

1. LA METROLOGÍA

1.1 La Metrología

La metrología (del griego *μετρον*, medida y *λογος*, tratado) es la ciencia y técnica que tiene por objeto el estudio de los sistemas de pesos y medidas, y la determinación de las magnitudes físicas. Históricamente esta disciplina ha pasado por diferentes etapas; inicialmente su máxima preocupación y el objeto de su estudio fue el análisis de los sistemas de pesas y medidas antiguos, cuyo conocimiento se observa necesario para la correcta comprensión de los textos antiguos. Ya desde mediados del siglo XVI, sin embargo, el interés por la determinación de la medida del globo terrestre y los trabajos que al efecto se llevaron a cabo por orden de Luis XVI, pusieron de manifiesto la necesidad de un sistema de pesos y medidas universal, proceso que se vio agudizado durante la revolución industrial y culminó con la creación de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas y la construcción de patrones para el metro y el kilogramo en 1872. Establecidos ya patrones de las unidades de medida fundamentales por la oficina mencionada, la metrología se ocupa hoy día, sin olvidar su vertiente histórica, del proceso de medición en sí, es decir, del estudio de los procesos de medición, incluyendo los instrumentos empleados, así como de su calibración periódica; todo ello con el propósito de servir a los fines tanto industriales como de investigación científica.

1.2 Las medidas

Magnitud es todo aquello que se puede medir, que se puede representar por un número y que puede ser estudiado en las ciencias experimentales (que observan, miden, representan). La Medida es el resultado de medir, es decir, de comparar la cantidad de magnitud que queremos medir con la unidad de esa magnitud. Este resultado se expresará mediante un número seguido de la unidad que hemos utilizado.

Todas las medidas vienen condicionadas por posibles errores experimentales (accidentales y sistemáticos) y por la sensibilidad del aparato. Es imposible conocer el "valor verdadero" de una magnitud. La teoría de errores acota los límites entre los que debe estar dicho valor. El error en las medidas tiene un significado distinto a "equivocación": el error es inherente a todo proceso de medida.

A continuación se describen los distintos tipos de errores producidos durante la medición de una magnitud y su naturaleza:

- Errores sistemáticos

Son los que se repiten constantemente y afectan al resultado en un sólo sentido (aumentando o disminuyendo la medida). Pueden ser debidos a un mal calibrado del aparato, a la utilización de fórmulas (teoría) incorrectas, al manejo del aparato de forma no recomendada por el fabricante, etc. Estos errores sólo se eliminan mediante un análisis del problema y una auditoría de un técnico más cualificado que detecte lo erróneo del procedimiento.

- Errores accidentales o aleatorios

No es posible determinar su causa. Afectan al resultado en ambos sentidos y se pueden disminuir por tratamiento estadístico: realizando varias medidas para que las desviaciones, por encima y por debajo del valor que se supone debe ser el verdadero, se compensen.

- El factor humano

El "medidor" puede originar errores sistemáticos por una forma inadecuada de medir, introduciendo así un error siempre en el mismo sentido. No suele ser consciente de cómo introduce su error. Sólo se elimina cambiando de observador. El observador puede introducir también errores accidentales por una imperfección de sus sentidos. Estos errores van unas veces en un sentido y otros en otro y se pueden compensar haciendo varias medidas y promediándolas.

- Factores ambientales

La temperatura, la presión o la humedad entre otras pueden alterar el proceso de medida si varían de unas medidas a otras. Es necesario fijar las condiciones externas e indicar, en medidas precisas, cuales fueron éstas. Si las condiciones externas varían aleatoriamente durante la medida, unos datos pueden compensar a los otros y el error accidental que introducen puede ser eliminado hallando la media de todos ellos.

- Los instrumentos de medida

Los instrumentos de medida pueden introducir un error sistemático en el proceso de medida por un defecto de construcción o de calibración. Sólo se elimina el

error cambiando de aparato o calibrándolo bien. Debemos conocer el rango de medida del aparato, es decir, entre que valores, máximo y mínimo, puede medir. Uno es la cota máxima y otro la cota mínima.

Algunas de las cualidades que deben poseer los instrumentos de medida para que proporcionen resultados aceptables son:

- Rapidez

Es rápido si necesita poco tiempo para su calibración antes de empezar a medir y si la aguja o cursor alcanza pronto el reposo frente a un valor de la escala cuando lanzamos la medida. La aguja no oscila mucho tiempo.

- Sensibilidad

Es tanto más sensible cuanto más pequeña sea la cantidad que puede medir. Una balanza que aprecia mg es más sensible que otra que aprecia gramos. Umbral de sensibilidad es la menor división de la escala del aparato de medida. La sensibilidad con que se fabrican los aparatos de medida depende de los fines a los que se destina. No tendría sentido fabricar una balanza que aprecie mg para usarla como balanza de un panadero.

- Fidelidad

Un aparato es fiel si reproduce siempre el mismo valor, o valores muy próximos, cuando medimos la misma cantidad de una magnitud en las mismas condiciones. Es fiel si la aguja de un reloj comparador, por ejemplo, se coloca en el mismo punto de la escala, o muy próximo, cuando repetimos la medida con la misma cantidad de magnitud. Es fiel si dispersa poco las medidas.

- Precisión

Un aparato es preciso si los errores absolutos (desviación de lo que mide del "valor verdadero") que se producen al usarlo son mínimos. El valor que da en cada medida se desvía poco del "valor verdadero". Un aparato es preciso si es muy sensible y además es fiel (produce poca dispersión de las medidas). Naturalmente debe estar previamente bien calibrado. La precisión define la "clase del instrumento" y está indicada en error relativo absoluto (porcentual absoluto) referido al valor máximo de la escala y especificado para cada rango o escala. El error absoluto máximo de una medida en esa escala se halla aplicando el error relativo al valor del fondo de escala.

Supongamos que p^* es una aproximación al valor de una magnitud medida p . Se define el error absoluto como $|p-p^*|$ y el error relativo es $|p-p^*|/|p|$ si $p \neq 0$. Como una medida de exactitud, el error absoluto puede ser engañoso y el error relativo más significativo.

1.2.1 Medición de una serie de muestras

La homologación de una pieza es un requisito necesario para garantizar su validez dentro de su clase. Es en esta fase cuando se requiere un informe dimensional con relación a las especificaciones de su diseño, que se pueden clasificar en tres grupos de importancia: en el primero se incluyen las que tienen una importancia funcional; en el segundo las que son más susceptibles a cambios en el proceso de fabricación; y en el tercero las que no tienen importancia funcional y solo sirven para la definición geométrica.

En el proceso de fabricación de una pieza existen factores que afectan directamente en la estabilidad de sus dimensiones tales como los comentados: el clima, el material, la máquina, el operario y el desgaste de herramienta. La suma de esta variabilidad y la que genera el propio sistema de medición crea una gran incertidumbre cuando se mide una sola muestra, puesto que pueden haber cotas dentro del campo de tolerancia que en otras muestras podrían estar fuera de éste, o viceversa.

Para hacer frente a esta problemática se plantea la necesidad de medir varias muestras. Cuanto mayor sea el número de muestras a medir, menor será la incertidumbre sobre la capacidad del proceso. Pero lo correcto es encontrar un equilibrio entre la criticidad de las especificaciones y el número de muestras a medir, para no encarecer el proceso de medición. En este proceso de medición se debe intentar controlar al máximo los factores que pueden aumentar la incertidumbre de la medida. Para ello las medidas se realizarán en un local acondicionado a temperatura y humedad constante, se automatizarán las mediciones con medios de control CNC siempre que sea posible, se emplearán instrumentos de medida calibrados y trazables con una incertidumbre como mínimo seis veces inferior al campo de tolerancia, y se dedicarán esfuerzos en materia de la sujeción de la pieza para proceder a medirla, especialmente si se trata de una pieza de plástico.

Una comprobación recomendable, antes de iniciar las mediciones de las distintas muestras, es la de medir una sola muestra repetidas veces, poniéndola y quitándola cada vez en el sistema de fijación, con ello comprobaremos cual es el “ruido” de medida de nuestro sistema de fijación, que en cualquier caso deberá ser inferior a la incertidumbre del instrumento de medida.

1.3 Tolerancias

Podemos encontrar dos tipos de tolerancias, las tolerancias dimensionales y geométricas, que a continuación comentamos.

❖ Tolerancias dimensionales

Para poder clasificar y valorar la calidad de las piezas reales se han introducido las tolerancias dimensionales. Mediante estas se establece un límite superior y otro inferior, dentro de los cuales tienen que estar las piezas buenas. Según este criterio, todas las dimensiones deseadas, llamadas también dimensiones nominales, tienen que ir acompañadas de unos límites, que les definen un campo de tolerancia. Muchas cotas de los planos, llevan estos límites explícitos, a continuación del valor nominal.

❖ Tolerancias geométricas

Las tolerancias geométricas se especifican para aquellas piezas que han de cumplir funciones importantes en un conjunto, de las que depende la fiabilidad del producto. Estas tolerancias pueden controlar formas individuales o definir relaciones entre distintas formas. Es usual la siguiente clasificación de estas tolerancias:

- Formas primitivas: rectitud, planicidad, redondez, cilindricidad
- Formas complejas: perfil, superficie
- Orientación: paralelismo, perpendicularidad, inclinación
- Ubicación: concentricidad, posición
- Oscilación: circular radial, axial o total

1.4 Términos asociados a la calibración

- Patrón

Muestra de magnitud de una característica en relación certificada con el patrón internacional, acreditada para calibrar MIC, según las competencias de la clase de precisión a la cual pertenece.

- Trazabilidad

Cadena ininterrumpida de calibraciones registradas, que aseguran la conexión entre un MIC y el patrón de la unidad de reconocimiento internacional para la característica a medir.

- Calibrar

Registrar y procesar y contrastar la información de salida de un medio que informa de la calidad (MIC), en varios puntos a lo largo de su escala, con el valor de confianza de un patrón (o combinaciones de patrones) que tiene la trazabilidad certificada, con el fin de evaluar su incertidumbre.

- Incertidumbre

Banda estrecha, con posición simétrica respecto al valor de salida de un MIC, dentro de la cual la probabilidad (p) de encontrar el valor verdadero de la magnitud medida, es superior al valor límite, que corresponde a la clase de cobertura propuesta. Para $k = 2$, $p > 95 \%$

- Resultado de la calibración

Representación gráfica de la relación matemática existente entre los valores indicados por el instrumento o el sistema sometido a la calibración y el valor certificado del patrón de referencia, implicado como mesurando.

- Ajuste de un instrumento

Acción de mejora que consiste en modificar mediante componentes físicos o mediante programas el resultado de salida de un instrumento, con el fin de compensar la curva de calibración. Así se eliminan los errores sistemáticos.

1.5 El simbolismo metrológico

Un símbolo es la representación de un estado mental, ya sea puramente conceptual o emocional. Es difícil imaginar la compleja que sería la vida sin el uso de símbolos. La mera existencia de las palabras que ahora leemos es un ejemplo de uno de los simbolismos más significantes.

La metrología es la descripción de una parte de la experiencia humana por medio del lenguaje y la escritura. Aparte de la gran cantidad de escritura que se requeriría para exponer el resultado de los experimentos parecería innecesaria y difícil la descripción de la medición la cual como se ha visto, es el tipo más importante de experimento metrológico. Ante tal situación, los experimentos metrológicos simplemente son descritos en términos de números, los cuales también son representados por símbolos cuya manipulación han simplificado los matemáticos.

Pero el simbolismo metroológico rebasa el uso de números de aritmética. Esto puede probarse con una simple medición física, tal como el estiramiento de un alambre del cual colgamos un peso. La medición de la longitud del alambre por medio de un metro u otra escala, antes y después de que una particular carga haya sido colocada, se denomina la evaluación del cambio de medición o el alargamiento o elongación del alambre. Este hecho también puede denominarse la asignación de un número al símbolo por el cual se representa el alargamiento. Asimismo, en la operación de medición del peso colocado en un extremo del alambre se le asigna un número al símbolo p , el cual designa el peso. Entonces cualquier relación encontrada entre la lista de ambos números relacionados por una constante queda simbolizada por una expresión algebraica.

En metrología o en física no debe confundirse el uso de la palabra ley con su significado en la conversación diaria. Nosotros hablamos de toda clase de leyes, desde leyes divinas hasta normas legislativas. Es esencial notar que una ley física o metroológica solo es la descripción fundamental preferiblemente en forma simbólica algebraica, de una rutina o de experiencia física. En particular debemos tener cuidado de no asociarla con la idea filosófica de necesidad, esto es, la noción de que la ley física representa solamente eso, porque la naturaleza esta hecha en esa forma. Por lo tanto una ley física describe, desde la mejor percepción, como la naturaleza parece ser. Las leyes físicas las elaboran los seres humanos, por lo que esta es una construcción humana y con frecuencia presentan errores.