

Normalización en Metrología dimensional: certificación y acreditación. Procedimientos técnicos de calibración. Certificados de verificación vs certificados de calibración

REVISTA **MAPPING**
Vol. 22, 158, 4-12
marzo-abril 2013
ISSN: 1.131-9.100

M^a Teresa Fernández Pareja (1), Miguel C. Cortés Calvo (2), Almudena García Pablos (3)

Resumen

La elaboración y difusión de normas aplicadas a las actividades científicas, industriales o económicas con el fin de ordenarlas y mejorarlas, se realiza a través de la normalización. La tendencia actual hacia la globalización en el comercio mundial y la distribución internacional de productos manufacturados señala la importancia de la uniformidad en las mediciones con la aparición simultánea de sistemas de acreditación y de reconocimiento internacional de mediciones.

En el ámbito de los proyectos geomáticos, la metodología aplicada en la captura de datos está directamente relacionada con el instrumental que se vaya a utilizar, siendo primordial conocer las posibilidades que ofrece su utilización, así como la calidad de la medida que puede proporcionar.

La calidad de medida del instrumental geodésico se determina mediante su calibración, por lo que resulta fundamental el diseño de procedimientos apropiados y adaptados a este instrumental específico que permitan conocer, a través de los certificados de calibración emitidos por laboratorios acreditados, la calidad de medida que proporcionan los equipos y su incertidumbre asociada con trazabilidad a patrones nacionales. Los certificados o informes de verificación se limitan a indicar la repetibilidad de una medida, normalmente mediante su desviación típica, sin la exigencia de trazabilidad metrológica.

Abstract

Elaboration and diffusion of rules applied to the scientific, industrial or economic activities with the purpose of ordering and improving them, are made through the standardization. Nowadays tendency towards the globalization in world-wide commerce and the international manufactured product distribution indicates the importance of the consistency in the measurements together with the simultaneous appearance of accreditation systems and international recognition of measurements.

In the scope of Geomatics projects, the methodology applied in the data capture is directly related to the instruments that are going to be used, being fundamental to know the possibilities that its use offers, as well as the quality of the measurement that can provide.

The quality of measurement of geodesic instruments is determined by means of its calibration, reason why the design of appropriate and adapted procedures to these specific instruments is fundamental, in order to know, through certificates of calibration issued by accredited laboratories, the quality of the measurement that they provide and its associated uncertainty with traceability to national measurement standard. The certificates of verification indicate the repeatability of a measurement, normally by means of their standard deviation, without the exigency of metrological traceability.

Palabras clave: **calibración, Metrología, normalización, verificación.**

Key words: **calibration, Metrology, standardization, verification.**

(1) *Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía*
te_fer@topografia.upm.es

(2) *Allied Force Command Madrid (OTAN)*
miguelcorcal@hotmail.com

(3) *Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Física Aplicada a la Ingeniería Industrial*
almudena.garcia.pablos@gmail.com

Recepción: 12-06-2012
Aprobación: 15-07-2012

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las exigencias de calidad hacen que aumente el número de empresas y organizaciones que implantan sistemas de gestión de la calidad para el mantenimiento de su competitividad, requiriendo los servicios de las instituciones responsables de la certificación, la acreditación y la Metrología.

La globalización en el comercio mundial, la cada vez mayor complejidad de bienes y servicios, así como la preocupación por la salud, la seguridad y el medio ambiente, son cuestiones que señalan la importancia de la uniformidad en las mediciones con la aparición simultánea de sistemas de acreditación y de reconocimiento internacional de mediciones. La certificación es la confirmación de que una organización ha establecido un sistema de gestión de la calidad conforme con ciertos requisitos. La acreditación confirma la competencia técnica de un organismo de evaluación de la conformidad y garantiza la fiabilidad de sus resultados.

En el ámbito de la Geomática, la captura de datos, normalmente masiva, está relacionada directamente con el instrumental que se vaya a utilizar. Un conocimiento fiable de la calidad de medida que proporcionan los equipos, garantizará que los resultados de las mediciones realizadas son conformes a las precisiones pretendidas en el proyecto [HEN07]. La calidad de medida de los equipos geodésicos se puede determinar mediante su calibración, para lo que es necesario desarrollar procedimientos que garanticen resultados técnicamente fiables y proporcionen la incertidumbre asociada a la medida con trazabilidad a patrones nacionales.

Las organizaciones o laboratorios que emiten certificados de calibración deben avalar la calidad de las mediciones que realizan mediante la aplicación de procedimientos adecuados, garantizando que son técnicamente competentes y asegurando la trazabilidad de las medidas.

2. NORMALIZACIÓN, CERTIFICACIÓN Y ACREDITACIÓN

Los términos normalización y certificación se aplican en numerosas actividades de muy diferentes áreas, siendo importante la correcta utilización y diferenciación entre dichos términos y muy especialmente en el área de la Metrología, entendiendo ésta como la ciencia que se ocupa de los procesos de medición y su estudio, incluyendo los instrumentos que se utilizan y su calibración, y asistiendo a propósitos tanto industriales como de investigación científica. La organización metroológica mundial, que per-

La normalización, entendida como la elaboración, difusión y aplicación de normas que se aplican a actividades científicas, industriales o económicas con el fin de ordenarlas y mejorarlas está directamente relacionada con la ciencia de la Metrología

mite compartir una percepción común de lo que se entiende por una determinada magnitud, es imprescindible para poder conectar las actividades humanas por encima de las fronteras geográficas y profesionales. Por tanto, la normalización, entendida como la elaboración, difusión y aplicación de normas que se aplican a actividades científicas, industriales o económicas con el fin de ordenarlas y mejorarlas está directamente relacionada con la ciencia de la Metrología. El mismo argumento se podría considerar respecto a la certificación, concibiéndola como la acción llevada a cabo por una entidad, reconocida como independiente de las partes interesadas, mediante la que se manifiesta la conformidad, solicitada con carácter voluntario, de una determinada organización con los requisitos mínimos definidos en las normas o especificaciones técnicas. La entidad certificadora independiente mencionada es en España la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), que a su vez está acreditada por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC). AENOR está dedicada al desarrollo de la normalización y la certificación en todos los sectores industriales y de servicios.

AENOR, además de ser miembro de pleno derecho del

La certificación es la acción llevada a cabo por una entidad, reconocida como independiente de las partes interesadas, mediante la que se manifiesta la conformidad, solicitada con carácter voluntario, de una determinada organización con los requisitos mínimos definidos en las normas o especificaciones técnicas

Comité Européen de Normalisation (CEN) y del Comité Européen de Normalisation ELECTrotechnique (CENELEC), es miembro de la Organización Internacional de Normalización (ISO), participando en su Consejo y en los distintos órganos técnicos que elaboran las normas ISO. En la estructura de AENOR existen órganos técnicos denominados Comités Técnicos de Normalización (AEN/CTN) que se encargan de estudiar y plantear las necesidades de cada sector, así como de elaborar y aprobar los proyectos de normas que se publican como normas UNE (Una Norma Española).

Es importante resaltar que la adopción de las normas internacionales elaboradas en ISO no es obligatoria para los países miembros de estas organizaciones. Sin embargo, no ocurre lo mismo con los organismos europeos de normalización, que obligan a sus miembros a adoptar las normas europeas que en ellos se elaboran. Por este motivo, las normas elaboradas por el CEN, por el CENELEC o por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) son incorporadas sistemáticamente al catálogo de AENOR alcanzando la categoría de normas nacionales.

AENOR está acreditada por ENAC para la certificación, entre otros, de los sistemas de la calidad ISO 9000 y la certificación de productos en veintidós sectores. Con AENOR se tiene la posibilidad de obtener una certificación reconocida internacionalmente y fundamentada en los principios de independencia, imparcialidad, transparencia y objetividad, que permite abrir las puertas de nuevos mercados y contribuye a mejorar los procesos, productos y servicios y, con ello, la satisfacción de los clientes; una empresa, ya sea grande o pequeña, existe mientras tenga clientes.

La acreditación es una herramienta establecida a escala internacional para generar confianza sobre las actuaciones de una categoría de organizaciones denominadas, de manera general, organismos de evaluación de la conformidad, y abarca a los laboratorios de ensayo, laboratorios de calibración, entidades de inspección, entidades de certificación, verificadores ambientales y proveedores de programas de intercomparación. La acreditación se define como el procedimiento mediante el cual un organismo autorizado reconoce formalmente que una organización es competente para la realización de una determinada actividad de evaluación de la conformidad. Dicha evaluación queda definida en ISO/IEC 17000 como «*la demostración de que los requisitos específicos referentes a un producto, proceso, sistema, persona o entidad se cumplen*».

Los organismos de acreditación comprueban, mediante evaluaciones independientes e imparciales, la competencia de los evaluadores de la conformidad con objeto de dar confianza al comprador y a la administración, y contribuyen a su vez, a facilitar el comercio nacio-

La acreditación se define como el procedimiento mediante el cual un organismo autorizado reconoce formalmente que una organización es competente para la realización de una determinada actividad de evaluación de la conformidad

nal e internacional. Un requisito previo para la igualdad de condiciones en el comercio es que cualquier producto o servicio aceptado formalmente en un país pueda, a igualdad de requisitos, circular libremente en otros países sin necesidad de verse sometido nuevamente a ensayos, inspecciones o certificaciones. La acreditación, por tanto, garantiza que los organismos de evaluación de la conformidad de distintos países desempeñan su tarea de manera equivalente, generando la adecuada confianza tanto en la competencia técnica de los evaluadores de la conformidad como en su capacidad de proporcionar un servicio adecuado a las necesidades de sus clientes, que posibilita la aceptación mutua de resultados.

ENAC se constituye con la misión de acreditar, a través de un sistema conforme a normas internacionales, la competencia técnica de una entidad para certificar o inspeccionar, o de un laboratorio de ensayo o calibración, que opere tanto en el ámbito voluntario de la calidad como en el ámbito obligatorio cuando reglamentariamente se establezca.

ENAC participa activamente con las organizaciones y foros internacionales, como European Cooperation for Accreditation (EA), International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) e International Accreditation Forum (IAF), donde se establecen las políticas en materia de la evaluación de la conformidad; en estos foros se elabora la documentación técnica precisa para garantizar la adecuada homogeneidad en las actuaciones de los organismos de acreditación. De esta forma se consigue que un informe o certificado emitido por una entidad acreditada en un país sea aceptado en el resto de los países integrados en las organizaciones internacionales mencionadas.

En el ámbito de los laboratorios de calibración, los organismos de acreditación que reconocen la competencia de dichos laboratorios, utilizan como base para su acreditación la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005, [UNE05]. Esta norma contiene los requisitos que los laboratorios de calibración han de cumplir si desean demostrar que

En el ámbito de los laboratorios de calibración, los organismos de acreditación que reconocen la competencia de dichos laboratorios, utilizan como base para su acreditación la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005, [UNE05]. Esta norma contiene los requisitos que los laboratorios de calibración han de cumplir si desean demostrar que disponen de un sistema de gestión de la calidad, que son técnicamente competentes y que aseguran la cadena de la trazabilidad

disponen de un sistema de gestión de la calidad, que son técnicamente competentes, capaces de producir resultados válidos y que, garantizando la trazabilidad de los patrones depositados en el laboratorio a patrones nacionales o internacionales, queda establecida una cadena ininterrumpida de comparaciones, es decir, se asegura la cadena de la trazabilidad. En estas condiciones, las acreditaciones concedidas son plenamente válidas y aceptadas, tanto en España como en el ámbito internacional.

Cualquier laboratorio, tanto público como privado, con o sin fines lucrativos, con independencia de su tamaño, de la realización de otras actividades diferentes a la calibración o de su asociación con otros grupos o instituciones, puede actuar como solicitante de acreditación a ENAC. El laboratorio es responsable de realizar sus actividades de calibración conforme a los requisitos exigidos, y de satisfacer las necesidades de los clientes, de las autoridades reguladoras o de las organizaciones encargadas de su reconocimiento. Así mismo, el laboratorio acreditado deberá participar de forma regular en intercomparaciones que cubran todas las familias de calibraciones incluidas en su alcance de acreditación. Para ello deberá disponer de estrategias y procedimientos que aseguren su participación en dichas intercomparaciones y establezcan la metodología y responsabilidades para evaluar los resultados obtenidos.

Por todo lo expuesto anteriormente, se podría afirmar que las empresas, organismos y entidades del sector de la Geomática, conscientes de la necesidad de implantar sistemas de gestión de la calidad para el mantenimiento de

su competitividad, requieren cada vez más los servicios de las instituciones responsables de la normalización, la acreditación y la Metrología.

3. PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTAL GEODÉSICO

Un laboratorio de calibración acreditado deberá disponer de Procedimientos Técnicos de Calibración (PTC) para todos los trabajos incluidos en el alcance de la acreditación cuyo contenido englobará la información suficiente para permitir la realización de las calibraciones.

Los PTC constituyen uno de los documentos básicos del manual de calidad, deben estar sometidos a un control, tanto si se dispone de ellos en soporte lógico como analógico, y ser revisados periódicamente por el personal autorizado. Se establecerá una metodología eficaz para, en su caso, modificar los PTC incluyendo las modificaciones de los documentos mantenidos en sistemas informáticos.

En definitiva, el conjunto de las operaciones a realizar para cada uno de los parámetros a calibrar, deberá ser descrito de forma clara y detallada en el correspondiente PTC.

3.1 Estructura general de un Procedimiento Técnico de Calibración

La descripción de cualquier PTC, y en particular de instrumental geodésico, debe reflejar que tanto el proceso de calibración como el tratamiento de datos, estimación de incertidumbres e interpretación de resultados sea el más adecuado y se ajuste a los requisitos de diseño [CEN03]. En la consecución de este objetivo, la estructura del procedimiento se perfilará de modo que contenga al menos la siguiente información:

- Identificación apropiada y única del procedimiento
- Definición del campo de aplicación
- Descripción del tipo de objeto sometido a calibración
- Parámetros o magnitudes y rangos por determinar
- Aparatos y equipos
- Patrones de referencia y materiales de referencia necesarios
- Condiciones ambientales requeridas y periodos de estabilización
- Descripción del procedimiento
- Criterios de aceptación y rechazo
- Datos que deben registrarse y método de cálculo y presentación
- Incertidumbre o procedimiento de estimación de la incertidumbre

3.2 Diseño de los PTC de instrumental geodésico: estudios previos y definición del modelo metrológico

El correcto diseño de los PTC de instrumentos geodésicos exige un profundo conocimiento del instrumental que proporciona las magnitudes objeto de estudio. Este conocimiento profundo requiere la necesidad de realizar, por un lado, estudios previos relacionados con los dispositivos que van a permitir la medida de las magnitudes de interés, [ROE65], [MAU81], [SHE03], [SCH06], y por otro, el análisis de la normativa relacionada con la determinación de la calidad de la medida, [DIN18732] y [ISO17123]. Con ello se quiere poner de manifiesto la importancia que tiene la normalización en Metrología dimensional y, más concretamente, en el control de instrumental geodésico, siendo la normalización parte integral de la política de innovación de la Unión Europea dirigida a simplificar y mejorar el marco legislativo, a aumentar la competitividad de las empresas y a eliminar los obstáculos al comercio internacional mediante la supresión de barreras técnicas.

Por otro lado, es imprescindible una adecuada definición de la función modelo ya que de ella derivan los dos elementos del resultado de la medición: valor del mensurando e incertidumbre asociada a dicho valor.

Cualquier medida puede expresarse mediante una relación funcional si se explicitan las correcciones aplicadas, ya que siempre ha de existir al menos la corrección de calibración. En el caso concreto de la calibración de un elemento, bien sea un patrón o un instrumento, los resultados se recogen en el documento denominado certificado o informe de calibración. Esos resultados se requerirán posteriormente en la utilización del elemento, ya sea para medir, o cuando dicho elemento se vaya a emplear en la calibración de otro dentro de la práctica habitual de disseminación metrológica formando parte de una cadena de trazabilidad. El resultado de la calibración de un patrón se concreta en el valor de una magnitud y su incertidumbre.

En el proceso de calibración es fundamental la definición de un modelo metrológico apropiado que permita realizar el inventario de incertidumbres y determinar los coeficientes de sensibilidad de cada una de las magnitudes de entrada, todo ello siguiendo las recomendaciones de la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM), [BIP08-1].

3.3 PTC de instrumental geodésico

En el caso concreto de un laboratorio de calibración de instrumental geodésico, los PTC se referirán a teodolitos, niveles, estaciones totales, instrumentos de MED (Medición Electromagnética de Distancias), equipos TLS (Terrestrial Laser Scanner) o equipos GNSS (Global Navigation Satellite System), de modo que la aplicación del procedimiento no entrañe ningún tipo de duda en su realización.



Figura 1. Conjunto de colimadores para la calibración de ángulos horizontales y verticales

De lo expuesto se deduce que el diseño y desarrollo de los procedimientos exige un profundo conocimiento del instrumental objeto de estudio con el fin de que las diferentes fases de la calibración, es decir, la preparación y el proceso de calibración propiamente dicho, el tratamiento de los datos, la estimación de incertidumbres y la interpretación de resultados, queden perfectamente definidas y explicadas, sean las más adecuadas y se ajusten a los requisitos de diseño. Con todo ello se pretende disponer de unos PTC que cumplan los requisitos exigidos por la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005, [UNE05] y podrían aplicarse en un laboratorio de calibración de instrumental geodésico que haya sido sometido a un proceso de acreditación.

Los PTC de instrumental geodésico se pueden diseñar para su aplicación en laboratorio o en condiciones de campo, dependiendo del alcance de la acreditación y de la capacidad óptima de medida declarada en el proceso de acreditación.

A continuación se indican los fundamentos teóricos sobre los que se desarrollan los PTC de los distintos equipos de medida mencionados.



Figura 2. Calibración de la longitud de onda modulante

En el caso de los teodolitos, la calibración de los ángulos horizontales se basa en el método de cierre angular de una vuelta de horizonte. En el procedimiento de calibración se miden los ángulos de cada serie en distintas partes del círculo y se realiza un análisis estadístico de las diferentes series de medidas. Para determinar la calidad de medida de los ángulos verticales, se realizan punterías a señales bien definidas situadas de manera que cubran el rango habitual de las observaciones de ángulos verticales. Se realizan diferentes series de observaciones y se evalúan conjuntamente los datos obtenidos en las diferentes series, ver la Figura 1.

La calibración de niveles puede realizarse por dos procedimientos distintos, uno de ellos diseñado en laboratorio y el otro en campo, pudiendo ser ambos procedimientos complementarios. La calibración en laboratorio requiere un equipamiento especial y efectuar punterías a un colimador óptico patrón de horizontalidad. La calibración en campo se lleva a cabo mediante la determinación del desnivel entre dos puntos, realizando diferentes series de observaciones en unas condiciones de reproducibilidad previamente definidas.

El PTC de estaciones totales requiere una configuración geométrica triangular en la que se deben satisfacer ciertos requisitos de la distancia entre los tres puntos. Los valores nominales son las coordenadas de los puntos. El proceso de medición permite determinar la repetibilidad del instrumento para una posición y altura.

La calibración de los equipos de MED se puede ejecutar en laboratorio o en campo. La principal ventaja de la aplicación del PTC en laboratorio es la determinación del error de escala mediante la calibración de la longitud de onda modulante, sin embargo los costes son altos, ver la Figura 2. Por otra parte, las medidas llevadas a cabo en los laboratorios alcanzan exactitudes más altas que las que se consiguen en condiciones de campo. En ocasiones es conveniente que las condiciones elegidas para la aplicación del PTC sean similares a las esperadas en un determinado proyecto. El PTC aplicado en condiciones de campo está basado en la medida de distancias en todas las combinaciones posibles en una base de calibración sin necesidad de conocer los valores nominales de los tramos. La desviación típica experimental de una medida de distancia se determina mediante el ajuste de las combinaciones de distancias medidas.

En lo referente a la calibración de equipos GNSS no existe actualmente un consenso aceptado internacionalmente para determinar la calidad de medida de los equipos ni se asegura la trazabilidad legal de las mediciones y sus incertidumbres. Esto es debido a que se trata de un campo muy complejo y se contemplan diferentes puntos de vista con respecto a lo que sería exactamente necesario para calibrar dichos equipos y llevar a cabo la calibración. En investigaciones recientes se han propuesto diversas alternativas en diferentes redes de control que presentan unas características físicas y geométricas que permiten su utilización de forma práctica, inmediata y eficiente, reuniendo los requisitos para considerarlas como redes patrón con el fin asegurar la trazabilidad en la calibración de equipos GNSS [FER11-1] y [FER11-2].

Respecto a la calibración de equipos TLS, es inexistente en la actualidad la publicación de una norma consensuada internacionalmente en la que se proponga una metodología que permita estimar la repetibilidad de los equipos. Si a este hecho se le une el que los fabricantes no proporcionan las especificaciones técnicas de los equipos que ofrecen de una forma normalizada, se encuentran dificultades en la interpretación de los estimadores de la precisión de la medida de equipos TLS.

En la actualidad se están evaluando los datos de medición de diversos equipos TLS en el Laboratorio de Control Metrológico de Instrumental Geodésico y Topográfico (LCMIGT) de la E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía de la UPM. En los ensayos se utilizan modelos geomé-

tricos con trazabilidad a patrones nacionales, así mismo se están analizando metrológicamente los resultados de los barridos sobre diferentes muestras de materiales y distintas orientaciones. El objetivo de los ensayos realizados tanto en laboratorio, con condiciones meteorológicas controladas, como en campo, es el diseño y desarrollo de procedimientos que permitan dar los primeros pasos para la evaluación de la incertidumbre de medida de los equipos TLS.

4. CERTIFICADOS DE VERIFICACIÓN VS CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

En ocasiones los términos verificación y calibración se confunden o no se diferencian claramente pudiéndose llegar a cometer irregularidades en los procedimientos aplicados y en los informes que se emiten.

El control de los instrumentos de medida, en particular del instrumental geodésico, puede realizarse mediante la verificación aplicando los procesos descritos en algún tipo de norma ampliamente reconocida, determinándose la repetibilidad del instrumento sometido al proceso de verificación. La verificación consiste en revisar, inspeccionar, ensayar, comprobar o supervisar documentalmente que el instrumental es conforme a unos requisitos especificados. En cierto modo, podría considerarse la verificación como una aproximación a la calibración ya que, más que el resultado final, lo que especialmente interesa es saber si a partir de ese resultado se cumplen unos requisitos.

La calibración, según el Vocabulario Internacional de términos Metrológicos, [BIP08-2], se define como el 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.

Según esta definición, la calibración exige la aplicación de procedimientos rigurosos que determinen las características metrológicas del instrumento mediante comparación con patrones de medida o materiales de referencia certificados. El resultado de la calibración queda reflejado en un informe denominado certificado o informe de calibración, en el que debe incluirse la incertidumbre asociada al resultado de la medición y es emitido por el laboratorio acreditado que realiza las calibraciones. La información que contiene un certificado de calibración debe ser exacta y clara, sin ambigüedades y objetiva de

La calibración exige procedimientos rigurosos que determinen las características metrológicas del instrumento mediante comparación con patrones de medida o materiales de referencia certificados. El resultado de la calibración queda reflejado en certificado o informe de calibración, en el que debe incluirse la incertidumbre asociada al resultado de la medición y es emitido por el laboratorio acreditado que realiza las calibraciones

acuerdo con las instrucciones específicas contenidas en los procedimientos de calibración. Pueden ser emitidos en papel o mediante transferencia electrónica de datos siempre que se cumplan los requisitos de la norma internacional UNE-EN ISO/IEC 17025. De acuerdo con esta norma, los certificados de calibración deben incluir la siguiente información:

- Título: «Certificado de Calibración»
- Nombre y dirección del laboratorio
- Una identificación única del certificado de calibración que podría ser un número de serie; una identificación en cada página que permita reconocerla como parte del certificado de calibración; y una indicación clara del final del certificado
- Nombre y dirección del cliente
- Identificación del método utilizado
- Descripción, estado e identificación del objeto sometido a calibración
- Fecha de la recepción del objeto de calibración cuando ésta sea crítica para la validez y aplicación de los resultados, así como la fecha de realización de cada calibración
- Referencia a los procedimientos utilizados por el laboratorio u otras entidades cuando influyan en la validez o aplicación de los resultados
- Resultados de la calibración con las unidades cuando proceda
- Nombre, cargo y firma o identificación de la persona o personas autorizadas
- Cuando proceda, una declaración de que los resultados se refieren únicamente a los objetos sometidos a calibración

- Se recomienda incluir una declaración indicando que el certificado no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite y del organismo de acreditación
- Las condiciones en las que se realizan las calibraciones y que influyen en los resultados de medida
- La incertidumbre de medida y/o una declaración del cumplimiento de una cierta especificación metrológica
- Evidencia de la trazabilidad de las medidas

Conviene prestar especial atención al formato de los certificados que se diseñarán para cada tipo de calibración que se realice, evitando que se produzcan interpretaciones erróneas o usos incorrectos.

4.1 Expresión de la incertidumbre en los certificados de calibración

El resultado completo de la medición, que consiste en el estimado y del mensurando y la incertidumbre expandida asociada U , se expresa en los certificados de calibración en la forma $y \pm U$. Debe incluirse una nota en la que se especifique el factor de cobertura, k , determinado para el cálculo de la incertidumbre expandida U .

El proceso para la estimación de la incertidumbre de medida es el siguiente:

a) Expresar en términos matemáticos la dependencia del mensurando o magnitud de salida Y respecto de las magnitudes de entrada X_i , según la expresión $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$.

b) Identificar y aplicar las correcciones significativas.

c) Relacionar todas las fuentes de incertidumbre en la forma de un análisis de incertidumbres según se especifica en la GUM, [BIP08-1].

d) Calcular la incertidumbre típica $u(\bar{q})$ para magnitudes medidas reiteradamente como una desviación típica experimental de la media aritmética.

e) Para valores únicos, por ejemplo resultantes de mediciones previas, valores de corrección, valores tomados de publicaciones técnicas, etc., se adopta la incertidumbre típica cuando se conozca o pueda calcularse. Si no se dispone de datos de los que pueda derivar la incertidumbre típica, estimar el valor $u(x)$ basándose en la experiencia científica.

f) Para magnitudes de entrada para las que se conoce o puede suponerse una distribución de probabilidad, calcular el valor esperado y la incertidumbre típica $u(x)$ de acuerdo con el contenido de la GUM.

g) Calcular para cada magnitud de entrada X_i la contribución $u_i(y)$ a la incertidumbre asociada a la estimación de salida resultante de la estimación de entrada x_i , aplicando las ecuaciones:

$$u_i(y) = c_i u(x_i); \quad i=1,2,\dots, N$$

donde c_i es el coeficiente de sensibilidad asociado a la estimación de entrada x_i , es decir, la derivada parcial de la función modelo f con respecto a X_i evaluada para las estimaciones de entrada x_i

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial X_i} \Big|_{X_1=x_1, \dots, X_N=x_N}$$

El cuadrado de la incertidumbre típica del mensurando será:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$$

Si las magnitudes de entrada están correladas, se aplicará el procedimiento que se describe en la GUM para este caso.

h) Calcular la incertidumbre expandida U , aplicando un factor de cobertura k a la incertidumbre típica $u(y)$ asociada a la estimación de salida.

i) Informar en el certificado de calibración del resultado de la medición, indicando el estimado y del mensurando, la incertidumbre expandida asociada U y el factor de cobertura k .

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los conceptos e ideas expuestos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La normalización, fundamental en gran diversidad de actividades, es básica en las ciencias experimentales cuando se trata de conseguir mediciones uniformes y aceptadas internacionalmente.
- Se considera esencial determinar la calidad de medida del instrumental que se utiliza en la captura de datos en proyectos geomáticos, así como conocer si dicho instrumental es conforme a las especificaciones del fabricante.
- El diseño de procedimientos de calibración basados en normas y recomendaciones internacionales va a permitir conocer la repetibilidad de los equipos y su incertidumbre de medida.
- La acreditación de laboratorios de calibración asegura la trazabilidad de los patrones, consiguiéndose la diseminación metrológica desde los patrones internacionales a los depositados en los laboratorios acreditados.
- La definición adecuada del modelo metrológico es primordial, pues de él deriva el resultado de la medición y su incertidumbre.

- Como recomendaciones se indican las siguientes:
- Aplicar procedimientos de calibración basados en normas internacionales.
 - Realizar la estimación de incertidumbres siguiendo las indicaciones de la GUM.
 - Diferenciar los procesos de verificación y calibración con el fin de no cometer irregularidades en los informes que se emitan.
 - Calibrar periódicamente los equipos de medida en laboratorios acreditados.

REFERENCIAS

- [BIP08-1] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML 2008 *Evaluation of Measurement Data—Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* JCGM 100:2008.
- [BIP08-2] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML 2008 *International Vocabulary of Metrology—Basic and General Concepts and Associated Terms* JCGM 200:2008.
- [CEN03] Centro Español de Metrología. *Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 4^a Edición. 2003.
- [DIN18732] Deutsche Norm DIN 18732. *Feldverfahren zur Genauigkeitsuntersuchung geodätischer Instrumente*.
- [FER11-1] Fernández Pareja, T; Vicente y Oliva, J. *Global Navigation Satellite System equipment calibration*. 15th *International Congress of Metrology*. Paris, October 2011.
- [FER11-2] Fernández Pareja, T; Vicente y Oliva, J. *Metrological control of Global Navigation Satellite System (GNSS) equipment*. 4th *Manufacturing Engineering Society International Conference*. Cádiz, September 2011.
- [HEN07] Hennes, M. Heister, H. *Neuere Aspekte zur Definition und zum Gebrauch von Genauigkeitsmassen in der Ingenieurgeodäsie*. *Allgemeine Vermessungsnachrichten*. Oktober 2007. pp 375-383.
- [ISO17123] International Standard ISO 17123. *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments*.
- [MAU81] Maurer, W. *Ein neues Verfahren zur Untersuchung von Theodolittekreisen*. *F.I.G. International Kongress*. Schweiz 1981.
- [ROE65] Roelofs, R. 1965. *Optimalisierung der kreisteilungsuntersuchung*. *Zeitschrift für Vermessungswesen*. Heft 12, 90 Jahrgang, Dezember 1965. pp 489-496.
- [SCH06] Schüler, T. 2006. *Impact of systematic errors on precise long baseline kinematic GPS positioning*. *GPS Solutions*. N° 2, Vol. 10, May 2006. pp 108-125.
- [SHE03] A. Sherrer, R. 2003. *The Compact Method of Testing Total Stations*. *Survey Review*. N° 288, Vol. 37, April 2003. pp 145-154.

[UNE05] UNE-EN ISO/IEC 17025:2005. *Requisitos generales relativos a la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*.

Sobre los autores

M^a Teresa Fernández Pareja

Dr. Ingeniero en Geodesia y Cartografía por la Universidad Politécnica de Madrid. Perteneció al cuerpo de PTEU. Desarrolla su actividad docente e investigadora en la E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía y en la E.T.S.I. Industriales de la UPM. Imparte docencia en el Máster en Metrología de la E.T.S.I. Industriales y el Centro Español de Metrología. Coordinadora de diversas asignaturas del Máster Universitario en Ingeniería Geodésica y Cartografía (UPM). Responsable de la línea de investigación en Control metrológico del centro Geol+D así como del Laboratorio de Control Metrológico de Instrumental Geodésico y Topográfico de la E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía.

Miguel C. Cortés Calvo

Teniente Coronel de Artillería, Geodesta Militar y Máster Universitario en Ingeniería Geodésica y Cartografía (UPM). Entre 1994 y 2005, destinado en el Centro Geográfico del Ejército, desarrollando actividades en los campos de Formación Cartográfica y Geodesia, Fotogrametría y Tratamiento de Imágenes, y jefe de la Unidad de Apoyo Geográfico del Ejército de Tierra desde su creación en 2001 hasta 2005. Desplegado en el Supreme Headquarters Allied Powers in Europe (OTAN) como Geodatabase Manager en 2001, ha participado en campañas geodésicas en Mostar (Bosnia Herzegovina) y en la Antártida. Desde 2006 está destinado en el Force Command Madrid (OTAN), como Geospatial Section Head. Desplegado en 2008 en ISAF como Chief Geospatial Officer, en Kabul (Afganistán). Colabora en el Laboratorio de Control Metrológico de Instrumental Geodésico y Topográfico de la E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía.

Almudena García Pablos

Ingeniera Técnica en Topografía por la Universidad Politécnica de Madrid (2010). Colaboración con el Laboratorio de Geomatica, Politecnico di Milano (2010-2011). Máster en Metrología por la UPM en colaboración con el Centro Español de Metrología (2012). Durante los años 2009 y 2010 ejecución de trabajos de topografía industrial en Airbus. Desarrollo de actividades de dirección, gestión y producción en la empresa Topografía Aranjuez C.B durante los años 2011 y 2012. Es colaboradora principal de la línea de investigación en Control metrológico del centro Geol+D en el Laboratorio de Control Metrológico de Instrumental Geodésico y Topográfico de la E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía.