



ANIMACIÓN A LA METROLOGÍA

El siguiente documento ha sido elaborado por la Comisión de Ingeniería de la Calidad de la Comunidad AEC Calidad. Este Foro de relación trabaja para posicionar la Calidad y a sus profesionales como valor central de las organizaciones como un motor de transformación.

Entre sus objetivos, la Comunidad se ha marcado la promoción y divulgación de la calidad como un valor clave para la mejora de la competitividad de las empresas y los profesionales.

Para ello, fomenta el intercambio de conocimientos y buenas prácticas, a través de sus reuniones y eventos tanto en presencial como en formato virtual y con la elaboración de documentos e informes, como éste.

La AEC promueve la difusión de los trabajos elaborados por sus Comunidades y Comités, respetando al máximo su independencia y el criterio de sus miembros, sin tener que compartir en todo momento sus opiniones.

Asociación Española para la Calidad (AEC). Septiembre 2020



01 | **Introducción a la Metrología**
Organizaciones nacionales
e internacionales

02 | **Conceptos metrológicos**

03 | **Calibración**
Organización de un laboratorio de
calibración
Plan de calibración

04 | **Incertidumbre**

05 | **Elección de un equipo de medida**

01 | Introducción a la Metrología

La Metrología es la ciencia de la medida. El verdadero valor numérico de una magnitud física siempre es desconocido. Al medir aspiramos a conocer el valor de la magnitud con una cierta aproximación. Para ello son imprescindible dos cosas:

- Utilizar unidades de medida idénticas para todos los usuarios.
- Tener patrones que se identifican con cada unidad de medida.

Lo primero, aunque con dificultades, se ha resuelto por la Conferencia General de Pesas y Medidas y sus organismos.

El segundo requisito es más complicado de resolver. Sólo algunos laboratorios metrológicos e institutos tienen la capacidad de definir las unidades de las magnitudes y obtener, así, patrones primarios. Se realiza una inter-comparación entre estos patrones, viendo cuanto difiere el valor de cada uno de ellos del valor medio de todos. Así se asigna un valor numérico a cada patrón primario (con una incertidumbre) y servirá para dar valor numérico a otros patrones o a la desviación de los resultados de los instrumentos de medida.

El análisis de las civilizaciones antiguas nos permite conocer su organización y evolución a través de los sistemas de medidas que les eran propios que, a veces, tenían el mismo nombre, pero valores próximos y no coincidentes, lo que hacían difícil las transacciones comerciales. Esta situación se intenta superar, y la Convención del Metro de 1875 firmada por 17 países crea el Sistema Métrico, que hoy se denomina Sistema Internacional.

Todas las unidades se derivan de unidades básicas, segundo (tiempo), metro (longitud), kilogramo (masa), amperio (intensidad de corriente eléctrica), mol (cantidad de sustancia) y candela (intensidad luminosa).

Organizaciones nacionales e internacionales

Conferencia General de Pesas y Medidas

Es el órgano de decisión de la Convención del Metro, tratado firmado en París en 1875. Se integra por los delegados de los Estados miembros de la Convención del Metro y los Estados asociados y se reúne cada cuatro años. La primera conferencia tuvo lugar en 1889.

Ésta tiene por misión:

- Discutir y promover las acciones necesarias para propagar y perfeccionar el Sistema Internacional de Unidades.
- Sancionar los resultados de nuevas determinaciones metrológicas fundamentales y adoptar resoluciones científicas de alcance internacional.
- Adoptar decisiones concernientes a la organización y el desarrollo de la Conferencia Internacional.

Comité Internacional de Pesas y Medidas

Su función es asegurar la uniformidad mundial de las unidades de medida, sea por acción directa o presentando propuestas en la Conferencia General. Está conformado por 18 personas de distintos países y seleccionadas de los estados miembros de la Convención del Metro. Se reúne anualmente (desde 2011 en dos sesiones al año) en el Bureau Internacional de Pesas y Medidas (BIPM). Allí se discuten los informes presentados por los Comités Consultivos, pero además es responsable de:

- Discutir el trabajo del BIPM e informar a la Conferencia General.
- Presentar un informe anual sobre la situación financiera y administrativa del BIPM a los Estados miembros.
- Discutir el trabajo metrológico que los Estados miembros decidan realizar en común y coordinar las actividades entre los especialistas en metrología.
- Realizar recomendaciones apropiadas.

Bureau Internacional de Pesas y Medidas

En sus orígenes se limitó a trabajos sobre longitud y masa, ampliándose posteriormente a patrones eléctricos, fotométricos y de radiaciones ionizantes. Esta ampliación de tareas aconsejó la creación de órganos especializados denominados Comités Consultivos, que son los encargados de coordinar los trabajos con la finalidad de asegurar la unificación internacional de las unidades de medida.

En la actualidad hay ocho Comités:

- Electricidad
- Fotometría y Radiometría
- Termometría
- Definición del metro
- Definición del segundo
- Patrones de medida de radiaciones ionizantes
- Unidades
- Masa y magnitudes afines

EURAMET

Es una organización metrológica a nivel europeo. Está formada por los Institutos Nacionales de Metrología de los países miembros y firmantes del Acuerdo sobre Espacio Económico Europeo y la Comisión Europea. Desarrolla la colaboración entre sus miembros, establece contactos con otras organizaciones y es interlocutor de la Comisión Europea sobre trazabilidad en Europa.

European Cooperation for Accreditation of Laboratories (EAL)

Su propósito es construir y mantener la confianza mutua entre los servicios de calibración de los Estados miembros. Adicionalmente, tiene como objetivo el mantenimiento de cauces para un flujo de “know-how” para establecer un nivel de capacidad de medida común y alto, para lo cual publica criterios para el funcionamiento de los servicios adscritos y organiza intercomparaciones de mediciones y visitas para su validación y reconocimiento.

En España, las entidades que impulsan el papel de la Metrología son:

Consejo Superior de Metrología

Fue creado por la Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología, y es el órgano superior de asesoramiento y coordinación del Estado en materia de metrología científica, técnica, histórica y legal, encontrándose en la actualidad adscrito, a través de la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, al Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

Su funcionalidad está orientada a coordinar las actividades de los departamentos ministeriales relacionadas con la metrología habida cuenta de la gran influencia que las medidas tienen en las actividades cotidianas, informando y proponiendo al Ministerio de Industria, Comercio y Turismo y, a través de éste, al Gobierno, en su caso, las medidas tendentes a disponer de un sistema metrológico nacional coordinado en sus líneas de acción científico técnica y reglamentaria.

Centro Español de Metrología (CEM)

El Centro Español de Metrología es un organismo autónomo adscrito a la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. Fue creado por la Ley 31/1990 de Presupuestos Generales del Estado de acuerdo con lo previsto en la Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología.

El Centro Español de Metrología es el máximo órgano técnico en el campo de la metrología en España. Su estatuto fue aprobado por el Real Decreto 1342/2007, de 11 de Octubre, y modificado por el Real Decreto 240/2019, de 5 de abril.

Sus funciones son:

- Custodia, conservación y diseminación de los patrones nacionales de las unidades de medida.
- Soporte de trazabilidad a la red de laboratorios de calibración y ensayo e industria.
- Ejercicio de las funciones de la Administración General del Estado en materia de metrología legal.
- Ejecución de proyectos de investigación y desarrollo en el ámbito metrológico.
- Gestión del Registro de Control Metrológico.
- Formación de especialistas en metrología.
- Representación de España ante las organizaciones metrológicas internacionales.

Entidad Nacional de Acreditación (ENAC)

El Real Decreto 1715/2010, de 17 de diciembre, designa a la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) como organismo nacional de acreditación de acuerdo con lo establecido en el Reglamento (CE) nº 765/2008 del Parlamento Europeo y el Consejo, de 9 de julio de 2008, por el que se establecen los requisitos de acreditación y vigilancia del mercado relativos a la comercialización de los productos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) nº 339/93.

ENAC es una asociación sin ánimo de lucro y declarada de utilidad pública. Su estructura y principios de funcionamiento garantizan que todas sus actuaciones se basan en los principios de imparcialidad, independencia y transparencia, contando en sus órganos de gobierno con todas las partes interesadas en el proceso, esto es, los acreditados, la industria usuaria de sus servicios y las administraciones públicas.

La acreditación es una herramienta establecida a escala internacional para generar confianza sobre la correcta ejecución de un tipo de actividades denominadas Actividades de Evaluación de la Conformidad y que incluyen ensayo, calibración, inspección, certificación o verificación, entre otras.

02 | Conceptos metrológicos

Para facilitar su búsqueda se incluyen por orden alfabético una serie de conceptos y terminología básica procedente fundamentalmente del Vocabulario Internacional de Metrología (VIM).

Término	Definición
Atributo	Propiedad o característica de una entidad que puede ser apreciada cuantitativa o cualitativamente por medios humanos o automáticos.
Almacenamiento de datos	Propiedad o característica de una entidad que puede ser apreciada cuantitativa o cualitativamente por medios humanos o automáticos.
Concepto medible	Relación abstracta entre atributos de entidades y necesidades de información.
Criterio de decisión	Umbrales, objetivos y patrones usados para determinar la necesidad de una acción o investigación posterior, o para describir el nivel de confianza en un resultado dado.
Datos	Conjunto de valores asignados a métricas base, métricas derivadas, y/o indicadores.
Entidad	Objeto caracterizado por la medida de sus atributos. Ejemplo: Un objeto puede ser un proceso, un producto, un proyecto o un recurso.
Error	Diferencia entre el resultado de una medida y el considerado como valor real de la misma.
Escala	Conjunto ordenado de valores, continuos o discretos, o un conjunto de categorías con las que se corresponde el atributo.
Escala de valores (escala de medida)	Conjunto ordenado de valores de magnitudes de una determinada naturaleza , utilizado para clasificar magnitudes de esta naturaleza, en orden creciente o decreciente según sus valores cuantitativos, VIM .

Exactitud de medida (exactitud)	Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando , VIM .
Factor de conversión	Relación entre dos unidades de medida correspondientes a magnitudes de la misma naturaleza , VIM .
Función de medición	Algoritmo o cálculo realizado para combinar dos o más métricas base.
Interesados	Individuo u organización que patrocina la medición, proporciona datos, es usuario de los resultados de la medición o participa de otra forma en los procesos de medición.
Magnitud	Propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia, VIM .
Magnitud de base	Magnitud de un subconjunto elegido por convenio, dentro de un sistema de magnitudes dado, de tal manera que ninguna magnitud del subconjunto pueda ser expresada en función de las otras, VIM .
Magnitud derivada	Magnitud dentro de un sistema de magnitudes , definida en función de las magnitudes de base de ese sistema, VIM .
Métrica	Método de medición definido y la escala de medición que proporcionan una estimación o evaluación de atributos especificados derivados de un modelo con respecto a las necesidades definidas de información.
Medición	Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud , VIM .
Medida	Resultado de una medición aplicando una métrica.
Mensurando	Magnitud que se desea medir, VIM .
Medir	Hacer una medición.
Método de medida	Descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición , VIM .

Métrica base	Métrica definida en términos de un atributo y el método de cuantificación del mismo <i>NOTA 1- Una métrica base es funcionalmente independiente de otras medidas.</i>
Métrica derivada	Medida definida como una función de dos o más valores de métricas base.
Método de medición	Secuencia lógica de operaciones, descritas genéricamente, usadas en la cuantificación de un atributo con respecto a una escala especificada. <i>NOTA 1- El tipo de método de medición depende de la naturaleza de las operaciones usadas para cuantificar un atributo. Se pueden distinguir dos tipos:</i> <i>subjetivo – cuantificación involucrando juicios humanos.</i> <i>objetivo – cuantificación basada en reglas numéricas.</i>
Modelo	Algoritmo o cálculo combinando una o más medidas base y/o derivadas con los criterios de decisión asociados.
Metrología	Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, VIM .
Necesidad de información	Conocimiento necesario para gestionar los objetivos, los fines, los riesgos y los problemas.
Observación	Instancia de aplicar un procedimiento de medición para producir un valor para una medida base.
Operador	Individuo u organización que opera el sistema.
Precisión	Grado de concordancia entre los resultados obtenidos al aplicar un procedimiento de medida repetidas veces bajo condiciones establecidas.
Principio de medida	Fenómeno que sirve como base de una medición, VIM .
Procedimiento de medida	Descripción detallada de una medición conforme a uno o más principios de medida y a un método de medida dado, basado en un modelo de medida y que incluye los cálculos necesarios para obtener un resultado de medida, VIM .

Procedimiento de medición	Conjunto de operaciones, descritas en detalle, usadas en la realización de una medición particular de acuerdo con un método dado.
Proceso	Conjunto de actividades interrelacionadas que transforman las entradas en salidas.
Resultado de medida Resultado de una medición	Conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mensurando , acompañados de cualquier otra información relevante disponible.
Sistema internacional de Unidades (SI)	Sistema de unidades basado en el Sistema Internacional de Magnitudes , con nombres y símbolos de las unidades, y con una serie de prefijos con sus nombres y símbolos, así como reglas para su utilización, adoptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), VIM.
Tolerancia	Diferencia entre los valores máximo y mínimo que puede tomar una magnitud física en un cierto elemento para que sea acorde con las especificaciones dadas.
Unidad de medida	Cantidad particular, definida y adoptada por convención, con la cual otra cantidad de la misma clase se comparan para expresar su magnitud relativa a esa cantidad.
Usuario de la medida	Individuo u organización que usa los productos de información.
Unidad de base	Unidad de medida adoptada por convenio para una magnitud de base .
Unidad derivada	Unidad de medida de una magnitud derivada.
Valor	Resultado numérico o de categoría, asignado a una medida base, medida derivada o indicador.
Valor de indicador	Resultado numérico o de categoría asignado a un indicador.
Valor medido de una magnitud	Valor de una magnitud que representa un resultado de medida , VIM.

Valor verdadero de una magnitud

Valor de una magnitud compatible con la definición de la **magnitud, VIM.**

Veracidad de medida

Proximidad entre la media de un número infinito de **valores medidos** repetidos y un **valor de referencia, VIM.**

Bibliografía

- 1. GUM:** Guide to the expression of uncertainty in measurement -Developing and using measurement models. Joint Committee for Guides in Metrology; COMMITTEE DRAFT JCGM 103 CD:2018-10-04.
- 2. VIM:** Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). 3ª Edición en español 2012. Traducción de la 3ª edición del VIM 2008. JCGM 200:2012.
- 3. UNE-ISO/IEC 15939:** Ingeniería del Software y Sistemas. Procesos de medición.
- 4. ISO/IEC/IEEE 24765:** Systems and Software engineering. Vocabulary 2010-12-15.

03 | Calibración

ORGANIZACIÓN DE UN LABORATORIO DE METROLOGÍA

El usuario adquiere productos industriales cuya complejidad aumenta con el tiempo que, en unos casos, es el resultado de mejorar lo que ya existía y, en otros, es fruto de la investigación. En ambos casos, satisfacen las expectativas del cliente y eso permite que se mantengan en el mercado. Para conseguir estos productos es necesario realizar unos proyectos y hacer una serie de comprobaciones que sin la ayuda de los laboratorios de Metrología no podrían tener lugar. La preocupación por medir bien ha existido siempre, entendiendo por tal aquella medida que una vez realizada se tiene conocimiento de cuál es el valor máximo del error cometido. Medir bien, por lo tanto, no significa necesariamente medir con precisión.

Para las empresas, la metrología es una necesidad rentable. Estar seguro de las medidas que realizan a sus productos es estar seguro de la calidad de éstos. El papel de la metrología consiste en controlar y asegurar el empleo de todos los medios de medida utilizados en la empresa. La calidad de las mediciones está muy ligada a los medios de control, a su funcionamiento y a la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales.

La gestión de los medios de medida consiste en el conjunto de operaciones a realizar para definir el parque de instrumentos de medida de la empresa. Como puntos fundamentales se deben tener en cuenta:

- El análisis de la necesidad y la elección del equipo adecuado.
- La recepción, puesta en servicio y seguimiento de los equipos.
- La calibración/verificación.

La elección de un equipo de medida depende de adecuar las exigencias tecnológicas de los productos con las prestaciones de los equipos, también se debe tener presente el criterio de homogeneizar el parque de equipos.

La recepción y puesta en servicio de un equipo de medida exige que a su llegada al Laboratorio de Metrología se asegure la realización de las siguientes operaciones:

- Comprobar que se corresponde con el pedido.
- Comprobar la validez de los Certificados de Calibración, si lo acompañan.
- Establecer un Plan de Calibración o verificarlo antes de su puesta en servicio.
- Identificación y marcado.
- Adherir la etiqueta de calibración.
- Introducirlo en inventario.

El personal que trabaja en metrología debe hacerlo con total independencia. Otras cualidades son el rigor y método en la aplicación de los procedimientos, su espíritu crítico y de curiosidad para la mejora continua. El metrólogo debe:

- Controlar que se mantienen las condiciones ambientales previstas.
- Calibrar y definir la trazabilidad de los patrones.
- Recepcionar y calibrar periódicamente los instrumentos de medida.
- Realizar las mediciones de las piezas de fabricación que le solicitan.
- Tener una formación y cualificación permanente en su área.

Los trabajos realizados en el laboratorio, tanto de medición como de calibración, no deben verse influidos por variaciones en las condiciones ambientales (humedad, temperatura, etc).

El patrón es una medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad, o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia.

Los patrones deben ser almacenados en un local acondicionado adecuadamente de acuerdo a su precisión. La trazabilidad de las medidas está garantizada, porque por una parte los patrones son calibrados por otros equipos de mejor nivel metrológico y estos, a su vez, por otros hasta llegar al patrón nacional o internacional, por sucesivas comparaciones. Se trata, en definitiva, de una cadena de intercomparaciones que no se puede ni debe romper.

La empresa que fabrica productos industriales tiene la necesidad de controlar la fabricación, para lo que es imprescindible efectuar mediciones de distintos parámetros y magnitudes físicas que permiten controlar el producto o el proceso. Estas mediciones deben ser repetibles, exactas y con una incertidumbre adecuada a las tolerancias a controlar. Para satisfacer estos requisitos, la empresa debe contar con un parque de instrumentos de medida gestionado de tal forma que se pueda asegurar la fiabilidad de las mediciones efectuadas.

Todas las normas y recomendaciones internacionales en materia de ensayos y control de calidad exigen que las mediciones efectuadas tengan trazabilidad a los patrones adecuados y, a través de éstos, a las unidades básicas del Sistema Internacional. La satisfacción de este requisito implica, evidentemente, que los instrumentos de medida estén calibrados y de esta forma garantizar la bondad y la trazabilidad de los resultados de las mediciones.

Se entiende por Calibración el conjunto de operaciones que establece, en unas condiciones especificadas, la relación que existe entre los valores indicados por un instrumento y los correspondientes valores conocidos de una magnitud física medida.

Así pues, para calibrar un instrumento hace falta otro de mayor precisión que nos proporcione el “valor convencionalmente verdadero” necesario para contrastar la indicación del instrumento problema. Al aplicar sistemáticamente este principio llegamos a establecer, en sentido ascendente, una cadena ininterrumpida de comparaciones, que nos relacionan las mediciones realizadas por un instrumento determinado con los patrones del más alto nivel. Se llama Trazabilidad a la propiedad del resultado de una medición, por la cual este resultado se puede relacionar o referir a los patrones nacionales o internacionales adecuados por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de comparaciones.

PLAN DE CALIBRACIÓN

El Plan de Calibración es una ordenación de todos los patrones y equipos de un Laboratorio de una Empresa de mayor a menor precisión.

La documentación necesaria para soportar el Plan de Calibración de un Laboratorio de Metrología está compuesta por la siguiente información:

- Carta de trazabilidad (opcional).
- Diagrama de niveles.
- Procedimientos de calibración.
- Archivo de resultados.
- Etiqueta de calibración.
- Registro general.

En primer lugar debe confeccionarse una lista de los instrumentos de medida que hay en la empresa. Muchas veces esta lista no coincide con el inventario contable de instrumentos, pues algunos de ellos se habrán quedado obsoletos y otros tendrán unas características constructivas o de uso que los hacen de complicada o difícil utilización. Los instrumentos de esta lista son lo que se van a contemplar en el Plan de Calibración.

Una vez confeccionada la lista de los instrumentos que se quiere que entren en calibración (cuantos más instrumentos, más caro es el plan), se clasifican los instrumentos por áreas de medida de acuerdo con la magnitud física que miden; por ejemplo: tiempo y frecuencia; masa y fuerza; presión y vacío; temperatura; óptica e iluminación; acústica; electricidad; radiofrecuencia y varios. Dentro de cada área se ordenan los instrumentos de mayor a menor precisión (mejor sería decir de mejor a peor exactitud).

Una vez clasificados, es fundamental establecer dos categorías: los que se van a calibrar dentro de la empresa a partir de los instrumentos o patrones calibrados fuera, o instrumentos de calibración interna, y los que se tienen que enviar a calibrar fuera de la Empresa, o instrumentos de calibración externa.

La decisión sobre cuántos instrumentos calibrar dentro de la empresa y cuántos fuera, es un compromiso de costes y disponibilidad que debe resolver la empresa.

Esta sistemática exige calibración externa de unos pocos y muy buenos instrumentos, a partir de los cuales, el Laboratorio da calibración al resto de los instrumentos de la Empresa. La calibración externa la recibe de los laboratorios de calibración acreditados por ENAC, y de esta forma las mediciones realizadas con los instrumentos calibrados por el laboratorio de la empresa son referibles a los patrones nacionales o internacionales adecuados, es decir, tienen trazabilidad.

La Carta de trazabilidad refleja gráficamente la cadena de Laboratorios o Centros de nivel metrológico superior que enlazan los patrones de un Centro de trabajo con los del Laboratorio nacional de forma que quede suficientemente asegurado el enlace final a las unidades básicas.

El Diagrama de niveles es un gráfico en el que figuran agrupados y ordenados por niveles de calibración, todos los patrones, instrumentos y equipos de medida de un laboratorio.

Un grupo queda formado por todos aquellos elementos que se calibran con los mismos medios y procedimientos. Un nivel está formado por aquellos grupos que son calibrados por otros que pertenecen a niveles superiores. Se denomina Nivel de referencia al formado por los patrones e instrumentos que deben ser calibrados en

otro Laboratorio de nivel metrológico superior o de cuyas incertidumbres certificadas se parte para calibrar a los demás. El último nivel está formado por los grupos que una vez calibrados no se emplean en ninguna otra calibración interna del laboratorio. En cada grupo y mediante flechas que entran y salen de él, se indica de qué otros grupos recibe calibración y a quién se la da. El Diagrama de niveles permite observar la disposición relativa de toda la instrumentación del laboratorio dentro de una estructura jerárquica.

El Procedimiento de calibración es el conjunto de operaciones que deben realizarse para calibrar un patrón o un instrumento de medida, con el fin de establecer su trazabilidad y hacer posible su utilización metrológica apropiada.

Datos generales:

- Título. Denominación genérica del Instrumento o grupo al que se aplica.
- Identificación. Código que identifique el procedimiento.
- Emisión y fecha de la última revisión.
- Instrucciones de calibración. Debe exponer con suficiente detalle los datos concretos a calcular y las comprobaciones a realizar.
- Observaciones preliminares como:
 - El equipo debe estar identificado mediante un código.
 - Inspección visual de su estado general.
 - Atemperar los instrumentos o equipos de medida.
 - Reglaje del cero mecánico en los aparatos de aguja.
 - Limpieza y desengrase de medios mecánicos.
 - Verificación y funcionamiento correcto de todos los mandos mecánicos.
 - Precalentamiento de los aparatos eléctricos /electrónicos.
- Patrones a utilizar. Relación concreta de los patrones a utilizar, trazables metrológicamente.
- Modo operativo. Se incluye en detalle la secuencia de operaciones a realizar. Puntos de calibración y número de reiteraciones en cada punto. Cálculos a efectuar con los datos obtenidos. La corrección, la incertidumbre, otros parámetros que se consideren necesarios. Para cualquiera de los cálculos a efectuar se advertirá si se utilizan criterios de aceptación o rechazo.

- Detalles finales de la calibración. Limpieza del instrumento y protección, si el equipo lo requiere. Anotación de los datos objetivos en un gráfico para conocer su deriva en el tiempo, si se considera necesario. Colocar Etiqueta de calibración con información mínima: Identificación del Laboratorio que realizó la calibración, Identificación del calibre, Número del informe de medición y Fecha de la próxima calibración.
- Los resultados de una calibración deben presentarse en un documento, el **Certificado de Calibración**, que debe contener además de los resultados, al menos la siguiente información.
- Datos administrativos:
 - Identificación del Laboratorio que realizó la calibración.
 - Título del documento (Certificado/informe...).
 - Número de identificación del documento.
 - Fecha de calibración.
 - Identificación del instrumento calibrado: Denominación. Marca, modelo y número de serie. Número de identificación interna cuando exista.
 - Identificación del solicitante de la calibración.
 - Fecha de emisión del documento.
 - Firma del responsable.
- Información técnica:
 - Indicación de los patrones utilizados y de su trazabilidad.
 - Condiciones ambientales de calibración.
 - Procedimiento de calibración utilizado.
 - Resultados obtenidos e incertidumbres asignadas.

Los documentos de calibración no pueden contener enmiendas ni tachaduras. Tampoco contendrán recomendación o consejo alguno en función de los resultados obtenidos. No podrán ser emitidos, si el instrumento está averiado o no está identificado adecuadamente.

Si un equipo que tiene varias escalas, no son calibradas todas, deberá quedar este hecho reseñado con claridad para evitar informaciones defectuosas.

Se indicará también el criterio aplicado para calcular la incertidumbre.

El **Intervalo de calibración** es el periodo de tiempo durante el cual se considera que el equipo de medida está dentro de sus especificaciones. Antes de asignar a un Equipo de Medida el correspondiente intervalo se le debe encuadrar en alguna de las siguientes clases:

- No precisa calibración porque son equipos que dan una indicación, el valor de la medida es orientativo sin valor metrológico.
- Calibración periódica. El intervalo de calibración se repite periódicamente.
- Calibración no periódica. El intervalo de calibración es función del número de horas de trabajo o del número de piezas controladas, etc.

No hay criterio único en la fijación del tiempo. La experiencia metrológica e industrial de las empresas ha permitido concretar unos períodos que deben servir a título orientativo, ya que para cada calibre o elemento de control se deberá tener en cuenta:

- Grado de precisión del instrumento.
- Frecuencia de uso.
- Estabilidad y deriva.
- Rentabilidad económica.

04 | Incertidumbre

Medir es comparar una cantidad de determinada magnitud con otra de su misma especie que se toma como unidad o algún múltiplo o submúltiplo de la misma y se expresa mediante el valor numérico de la magnitud y de la unidad de medida, su expresión comprende los cuatro elementos siguientes:

- Un valor numérico.
- Una unidad en la que está expresado ese valor numérico.
- Una incertidumbre.
- Una unidad en la que está expresada esa incertidumbre, y que puede coincidir con la del valor numérico anterior o no. Ejemplo, $\rightarrow 3,000 \text{ kg} \pm 100 \text{ mg}$.

La magnitud que se quiere medir se llama “mensurando”.

El objetivo de la medición es obtener el valor ‘Y’ del mensurando, pero ya se sabe que su valor verdadero es siempre desconocido, debido a las imperfecciones que arrastra cualquier actividad humana.

Para que el resultado obtenido en la medición sea lo más próximo posible al valor del mensurando es necesario que el metrólogo disminuya estos errores. Por esta razón, el resultado de la medición es siempre aproximado y se le asigna un valor en cuyo entorno con una alta probabilidad se encuentra el valor verdadero. Aquel fue el valor más probable encontrado en las operaciones de medición y debe entenderse como valor convencionalmente verdadero.

CAUSAS DE ERROR

Existen en las mediciones causas de error que actúan de forma aleatoria, tales como la imperfección del equipo con el cual se trabaja, la variación de las magnitudes de influencia, los errores debidos al operador, etc.

Las causas que provocan los errores se pueden agrupar de la siguiente forma:

- debidas al equipo o calibre,
- debido a la persona que lo manipula,

- debidos a las magnitudes de influencia y agentes externos,
- debido al mensurando (pieza o equipo que se está midiendo).

CÁLCULO DE ERRORES

Se puede decir que los errores no nos permiten acceder al valor verdadero de la magnitud. Esta noción de Valor verdadero es un concepto ideal. Por tanto:

$$\text{Resultado de la medición} = \text{Valor verdadero} + \text{Error}$$

Pero el Error es siempre posible descomponerlo en Error sistemático y Error aleatorio, de forma que la relación anterior podía tomar la siguiente expresión:

$$\text{Resultado de la medición} = \text{Valor verdadero} + \text{Error sistemático} + \text{Error aleatorio}$$

Error aleatorio. Resultado de una medición menos la media de un número infinito de mediciones del mismo mensurando, efectuadas bajo condiciones de repetibilidad.

Error sistemático. Medida que resultaría de un número infinito de mediciones del mismo mensurando efectuadas bajo condiciones de repetibilidad, menos un valor verdadero del mensurando.

Como ya se indicó anteriormente el objetivo de todo metrólogo es dar un resultado lo más próximo posible al Valor verdadero, de ahí la necesidad de eliminar o disminuir los errores, para conseguirlo se debe actuar de la siguiente forma:

- repetir las medidas para Errores aleatorios
- calculando y aplicando las correcciones, en los Errores sistemáticos

Se admite que las medidas obtenidas al repetir la medición de una magnitud física es una muestra de una población constituida por infinitas medidas, como resultado de la medida se toma el valor medio de la población.

Definir las correcciones que se deben realizar es la operación más difícil a la que se enfrenta el metrólogo, pues exige tener conocimiento y experiencia en el trabajo que lleva a cabo.

Las principales fuentes de error sistemático se pueden encontrar en el método de medida, algoritmo de cálculo, redondeo, magnitudes de influencia, calidad del instrumento, posición del mensurando, personales, ...

Para detectar y poner en evidencia los errores sistemáticos se dispone de los siguientes métodos:

- Medida de una magnitud conocida.
- Intercomparación de medidas entre laboratorios.
- Medida de la misma magnitud con instrumentos diferentes.
- Medida de la misma magnitud con métodos de medida diferentes.
- Medida de la misma magnitud haciendo variar de forma controlada las condiciones ambientales.

INCERTIDUMBRE

El resultado de una medición es la medida, que es un valor numérico de una magnitud llamada mensurando, función de las observaciones repetidas, que tienen por origen la misma magnitud, el procedimiento, la persona y las magnitudes de influencia.

A cada uno de estos componentes se les asigna un valor que, a su vez, deberá ser corregido porque se obtuvo siempre por una medición que lleva aparejada los errores ya comentados. Estos últimos valores deberían ser corregidos de nuevo y, así sucesivamente, corrección corregida por otra corrección. Esta forma de trabajar obliga a interrumpir los cálculos o mediciones en donde mejor convenga, sabiendo que quede un valor de corrección desconocida, pero de la cual tenemos alguna información.

Algunas de las **fuentes de error** que intervienen en la medición son:

- Las constantes físicas utilizadas, que no son conocidas perfectamente.
- A la corrección de calibración se le asigna un valor de incertidumbre por el laboratorio que lo realizó.
- En el valor medio de las observaciones repetidas, existe una dispersión.
- Si se utiliza un valor único, se tiene la duda de si se encontraría el mismo valor si se repitiese la medida.
- En la corrección por variación de temperatura, existe una incertidumbre o duda en el equipo de medida.

A cada uno de los componentes citados anteriormente se le asignó un valor con una cierta indefinición o duda, por ejemplo $28\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, la corrección se hace o calcula con el valor de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y hay una parte residual que se decide no corregir, que en este

caso corresponde a 2 °C. La corrección correspondiente a este valor no se calcula, aunque la tenemos en acotada. En otros casos no está tan bien definida. Pues bien, al valor máximo de dicha corrección residual se le llama incertidumbre.

La aplicación de las correcciones a la lectura inicial (bruta) nos lleva a obtener “el valor más probable”, pero como no se introdujeron todas las correcciones, desconocemos “el valor verdadero” de la magnitud en estudio. Sin embargo, se puede escribir que el resultado de la medida es $X \pm U$.

Donde U es la incertidumbre de la medida, que es un parámetro asociado al resultado que caracteriza la dispersión de los valores del mensurando. Este parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica y representa el valor de la semiamplitud de un intervalo alrededor del valor más probable (que es el valor mejor corregido). Dicho intervalo representa una zona de valores que pueden ser atribuidos al mensurando, entre los cuales se encuentra el valor verdadero.

05 | Elección de un equipo de medida

Para elegir un equipo de medida no es suficiente con adquirir el más completo, el más caro, el mejor, hay que dar una serie de pasos y tener en cuenta aspectos concretos que nos permitan hacer que esa elección sea la más adecuada.



El primer paso es conocer nuestra necesidad de metrología. Algunos de los motivos por los que queremos implementar un proceso de medición pueden ser porque hay alguna norma que nos exija controlar nuestra producción, porque nos lo requiera un cliente, para obtener una homologación, para ofrecer un servicio extra a nuestros clientes...

Según la fuente de nuestra necesidad, puede que las mediciones que tengamos que hacer sean más estrictas o menos. También entrarían aquí la magnitud, las unidades y el rango de medida.

Por ejemplo, si se está fabricando piezas que van a ir ensambladas, que tienen bastante juego y que simplemente he de comprobar si montarán bien por un único punto, puede que con una herramienta estilo “paso/no pasa” sea suficiente para determinar si estoy haciendo correctamente mi proceso productivo.

Si el montaje que he realizar después es más complejo y/o mis tolerancias más restrictivas, entonces tendré que buscar un equipo más preciso que me permita medir correctamente. Y aquí entran varios factores en juego:

- Qué tecnología se ajusta más a mis necesidades:
 - Dónde voy a medir, qué características ambientales tendré:
 - » En un laboratorio aislado, con temperatura constante que no afecte a los materiales ni a las mediciones, y sin corrientes de aire.
 - » Cerca de máquinas o en un lugar de paso, con vibraciones en el suelo.
 - » Nivel de suciedad y polvo en el ambiente.
 - » ¿Voy a poder transportar mi producto de donde se hace a donde se mide con facilidad?.
 - Tamaño de las piezas a medir:
 - » El equipo elegido debe tener relación con el tamaño de mis piezas. Hay equipos que son mejores para grandes dimensiones, equipos pensados para piezas pequeñas y equipos que permiten un margen mayor que otros para ajustarse.
 - Con qué frecuencia voy a medir:
 - » ¿Mediré en línea todas las piezas? ¿Apartaré una muestra representativa?.
 - » ¿Es conveniente realizar esta inversión, o para la frecuencia de medición que voy a tener me sale más rentable subcontratar el servicio?.

- No sólo el equipo es importante, sino también el software con el que voy a obtener y tratar los datos, y hacer el posterior análisis:
 - ¿Me permite el software seleccionado hacer todos los cálculos que necesito?.
 - Si tengo diferentes equipos con los que medir, ¿puedo usar el mismo software en todos?.
 - ¿Es fácil de aprender a usar?.
- Metrólogos que van a realizar el control:
 - Qué nivel de formación tienen. ¿Requieren más?.

Otros aspectos a tener en cuenta pueden ser las condiciones de la pieza a medir en sí. Por ejemplo, si para fabricarla la recubro de aceite, esa grasa se ha de limpiar antes de medir. O, por ejemplo, si fabrico cristal y lo quiero escanear, antes tendré que pintar la pieza para que el láser rebote. En estos casos, he de añadir un paso intermedio de adecuación de la pieza para medir. Este paso requerirá un tiempo y quizás materiales, por lo que ha de ser contemplado en los gastos y como condicionante de la tecnología a escoger.

Este documento pretende dar unas pautas y conocimientos básicos en el ámbito de la Metrología, con el ánimo de servir de guía inicial a aquellos profesionales que lo puedan necesitar para el desarrollo de su trabajo. Les ayudará a aclarar conceptos, conocer a las entidades principales en esta actividad y plantearse preguntas clave para elegir el equipo de medida más adecuado.

Cualquier información adicional a este documento será bienvenida desde la Comisión de Ingeniería de Calidad de la Comunidad AEC Calidad. A través de la web de la AEC pueden consultarnos **aquí**

