

ACERCAMIENTO A LA METROLOGÍA

¿Usted se ha preguntado alguna vez por qué es necesario medir? La figura 1 muestra algunas de las respuestas a esa pregunta. Para comprender las respuestas, es necesario conocer el significado de los términos *magnitud* y *medición*, entre otros, relacionados con los conceptos percepción, número, conteo y cantidad.



Fig. 1

En la prehistoria, las tribus primitivas apenas si sabían distinguir entre uno y muchos. Las primeras percepciones de medición las efectuaron con las nociones de (1): cerca-lejos, rápido-lento, liviano-pesado, claro-oscuro, duro-suave, frío-caliente, silencio-ruído.

Tal vez la primera necesidad de medir que tuvo el hombre fue el tiempo, para planificar los encuentros entre tribus, programar la realización de labores agrícolas, entre otras actividades, y para eso estableció un calendario en el que la unidad básica de tiempo adoptada fue el día.

Las unidades de tiempo a lo largo de la historia han permanecido con escasa variación: el día, el mes lunar, el año solar, la hora, el minuto y el segundo, todos se desarrollaron a partir de ciclos naturales, empleados primero para coordinar encuentros, la siembra y la recogida de cosechas, los ciclos reproductivos de los animales, etcétera.

Se cita como indudable el hecho de que el hombre aprendió a contar y a conocer los eventos estelares antes que escribir, pues así lo indican claramente su conocimiento sobre las posiciones de los astros, del inicio de las estaciones y sus calendarios lunares. De manera paralela surgió la necesidad de determinar la masa y el volumen, de medir longitudes en la construcción, la agricultura, la compraventa de telas, la distancia entre latitudes y entre meridianos para la navegación marítima, etcétera. Aun así, las distancias largas se medían en unidades de tiempo: días de viaje a pie o a caballo.

El nacimiento de la agricultura y la ganadería también hicieron necesarios esos conocimientos para saber cuándo se debía sembrar, realizar el recuento de las cosechas o aparear el ganado. De la misma manera lo hacían con la navegación, en la que era indispensable conocer cuándo y dónde se producían las mareas y corrientes marinas que podían imposibilitar o facilitar la navegación de las pequeñas embarcaciones de las cuales disponían, así, como se señaló antes, su atenta observación y conocimiento de las fases lunares, del curso solar y de los demás astros visibles.

El hombre utilizó también el lenguaje corporal (dedos, mano, codo, pie...), y con la ayuda de ramas, piedras, etcétera, consiguió contar números cada vez mayores. De esta forma empezó a contar usando los dedos, guijarros, marcas en bastones, nudos en una cuerda, entre

otras formas, para pasar de un número al siguiente. A medida que la cantidad crecía se hacía necesario un sistema de representación más práctico que facilitara el cálculo, palabra derivada del latín *calculus*, y que significa piedrecita.

Cuando se habla de la necesidad de contar se debe citar, sin falta, lo que se podría considerar como la primera calculadora, el *Ábaco*, cuya historia (alrededor de los años 1300 a.C. a 3500 a.C.) se remonta a la época en que el hombre se hizo agricultor e incursionó en el comercio, y por lo tanto necesitó contar, lo cual aceleró su necesidad de medir y pesar.

En la figura 2 se describe la definición de algunos patrones primitivos para medir (2).

El sistema de numeración que se utiliza desde hace 5 000 años fue desarrollado por los egipcios y es de base diez. Su origen es hindú y



Fig. 2 Patrones primitivos para medir.

parece surgir bajo la consideración de que una mano contiene cinco dedos y dos manos diez. Las cifras arábigas, como se les conoce a estas últimas, fueron introducidas en España durante la ocupación árabe y se expandieron a todo el mundo. Desde entonces, la mayoría de las civilizaciones han contado en unidades, decenas, centenas, millares, etcétera.

Como curiosidad en este tema relacionado con los números, ¿ha pensado alguna vez por qué el 1 significa “uno” y el 2 significa “dos”, y así sucesivamente? Al respecto existe una lógica sencilla detrás de estos números, que se relaciona con los ángulos (3). Solo basta escribir los números en su forma primitiva y se ve, como cosa interesante, que cada número corresponde a la cantidad de ángulos que lo forman, excepto el 0 que significa “cero” y que no tiene ángulos. La figura 3 muestra la representación primitiva de los números.

Desde épocas tempranas, se presentan evidencias de mediciones. Por ejemplo, en el *Antiguo Testamento*(4) aparecen citas como:

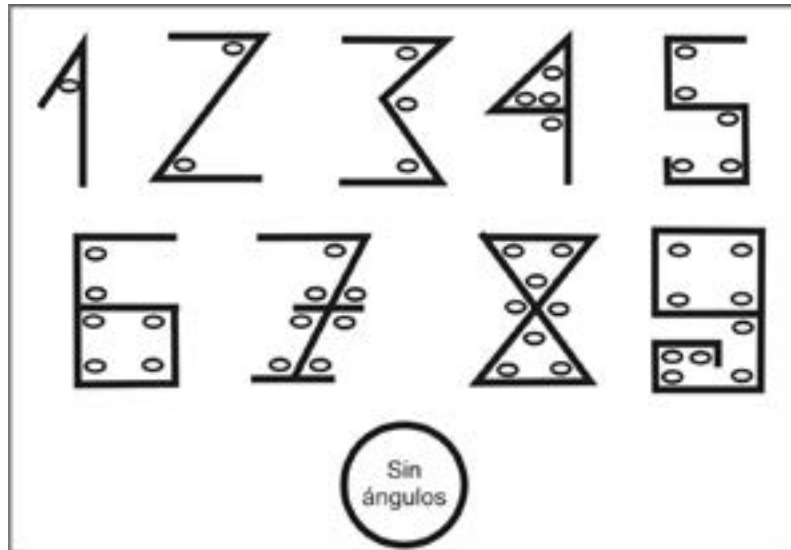


Fig. 3 Representación primitiva de los números.

No hagáis agravio en juicio, en medida de tierra, ni en peso, ni en otra *medida*. *Balanzas justas, pesas justas, epha justo, e hin justo tendréis...*

LEVÍTICO, 19, 35-36

Hazte un arca de madera de Gopher: harás aposentos en el arca, y la embetunarás con brea por dentro y por fuera.

Y de esta manera la harás: de trescientos codos la longitud del arca, de cincuenta codos su anchura, y de treinta codos su altura. Una ventana harás al arca, y la acabarás a un codo de elevación, por la parte de arriba: y pondrás la puerta del arca a su lado; y le harás piso bajo, segundo y tercero.

GÉNESIS, 6,14-16

No es difícil imaginar los múltiples conflictos que, seguro, surgieron en la etapa primitiva, a la hora de efectuar los intercambios, por las diferencias que existían entre las personas de las tribus. Como se señaló, los patrones y otras medidas utilizadas como referencia eran desiguales, lo que suscitó guerras en más de una ocasión al asumirse como hechos delictivos las diferencias durante el intercambio de mercancías. Y es que las antiguas unidades se fijaban arbitrariamente. Por ejemplo, la tradición indica que:

1. La pulgada (2,54 cm) correspondería a la medida tomada desde la uña hasta la base del pulgar del rey David I.
2. El pie (30,48 cm) sería la medida del largo del pie de Carlomagno.
3. La yarda (91,44 cm) sería la medida desde el hombro hasta la punta de los dedos del rey Enrique I, de Inglaterra.
4. La milla provendría de los *Mille passum* o los mil pasos que podía dar un soldado romano (un paso correspondía a 1,61 m, por lo que la milla es 1,61 km).
5. La legua era el radio de la máxima visión en un terreno plano.
6. El acre, la superficie arable en una mañana, etcétera.

Estas unidades de medida definidas arbitrariamente, tenían como problema que no se podían reproducir en cualquier momento, por lo que se indujo a definir las, lo cual a veces se hacía en forma muy imprecisa, como lo indican los ejemplos, recopilados por Edgardo Martín, especialista argentino:

La pulgada es la longitud de tres granos de cebada tomados desde la mitad de la espiga (Estatuto inglés, 1305); o para determinar la longitud de una vara en forma recta y legal y de acuerdo a los usos científicos, debe reunirse a la salida de la Iglesia en día domingo, una vez terminado el oficio religioso, a 16 hombres de la concurrencia, altos y bajos y alinearlos con sus respectivos pies izquierdos unos a continuación de otros; la longitud obtenida es la recta y legal vara para medir la tierra, y su décima parte, la recta y legal longitud del pie (definición de Köbel, 1514).

Está claro que con estas definiciones seguía siendo difícil ponerse de acuerdo con respecto al contenido real de magnitud en las unidades de medida, y es que para que una unidad de medida sea adecuada debe cumplir las condiciones siguientes:

1. *Ser reproducible* por cualquiera y no manipulable por el poder.
2. *Ser universal y contrastable*, de manera que pueda ser utilizada por todos los países y sea accesible para el que quiera calibrar con esta otros patrones de medida.
3. *Ser inalterable* por las condiciones atmosféricas, el uso, etcétera.

Las unidades de medida continuaron desarrollándose en correspondencia con las necesidades de la sociedad, la ciencia y la tecnología, hasta la actualidad, con el establecimiento de un sistema de unidades único, capaz de superar las dificultades existentes, de uso internacional, coherente y que abarca todos los campos del saber. Este es el Sistema Internacional de Unidades (SI, siglas en francés: Le Système International d'Unités) que será abordado en otro tema.

Definición de Metrología

La palabra *Metrología* proviene del griego μέτρον (medida) y λόγος (tratado), y se define como “ciencia de las mediciones y sus aplicaciones (5,6,7)”. La Metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medición y su campo de aplicación.

Se ha visto que el desarrollo de las distintas formaciones económico-sociales por las que ha transitado la humanidad han estado ligadas a las mediciones. Probablemente la Metrología sea la ciencia más antigua con la que el hombre se ha relacionado. El conocimiento sobre su aplicación es una necesidad fundamental en la práctica de todas las profesiones basadas en las ciencias técnicas y naturales, ya que la medición permite conocer de forma cuantitativa las propiedades físicas y químicas de los objetos, y fenómenos naturales. El progreso en la ciencia siempre ha estado íntimamente ligado a los avances en la capacidad de medición.

Es casi imposible describir una actividad en la que esté vinculado el hombre o la naturaleza sin referirse a la Metrología: está presente en prácticamente todas las actividades de la vida, tiene cada día una incidencia determinante sobre las acciones científicas, industriales, comerciales y jurídicas en todos los países. Desempeña un papel preponderante en el desarrollo de la sociedad y asimismo debe responder a las exigencias crecientes de la salud y el monitoreo medioambiental.

En la medida que crece el desarrollo industrial de una nación, más alta debe ser su capacidad de medición. En los países industrializados, el Estado y las empresas privadas reconocen la necesidad de tener, a escala nacional, una infraestructura coherente en la cual se organicen todos los aspectos de la Metrología. En este sentido, estos países tienen un gasto anual que sobrepasa 1 % del Producto Interno Bruto (PIB), pero esta inversión aporta beneficios económicos que oscilan entre 2 % y 7 % del PIB. Los gobiernos han tomado conciencia de que las capacidades de medición indican el nivel de desarrollo económico, político, tecnológico y social alcanzado por el país.

Medición

Medir es relacionar una magnitud con otra u otras que se consideran patrones universalmente aceptados, estableciendo una comparación de igualdad, orden y número, por lo que es útil definir dos términos vinculados con esta operación:

Magnitud (5): Atributo de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede ser identificado cualitativamente y determinado cuantitativamente.

Medición (5): Es el conjunto de operaciones destinadas a determinar el valor de una magnitud.

Dicho de esta forma aparentan ser definiciones complejas, sin embargo, para fines prácticos se puede decir que, para medir una cantidad de magnitud hay que compararla con otra de la misma especie elegida como unidad de medida, y el resultado de la medición es el número de veces que la cantidad contiene a esa unidad de medida. Esto, se puede expresar de la manera siguiente:

Magnitud = valor de la magnitud \times unidad de medida, por ejemplo: $m = 4 \text{ kg}$

donde:

- Magnitud se refiere a la magnitud física masa, cuyo símbolo es “m”.
- El valor de esa magnitud, o sea el número que la cuantifica es “4”.
- La unidad de medida es el kilogramo, cuyo símbolo es “kg”.

Esto significa que en la cantidad resultante de esa magnitud, “4 kg”, está contenida 4 veces la cantidad 1 kg, que es la correspondiente a la unidad de medida utilizada.

Importancia de la medición

A lo largo de la historia de la humanidad han existido individuos

que han valorado, en justa medida, la importancia de una medición. Las figuras 4 y 5 muestran las imágenes de dos eminentes científicos, William Thomson (*Lord Kelvin*) y Dmitri Ivánovich Mendeleiev, respectivamente. Lord Kelvin, eminente científico inglés expresó: “Mientras usted no pueda expresar en números lo que habla, no sabe nada al respecto; pero cuando usted puede expresar en números sus pensamientos, ha entrado en una nueva etapa del conocimiento científico”. Esta expresión se encuentra también escrita de la forma siguiente (8):

Cuando usted puede medir de lo que usted habla y lo expresa en números, usted sabe algo acerca de eso; pero cuando usted no puede medir, cuando usted no lo puede expresar en números, su conocimiento es de una clase escasa y poco satisfactoria; puede ser el comienzo del conocimiento, pero usted apenas ha podido, en sus pensamientos, avanzar en las etapas de la ciencia.

Mendeleiev, eminente científico ruso, expresó sobre la Metrología: “La ciencia comienza donde empiezan las mediciones”. Expresión que se encuentra también escrita como: “La ciencia comienza donde empieza la medición, no siendo posible la ciencia exacta en ausencia de mediciones”.

Por último, ¿por qué se dice que las mediciones son importantes? Porque desempeñan un papel relevante en las actividades técnicas, productivas, científicas y de servicios en la economía, garantizan que se obtengan, como resultado de esos procesos, productos finales con calidad competitiva (9).

En el mundo globalizado de hoy, que alcanza también a la Metrología, las barreras al comercio, impuestas por los países desarrollados, han evolucionado, con afectación para los países del Tercer Mundo. Actualmente se establecen, en gran medida, sobre la base de requisitos técnicos y consistentes sistemas de gestión de la calidad y de las mediciones, con un alto costo, que de manera obligada debe ser atendido si se quiere alcanzar competitividad internacional. En este caso, para

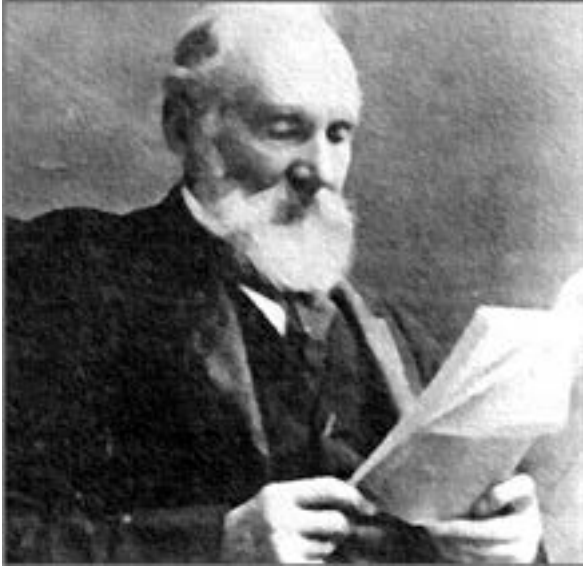


Fig. 4 William Thomson (*Lord Kelvin*).



Fig. 5 Dmitri Ivánovich Mendeleiev.

tales países, el impacto de la Metrología toma dimensiones relevantes porque es determinante para apoyar las tareas de perfeccionamiento de la economía, para elevar su gestión, prestigio internacional y calidad de vida de la población.

Las mediciones son importantes para garantizar la optimización y calidad de los procesos tecnológicos.

En Cuba se desarrolla una Revolución Energética que incluye la incorporación de una cantidad importante de equipos electrógenos. Para el análisis de la eficiencia de esos equipos hay que considerar, de manera obligada, el control del combustible durante el funcionamiento de estos, y para eso se tiene que hacer efectiva la determinación de la capacidad del recipiente de almacenamiento que tiene incorporado, para poder conocer de manera confiable cada metro cúbico de combustible consumido. A esta operación, que constituye una calibración, se le conoce también como *aforo* (Fig. 6.)

Es interesante citar, además, lo relacionado con la adquisición de equipos automatizados para la red de distribución de combustible. Esta nueva proyección establece un reto para la Metrología, ya que es necesario identificar el nivel de exactitud y el procedimiento de medición a utilizar en este caso, teniendo en cuenta las características metroológicas de estos equipos, si se quiere garantizar un servicio de calidad. En este caso, no son válidos los criterios utilizados hasta el momento para los equipos distribuidores manuales.

Las mediciones son las principales fuentes de información sobre la eficiencia de los procesos tecnológicos.

Las mediciones deben ser atendidas para garantizar la calidad de los procesos (Fig. 7). Por ejemplo, en el preenvase de productos el proceso será de calidad, cuando el llenado del producto en el envase no da lugar a la presencia de holguras no funcionales, es decir, que el preenvasado tenga un espacio vacío porque se ha llenado a menos de su capacidad. En este caso, el consumidor no está protegido porque no siempre puede ver totalmente el producto en el preenvasado y, por lo tanto, puede ser engañado.

Las mediciones constituyen la base sobre la cual se fundamentan todas las transacciones comerciales.



Fig. 6 Calibración de un patrón de volumen, por el método volumétrico.

Es importante, durante la comercialización, atender aquellos aspectos que pueden contribuir a crear una barrera técnica al comercio o afectar al consumidor; entre estos aspectos se puede señalar el sistema de unidades de medida que se utilizará para expresar el resultado de la medición. Véase un ejemplo de la cotidianidad:

En el comercio minorista se utilizan balanzas técnicas para la comercialización de diversos productos (Fig.8). La balanza es un instrumento de pesar que corresponde a la magnitud física masa, ya citada. Se señaló también que la unidad de medida del SI, en este caso, es el kilogramo, con símbolo “kg”. Un kilogramo en el SI contiene 1 000 g.

Por razones históricas, en Cuba coexisten la libra española y la libra angloamericana que, como se puede ver en el ejemplo, tienen valores diferentes. Si para expresar el resultado de la medición se utiliza alguno de los otros sistemas diferentes del SI, al efectuar la conversión al SI, se tiene lo siguiente:

$$1 \text{ kg} = 1\,000 \text{ g}$$

Aplicando el redondeo de números:



Fig. 7 Proceso tecnológico en la industria farmacéutica.

$$1 \text{ lb (esp.)} = 0,460 \text{ kg} = 460 \text{ g}$$

$$1 \text{ lb (UK, US)} = 0,453 \text{ kg} = 453 \text{ g}$$

Entonces se puede decir que:

$$1 \text{ kg} = 2,174 \text{ lb (esp.)} = 2,207 \text{ lb (UK, US)}$$

donde:

lb (esp.) = libra española.

lb (UK, US) = libra del sistema angloamericano.

En la práctica, aunque usted quiera utilizar la libra española, la mayoría de las balanzas de los establecimientos comerciales en Cuba son originarios de los Estados Unidos de Norteamérica, por lo que están graduadas en libras angloamericanas. De manera que la forma más racional de recibir el peso justo es utilizando la unidad de medida del SI, el kilogramo, que siempre tendrá 1 000 g.

Las mediciones desempeñan un papel decisivo en la salud y en la protección del medio ambiente.

El cumplimiento de los requisitos para una medición confiable es importante para mantener la adecuada calidad de vida de las personas

y la protección del medio ambiente, entre otros.

A continuación se presentan otros ejemplos de la importancia de las mediciones. En la calidad de un servicio hotelero debe estar incluida la ejecución de mediciones de la temperatura y humedad relativa del aire en sus diferentes áreas: vestíbulo, habitaciones, bares y otros; para garantizar que estas se encuentren en los niveles establecidos internacionalmente y satisfagan las expectativas de los huéspedes.

En los servicios de salud, para garantizar su calidad, debe estar

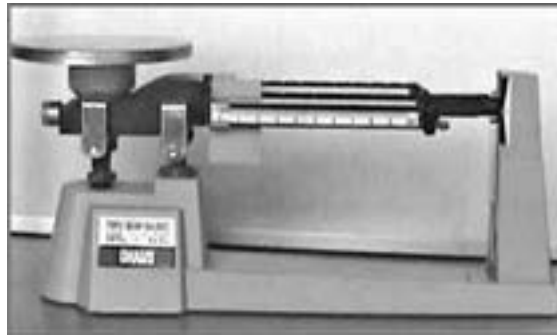


Fig. 8 Balanza técnica de un solo plato.

incluida la garantía de que tanto los equipos más modernos y especializados, como los más convencionales que se utilizan en ese sector, por ejemplo los electrocardiógrafos y los esfigmomanómetros funcionen de manera confiable (Fig. 9), ya que una gran cantidad de parámetros utilizados como apoyo en la caracterización de los cuadros clínicos están dados por magnitudes controlables con la ayuda de los instrumentos de medición.

Las mediciones coadyuvan a la obtención de las evidencias científicas válidas para la credibilidad de los resultados de la investigación científica.

En el campo de las investigaciones para el diseño, producción y uso de nuevos materiales (Fig. 10), por ejemplo en el marco de la Nanometría, en la producción de nanopartículas y nanoestructuras en correspondencia con los principios de la calidad que imponen los procesos integrales para la obtención y producción de estos hasta su

destino final, el consumidor, son necesarias mediciones e instrumentos o sistemas de medición, trazables. No se trata de un mero cambio de escala de los prefijos *micro* a *nano*, es el enfrentamiento a tecnologías completamente nuevas que requieren un cambio drástico de los métodos de medición y de ensayo, lo cual es un reto importante para la Metrología.

En el plano internacional crece el reconocimiento de la Metrología, y los sistemas de medición y de ensayo como un catalizador del desarrollo económico y social, así como el reconocimiento mutuo de aquellas actividades que involucren mediciones como contribución a la eliminación de barreras técnicas al comercio. A todas estas evidencias de la importancia de la Metrología se suman otras que hablan de la credibilidad, y del desarrollo científico y tecnológico de los países.

Calidad de la medición



Fig. 9 Mediciones en los servicios de salud.

Muchas personas, ante el resultado de una medición, en cualquiera de las actividades cotidianas, se han hecho la pregunta ¿ese equipo medirá bien, será confiable el resultado? (Fig. 11). Esa pregunta encierra un contenido de importante componente conceptual, porque la obtención de un resultado de medición confiable, solo es posible si se atienden los elementos que constituyen las bases técnicas que establecen la confianza en esa medición, algunos de los cuales son objetos de estudio de la Metrología.

Antes de abordar este tema, es necesario preguntar lo siguiente: ¿ha realizado alguna vez una serie de mediciones?, ¿se ha percatado de que no siempre se obtiene el mismo valor?, ¿ha meditado sobre las razones que existen para que ocurra eso?

La respuesta a estas preguntas tiene como origen la existencia de la variabilidad metrológica, relacionada con efectos aleatorios que se manifiestan en el propio acto de la medición. En sentido general, un



Fig. 10 Mediciones en el campo de las investigaciones.

proceso de medición puede describirse con la ecuación:

$$x = u + e$$

donde:

x : es el resultado de la medición.

u : es el valor verdadero de la magnitud en estudio.

e : es el error (de medición), el cual se define como el resultado de la medición menos el valor verdadero del mensurando, y puede tener valor negativo o positivo.

En este proceso, la presencia de la variabilidad metrológica es lo que determina que, cuando se efectúe una serie de mediciones, los valores resultantes varíen alrededor de un intervalo. No se obtiene siempre el mismo valor, porque no es posible reproducir en cada momento, las

mismas condiciones para la medición.

La figura 12 presenta las bases técnicas para garantizar la calidad de la medición. Cada uno de estos elementos desempeña un papel fundamental para la materialización del objetivo central, que es la garantía de la calidad de la medición, por lo que se tratará, de forma resumida, su esencia.



Fig. 11

Trazabilidad de las mediciones al Sistema Internacional de Unidades. Calibración-verificación

La trazabilidad de los resultados de la medición al SI es uno de los elementos sustantivos de la confianza en el uso de un instrumento de medición. Existe una anécdota interesante (10), según la cual el origen de la palabra *Trazabilidad*, utilizada en Metrología, es el resultado de una transculturización de los Estados Unidos de Norteamérica a todo el mundo, paradójicamente a causa de una “humillación” recibida. Todos recordarán que, en octubre de 1957, la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) colocó en el espacio el primer satélite artificial de la Tierra (Fig. 13). Esto constituyó para los Estados Unidos de Norteamérica, el llamado “shock Sputnik”. La hazaña soviética originó

que ellos crearan un plan estratégico para lograr la supremacía espacial, el plan incluía el aseguramiento de la confiabilidad de las mediciones, así a todos los instrumentos de medición que participarían se les exigió que fueran “trazables” al entonces Buró Nacional de Patrones (NBS, siglas en inglés: National Bureau of Standards), hoy Instituto Nacional de Patrones y Tecnología (NIST, siglas en inglés: National Institute of Standard and Technology).

El término trazabilidad que aparece en el Vocabulario Internacional de Términos Generales y Básicos de Metrología [VIM, siglas en inglés: International Vocabulary of Metrology (5)] se define como:

Propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón, por la cual puede ser relacionado con los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo establecidas las



Fig. 12 Bases técnicas para garantizar la calidad de la medición.

incertidumbres.¹

Para fines prácticos, esto significa que el instrumento que vaya a ser utilizado para efectuar una medición se debe haber comparado, previamente con instrumentos patrones para la transmisión o diseminación de la unidad de medida del SI correspondiente a la magnitud que se esté considerando; de manera tal, que se conozca el estado de su calibración-verificación, o sea, si este garantiza la obtención de mediciones exactas.

Para considerar que este proceso se ejecutó con la calidad necesaria, se trata, en la práctica, de que la incertidumbre no sobrepase la tercera parte del error máximo permisible para el instrumento de medición que se calibra.

En el documento antes citado se define calibración como “El conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición y los correspondientes valores de una magnitud referidos por un patrón”. Y verificación, como el “Procedimiento que incluye el examen y la marcación o la emisión de un Certificado de Verificación que cerciora y confirma que el instrumento cumple los requisitos obligatorios”.

Sin embargo, aunque no se ha adoptado aún como norma cubana,



Fig. 13 Cohete del Programa interestaral.

ya está vigente el documento ISO/ IEC Guía 99:2007. International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms [VIM (6)], que en su primera edición en español, del año 2008(7), redefine los términos *calibración* y *verificación* e introduce la jerarquía de la calibración y la trazabilidad metrológica. A continuación se transcriben las nuevas definiciones de los términos calibración, verificación y trazabilidad metrológica (6, 7):

Calibración: Conjunto de operaciones que, en primer lugar, establecen, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, con determinadas incertidumbres de medición y los correspondientes valores de una magnitud, referidos por un patrón, con su incertidumbre de medición asociada, y en segundo lugar, utilizan esta información para establecer una relación para obtener un resultado de medición a partir de una indicación.

Trazabilidad metrológica: Propiedad del resultado de una medición o el valor de un patrón por el cual se pueden relacionar, con una incertidumbre establecida, los patrones de referencia, usualmente patrones nacionales o internacionales, mediante una cadena ininterrumpida y documentada de comparaciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición.

Verificación: Provisión de evidencias objetivas de que un producto determinado cumple los requisitos especificados. En este caso vale una aclaración: La definición de verificación que debe ser utilizada a los efectos de la Metrología Legal es la que está contenida en el Vocabulario Internacional de Metrología Legal (VIML). En la versión del VIM de 1995 ambas definiciones concuerdan íntegramente.

En relación con los términos *calibración* y *verificación* hay que decir que, aunque su ejecución técnica presenta una serie de aspectos comunes, administrativamente existen elementos de diferenciación fundamental, que serán tratados más adelante.

Métodos de medición

¹ Su definición y formas de evaluación se tratan en el tema “Acercamiento a la incertidumbre de la medición” de este libro.

A la magnitud particular sometida a medición se le denomina *mensurando* o *magnitud medida*. Por ejemplo, la presión de vapor saturado de un sistema en equilibrio termodinámico con la fase líquida del agua, o la longitud central de un bloque patrón a la temperatura de 20 °C.

Como método de medición se define la secuencia lógica de operaciones, generalmente descritas, usadas en la ejecución de las mediciones. Los métodos de medición pueden ser calificados de varias formas. Los más conocidos son:

1. De medición directa.
2. De medición indirecta.
3. Diferencial.
4. De sustitución.
5. De cero.

Método de medición directa

El instrumento de medición se pone en contacto con el fenómeno que se mide, y se obtiene un valor en las mismas unidades del mensurando. Por ejemplo:

- a) Calibración de un pie de rey empleando bloques patrones.
- b) Determinación del volumen de un cuerpo a partir del volumen de líquido que desplaza.

Método de medición indirecta

El valor del mensurando no se mide directamente, sino que se obtiene a partir de cálculos, en los que intervienen los resultados de mediciones de otras magnitudes, con las cuales el mensurando tiene una dependencia funcional. Por ejemplo:

- a) Aforo de un tanque aéreo vertical, empleando el método geométrico.
- b) Medición de presión en una balanza de pesos muertos.

Método de sustitución

Se utiliza un comparador, en el que se miden el mensurando y un valor de referencia. Por ejemplo:

- a) Calibración de una pesa, empleando otra pesa de clase superior y un comparador de masa.

Método diferencial

Se mide la diferencia entre un valor conocido (de referencia) y otro desconocido. Este método es más exacto y proporciona mejor resolución que el de medición directa. Por ejemplo:

- a) Calibración de bloques patrones utilizando un comparador de bloques.

Método de cero

Se utiliza un comparador detector de nulos para comprobar la igualdad (diferencia cero) entre el mensurando y el valor de referencia (patrón). Por ejemplo:

- a) Medición de la masa de una muestra en una balanza de dos platillos.
- b) Calibración de una resistencia utilizando un puente.

Es práctica internacional la utilización de métodos de medición normalizados y no normalizados, como los desarrollados y validados por los laboratorios, para la realización de mediciones.

Un método de medición normalizado, o sea, que se establezca en una norma, presupone la aceptación mutua de este por las partes interesadas, de modo que se eliminen los desacuerdos que originan litigios o reclamaciones. Este hecho contribuye a la eliminación de barreras técnicas y propicia el establecimiento de Acuerdos de Reco-

nocimiento Mutuo sobre los resultados de mediciones.

Si por determinada situación no se cuenta con un método normalizado y se ha desarrollado una instrucción o un procedimiento interno para la ejecución de la medición, entonces estos tienen que ser validados por los métodos establecidos para eso, de manera que se evidencie la competencia de estos para su utilización.

Confirmación metrológica

La Confirmación Metrológica se define (11) como el conjunto de operaciones requeridas para asegurarse de que un equipo de medición tiene los requisitos correspondientes para su uso. Generalmente incluye la calibración y la verificación, cualquier ajuste o reparación necesarios, y la subsiguiente recalibración, la comparación con los requisitos metrológicos del uso previsto del equipo, así como el sellado y el etiquetado requerido.

A partir de esta definición se puede aseverar que la confianza en el estado del instrumento de medición u otro tipo de equipo, no está solo en el hecho de que este se declare apto para el uso o que entregue mediciones exactas, porque sus dispositivos o instrumentos de medición fueron verificados o calibrados, hay que ir más allá, hay que averiguar si las características del equipo de medición se corresponden con el uso que este va a tener, o sea, con su destino metrológico o con los requisitos del proceso en el que se inserta. A continuación se presenta un ejemplo concreto, demostrativo de este hecho:

En el desarrollo de los procesos productivos y la garantía de la calidad de las producciones, en su amplia gama de presentación, desde producciones biotecnológicas y médico-farmacéuticas, hasta las producciones de pan, desempeñan un papel fundamental los equipos calefactores de ensayo. En esta categoría se incluyen las muflas, las estufas, las incubadoras, las cámaras climáticas, entre otros.

Por lo general, estos equipos cuentan con un sensor de temperatura acoplado a un panel de control y regulación que garantiza su

funcionamiento autónomo en períodos relativamente prolongados, el cual debe estar calibrado-verificado (12). Sin embargo, se ha podido comprobar que dentro del recinto, por varias razones, se establece un perfil de temperatura que no siempre es constante, homogéneo y estable. A esto hay que agregar que, con frecuencia, se produce un sobreuso o una subutilización de estos equipos, que provocan el deterioro de las características funcionales, técnicas y metrológicas de estos. Estas situaciones son las razones por las que es necesario determinar, con cierta regularidad, estas características, si se quiere garantizar la confiabilidad de los resultados que se obtengan en los procesos, en los que intervengan estos equipos y la calidad del servicio que se preste con ellos (12).

Un ejemplo de esto es la producción de pan. Durante el proceso productivo no basta con decir que el sensor que mide la temperatura del equipo está calibrado, es necesario, además, que se determinen características como la fluctuación de la temperatura en un punto y de la temperatura promedio y la no homogeneidad de la temperatura en el recinto, entre otras.

La no observancia de estas condiciones puede influir en la falta de calidad del producto final y provocar que se entregue a la población un pan, que puede estar crudo o quemado.

Expresión de los resultados en unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI)

Al inicio del capítulo se esbozaron elementos del origen y surgimiento de las unidades de medida, primero rudimentarias, no uniformes, en dependencia de las características antropométricas de quienes las originaron; después cada vez más depuradas y consistentes, en correspondencia con la exactitud que se pudiera alcanzar en estas y de su uniformidad a partir de su reproducción, utilizando fenómenos naturales, independientes de la voluntad del hombre.

Cada país, debe tener regulado el sistema de unidades legales que debe utilizar, con el fin no solo de facilitar el comercio en el mundo, sino también, en ciertos y determinados campos de aplicación de

interés, como los que pueden afectar la protección al consumidor.

El SI se ha adoptado como sistema de unidades en casi todas las naciones del mundo, aunque algunos como Inglaterra y otros países de Europa no lo hayan adoptado aún. Cuba adoptó el SI en 1982, mediante el Decreto Ley No. 62 (13), en el que se establece su uso obligatorio en todas las actividades de la economía nacional. Si existe contravención de lo dispuesto en este Decreto Ley, porque el instrumento que se utiliza no está graduado en unidades del SI o porque no se emplea la alternativa transitoria de tener disponible la tabla de conversión de la unidad a ese sistema, entonces se contribuye al caos metrológico por la coexistencia de varios sistemas de unidades, con la consiguiente afectación para la calidad de la medición, ya que su resultado estará en dependencia de la unidad que se utilice. Este aspecto fue visto con detalle en el ejemplo de la balanza, presentado anteriormente. Más adelante se ampliará el tema del SI.

Recursos humanos²

El conocimiento de la Metrología es un factor determinante en la identificación de los aspectos que, sin falta, deben ser atendidos por aquellas personas vinculadas con el desarrollo de procesos de investigación, producción y prestación de servicios, donde se realicen mediciones. Es un requisito indispensable para garantizar resultados de calidad, confiables, comparables y seguros, en correspondencia con las expectativas de las diferentes ramas de la economía y para la satisfacción de la población en general.

Dentro de este contexto, el hombre, en el sentido más amplio de la palabra, es el centro de todas las acciones que se requieren para alcanzar el adecuado desempeño y la calidad de cualquiera de los procesos antes citados, por lo que a su formación se le debe dedicar la máxima atención.

Los profesionales se ocupan de trabajar para contribuir, de manera consecuente, con la atención de los factores que determinan la calidad de un resultado y que ese resultado concuerde con otro.

En la comprensión de estas cuestiones desempeña un papel importante la valoración integral del asunto, donde se consideran factores objetivos y subjetivos. Los primeros, relacionados con la confiabilidad

de las mediciones, para lo cual se tienen en cuenta los elementos que determinan la calidad del resultado, presentados en la figura 12 y los segundos, relacionados con el factor humano y la calidad.

Los factores subjetivos relacionan las acciones del personal y de la dirección, en cuanto a los errores atribuibles a cada uno, que pueden influir en la calidad de la medición. Se puede hacer la pregunta siguiente: ¿Quién tiene mayor influencia en el resultado de una medición, el jefe, o el operario o analista?

Esta pregunta se puede responder de varias maneras, pero un enfoque correcto de la respuesta pudiera ser el siguiente: Se considera que el operario tiene, fundamentalmente, tres fuentes probables de errores, estas son:

1. Por descuido.
2. Técnicos.
3. Intencionales.

Lo que quiere decir que el trabajador puede encontrarse en un estado anímico desfavorable, porque tiene problemas de diversa índole y eso hace que descuide la atención en la calidad de su trabajo. Puede ocurrir que no atienda con el rigor requerido la secuencia técnica durante la medición, y que obvie etapas que conlleven a errores en el desempeño o que, de manera intencional, efectúe una medición incorrecta. Esto último, por lo general, no es un comportamiento usual. Sin embargo, la dirección es responsable de un número mayor de aspectos que debe controlar, y que si no se atienden adecuadamente, tienen una incidencia significativa en el error que pueda ocurrir en la medición. Entre estos se pueden señalar:

- a) Mala organización del trabajo.
- b) Instrucciones deficientes.
- c) Carencia de equipos de medición y de control.

² En estos momentos, en varias esferas de la sociedad, se encuentran opiniones divididas acerca de la pertinencia de la utilización de los términos *recursos humanos* y *capital humano*. No es interés de las autoras intervenir en esta discusión, por lo que ambos términos se utilizan indistintamente, pero en la práctica como sinónimos, en dependencia de las normas que se usen como referencia.

d) Tecnología inadecuada.

e) Falta de información.

f) Selección inadecuada del personal para la ejecución del trabajo.

A partir de esta información se puede inferir que, en la calidad del resultado, la repercusión negativa de los errores cometidos por el directivo es superior que la de los errores cometidos por el operario. Por supuesto, la repercusión varía en dependencia de las características del tipo de actividad, la estructura creada para esta y las particularidades de los individuos.

No obstante, en sentido general, la experiencia ha demostrado que aun en las mejores condiciones, si el profesional no ha adquirido una formación integral que le permita incorporar el conocimiento metroológico en el desarrollo de su gestión, este no garantizará la calidad de su trabajo, y los procesos no satisfarán los requisitos de los clientes y usuarios, y traerán consigo pérdidas de recursos de todo tipo, que en determinadas situaciones pueden ser irreversibles.

En la actualidad, el desarrollo de la economía cubana y la necesidad de sostenibilidad de su competitividad en el escenario internacional determinan la necesidad de elevar el nivel científico-técnico de los especialistas vinculados con la Metrología, así como de preparar a las nuevas generaciones de especialistas en todos los niveles de enseñanza.

El profesional que se desempeña en este campo debe conocer cómo medir bien cada magnitud física, los equipos de medición que debe seleccionar y utilizar para este propósito, identificar de manera precisa el nivel de exactitud que requiere la medición y la autenticidad de los datos observados, además de poder evaluar adecuadamente la calidad de la medición, a partir de la evaluación de la incertidumbre, y expresar de manera correcta el resultado de esta.

Igual atención se debe prestar al hecho de la escritura correcta de las cantidades, los símbolos de las unidades de medida, los intervalos o rangos de medición, de manera que evidencien, en la medida requerida, su formación integral.

Incertidumbre de la medición. Evaluación

Se dice que se conoce el valor de una magnitud dada, solo en la medida que se conocen sus incertidumbres. Para la Metrología, la medición de una magnitud con cierta incertidumbre no significa que se haya cometido una equivocación o que se haya realizado una mala medición. Con la indicación de la incertidumbre de medición se expresan, en forma cualitativa, las limitaciones que el proceso de medición introduce en la determinación de la magnitud medida.

El concepto de incertidumbre como atributo cuantificable es relativamente nuevo en la historia de las mediciones, mientras que los términos *error* y *teoría de los errores*, desde hace tiempo forman parte de la práctica metrológica. En general, las mediciones tienen imperfecciones que provocan errores en los resultados de las mediciones. El VIM define *error* (de la medición) como el resultado de la medición menos el valor verdadero de la magnitud que se mide. Según su *carácter* los errores se clasifican en *sistemáticos* y *aleatorios* (también conocidos como estadísticos).

Los errores sistemáticos

Tienen su origen en las imperfecciones de los métodos e instrumentos de medición. Los resultados se ven afectados siempre en un mismo sentido. Por ejemplo, un reloj que se atrasa o se adelanta, o una cinta de medición dilatada por el calor del tanque que se mide.

Este tipo de errores puede ser detectado y corregido a partir de la calibración contra patrones de mayor exactitud, la comparación de los resultados con los obtenidos por métodos alternativos, y el análisis del procedimiento de medición utilizado.

Errores aleatorios

Se producen al azar, en un sentido o en otro, con la misma probabilidad. Un ejemplo de esto es la variabilidad metrológica a la que se hizo referencia con anterioridad. Las causas pueden ser múltiples, diversas y fortuitas.

Este tipo de error es de difícil detección, pero puede ser minimizado aumentando el número de mediciones y utilizando el promedio de estas

como valor medido, si la distribución es normal.

También existen los *errores groseros*, que están más asociados al concepto convencional de equivocación. Un ejemplo muy conocido de este tipo de error es el siguiente:

El 23 de septiembre de 1999, el “Mars Climate Orbiter” se perdió durante una maniobra de entrada en órbita, cuando el ingenio espacial se estrelló contra Marte. La causa principal del contratiempo fue achacada al hecho de que los ingenieros de la Lockheed Martin Astronautics, en Denver, que construyó el Orbiter, olvidaron convertir los datos del impulso del propulsor de libras fuerza segundo a la unidad métrica newton segundo, antes de enviar los valores a la National Aeronautics and Space Administration [NASA (14)].

Los errores también se clasifican según su *origen*, de la forma siguiente:

1. Errores *introducidos por el instrumento*, que pueden ser de apreciación, que es la mínima división del instrumento que puede ser apreciable por el observador, y de exactitud, que es el error absoluto determinado durante la calibración del instrumento.
2. Errores *de interacción*, que se producen cuando hay una interacción entre el método de medición y el objeto que se mide. Un ejemplo es el denominado *efecto de carga*, determinado por la modificación que los instrumentos introducen en el parámetro que miden. En especial, esto se debe tener en cuenta en los instrumentos eléctricos y electrónicos puesto que estos para producir una indicación, precisan energía que ha de ser proporcionada por el circuito donde se realiza la medición.
3. Errores *asociados con la definición incompleta del mensurando*. Por lo general, no es posible definir por completo el mensurando o la magnitud que se mide. El resultado de esta medición depende de las escalas de la medición. Por ejemplo, si se mide la longitud de una mesa con una regla milimetrada se obtiene un valor, pero si esta misma magnitud se mide con un microscopio, entonces son visibles las irregularidades de los bordes de la mesa y, por supuesto, aumentan las dificultades para dar un resultado de

medición confiable.

4. Errores *matemáticos* a causa, por ejemplo, del empleo de fórmulas inadecuadas, el redondeo de las cantidades, etcétera.
5. Errores *teóricos*, que son la consecuencia de ciertas aproximaciones al aplicar el principio de medición y considerar que se cumple una ley física determinada o al utilizar determinadas relaciones empíricas, o los que surgen al extrapolar la propiedad que se mide en una parte limitada del objeto de medición al objeto completo, si este no posee homogeneidad de la propiedad medida.
6. Errores *del observador*, tales como los errores de paralaje o de interpolación visual al leer en la escala de un instrumento, los causados por un manejo equivocado del instrumento o la omisión de operaciones previas, o durante la medición, como puede ser un ajuste a cero, tiempo de precalentamiento, etcétera.

En la actualidad, se reconoce que incluso cuando todas las fuentes conocidas o supuestas de error sean identificadas y corregidas durante el proceso de medición, aún quedará una incertidumbre, es decir, una duda acerca de hasta qué punto el resultado de la medición representa, verdaderamente, el valor de la magnitud que se ha medido.

La incertidumbre de medición indica el rango dentro del cual, con una probabilidad dada, se encuentra el valor reportado para el resultado en cuestión. Es adecuado señalar que para abordar la evaluación de la estimación de la incertidumbre de la medición, el especialista responsable de tal tarea, además de conocer profundamente el proceso bajo estudio, debe tener conocimientos de matemática superior, probabilidades y estadística, y poseer también determinadas características personales, para efectuar la evaluación de este parámetro con la calidad y el rigor que esta requiere.

Para fines prácticos, el conocimiento de la incertidumbre de la medición permite actuar como decisores ante situaciones como:

1. Determinación del comportamiento de un proceso ante límites especificados.
2. Selección de un instrumento para un destino metrológico

específico.

3. Optimización de recursos financieros al poder decidir con racionalidad qué tipo de instrumento debe comprar para un uso previsto.
4. Selección de manera satisfactoria de un proveedor de servicio metrológico.
5. Establecimiento de Acuerdos de Reconocimiento Mutuo sobre los resultados de mediciones.
6. Consistencia metrológica sobre competencia técnica, métodos de medición, validación de métodos, entre otras.

Interrelación de las bases técnicas para la calidad de la medición

Una clara aplicación de cómo se interrelacionan los elementos que garantizan la calidad de una medición se tiene al analizar la esencia de una transacción comercial, la cual se presenta en la figura 14.

En la transacción comercial se involucran los clientes y proveedores por medio de relaciones contractuales, en las que la calidad de los productos se evidencia mediante la garantía de su conformidad con las normas y, además, se reconoce la comprobación de la conformidad de los instrumentos de medición que se utilizan durante la transacción, para asegurar que estos brinden indicaciones correctas.

Como se puede ver, en esta participan también y de forma decisiva, organizaciones internacionales rectoras en sus respectivos campos de acción que, de una u otra forma conjugan intereses para garantizar que estas transacciones se ejecuten con el rigor y la calidad requeridos (15). Estas se esfuerzan para alcanzar la armonización mundial de los requisitos y procedimientos, sobre todo en el campo de la Metrología Legal, como vía para el reconocimiento mutuo en el comercio y trabajan para eso en la implantación de un sistema de medición global, del cual se hablará más adelante, y en el que las tareas metrológicas se asumen de acuerdo con un mismo criterio mundial. Por ejemplo: iguales unidades físicas, normas y procedimientos aceptados internacionalmente, e igual cálculo para la incertidumbre de la medición.

Dentro de este contexto, la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), la Organización Mundial del Comercio (OMC), la Organización Internacional de Normalización (ISO, siglas en inglés: International Organization of Standardization), la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), la Comisión Internacional de Acreditación de Laboratorios (ILAC, siglas en inglés: International Laboratory Accreditation Cooperation), el Fórum Internacional de Acreditación (IAF, siglas en inglés: International Accreditation Forum) y el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), trazan pautas que influyen de manera directa en la gestión de los fabricantes, en el desarrollo de los productos, también en la de los importadores, comercializadores y compradores; cada una de estas tienen contribuciones específicas:

1. La OMC y la OIML son las responsables de la armonización de las regulaciones legales.
2. La ISO y la IEC de la armonización de las normas.
3. El CIPM de la trazabilidad al SI.
4. La ILAC y la IAF de la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.

Ramas de la Metrología

La Metrología es una sola, pero algunos autores, entre los que se encuentra Johnston (16), Presidente de la Organización Internacional de Metrología Legal, promueven la identificación de tres ramas fundamentales, en dependencia de su campo de aplicación:

Metrología Científica, que establece las bases para las mediciones, asegura la trazabilidad consistente al SI. Calibración y trazabilidad, que permiten la diseminación de las unidades y brindan confianza de que las mediciones son comparables. Metrología Legal, que establece los requisitos legales cuando son necesarios para el aseguramiento de mediciones confiables, seguras y exactas. Por otra parte, la comunidad científica relacionada con las mediciones analíticas está promoviendo también la identificación de la Metrología Química como una rama independiente. A continuación se incorporan elementos que facilitan la comprensión de estos términos.

Metrología Científica

Se hace referencia a la Metrología Científica cuando se trata, por ejemplo, del desarrollo de equipos o sistemas de medición patrones,

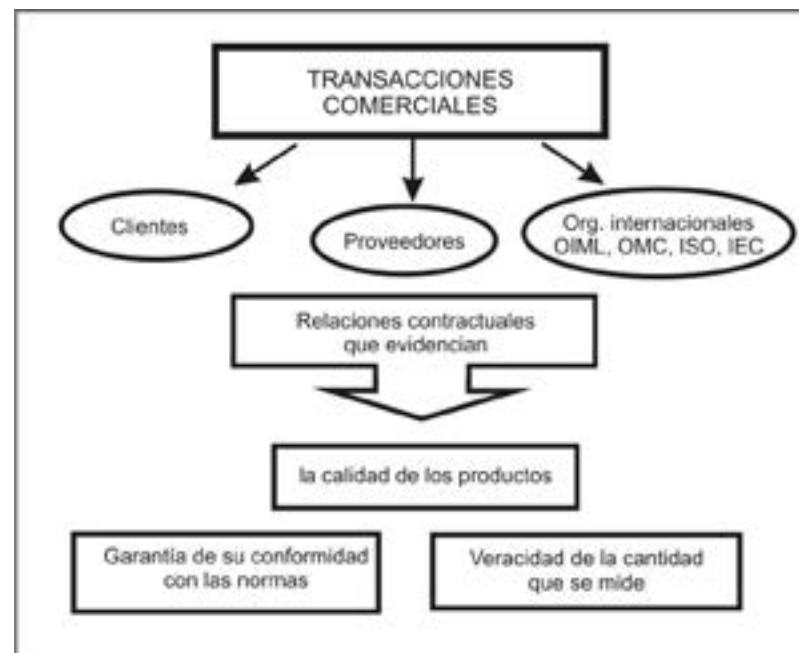


Fig. 14 Elementos que intervienen en una transacción comercial.

métodos de medición, establecimiento de esquemas de jerarquía para la realización de una unidad de medida o para diseñar un método de evaluación de la incertidumbre de una medición. Estos desempeños, por lo general, tienen gran componente teórico, de conceptualización y definición.

Calibración y trazabilidad (Metrología Industrial)

Es la rama de la Metrología más relacionada con las diferentes facetas vinculadas con el uso de instrumentos de medición confiables para las mediciones del control de los procesos tecnológicos, porque "...para

lograr calidad es necesario controlar y para controlar es imprescindible medir y medir bien...” (17). En este caso se trata de los diversos equipos de medición insertados en puntos clave de procesos industriales, por ejemplo, manómetros, termómetros, instrumentos de pesar, o pizarras de control para diferentes tipos de mediciones eléctricas, entre muchas otras, y de la extensión del uso de equipos de medición en actividades vinculadas con procesos de prestación de servicios donde desempeñan un papel importante las mediciones fisico-químicas, de volumen, de flujo de líquidos y gases, y de masa, entre otras magnitudes físicas.

Metrología Legal

En este caso, se trata de asegurar la existencia de los recursos necesarios para garantizar el Control metrológico de aquellos tipos de instrumentos sujetos a control estatal, definidos en las regulaciones correspondientes, para comprobar y declarar que estos brindan indicaciones correctas y que se adecuan a los requisitos para el uso previsto. En este sentido, parte de la Metrología legal se involucra con la Protección al consumidor. Un ejemplo de esto se vio cuando se presentó el caso del contenido neto de productos preenvasados y preempacados.

También se está ante la Metrología legal, cuando se ejecutan mediciones que participan en transacciones comerciales internacionales, actividades fiscales, seguridad técnica, salud pública y registros oficiales de eventos deportivos, entre otras.

Según el *Vocabulario Internacional de Metrología Legal*, en su edición del año 2000, el Control metrológico se define como el conjunto de actividades de la Metrología Legal que contribuyen al Aseguramiento metrológico, e incluye:

1. El control legal de los instrumentos de medición, como la Aprobación de modelo y la verificación. En este caso, se determina si el error del instrumento de medición está comprendido dentro de los límites establecidos en las normas de referencia.
2. La Supervisión metrológica, que es el control ejercido sobre la producción, importación, instalación, uso, mantenimiento y repa-

ración de los instrumentos de medición, ejecutado para comprobar que se están usando correctamente según lo establecido en las leyes y regulaciones metrológicas.

3. El Peritaje metrológico, que son todas las operaciones que tienen el propósito de examen y demostración, por ejemplo, para testificar ante la ley la condición de los instrumentos de medición y para determinar sus propiedades metrológicas, entre otras, tomando como referencia los requisitos reglamentarios aplicables.

Proyecciones de la Metrología

La Metrología no es estática, evoluciona en la misma medida que el desarrollo de un país, de la sociedad. Nuevas tecnologías han transformado todos los aspectos de la economía y de la vida diaria de forma significativa y, por supuesto, han afectado profundamente a los instrumentos de medición y a la Metrología legal. Los productos industriales ya no están limitados a artefactos materiales, su valor está ahora compuesto de “inteligencia”, lo que les permite analizar su entorno y sus interfaces, y adaptar su comportamiento a estas interacciones (18).

El consumo de información por las personas ha aumentado considerablemente y continuará aumentando. Se está entrando a una civilización posindustrial, en la que la mayor parte de la producción humana y los valores económicos estarán basados en la entrega y la gestión de información.

El escenario en el año 2020 será muy diferente del que se presencia en estos años:

Los instrumentos “sencillos” darán paso a sistemas integrados en redes, que realizan funciones complejas, relacionan diferentes tipos de mediciones y controlan numerosos resultados de mediciones. Los elementos de estos sistemas no serán instrumentos completos, sino sensores, módulos de instrumentos y sistemas procesadores de datos, y todos interactuarán entre sí (19).

Los instrumentos y los sistemas serán capaces de llevar a cabo tareas

como autoverificación, autocalibración, asistencia de mantenimiento y adaptación de su comportamiento a condiciones ambientales o condiciones de medición que actualmente son reservadas solo para la Metrología u otros órganos especializados (19).

El alcance de estos sistemas de mediciones aumentará considerablemente, cubrirá una gran variedad de mediciones y magnitudes en casi todas las esferas de la actividad humana (19).

Este escenario presupone nuevos retos para la Metrología legal, que debe comenzar a enfrentarlos desde ahora.

De hecho, ya este siglo XXI, que recién comienza, se caracteriza por una serie de campos emergentes de investigación y de trabajo con alta incidencia de la Metrología, como la nanotecnología y las nanociencias, la biotecnología y las tecnologías de la información. En cada uno de estos campos ya se pueden mencionar algunos ejemplos (20).

Nanotecnología

Se ocupa del estudio, el diseño, la creación, la síntesis y la aplicación de materiales, equipos y sistemas funcionales en una escala extremadamente pequeña, que está en el orden de las dimensiones de los átomos y las moléculas. A este nivel es posible controlar la materia, crear nuevos materiales o modificar las propiedades de los ya existentes.

1. Microscopio de nivel atómico.
2. Mediciones de materiales en nanoescala y análisis de su composición.
3. Patrones atómicos para mediciones de láser, ópticos, tiempo y dimensiones.

Biotecnología

Se encarga de la manipulación celular y molecular de muestras biológicas. De Materiales de Referencia Certificados para:

- a) Diagnósticos y tratamiento médico.
- b) Investigación y desarrollo de vacunas y productos farmacéuticos, agricultura y otros campos.

- c) Análisis de laboratorio para aplicaciones forenses, determinación de paternidad y diagnósticos médicos.

Tecnología de la información

Son las cuestiones relacionadas con la fabricación de microprocesadores, microchips y circuitos integrados.

1. Patrones de hardware y software para la industria, el comercio y otras aplicaciones.
2. Metrología para la microelectrónica y las comunicaciones.
3. Telecalibraciones de instrumentos de medición por medio de Internet, por ejemplo, medidores de flujo de gases, instrumentos eléctricos, y otros.

El futuro está abierto y nos espera...

Referencias bibliográficas

1. Gómez Napier, L. y otros: *Fundamentos de Normalización, Metrología y Control de la calidad*, Edit. CEN, La Habana, 1984.
2. <http://www.rena.edu.ve> . Consultado el 6 de junio de 2007.
3. <http://www.cornisa.net>. Consultado el 6 de junio del 2007.
4. *La Santa Biblia*. Antigua versión de Casiodoro de Reina (1569), revisada por Cipriano de Valera (1602) y cotejada posteriormente con diversas traducciones, y con los textos hebreo y griego. Sociedades Bíblicas Unidas. Impresa en los Estados Unidos de Norteamérica, 1959.
5. NC- OIML V2: *Vocabulario internacional de términos generales y básicos de Metrología*, 1995.
6. ISO/IEC Guide 99: *International Vocabulary of Metrology-Basic and General Concepts and Associated terms (VIM)*, 2007.
7. JCGM 200: *Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM)*. Traduc-

- ción autorizada. 1ª ed. en español, BIPM, 2008.
8. Kelvin, W. T.: *Popular Lectures and Addresses*, vol. I, p. 80. Macmillan & Co. Ltd. London, en J. M. Jura, *et al*, *Manual de Control de la Calidad*, 1983. vol. 2, 2ª ed., Pub. Reverté. <http://books.google.com/books> (1991).
 9. Reyes Ponce, Y.: “No hay control sin mediciones de calidad”. *Rev. Normalización*. No. 1. pp. 42-49, 2007.
 10. Pérez González, E.: *Trazabilidad de las mediciones*. Conferencia. La Habana, 2007.
 11. NC ISO 10012: *Sistemas de gestión de las mediciones-Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición*, 2007.
 12. Hernández Leonard, A. R.: “Determinación de las características de los equipos calefactores de ensayo”. *Boletín Científico-Técnico del INIMET*. No. 1, pp. 1-9, 2003.
 13. Decreto-Ley No. 62: “Sobre la implantación del Sistema Internacional de Unidades”, 1982.
 14. Crowell, B.: *Newtonian Physics*. ed. 2.1. Edit. Light and Matter. p. 15, 2002.
 15. López, V. S.: “La metrología en la globalización del comercio”. *Boletín Científico-Técnico INIMET*. No. 2, pp. 13-20, 2003.
 16. Johnston E. A.: *International Symposium Metrology, 2008*, OIML, Habana, Cuba, 2008.
 17. Domínguez, L.: Cita de su intervención en el Sexto Simposio Internacional METROLOGÍA 2005. Hotel Nacional de Cuba. La Habana, 2005.
 18. Conclusions and Report. What Legal Metrology Will Be in The Year 2020. OIML Seminar Espace OLANO Saint-Jean--de-Luz, France. OIML Bulletin. Vol. XLIV. No. 1, pp. 15-19, 2002.
 19. Kochsiek, M. : Trends in Legal Metrology Towards a Global Measurement System. OIML Bulletin. Volume XLIV. No. 1, pp. 7-9, 2003.
 20. Maury Toledo, A.: *Proyecciones de la metrología*. Conferencia. La Habana, 2005.

