

UNIDAD
DIDÁCTICA

9

FUNDAMENTOS DE METROLOGÍA APLICADOS A LA CALIDAD

PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

1. Requerimientos de las normas ISO 9000
2. Metrología
 - 2.1. Fundamentos de metrología
 - 2.2. Unidades de medida y patrones
 - 2.3. Trazabilidad y calibración
 - 2.4. Intervalo de incertidumbre y tolerancia
3. Equipos de medición y ensayo
4. Ensayos entre laboratorios

GLOSARIO DE LA UNIDAD

ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

EJERCICIOS VOLUNTARIOS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

Las normas ISO de la serie 9000 establecen la necesidad de la implantación de sistemas de metrología y/o calibración en la empresa. Todos los productos y servicios de una organización incluidos dentro de un sistema de gestión de calidad deben ajustarse a determinados requisitos para ser clasificados como productos o servicios conformes. Para ello se deberán seleccionar los equipos de medida más adecuados para trabajar con los productos o servicios disponibles en la organización teniendo en cuenta que siempre deben garantizar la precisión y la exactitud del proceso de medida. Al finalizar esta Unidad didáctica el estudiante deberá ser capaz de conocer:

- Qué se entiende por metrología.
- Qué son las unidades de medida y los patrones.
- Qué es la trazabilidad.
- La diferencia entre intervalo de incertidumbre y tolerancia.
- Para qué se utilizan los equipos de medición y ensayo.
- Los tipos de errores que hay en las mediciones.
- Qué son la reproducibilidad, repetibilidad, estabilidad, linealidad, capacidad, consistencia, uniformidad y sensibilidad.
- Cómo se realizan los ensayos entre laboratorios.

Para alcanzar estos objetivos, se ha organizado esta Unidad en diferentes epígrafes acordes a los puntos anteriores.

1. REQUERIMIENTOS DE LAS NORMAS ISO 9000

La necesidad de la implantación de sistemas de metrología y/o calibración en la empresa está condicionada por las exigencias de las normas ISO de la serie 9000.

ISO 9001:2015

7.1.5. Recursos de seguimiento y medición

7.1.5.1. Generalidades

La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para asegurarse la validez y fiabilidad de los resultados cuando se realice el seguimiento o la medición para verificar la conformidad de los productos y servicios con los requisitos.

La organización debe asegurarse de que los recursos proporcionados:

- a) Son apropiados para el tipo específico de actividades de seguimiento y medición realizadas.
- b) Se mantienen para asegurarse de la idoneidad continua para su propósito. La organización debe conservar la información documentada apropiada como evidencia de que los recursos de seguimiento y medición son idóneos para su propósito.

ISO 9004

7.6. CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN

La dirección debería definir e implementar procesos de seguimiento y medición eficaces y eficientes, incluyendo métodos y dispositivos para la verificación y validación de los procesos y productos para asegurarse de la satisfacción del cliente y de las otras partes interesadas. Estos procesos incluyen encuestas, simulaciones y otras actividades de seguimiento y medición.

Con la finalidad de proporcionar confianza en los datos, los procesos de seguimiento y medición deberían incluir la confirmación de que los dispositivos son aptos para utilizarse y que se mantienen con una precisión adecuada de acuerdo a normas aceptadas, así como un medio para identificar el estado de los mismos.

.../...

.../...

La organización debería considerar medios para eliminar los errores potenciales de los procesos tales como «a prueba de error» para la verificación de las salidas de los procesos con el fin de minimizar la necesidad de controlar los dispositivos de medición y seguimiento, y para aportar valor a las partes interesadas.

Todos los productos y servicios incluidos dentro de un sistema de gestión de calidad deben ajustarse a determinados requisitos para ser clasificados como productos o servicios conformes. Estos requisitos pueden clasificarse en legales, contractuales o internos.

En el caso de los dispositivos de seguimiento y medición, cualquier requisito de medida debe establecerse junto con unos intervalos de tolerancia o capacidades de medida que suelen venir impuestos por el cliente, aunque en algunas ocasiones son exigidos por la legislación aplicable. En caso de que estos intervalos no estén definidos, debe ser la organización la que los determine y los establezca como requisitos propios.

Una vez que los requisitos de medida están establecidos y se han definido las tolerancias admisibles, es el momento de seleccionar los equipos de medida más adecuados para trabajar con los productos o servicios disponibles en la organización teniendo en cuenta que siempre deben garantizar la precisión y la exactitud del proceso de medida.

2. METROLOGÍA

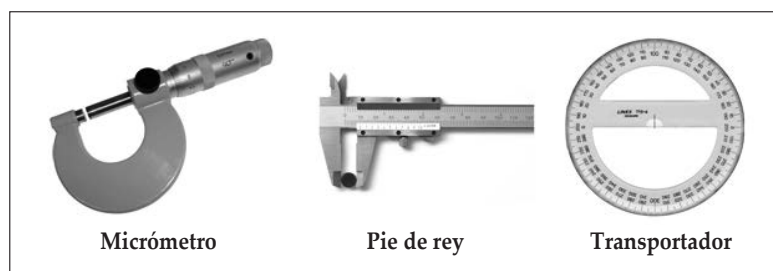
2.1. FUNDAMENTOS DE METROLOGÍA

La **metrología** es la ciencia que estudia todos los aspectos relacionados con las unidades de medida y los instrumentos de medición [etimológicamente viene de metros (medida) y logos (estudio)]. La metrología se caracteriza por dos aspectos fundamentales: el resultado de la medición y el intervalo de incertidumbre.

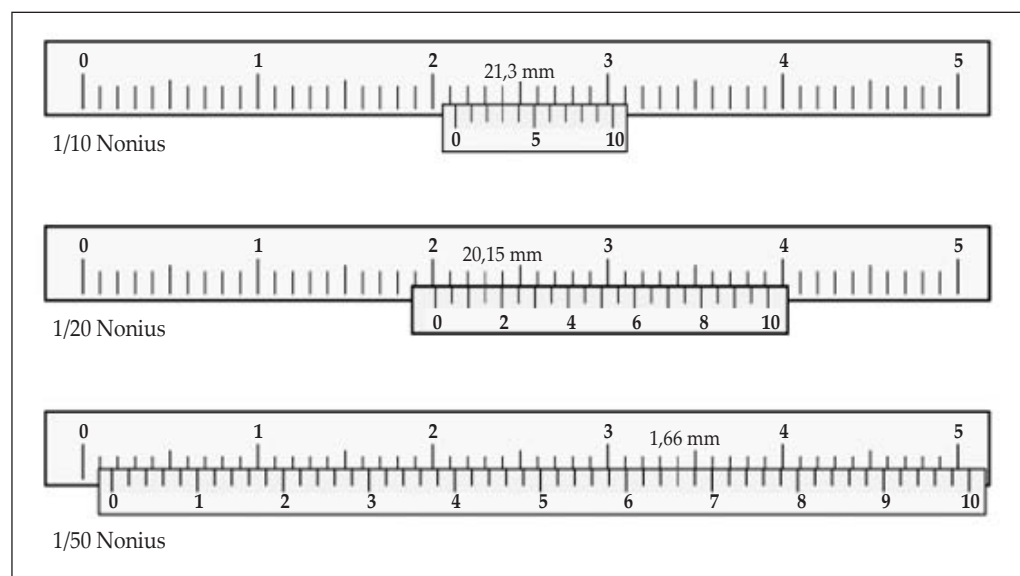
La **medida** es la acción de medir una magnitud física que sometida a la influencia de factores ambientales es independiente de otras magnitudes físicas. La medida y la acción de medir son conceptos relacionados que se incluyen dentro del área de estudio de la metrología.

En general, la medición se suele aplicar al caso de mediciones sobre magnitudes físicas en las que existen patrones de magnitud conocida fija e invariable (medición de ángulos, longitudes, superficies, volúmenes, etc.), denominándose **medición indirecta** o **por comparación**. La medida se obtiene a través de la lectura de la diferencia de la pieza respecto del patrón.

La **medición directa** se realiza con aparatos que determinan la medida mediante una escala, sin necesidad de ningún dispositivo auxiliar. Los aparatos más sencillos para la medición directa son las reglas graduadas, el pie de rey, el micrómetro y el transportador de ángulos.



Los aparatos para la medición directa suelen emplear una escala auxiliar denominada **nonius** que incrementa la resolución de la medida.



Un **sistema de medición** puede definirse como el conjunto de todos los equipos de control, estándares, métodos, operaciones, *software*, personal, entorno, etc., utilizados en el proceso de medición. Representa el proceso completo usado para realizar mediciones.

El **ensayo** es una operación técnica que consiste en determinar una o más características en la que coexisten diversas magnitudes físicas. Suele aplicarse cuando es necesario realizar operaciones complejas en las que deben llevarse a cabo procedimientos concretos de trabajo que suelen verse influenciados por las magnitudes ambientales.

Las cualidades de un instrumento de medida se apoyan en los siguientes conceptos:

- **Exactitud.** Se refiere a la coincidencia de la graduación o escala y el valor indicado en ella. La exactitud de un aparato indica la variación entre la medida leída y la medida real de la pieza.
- **Precisión o repetibilidad.** Variación de una medición a otra cada vez que se repite sobre una misma decisión.
- **Resolución.** Se refiere a la capacidad de lectura de escala (si la escala está graduada en milímetros, la resolución será de 1 milímetro).
- **Sensibilidad.** Es la relación existente entre una división de la escala del aparato y la medida.

Cálculo de las cualidades de un aparato de medida

1. Medir con el aparato una pieza patrón de magnitud conocida:

Medida patrón = 30,016 mm

Valores obtenidos tras 10 mediciones en las mismas condiciones:

30,045; 30,030; 30,015; 30,000; 30,030; 30,015; 30,030; 30,045; 30,045; 30,000

2. Calcular la media y el recorrido

Valor máximo medido	30,045
Valor mínimo medido	30,000
Recorrido (R)	0,045

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n} \rightarrow \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n} = 30,025$$

La desviación de \bar{x} respecto a la medida real es de 0,009 mm.

Exactitud (desviación de la media de los recorridos)	0,009 mm
Precisión (recorrido)	0,045

El uso y conservación de los instrumentos es fundamental en el proceso de medición. Si el equipo de medida no se encuentra en perfectas condiciones, puede ocasionar errores y hacer que disminuya la calidad de las piezas y los productos fabricados.

El buen uso de los aparatos permite alargar su vida útil y asegurar que la medición es correcta. Las condiciones de uso dependerán del tipo de instrumento, siendo muy concretas en cada caso; por ejemplo, en el caso del micrómetro es fundamental no apretar las bocas contra la pieza de manera que se flexione el cuerpo, no debe introducirse la pieza entre las bocas del micrómetro con la medida puesta y no debe girarse el tambor para su apertura o cierre; debe usarse el trinquete.

Las herramientas empleadas para la medición nunca deben estar en contacto con el resto de los equipos ni en zonas de trabajo en las que puedan producirse virutas, esmeril, etc. Tampoco se colocarán sobre máquinas desde donde puedan caerse o mancharse de aceite.

Tras su uso, las herramientas deben limpiarse y las superficies de contacto deben cubrirse con vaselina neutra. Las herramientas de medida deben conservarse en su correspondiente estuche y, si este no existiera, se envolverán en un paño, protegidos de los agentes externos.

Los calibres e instrumentos de medida deben almacenarse en un lugar adecuado, con un número de identificación. Todo material almacenado debe ser útil para la tarea que va a desempeñar; si está esperando para una revisión o verificación, debe separarse para evitar confusiones.

Los instrumentos de medida deben revisarse periódicamente para comprobar que se encuentran en las condiciones adecuadas para su uso. La frecuencia dependerá del tipo de instrumento, de la frecuencia de utilización y del material de los calibres.

2.2. UNIDADES DE MEDIDA Y PATRONES

Una **unidad de medida** puede definirse como una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física. De manera general, una unidad de medida toma su valor a partir de un patrón o de una composición de unidades definidas previamente.

El sistema internacional de unidades, creado por el Comité Internacional de Pesos y Medidas, consiguió unificar las unidades de medida que hasta entonces formaban parte del sistema métrico decimal, estableciendo aquellas que deben ser utilizadas a nivel internacional. En él se establecen siete magnitudes básicas y los patrones necesarios para su medida: longitud, tiempo, masa, intensidad de la corriente eléctrica, temperatura, cantidad de sustancia e intensidad luminosa.

Las unidades del sistema internacional son la referencia internacional de las indicaciones de los instrumentos de medida y a las que se refieren a través de una cadena ininterrumpida de calibraciones o comparaciones. El hecho de que exista un sistema internacional de medidas permite que las medidas realizadas por instrumentos calibrados sean equivalentes y de esta forma se asegura, sin necesidad de ensayos o mediciones duplicadas, el cumplimiento de los requisitos asignados a aquellos productos comercializados.

El sistema internacional parte de siete **unidades básicas**: metro, segundo, kilogramo, amperio, kelvin, candela y mol. Cada una de estas unidades es independiente de las demás.

Magnitud física	Unidad	Definición
Longitud	Metro (m)	Un metro es la distancia recorrida por la luz en un tiempo de $1/c$, siendo c la velocidad de la luz.
Tiempo	Segundo (s)	El segundo es la duración de 9192631770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.
Masa	Kilogramo (kg)	Un kilogramo es una masa igual a la de un cilindro de platino iridiado de 39 milímetros de diámetro y de altura.
Intensidad corriente eléctrica	Amperio (A)	Un amperio es la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro uno de otro en el vacío, produciría una fuerza igual a $2 \cdot 10^{-7}$ newton por metro de longitud.
Temperatura	Kelvin (K)	Un kelvin es la temperatura termodinámica correspondiente a la fracción $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (coexisten agua, hielo y vapor).
Cantidad de sustancia	Mol (mol)	Un mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales hay en 0,012 kilogramos de carbono 12.
Intensidad luminosa	Candela (cd)	Una candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia $5,4 \cdot 10^{14}$ Hz cuya intensidad energética en dicha dirección es $1/683$ W/sr.

A partir de estas unidades y mediante operaciones matemáticas surgen una serie de unidades derivadas. Por ejemplo, m^2 , kg/m^3 , newton ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$), julio ($\text{J} = \text{N}\cdot\text{m}$), etc.

Un **patrón de medida** es una medida materializada, un instrumento de medida, un material de referencia o un sistema de medida concebido para definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o más valores de magnitud de manera que sirva de referencia. El valor de los patrones se mantiene constante.

Existen patrones que permiten contrastar todas las características medibles: peso, longitud, temperatura, concentración, voltaje, resistencia, etc.

Los patrones pueden clasificarse en función de su grado de precisión en:

- **Patrón de referencia.** Designado para la calibración de patrones de magnitudes de la misma naturaleza en una organización o lugar dado, del que se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.
- **Patrón primario.** Establecido mediante un procedimiento de medida primario o creado como un objeto por convenio. Patrón designado o ampliamente reconocido como poseedor de la más alta calidad metrológica y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud. Son los empleados en los laboratorios de alta precisión y pueden ser utilizados como patrones nacionales.
- **Patrón secundario.** Establecido por medio de una calibración respecto a un patrón primario de una magnitud de la misma naturaleza. Son los empleados en los laboratorios de las industrias y permiten verificar los patrones y calibres de taller.
- **Patrón de trabajo.** Se utiliza para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia.

2.3. TRAZABILIDAD Y CALIBRACIÓN

El proceso de **calibración** puede definirse como el conjunto de operaciones que permiten establecer, bajo determinadas condiciones, la incertidumbre asociada a las mediciones realizadas con dicho instrumento.

La calibración tiene por objeto:

- Garantizar la trazabilidad de los resultados, es decir, asegurar su fiabilidad, determinando las correcciones a ejecutar (si las hay) de las lecturas de un instrumento o el valor asignado a un patrón.
- Determinar la precisión de las lecturas de un instrumento o del valor de un patrón mediante la estimación de su incertidumbre.

La calibración del instrumento de medida o del material de referencia es una herramienta indispensable para asegurar la trazabilidad de una medida. La calibración permite determinar las características metrológicas de un instrumento, sistema o material de referencia mediante la comparación directa con patrones de medida o materiales de referencia certificados.

La ISO 9000 define la **trazabilidad** como la capacidad para seguir la historia, la aplicación o la localización de todo aquello que está bajo consideración. La **trazabilidad metrológica** es la propiedad de un resultado de medida por el cual un resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

Por tanto, la **cadena de trazabilidad** puede definirse como una sucesión ininterrumpida de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas, que permite asegurar que un resultado de medida o el valor de un patrón pueden relacionarse con referencias de niveles superiores hasta llegar al patrón primario. La cadena de trazabilidad se representa a través del siguiente diagrama.

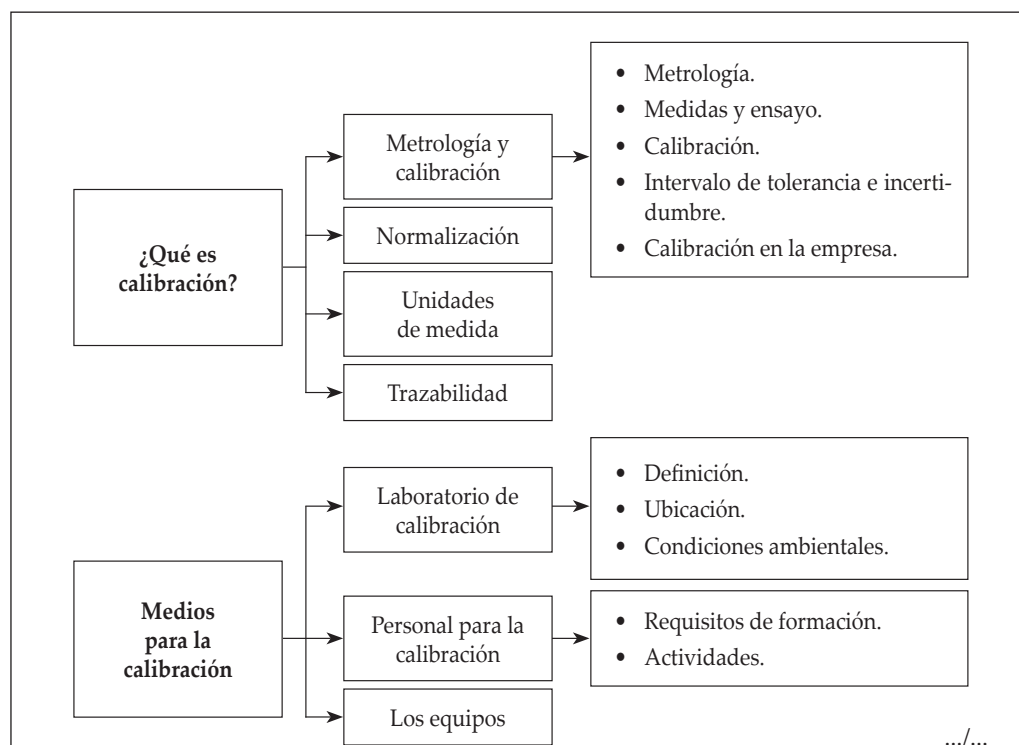


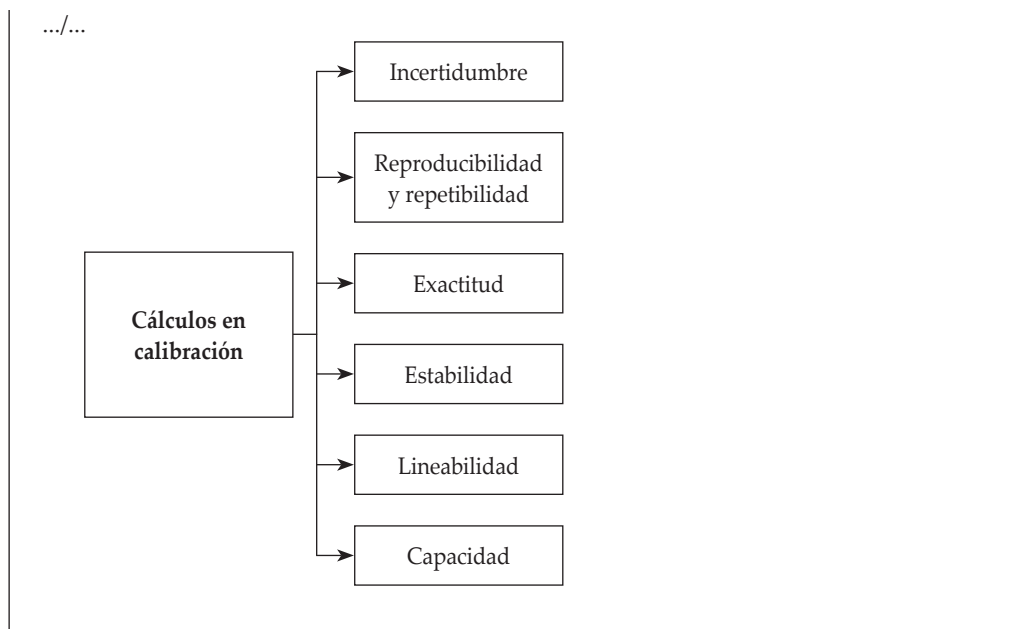
La calibración puede ser interna (se realiza en la propia organización a partir de patrones calibrados externamente) o externa (se remiten las muestras a un laboratorio de calibración acreditado).

Una vez finalizado el proceso se emite un certificado de calibración, colocando una etiqueta al instrumento que ha sido calibrado. En el informe de calibración se hacen constar los errores encontrados, las correcciones empleadas, los errores máximos permitidos, etc., y en muchas ocasiones se incluyen tablas, gráficas, etc., que mejoran el nivel de comprensión del informe.

Las organizaciones tienen razones de peso para calibrar sus instrumentos de medida:

- Establecen y demuestran la trazabilidad.
- Garantizan que la lectura del instrumento es compatible con otras mediciones.
- Determinan la exactitud de las lecturas del instrumento.
- Establecen la fiabilidad del instrumento.





La secuencia que se sigue para la calibración es la siguiente:

- **Elección y recepción de equipos.** Lo primero que se debe realizar es la elección de los equipos que deben ser calibrados. Hay que llevar un seguimiento de la frecuencia con que deben calibrados los equipos disponibles. Una vez que se conocen los equipos, hay que recepcionarlos en el laboratorio. Esta recepción incluye su identificación (marca, modelo, características, etc.), y la creación o actualización de su ficha.

Debe existir una ficha por cada equipo que incluya su nombre, identificación, fechas de calibración con sus resultados, así como su periodicidad y la fecha prevista para la siguiente calibración.

- **Realización de la calibración.** Antes de comenzar, hay que verificar que el equipo debe ser calibrado, comprobando el tipo de equipo y la fecha en la ficha.

Una vez que se ha verificado, hay que recopilar todos aquellos procedimientos e instrucciones particulares para realizar la calibración de ese equipo en concreto.

Con esta información, se realizará propiamente la operativa de la calibración y se archivarán sus resultados, incluyéndolos en la ficha.

- **Explotación de resultados.** En función de los resultados se pueden dar varios casos. En caso de que se haya detectado una pequeña variación, se procederá a ajustar el equipo, y volverá a estar operativo inmediatamente. En los casos que se constate que no funciona correctamente, pero que se puede solucionar, se reparará el equipo, tras lo cual volverá a estar operativo.

En aquellos casos en que el equipo ya no puede ofrecer las prestaciones iniciales, pero que sigue ofreciendo unas prestaciones suficientes para otro cometido, se procederá a su reclasificación.

Si se ha comprobado que no funciona correctamente, no se puede corregir, y no tiene utilidad, se procederá a dar de baja el equipo.

La principal norma a seguir de manera genérica para todos los equipos es la *UNE-EN ISO/IEC 17025:2005. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*. Pueden existir normas específicas para determinados equipos, que se pueden encontrar en www.iso.org.

2.4. INTERVALO DE INCERTIDUMBRE Y TOLERANCIA

Para medir una magnitud física es necesario compararla con otra de la misma clase que se toma como unidad y ver cuántas veces se repite esta en aquellas. Cuando se realiza una medición siempre van a aparecer errores y en muchos casos serán difíciles de identificar salvo que se trate de un error sistemático.

El error sistemático implica una diferencia constante entre las lecturas y el valor que proporcionaría el instrumento bien ajustado. La corrección sistemática debe sumarse algebraicamente a las lecturas brutas para obtener los valores corregidos.

Aunque puede pensarse que las medidas ya están libres de error, cuando se realiza una medición un número n de veces, aun en condiciones de repetibilidad, siempre existe una cierta dispersión en las medidas que impiden hallar el valor verdadero. En la práctica suele tomarse como valor óptimo el resultado de la media de las medidas efectuadas debidamente corregidas.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

A este valor se le denomina **valor convencional verdadero**, asumiendo que si las reiteraciones fueran en gran número, se aproximaría mucho al valor verdadero.

La dispersión de las medidas produce una incertidumbre que puede evaluarse a través de la desviación típica del conjunto de medidas realizadas.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

En la estimación del valor de esta corrección surgen dificultades, ya que, por un lado, el valor en ciertos mensurandos puede no estar claramente definido (por ejemplo, el espesor de un bloque patrón de longitud, cuyas caras no son realmente planas y no resultan totalmente paralelas, depende del punto en que hagamos la medición) y, por otro lado, la presencia de otras magnitudes de influencia impedirá conocer el verdadero resultado y la verdadera corrección (sistemática de medición, características del operador, condiciones ambientales, etc.).

Esta corrección residual se sumará a los otros efectos anteriormente mencionados para producir un intervalo de incertidumbre. En resumen, se estima un intervalo, $2I$, llamado **incertidumbre de medida**, que pretende intuir todas las causas de error en la expresión del resultado de una medición.

Mediante esta incertidumbre de medida puede afirmarse que el verdadero valor de la magnitud medida en el mensurando estará, con gran probabilidad, dentro de una banda, a ambos lados del valor convencionalmente verdadero de anchura $2I$, es decir, dentro de $x \pm I$.

Donde x es el resultado corregido e I la incertidumbre. Por ejemplo, si decimos que un diámetro vale $14,010 \pm 0,005$ mm, afirmamos que el verdadero valor está probablemente entre 14,005 y 14,015.

Es evidente que la incertidumbre es una expresión cuantitativa de la precisión o calidad de una medición.

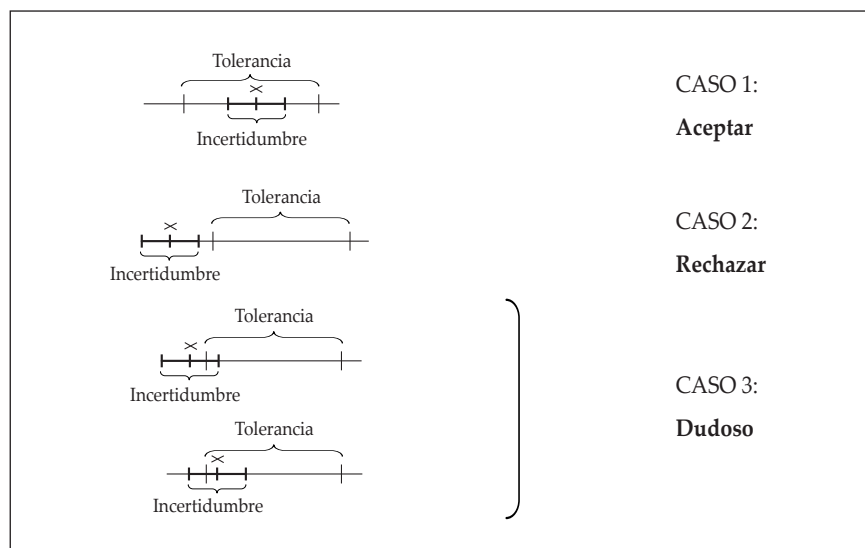
Las magnitudes significativas de los productos industriales se especifican mediante tolerancias que son intervalos de los valores admisibles para la magnitud en cuestión.

La especificación mediante tolerancias es compatible con el principio de intercambiabilidad, fundamento de la producción en serie. Los diseños se realizan de manera que las tolerancias especificadas aseguren la intercambiabilidad de elementos análogos sin alterar su funcionalidad y, para ello, las magnitudes deben mantenerse dentro de un intervalo de tolerancia, mayor o menor, en función de su criticidad.

La **tolerancia** de una magnitud puede definirse como el intervalo de valores en el que debe encontrarse dicha magnitud para que se acepte como válida. Cuando es necesario decidir si el valor de una magnitud se encuentra dentro de la tolerancia, es preciso medir, y, si esta medida no se asegura con la incertidumbre exigida, la decisión puede ser errónea.

Son posibles tres situaciones:

- Cuando el intervalo de incertidumbre se encuentra dentro del intervalo de tolerancia, casi con toda seguridad, el valor verdadero del mensurando puede considerarse admisible.
- Cuando los intervalos de incertidumbre y de tolerancia son disjuntos, debe rechazarse el mensurando.
- Cuando los intervalos de incertidumbre y de tolerancia se solapan en parte, la decisión de aceptación o rechazo es dudosa.



En la práctica se opta por un criterio de seguridad que consiste en rechazar cualquier mensurando en situación dudosa, y esto resulta siempre que el intervalo de incertidumbre sea varias veces inferior al de tolerancia. Se define el intervalo de decisión para los valores medidos o tolerancia efectiva como $T - 2I$.

Se considera admisible aquel valor que tenga una tolerancia:

$$3 < \frac{T}{2 \times I} < 10$$

3. EQUIPOS DE MEDICIÓN Y ENSAYO

Los equipos de medición y ensayo que se emplean para demostrar la conformidad de los productos con las especificaciones establecidas deben controlarse, calibrarse y mantenerse adecuadamente. Esta medida es también aplicable para los elementos de medida o control y para los patrones.

Tal y como se comentó anteriormente, la calibración es un conjunto de operaciones a través del cual se establece la relación entre los valores de una magnitud indicada por un instrumento/sistema de medida, los valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los valores correspondientes de una magnitud realizada por patrones.

El objetivo final de la calibración no es acumular datos de mediciones con patrones, sino emplear estos datos para valorar los errores de los equipos y aparatos de medición empleados en la organización; por ello, una vez finalizado el proceso deberán hacerse los cálculos oportunos para determinar si se ajustan o no a los requisitos establecidos a través del cliente, el fabricante del equipo o las normas de la organización.

Cuando se efectúa una medición y se repite el proceso de medida, puede observarse una pequeña variación de una lectura a otra. Los errores en la medida pueden aparecer debido a tres factores fundamentales:

- **Errores imputables al medio ambiente.** El lugar en el que se va a realizar la medida tendrá un papel determinante en la precisión de la lectura y, por ello, deben tenerse en cuenta factores como la variación de temperatura en la sala, la influencia del calor debido a la iluminación artificial, la radiación solar y la temperatura del objeto al que se está realizando la medición.

- **Errores imputables al operador.** Los errores en la medida imputables al operario se deben fundamentalmente a la agudeza visual, al tacto, a la sensibilidad del individuo e incluso al cansancio. Además, puede influir una incorrecta colocación de la pieza durante la medida o el mal uso del aparato.
- **Errores imputables al instrumento.** Los instrumentos de medida son fabricados con determinadas tolerancias, pero es necesario tener en cuenta que a medida que se van usando es común que aparezcan desajustes que provocarán cierta incertidumbre en la medida. Las causas más importantes son la presión por contacto (aplastamiento del material y contracción del aparato), las imperfecciones de fabricación del instrumento (holguras, rozamientos, deformaciones) y las imperfecciones por el uso del aparato (desgastes).

Cuadro resumen de condiciones ambientales

Condiciones	Metrología dimensional	Metrología eléctrica
Temperatura	Zona de interferometría: 20 ± 0,2 °C	–
	Zona de calibración: 20 ± 1 °C	Zona de calibración: 23 ± 2 °C
	Zona de medición: 20 ± 2 °C	Zona de medición: 23 ± 3 °C
	<div>Para calibración de patrones los márgenes tienen tolerancias más estrechas.</div> <div><ul style="list-style-type: none">• Las variaciones de temperatura serán inferiores a 2 °C/hora.• En laboratorios patrón se recomienda inferiores a 2 °C/4 horas.</div>	
Humedad relativa	Máximo del 50%	Máximo del 65%
	(Mínimo del 40% por razones fisiológicas)	
Polvo	<ul style="list-style-type: none">• Retener partículas mayores de 1 µm.• Máximo 200 partículas/cm³.	<ul style="list-style-type: none">• Retener partículas mayores de 5 µm (en laboratorios de precisión 1 µm).• Máximo 200 partículas/cm³.
Velocidad de circulación del aire	<ul style="list-style-type: none">• Realizar de 10 a 20 cambios/hora.• Inyección de aire limpio del 10 al 20%.• Velocidad máxima en el puesto de trabajo: 0,15 m/s.	
.../...		

Condiciones	Metrología dimensional	Metrología eléctrica
.../...		
Sobrepresión estática	De 12,5 a 25 Pa	
Vibraciones	Con una frecuencia de 200 Hz la aceleración máxima 0,003 g.	Con una frecuencia de 200 Hz la aceleración máxima 0,01 g.
Ruido	Máximo 60 dB	
Alumbrado	<ul style="list-style-type: none"> General de 800 a 1.000 lux sobre puesto de trabajo (mínimo de 550 lux en cualquier punto del laboratorio). Lámparas fluorescentes con difusor. 	
Puesta a tierra	<ul style="list-style-type: none"> Restringido para el laboratorio. 	
Apantallamiento para radiofrecuencia	—	Necesario en ciertos casos especialmente sensibles a radiaciones externas.

La precisión requerida al medir una pieza debe estar de acuerdo con la tolerancia de la cota a medir. Es difícil definir cuál debe ser la resolución de un aparato de medida, pero de manera general se dice que:

- En las mediciones de taller y control el aparato debe ser como mínimo 5 veces más resolutivo que la medida a efectuar.
- En metrología, el aparato debe ser como mínimo 10 veces más resolutivo que la medida a efectuar.

En el caso de que no se haya definido ninguna norma, instrucción o pauta de decisión ante los resultados tras una calibración, puede utilizarse el siguiente criterio:

- Error < 10% de la tolerancia → Equipo aceptable.
- Error 10% – 30% de la tolerancia → Equipo aceptable en función de la aplicación, del coste de la reparación o del propio equipo.
- Error > 30% de la tolerancia → Equipo inaceptable. Debe identificarse la causa e intentar corregirla. El equipo debe separarse, repararse o desecharse.

Los errores más comunes que nos podemos encontrar en un equipo o aparato de medición son:

- **Incertidumbre.** La incertidumbre es un parámetro que se asocia con el resultado de una medida y caracteriza la dispersión de los valores. Este parámetro se asocia al equipo de control y suele ser uno de los errores más graves dentro del proceso de medición.
- **Falta de exactitud.** El sesgo indica el error sistemático de posición del sistema de medición y puede definirse como el grado de concordancia existente entre la media de una o varias medidas sobre una misma pieza y su valor real (valor de referencia). El sesgo será una medida de la exactitud del equipo.
- **Falta de repetibilidad.** Puede definirse la repetibilidad como la variación obtenida en las medidas con el equipo de control cuando se utiliza varias veces por un solo operario al medir la misma característica sobre la misma pieza (fijación del equipo, método, operario, entorno, estándar). Está ligada a la variabilidad inherente al equipo de medida y es la causa común (error aleatorio) de la variación entre sucesivas medidas realizadas en condiciones definidas.
- **Falta de reproducibilidad.** La reproducibilidad puede definirse como la variación entre las medias de las medidas realizadas por distintos controladores usando el mismo equipo de medida sobre la misma característica de la pieza. Está ligada a la variación media entre sistemas o entre condiciones de medición.
- **Falta de estabilidad.** La estabilidad puede definirse como la variabilidad total existente entre las medias de las medidas realizadas sobre el mismo patrón o pieza para una característica en un periodo largo de tiempo.
- **Falta de linealidad.** La linealidad es la variación en el valor del sesgo a lo largo de todo el rango de medición del equipo (representa el cambio en el valor del sesgo, ligado a la dimensión que mide el equipo). Puede definirse también como la diferencia de exactitud en los valores extremos del recorrido.

4. ENSAYOS ENTRE LABORATORIOS

Los **ensayos entre laboratorios** son ensayos realizados durante un periodo determinado por un número de laboratorios que aplican el mismo método sobre un producto idéntico.

El objetivo de estos ensayos es comparar los resultados obtenidos, extrayendo conclusiones acerca de la repetibilidad y reproducibilidad del método de medida utilizado.

El resultado de una medición depende de muchos factores (patrones, instrumentos, mesurando, condiciones ambientales, experiencia, operadores, etc.) que pueden dar lugar a errores, por ello las organizaciones que participan en este tipo de ejercicio pueden comparar su sistemática de trabajo y los resultados obtenidos con los de otros laboratorios equivalentes (sectores semejantes y con rango de trabajo similar) con la intención de conocer la bondad de sus propios resultados, identificar posibles errores y solventarlos adecuadamente.

El ensayo entre laboratorios permite:

- Conocer si se mantienen en el tiempo las características de repetibilidad y reproducibilidad del método de todos los laboratorios.
- Descubrir la mejora de las características de repetibilidad y reproducibilidad como resultado de la evolución de la técnica.
- Descubrir variaciones de la repetibilidad y reproducibilidad debidas a la aplicación de método operativo a muestras diferentes.

Cada uno de los laboratorios participantes en este tipo de ejercicios procede a analizar la muestra proporcionada por el laboratorio coordinador, a quien deben remitirse los resultados de la medición efectuada. Los datos obtenidos tienen carácter confidencial y en ningún momento se conoce qué mediciones o resultados corresponden a cada laboratorio (en ocasiones suele asignarse una codificación que solo conocerá el laboratorio correspondiente).

En el caso más sencillo, una **intercomparación** consiste en la medición de una o más magnitudes en un patrón suficientemente estable. Esta medición se realiza sucesivamente por laboratorios que libremente han decidido participar en la intercomparación. Al inicio y al final de la intercomparación el laboratorio de mayor precisión (laboratorio piloto) lleva a cabo las mismas mediciones con la intención de obtener un valor de referencia con el que pueda realizarse la comparación.

El ensayo entre laboratorios se divide en las siguientes etapas:

- **Ensayo piloto realizado por un laboratorio de investigación competente.**
El objetivo de esta fase es determinar:

- La naturaleza y características de los materiales necesarios para el ensayo (equipos de medición, montajes, equipos de control, etc.).
 - La capacitación y cualificación del personal responsable de los ensayos.
 - Las precauciones a tomar con las muestras (transporte, condiciones de ensayo, cadencia de los ensayos, conservación, etc.).
 - La puesta a punto del método operatorio.
 - La definición de los parámetros de ensayo: número y naturaleza de las muestras, número de laboratorios a participar en los ensayos (normalmente superior a 12).
 - La variable sobre la que va a realizarse el ensayo.
- **Redacción de un proyecto de norma y verificación por algunos laboratorios.** Antes de redactar la norma relativa al método de ensayo es recomendable que se confirmen los resultados del ensayo piloto mediante la repetición del análisis por un número reducido de laboratorios. La norma o reglamento del ensayo, aprobado por todos los participantes en el ejercicio, contendrá como mínimo los siguientes puntos:
 - Valor nominal de las magnitudes a medir.
 - Procedimientos de medida a utilizar.
 - Condiciones ambientales.
 - Número de mediciones a reiterar.
 - Criterios de rechazo y sustitución de errores crasos.
 - Número de cifras significativas a tener en cuenta.
 - Correcciones y fórmulas a utilizar en los cálculos.
 - Forma de expresión de los resultados.
 - Orden de participación y calendario previsto.
 - Instrucciones para el transporte, manejo, detección de anomalías, etc.
 - **Ensayo entre laboratorios:**
 - *Organización del ensayo.* Es importante que una única persona se responsabilice del ensayo, desde la distribución de los procedimientos/instrucciones de trabajo y las muestras, hasta las conclusiones del ensayo.

- *Preparación del ensayo.* Distribución del procedimiento/instrucciones de trabajo, muestras, verificaciones preliminares, etc.
- *Desarrollo del ensayo* conforme a lo descrito en el método de ensayo y anotación de cualquier incidencia detectada.
- *Explotación de los resultados.* Los resultados se presentan consecutivamente en un gráfico, unidos por las líneas de referencia, que se inician y terminan en los resultados del laboratorio piloto. El gráfico indica también el intervalo de incertidumbre correspondiente a cada laboratorio.

Se consideran aceptables aquellos resultados que incluyen, dentro de su intervalo de incertidumbre, las líneas de referencia. Por otro lado, se estima que esos resultados son compatibles cuando su diferencia, en valor absoluto, con los resultados del laboratorio piloto es menor o igual que la incertidumbre del propio laboratorio para ese tipo de medida.

A la vista de los resultados, cualquiera de los participantes puede pedir ser eliminado en la presentación final de la intercomparación. Al comparar sus resultados con los de los demás, cada laboratorio podrá tomar decisiones para mejorar su operatividad o para utilizar mejor los datos obtenidos.



GLOSARIO DE LA UNIDAD

- Cadena de trazabilidad.
- Consistencia.
- Ensayo piloto.
- Equipos de medición y ensayo.
- Errores imputables al instrumento.
- Errores imputables al medio ambiente.
- Errores imputables al operador.
- Estabilidad.
- Exactitud.
- Intervalo de incertidumbre.
- Linealidad.
- Magnitud.
- Medición directa.
- Medición indirecta o por comparación.
- Medida.
- Metrología.
- Patrón de referencia.
- Patrón de trabajo.
- Patrón primario.
- Patrón secundario.
- Precisión.
- Repetibilidad.
- Reproducibilidad.

- Resolución.
- Sensibilidad.
- Sesgo.
- Tolerancia.
- Uniformidad.
- Valor convencional verdadero.



ACTIVIDADES DE AUTOCOMPROBACIÓN

A partir del contenido de la presente Unidad didáctica, se propone la realización de las siguientes actividades de autocomprobación por parte del alumno, como ejercicio general de repaso y asimilación de la información básica proporcionada por el texto.

Enunciado 1

¿Cuál es el objeto de la calibración?

Enunciado 2

¿Cómo se pueden clasificar los patrones en función de su grado de precisión?

Enunciado 3

Enumerar las etapas del ensayo entre laboratorios.

Solución 1

La calibración tiene por objeto:

- Garantizar la trazabilidad de los resultados, es decir, asegurar su fiabilidad, determinando las correcciones a ejecutar (si las hay) de las lecturas de un instrumento o el valor asignado a un patrón.
- Determinar la precisión de las lecturas de un instrumento o del valor de un patrón mediante la estimación de su incertidumbre.

Solución 2

Los patrones pueden clasificarse en función de su grado de precisión en:

- **Patrón de referencia.** Designado para la calibración de patrones de magnitudes de la misma naturaleza en una organización o lugar dado, del que se derivan las mediciones realizadas en dicho lugar.
- **Patrón primario.** Establecido mediante un procedimiento de medida primario o creado como un objeto por convenio. Patrón designado o ampliamente reconocido como poseedor de la más alta calidad metrológica y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud. Son los empleados en los laboratorios de alta precisión y pueden ser utilizados como patrones nacionales.
- **Patrón secundario.** Establecido por medio de una calibración respecto a un patrón primario de una magnitud de la misma naturaleza. Son los empleados en los laboratorios de las industrias y permiten verificar los patrones y calibres de taller.
- **Patrón de trabajo.** Se utiliza para calibrar o controlar medidas materializadas, instrumentos de medida o materiales de referencia.

Solución 3

El ensayo entre laboratorios se divide en las siguientes etapas:

- Ensayo piloto realizado por un laboratorio de investigación competente.
- Redacción de un proyecto de norma y verificación por algunos laboratorios.
- Realizar propiamente el ensayo entre laboratorios.



EJERCICIOS VOLUNTARIOS

Tras el estudio de esta Unidad didáctica, el estudiante puede hacer, por su cuenta, una serie de ejercicios voluntarios, como los siguientes:

1. ¿Debido a qué tres factores pueden aparecer los errores en la medida?
2. ¿Qué es la repetibilidad?



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Básica

CENTRO DE INICIATIVAS PROFESIONALES (CIP): *Fundamentos de calidad*, Madrid: Centro de Estudios Financieros (CEF), enero 2016.

Norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005. Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

Norma UNE-EN ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.

En la red

Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR): www.aenor.es.

Asociación Española para la Calidad (AEC): www.aec.es.

International Organization for Standardization (ISO): www.iso.org.