

## ¿Qué es la Metrología?

No existe una definición clara y completa de la Metrología, con la que al menos los metrologos se encuentren satisfechos, fuera de la clásica que la define como "ciencia de la medición". Sin duda ello es debido a que, estando latente en prácticamente todas las facetas de la vida diaria, casi nadie es consciente de ello. En un intento de definición lo más completa posible, proponemos la siguiente: "La Metrología es la ciencia que tiene por objeto el estudio de las propiedades medibles, las escalas de medida, los sistemas de unidades, los métodos y técnicas de medición, así como la evolución de lo anterior, la valoración de la calidad de las mediciones y su mejora constante, facilitando el progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida".

La Metrología comprende pues todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se refieren a las mediciones, cualesquiera que sean sus incertidumbres, y en cualesquiera de los campos de la ciencia y de la tecnología en que tengan lugar. Cubre tres actividades principales:

- La definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas.
- La realización de las unidades de medida por métodos científicos.
- El establecimiento de las cadenas de trazabilidad, determinando y documentando el valor y exactitud de una medición y diseminando dicho conocimiento.

La Metrología se considera habitualmente dividida en tres categorías, cada una de ellas con diferentes niveles de complejidad y exactitud: 1. La Metrología Científica, que se ocupa de la organización y el desarrollo de los patrones de medida y de su mantenimiento (el nivel más alto).2.

La Metrología Industrial, que asegura el adecuado funcionamiento de los instrumentos de medición empleados en la industria y en los procesos de producción y verificación.3. La Metrología Legal, que se ocupa de aquellas mediciones que influyen sobre la transparencia de las transacciones comerciales, la salud y la seguridad de los ciudadanos.

## ¿Qué importancia tiene la Metrología para la sociedad?

Las mediciones juegan un importante papel en la vida diaria de las personas. Se encuentran en cualquiera de las actividades, desde la estimación a simple vista de una distancia, hasta un proceso de control o la investigación básica.

La Metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo y el conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones con sustrato científico ya que la medición permite conocer de forma cuantitativa, las propiedades físicas y químicas de los objetos. El progreso en la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición. Las mediciones son un medio para describir los fenómenos naturales en forma cuantitativa. Como se explica a continuación "la Ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en ausencia de mediciones". Las mediciones suponen un costo equivalente a más del 1% del PIB combinado, con un retorno económico equivalente de entre el 2% y el 7% del PIB. Ya sea café, petróleo y sus derivados, electricidad o calor, todo se compra y se vende tras efectuar procesos de medición y ello afecta a nuestras economías privadas. Los radares (cinemómetros) de las fuerzas de seguridad, con sus consecuencias económicas y penales, también son objeto de medición. Horas de sol, tallas de ropa, porcentaje de alcohol, peso de las cartas, temperatura de locales, presión de neumáticos, etc. Es prácticamente imposible describir cualquier cosa sin referirse a la metrología. El comercio, el mercado y las leyes que los regulan dependen de la metrología y del empleo de unidades comunes.

## ¿Con qué frecuencia debo recalibrar mis patrones/instrumentos?

Esta es una cuestión difícil de contestar, ya que no existe un periodo fijo establecido. El periodo de recalibración depende de varios factores como son la frecuencia y ¿severidad¿ de uso, esta última dependiente tanto de las condiciones ambientales, como del cuidado puesto en la manipulación (patrones) y manejo (instrumentos). También hay que considerar la deriva inherente a determinados instrumentos y patrones. Los patrones e instrumentos nuevos deben recalibrarse con mayor

frecuencia, con objeto de determinar su estabilidad metrológica a lo largo del tiempo. Asimismo, debe evaluarse la incertidumbre de medida. Si tras varias recalibraciones se observa que la estabilidad es mejor que la incertidumbre requerida, entonces pueda ampliarse el periodo de recalibración, pudiendo alcanzar hasta un máximo de cinco años; por el contrario, si es peor, deberá acortarse el periodo de recalibración, pudiendo llegarse incluso a la calibración diaria. Por todo lo anterior, un Certificado de Calibración no incluye nunca la fecha de la próxima calibración. Es el cliente quien, en su laboratorio o empresa, debe definir el plazo de recalibración de los distintos elementos, dentro de su Sistema de Gestión de la Calidad.

### **¿Es posible realizar una calibración sin evaluar su incertidumbre?**

Según el Vocabulario internacional de términos metrológicos (VIM), el resultado de medición es “el valor atribuido al mensurando, obtenido por medición”, y el resultado no está completo si no incluye información sobre la incertidumbre de medida. Además, la norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2006 - Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración indica claramente (5.10.4.1) que los certificados de calibración deben incluir la incertidumbre de medición. Así pues, para que un informe o certificado pueda ser llamado de calibración es indispensable acompañar los resultados de las mediciones de su respectiva incertidumbre.

Yendo más allá de los requisitos formales, los resultados de calibración se usan para corregir las lecturas de los instrumentos y para estimar la incertidumbre de las mediciones con ellos realizadas. Además, para garantizar el cumplimiento de tolerancias y especificaciones, debe tenerse en cuenta el efecto de la incertidumbre de medida.

### **¿Cómo estimo la incertidumbre asociada a mis mediciones?**

La incertidumbre de medición comprende, en general, muchas componentes; algunas de ellas pueden evaluarse a partir de la distribución estadística de los resultados de series de medidas, y pueden caracterizarse por desviaciones típicas experimentales; otras componentes, que también pueden ser caracterizadas por desviaciones típicas, se evalúan a partir de la asunción de determinadas distribuciones de probabilidad basadas en la experiencia o en otras informaciones. Las etapas a seguir para evaluar y expresar la incertidumbre del resultado de una medición, tal como se presentan en la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, pueden resumirse como sigue:

1. Expresar matemáticamente la relación existente entre el mensurando  $Y$  y las magnitudes de entrada  $X_i$  de las que depende el mensurando, en la forma  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ , incluyendo correcciones y factores de corrección, que pueden contribuir significativamente a la incertidumbre del resultado.
2. Determinar los valores estimados  $x_i$  de las magnitudes de entrada  $X_i$ , a partir del análisis estadístico de series de observaciones, o por otros métodos.
3. Evaluar las incertidumbres típicas  $u(x_i)$  de cada valor estimado  $x_i$  bien por análisis estadístico de series de observaciones (evaluación de tipo A), bien por otros medios (evaluación de tipo B).
4. Evaluar, si es el caso, las covarianzas asociadas a todas las estimaciones de entrada que estén correlacionadas.
5. Calcular el resultado de medición; esto es, la estimación  $y$  del mensurando  $Y$ , a partir de la relación funcional  $f$  utilizando para las magnitudes de entrada  $X_i$  las estimaciones  $x_i$  obtenidas en el paso 2.
6. Determinar la incertidumbre típica combinada  $u_c(y)$  del resultado de medida  $y$ , a partir de las incertidumbres típicas y covarianzas asociadas a las estimaciones de entrada.
7. Si debe obtenerse una incertidumbre expandida  $U$ , multiplicar la incertidumbre típica combinada  $u_c(y)$  por un factor de cobertura  $k$ , normalmente comprendido entre los valores 2 y 3,

para obtener  $U = k \cdot u_c(y)$ . Seleccionar  $k$  considerando el nivel de confianza (normalmente 95%) requerido para el intervalo  $y - UCI + U$ .

8. Documentar el resultado de medición  $y$ , junto con su incertidumbre típica combinada  $u_c(y)$ , o su incertidumbre expandida  $U$ , describir cómo han sido obtenidos los valores de  $y$ ,  $y$  de  $u_c(y)$  o  $U$ .

### ¿Qué fuentes de incertidumbre es necesario considerar en una medición?

En una medición existen numerosas fuentes posibles de incertidumbre, entre ellas:

- A. definición incompleta del mensurando,
- B. realización imperfecta de la definición del mensurando,
- C. muestra no representativa del mensurando (la muestra analizada puede no representar al mensurando definido),
- D. conocimiento incompleto de los efectos de las condiciones ambientales sobre la medición, o medición imperfecta de dichas condiciones ambientales,
- E. lectura sesgada de instrumentos analógicos, por parte del personal técnico,
- F. resolución finita del instrumento de medida o umbral de discriminación,
- G. valores inexactos de los patrones de medida o de los materiales de referencia,
- H. valores inexactos de constantes y otros parámetros tomados de fuentes externas y utilizados en el algoritmo de tratamiento de los datos,
- I. aproximaciones e hipótesis establecidas en el método/procedimiento de medida,
- J. variaciones en las observaciones repetidas del mensurando, en condiciones aparentemente idénticas.

Estas fuentes no son necesariamente independientes, y algunas de ellas, A e I, pueden contribuir a la J.

### ¿Qué diferencia existe entre calibración y verificación?

La calibración, según el Vocabulario internacional de términos metrológicos (VIM) es 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.

La calibración determina las características metrológicas del instrumento o del material de referencia y se realiza mediante comparación directa con patrones de medida o materiales de referencia certificados. La calibración da lugar a un Certificado de Calibración y, en la mayoría de los casos, se fija una etiqueta al instrumento calibrado.

La verificación, por su parte, consiste en revisar, inspeccionar, ensayar, comprobar, supervisar, o realizar cualquier otra función análoga, que establezca y documente que los elementos, procesos, servicios o documentos están conformes con los requisitos especificados.

En cierto modo, puede decirse que la verificación es una calibración "relativa" ya que no se está tan interesado en el resultado final como en saber si, a partir de ese resultado, se cumplen o no unos requisitos especificados. Para pronunciarse al respecto, debe tenerse en cuenta la incertidumbre asociada al resultado (véase UNE-EN ISO 14253-1:1999).

## ¿Hay alguna diferencia entre 'exactitud' y 'precisión'?

Si, existe una gran diferencia.

Aunque en el lenguaje de calle, ambos términos son sinónimos, sin embargo, metrológicamente, los términos exactitud y precisión, aunque relacionados entre sí, no deben intercambiarse, ya que la diferencia entre ambos es significativa.

El Vocabulario Internacional de términos fundamentales y generales de Metrología (VIM) define el término exactitud como el grado de concordancia entre el resultado de una medición y un valor verdadero del mensurando, haciendo hincapié en que a) el término exactitud es cualitativo y b) que no se utilice el término exactitud en lugar de precisión. Sin embargo, este último término no aparece definido en el VIM, por lo que tomamos su definición y ligazón con el término exactitud de la norma UNE 82009-1, equivalente a la ISO 5725-1. En esta norma, el término exactitud engloba a la veracidad y a la precisión, pudiendo escribirse:

EXACTITUD = VERACIDAD + PRECISIÓN

La veracidad, definida como el grado de coincidencia entre el valor medio obtenido de una gran serie de resultados y un valor aceptado como referencia, viene expresada usualmente en términos de sesgo, definiéndose este como la diferencia entre el valor medio obtenido y un valor aceptado como referencia (por ejemplo, un valor convencionalmente verdadero del mensurando). El sesgo es pues el error sistemático total, por oposición al error aleatorio, pudiendo existir uno o más errores sistemáticos contribuyendo al sesgo. A mayor error sistemático respecto al valor aceptado como referencia, mayor sesgo, y viceversa.

Por su parte, la precisión se define como el grado de coincidencia existente entre los resultados independientes de una medición, obtenidos en condiciones estipuladas, ya sea de repetibilidad, de reproducibilidad o intermedias.

Así pues, la precisión depende únicamente de la distribución de los resultados, no estando relacionada con el valor verdadero o especificado. La precisión se expresa generalmente a partir de la desviación típica de los resultados. A mayor desviación típica menor precisión.

## ¿Qué relación existe entre 'exactitud', 'precisión' e 'incertidumbre'?

Cuando expresamos el resultado de una medición en la forma debida; es decir, añadiendo al resultado la incertidumbre asociada al mismo, por ejemplo, 5,47 mm  $\pm$  0,02 mm, lo que estamos indicando es el nivel de confianza existente, normalmente un 95%, de que el verdadero valor del mensurando se encuentre dentro del intervalo  $\pm$  0,02 mm.

Es la diferencia entre el resultado y el valor convencionalmente verdadero o de referencia, la que nos informa del sesgo o error sistemático total existente. Si dicho error es corregible, entonces cuanto más precisa haya sido la medición (menor dispersión se haya observado en los resultados), menor incertidumbre asociada obtendremos, aunque también existirán contribuciones a la incertidumbre procedentes de las propias correcciones efectuadas. No hay que olvidar que para la estimación de la incertidumbre, se parte de la hipótesis de que todos los errores sistemáticos conocidos han sido corregidos previamente.

Si el error sistemático no es corregible, entonces la incertidumbre aumentará, ya que habrá que combinar la desviación típica que caracteriza la precisión, con el propio error sistemático, a fin de obtener una incertidumbre que englobe todas las contribuciones. En resumen, siempre ocurre que a mayor precisión, menor incertidumbre, pero si la medición no es exacta y hay errores sistemáticos sin cancelar, a igual precisión, la incertidumbre será tanto mayor cuanto mayor sean dichos errores, siempre que actuemos como indica la Guía para la expresión de la incertidumbre y los tengamos en cuenta en la estimación de U.