

# Los instrumentos de medida también quieren su certificado... ¡Pero digital!

## *Measurement instruments also want a certificate...and they want it digital!*

*Omar Jair Purata Sifuentes, Javier Yáñez Mendiola y Gisa Foyer*

### Resumen

Algunos de nosotros veíamos películas como Matrix y pensábamos: “¡Imagínate cuando las máquinas tomen el control del mundo!” Si bien algunas máquinas ya tienen el control de partes de nuestra vida, desde los semáforos controlando la circulación de nuestros vehículos, hasta los dispositivos móviles decidiendo los contenidos que visualizamos en las redes sociales, hay un grupo de máquinas que se estaban quedando atrás en esto de tomar el control: los instrumentos de medida. Aunque en la fábrica la botella de yogur se llena con una máquina robotizada que forma parte de un sistema complejo desde hace mucho tiempo, la balanza donde se verificaba el llenado correcto de la botella seguía estando aislada, como náufrago en el mar que es la nube de la información. Eso está cambiando ya. Los certificados de calibración digital llegaron para quedarse y habilitar a los instrumentos de medición en el juego llamado industria 4.0, 5.0 o la que siga. Pero ¿qué es un certificado de calibración? y ¿qué importancia tiene para mí? Leyendo este artículo aprenderás por qué es necesaria y en qué consiste la emisión de certificados de calibración digitales.

**Palabras clave:** certificación digital, calibración de instrumentos, metrología 4.0, instrumentos de medida digitales.

### CÓMO CITAR ESTA COLABORACIÓN

Purata Sifuentes, Omar Jair., Yáñez Mendiola, Javier, y Foyer, Gisa. (2024, enero-febrero). Los instrumentos de medida también quieren su certificado... ¡Pero digital! *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 25(1). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2024.25.1.11>

Universidad Nacional Autónoma de México, Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia (CUAIEED)

Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia de Creative Commons 4.0



### Omar Jair Purata Sifuentes

*Universidad de Guanajuato*

Ingeniero Químico del Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, con Maestría y Doctorado en Ciencias en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Celaya. Maestría en Ingeniería con especialidad en sistemas de calidad y productividad, por el Tecnológico de Monterrey. Six sigma black belt certificado por la Arizona State University. Experiencia profesional de 10 años en las áreas de calidad e ingeniería de procesos. Experiencia docente de 23 años en niveles de licenciatura y posgrado en distintas instituciones públicas y privadas en México. Desde hace diez años se desempeña como Profesor de tiempo completo en el Departamento de Estudios Organizacionales de la Universidad de Guanajuato. Sus líneas de investigación giran en torno a la Metrología aplicada, la Integración de sistemas normalizados de gestión y a Lean Six-Sigma.

 [opurata@ugto.mx](mailto:opurata@ugto.mx)

 [orcid.org/0000-0001-5747-6243](https://orcid.org/0000-0001-5747-6243)

### Javier Yáñez Mendiola

*Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC)*

Ingeniero en electrónica del Instituto Tecnológico de Celaya. Recibió la maestría y el doctorado en ciencias con especialidad en óptica del Centro de Investigaciones en Óptica y el doctorado en astronomía de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nice Sophia Antipolis. Actualmente se desempeña como Profesor-Investigador del CIATEC, A.C., adscrito a la Dirección de Investigación, Posgrado y Capacitación. Ha sido profesor asistente de óptica geométrica e instrumental en el Centro de Investigaciones en Óptica. También participa como Profesor en el Posgrado Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT), dando cursos de Metodología de la Investigación e Innovación, Análisis Numérico y Simulación Avanzada en Maestría y Doctorado.

 [0000-0003-0772-5947](https://orcid.org/0000-0003-0772-5947)

### Gisa Foyer

*Instituto Nacional de Metrología, Alemania*

Se doctoró en ingeniería civil en la Technische Universität, Braunschweig, Alemania, en 2013. Desde entonces es investigadora en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) y hasta 2018 trabajó en el Departamento de Mecánica de Sólidos como investigadora postdoctoral y directora de proyectos en los campos de medición de fuerza y par torsional. En 2018 se convirtió en Jefa del grupo de trabajo Tecnología de comunicaciones de instrumentos para pesar en el Departamento de Masa del PTB. Su trabajo incluye pruebas de software en instrumentos para pesar y digitalización de certificados de calibración para pesas y patrones de masa.

## Introducción

La llamada industria 4.0 (I4.0) ha puesto de moda conceptos y términos como nube, Internet de las cosas, *big data*, inteligencia artificial, sistemas ciber físicos, aprendizaje de máquina, robótica y redes de sensores, entre otros. Por supuesto, la automatización de maquinaria ya existía desde hace mucho tiempo —la llamada Tercera Revolución Industrial TRI—, es decir los botes de yogur se llenan de forma automática desde hace mucho.

El principal aporte de la I4.0 está relacionado con la conectividad y el flujo de la información, para una toma correcta de decisiones (Pereira y Romero, 2017). Ahora se trata, no solo de que las máquinas hagan cosas en forma automática, sino que además la información de qué están haciendo, cómo lo están haciendo, cada cuándo lo están haciendo, cuánto han consumido de algo (materiales, energía), etcétera, se conozca en tiempo real.

Y precisamente ahí está el problema con los instrumentos de medida. Se habían quedado rezagados en esta ola de la I4.0. Por supuesto, no es algo intencional o discriminatorio, es hasta cierto punto algo “natural”. Veamos: imagina que eres el dueño de una fábrica —no, de yogur no— y se acaban de poner al alcance del público computadoras, que básicamente sirven para automatizar algunas actividades humanas. ¿Dónde pondrías a trabajar a las primeras computadoras que comprarás? ¿En el área de mantenimiento, para gestionar los calendarios de mantenimiento de las máquinas? ¿En el área de recursos humanos, para eliminar los expedientes de personal que se tienen en papel? ¿O en el área de producción, para automatizar la programación, optimización y planeación de los lotes de producción? (que a fin de cuentas es lo que vende tu fábrica) ¿Verdad que es lógico?

¡Claro! La tecnología siempre se destina a apuntalar primero los procesos cruciales —los de producción—, y ya después le llega el turno al resto de los procesos en las organizaciones. No tendría sentido hacerlo de manera inversa —sería como colocar primero una cerradura en la tapa del tinaco, sabiendo que la puerta de entrada a la casa no tiene ninguna todavía—. La tecnología con la que cuentan los procesos de soporte o ayuda está siempre a expensas de la tecnología probada y adoptada en los procesos principales.

Si bien esas maquinitas, artefactos, dispositivos y materiales —todo eso puede ser un instrumento de medida—, no interpretan un rol protagónico en esta película llamada I4.0, su papel secundario no les resta importancia, ya que aunque no son máquinas que produzcan nada, al entregar información —peso, altura de llenado, densidad del material, etcétera— sobre lo que otra máquina produjo, otorgan el aval y la confianza que los usuarios necesitamos.

Ahora bien, esto no quiere decir que entonces los instrumentos de medida puedan quedarse “fuera” de la I4.0 durante mucho tiempo todavía. Hoy más

que nunca el tiempo apremia. La I4.0 ha permitido evolucionar a industrias de todos los giros y tamaños, pero el retraso en incorporar estos avances en la metrología —la ciencia de las mediciones— ya no es sostenible (Kok, 2022). La cadena productiva, que termina generalmente con alguna medición, debe cerrar filas hacia ese traslado de información hacia la nube... y la información de las mediciones debe subirse al tren.

## Tres claves sobre metrología, calibración y documentos digitales en la era del IoT

Antes de entrar de lleno en materia, es pertinente aclarar algunos puntos que generalmente se desconocen o manejan de forma equivocada en el día a día, con respecto a instrumentos de medida y las mediciones en general.

Primero, la metrología es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones (JCGM, 2012), y tiene tres grandes ramas: la científica, la legal y la industrial. A grandes rasgos, la metrología científica se encarga del desarrollo y preservación de los patrones nacionales e internacionales de las unidades del Sistema Internacional (SI), así como de su diseminación<sup>1</sup>. La metrología legal aborda lo relacionado con las mediciones hechas durante transacciones comerciales o legales. Y la metrología industrial se encarga de las aplicaciones de las mediciones en la industria en general (LIC, 2020).

Segundo, desde el punto de vista de la metrología, calibrar un instrumento de medida es compararlo. Por lo tanto, no tiene mucho sentido decir que un instrumento está “descalibrado” —una comparación no se puede deshacer, ¿cierto?—. Ahora bien, ¿contra qué se compara el instrumento de medida? Pues, contra otro instrumento de mayor exactitud, o contra algún **materi al de referencia** —un material que posee alguna propiedad que se mantiene estable y sirve de referencia al comparar contra él—. A su vez, ese instrumento de mejor exactitud se debe calibrar contra otro instrumento de mayor exactitud que él, y así sucesivamente, hasta llegar a los patrones nacionales e/o internacionales de la magnitud de la que se trate. Se dice entonces, que una medición tiene **trazabilidad** a un patrón nacional o internacional, si fue realizada con un instrumento que forma parte de una cadena ininterrumpida de calibraciones sucesivas, hasta llegar a la comparación contra dicho patrón.

Tercero —no referido a metrología—, un documento digital *no* lo entenderemos como un documento en papel que se escanea o como la fotografía digital de un documento original en papel, o un archivo que “se mandó a imprimir a un PDF” o “se guardó como imagen”. *No*. Un documento digital será para nosotros un documento con una estructura e información digitalizadas, de tal manera que las computadoras puedan validar su estructura<sup>2</sup> y, en caso de ser válida, usar la información contenida.

<sup>1</sup> Recuerde que el SI está compuesto de siete unidades básicas de medida [metro (m), kilogramo (kg), segundo (s), kelvin (K), candela (cd), mol (mol) y ampere (A)], así como de una diversidad de unidades de derivadas de éstas [hertz =  $s^{-1}$ , newton =  $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ , etcétera] y algunas unidades cuyo uso se acepta con el SI [hora (h), litro (l ó L), etcétera].

<sup>2</sup> Aquí nos referimos a un tipo de validación semántica, es decir, donde el formato pida una fecha, el documento contenga una fecha, donde el formato pida un número entero, el documento contenga un número entero, etcétera.

Un ejemplo nos permitirá comprender mejor las características e importancia de este tercer punto. Imaginemos que adquirimos un producto o servicio y luego de pagarlo pedimos una factura y el proveedor nos dice “aquí tiene su factura impresa”, y nos entrega la factura en papel. En México, eso era suficiente hace 25 años, pero hoy en día con seguridad diríamos: “Oiga, joven, me la va a mandar también en digital, ¿verdad? ¿Le paso mi correo electrónico?” ...ahora imaginemos la siguiente respuesta: “¡Ah! claro que sí, joven —somos un país de jóvenes—, permítame tantito la factura impresa, ahorita le tomo una foto con el celular y se la mando a su ‘Whats’, ¿cómo ve?” Obviamente eso no nos sirve hoy. Está claro que, si entregamos un archivo de imagen, o un PDF, nuestra contadora o contador nos va a regresar a conseguir el mentado archivo XML de la factura.

¿Y ese archivo XML qué tiene de especial? Pues bien, ese archivo XML es la versión digital de la factura. De hecho, para las computadoras es la versión original de la factura, y el PDF en realidad se extrajo de ese archivo como una versión traducida para los pobrecitos humanos que no entendemos cómo se comunican las computadoras entre sí. Y es que el avance tecnológico ha abierto las puertas a un nuevo paradigma en el intercambio de información: el **Internet de las cosas** (IoT, por sus siglas en inglés). IoT se refiere a la interconexión de objetos cotidianos a través de la red, permitiendo que máquinas, dispositivos y sensores interactúen y compartan datos de forma autónoma.

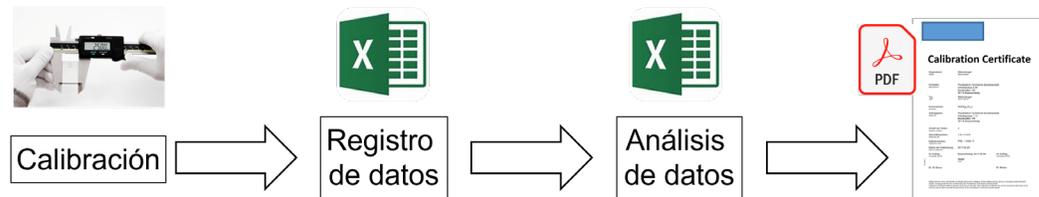
En este contexto, el archivo XML mencionado anteriormente, como una forma de intercambio de datos estructurados, adquiere un nuevo significado en el contexto del dominio de las máquinas. Con la integración del IoT, las computadoras ahora tienen la capacidad de recibir, procesar y analizar directamente el archivo XML, sin necesidad de traducción a un formato “más legible”, como el PDF.

## ¿Y para los instrumentos de medida?

Pues bien, lo mismo pasa con los certificados de calibración digitales. Ya hemos dicho que calibrar es comparar contra algo más exacto. Necesitamos también definir al **mensurando**, que es “lo que se quiere medir”. Entonces cuando hacemos una calibración, comparamos un instrumento de medida contra otro, llamado **patrón** —el instrumento o material de mejor exactitud— y determinamos el **error**, es decir, la diferencia de los valores del mensurando cuando se usa el instrumento y cuando se usa el patrón. También se determina la incertidumbre de medida, que nos indica la duda razonable sobre en qué intervalo de valores está el valor verdadero del mensurando (JCGM, 2012). Nótese que el valor verdadero del mensurando nunca podrá conocerse, puesto que siempre estaremos limitados por el valor más pequeño que un instrumento pueda medir (llamado **resolución**).

Ahora bien, en la mayoría de los países los instrumentos de medida se calibran y se les emite un certificado (o informe) de calibración. Dichos certificados de calibración se elaboran en el mismo laboratorio donde se llevó a cabo la calibración. Es común en los laboratorios de calibración que dichos certificados se generen desde una hoja de cálculo común, puesto que la mayoría de los laboratorios utilizan hojas de cálculo para calcular error e incertidumbre de medida (Bruns et al., 2021). Entonces, un laboratorio de calibración puede, en una misma hoja de cálculo:

- Capturar la información del cliente (razón social, domicilio, entre otros.) y del instrumento (marca, modelo, resolución, etcétera)
- Almacenar la información de la calibración del instrumento (error, incertidumbre, entre otros)
- Guardar los cálculos necesarios (aritméticos, de probabilidad, entre otros)
- Tener una plantilla de certificado de calibración que cumpla con los requisitos establecidos en la norma que rige los laboratorios de calibración (ISO/IEC 17025, 2017). Una vez llena dicha plantilla, se puede mandar a imprimir a un archivo PDF o físicamente a una impresora para tener el certificado en papel (ver figura 1).



**Figura 1.** Flujo de trabajo en la emisión de un certificado de calibración tradicional (PTB, DCC). Crédito: DCC, 2017.

Hasta aquí no hay ningún problema. Sin embargo, así como el PDF de la factura, que nos daba el joven del ejemplo, no puede ser leído eficientemente por los sistemas informáticos contables, tampoco el certificado de calibración en PDF se puede ingresar a ningún sistema computarizado para que automáticamente tome en cuenta la información que contiene. A una máquina debo ingresarle información en un lenguaje y formato que pueda entender. Y para los instrumentos de medida ese lenguaje-formato está precisamente en el Certificado de Calibración Digital (DCC, por sus siglas en inglés).

La figura 2 muestra la estructura fundamental del certificado de calibración digital propuesta por el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania. Dicha estructura está soportada por organismos y estándares relacionados con la metrología en general y las calibraciones en particular: el *Vocabulario Internacional de Metrología* (VIM), la *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida* (GUM), el *Comité de Datos del Consejo Internacional de Ciencias* (CODATA, que define los valores de las constantes físicas universales), así como el SI y la norma 17025, que ya hemos abordado.

La estructura del dcc comprende (Hackel et al., 2017):

- Los datos administrativos regulados son imprescindibles para una identificación clara y precisa del dcc, por lo que los campos de datos están prestablecidos.
- Los resultados de la calibración comprenden datos regulados por el si (valor de medición, la incertidumbre de medida, etcétera) Pero también pueden existir datos no regulados, como valores de presión en milímetros de mercurio, o algún valor adimensional solicitado por el cliente.
- Los comentarios, incluidos gráficos o imágenes se guardan como información no sujeta a regulaciones.
- Un documento comprensible para los seres humanos, de apariencia similar al certificado de calibración analógico, complementa el dcc.

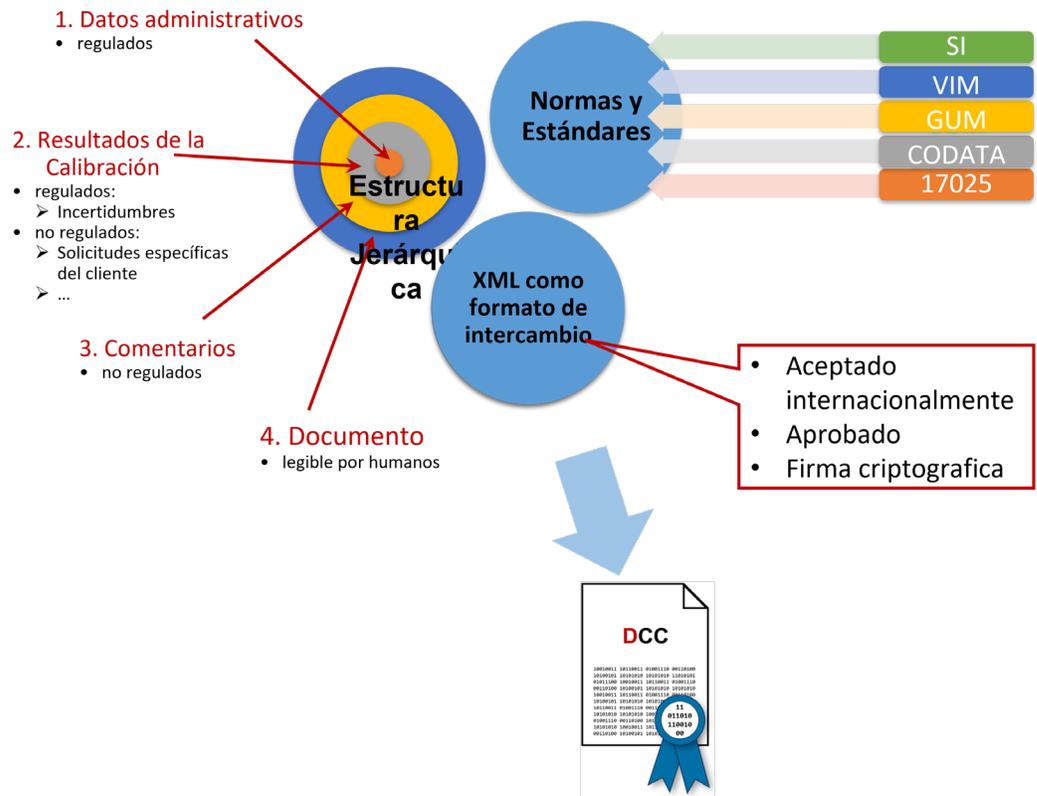


Figura 2. Elementos del Certificado de Calibración Digital (Hackel et al., 2017).

El progreso logrado hasta la fecha está liderado principalmente por los Institutos Nacionales de Metrología (NMI, por sus siglas en inglés) de los países más desarrollados económicamente (Hackel et al., 2017; Boschung et al., 2021). La propuesta más difundida sobre el dcc, hasta la fecha implica la creación de estructuras (llamadas *XML schema*) de la información de los dcc, así como los elementos de esas estructuras, o sea, los archivos *XML* propiamente dichos, igual que en las facturas (Wiedenhöfer et al., 2019). Se requieren varias estructuras diferentes puesto que se calibran instrumentos de medida para diferentes magnitudes: masa, volumen,

temperatura, pH, intensidad luminosa, rugosidad, resistencia eléctrica, etcétera. Y en cada una de esas magnitudes, los resultados de las calibraciones pueden implicar diferentes elementos, tales como gráficos, tablas, ecuaciones, etcétera. Además de requerir la representación adecuada de las unidades de medida correspondientes a cada magnitud (ver ejemplo en tabla 1).

Nombre	Símbolo	Representación en formato de unidades base del SI (legible por humanos)	Representación en formato de unidades base del SI (legible por máquinas)
Ohm	$\Omega$	$\frac{\text{m}^2\text{kg}}{\text{s}^3\text{A}^2}$	<code>\metre\tothe{2}\kilogram\second\tothe{-3}\ampere\tothe{-2}</code>

**Tabla 1.** Semántica del SI legible por máquina a utilizar en el DCC (Hutzchenreuter et al., 2019).

Nótese aquí la diferencia con el caso de las facturas, cuya estructura de información aunque no es simple no presenta muchas variantes, pues básicamente se ocupan datos de fechas, números reales, tablas, números enteros, símbolos y cadenas de texto relativamente cortas para todas las facturas, aunque unas sean de papelería, otras de un restaurante, otras de gasolina, etcétera. Ojo, el logotipo de la empresa es un accesorio de la factura impresa, legible por el humano, una máquina, de requerir esa información, la podría tener en una cadena de caracteres, por ejemplo.

Por otra parte, un DCC necesita todos esos tipos de datos, además de la posibilidad de requerir: ecuaciones, graficas 2D o 3D, largas cadenas de texto, listas de referencias, etcétera. Y por encima de todo esto, el DCC tiene una orientación internacional, dados el origen y la naturaleza de la metrología, a diferencia de las facturas, que generalmente son documentos de alcance nacional.

Actualmente se discuten también otras propuestas orientadas a satisfacer los requisitos de información tanto de las máquinas como de los humanos — antes de enviar a una máquina la información del certificado, deberá seguir revisándose por un humano—. Una de ellas es el uso de un archivo en PDF al que se le puede incrustar la hoja de cálculo con la información necesaria para la máquina (Boschung et al., 2021).

## Próximos pasos

Actualmente se trabaja en aterrizar en forma práctica los esquemas XML — definen la estructura del documento— y la generación de archivos XML — contienen la información estructurada. Ver figura 3— en las distintas magnitudes que conforman el sistema internacional de unidades, SI (BIPM, 2019), pero sobre todo en lo que van demandando los distintos giros industriales de los países desarrollados. Por ejemplo, el NMI de Alemania, el PTB, ya ha desarrollado XML *schema* (esquema XML) para mediciones en masa o temperatura (entre otras magnitudes) (Oppermann et al., 2022) y trabaja ahora con mediciones de flujo, energía eléctrica y otras.

```
<si:real>
<si:label>temperature</si:label>
<si:value>23.2</si:value>
<si:unit>\degreecelsius</si:unit>
<si:expandedUnc>
<si:uncertainty>0.2</si:uncertainty>
<si:coverageFactor>1.96</si:coverageFactor>
<si:coverageProbability>0.95</si:coverageProbability>
<si:distribution>normal</si:distribution>
</si:expandedUnc>
</si:real>
```

Figura 3. Fragmento de formato XML.

De manera global, las máximas autoridades en metrología científica de cada país (los NMI) elaboran sus propias estrategias de desarrollo y difusión del DCC, dado que las condiciones del entorno socioeconómico e infraestructura de la calidad —metrología, normalización, acreditación y evaluación de la conformidad— varían de país en país (Sanetra y Marbán, 2007). Sin embargo, se tiene el consenso general de que las estructuras de los DCC deberán coincidir al menos para cada magnitud incluida en el Sistema Internacional de Unidades de medida, el SI.

## Conclusiones

La industria 4.0 lleva ya algo de camino recorrido y una variedad de tecnologías implementadas desde hace varios años. Al terminar la calibración de un instrumento de medida se emite un certificado de calibración, hasta la fecha en papel o en un tipo de digitalización (archivo PDF). Esta situación está cambiando con la emisión de certificados de calibración digitales (no digitalizados), que pueden ser legibles por máquina y, en caso de requerirse, generar una versión legible por los humanos. El objetivo final es que el DCC se vuelva un documento controlable por las máquinas, no sólo legible por ellas.

### *Mas información se puede localizar en:*

- [Video sobre el DCC \(PTB\)](#)
- [DCC \(PTB\)](#)
- [D-SI \(NPL, KRIS, NIM, Zeiss, Hexagon, Mitutoyo, Sartorius, entre otros\)](#)
- [SmartCom Project](#)

## Referencias

- ❖ Boschung, G., Wollensack, M., Zeier, M., Blaser, C., Hof, C., Stathis, M., Blattner, P., Stuker, F., Basic, N., y Grasso Toro, F. (2021). PDF/A-3 solution for digital calibration certificates. *Measurement: Sensors*, 18, 100282. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100282>.
- ❖ Bruns, T., Nordholz, J., Röske, D., y Schrader, T. (2021). A demonstrator for measurement workflows using digital calibration certificates (dccc). *Measurement: Sensors*, 18, 100208. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100208>.
- ❖ Bureau International des Poids et Mesures (BIPM). (2019). *The international system of units*, 9.<sup>a</sup> ed. France, ISBN 978-92-822-2272-0. <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>.
- ❖ Digital Calibration Certificate (dcc). (2017). Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB). <https://n9.cl/q42c5>.
- ❖ Hackel, S., Härtig, F., Hornig, J., y Wiedenhöfer, T. (2017). The digital calibration certificate. *PTB-Mitteilungen*, 127, 75-81. <https://dx.doi.org/10.7795/310.20170403>.
- ❖ Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM) (2012). *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*. 3.<sup>a</sup> ed. <https://n9.cl/nqc6c>
- ❖ ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (PROY-NMX-EC-17025-IMNC-2018). Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC). <https://www.imnc.org.mx/wp-content/uploads/2018/04/Cata%CC%81logo-de-Normas-IMNC-ABRIL-2018-.pdf>.
- ❖ Kok, G. (2022). The digital transformation and novel calibration approaches. *Technisches Messen*, 89, 214-223. <https://doi.org/10.1515/teme-2021-0136>.
- ❖ Ley de la Infraestructura de la Calidad (LIC). (2020). *Diario Oficial de la Federación*. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LICal\\_010720.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LICal_010720.pdf).
- ❖ Oppermann, A., Eickelberg, S., Exner, J., Bock, T., Bernien, M., Niepraschk, R., Heeren, W., Baer, O., y Brown, C. (2022). Digital transformation in metrology: building a metrological service ecosystem. *Procedia Computer Science*, 200, 308-317. <https://www.doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.229>.
- ❖ Pereira, A. C., y Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>.
- ❖ Sanetra, C. y Marbán, R. M. (2007). Enfrentando el desafío global de la calidad: una infraestructura nacional de la calidad. Sistema Interamericano de Metrología, SIM. <https://n9.cl/e9k318>.
- ❖ Wiedenhöfer, T., Hutzschenreuter, D., Smith, I., y Brown, C. (2019). A universal and flexible structure for digital calibration certificates (dcc). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3696567>.