

ESTUDIO SOBRE LA GESTIÓN Y ASEGURAMIENTO METROLÓGICO A NIVEL
INDUSTRIAL EN COLOMBIA

STEFANY JULIET FLOREZ HERNANDEZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
VILLA DEL ROSARIO
2022

ESTUDIO SOBRE LA GESTIÓN Y ASEGURAMIENTO METROLÓGICO A NIVEL
INDUSTRIAL EN COLOMBIA

STEFANY JULIET FLOREZ HERNANDEZ

MONOGRAFÍA PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA

Director

JORGE LEONARDO FUENTES FUENTES
MSc. Mantenimiento Industrial

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
VILLA DEL ROSARIO
2022

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Villa del Rosario, 15 de diciembre de 2022

RESUMEN

En el presente documento, se exponen los fundamentos teóricos pertinentes al área de metrología en general, gestión metrológica y aseguramiento metrológico a nivel industrial; para lo cual, se recopila y presenta información de diferentes autores que han participado y aportado en el área, así como también, publicaciones que se han realizado al respecto a nivel internacional, continental y nacional. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis sobre el estudio y aplicación de la metrología en Colombia, realizando una revisión de la normatividad que rige esta área en el país, y se analiza la diferencia del avance de estas áreas tanto en Colombia, como demás países suramericanos, con respecto al resto del mundo.

PALABRAS CLAVE: Metrología, gestión metrológica, aseguramiento metrológico.

CONTENIDO

	Pág.
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	15
INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS	16
1. MARCO TEÓRICO.....	20
1.1 METROLOGÍA.....	20
1.1.1 Metrología científica.....	21
1.1.2 Metrología industrial.....	21
1.1.3 Metrología legal	22
1.2 MAGNITUDES FUNDAMENTALES	22
1.3 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.....	23
1.3.1 Constantes que definen el SI	23
1.3.2 Unidades básicas.....	24
1.3.2.1 Segundo.....	25
1.3.2.2 Metro.....	26
1.3.2.3 Kilogramo.....	26
1.3.2.4 Ampere	26
1.3.2.5 Candela.....	26
1.3.2.6 Mol	26
1.3.2.7 Kelvin	26

1.3.3 Unidades derivadas	26
1.3.4 Unidades ajenas a SI que son aceptadas en el SI.....	28
1.4 MEDICIÓN	29
1.4.1. Método directo	30
1.4.2 Método con aparatos equilibrados	30
1.4.3. Método indirecto	30
1.4.4 Mediciones técnicas.....	30
1.4.5 Mediciones legales	31
1.4.6 Mediciones científicas.....	31
1.4.7 Error	31
1.4.7.1 Error de medida	31
1.4.7.2 Error sistemático	31
1.4.7.3 Error aleatorio	31
1.4.8 Incertidumbre de medida	32
1.4.9 Corrección.....	32
1.4.10 Exactitud	32
1.4.11 Precisión	32
1.4.12 Repetibilidad	32
1.4.13 Reproducibilidad	33
1.5 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	33
1.5.1 Instrumentos de medición y verificación	34
1.5.1.1 Regla graduada	35
1.5.1.2 Cinta métrica.....	35
1.5.1.3 Plomada.....	35

1.5.1.4 Nivel	35
1.5.1.5 Goniómetro	35
1.5.1.6 Calibre o pie de rey	36
1.5.1.7 Micrómetro	36
1.5.1.8 Alesómetro	37
1.5.1.9 Reloj comparador	37
1.5.2 Calibración	38
1.5.3 Patrones de medición	38
1.5.3.1 Patrón de medida.....	38
1.5.3.2 Patrón colectivo	38
1.5.3.3 Patrón internacional de medición.....	38
1.5.3.4 Patrón nacional de medición.....	38
1.5.3.5 Patrón primario	39
1.5.3.6 Patrón secundario	39
1.5.3.7 Patrón de referencia	39
1.5.3.8 Patrón de trabajo.	39
1.5.3.9 Patrón de transferencia.....	39
1.5.3.10 Patrón viajero.....	39
1.5.4 Trazabilidad	39
1.5.5 Tolerancia	40
1.6 GESTIÓN METROLÓGICA	41
1.6.1 Etapas de la gestión metrológica.....	42
1.6.1.1 Necesidades industriales	42
1.6.1.2 Medios de medida.....	42

1.6.1.3 Método empleado	43
1.6.1.4 Instrumento de medición.....	43
1.6.1.5 Procedimiento empleado	43
1.6.1.6 Personal capacitado	43
1.6.2 Aplicación de la gestión metrológica	43
1.6.2.1 Mantenimiento	44
1.6.2.2 Verificación	44
1.6.2.3 Calibración	45
1.6.2.4 Calificación	45
1.7 ASEGURAMIENTO METROLÓGICO.....	46
1.7.1 Etapas del aseguramiento metrológico.....	47
1.7.1.1 Determinación de las mediciones críticas e importantes	47
1.7.1.2 El proceso de medición.....	47
1.7.1.3 Teoría de errores	47
1.7.1.4 Selección de los dispositivos de medición	48
1.7.1.5 Determinación de la capacidad de trabajo como criterio de selección de los dispositivos de medición	48
2. OBJETIVOS	51
2.1 OBJETIVO GENERAL	51
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	51
3. MATERIALES Y MÉTODOS	52
3.1 MATERIALES	52
3.2 METODOLOGÍA	52

4. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	53
4.1 NORMATIVIDAD COLOMBIANA.....	56
4.1.1 NTC 2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología.....	56
4.1.2. NTC-ISO 9001 Sistemas de gestión de la calidad	57
4.1.3 NTC-ISO 10012 Sistemas de gestión para la medición y los equipos de medición	57
4.1.3.1 Responsabilidad de la dirección	58
4.1.3.2 Gestión de los recursos	58
4.1.3.3 Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición	59
4.1.3.4 Análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones.....	61
4.1.4 NTC-ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.....	61
4.2 METROLOGÍA COLOMBIANA A TRAVÉS DEL TIEMPO	61
4.3 METROLOGÍA EN LATINOAMÉRICA.....	64
4.3.1 Evolución de la metrología en Latinoamérica	65
4.3.2 Institutos Designados.....	67
4.3.3 Capacidad de Medición y Calibración (CMC)	69
4.4 PAÍSES LÍDERES EN METROLOGÍA Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	71
4.5 ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	72
5. CONCLUSIONES	75
6. RECOMENDACIONES	77

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....78

GLOSARIO85

LISTA DE TABLAS

	Pág
Tabla 1. Constantes que definen el SI	24
Tabla 2. Unidades básicas del SI.....	25
Tabla 3. Unidades del SI con nombres especiales.	27
Tabla 4. Unidades ajenas al SI aceptadas en el SI.....	29
Tabla 5. Tipos de verificaciones en equipos de laboratorio.	45
Tabla 6. Comparación de países asociados al CIPM-MRA	66
Tabla 7. Comparación de Institutos Designados en el CIPM-MRA.....	68
Tabla 8. Capacidades de medición reconocidas por el BIPM para países Latinoamericanos.....	70
Tabla 9. Capacidades de Medición y Calibración de países líderes	71

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Símbolos usados en la tolerancia.	41
Figura 2. Intervenciones metrológicas en laboratorios de diagnóstico.....	44
Figura 3. Modelo de sistema de gestión de las mediciones.....	58
Figura 4. Proceso de confirmación metrológica	60
Figura 5. Histórico de OEC acreditados por año.....	64

LISTA DE ANEXOS

	Pág
Anexo A	88
Anexo B	89
Anexo C	90

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La metrología es una ciencia que concierne a diferentes áreas y disciplinas, ya que la mayoría de sus actividades requieren de mediciones, por lo que, como lo afirma Escamilla¹, tiene una gran importancia para todos; sin embargo, es una materia poco explorada, a nivel internacional y más aún a nivel nacional; las publicaciones científicas desarrolladas sobre este tema, son escasas en comparación con las desarrolladas sobre otros aspectos del área industrial.

A pesar de que existen múltiples opciones de educación relacionada con aseguramiento metrológico en Colombia, como cursos y programas de formación técnica y tecnológica, es notable la ausencia de estudios tales como artículos o monografías que recopilen información relevante al respecto, pues al consultar en revistas colombianas, los resultados obtenidos son muy pocos; además de esto, los artículos publicados en revistas internacionales, en base a estudios realizados en otros países, no se encuentran en idioma español, por lo que la realización de una monografía sobre el aseguramiento metrológico en Colombia, resulta oportuno.

¹ ESCAMILLA ESQUIVEL, Adolfo. Metrología y sus aplicaciones. México: Grupo editorial patria, 2014. p. 9.

JUSTIFICACIÓN

Este proyecto procura contribuir al limitado número de estudios sobre aseguramiento metrológico en el país, mediante la realización de un documento que pueda servir como fuente de información confiable y veraz para personas interesadas en esta área, que es hasta el momento, bastante desprovista; por lo tanto, la monografía realizada, representa un aporte al campo mencionado, al satisfacer una necesidad que radica en la escasez de estudios enfocados específicamente en el aseguramiento metrológico industrial en Colombia.

Al presentar una monografía con información relevante, producto de un proceso de recopilación, análisis y selección de información, se proporciona un referente para posteriores consultas, puesto que, al haber pasado por un análisis y verificación de referentes bibliográficos, se garantiza que el estudio presentado sea de óptima calidad; con la ventaja de que la información proporcionada se encuentra en español, lo que facilita el acceso a la misma para personas en Colombia.

INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES Y FUNDAMENTOS

Aunque pasen desapercibidas, las mediciones se encuentran presentes en casi cualquier aspecto de la vida cotidiana; ya sea al comprar una determinada cantidad de un alimento, o al enviar un archivo de cierto tamaño por correo electrónico, se está teniendo en cuenta una medida.

La necesidad del ser humano de medir magnitudes como tiempo y longitud, se remonta a épocas primitivas, como lo narra Restrepo², las antiguas civilizaciones, de forma intuitiva, usaban el cuerpo como medio de comparación, así surgieron medidas como “paso”, “codo”, “pie”, “pulgada”, etc.; por otro lado, Escamilla³ relata que la medida del tiempo inició usando como instrumento la luna, pero debido a la necesidad de los cazadores y agricultores de conocer la llegada de las estaciones, el uso de los ciclos de la luna no fue adecuado, pues la única manera de medir los días que habían entre una estación y otra era mediante el año solar, fue así como se empezó a usar el reloj solar, que durante siglos fue herramienta suficiente para llevar un horario de actividades en una civilización a la que le bastaba con medir las horas de sol para realizar sus labores de cultivo y demás actividades de la época; sin embargo, esto solo era posible en lugares donde el sol brillaba de forma abundante, y el movimiento de la sombra proyectada en el reloj era tan lenta que no permitía medir el tiempo en fracciones cortas como minutos. Más tarde, los descubrimientos de Galileo Galilei sobre el movimiento oscilatorio de un péndulo hicieron posible el desarrollo de los relojes de péndulo, y posteriormente, debido a la necesidad de un reloj que pudiera usarse mientras se estaba navegando en el mar, John Harrison desarrolló un reloj mecánico basado en el uso resortes.

² RESTREPO DÍAZ, Jaime. METROLOGÍA: aseguramiento metrológico industrial. Medellín: Fondo editorial ITM, 2007. Tomo I. p.16.

³ ESCAMILLA ESQUIVEL, Adolfo. Op. Cit., p. 2 - 6.

La sincronización de los relojes, que era posible desde la época de los relojes de péndulo, permitía algo fundamental para la evolución de las actividades del ser humano, la unificación de medidas; tener unidades estándar de medidas, para cualquier lugar del mundo, resulta fundamental para actividades que van de la mano con la evolución de la humanidad, como el comercio entre diferentes naciones y el desarrollo científico. Esta estandarización de medidas tuvo su origen en Francia, donde en 1795, se introdujo el sistema métrico decimal, que años más tarde se extendió a otros países, y el 20 de mayo de 1875, se fundó el *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM)⁴ u Oficina Internacional de Pesos y Medidas, mediante la firma de la Convención del Metro, y en conmemoración a esto, actualmente se celebra el 20 de mayo el día mundial de la metrología.

La historia de la evolución de las mediciones y las dificultades que ha tenido la humanidad a causa de la ausencia de estándares de medida, ha demostrado la importancia que tiene el estudio de la metrología y la aplicación de la misma, y se hace necesario conocer acerca de lo que se ha realizado y se realiza actualmente en esta área.

A nivel mundial, existen estudios en el área de la metrología como el realizado por Brown⁵, en Reino Unido, que propone reexaminar el concepto de metrología y la forma como se relaciona con la calidad, y plantea que esta sea considerada “medida de medida”. Por otro lado, Vitkovskii y Marusina⁶, en Rusia, desarrollaron un sistema de aseguramiento metrológico de medición de la presión del vapor de petróleo saturado y productos de petróleo, en el que presentan resultados de la implementación del nuevo método de medición de presión y realizan una

⁴ BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES [sitio web] Paris. Disponible en: <https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/metre-convention/>

⁵ BROWN, Richard. Measuring measurement- What is metrology and does it matter?. En: Measurement. Vol. 168 (4 sep 2020)

⁶ VITKOVSKII, O. S. y MARUSINA, M. Ya. Development of a standard system for metrological assurance of measurements of the pressure of saturated vapors of petroleum and petroleum products. En: Measurement Techniques, Vol. 59, No. 3 (Jun 2016)

comparación con los métodos ya conocidos. Y para comprender la importancia de la metrología en áreas como la medicina, se cuenta con publicaciones como la de Squara, P., Scheeren, T.W.L., Aya, H.D. et al.^{7 8}, una reseña compuesta de dos partes, desarrollada por colaboradores de diferentes países, quienes, en la primera parte explican aspectos de metrología como términos importantes, unidades, propiedades, dispositivos de medición y estándares de medición, enfocados en la medicina perioperatoria y cuidados intensivos; y en la segunda parte estudian los procedimientos para la validación de los principales criterios de calidad de medición y propiedades de los instrumentos de medición.

A nivel continental, la cantidad de estudios publicados recientemente sobre el tema de metrología y aseguramiento metrológico es muy limitada, sin embargo, se pueden encontrar dos estudios relevantes en el área, presentadas en el V Congreso Latinoamericano de Ingeniería Biomédica, llevado a cabo en Cuba en el año 2011; en el primero, Rodríguez⁹ resalta la importancia que tiene el aseguramiento metrológico en la calidad del sistema de salud en América; en el otro, presentado por Sanchez y Guerra¹⁰, se resume la participación de más de 250 especialistas en el taller sobre Impacto de la Cátedra de Calidad, Metrología y Normalización en el Sector de los Equipos Médicos, la Biotecnología y la Industria Farmacéutica. También, un estudio realizado en Estados Unidos de América por Vora, H.D.,

⁷ SQUARA, P., SCHEEREN, T.W.L., AYA, H.D. et al. Metrology part 1: definition of quality criteria. En: Journal of Clinical Monitoring and Computing (4 Mar 2020).

⁸ SQUARA, P., SCHEEREN, T.W.L., AYA, H.D. et al. Metrology part 2: Metrology part 2: Procedures for the validation of major measurement quality criteria and measuring instrument properties.. En: Journal of Clinical Monitoring and Computing (4 Mar 2020).

⁹ RODRIGUEZ, Denis E.B. (2013) Aseguramiento Metrológico para Equipos Médicos. En: Folgueras Méndez J. et al. (eds) V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba. IFMBE Proceedings, vol 33.

¹⁰ SÁNCHEZ I., MEIZOSO M.C., Guerra R.M. (2013) Impacto de la Cátedra de Calidad, Metrología y Normalización en el Sector de los Equipos Médicos, la Biotecnología y la Industria Farmacéutica. In: Folgueras Méndez J. et al. (eds) V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba.

Sanyal, S. A.¹¹ sobre metrología en manufactura aditiva y tecnología de impresión 3D.

A nivel nacional, se pueden encontrar publicaciones sobre metrología enfocadas en el área de salud y de equipos biomédicos; como es el caso de la tesis realizada por Rios y Sandoval¹², en la que se aplica un programa de aseguramiento metrológico para equipos biomédicos en el hospital universitario del Valle Evaristo García. De igual forma, el artículo publicado por Ramírez, Martínez e Hidalgo¹³ en el que presentan un modelo de gestión para la aplicación del control metrológico legal a equipos biomédicos.

¹¹ VORA, H.D., SANYAL, S. A Comprehensive review: metrology in additive manufacturing and 3D printing technology. En: Progress in Additive Manufacturing (13 Jun 2020).

¹² RIOS OROZCO, Angelica Maria y SANDOVAL RIASCOS, Madeleyne. Programa de aseguramiento metrológico para equipos biomédicos del hospital universitario del Valle Evaristo García. Pasantía institucional para optar por el título de ingeniero biomédico. Santiago de Cali. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ingeniería. Departamento de automática y electrónica. 2019. 82 p.

¹³ RAMIREZ BARRERA, MARTINEZ G. e HIDALGO VÁZQUEZ. Modelo de gestión para la aplicación del control metrológico legal y la evaluación de conformidad en equipos biomédicos. En: Revista Ingeniería Biomédica, Vol. 11, No. 21 (Ene 2017)

1. MARCO TEÓRICO

1.1 METROLOGÍA

La metrología del (del griego: *Μέτρον*, medida y *λογία*, tratado) definida por el Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España como “ciencia que se ocupa de la medida”¹⁴, además de ser una de las ciencias más antiguas en la existencia, está también presente en muchos ámbitos del entorno, como en la medicina, la industria, en campo legal, científico, investigativo, entre otros. El Comité Conjunto de Guías en Metrología o JCGM por sus siglas en inglés, la define como la “ciencia de la medida y su aplicación”¹⁵, y abarca, según el BIPM¹⁶ determinaciones tanto experimentales como teóricas, a cualquier nivel de incertidumbre y en cualquier campo de la ciencia y la tecnología. La metrología comprende, por tanto, cualquier aspecto a tener en cuenta en el área de las mediciones, como unidades de medida, patrones, las normas que se deben cumplir, entre muchos otros.

En Colombia, se adoptó el sistema métrico decimal en el año 1853. La entidad encargada de la metrología es el Instituto Nacional de Metrología (INM)¹⁷ y para este, tanto la metrología científica como industrial, buscan garantizar la trazabilidad de las mediciones y el cumplimiento de estándares para facilitar el cumplimiento de parámetros de calidad de los productos.

Existen dentro de la metrología tres ramas que se encargan de estudiar diferentes campos: la metrología científica, industrial y legal.

¹³ CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA E INSTITUTO DE LA INGENIERÍA DE ESPAÑA. *La metrología también existe*. Madrid: Centro Español de Metrología. Primera edición, 2019. p. 15.

¹⁵ JCGM. International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). Tercera edición. 2012.

¹⁶ BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES [sitio web] Paris. Disponible en: <https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/>

¹⁷ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA [sitio web] Bogotá, D.C. Disponible en: <https://www.inm.gov.co/servicios/cursos-de-capacitacion-metrologica/>

1.1.1 Metrología científica. Para Marbán y Pellecer, la metrología científica “es el conjunto de acciones que persiguen el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades de base y derivadas del Sistema Internacional de Unidades, SI.”¹⁸ Es decir, también es la encargada del estudio constante para la creación de nuevas técnicas de medición y mantenimiento de las ya existentes por medio de las cuales pueden llegar a surgir nuevas.

Por otra parte, el Instituto Dominicano para la Calidad describe este aspecto de metrología Científica, como la que se ocupa de los problemas técnicos y experimentales de la medición, entre ellas: la realización experimental de las unidades de medida y la custodia y mantenimiento de patrones, así como la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de medición.¹⁹

1.1.2 Metrología industrial. En concordancia con lo anterior, Marbán y Pellecer²⁰ afirman que la función de la metrología industrial consiste en la calibración, control y mantenimiento adecuado de los equipos de medición, con el fin de garantizar que los productos estén de conformidad con normas.

Así mismo, el Instituto Dominicano para la Calidad, explica que la Metrología Industrial “persigue promover la competitividad industrial a través del aseguramiento de las mediciones, por medio de la calibración periódica de sus instrumentos de medición, contra patrones trazables al Sistema Internacional de Unidades acompañada de buenas prácticas y procedimientos de medición los cuales inciden

¹⁸ MARBÁN, Rocío M. y PELLECCER C. Julio A. Metrología para no metrologos. Segunda edición. Guatemala: Sistema Interamericano de Metrología, 2015. p. 20.

¹⁹ INSTITUTO DOMINICANO PARA LA CALIDAD, república dominicana, 2022.

²⁰ MARBÁN y PELLECCER. Op. Cit., p. 20-21.

en la calidad de los bienes y servicios.”²¹ De modo que la calidad del servicio proporciona de cierta manera prestigio.

1.1.3 Metrología legal. La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), presenta la siguiente definición “Metrología legal es la aplicación de requisitos legales a medidas e instrumentos de medidas”²², por su parte, la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC), dice que “la metrología legal se relaciona con las actividades que se derivan de los requisitos legales que se aplican a la medición, las unidades de medida, los instrumentos de medida y los métodos de medida que se llevan a cabo por los organismos competentes”²³ y dice también que mediante la metrología legal se deben alcanzar los siguientes objetivos:

- Obtener un nivel adecuado de protección de los consumidores en aspectos relacionados con la salud, seguridad, medio ambiente e intereses económicos.
- Asegurar que los instrumentos de medición se ajusten a los requisitos establecidos en los reglamentos técnicos metrológicos.
- Procurar la exactitud conveniente en las transacciones comerciales.
- Facilitar el intercambio comercial nacional e internacional.
- Prevenir la ocurrencia de fraudes.

1.2 MAGNITUDES FUNDAMENTALES

La metrología, como lo afirman Bhoomkar y Chikshe²⁴, concierne a las magnitudes fundamentales, que son: longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica,

²¹ INSTITUTO DOMINICANO PARA LA CALIDAD, república dominicana, 2022.

²² ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE. [sitio web] Paris. Disponible en: <https://www.oiml.org/en/about/legal-metrology>

²³ COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO: Reglamentos técnicos y metrología legal [sitio web] Bogotá, D.C. Disponible en: <https://www.sic.gov.co/metrologia-legal>

²⁴ BHOMKAR, M. y CHIKSHE, S. Metrology and quality control. India: Nirali Prakashan, 2019.

temperatura, intensidad luminosa y cantidad de sustancia; de estas magnitudes básicas, se derivan otras magnitudes físicas como área, volumen, velocidad, aceleración, entre otras. Para medir estas magnitudes, es necesario emplear unidades de medida definidas y estandarizadas, para lo cual, se creó el Sistema Internacional de Unidades.

1.3 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

El Sistema internacional de unidades (SI) fue establecido en 1960 en la Conferencia General de Pesos y Medidas, y actualmente es usado por diferentes países alrededor de todo el mundo. Toda la información concerniente a este sistema, ha sido publicada por el BIPM en *Le Système international d'unités* (SI), “para promover y explicar el SI”²⁵.

La expresión de una cantidad se compone de un número y una unidad, establecida en el SI, no obstante, para ciertas cantidades, se pueden usar diferentes unidades que son igualmente aceptadas por el SI, tal es el caso del tiempo, como se verá más adelante.

1.3.1 Constantes que definen el SI. Existen siete constantes en el SI, mediante las cuales se puede expresar cualquier unidad, ya sea con una constante en sí misma, o el producto o cociente de algunas de ellas. Estas constantes, al igual que cualquier cantidad, se expresan mediante un número y una unidad, como se observa en la tabla 1.

²⁵ BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. *Le Système international d'unités* (SI). Novena edición. Paris, 2019. p. 122.

Tabla 1. Constantes que definen el SI

Constante definitoria	Símbolo	Valor numérico	Unidad
Frecuencia de transición hiperfina de Cs	$\Delta\nu_{Cs}$	9192631770	Hz
Velocidad de la luz en el vacío	c	299792458	M s ⁻¹
Constante de Planck	h	6.62607015x10 ⁻³⁴	J s
Carga elemental	e	1.602176634x10 ⁻¹⁹	C
Constante de Boltzman	k	1.380649x10 ⁻²³	J K ⁻¹
Constante de Avogadro	N_A	6.02214076x10 ²³	Mol ⁻¹
Eficacia luminosa	K_{cd}	683	Lm W ⁻¹

Fuente BIPM. *Le Système international d'unités* (SI).

1.3.2 Unidades básicas. Como lo afirma Moro²⁶ las unidades básicas o fundamentales son aquellas que cumplen la condición de independencia dimensional. Las unidades básicas de SI se muestran en la tabla 2.

²⁶ MORO PIÑEIRO, María. METROLOGÍA: Introducción, Conceptos e Instrumentos. España: Universidad de Oviedo, 2000. p. 19.

Tabla 2. Unidades básicas del SI

Cantidad base		Unidad base	
Nombre	Símbolo típico	Nombre	Símbolo
tiempo	t	segundo	s
longitud	$l, x, r, \text{ etc.}$	metro	m
masa	m	kilogramo	kg
corriente eléctrica	I, i	amperio	A
temperatura termodinámica	T	kelvin	K
cantidad de sustancia	n	mol	mol
Intensidad luminosa	I_v	candela	cd

Fuente BIPM. *Le Système international d'unités* (SI).

Según la Oficina Internacional de Pesas y Medidas ²⁷, las magnitudes básicas empleadas en el SI son longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa; estas magnitudes básicas se consideran independientes, por convención. Las unidades básicas correspondientes del SI, elegidas por la CGPM, son el metro, el kilogramo, el segundo, el amperio, el kelvin, el mol y la candela.

1.3.2.1 Segundo. Para Lazos y López, el segundo es “la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133 (13a CGPM 1967)”²⁸.

²⁷ OFICINA INTERNACIONAL DE PESAS Y MEDIDAS. El sistema internacional de unidades SI. Madrid, Centro Español de Metrología, 2006. p. 14

²⁸ LAZOS MARTÍNEZ, Rubén J. y LÓPEZ ROMERO, José M. Las definiciones de las unidades de medida en su nueva etapa. México: Centro Nacional de Metrología, 2010. p. 2.

1.3.2.2 Metro (m). Según Pérez²⁹ es la longitud del trayecto del recorrido por la luz en el vacío durante un intervalo de 1/299.792.458 segundos.

1.3.2.3 Kilogramo. Este mismo autor también define el kilogramo como unidad de masa, “Es la única unidad básica que tiene un prefijo de múltiplo (kilo) en el nombre, que se ha respetado por razones históricas. Los múltiplos y submúltiplos de esta unidad se forman anteponiendo prefijo”.

1.3.2.4 Ampere. Según PINTO et al. el ampere es “la unidad de intensidad de corriente eléctrica, pero su valor se fija teniendo en cuenta el valor de la carga elemental”.³⁰

1.3.2.5 Candela. Para pinto et al. La candela es “es la unidad de intensidad luminosa en una dirección dada y su magnitud se toma fijando el valor numérico de la eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz, exactamente igual a 683 lm W^{-1} ”.

1.3.2.6 Mol. Pérez define el mol como la cantidad de materia de un sistema que contiene tantas entidades elementales.

1.3.2.7 Kelvin. De igual manera describe el kelvin como unidad de temperatura Termodinámica.

1.3.3 Unidades derivadas. El BIPM define las unidades derivadas como “productos de potencias de las unidades base”³¹, y afirma también que cuando el factor

²⁹ Dr. Rogelio Pérez D’Gregorio. Sistema Internacional de Unidades (SI). Madison : Editorial Ateproca 2015. p. 50.

³⁰ PINTO Gabriel; MARTÍN-SÁNCHEZ, Manuela; MARTÍN-SÁNCHEZ María Teresa. Sistema Internacional de Unidades: resumen histórico y últimas propuestas. Madrid: Real Sociedad Española de Química, 2012. p. 238.

³¹ BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. Le Système international d’unités (SI). Op. Cit., p. 137.

numérico de este producto es uno, las unidades derivadas se denominan unidades derivadas coherentes; algunas de estas unidades reciben nombres especiales, estas se listan en la tabla 3.

Las siete unidades básicas junto con las 22 unidades con nombres especiales, forman el núcleo del conjunto de unidades del SI, las demás unidades del SI, son combinaciones de algunas de estas 29 unidades.

Tabla 3. Unidades del SI con nombres especiales.

Cantidad derivada	Nombre especial de unidad	Unidad expresada en términos de unidades base	Unidad expresada en términos de otras unidades del SI
ángulo plano	radián	$\text{rad}=\text{m}/\text{m}$	
ángulo sólido	estereoradián	$\text{sr}=\text{m}^2/\text{m}^2$	
frecuencia	hertz	$\text{Hz}=\text{s}^{-1}$	
fuerza	newton	$\text{N}=\text{kg m s}^{-2}$	
presión, estrés	pascal	$\text{Pa}=\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$	
energía, trabajo, cantidad de calor	julio	$\text{J}=\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$	N m
potencia, flujo radiante	vatio	$\text{W}=\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$	J/s
carga eléctrica	culombio	$\text{C}=\text{A s}$	
diferencia de potencial eléctrico	voltio	$\text{V}=\text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-1}$	W/A
capacitancia	faradio	$\text{F}=\text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^4 \text{A}^2$	C/V
resistencia eléctrica	ohmio	$\Omega=\text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-2}$	V/A

Tabla 3. (Continuación)

Cantidad derivada	Nombre especial de unidad	Unidad expresada en términos de unidades base	Unidad expresada en términos de otras unidades del SI
conductancia eléctrica	siemens	$S = \text{kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3 \text{A}^2$	A/V
flujo magnético	weber	$\text{Wb} = \text{kg} \text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{A}^{-1}$	V s
densidad de flujo magnético	tesla	$T = \text{kg} \text{s}^{-2} \text{A}^{-1}$	Wb/m ²
inductancia	henry	$H = \text{kg} \text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{A}^{-2}$	Wb/A
temperatura Celsius	grado Celsius	$^{\circ}\text{C} = \text{K}$	
flujo luminoso	lumen	$\text{lm} = \text{cd sr}$	cd sr
iluminancia	lux	$\text{lx} = \text{cd sr m}^{-2}$	lm/m ²
actividad referida a un radionúclido	becquerel	$\text{Bq} = \text{s}^{-1}$	
dosis absorbida, kerma	gray	$\text{Gy} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$	J/kg
dosis equivalente	sievert	$\text{Sv} = \text{m}^2 \text{s}^{-2}$	J/kg
actividad catalítica	katal	$\text{kat} = \text{mol s}^{-1}$	

Fuente BIPM. *Le Système international d'unités* (SI).

1.3.4 Unidades ajenas a SI que son aceptadas en el SI. Como se mencionó anteriormente, existen unidades que no pertenecen al SI, y, sin embargo, son aceptadas por este. Dichas unidades se pueden ver en la tabla 4.

Tabla 4. Unidades ajenas al SI aceptadas en el SI

Cantidad	Nombre de unidad	Símbolo para unidad	Valor en unidades del SI
tiempo	minuto	min	1 min=60 s
	hora	h	1 h= 60 min= 3600 s
	día	d	1 d= 24 h= 86400 s
longitud	Unidad astronómica	au	1 au= 149597870700 m
ángulo plano y de fase	grado	°	1°=($\pi/180$)rad
	minuto	′	1′=(1/60)°=($\pi/10800$)rad
	segundo	″	1″=(1/60)′=($\pi/648000$)rad
área	hectárea	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
volumen	litro	l, L	1 l= 1 L= 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
masa	tonelada	t	1 t= 10 ³ kg
	dalton	D	1
			Da=1.66053906660(50)×10 ⁻²⁷ kg
energía	electronvoltio	eV	1 eV= 1.602176634 ×10 ⁻¹⁹ J
cantidad de	neper	Np	
relación	bel	B	
logarítmica	decibel	dB	

Fuente BIPM. *Le Système international d'unités* (SI).

1.4 MEDICIÓN

El VIM define la medición como el “proceso de obtener experimentalmente uno o más valores cuantitativos que pueden razonablemente ser atribuidos a una

cantidad”³²; en este proceso surgen conceptos relevantes para el área de metrología, como son el error y la incertidumbre; así como también los métodos de medición y las clases generales de medición.

Los métodos de medición descritos por Ortiz³³, suelen clasificarse en 3 tipos:

1.4.1. Método directo. Es la comparación de una masa conocida con la que se desea medir.

1.4.2 Método con aparatos equilibrados. Como su nombre lo indica, es la relación entre una escalada graduada y un patrón de medida, y para hacer una comparación se debe medir la posición en la escala.

1.4.3 Método indirecto. Se llega a un valor de la cantidad que se quiere medir, usando como intermediario la relación de definiciones u otras teorías que tienen relación a su vez con las medidas de otras cantidades.

Así mismo, Jiménez³⁴ divide la medición en clases que son: medición técnica, medición legal y medición científica.

1.4.4 Mediciones técnicas. son las encargadas de garantizar el posicionamiento de algún objeto, con el fin de que su funcionamiento sea llevado a cabo correctamente, que cumpla los objetivos y que tenga una correcta compatibilidad dimensional.

³² JCGM. International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). Op. Cit., p. 16.

³³ ORTIZ YARA, Noffal. Teoría de errores en la medición. Bogotá: Escuela de ingenieros militares, 2015. p. 9

³⁴ JIMENEZ RODRIGUEZ, Luis Alfonso. Metrología industrial, sistemas de medición y aseguramiento metrológico. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2007. p. 18.

1.4.5 Mediciones legales. son las encargadas de hacer cumplir una ley o reglamentos, es decir, las encargadas de sancionar el uso indebido de balanzas, metros, entre otros objetos de medición que puedan ser alterados. Los encargados de hacer cumplir este tipo de mediciones legales son comúnmente los organismos estatales, municipales o gubernamentales.

1.4.6 Mediciones científicas. la metrología es parte de la Física experimental y que, a su vez, es de las más complejas y, aun así, de las más avanzadas teniendo en cuenta la variedad, desarrollo e innovación de sus aparatos de medición, los sistemas computacionales que facilitan o vuelven más asequibles el tratamiento de los datos y todo esto, con el tiempo se convierte en los instrumentos de rutina más usados.

1.4.7 Error. En el proceso de medición, siempre se encontrarán errores influyentes por factores tales como el ambiente, los instrumentos de medición, entre otros.

1.4.7.1 Error de medida. Se entiende como el error de una medición, a la diferencia entre el valor medido y un valor de referencia, pero, como se plantea en el VIM³⁵, este error tiene dos componentes, el error sistemático y el aleatorio.

1.4.7.2 Error sistemático. Es la componente del error que permanece constante o varía de forma predecible al replicar las mediciones. Este, aunque no puede eliminarse, puede corregirse si se consigue el origen del error.

1.4.7.3 Error aleatorio. Corresponde a la componente del error que varía de forma impredecible al replicar las mediciones, ya sea por factores como temperatura, humedad, precisión, etc.

³⁵ JCGM. International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). Op. Cit., p. 22-23.

1.4.8 Incertidumbre de medida. Es el parámetro que representa la dispersión de valores cuantitativos atribuidos a un mensurando, y posee una componente producida por la falta de detalles en la definición del mensurando, conocida como incertidumbre de definición.

1.4.9 Corrección. Reparación de un efecto sistemático estimado.

Es fundamental también en el campo de la metrología, comprender conceptos asociados a las características de las mediciones como exactitud, precisión, repetibilidad y reproducibilidad.

1.4.10 Exactitud. Se refiere a la cercanía que hay entre el valor medido y el valor verdadero de un mensurando. Es decir, el error sistemático de medida, entre más pequeño es, más exacto se vuelve.

1.4.11 Precisión. Es la proximidad entre los resultados obtenidos al realizar varias mediciones del mismo mensurando. Es decir, el error aleatorio de medida, entre más pequeño es, más preciso se vuelve.

1.4.12 Repetibilidad. Es la precisión que se obtiene al realizar mediciones bajo unas condiciones conocidas como condiciones de repetibilidad, Escamilla señala las siguientes condiciones de repetibilidad:

- El mismo procedimiento de medición.
- El mismo observador.
- El mismo instrumento de medición utilizado en iguales condiciones.
- El mismo lugar.
- La repetición dentro de un periodo corto.³⁶

³⁶ ESCAMILLA ESQUIVEL, Adolfo. Metrología y sus aplicaciones. Op. Cit., p. 20.

1.4.13 Reproducibilidad. Es la precisión que se obtiene al realizar mediciones bajo unas condiciones conocidas como condiciones de reproducibilidad, que, a diferencia de las condiciones de repetibilidad, consiste en cambiar la condiciones con las que se realizan las mediciones, y se debe especificar cuáles son las que se hacen variar; de acuerdo con Escamilla, estas condiciones pueden ser:

- El principio de medición.
- El método de medición.
- El observador.
- El instrumento de medición.
- El patrón de referencia.
- El lugar.
- Las condiciones de uso.
- El tiempo.³⁷

1.5 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

En la metrología, se debe prestar especial atención a el instrumento con el que se realiza una medición, ya que, como lo afirma Restrepo³⁸, existen consideraciones externas a la medición, que pueden afectar la misma, y uno de estos, es la selección del instrumento de medición adecuado.

Según la definición del VIM³⁹, un instrumento de medición es un dispositivo que se usa para realizar mediciones, y puede funcionar solo o en conjunto con uno o más dispositivos suplementarios.

³⁷ Ibid., p. 20.

³⁸ RESTREPO DÍAZ, Jaime. Metrología, aseguramiento metrológico industrial. Medellín: Fondo editorial ITM, 2007. Tomo II. p.13.

³⁹ JCGM. International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). Op. Cit., p. 34.

Para garantizar que los instrumentos y equipos de medición cumplan con los requisitos para llevar a cabo un correcto proceso de medición, en Colombia, es fundamental seguir los estándares y orientaciones proporcionados por la norma NTC-ISO 10012⁴⁰, esta norma menciona entre otras consideraciones a tener en cuenta sobre el equipo de medición:

- Todo el equipo debe estar disponible e identificado en el sistema de gestión de mediciones.
- Debe estar calibrado antes de ser confirmado.
- Debe ser utilizado en un ambiente controlado o suficientemente conocido para asegurar resultados de medición válidos.
- El equipo de medición utilizado para dar seguimiento a las magnitudes de influencia debe estar incluido en el sistema de gestión de las mediciones.
- Se deben establecer, mantener y utilizar procedimientos documentados para recibir, manipular, transportar, almacenar y distribuir los equipos de medición, con el fin de prevenir abuso, mal uso, daño y cambios en las características metrológicas de los instrumentos.
- Deben existir procedimientos para incorporar o retirar el equipo de medición del sistema de gestión de mediciones.

1.5.1 Instrumentos de medición y verificación. Campos, resalta la importancia de los Instrumentos de medición y dice que estos “aportan los conocimientos, habilidades y actitudes que se requieren para el uso de instrumentos analógicos y digitales para la medición de diferentes longitudes y profundidades, las cuales no se podrían medir con herramientas convencionales”⁴¹.

⁴⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012: Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Bogotá, 2003.

⁴¹ CAMPOS HERNÁNDEZ, Gerardo. Antología de la asignatura instrumentos de medición. Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos, 2020. p. 3

1.5.1.1 Regla graduada. En el DECRETO N° 29 659-MEIC del 2001 se hace una breve definición de la regla graduada como “una medida materializada provista con una escala de marcas de una o más de sus caras o superficies planas y cuyas distancias entre las marcas son indicadas en unidades legales de longitud”.⁴²

1.5.1.2 Cinta métrica. Es un instrumento de medición que tiene sus respectivas divisiones de medidas y da la facilidad de ser enrollada.

1.5.1.3 Plomada. González la describe como “un cilindro cónico sujetado al extremo de una cuerda que, al dejarlo suspendido, tensa la misma por la fuerza de la gravedad, señalando la vertical del lugar. Mientras que la punta del cilindro cónico apunta hacia el centro de la Tierra, la cuerda, en el sentido opuesto, apunta hacia el punto más alto de la bóveda celeste, el cénit”⁴³.

1.5.1.4 Nivel. Es el instrumento utilizado, como su nombre lo indica, para nivelar. Contiene un líquido y una burbuja dentro, cuando esta burbuja queda centrada, indica que hay un nivel exacto, y cuando no está centrado, hay una falla, un desnivel que se debe resolver.

1.5.1.5 Goniómetro. Además de ser fácil de usar, es un instrumento bastante útil según lo describe Taboadela que nos dice que es usado para medir los ángulos en el sistema osteoarticular y además lo describe como “Los goniómetros poseen un cuerpo y dos brazos o ramas, uno fijo y el otro móvil. El cuerpo del goniómetro es, en realidad, un transportador de 180° ó 360°. La escala del transportador suele estar

⁴² DECRETO N° 29 659-MEIC. El presidente de la república y el ministro de economía industria y comercio La Gaceta N° 150 de 7 de agosto del 2001. p. 2.

⁴³ GONZÁLEZ SÁNCHEZ, Oswaldo. La plomada: una herramienta de albañil aplicada a la astronomía. San Cristóbal de La Laguna: cosmos Crónicas, 2020. p. 1.

expresada en divisiones cada 1°, cada 5°, o bien, cada 10°. El punto central del cuerpo se llama eje o axis”⁴⁴.

1.5.1.6 Calibre o pie de rey. Melillo⁴⁵ lo describe como un instrumento usado para medir la dimensión de los objetos “pequeños” que van desde centímetros hasta fracciones de milímetros (1/10 de milímetro, 1/20 de milímetro, 1/50 de milímetro).

Así mismo, Melillo describe su funcionamiento:

En la escala de las pulgadas tiene divisiones equivalentes a 1/16 de pulgada, y, en su nonio, de 1/128 de pulgadas.

Consta de una «regla» con una escuadra en un extremo, sobre la cual se desliza otra destinada a indicar la medida en una escala. Permite apreciar longitudes de 1/10, 1/20 y 1/50 de milímetro utilizando el nonio.

Mediante piezas especiales en la parte superior y en su extremo, permite medir dimensiones internas y profundidades.

1.5.1.7 Micrómetro. Teniendo en cuenta lo dicho por la Red Colombiana de Metrología⁴⁶, los micrómetros son usados cuando los datos arrojados por el Pie de rey son insuficientes, además, existen hoy en día tres tipos de micrómetros que son: los exteriores, interiores y los de profundidad.

⁴⁴ TABOADELA, Claudio H. Goniometría, una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales. Buenos aires: ASOCIART SA ART, 2007. p. 29.

⁴⁵ MELILLO, Gabriel. Instrumento de medición, CALIBRE PIE DE REY. Metrología dimensional, 2018, recuperado de: <https://metrologiadimensionalcom.wordpress.com/2018/02/07/calibre-pie-de-rey/>

⁴⁶ Red Colombiana de Metrología. GUIA PARA LA CALIBRACIÓN DE MICRÓMETRO PARA EXTERIORES INM/GTX-X/XX. Bogotá: Instituto Nacional de Metrología de Colombia – INM. Recuperado de: https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/02/Guia-Micro%CC%81metro-2020-2021_06_10.pdf

Los micrómetros de exteriores los define La Red Colombiana de Metrología como “de alta precisión, diseñados para realizar mediciones directas de magnitudes lineales asociadas a mensurados de diversas dimensiones y geometrías”.

Los micrómetros de interiores explicado por el Centro Español de Metrología “son los destinados a medir diámetros interiores de agujeros, de tipo autocentrante y que se encuentran en el mercado con lectura analógica o digital”⁴⁷

Los micrómetros de profundidad definido por Xolalpa “son útiles para medir, agujeros, escalonamientos y ranuras”⁴⁸.

1.5.1.8 Alesómetro. Para Federación de Enseñanza de CC.OO ⁴⁹ esto es:

Un instrumento de medición que se utiliza para medir o verificar la concentricidad o los diámetros de las piezas. Su funcionamiento y forma es muy parecida a la del micrómetro y está formado por unos palpadores alojados en una carcasa de acero en su extremo (que es con lo que medimos), y un cilindro dividido en milímetros junto a un nonio, que puede ser normal, analógico o digital.

1.5.1.9 Reloj comparador. Utilizado en los talleres o industrias para la verificación de piezas y la comparación del producto, resulta útil comparar las diferencias que existen en la cota de varias piezas que se quiera supervisar.

⁴⁷ Centro Español de Metrología. Procedimiento di-022 calibración de micrómetros de interiores de tres contactos. España: Procedimiento DI-022. Edición DIGITAL 1, 2019. p. 4.

⁴⁸ XOLALPA RAMIREZ, Pela Citlali. Estudio de calibración de micrómetros de exteriores con alcance de 0 a 500 mm. México: Instituto Politecnico Nacional, 2009. p. 39.

⁴⁹ Federación de Enseñanza de CC.OO. Temas para la educación. Andalucía: Revista digital para profesionales de la enseñanza, 2011. p. 2.

1.5.2 Calibración. Las normas ICONTEC 2194⁵⁰, la definen como la relación entre los valores de magnitudes indicados por un instrumento de medición o por un sistema de medición. La calibración permite dar valor a las magnitudes por la medición, establecer el efecto de las magnitudes de influencia y finalmente, su resultado puede ser registrado por medio de un documento llamado, certificado o informe de calibración.

1.5.3 Patrones de medición. Un estándar de medida es una representación física de una unidad de medida, es simplemente un patrón.

1.5.3.1 Patrón de medida. Un instrumento de medida con el fin de dar definición, llevar a cabo, mantener o desarrollar una unidad. Las unidades se establecen en relación con cualquier patrón físico o fenómeno natural, incluidas las constantes físicas y atómicas. Un ejemplo de referencia es un electrodo patrón de hidrogeno.

1.5.3.2 Patrón colectivo. Cuando grupo de instrumentos de medición al ser mezcladas, conforman un patrón.

1.5.3.3 Patrón internacional de medición. Es una consonancia para de signar un valor a un patrón de magnitud igual que pueda ser identificado de manera general o mundial.

1.5.3.4 Patrón nacional de medición. Es una consonancia para de signar un valor a un patrón de magnitud igual que pueda ser identificado de manera nacional en los países.

⁵⁰ ICONTEC. Vocabulario de términos básicos y generales de metrología. Bogotá: Instituto colombiano de Normas, técnicas y certificación. Segunda edición. p. 30.

1.5.3.5 Patrón primario. Es un patrón principal que no es mencionado junto a otros patrones que puedan tener la misma magnitud ya que al ser primario, es catalogado de los más importantes en la metrología.

1.5.3.6 Patrón secundario. Patrón que es confrontado o comparado con un patrón primario que tenga una magnitud igual.

1.5.3.7 Patrón de referencia. Las mediciones que se dan en un lugar específico se dan gracias al patrón que contiene una alta calidad dentro la metrología.

1.5.3.8 Patrón de trabajo. Es el patrón usado a diario para la calibración, calidad y verificación de los instrumentos de medición.

1.5.3.9 Patrón de transferencia. Usado para la comparación de patrones.

1.5.3.10 Patrón viajero. Creado para casos específicos donde debe ser transportado.

1.5.4 Trazabilidad. Como lo explican Manjabacas y Eguía⁵¹, la trazabilidad es una cualidad de las medidas, mediante la cual, esta puede ser referida a patrones nacionales o internacionales mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones, teniendo todas las incertidumbres determinadas; a esta cadena de comparaciones se le conoce como cadena de trazabilidad.

La importancia de la trazabilidad radica en que todo instrumento de medición debe estar calibrado, por patrones de una entidad, que no necesariamente corresponderá

⁵¹ Manjabacas Tendero, María Carmen y Eguía, Valentín Miguel. Teoría y práctica de la metrología dimensional aplicada a la fabricación en ingeniería. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla - La mancha, 2022. P. 26.

a la entidad encargada de la metrología a nivel nacional; sino que, probablemente corresponderá a patrones de un laboratorio, que a su vez estará calibrado por patrones de otro laboratorio o entidad; y se debe poder seguir la cadena de trazabilidad del instrumento, hasta llegar a los patrones de la entidad encargada de regular las mediciones.

1.5.5 Tolerancia. Según la Federación de Enseñanza de CC.OO la tolerancia “se podría definir como el margen de error admisible en la fabricación de un producto. A mayor tolerancia menor margen de error⁵²”. En La figura 1, se puede observar los símbolos usados en la tolerancia, presentados por esta federación.

Por otro lado, el autor Campos⁵³, menciona la Regla de Oro de la metrología donde se dice que “El instrumento debe tener una incertidumbre (intervalo entre la lectura máxima y mínima posible de una medición) del orden de 1 décimo del error tolerado en la pieza a controlar (o sea $T/I=10$)”. Lo que quiere decir que la precisión debe ser 10 veces mayor en el aparato a usar. Sin embargo, hay excepciones donde la tolerancia es muy estrecha y se permite una relación entre tolerancia e incertidumbre, menor. Por lo que Campos da una regla de oro más generalizada: $3 (T/I) = 10$.

⁵² Federación de Enseñanza de CC.OO. Temas para la educación. Andalucía: Revista digital para profesionales de la enseñanza, 2011. p. 2.

⁵³ CAMPOS HERNÁNDEZ. Op. Cit., p. 11

Figura 1. Símbolos usados en la tolerancia.

TIPO DE TOLERANCIA	PROPIEDAD	SÍMBOLO
FORMA	Rectitud	—
	Planicidad	
	Redondez	○
	Cilindricidad	
ORIENTACIÓN	Inclinación	
	Perpendicularidad	
	Paralelismo	//
LOCALIZACIÓN	Posición	
	Concentricidad - Coaxialidad	
	Simetría	
FORMA y LOCALIZACIÓN	Perfil de una línea	
	Perfil de una superficie	
OSCILACIÓN	Oscilación circular	
	Oscilación total	

GOMEZ G., Jorge I. y ROMERO, Javier. Una mirada a las normas sobre dimensionado y tolerado geométrico en Hispanoamérica.

1.6 GESTIÓN METROLÓGICA

Restrepo define la gestión metrológica como “la administración eficiente y eficaz de las medidas requeridas en los procesos, productos o servicios de cualquier empresa productora”⁵⁴; y afirma que cuando esta es llevada a cabo de forma eficiente, se garantiza:

- Realizar las medidas críticas e importantes en cada etapa del proceso productivo de la organización
- Identificar los dispositivos de medición y control adecuados

⁵⁴ RESTREPO. METROLOGÍA: aseguramiento metrológico industrial. Tomo I. Op. Cit., p. 73.

- Contar con un sistema operador-instrumento apropiado
- Que los errores aleatorios y sistemáticos sean conocidos
- El riesgo del consumidor sea conocido y controlado
- Que se proporcione confianza e información sobre la variabilidad del proceso de producción
- Garantizar la continuidad y el auto-control⁵⁵

Así mismo, según la norma NTC-ISO 10012⁵⁶ un sistema eficaz de las mediciones debe garantizar el uso de equipos y procesos de medición apropiados, ya que el objetivo de dicho sistema es gestionar el riesgo de que los equipos y procesos de medición produzcan resultados incorrectos, que afecten la calidad de los productos.

1.6.1 Etapas de la gestión metrológica. De acuerdo con lo expuesto por Restrepo⁵⁷, en la gestión metrológica se debe realizar un análisis de 6 aspectos básicos:

1.6.1.1 Necesidades industriales. Se deben tener claras las especificaciones requeridas del proceso o producto, las necesidades requeridas por el cliente y las necesidades industriales, qué se debe medir, con qué frecuencia, con qué exactitud y con qué se debe medir.

1.6.1.2 Medios de medida. Se deben seleccionar los medios de medición adecuados, de acuerdo al grado de exactitud requerida en la medición, para que se asegure la entrega de la cantidad requerida por el cliente.

⁵⁵ Ibid., p. 73-74

⁵⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012: Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Bogotá, 2003.

⁵⁷ RESTREPO. METROLOGÍA: aseguramiento metrológico industrial. Tomo I. Op. Cit., p. 73-81.

1.6.1.3 Método empleado. Para garantizar la calidad de los productos, se deben emplear métodos de medición, que hayan sido diseñados, evaluados, documentados y validados.

1.6.1.4 Instrumento de medición. Se debe seleccionar la instrumentación adecuada teniendo en cuenta factores como su calidad, facilidad de manejo y facilidad de mantenimiento.

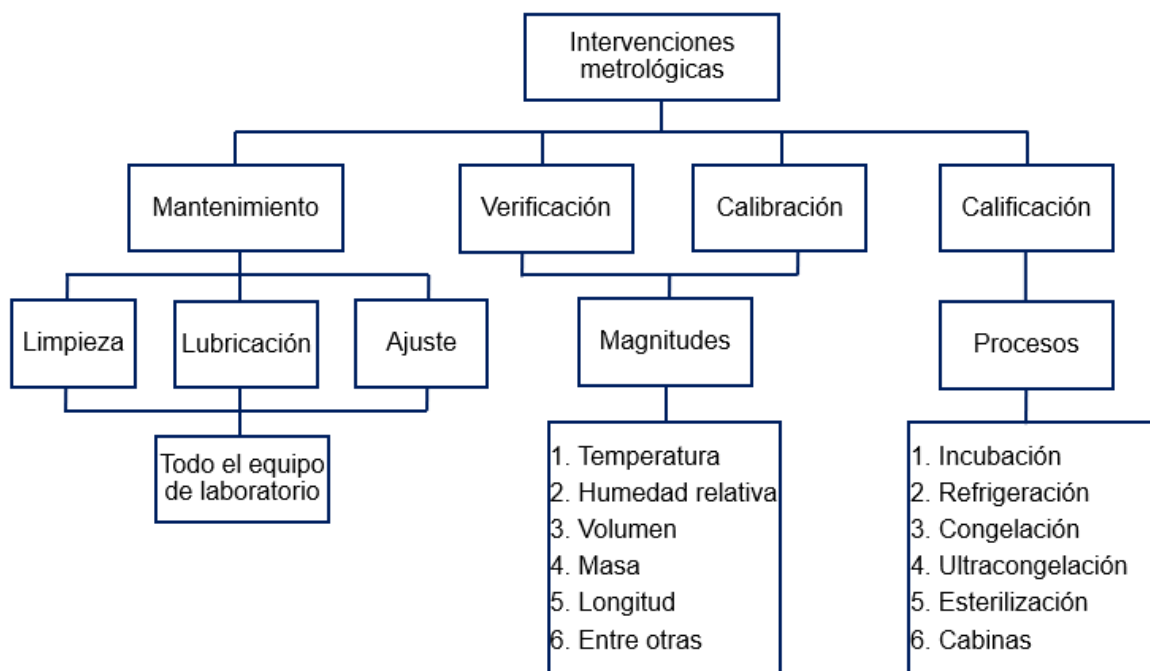
1.6.1.5 Procedimiento empleado. Se deben emplear los métodos adecuados para la correcta utilización de los instrumentos de medición.

1.6.1.6 Personal capacitado. Para que los procesos de medición se desarrollen de forma idónea, se debe garantizar que el personal encargado de las mismas posea las competencias necesarias.

1.6.2 Aplicación de la gestión metrológica. Para el desarrollo de este apartado, se toma como base un proceso de gestión metrológica aplicado a laboratorios de diagnóstico, del Instituto Nacional de Salud. En este, sus autores, Rojas et al.⁵⁸ explican que, para llevar a cabo la gestión metrológica en estos laboratorios, se toman en cuenta tres aspectos fundamentales que son, primero, la planificación, que consiste en analizar lo que se quiere lograr, para lo cual, se debe tener en cuenta qué tipo de intervención metrológica se requiere; segundo, los proveedores, ya que se debe tener los mejores candidatos a prestar los servicios que requieran los equipos; y tercero, el uso de los equipos, puesto que, en base a esto, podrían ser necesarias intervenciones adicionales. En la figura 2, se muestran las intervenciones metrológicas empleadas en estos laboratorios.

⁵⁸ Rojas Morales, J. M., Rodríguez G., A. P., & Prieto N., L. P. Gestión metrológica en laboratorios de diagnóstico. 2014. 11 p.

Figura 2. Intervenciones metrológicas en laboratorios de diagnóstico



Rojas Morales, J. M., Rodríguez G., A. P., & Prieto N., L. P. Gestión metrológica en laboratorios de diagnóstico. 2014. p 5.

1.6.2.1 Mantenimiento. Con el fin de que los equipos se encuentren dentro de las especificaciones requeridas, se lleva a cabo mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo; lo que permite, respectivamente, tomar las decisiones necesarias antes de que se presente una falla en un equipo, reducir fallas y tiempos muertos, y reparar daños debido a deterioros normales o imprevistos.

1.6.2.2 Verificación. Consiste en aportar evidencia que comprueba que un equipo satisface los requisitos de una norma o del fabricante; y se realizan verificaciones de tres tipos, mostrados en la tabla 5.

1.6.2.3 Calibración. En este tipo de intervención se realiza la calibración de los equipos ...explicada en el apartado 1.5.2..., y se genera el correspondiente certificado de calibración.

1.6.2.4 Calificación. Se realiza con el fin de detallar el funcionamiento del equipo bajo especificaciones del fabricante y necesidades del usuario; y son de tres tipos, calificación de instalación, que prueba que las necesidades claves de instalación corresponden a las recomendaciones del fabricante; calificación operacional, con la cual se comprueba si el equipo funciona correctamente y en el rango de parámetros para los que fue diseñado; y calificación de desempeño, en la cual se valida la efectividad en condiciones normales de operación y en los límites de operación.

Tabla 5. Tipos de verificaciones en equipos de laboratorio.

Tipo de verificación	Ejecutor de la actividad	Función
Intermedia interna	Entidad responsable del equipo	Realizar la verificación con patrones físicos o materiales de referencia certificados calibrados, propios de la entidad propietaria del equipo, con el fin de garantizar entre períodos de calibración y/o verificación (según aplique) la conservación de las características metrológicas de dicho equipo.
Intermedia externa	Proveedor contratado	Realizar la verificación con patrones físicos o materiales de referencia certificados calibrados, suministrados por el proveedor, con el fin de garantizar entre períodos de calibración y/o verificación (según aplique) la conservación de las características metrológicas de dicho equipo.

Tabla 5. (Continuación)

Tipo de verificación	Ejecutor de la actividad	Función
Externa	Proveedor contratado	Realizar la verificación con patrones físicos o materiales de referencia certificados calibrados, suministrados por el proveedor, con el fin de garantizar posterior a cada mantenimiento realizado, la conservación de las características metrológicas de dicho equipo.

Fuente Rojas Morales, J. M., Rodríguez G., A. P., & Prieto N., L. P. Gestión metrológica en laboratorios de diagnóstico. 2014. p 5.

1.7 ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

Según la definición dada por Restrepo⁵⁹, el aseguramiento metrológico comprende todas las acciones que se llevan a cabo con el fin de cumplir los requisitos establecidos en las normas propias, nacionales, o internacionales, para la realización de mediciones de forma confiable; y comprende 5 etapas básicas.

En Colombia, el Sistema de Aseguramiento Metrológico, también conocido por sus siglas (SAM), “tiene como propósito garantizar el buen funcionamiento de los equipos requeridos por el área específica, atendiendo los requisitos legales vigentes por medio del desarrollo de las actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y la calibración de equipos”⁶⁰.

⁵⁹ Ibid., p 23, 84-94.

⁶⁰CARDONA OSPINA, John Fredy. Aseguramiento metrológico. Antioquia: Universidad de Antioquia. 2017. p. 5.

1.7.1 Etapas del aseguramiento metrológico.

1.7.1.1 Determinación de las mediciones críticas e importantes. Es esencial que se defina la criticidad de las variables relacionadas con los dispositivos de medición involucrados en el proceso, es decir, aquellos que son usados para tomar medidas y no los que realizan otras funciones; para determinar la criticidad de una variable, se deben tener en cuenta aspectos como su incidencia en el resultado final, rangos de medición, la tolerancia permisible, entre otros; esto permitirá saber si la variable debe ser medida o no.

1.7.1.2 El proceso de medición. Un adecuado proceso de medición es fundamental para garantizar la calidad de los procesos a nivel industrial, ya que, su objetivo es garantizar que los productos entregados cumplan con estándares de calidad; para esto, se deben tener en cuenta todos los parámetros asociados a las mediciones como la incertidumbre, errores, exactitud y precisión, ente otros ...se explicaron en el apartado 1.4...

En Colombia, la norma NTC-ISO 10012⁶¹, proporciona un estándar de los requisitos para que se realice un correcto proceso de medición, así como también, consideraciones importantes respecto a los equipos de medición empleados para apoyar y demostrar el cumplimiento de requisitos metrológicos.

1.7.1.3 Teoría de errores. Puesto que, al realizar una medición, independientemente de si se realiza de forma directa o indirecta, siempre va a intervenir un error asociado a la medida, es decir que nunca se va a conocer por completo su valor real, es necesario acotar estos valores; por lo tanto, se debe presentar el valor de la cantidad medida junto con un valor que indique cuánto puede

⁶¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012: Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Bogotá, 2003.

estar variando ese valor medido del real, en otras palabras, se debe expresar el valor de la medición junto con su error.

Como explica la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la Universidad de Málaga⁶² la teoría de errores, proporciona un método matemático para calcular cuánto puede alejarse el valor medido del valor real. El resultado de la medición se expresa como se ve en la ecuación (1).

$$Z = \pm \Delta Z \quad (1)$$

Donde Z representa el valor medido y ΔZ el error asociado.

1.7.1.4 Selección de los dispositivos de medición. Al elegir el dispositivo de medición se deben considerar aspectos como el rango de medición, la tolerancia permitida, la frecuencia de uso del dispositivo, las condiciones ambientales del lugar de operación, las competencias de los operarios del dispositivo, las condiciones de instalación y operación, los niveles de precisión y exactitud, y la capacidad de trabajo requerida.

1.7.1.5 Determinación de la capacidad de trabajo como criterio de selección de los dispositivos de medición. Conocer la capacidad de trabajo de un dispositivo permite saber si este es adecuado para medir una variable; se puede determinar de 3 formas:

$$CT = \frac{IT}{R} \quad (2)$$

Donde:

⁶² Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de Málaga [sitio web]. Disponible en: http://webpersonal.uma.es/~JMPEULA/teoria_de_errores.html

CT: Capacidad de trabajo

IT: Intervalo de tolerancia del proceso

R: Resolución del dispositivo

Para la primera forma, representada en la ecuación (2), un dispositivo apto para la medición será aquel cuya capacidad de trabajo se encuentre entre 5 y 50, si el resultado es menor a 5, el dispositivo no es confiable, por otro lado, si es mayor a 50, representa una resolución muy alta y, por lo tanto, un dispositivo muy costoso para la empresa.

La segunda forma, representada en la ecuación (3), se basa en la relación de incertidumbre.

$$R = \frac{U_c}{U_p} \quad (3)$$

Donde:

R: Relación de incertidumbre

U_c : Incertidumbre o exactitud de la unidad de medida

U_p : Incertidumbre del patrón

Con una incertidumbre entre 4 y 10, se asegura la confiabilidad de las mediciones hasta cierto punto.

Y, por último, la tercera forma se representa en la ecuación (4).

$$CT = \frac{T}{U} \quad (4)$$

Donde:

CT: Capacidad de trabajo

T: Tolerancia del proceso

U: Incertidumbre de medición del equipo utilizado

Esta capacidad se debe calcular después de cada calibración del dispositivo utilizado y se tienen en cuenta la incertidumbre del patrón y del dispositivo. El dispositivo es adecuado si su CT se encuentra entre 3 y 10, y al igual que con la ecuación (2), si el valor es menor al rango mencionado, el dispositivo no cuenta con la capacidad de medida requerida, y si el valor es mayor al rango, la capacidad del dispositivo es más alta de la requerida y, por lo tanto, es más costoso.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la gestión y aseguramiento metrológico a nivel industrial en Colombia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Recopilar información sobre la gestión y aseguramiento metrológico a nivel industrial en Colombia.

Analizar la gestión y aseguramiento metrológico a nivel industrial en Colombia.

Concluir sobre la gestión y aseguramiento metrológico a nivel industrial en Colombia.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

Los materiales usados en el desarrollo de este proyecto fueron libros con un amplio conocimiento respecto a la metrología que, aunque muchas de sus definiciones o información eran similares, algunos libros complementaban a los otros. También se tuvieron en cuenta artículos, normas y decretos en Colombia que brindaron información pertinente y precisa sobre el desarrollo y los puntos clave de los que se compone la metrología.

3.2 METODOLOGÍA

Para poder darle forma a este trabajo, se tuvo en cuenta el esquema que se estableció en los objetivos, los cuales aluden a consultar y documentarse con artículos, decretos, trabajos, libros o textos digitales o físicos que sean pertinentes al caso, para lo cual, se tuvo en cuenta autores como Marbán, Rocío M. y Pellecer C. Julio A. e institutos como el instituto nacional de metrología de Colombia, quienes han desarrollado textos como artículos compartiendo conceptos relevantes al tema. Para hallar los resultados con mayor efectividad se empleó el método de búsqueda por categorías o jerárquica y por palabras claves, para después clasificar que realmente era importante y que restaba relevancia frente al caso. Esto permitió estudiar y fortalecer las ideas centrales de gestión y aseguramiento metrológico a nivel industrial en Colombia. Siguiendo con los objetivos, se recopiló, analizó y concluyó a partir de los datos obtenidos en la web, plataformas digitales, textos académicos, entre otros documentos.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

En Colombia, o de manera general en Latinoamérica, la metrología no ha sido un tema de estudio tanto como en otros países. Tamayo⁶³, hace una breve mención de la historia y en esta misma, el porqué de su popularidad, esto se debe a qué los países más avanzados tecnológicamente y con su respectivo grupo de científicos expertos, se han encargado de que sus experimentos y avances no sean revelados o esparcidos y a su vez, hablando específicamente de la metrología, no han permitido que los avances en ella sean expuestos. La metrología, siendo una de las bases científicas más importantes, ha sido catalogada como parte del secreto industrial en estos grandes imperios, es por esto que la gestión metrológica en países no tan avanzados tecnológica y científicamente, se limita únicamente a la calibración de equipos dejando de lado el proceso de medición, sin embargo, en cuanto al campo de metrología industrial, también se tiene en cuenta la incertidumbre según lo dicho en la Guía ISO/IEC 99⁶⁴. Según lo señalado por Mora⁶⁵, gracias a los reconocimientos por los sistemas y patrones de medición, como a la capacidad y certificados de calibración, Colombia se encuentra en un punto avanzado de Metrología desde el 2007 a nivel de Latinoamérica.

⁶³ TAMAYO ORLANDO, Cedeño. Introducción a la gestión metrológica. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA – SENNOVA, 2011. P. 58.

⁶⁴ Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Vocabulario Internacional de Términos y conceptos fundamentales en Metrología. Quito: ISO, 2008. p. 6.

⁶⁵ MORA CAMPO, Leonardo. Análisis de la metrología en Colombia. Vuelva: Universidad Internacional de Andalucía, 2013. p. 5.

Para Palacio⁶⁶ el aseguramiento metrológico en Colombia ha estado avanzando de manera positiva para favorecer la economía, permitiendo que las organizaciones cumplan con los estándares de calidad con la obtención de las medidas exactas arrojadas por la metrología, y afirma también que:

En el sector industrial existen diferencias entre las estrategias implementadas para la gestión de la medición, conforme requisitos característicos de los diversos procesos, esta es una de las razones por las cuales se hizo necesario diagnosticar el aseguramiento metrológico en industrias pertenecientes a sectores de gran crecimiento en la ciudad de Medellín.

El INM⁶⁷ (Instituto Nacional de Metrología en Colombia) ofrece asesoría con el fin de cumplir y garantizar lo anteriormente mencionado, este servicio tiene por nombre SAM (Servicio de Asesoría Metrológica).

Para que la industria pueda autodenominarse con buenos sistemas de gestión, se debe tener el control metrológico tanto de los equipos de seguimiento y medición, como los conocimientos adecuados para su manejo, su interpretación y respectiva calibración de ser necesario. Por lo cual Campos⁶⁸ en su documento presentado nos explica que, gracias a los sistemas de gestión, todos los equipos y patrones de medición, sean nuevos o no, deben ser calibrados cada cierto tiempo o de manera constante para brindar una calidad idónea.

⁶⁶ Palacio Morales, J. A. (2016). Diagnóstico del aseguramiento metrológico en el sector plástico, alimentos, construcción y metalmecánico. EN R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 15(42), 17-30. ISSN 1657-8236.

⁶⁷ INM, Instituto Nacional de Metrología en Colombia. Mediciones, calidad y bienestar. <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/02/MEDICIONES-CALIDAD-Y-BIENESTAR-DIGITAL-1.pdf>

⁶⁸ CAMPOS HERNÁNDEZ. Op. Cit., p. 78.

La metrología científica e industrial en el país, ha tenido sus avances significativos, ejecutando actividades que les ha permitido innovar en este campo, soportando el desarrollo económico, científico y tecnológico. Sus diferentes acciones en cuanto a gestión y aseguramiento como no solo a través del control metrológico y la diseminación de mediciones trazables al sistema internacional de unidades sino también en la investigación, lo cual le permite destacarse frente a otros países que le apuestan a la seguridad de sus servicios a través de ella. De igual modo, esto permite confianza en los procesos de transacciones comerciales locales y de exportación, esto según la INM⁶⁹.

Por otro lado, el Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo⁷⁰ actualizado este 2022 hace mención de la metrología colombiana y por medio de lo siguiente, da a conocer los objetivos la misma metrología en Colombia:

ARTÍCULO 2.2.1.7.11.2. Objetivos de la Red Colombiana de Metrología. La Red Colombiana de Metrología tiene por objetivos generales los siguientes:

1. Identificarla capacidad técnica metrológica en términos de la oferta nacional existente.
2. Determinarlas necesidades, requerimientos y expectativas metrológicas de los laboratorios colombianos.
3. Fomentar y apoyar el establecimiento de procesos y proyectos conjuntos que permitan generar productos y servicios acordes con las necesidades y requerimientos.

⁶⁹ MINCIENCIAS. Colombia es ciencia, un día en el instituto nacional de metrología. 2019. Disponible en: <https://colombiaesciencia.minciencias.gov.co/content/un-d%C3%ADa-en-el-instituto-nacional-de-metrolog%C3%ADa>

⁷⁰ DECRETO 1595 de 2015 art. 3. Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo. ARTÍCULO 2.2.1.7.11.2. actualizado el 21 DE JUNIO DE 2022.

4. Generar, actualizar e intercambiar el conocimiento metrológico entre sus miembros para integrar y fortalecer su capacidad metrológica.

Teniendo en cuenta lo anterior, por medio de la metrología en Colombia se deben cumplir ciertos parámetros con el fin de asegurar y garantizar la fiabilidad de las mediciones, las transacciones como de la evolución científica y tecnológica, estas mediciones se hacen por medio de patrones establecidos que calibran y verifican. Al hacer la respectiva verificación, también se está permitido enviar a otra parte del país o del exterior a comprobar o demostrar la veracidad de los datos.

4.1 NORMATIVIDAD COLOMBIANA

Con el fin de regular los procesos de gestión y aseguramiento metrológico en Colombia, se tienen en cuenta normas que se encuentran estandarizadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC⁷¹; esta es una entidad de carácter privado y sin ánimo de lucro que busca brindar soporte a los productores y protección a los consumidores.

4.1.1 NTC 2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología⁷². Esta norma presenta definiciones, explicaciones y ejemplos de un amplio rango terminología necesaria en metrología, abarcando temas referentes a magnitudes de medida, mediciones, resultados de medición, instrumentos de medición y patrones de medición.

⁷¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012: Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Bogotá, 2003.

⁷² INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología. Bogotá, 1997.

4.1.2. NTC-ISO 9001 Sistemas de gestión de la calidad⁷³. Proporciona una guía para la correcta ejecución de los procesos dentro de las organizaciones, iniciando desde la planificación, hasta la liberación de los bienes y servicios, incluyendo también acciones correctivas en casos de no conformidad con los bienes o servicios prestados.

4.1.3 NTC-ISO 10012 Sistemas de gestión para la medición y los equipos de medición⁷⁴. Esta es una de las normas más importantes para el tema que se está estudiando, puesto que proporciona una orientación sobre todos los aspectos a tener en cuenta respecto al proceso y los equipos de medición, con el fin de garantizar la el cumplimiento de los estándares de calidad en la industria colombiana y demás sectores donde el aseguramiento metrológico sea un requisito o necesidad.

Como se afirma en esta norma, esta puede ser empleada:

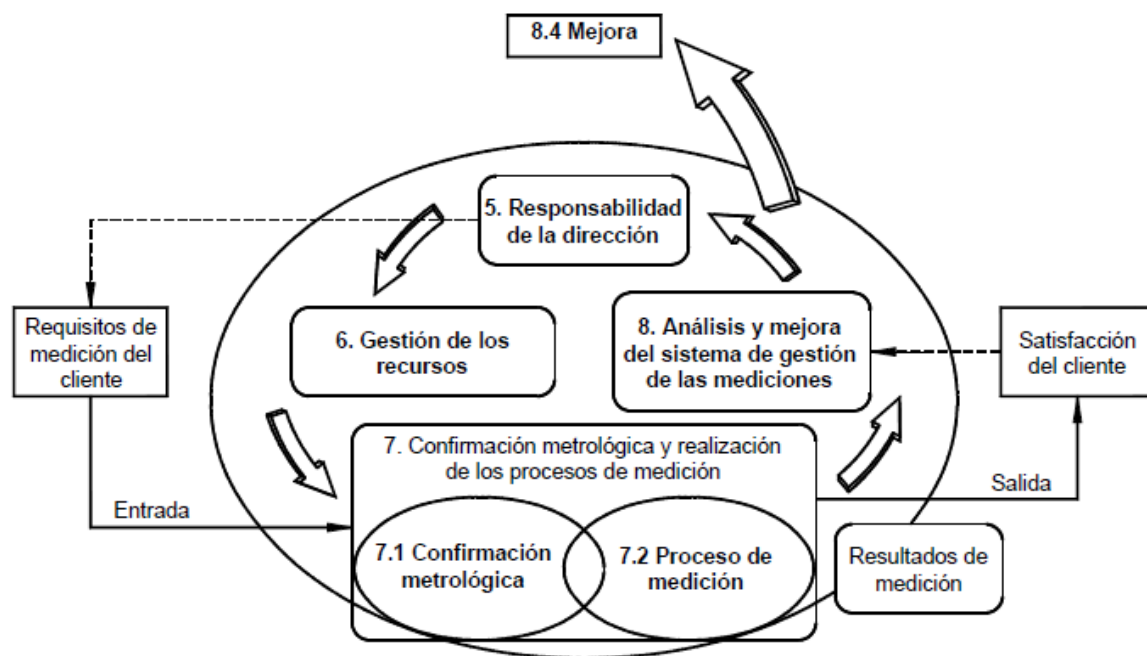
- Por un cliente, para especificar productos requeridos
- Por un proveedor, para especificar productos ofertados
- Por organismos legislativos o reglamentarios
- Al evaluar y auditar sistemas de gestión de las mediciones

En la figura 3, se puede observar un modelo de gestión de las mediciones, presentado en la norma NTC-ISO 10012, donde se pone de manifiesto su concepto de que un sistema de gestión de mediciones busca mejorar los procesos en las organizaciones, al gestionar el riesgo de producir resultados de medición incorrectos, que puedan interferir con la calidad de los productos; por lo que, un sistema de gestión de mediciones, lleva a una constante mejora en los resultados.

⁷³ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 9001 Sistema de gestión de la calidad. Bogotá, 2015.

⁷⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012: Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Bogotá, 2003.

Figura 3. Modelo de sistema de gestión de las mediciones



INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012.

A continuación, se describen cada una de las partes que componen el sistema de gestión de las mediciones presentado en la figura 3:

4.1.3.1 Responsabilidad de la dirección. La función metrológica es definida por la organización y puede concentrarse en un solo departamento o estar distribuida entre toda la organización; su propósito es establecer, documentar y mantener el sistema de gestión de mediciones y mejorar su eficacia continuamente.

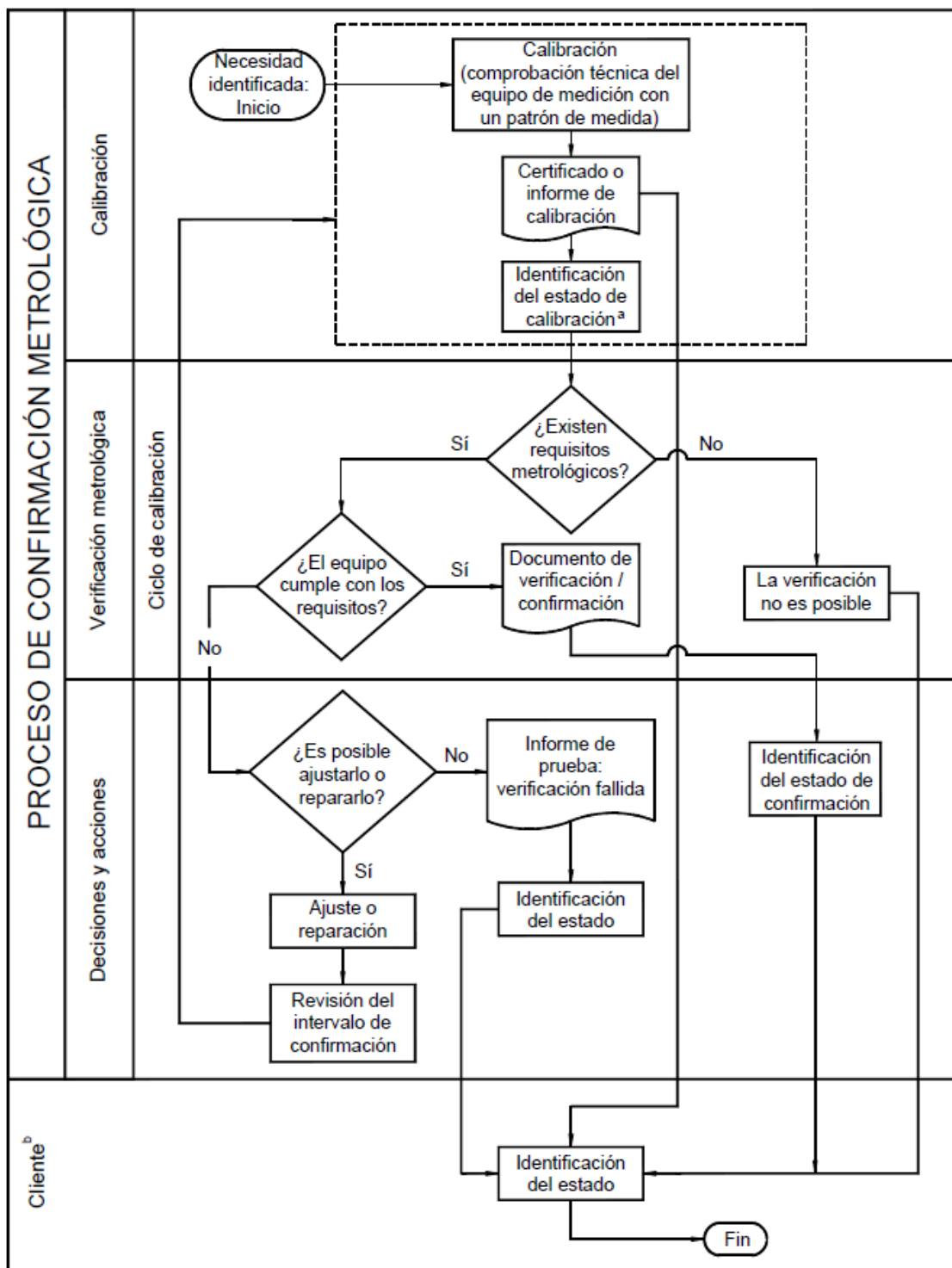
4.1.3.2 Gestión de los recursos. Abarca aspectos como gestión de recursos humanos, en los que se debe garantizar que la organización cuente con personal

apto para realizar sus funciones; gestión de recursos de información, que comprenden procedimientos, software, registros e identificación de todos los procesos; gestión de recursos materiales, que comprende tanto el equipo de medición, como las condiciones ambientales requeridas para los procesos de medición; y finalmente la gestión de proveedores externos, donde se busca garantizar que los mismos estén en la capacidad de cumplir con los requisitos pactados.

4.1.3.3 Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición. La confirmación metrológica busca garantizar que las características metrológicas de los equipos de medición, cumplan con los requisitos metrológicos para el proceso de medición. La confirmación metrológica se compone de la calibración y verificación del equipo. En la figura 4 se puede cómo se lleva a cabo un proceso de confirmación metrológica.

El proceso de medición consta de tres fases, en la primera, se debe diseñar el proceso de medición en base a los requisitos metrológicos; en la segunda, se deben realizar las mediciones bajo condiciones controladas diseñadas para el cumplimiento de los requisitos; y, por último, se debe realizar el registro de que demuestre el cumplimiento de los requisitos del proceso de medición.

Figura 4. Proceso de confirmación metrológica



INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012.

4.1.3.4 Análisis y mejora del sistema de gestión de las mediciones. Se debe planificar e implementar el seguimiento análisis y mejora de los procesos con el fin de garantizar la conformidad del sistema de gestión de mediciones con las normas, y de mejorar continuamente dicho sistema.

4.1.4 NTC-ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración⁷⁵. Es una norma internacional que busca facilitar la cooperación entre laboratorios y otros organismos y ayudar al intercambio de información y experiencia, mediante la estandarización de requisitos para los laboratorios de ensayo y calibración.

4.2 METROLOGÍA COLOMBIANA A TRAVÉS DEL TIEMPO

El inicio de la historia de la metrología en Colombia, en lo que concierne a estandarización e internacionalización, data de hace menos de un siglo, cuando, en 1965, como relata el Instituto Nacional de Metrología⁷⁶, se establece un convenio de cooperación técnica entre el gobierno Colombiano y el Instituto de Metrología Física de la República Federal Alemana (PTB); lo que impulsaría otros avances históricos para la metrología Colombiana (véase Anexo A), como la exigencia del Sistema Internacional de Unidades por norma obligatoria; sin embargo, no fue hasta el año 2011 que se creó la entidad encargada de la metrología en el país.

Antes de la creación del Instituto Nacional de Metrología (INM), en el año 2011, y el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia (ONAC), en el año 2008, era la SIC, quién cumplía las funciones relacionadas con metrología y acreditación en Colombia; aunque, antes de que le fueran asignadas estas responsabilidades, existió desde 1976, el Centro de Control de Calidad y Metrología (CCCM), quien,

⁷⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. Bogotá, 2017.

⁷⁶ INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. Estrategia Nacional de Metrología, una apuesta por el mejoramiento de la calidad. Bogotá, D.C., 2018. p 22.

como relata el INM⁷⁷, inició recopilando las necesidades metroológicas que habían en el país y capacitando a profesionales en metrología, y fue a partir del CCCM, que se establecieron las bases de la metrología científica, industrial y legal en Colombia.

En cuanto a la SIC, creada en el año 1968, el INM relata que se reestructura en 1992, creando la División de Metrología que se encargaría, entre otras cosas, de brindar servicios a la industria en metrología dimensional, pesas y medidas, hasta la creación del INM; y de igual forma, desde el año 1994 hasta el 2008, la SIC fue responsable de las actividades de acreditación que actualmente son llevadas a cabo por el ONAC; no obstante, el área de metrología legal en Colombia, sigue siendo competencia de la SIC, mientras que el INM se encarga de la metrología científica e industrial.

Estos hechos históricos, dejan ver que la metrología en Colombia se encuentra aún en etapas tempranas de desarrollo; tanto así, que, en el año 2015, mientras el gobierno colombiano se encontraba en pleno proceso de restitución de tierras, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi⁷⁸, se encontró con el inconveniente de que algunas escrituras de terrenos pertenecientes a la Costa Caribe, contienen medidas de la superficie, realizadas en unidades propias de la época colonial, como la caballería, la cual fue una unidad de medida traída por los conquistadores españoles; lo que representaba un impedimento para efectuar los procesos de restitución, pues no se tenía conocimiento de la medida de estos terrenos en unidades del SI.

Sin embargo, pese a la relativamente reciente creación de organismos encargados de temas de metrología en el país, como el INM y el ONAC, se han logrado avances

⁷⁷ Ibid.

⁷⁸ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Unidades de medida del siglo XII aún figuran en títulos de propiedad de Colombia. [sitio web] Bogotá, D.C. Disponible en: <https://igac.gov.co/es/noticias/unidades-de-medida-del-siglo-xii-aun-figuran-en-titulos-de-propiedad-de-colombia>

importantes desde entonces, puesto que, tal como se puede ver en el informe de gestión del año 2021, del ONAC⁷⁹, desde que la esta entidad empezó a prestar sus servicios de acreditación, en el año 2009, la cantidad de Organismos Evaluadores de la Conformidad (OEC), han ido aumentando cada año y este comportamiento se ha mantenido de forma lineal hasta el año 2021.

En la figura 5 se puede ver la evolución de la cantidad de OEC acreditados por el ONAC, clasificados según el esquema de acreditación. Entre estos datos resaltan dos aspectos contrastantes, de gran impacto para el aseguramiento metrológico en el país; por un lado, el notorio avance de los Laboratorios de Ensayos (LAB), cuya cantidad de OEC acreditados pasó de 6 en el año 2009, a 258 en el año 2021, y de igual forma, los Laboratorios de Calibración (LAC), cuya cantidad pasó de 5 en el año 2009, a 201 en el año 2021; mientras que, por otro lado, los Organismos Autorizados de Verificación Metrológica (OVM), son 2 desde el año 2018, y los Proveedores de Ensayos de Aptitud (PEA), que iniciaron con 1 en el año 2015, pasaron a 2, en el año 2021, disminuyendo con respecto al año anterior.

Este esfuerzo que se ha venido realizando por parte de las instituciones de metrología y acreditación en el Colombia, hace parte de la estrategia por lograr una mejor Infraestructura de Calidad (IC) en el país, pues, como lo explica el INM⁸⁰, una IC representa un conjunto de organizaciones que se encargan del diseño de normas, certificación, realización de ensayos, calibración, inspección, acreditación y metrología, y promueven la integración económica de los países, ya que garantizan que los requisitos de calidad exigidos en un país, son verificables en otro.

⁷⁹ ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN. Informe de gestión 2021. Bogotá. p 32.

⁸⁰ INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. Estrategia Nacional de Metrología, una apuesta por el mejoramiento de la calidad. Op. Cit. p 13.

Figura 5. Histórico de OEC acreditados por año.

DISTRIBUCIÓN DE OEC POR TIEMPO DE ANTIGÜEDAD DE ACREDITACIÓN (EN AÑOS)													
ESQUEMA	CRECIMIENTO HISTÓRICO POR ESQUEMA DE ACREDITACIÓN (2009 - 2021)												
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
CDA	95	198	243	265	271	294	310	336	363	409	493	563	631
CRC	27	95	121	150	186	313	351	341	276	273	275	276	297
OIN	4	11	24	30	43	49	78	81	85	102	115	121	128
OVM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2
ECD	0	0	0	0	0	0	0	5	6	8	8	9	11
LAB	6	30	71	100	135	170	202	224	230	220	236	246	258
LCL	0	0	2	3	4	5	6	5	4	4	5	7	7
PEA	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3	3	3	2
LAC	5	22	54	79	90	103	112	122	138	156	179	196	201
CPR	1	6	12	17	20	25	24	27	29	34	35	40	41
CSG	3	5	10	10	13	13	13	15	15	16	17	18	20
OCF	0	0	2	4	7	14	20	24	25	24	28	28	28
GEI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4
TOTAL	141	367	539	658	769	986	1117	1182	1174	1251	1397	1510	1630
	8,7%	13,9%	10,6%	7,3%	6,8%	13,3%	8,0%	4,0%	-0,5%	4,7%	9,0%	6,9%	7,4%

CDA: Centros de Diagnóstico Automotor

CRC: Centros de Reconocimiento de Conductores

OIN: Organismos de Inspección

OVM: Organismos Autorizados de Verificación Metrológica

ECD: Entidades de Certificación Digital

LAB: laboratorios de ensayo

LAC: Laboratorios de Calibración

LCL: Laboratorios Clínicos

PEA: Proveedores de Ensayos de Aptitud

CPR: Organismos de Certificación de Productos, Procesos o Servicios

CSG: Organismos de Certificación de Sistemas de Gestión

OCF: Organismos de Certificación de Personas

GEI: Organismos Validadores y Verificadores de Gases de Efecto Invernadero

ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN. Informe de gestión 2021. p 31.

4.3 METROLOGÍA EN LATINOAMÉRICA

La historia de la metrología en los países de América Latina, se ha desarrollado cada una a su propio ritmo; y, de igual forma, la estructuración de entidades competentes al área metrológica, se presenta de manera particular en cada país, ya que cada instituto de metrología se encarga de competencias específicas; mientras que en algunos países, el instituto de metrología se encarga de tanto de la metrología científica e industrial, como legal, en otros países, esta última se deja a

responsabilidad de otras entidades, como en el caso de Colombia, donde el INM abarca metrología científica e industrial, pero la metrología legal es competencia de la SIC, además, en algunos países existen instituciones dedicadas a la normalización, o a la acreditación, como el ONAC en Colombia, pero en otros, estas responsabilidades competen a la misma entidad encargada del área de metrología (véase Anexo B), y en el caso de Chile, no existe un instituto de metrología, sino que, existen diferentes entidades pertenecientes a la Red Nacional de Metrología, que es administrada por el Instituto Nacional de Normalización (INN), las cuales, según el INN⁸¹, se encargan cada una de desarrollar y mantener los patrones nacionales para las áreas que le han sido designadas.

Hasta el día de hoy, América Latina cuenta con ocho países miembros del BIPM, siendo Costa Rica el último en vincularse, el 5 de septiembre de 2022, aunque, según el BIPM⁸², participa en el Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM MRA), desde el año 2004; el cual cuenta en la actualidad con 12 países latinoamericanos, entre los que se encuentran Bolivia, Panamá, Paraguay y Perú, quienes no son miembros del BIPM.

4.3.1 Evolución de la metrología en Latinoamérica. Con el fin de tener una perspectiva general de la evolución de la metrología en Latinoamérica, se comparan tres momentos históricos en los diferentes países que participan en el CIPM MRA, el primero, la creación de su entidad encargada de metrología, el segundo, su vinculación al BIPM, y tercero, la fecha desde la que participa en el CIPM MRA, lo cuál representa un importante avance en el desarrollo del país, ya que como lo explica el BIPM, mediante este, “los Institutos Nacionales de Metrología, demuestran la equivalencia internacional de sus estándares de medida y los

⁸¹ INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Servicios que presta la Red Nacional de Metrología por laboratorio. [sitio web]. Santiago. Disponible en: <https://www.inn.cl/servicios-que-presta-la-red-nacional-de-metrologia-por-laboratorio>

⁸² BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. Member States. [sitio web] Paris. Disponible en: <https://www.bipm.org/en/member-states>

certificados de calibración y medición que emiten”⁸³. En la tabla 6, se muestra esta comparación ordenada cronológicamente por el año de vinculación al BIPM.

Tabla 6. Comparación de países asociados al CIPM-MRA

País	Instituto	Creación	Miembro del BIPM	Participa en el CIPM MRA
Argentina	Instituto Nacional de Tecnología Industrial	1957	1877	1999
México	Centro Nacional de Metrología de México	1992	1890	1999
Uruguay	Laboratorio Tecnológico del Uruguay	1965	1908	1999
Chile	Instituto Nacional de Normalización	1973	1908	2000
Brasil	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia	1973	1921	1999
Colombia	Instituto Nacional de Metrología	2011	2013	2013
Ecuador	Instituto Ecuatoriano de Normalización	1970	2019	2001
Costa Rica	Laboratorio Costarricense de Metrología	2002	2022	2004
Panamá	Centro Nacional de Metrología de Panamá AIP	2002		2003
Bolivia	Instituto Boliviano de Metrología	1997		2008

⁸³ BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. CIPM Mutual Recognition Arrangement (CIPM MRA). [sitio web] Paris. Disponible en: <https://www.bipm.org/en/cipm-mra>

Tabla 6. (Continuación)

País	Instituto	Creación	Miembro del BIPM	Participa en el CIPM MRA
Paraguay	Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología	1963		2009
Perú	Instituto Nacional de Calidad	2014		2009

Fuente: Elaboración propia con datos del BIPM y de los institutos de cada país.

4.3.2 Institutos Designados. Un aspecto que llama la atención al comparar la información de los países que participan en el CIPM MRA, es la ausencia de Institutos Designados en Colombia; no obstante, el INM⁸⁴ presenta la pertinencia de estos institutos para el desarrollo del país, como parte de su Estrategia Nacional de Metrología 2018-2022, donde explica también que los ID, cuando son entidades activas en organizaciones internacionales, facilitan el acceso del país a los avances en métodos de medición, y promueven la participación de intercambios científicos y oportunidades de capacitación, ya que estos tienen la oportunidad de participar en campos donde los Institutos Nacionales de Metrología, no cuentan con competencia propia. En la tabla 7, se muestra la comparación de países Latinoamericanos que participan en CIPM MRA, en cuanto a sus Institutos Designados.

⁸⁴ INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. Estrategia Nacional de Metrología, una apuesta por el mejoramiento de la calidad. Op. Cit. p 31.

Tabla 7. Comparación de Institutos Designados en el CIPM-MRA

País	Institutos Designados
Argentina	1. Comisión Nacional de Energía Atómica
Bolivia	No tiene Institutos Designados
Brasil	1. National Laboratory for Metrology of Ionising Radiation/Institute of Radiation Protection and Dosimetry CNEN 2. Observatório Nacional/Divisão Serviço da Hora
Chile	1. Comisión Chilena de Energía Nuclear 2. Centro de Estudios, Medición y Certificación de Calidad 3. Calibraciones Industriales S.A 4. Chemical Laboratory of Codelco Norte Division 5. Laboratorio Custodio de Patrones Nacionales de Longitud, Pontificia Universidad Católica de Chile 6. Empresa Nacional de Aeronáutica 7. Instituto de Investigaciones y Control 8. Instituto de Salud Pública de Chile 9. Universidad de Concepción
Colombia	No tiene Institutos Designados
Costa Rica	1. Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas 2. Laboratorio de Metrología, Instituto Costarricense de Electricidad 3. Laboratorio de Fuerza del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales 4. Laboratorio Nacional de Metrología, Grandes Masas y Volumen
Ecuador	1. Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano 2. Laboratorios de Calibraciones Dosimétricas de la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
México	1. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático 2. Instituto Nacional de Investigaciones Nuclear

Tabla 7. (Continuación)

País	Institutos Designados
Panamá	No tiene Institutos Designados
Paraguay	No tiene Institutos Designados
Perú	No tiene Institutos Designados
Uruguay	1. Laboratorios Tecnogestión - Ministerio de Industria, Energía y Minería 2. Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas

Fuente: Elaboración propia con datos del BIPM

4.3.3 Capacidad de Medición y Calibración (CMC). Mediante el CIPM MRA, el BIPM reconoce internacionalmente las Capacidades de Medición y Calibración de cada país, estos reconocimientos son de suma importancia, ya que, como lo expone el INM⁸⁵, generan confianza en las mediciones y son un indicador de la competencia metrológica de cada país, además de que permite validar ante otras economías, las capacidades de medición del país, lo que facilita el ingreso de bienes producidos en el país, a mercados externos. La tabla 8, muestra el estado actual de CMC de Latinoamérica en cada área.

⁸⁵ Ibid. p.32

Tabla 8. Capacidades de medición reconocidas por el BIPM para países Latinoamericanos

CAPACIDADES DE MEDICIÓN Y CALIBRACIÓN				
País	CMC en Química y biología	CMC en Física General	CMC en Radiación Ionizante	CMC totales
México	330	377	55	762
Brasil	133	361	141	635
Argentina	49	219	48	316
Uruguay	49	215	0	264
Colombia	9	104	0	113
Perú	29	79	0	108
Chile	1	75	0	76
Costa Rica	2	73	0	75
Panamá	0	37	0	37
Bolivia	4	17	0	21
Ecuador	0	20	0	20
Paraguay	0	8	0	8

Fuente: Elaboración propia con datos del BIPM

Dada su importancia, el INM incluyó dentro de su Estrategia Nacional de Metrología 2018-2022, el desarrollo de competencia técnica metrológica, cuyo objetivo a largo plazo era lograr y mantener CMC en todas las áreas relevantes para el país; y es de destacar, que, según los datos proporcionados en dicho documento, las CMC de Colombia en el 2018 eran de 57, correspondientes a 53 CMC en física y 4 CMC en química, es decir, que para la fecha de elaboración de este documento, Colombia casi ha duplicado sus CMC.

4.4 PAÍSES LÍDERES EN METROLOGÍA Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Como lo exponen Rab et al.⁸⁶, existen países con infraestructuras de calidad fuertes, que le permiten tener un crecimiento industrial y económico adecuado, puesto que, esta es esencial para asegurar las expectativas de calidad como seguridad, confiabilidad, compatibilidad de productos o servicios y cumplimiento de requisitos regulatorios. Cada país, tiene organizado su IC de forma diferente; en el Anexo C, se muestra una comparación de los organismos de conformidad de cada país, por áreas.

A continuación, en la tabla 9, se comparan también, las Capacidades de Medición y Calibración de los países líderes con el fin de tener una perspectiva general del avance de Colombia y demás países de Latinoamérica en temas de metrología, los cuales fueron comparados anteriormente en la tabla 8.

Tabla 9. Capacidades de Medición y Calibración de países líderes

CAPACIDADES DE MEDICIÓN Y CALIBRACIÓN				
País	CMC en	CMC en Física General	CMC en	CMC totales
	Química y biología		Radiación Ionizante	
China	1061	613	193	1876
Alemania	451	768	239	1458
Estados Unidos	213	716	494	1423
Corea del Sur	579	401	214	1194
Japón	557	347	259	1163
Francia	127	469	293	889

Fuente: Elaboración propia con datos del BIPM

⁸⁶ RAB, Shanay, YADAV Sanjay, JAISWAL, S., K., HALEEM, Abid, ASWAL, D., K. Quality Infrastructure of National Metrology Institutes: A Comparative Study. Indian Journal of Pure & Applied Physics, New Delhi, 2021. p. 285

4.5 ANÁLISIS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

Después de hacer una revisión sobre la evolución de la metrología en Colombia, se puede notar cómo en los últimos años, se le ha dedicado una mayor atención, y cómo, la Estrategia Nacional de Metrología diseñada por el INM para los años 2018-2022, ha dado resultados significativos, ya que uno de los puntos que se abarcaban consistía en mantener y ampliar las CMC de áreas relevantes para la metrología en Colombia, y finalizando el año 2022, las CMC en el área de biología y química, y en el área de física general, se han duplicado respecto al año 2018. No obstante, al comparar a Colombia con los países líderes en metrología e incluso, con otros países Latinoamericanos, su avance sigue siendo limitado.

Un aspecto a rescatar, de los países que se estudiaron, es que la mayoría cuentan con Institutos Designados ante el BIPM, lo que representa importantes ventajas en cuanto a internacionalización, de las que el INM es consciente, por lo que se tuvo en cuenta también en su Estrategia Nacional de Metrología, sin embargo, hasta la fecha, Colombia sigue sin tener un ID.

Uno de los impedimentos para el desarrollo de esta área en Colombia, es que como afirma el INM⁸⁷, las mejoras para la IC, se realizan con financiamiento público, que generalmente es muy bajo, lo que frena su avance; por otro lado, si se analizan, los países líderes en metrología e infraestructura de calidad, son países con estabilidad económica y con gran desarrollo industrial, por lo que el financiamiento de sus entidades no representa el mismo problema que para Colombia.

Como ya se ha analizado, el atraso de la IC de un país afecta negativamente, entre otros, al sector industrial, lo que perjudica la competitividad de sus empresas en el

⁸⁷ INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. Estrategia Nacional de Metrología, una apuesta por el mejoramiento de la calidad. Op. Cit. p 13.

mercado internacional, impidiendo el crecimiento económico del país, y, por ende, limitando los recursos de los que se disponen para invertir en la mejora de su IC; mientras que, en los países que cuentan con IC más desarrolladas, las empresas resultan favorecidas, lo que lleva impulsa una buena economía en el país, que se verá luego en mayor capital para invertir en su desarrollo; como consecuencia de este círculo de causa y efecto, los países menos desarrollados afrontan más impedimentos para avanzar.

Ahora bien, se pueden pensar en alternativas como priorizar la financiación de Estrategias como la propuesta por el INM, ya que el progreso de la metrología, lleva a mayor capacidad de competitividad de la industria colombiana, sin embargo, en un país en el que el avance se da de manera paulatina, recortar recursos de un sector para invertir en otro, tendría que hacerse también de manera gradual, sin mencionar que, primero se debería identificar el sector cuya reducción de recursos no genere consecuencias negativas para el país. Por otro lado, recordando la relación que Colombia ha tenido con el PTB de Alemania, recurrir al apoyo internacional tanto en los procesos como en financiamiento, podría ser de gran beneficio para el país.

Actualmente, instituciones colombianas se encuentran ejecutando un proyecto implementado por el PTB, con financiación de la Unión Europea, llamado

ColombiaMide, con el que se busca, como lo explica el INM⁸⁸, mejorar las capacidades metrológicas y de calidad en mipymes de cadenas productivas de cacao y aguacate hass en regiones priorizadas de Colombia. Proyectos de este tipo, podrían servir para impulsar, el desarrollo de la metrología y la Infraestructura de Calidad del país, aprovechando el acompañamiento de una institución con una amplia experiencia en el área, como lo es el PTB, y los recursos económicos que a Colombia le faltan.

⁸⁸ INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. [sitio web]. Bogotá. Disponible en: <https://inm.gov.co/web/proyecto-colombiamide-una-de-las-apuestas-de-la-union-europea-para-potenciar-procesos-productivos-regionales-en-el-pais/>

5. CONCLUSIONES

Al iniciar la realización de un estudio, se hace necesario recopilar toda la información pertinente al área que se quiere estudiar, y es esencial, que dicha información provenga de fuentes académicas o institucionales que garanticen la confiabilidad de la misma; en este caso, además de los libros usados para consultar la teoría de temas relacionados con metrología, fueron de gran utilidad las normas de ICONTEC que regulan el área de gestión y aseguramiento metrológico en el país, así como también los documentos elaborados por institutos competentes en el área, como el INM o el ONAC, y así mismo, estudios realizados tanto en Colombia como en otros países, los cuales fueron obtenidos de bases de datos académicas.

La fase de análisis se llevó a cabo mediante la comparación de la situación metrológica en Colombia a lo largo de la historia, donde se pudo evidenciar la evolución que esta ha tenido, y los logros que se han obtenido en los últimos años, desde la creación de organismos competentes al área de metrología industrial como el INM y el ONAC, tales como el incremento de Capacidades de Medición y Calibración y la acreditación de nuevos Organismos Evaluadores de Conformidad; y posteriormente, la comparación de la situación actual con otros países de Latinoamérica y el resto del mundo, donde se destacaron algunas diferencias entre Colombia y dichos países, como las competencias que abarcan sus institutos de metrología, y aspectos de los que Colombia carece como los Institutos Designados ante el BIPM.

Después de realizar un análisis sobre la situación de la metrología en Colombia y comparar con otros países, se concluyó que el apoyo de organismos extranjeros, tanto económica como técnicamente, para la realización de proyectos que fortalezcan el área de metrología en el país, es una opción altamente viable, que puede contribuir al avance de la Infraestructura de Calidad, a pesar de la brecha

económica que separa a Colombia de los países más avanzados; además de que la metrología Colombiana ya se ha visto beneficiada, desde sus inicios, del apoyo del PTB, gracias al convenio de cooperación técnica establecido en 1965.

6. RECOMENDACIONES

Para futuros proyectos, se recomienda incentivar al estudio de estos temas tan importantes como lo son la gestión y aseguramiento metrológico industrial en Colombia ya que las investigaciones, artículos y referencias de esta temática son bastantes escasos.

La metrología es un tema aun hoy en día, poco usual, por lo cual, sería de gran utilidad la generación de artículos desde diferentes puntos de vista y usos en las empresas o sectores de laborales. En el ámbito académico, a nivel general, es un tema al igual, poco mencionado, por lo cual sería interesante y valioso instruir y motivar a adentrarse en el mismo que es usado en la vida diaria.

Se recomienda, para posteriores estudios en el área, hacer seguimiento a proyectos que se están desarrollando actualmente en el país en pro del avance de la metrología como lo es ColombiaMide, y posteriores proyectos que se puedan haber realizado con apoyo de entidades extranjeras, con el fin de conocer y analizar el impacto que estos han tenido en el avance de la metrología y de la infraestructura de calidad en Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHOOMKAR, M. y CHIKSHE, S. Metrology and quality control. India: Nirali Prakashan, 2019.

BROWN, Richard. Measuring measurement- What is metrology and does it matter?. En: Measurement. Vol. 168 (4 sep 2020)

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES [sitio web]. Paris. Disponible en: <https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/metre-convention/>

-----Member States. [sitio web] Paris. Disponible en: <https://www.bipm.org/en/member-states>

----- Le Système international d'unités (SI). Novena edición. Paris, 2019. 216 p.

CAMPOS HERNÁNDEZ, Gerardo. Antología de la asignatura instrumentos de medición. Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos, 2020. p. 3

CARDONA OSPINA, John Fredy. Aseguramiento metrológico. Antioquia: Universidad de Antioquia. 2017.

Centro Español de Metrología. Procedimiento di-022 calibración de micrómetros de interiores de tres contactos. España: Procedimiento DI-022. Edición DIGITAL 1, 2019.

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA E INSTITUTO DE LA INGENIERÍA DE ESPAÑA. *La metrología también existe*. Madrid: Centro Español de Metrología. Primera edición, 2019.

COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA [sitio web] Bogotá, D.C. Disponible en: <https://www.inm.gov.co/servicios/cursos-de-capacitacion-metrologica/>

COLOMBIA. SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO: Reglamentos técnicos y metrología legal [sitio web] Bogotá, D.C. Disponible en: <https://www.sic.gov.co/metrologia-legal>

DECRETO N° 29 659-MEIC. El presidente de la república y el ministro de economía industria y comercio La Gaceta N° 150 de 7 de agosto del 2001

ESCAMILLA ESQUIVEL, Adolfo. Metrología y sus aplicaciones. México: Grupo editorial patria, 2014. 138 p.

FEDERACIÓN DE ENSEÑANZA DE CC.OO. Temas para la educación. Andalucía: Revista digital para profesionales de la enseñanza, 2011.

GOMEZ G., Jorge I. y ROMERO, Javier. Una mirada a las normas sobre dimensionado y tolerado geométrico en Hispanoamérica. Medellín, 2007. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/935/11627>

GONZÁLEZ SÁNCHEZ, Oswaldo. La plomada: una herramienta de albañil aplicada a la astronomía. San Cristóbal de La Laguna: cosmos Crónicas, 2020.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC-ISO 10012: Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Bogotá, 2003. 22 p.

----- NTC-ISO/IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. Bogotá, 2017. 34 p.

----- NTC 2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología. Bogotá, 1997. 33 p.

----- NTC-ISO 9001 Sistema de gestión de la calidad. Bogotá, 2015. 33 p.

INSTITUTO DOMINICANO PARA LA CALIDAD, república dominicana, 2022.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN. Vocabulario Internacional de Términos y conceptos fundamentales en Metrología. Quito: ISO, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA, estrategia nacional de metrología 2018-2022, ministerio de comercio, industria y turismo. [sitio web] Bogotá, D.C. Disponible en: <https://inm.gov.co/web/instituto-nacional-de-metrologia-de-colombia/estrategia-nacional-de-metrologia/>

----- Estrategia Nacional de Metrología, una apuesta por el mejoramiento de la calidad. Bogotá, D.C., 2018. 59 p.

----- Mediciones, calidad y bienestar digital, Bogotá, D.C. Disponible en: <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/02/MEDICIONES-CALIDAD-Y-BIENESTAR-DIGITAL-1.pdf>, 2021.

----- Subdirección de metrología física, 2022.

-----[sitio web]. Bogotá. Disponible en: <https://inm.gov.co/web/proyecto-colombiamide-una-de-las-apuestas-de-la-union-europea-para-potenciar-procesos-productivos-regionales-en-el-pais/>

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Servicios que presta la Red Nacional de Metrología por laboratorio. [sitio web]. Santiago. Disponible en: <https://www.inn.cl/servicios-que-presta-la-red-nacional-de-metrologia-por-laboratorio>

JCGM. International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). Tercera edición. 2012. 91 p.

JIMENEZ RODRIGUEZ, Luis Alfonso. Metrología industrial, sistemas de medición y aseguramiento metrológico. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2007. 80 p.

LAZOS MARTÍNEZ, Rubén J. y LÓPEZ ROMERO, José M. Las definiciones de las unidades de medida en su nueva etapa. México: Centro Nacional de Metrología, 2010. 6 p.

MARBÁN, Rocío M. y Pellecer C. Julio A. Metrología para no metrólogos. Segunda edición. Guatemala: Sistema Interamericano de Metrología, 2015. 129 p.

MELILLO, Gabriel. Instrumento de medición, CALIBRE PIE DE REY. Metrología dimensional, 2018. Disponible en: <https://metrologiadimensionalcom.wordpress.com/2018/02/07/calibre-pie-de-rey/>

MINCIENCIAS. Colombia es ciencia, un día en el instituto nacional de metrología. 2019. Disponible en: <https://colombiaesciencia.minciencias.gov.co/content/un-da-en-el-instituto-nacional-de-metrologia>

MORA CAMPO, Leonardo. Análisis de la metrología en Colombia. Vuelva: Universidad Internacional de Andalucía, 2013. p. 5.

MORO PIÑEIRO, María. METROLOGÍA: Introducción, Conceptos e Instrumentos. España: Universidad de Oviedo, 2000. 188p.

OFICINA INTERNACIONAL DE PESAS Y MEDIDAS. El sistema internacional de unidades SI. Madrid, Centro Español de Metrología, 2006.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE. [sitio web] Paris. Disponible en: <https://www.oiml.org/en/about/legal-metrology>

ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN. Informe de gestión 2021. Bogotá. 128 p.

ORTIZ YARA, Noffal. Teoría de errores en la medición. Bogotá: Escuela de ingenieros militares, 2015.

PALACIO MORALES, J. A. (2016). Diagnóstico del aseguramiento metrológico en el sector plástico, alimentos, construcción y metalmecánico. EN R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 15(42), 17-30. ISSN 1657-8236.

PÉREZ D'GREGORIO, Rogelio. Sistema Internacional de Unidades (SI). Madison: Editorial Ateproca 2015. p. 50.

PINTO Gabriel; MARTÍN-SÁNCHEZ, Manuela; MARTÍN-SÁNCHEZ María Teresa. Sistema Internacional de Unidades: resumen histórico y últimas propuestas. Madrid: Real Sociedad Española de Química, 2012. p. 238.

RAB, Shanay, YADAV Sanjay, JAISWAL, S., K., HALEEM, Abid, ASWAL, D., K. Quality Infrastructure of National Metrology Institutes: A Comparative Study. Indian Journal of Pure & Applied Physics, New Delhi, 2021. p. 285 - 303

RAMIREZ BARRERA, MARTINEZ G. e HIDALGO VÁZQUEZ. Modelo de gestión para la aplicación del control metrológico legal y la evaluación de conformidad en equipos biomédicos. En: Revista Ingeniería Biomédica, Vol. 11, No. 21 (Ene 2017)

RED COLOMBIANA DE METROLOGÍA. Guía para la calibración de micrómetro para exteriores INM/GTX-X/XX. Bogotá: Instituto Nacional de Metrología de Colombia – INM. Recuperado de: https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/02/Guia-Micro%CC%81metro-2020-2021_06_10.pdf

RESTREPO DÍAZ, Jaime. METROLOGÍA: aseguramiento metrológico industrial. Medellín: Fondo editorial ITM, 2007. Tomo I. 135 p.

----- Metrología, aseguramiento metrológico industrial. Medellín: Fondo editorial ITM, 2007. Tomo II. 169 p.

RIOS OROZCO, Angelica Maria y SANDOVAL RIASCOS, Madeleyne. Programa de aseguramiento metrológico para equipos biomédicos del hospital universitario del Valle Evaristo García. Pasantía institucional para optar por el título de ingeniero biomédico. Santiago de Cali. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ingeniería. Departamento de automática y electrónica. 2019. 82 p.

RODRIGUEZ, Denis E.B. (2013) Aseguramiento Metrológico para Equipos Médicos. En: Folgueras Méndez J. et al. (eds) V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba. IFMBE Proceedings, vol 33.

ROJAS MORALES, J. M., RODRIGUEZ G., A. P., & PRIETO N., L. P. Gestión metrológica en laboratorios de diagnóstico. 2014. 11 p.

SÁNCHEZ I., MEIZOSO M.C., Guerra R.M. (2013) Impacto de la Cátedra de Calidad, Metrología y Normalización en el Sector de los Equipos Médicos, la Biotecnología y la Industria Farmacéutica. In: Folgueras Méndez J. et al. (eds) V Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2011 May 16-21, 2011, Habana, Cuba.

SQUARA, P., SCHEEREN, T.W.L., AYA, H.D. et al. Metrology part 1: definition of quality criteria. En: Journal of Clinical Monitoring and Computing (4 Mar 2020).

-----Metrology part 2: Metrology part 2: Procedures for the validation of major measurement quality criteria and measuring instrument properties.. En: Journal of Clinical Monitoring and Computing (4 Mar 2020).

TABOADELA, Claudio H. Goniometría, una herramienta para la evaluación de las incapacidades laborales. Buenos aires: ASOCIART SA ART, 2007. p. 29.

VITKOVSKII, O. S. y MARUSINA, M. Ya. Development of a standard system for metrological assurance of measurements of the pressure of saturated vapors of petroleum and petroleum products. En: Measurement Techniques, Vol. 59, No. 3 (Jun 2016)

VORA, H.D., SANYAL, S. A Comprehensive review: metrology in additive manufacturing and 3D printing technology. En: Progress in Additive Manufacturing (13 Jun 2020).

GLOSARIO

AUDITAR: Examinar la gestión de una entidad con el fin de comprobar si se ajusta a lo establecido por ley.

CALIBRACIÓN: Proceso mediante el cual se establece una relación entre los valores de un instrumento de medida y los de un patrón.

CARACTERÍSTICA METROLÓGICA: Característica identificable que puede influir en los resultados de la medición.

COMPETENCIA: Capacidad del operario.

CONCENTRICIDAD: Posición del centro de una circunferencia con respecto a otra.

CONSTANTE: Cantidad que tiene un valor fijo.

CRITICIDAD: Nivel de incidencia que tiene una variable en un sistema.

DISPERSIÓN: Separación de un conjunto de datos con respecto a sus valores centrales, como la media o la mediana.

EFICAZ: Que logra los resultados esperados.

EFICIENTE: Que obtiene los resultados deseados empleando el mínimo posible de recursos.

EQUILIBRADO: Cuando al comparar dos magnitudes, una no supera a la otra, es decir, que se mantienen proporcionalmente iguales.

EQUIPO DE MEDICIÓN: Instrumento de medición, software, patrón de medida, material de referencia o aparato auxiliar, o una combinación de estos, necesario para llevar a cabo un proceso de medición.

ESTÁNDAR: Que se toma como referencia.

FUNCIÓN METROLÓGICA: Función con responsabilidades administrativas y técnicas para definir e implementar el sistema de gestión de mediciones.

INSTITUTO DESIGNADO: Organización diferente a un instituto nacional de metrología que ha sido establecida para ser el garante de un patrón nacional de Medición, y, por ende, debe asegurar la trazabilidad de sus mediciones.

MAGNITUD: Propiedad física que puede ser medida.

MAGNITUD DE INFLUENCIA: Magnitud que, en una medición directa, no afecta a la magnitud que realmente se está midiendo, pero sí afecta a la relación entre la indicación y el resultado de medida.

MEDICIÓN: Proceso mediante el cual se compara una cantidad física con su respectiva unidad, para conocer cuántas veces está contenida la unidad en esa cantidad.

MENSURANDO: Magnitud que se desea medir.

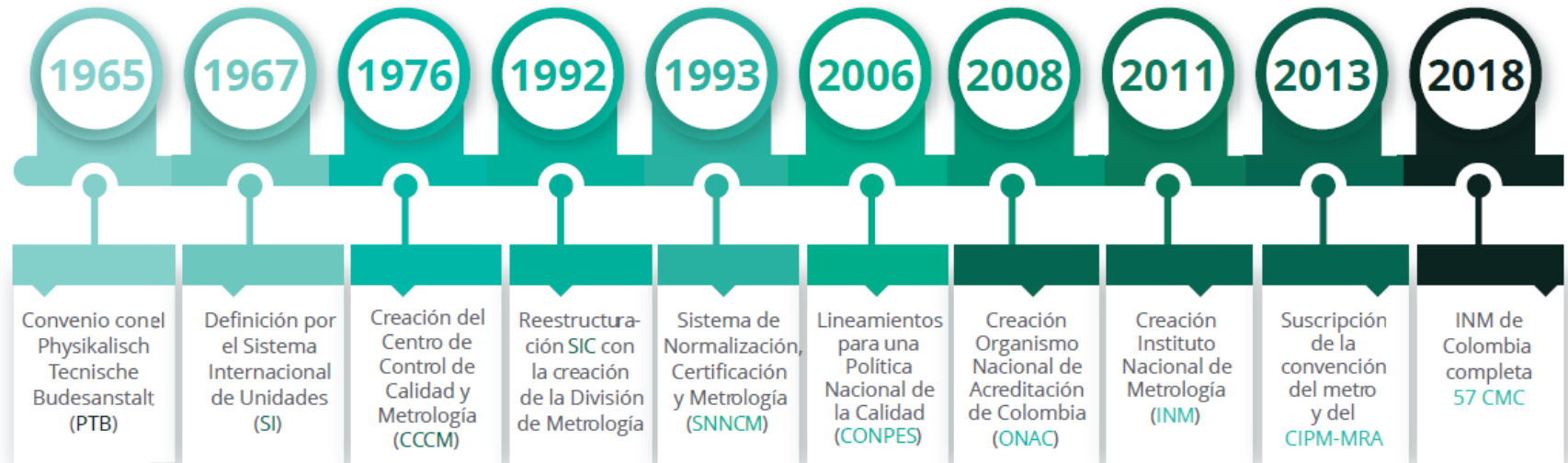
PALPADOR: Sensor de gran resolución usado para medir distancia, posición lineal o desplazamiento lineal.

REQUISITOS METROLÓGICOS: Son los requisitos de medición especificados como pertinentes para el proceso de producción.

RESTITUCIÓN DE TIERRAS: Es el derecho que tienen las víctimas del conflicto armado en Colombia, a que se les devuelva su predio cuando éste fue despojado o abandonado a causa de dicho conflicto.

UNIDAD DE MEDIDA: Magnitud adoptada por convenio, con la que se puede comparar cualquier otra magnitud de la misma naturaleza para expresar su relación mediante un número.

Anexo A. Hitos destacados de la metrología en Colombia



INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGÍA DE COLOMBIA. Estrategia Nacional de Metrología, una apuesta por el mejoramiento de la calidad. p. 22.

ANEXO B. Competencias de Institutos Nacionales de Metrología en Latinoamérica (Países miembros del BIPM)

País	Instituto	Metrología científica	Metrología industrial	Metrología legal	Acreditación	Normalización
Colombia	Instituto Nacional de Metrología	Sí	Sí	No	No	No
Argentina	Instituto Nacional de Tecnología Industrial	Sí	Sí	Sí	No	No
Brasil	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Chile	Instituto Nacional de Normalización	Sí	Sí	No	Sí	Sí
Costa Rica	Laboratorio Costarricense de Metrología	Sí	Sí	Sí	No	No
Ecuador	Instituto Ecuatoriano de Normalización	Sí	Sí	Sí	No	Sí
México	Centro Nacional de Metrología de México	Sí	Sí	No	No	No
Uruguay	Laboratorio Tecnológico del Uruguay	Sí	Sí	Sí	No	No

Fuente: Elaboración propia con datos del BIPM y de los institutos de cada país.

ANEXO C. Comparación de organismos en la Infraestructura de Calidad por áreas

País	Estándares de medición	Metrología legal	Acreditación	Documentos de estándares	Sistema de calidad y certificación
China	Instituto de Metrología de China	Administración Estatal de Supervisión de Calidad, Inspección y Cuarentena (AQSIQ)	Administración de Normalización de China (SAC), bajo AQSIQ	Administración de Certificación y Acreditación de China (CNCA), bajo AQSIQ	Administración de Certificación y Acreditación de China (CNCA), bajo AQSIQ
Alemania	Instituto Técnico Físico Federal (PTB)	Instituto Técnico Físico Federal (PTB)	Organismo de Acreditación Alemán GmbH (DAkks)	Instituto Alemán de Normalización (DIN)	Instituto Alemán de Normalización (DIN)
Estados Unidos	Instituto nacional de normas y tecnología (NIST)	Instituto nacional de normas y tecnología (NIST)	Instituto americano de estándares nacionales (ANSI)	Asociación Estadounidense para la Acreditación de Laboratorios (A2LA)	Sociedad Estadounidense para la Calidad (ASQ)

ANEXO C. (Continuación)

Corea del Sur	Instituto de Investigación de Estándares y Ciencias de Corea (KRISS)	Agencia Coreana de Tecnología y Normas (KATS)	Agencia Coreana de Tecnología y Normas (KATS)	Esquema de Acreditación de Laboratorios de Corea (KOLAS) BAJO (KATS)	El Sistema de Acreditación de Corea (KAS) BAJO (KATS)
Japón	Instituto Nacional de Metrología de Japón (NMIJ)	Instituto Nacional de Metrología de Japón (NMIJ)	El Comité Japonés de Normas Industriales (JISC)	Instituto Nacional de Tecnología y Evaluación (NITE)	Instituto Nacional de Tecnología y Evaluación (NITE)
Francia	Laboratorio Nacional de Metrología y Ensayos (LNE)	Laboratorio Nacional de Metrología y Ensayos (LNE)	Asociación Francesa de Normalización (AFNOR)	Comité francés de acreditación (COFRAC)	Comité francés de acreditación (COFRAC)

Fuente: Elaboración propia con datos de Rab et al.