torres Castellano, “Optimización de procesos de confirmación metrológica mediante una gestión de calidad moderna enfocada a industria 4.0.” Trabajo fin de grado. Universidad católica de Ávila. (2019).
- [9] Proyecto CDTI IDI-20170265 “Desarrollo de una aplicación software para la automatización del análisis de los cálculos de los ensayos y medidas con trazabilidad metrológica”
- [10] WHITESTONE Calibry <http://calibry.com/>