

Importancia de la trazabilidad en la ciencia de las mediciones

Importance of Traceability in the Science of Measurements

Raúl **Bracamontes Ramírez** ¹

Emmanuel **García Cruz** ²

Elías **González Miranda** ³

Araceli **Salazar Peralta** ⁴

Tecnológico Nacional de México,
Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán,
Jocotitlán, MÉXICO

¹ ORCID: 0009-0005-9115-1879 / 201715048141@tesjo.edu.mx

² ORCID: 0009-0009-1717-8984 / 2017150480392@tesjo.edu.mx

³ ORCID: 0000-0002-7281-6303 / elias.gonzalez@tesjo.edu.mx

⁴ ORCID: 0000-0001-5861-3748 / araceli.salazar@tesjo.edu.mx

<https://cientifica.site>

Recibido 16/07/2026, aceptado 23/10/2026, publicado 30-10-2026.



Resumen

Ninguna medición es completamente exacta. Cualquier tipo de instrumento o equipo, puede registrar una medición con una exactitud y precisión limitadas. Por lo tanto, toda medida tiene un grado de incertidumbre. El objetivo de este estudio es dar a conocer la importancia de la trazabilidad en la Metrología. La trazabilidad en cualquier medición que se efectúe indica la calidad del resultado, cualquier error puede significar pérdidas económicas importantes. En el ámbito de la salud, una medición inexacta de un componente químico o biológico repercute en la salud del ser humano, inclusive en su vida. La trazabilidad tiene como objetivo garantizar el grado de exactitud en una medición. El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), en su 3ª edición, define el concepto de “Trazabilidad Metroológica” como: “propiedad de un resultado de medida por la cual el 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”. La metodología en este estudio consistió en consulta documental sobre la trazabilidad, así como realización de un ejemplo práctico, usando un vernier marca Mitutoyo como instrumento de medición, como resultado se tiene que, en la ciencia de las mediciones, la trazabilidad es la capacidad de relacionar los resultados de una medición individual a patrones nacionales o internacionales mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones, llamada cadena de trazabilidad. Se concluye que la trazabilidad es uno de los pilares para que los resultados de medida sean comparables entre sí, independientemente del lugar y tiempo en que se hayan realizado, facilitando su aceptación universal y reduciendo las potenciales barreras técnicas al comercio.

Palabras clave: metrología, trazabilidad, medición, exactitud.

2

Abstract

No measurement is completely exact. Any type of instrument or equipment can only record a measurement with limited accuracy and precision. Consequently, every measurement carries a degree of uncertainty. The objective of this study is to highlight the importance of traceability in metrology. In any given measurement, traceability serves as an indicator of the quality of the result; any error can lead to significant economic losses. In the healthcare sector, an inaccurate measurement of a chemical or biological component can have serious consequences for human health—or even life itself. The purpose of traceability is to ensure a specific level of accuracy in a measurement. The International Vocabulary of Metrology (VIM), in its 3rd edition, defines the concept of “metrological traceability” as: “a property of a measurement result whereby the result can be related to a reference through a documented, unbroken chain of calibrations, each contributing to the measurement uncertainty.” The methodology for this study involved a review of literature on traceability, as well as a practical example using a Mitutoyo-brand vernier caliper as the measuring instrument. The study concludes that, in the science of measurement, traceability is the ability to link the results of an individual measurement to national or international standards through an unbroken chain of comparisons—known as a “traceability chain.” It is concluded that traceability is a fundamental pillar that allows measurement results to be compared with one another, regardless of when or where they were obtained, thereby facilitating their universal acceptance and reducing potential technical barriers to trade.

Index terms: metrology, traceability, measurement, accuracy.

I. INTRODUCCIÓN

La Metrología siempre ha existido, se trata de una ciencia muy antigua, los seres humanos siempre han tenido la necesidad de medir, se puede afirmar que desde sus comienzos la metrología ha formado parte de la vida cotidiana de los pueblos, empezando por las primeras sociedades humanas hasta llegar al avance tecnológico de nuestros días [1].

Al principio, las personas contabilizaban las medidas a partir de la distancia de las partes de su cuerpo; utilizaban sus extremidades para establecer las distancias de las cosas, los antiguos egipcios usaron sus codos para delimitar las medidas de las pirámides; también se sabe que emplearon la palma de la mano y los pulgares, una medida que todavía se usa en la actualidad y que conocemos como “pulgada”. Posteriormente, se crearon otros sistemas de medida y de peso como los centímetros, el metro, el gramo, entre otros. La medición es una necesidad innata [2].

Los primeros sistemas de medición datan del año 6000 a.C., ya que los humanos se vieron en la necesidad de calcular la medida de las cosas; debido al desarrollo agrícola, el cual requería de cálculos sobre la distribución y el volumen de los alimentos.

La antigua civilización egipcia fue una de las primeras en establecer un sistema de medición. De hecho, se cree que la primera unidad de longitud se creó en el antiguo Egipto. Esta llevaba el nombre de meh, que se traduce como codo; dicha unidad medía unos 0,45 metros [3].

Posteriormente, durante la tercera dinastía egipcia, se le atribuyeron otras medidas: el meh pasó a conocerse como codo vulgar (cuya medida abarcaba la distancia entre el brazo y el puño cerrado) y se introdujo otro sistema conocido como “codo real”, el cual equivalía a 0,523 metros (se diferenciaba del codo vulgar porque calculaba la distancia entre el brazo y la mano abierta).

Aunque los egipcios fueron pioneros en este sistema de unidades, en otros lugares también se empleó el codo como sistema de medición. Sin embargo, la medida de cada codo variaba de acuerdo con la región. Por ejemplo, el codo del Imperio persa era de 0,500 metros, mientras que el codo griego era de 0,463 metros.

La medida que usaron los griegos para calcular la longitud de las cosas se basó en las proporciones del cuerpo humano, específicamente en el tamaño de los dedos y de los pies. No obstante, los valores que se le atribuyeron a estas distancias podían variar conforme al lugar. Por ejemplo, en Atenas un pie medía 11.6 pulgadas, mientras que en Egina medía 13 pulgadas. Los romanos siguieron los pasos de los griegos para establecer su sistema de medidas, sin embargo, instauraron un concepto interesante que hoy conocemos como “milla romana”. Esta consistía en un cálculo de mil pasos; es por ello que se le denominó “milla” [4]. Este sistema fue muy usado por el ejército romano, cuyos soldados se encargaban de calcular cada mil pasos que daban con unas varas de madera. Dichos cálculos permitían una delimitación más concreta del terreno y de la posición de los enemigos.

Las unidades de medida durante el Imperio bizantino (que abarca desde la Antigüedad tardía hasta la Edad Media tardía) fueron una combinación de las unidades griegas y romanas, aunque sufrieron algunas modificaciones.

En el período bizantino fue un momento importante para la metrología, ya que en esta época se delimitaron las mediciones que posteriormente inspirarían a los estudios árabes. En este momento todavía no existía un sistema de medidas para calcular la longitud y el peso de las cosas; seguía sucediendo que cada lugar tenía sus propios cálculos. Al igual que los griegos y los romanos, los bizantinos usaron el cuerpo humano para establecer las medidas: La palma de la mano medía 0,0787 metros, mientras que un pie medía 0,3123 metros [5], [6].

Antes del Renacimiento, la metrología solo era aplicada principalmente en las transacciones comerciales y en la datación de impuestos; sin embargo, a partir de esta época los estudiosos hicieron una distinción entre la metrología científica y el resto de las actividades metrológicas. En otras palabras, en el Renacimiento se hace una división entre la metrología como estudio y su aplicación en la vida diaria. Se puede decir que a partir de este momento la metrología se convirtió en una disciplina formal, la cual se fue desarrollando y mejorando a partir de otras ciencias, como por ejemplo la astronomía.

Una de las razones por las que la metrología mejoró durante este período se debió al desarrollo del comercio y de la clase burguesa (es decir, una clase acomodada con propiedades y negocios); esto sucedió porque una economía más avanzada requería de unos sistemas de medición más avanzados. Además, los intentos por unificar los pesos y las medidas en las distintas naciones adquirieron más solidez en este período. No obstante, se siguieron utilizando las partes del cuerpo humano para establecer los cálculos.

Sin embargo, durante el reinado de Justiniano I (527-565) se empezó a instaurar un solo sistema de medición en todo el territorio. Esto sucedió porque Justiniano se dio cuenta de que era necesario utilizar el mismo sistema de medidas para organizar de forma más efectiva la administración fiscal de las ciudades.

En el siglo XVIII no existía un sistema de medición unificado, ni siquiera a nivel nacional. En Francia se determinó que en 1795 existían más de 700 sistemas de medición en el país; todos ellos diferentes y con sus propias reglas. No obstante, a partir de 1791 se dirigió una comisión que tenía como objetivo determinar las siguientes medidas y distancias: la distancia desde el Polo Norte hasta el ecuador, la longitud de una cuarta parte del ecuador, La longitud de un péndulo que late a la velocidad de un segundo (a una latitud de 45°). Al establecerse estas primeras medidas universales, se tuvieron que delimitar muchas otras. Esto trajo como consecuencia que en 1795 se introdujera el famoso sistema métrico decimal, el cual quedó definido en una ley de pesos y medidas.

Poco después, en 1799, este sistema aumentó notablemente su popularidad, lo que permitió establecer los primeros estándares universales; por ejemplo, a partir de ese momento el kilogramo se convirtió en una unidad de medida de uso diario [7], [8]. El sistema métrico decimal primero se extendió por toda Francia y posteriormente llegó a otros países, pero este cambio sucedió durante los inicios del siglo XIX. Además, este sistema se volvió obligatorio en los Países Bajos en 1816; en cambio, fue adoptado por España a partir de 1849.

El sistema métrico decimal se trata de un método simple, universal y accesible; en la actualidad, todos sabemos que el metro es la unidad que se usa para la longitud, mientras que el kilogramo es la que se usa para calcular la masa de los objetos [9], [10], [11]. Dentro de este sistema decimal también podemos encontrar el litro (que sirve para el volumen de los líquidos). De igual forma, utilizamos el área, la cual es una unidad de superficie.

En 1960, se establecieron las siguientes unidades de medida internacionales:

- Metro. medida de longitud.
- Segundo. medida de tiempo.
- Kilogramo. medida de masa.
- Amper. medida de intensidad de corriente
- Kelvin. medida de temperatura termodinámica.
- Candela. medida de luminosidad.
- Moles. medida de contenido de sustancia.

En México se cuenta con el Centro Nacional de Metrología (CENAM) Querétaro, quien es nuestro referente respecto a la metrología científica, contribuyendo así al desarrollo tecnológico y económico del país.

La trazabilidad de las mediciones se refiere a la capacidad de relacionar los resultados de una medición con un estándar reconocido a través de una cadena documentada de calibraciones (véaseTabla 1).

TABLA 1
TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES

Patrón	Organismo
Patrón Internacional	CIPM (Comité Internacional de Pesas y Medidas)
Patrón Nacional	CENAM (Centro Nacional de Metrología)
Patrón de referencia	Laboratorio de calibración acreditado
Patrón de trabajo (entidad donde se ejecuta la medición)	Calibración interna
Patrón de medición o ensayo	Todas las mediciones que se ejecutan en el lugar

II. METODOLOGÍA

La investigación se realizó de forma documental y práctica, conforme al siguiente procedimiento:

1. Se consultaron las siguientes definiciones de Metrología, las cuales son clave para entender la esencia de la Ciencia de las mediciones.
 - 1.1 Metrología científica, la cual atiende los problemas técnicos y experimentales de la medición, la reproducción experimental de las unidades de medida y la trazabilidad se encarga de custodiar y del mantenimiento de patrones nacionales, además de la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de medición.
 1. 2 Metrología legal, la cual se ocupa de verificar las unidades de medida, los métodos y procedimientos de medición y las unidades materializadas que intervienen en las transacciones comerciales, protección de la salud, el medio ambiente y la seguridad pública.
 1. 3 Metrología industrial. La cual está relacionada a las actividades de calibración, verificación y validación de los diferentes procesos de medición industrial, a través de métodos determinados y con mediciones exactas, lo anterior con la finalidad de desarrollar nuevas tecnologías, mejorar la calidad de los sistemas de producción industrial y la automatización en los procesos industriales.
 1. 4 Sistema Metrológico Internacional. En el MRA (acuerdo de reconocimiento mutuo), convenios entre gobiernos o entidades no gubernamentales a fin de generar aceptación y reconocimiento de los procedimientos para evaluar el cumplimiento de Normas Oficiales Mexicanas o Estándares.

Lo anterior minimiza las barreras comerciales, facilita el acceso a mercados, productos y el aprendizaje mutuo, mantiene la mejora continua en los procesos de gestión de la calidad y la uniformidad de las mediciones realizadas en cualquier país, logrando con ello la exportación de productos agilizando los trámites.

2. Se realizó un estudio práctico, para medir el diámetro exterior de un cilindro metálico usando un vernier marca Mitutoyo calibrado con un estándar, conforme al siguiente procedimiento:
 - 2.1 Se realizó la medición con el vernier calibrado con bloques patrón a 22°C.
 - 2.2 Se elaboró la cadena de trazabilidad, tomando en consideración que la trazabilidad significa que este valor se puede relacionar con patrones reconocidos a través de una cadena de calibraciones.

- 2.3 El resultado promedio de la medición de 5 muestras fue de: 25.36 mm, a 23°C.
- 2.4 La incertidumbre estimada del vernier es de ± 0.02 mm.
- 2.5 El vernier se calibró por un Laboratorio acreditado según ISO/IEC 17025, utilizando bloques patrón de longitud, cuyo certificado indica: Error máximo de +0.01 mm, trazable a laboratorio nacional (CENAM).
- 2.6 Patrones utilizados. Bloques patrón de acero.
- 2.7 Incertidumbre de los bloques patrón ± 0.001 mm.
- 2.8 El Laboratorio acreditado tiene relación con el CENAM (Sistema Nacional de Metrología, poseedor del Patrón nacional de longitud, metro, véase Tabla 1).
- 2.9 El CENAM tiene relación con el patrón internacional conforme al Sistema Internacional de medidas (S). (véase Tabla 3).
- 2.10 Se elaboró el siguiente Diagrama de flujo de trazabilidad de la medición práctica efectuada (véase Fig. 1).

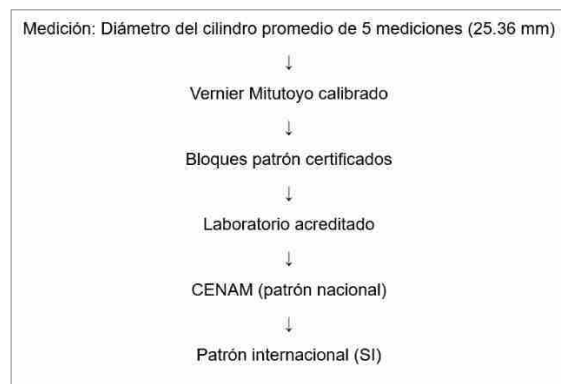


Fig. 1. Diagrama de flujo de trazabilidad de la medición práctica efectuada.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el contexto industrial, la metrología es esencial para garantizar la calidad de los productos y procesos. Las mediciones precisas permiten controlar y mejorar la producción, reducir costos y minimizar desperdicios. En México, la metrología se aplica en sectores como el automotriz, el aeroespacial. En el sector electrónico y alimentario, entre otros, contribuyendo al desarrollo económico del país.

La metrología también desempeña un papel fundamental en la protección del consumidor. Los instrumentos de medición utilizados en transacciones comerciales, como las básculas y los medidores de combustibles, deben estar calibrados y verificados para garantizar que los consumidores reciban lo que están pagando. Los organismos gubernamentales en México supervisan el cumplimiento de estas regulaciones y promueven la confianza en el mercado.

La Metrología es fundamental para el avance científico y tecnológico. En la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, es necesario contar con mediciones precisas y confiables para validar los resultados experimentales y compararlos con estándares establecidos, asegurando la trazabilidad de los mismos.

En México, la metrología contribuye al desarrollo de áreas como la nanotecnología, la biotecnología y la ingeniería, impulsando la innovación y la competitividad. La trazabilidad de las mediciones se refiere a la capacidad de relacionar los resultados de una medición con un estándar reconocido a través de una cadena documentada de calibraciones (véase Tabla. 2).

TABLA 2
SISTEMA METROLÓGICO INTERNACIONAL

Estructura regional e internacional	Organización internacional
Acreditación	ILAC IAF
Metrología primaria	CIPM BIPM
Metrología legal	OIML
Normalización	ISO IEC CIE

7

Cabe mencionar que en toda medición siempre existe un nivel de incertidumbre, de ahí la importancia de utilizar patrones de calibración para reducir la incertidumbre de medición. La metodología de estimación de incertidumbre considera los siguientes aspectos que son:

1. Establecer el mensurando por medio de un modelo matemático.
2. Determinar los coeficientes de sensibilidad.
3. Determinar la incertidumbre asociada a cada variable.
4. Determinar la incertidumbre combinada.
5. Determinar el factor de cobertura.
6. Determinar la incertidumbre expandida.

En el mismo contexto, la metrología a nivel mundial está estructurada por Organizaciones Metrológicas Regionales (ORMs) integradas por los Institutos Nacionales de Metrología (INMS) de cada país.

- APMP Asia- Pacífico.
- AFRIMETS África.
- COOMET Europa Central – Asia.
- EURAMET Europa Occidental.
- SIM América (NORAMET, CAMET, CARIMET, ADIMET, SURAMET).

En la Fig. 2, se considera la estructura del Sistema de Metrología Internacional.

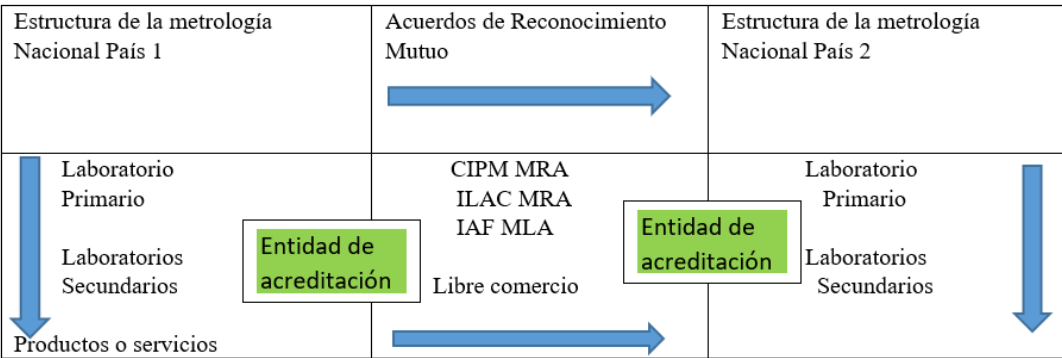


Fig. 2. Estructura del Sistema de Metrología Internacional.

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que la exactitud y la precisión en las mediciones son importantes, no solamente en la ciencia, sino también en todos los aspectos de la actividad humana. La exactitud de una medición es la mayor aproximación posible a un valor verdadero, indica que tan válidos son los resultados. La precisión o invariabilidad, refleja la confiabilidad para reproducir esa medición.

8

El patrón de medida surge de la definición de una magnitud dada (sistemas de medida, medida materializada o material de referencia), con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia. Para la conservación de un patrón de medida, se deben considerar aspectos denominadas operaciones.

Las operaciones para preservar las propiedades metroológicas de un patrón incluyen:

- 1. Verificaciones
- 2. Calibraciones
- 3. Almacenamiento adecuado (condiciones ambientales controladas)
- 4. Cuidados de manejo y uso

La trazabilidad metrológica es la propiedad de un resultado de medición que puede relacionarse con una referencia mediante una medición, la cual se relaciona con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

La trazabilidad pertenece al resultado de la medición y no al instrumento que se calibró. La trazabilidad de un modelo matemático requiere de una jerarquía de calibración establecida, en donde cada valor de entrada debería ser metrológicamente trazable.

La trazabilidad de las mediciones en México es primordial, se debe entender que, la calibración es diferente a una comparación. Una comparación se realiza entre laboratorios con incertidumbres similares y no se utiliza con fines de diseminar la trazabilidad sino con fines de demostrar la competencia del laboratorio. Es conveniente utilizar la dispersión de los valores medios como una herramienta para conocer la variabilidad de la medición con ello se logrará establecer los siguientes parámetros como son: precisión, reproductibilidad, repetibilidad y exactitud.

El estudio práctico que se hizo en cuanto a Metrología de longitud determinando el diámetro del cilindro permitió ver que es importante usar instrumentos de medición calibrados con patrones que tengan trazabilidad a un patrón internacional, de lo contrario los resultados no pueden ser válidos, ni pueden tener reproducibilidad.

CRedit (Contributor Roles Taxonomy)

Contribuciones de los autores: conceptualización: **ASP**; metodología: **ASP**; investigación: **ASP, EGM, RBR, EGC**; redacción del borrador original: **EGM**; revisión y edición: **ASP**; supervisión: **ASP**; análisis formal: **EGM**; administración del proyecto: **ASP**; obtención de financiación **ASP**.

Financiamiento: Este estudio se realizó sin financiamiento.

Agradecimientos: Se agradece al Tecnológico Nacional de México, al cual pertenece el Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán por las horas de Investigación asignadas, ya que sin ellas no podría llevar a cabo estudios de este tipo por falta de tiempo.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- [1] C. D. Ehrlich, S. D. Rasberry, "Metrological timelines in traceability," *Metrología*, vol. 34, no. 6, pp. 503-514, dic. 1997.
- [2] E. L. Garner, S. D. Rasberry, "What's new in traceability," en *American Society for Testing and Materials*, 1993, pp. 505-509.
- [3] International Laboratory Accreditation Cooperation, *Traceability of measurements*, ILAC-G2:1994, 1994.
- [4] International Organization for Standardization, *International vocabulary of basic and general terms in metrology*, 2.^a ed., Ginebra, Suiza: ISO, 1993.
- [5] International Organization for Standardization, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, ISO/IEC 17025:1999, 1999.
- [6] M. Kochsiek, M. Gläser, *Comprehensive Mass Metrology*, Weinheim, Alemania: Wiley-VCH, 2000.
- [7] R. J. Lazos-Martínez, "ISO 9001:2000, trazabilidad e incertidumbre," en Simposio de Metrología, Centro Nacional de Metrología, Querétaro, México, 2001.
- [8] S. Nielsen, "What is traceability and why do we calibrate?", 2001. [online]. Available: <http://www.hnmetrology.com/traceabl.htm>
- [9] T. J. Quinn, "The kilogram: The present state of our knowledge," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 40, no. 2, pp. 81-85, abr. 1991.
- [10] A. R. Robertson, P. L. M. Heydemann, I. A. Castelazo, "International report: North American Metrology Cooperation (NORAMET)," *Metrología*, vol. 34, no. 2, pp. 195-196, abr. 1997.
- [11] R. Schwartz, *Guide to mass determination with high accuracy*, Informe técnico PTB-MA-40, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Alemania, 1995.
- [12] M. Valcárcel, Á. Ríos, "Traceability in chemical measurements for the end users," *Trends in Analytical Chemistry*, vol. 18, no. 9-10, pp. 570-583, sep.-oct. 1999.