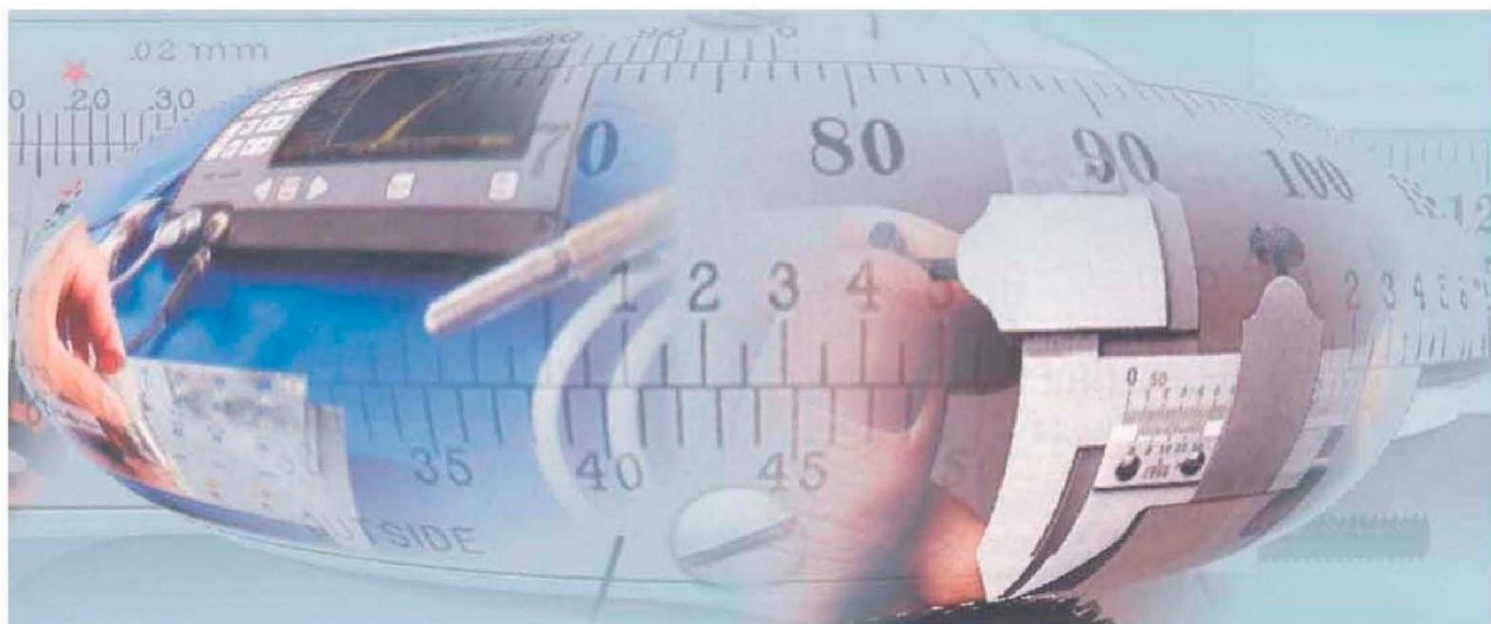




BOLETÍN CIENTÍFICO TÉCNICO INIMET



REVISTA CIENTÍFICA DE LA METROLOGÍA CUBANA

<http://boletin.inimet.cu>

ISSN versión impresa: 0138-8576

ISSN versión electrónica: 2070-8505

Boletín Científico Técnico INIMET

Título abreviado: BCT INIMET

Volumen 40 Número 2 2025

Cubre: Julio 2025-Diciembre 2025

ISSN versión impresa: 0138-8576

ISSN versión electrónica: 2070-8505

EQUIPO EDITORIAL

Directora editorial

M. Sc. Alejandra Regla Hernández Leonard

Diseño y producción

M. Sc. Alejandra Regla Hernández Leonard

Coordinación, y distribución

Lic. Herminia Eutropia Díaz Terry

Redacción, administración e impresión

INIMET. Consulado 206 e/ Animas y Trocadero. Centro Habana, La Habana. Cuba

Teléfonos

(53) 78627655

(53) 78623041-44 ext. 119

Correo-e: normateca@inimet.cu

Sitio Web

<https://www.inimet.cu>

Acabado del Boletín

INIMET. Consulado 206 e/ Animas y Trocadero. Centro Habana, La Habana Cuba.

CONSEJO EDITORIAL

Lic. José Andrés Zaldívar Chacón¹

Dr. C. Félix María Agüero Díaz¹

Dr. C. José Ignacio Franco Fernández²

Ing. Fernando Antonio Arruza Rodríguez³

Dr. C. Ysabel Reyes Ponce⁴

Dr. C. Anays Acevedo Barrera⁵

¹ Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), Cuba.

² Empresa Tecnomática, Cuba.

³ Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba.

⁴ Academia de Ciencias de Cuba

⁵ Universidad Nacional Autónoma de México, México

Los autores son los únicos responsables del contenido de los artículos y de los criterios por ellos emitidos.

Los artículos están protegidos mediante una licencia Creative Commons que funciona bajo las siguientes condiciones:



Nuestra publicación está:

- Certificada por el Sistema de Certificación de Publicaciones Seriadadas Científico-Tecnológicas del CITMA.
- Indizada en el Sistema de información Científica Redalyc.



Pueden enviarnos sus opiniones y sugerencias sobre nuestro Boletín o solicitar información por la dirección de correo:

normateca@inimet.cu

Si usted desea suscribirse al BCT INIMET (impreso y/o electrónico) envíe los siguientes datos a nuestra dirección:

Nombre y apellidos, Organismo, Dirección, Teléfono, e-mail.

EDITORIAL

Estimado lector:

Es un placer presentar este nuevo número del Boletín Científico Técnico del INIMET, compuesto por artículos de revisión que sintetizan el conocimiento generado por proyectos estratégicos de I+D+i del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, de conjunto con otros centros de investigación, empresas y laboratorios provinciales del Servicio Nacional de Metrología. Estos trabajos no sólo reflejan el rigor científico de estas instituciones, sino que trazan la hoja de ruta para modernizar y fortalecer la infraestructura metrológica de Cuba, atendiendo demandas tecnológicas actuales y futuras con soluciones de vanguardia.

Los contenidos de esta edición abarcan un espectro amplio y crucial: desde los fundamentos de la nanometrología aplicada a compuestos nanoestructurados, esencial para la caracterización de nuevos materiales, hasta la creación de una instalación patrón para calibrar medidores de líquidos no combustibles, que impactará sectores como el hidráulico y el alimentario. Asimismo se profundiza en el aseguramiento metrológico de los termómetros infrarrojos de uso médico, instrumento clave en el control del estado de salud de los pacientes en ambientes hospitalarios, y se expone la visión integral para la transformación digital del INIMET, un paso fundamental hacia la Metrología 4.0 y la transformación institucional.

Más allá de los desarrollos técnicos, este número invita a una reflexión estratégica sobre el papel central de la metrología en la sociedad. Por ello, se incluye un artículo sobre la relación entre la metrología y la gestión organizacional, un vínculo esencial para la formulación de políticas públicas basadas en evidencia, la regulación efectiva y la confianza en los datos que sustentan nuestro desarrollo económico y bienestar social.

Complementan esta visión dos testimonios institucionales de gran valor: una reseña de la fructífera participación de los especialistas en el INIMET en el Congreso Iberoamericano IBERGECYT 2025, que refuerza la relación virtuosa entre la metrología y la innovación, y un resumen de la auditoría de mantenimiento de la certificación ISO 9001:2015 por la ICDQ, con resultados satisfactorios. Ambos hechos evidencian el compromiso del colectivo con la excelencia, la mejora continua y la proyección internacional.

Le invitamos a leer estos artículos, que no sólo representan el estado del arte en sus respectivas áreas, sino que también trazan una hoja de ruta para la innovación y la cooperación metrológica. Que este compendio sirva como fuente de conocimiento, inspiración y punto de encuentro para lograr una infraestructura metrológica robusta y al servicio del desarrollo de nuestro país.

M.Sc. Alejandra Regla Hernández Leonard
Directora Editorial

TABLA DE CONTENIDO / Table of contents

CIENCIA Y TÉCNICA / Science and technique

<p>Nanometrología aplicada a la producción de compuestos nanoestructurados: garantía de calidad y trazabilidad en la escala nanométrica <i>Nanometrology applied to the production of nanostructured compounds: guarantee of quality and traceability on the nano scale.</i> Lic. José Andrés Zaldívar Chacón</p>	4
<p>Instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferente de combustible. M. Sc. Regla Caridad Inchaustieta Ramos, Lic. José Zaldívar Chacón, M. Sc. Rodes Yanet Valdivia Medina, Téc. Karel Ramos Batista, Téc. Niurka Alonso Benítez, Téc. Miriam Alfonso Caamaño, Téc. Sergio Sánchez Gutiérrez, Téc. Pedro Manuel Díaz Rivero</p>	9
<p>Trazabilidad metrológica de las mediciones de los termómetros infrarrojos y las cámaras infrarrojas de uso médico <i>Metrological traceability of measurements of infrared thermometers and infrared cameras of medical use.</i> M. Sc. Fran Javier Buzón González; M. Sc. Alejandra R. Hernández Leonard; Dr. C. Félix María Agüero Díaz</p>	16
<p>Transformación digital en el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología: resultado, diagnóstico y futuro. <i>Digital transformation at the National Research Institute on Metrology: results, diagnosis and future.</i> M. Sc. Maydelin Limonta-Cairo; Téc. Sup. Anthony Herrera Guerra.</p>	22
<p>Metrología, innovación y Gestión Organizacional <i>Metrology, Innovation, and Organizational Management</i> Lic. José Andrés Zaldívar Chacón; M.Sc. Regla Inchaustieta Ramos</p>	34
<p>NOTICIAS/ <i>News</i></p>	46
<p>SERVICIOS QUE PRESTA EL INIMET / <i>Services availables at INIMET /</i></p>	48
<p>INSTRUCCIONES A LOS AUTORES / <i>Instructions to authors /</i></p>	49

Nanometrología aplicada a la producción de compuestos nanoestructurados: garantía de calidad y trazabilidad en la escala nanométrica.

Nanometrology applied to the production of nanostructured compounds: guarantee of quality and traceability on the nano scale.

Lic. José Andrés Zaldívar Chacón

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET)

Correo electrónico: director@inimet.cu

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7541-7754>

Resumen

La nanometrología, definida como la ciencia de la medición en la escala nanométrica (de 1 a 100) nm, se erige como un pilar fundamental para el desarrollo confiable de la nanotecnología, especialmente en la producción de compuestos nanoestructurados. Este artículo aborda la importancia de la nanometrología en el control de parámetros críticos como el tamaño, la morfología, la composición química y la estructura cristalina de los nanomateriales. Se revisan técnicas de caracterización avanzadas, como la microscopía electrónica (TEM, SEM), la microscopía de fuerza atómica (AFM), y técnicas espectroscópicas (XPS, XRD, Raman), destacando su papel en la obtención de mediciones exactas y trazables. Asimismo, se discuten los principales retos en el campo, como la falta de estándares certificados y la complejidad en la cuantificación de incertidumbres. Finalmente, se presenta el marco del Programa Nacional de Nanociencias y Nanotecnologías de Cuba (PN211LH008-077), cuyo objetivo es fortalecer el aseguramiento metrológico en la producción de materiales nanoestructurados.

Palabras clave: nanometrología, compuestos nanoestructurados, trazabilidad, técnicas de caracterización, estándares, incertidumbre.

Abstract

Nanometrology, defined as the science of measurement at the nanometric scale (from 1 to 100) nm, stands as a fundamental pillar for the reliable development of nanotechnology, especially in the production of nanostructured compounds. This article addresses the importance of nanometrology in controlling critical parameters such as size, morphology, chemical composition, and crystalline structure of nanomaterials. Advanced characterization techniques such as electron microscopy (TEM, SEM), atomic force microscopy (AFM), and spectroscopic techniques (XPS, XRD, Raman) are reviewed, highlighting their role in obtaining accurate and traceable measurements. The main challenges in the field, such as the lack of certified standards and the complexity in quantifying uncertainties, are also discussed. Finally, the framework of the Cuban National Program of Nanosciences and Nanotechnologies (PN211LH008-077) is presented, which aims to strengthen metrological assurance in the production of nanostructured materials.

Keywords: nanometrology, nanostructured compounds, traceability, characterization techniques, standards, uncertainty.

1. Introducción

La nanotecnología ha revolucionado múltiples sectores industriales y científicos, gracias a las propiedades únicas de los materiales en la escala nanométrica. Sin embargo, la reproducibilidad y confiabilidad de estos materiales dependen críticamente de la capacidad de medir y caracterizar sus propiedades con exactitud y precisión (BIPM, 2019). La nanometrología surge como la disciplina encargada de garantizar la calidad de las mediciones en este ámbito, asegurando que los resultados sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). Sin ella, el desarrollo de aplicaciones nanotecnológicas seguras y eficaces sería inviable (Leach et al., 2020).

Este artículo tiene como objetivo analizar el papel de la nanometrología en la producción de compuestos nanoestructurados, revisando las técnicas de caracterización más relevantes, los retos actuales y las estrategias para superarlos, con especial énfasis en el contexto del proyecto nacional cubano PN211LH008-077.

2. Materiales y Métodos

Este trabajo se basa en una revisión sistemática de la literatura científica y en la experiencia del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) en el proyecto PN211LH008-077. La metodología consistió en:

1. **Identificación de parámetros críticos:** Se determinaron los indicadores esenciales a controlar en compuestos nanoestructurados a partir de la literatura especializada y normas técnicas internacionales (ISO/TS 18196, 2016).
2. **Evaluación de técnicas de caracterización:** Se analizaron las capacidades, limitaciones y fuentes de incertidumbre de técnicas microscópicas y espectroscópicas comúnmente empleadas, como SEM, TEM, AFM, XPS, XRD y Espectroscopía Raman.
3. **Análisis de trazabilidad e incertidumbre:** Se evaluaron los procedimientos para establecer la trazabilidad de las mediciones al SI y para cuantificar la incertidumbre de medida en cada técnica, siguiendo las guías del Buró Internacional de Pesos y Medidas (BIPM).
4. **Caso de estudio:** Se tomó como referencia el marco metodológico y los objetivos del proyecto nacional PN211LH008-077 para ilustrar la aplicación práctica de los principios de la nanometrología.

3. Resultados y Discusión

3.1. Parámetros Críticos y su Relevancia

El control de los compuestos nanoestructurados exige la medición precisa de parámetros específicos. Los resultados del análisis bibliográfico confirman que los indicadores más críticos son:

- **Tamaño y distribución de tamaño:** Diferencias de pocos nanómetros pueden alterar significativamente las propiedades del material (Hochella et al., 2019) y una distribución inhomogénea de tamaño puede conducir a un desempeño inconsistente del producto final.
- **Morfología:** La forma (esférica, tubular, laminar) influye directamente en propiedades como el área superficial específica, la reactividad y las interacciones mecánicas en composites, materiales compuestos por al menos dos materiales diferentes que se combinan para proporcionar propiedades superiores a las de los componentes individuales.

- **Composición química y pureza:** La presencia de impurezas, incluso en trazas, puede catalizar reacciones no deseadas o modificar las propiedades electrónicas y ópticas del material.
- **Estructura cristalina:** La fase (amorfa o cristalina) y la orientación cristalográfica determinan la estabilidad térmica, la dureza y la conductividad eléctrica (Cullity & Stock, 2014).

3.2. Efectividad de las Técnicas de Caracterización

El análisis de las técnicas revela que no existe un método único y universal. Una caracterización robusta de los compuestos nanoestructurados requiere una combinación de técnicas, entre las que se encuentran las que se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Técnicas de caracterización de compuestos nanoestructurados.

Técnicas de caracterización	Utilización prevista
Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)	Proporcionan imágenes directas con alta resolución. Sin embargo, la preparación de la muestra puede introducir artefactos, y el análisis es típicamente destructivo y limitado a un área pequeña.
Microscopía electrónica de Fuerza Atómica (AFM)	Ofrece ventajas al operar en condiciones ambientales y proporcionar información topográfica 3D. No obstante, la punta puede interactuar con la muestra y deformarla, y la cuantificación precisa de la fuerza sigue siendo un desafío (Garnæs et al., 2019).
Espectroscopía de fotoelectrones de Rayos X (XPS)	Es la técnica de referencia para el análisis elemental y de estados químicos superficiales. Su limitación principal es el requerimiento de ultra alto vacío y la escasa profundidad de análisis (Watts & Wolstenholme, 2019).
Difracción de Rayos X (XRD)	Es indispensable para identificar fases cristalinas y calcular el tamaño de cristalita mediante el análisis del ensanchamiento de los picos de difracción (Scherrer equation).
Espectroscopía Raman	Es extremadamente sensible a la estructura molecular y enlaces químicos, siendo ideal para caracterizar defectos en materiales como el grafeno (Ferrari & Basko, 2013).

3.3. Retos en Trazabilidad y Control de Calidad

En el análisis bibliográfico también se identifican varios desafíos persistentes. Entre los más notorios se encuentran la escasez de patrones de medición, la complejidad para cuantificar las incertidumbres de medición y el costo de las inversiones en este tipo de desarrollos.

Y es que la escasez de Materiales de Referencia Certificados (MRC) a nanoescala dificulta la validación de métodos y la calibración de equipos, afectando la comparabilidad de resultados entre laboratorios. Se trata de que, debido a las múltiples fuentes de incertidumbre presentes en las fases de la investigación (preparación de muestra, calibración del instrumento, análisis de datos) (Leach et al., 2020), es muy complejo cuantificar la incertidumbre en técnicas como microscopía electrónica de fuerza atómica (AFM) o microscopía electrónica de transmisión (TEM). Y, por último, el alto costo de la inversión en equipos y la necesidad de personal altamente

capacitado limitan el acceso a una nanometrología de alta calidad, especialmente en países en desarrollo.

La discusión subraya que la solución a estos retos pasa por la implementación de un sistema metrológico robusto que incluya la participación en ensayos de aptitud por intercomparación, el desarrollo de capacidades de medición y calibración (CMC) y la adopción de protocolos normalizados.

Las CMC son la declaración formal de un Instituto Nacional de Metrología sobre lo que es capaz de medir o calibrar, los rangos en los que puede hacerlo y con qué incertidumbre. Publicar una CMC en la Base de Datos de Comparaciones Claves y Suplementarias (KCDB) del Buró Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) significa que la capacidad de un país para, por ejemplo, medir el tamaño de nanopartículas con una incertidumbre específica, ha sido revisada por pares y aceptada internacionalmente. Es una declaración de competencia que todos los demás países reconocen.

3.4. Caso de Estudio: Implementación en el Proyecto PN211LH008-077 “La metrología aplicada a la producción de productos nanoestructurados”

El proyecto nacional cubano sirve como un modelo práctico para abordar estos retos. Sus resultados preliminares muestran un enfoque en:

- **Fortalecimiento de capacidades:** Desarrollo de competencia técnica en el laboratorio para las técnicas clave discutidas.
- **Trazabilidad:** Establecimiento de vínculos metrológicos a través de la potencial publicación de las Capacidades de Medición y Calibración (CMCs) en la Base de Datos de Comparaciones Claves y Suplementarias (KCDB) del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), la cual es el directorio global y oficial de estas capacidades.
- **Aseguramiento de la calidad:** Uso de Materiales de Referencia Certificados (MRCs) y participación en intercomparaciones para validar los resultados analíticos. Este caso demuestra la viabilidad de integrar los principios de la nanometrología en un programa de I+D+i nacional, asegurando la calidad de la producción de nanocompuestos.

4. Conclusiones

1. La nanometrología es un elemento indispensable para el avance confiable de la nanotecnología, especialmente en la producción de compuestos nanoestructurados. Su papel en la caracterización precisa de parámetros críticos es irremplazable.
2. La correcta caracterización de los nanomateriales requiere una estrategia multimodal que combine técnicas microscópicas y espectroscópicas, siendo conscientes de las limitaciones y fuentes de incertidumbre de cada una.
3. Los principales desafíos, como la falta de patrones de medición y la complejidad en la cuantificación de la incertidumbre, pueden mitigarse mediante un enfoque sistémico que priorice la trazabilidad, la comparabilidad internacional y el desarrollo de capacidades técnicas.
4. Iniciativas como el proyecto PN211LH008-007 demuestran la importancia y viabilidad de fortalecer las capacidades metrológicas a nivel nacional para garantizar la calidad, seguridad y competitividad internacional de los productos nanotecnológicos.

5. Referencias Bibliográficas

- BIPM. (2019). *Key Comparison Database*. Bureau International des Poids et Mesures. <https://www.bipm.org/kcdb/>
- Cullity, B. D., & Stock, S. R. (2014). *Elements of X-ray Diffraction* (3rd ed.). Pearson. [https://www.eng.uc.edu/~beucaq/Classes/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/B.D.%20Cullity,%20S.R.%20Stock%20%20Elements%20of%20X-Ray%20Diffraction-Pearson%20Education%20Limited%20\(2014\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beucaq/Classes/AdvancedMaterialsThermodynamics/Books/B.D.%20Cullity,%20S.R.%20Stock%20%20Elements%20of%20X-Ray%20Diffraction-Pearson%20Education%20Limited%20(2014).pdf)
- Eaton, P., & West, P. (2010). *Atomic Force Microscopy*. Oxford University Press. ed 1. New York. ISBN 958-0-19-957045-4. https://books.google.com.cu/_/books?id=VB0UD_AA_AQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Hochella, M. F., et al. (2019). Natural, incidental, and engineered nanomaterials and their impacts on the Earth system. *Science*, 363(6434), eaau8299. <https://doi.org/10.1126/science.aau8299>
- International Organization for Standardization (2022). ISO/TS 18196. (2016). *Nanotechnologies—Measurement technique matrix for the characterization of nano-objects*. <https://www.iso.org/standard/61734.html>
- European Commission (2010). *Introductory Guide to Nanometrology*. A product of the Coordination of Nanometrology in Europe project (FP7 CSA-CA 218764), ISBN: 978-0-9566809-1-4. https://www.researchgate.net/profile/Poul-Erik-Hansen-2/publication/282122542_Introductory_Guide_to_Nanometrology/links/5603a8ef08ae596d2591f99a/Introductory-Guide-to-Nanometrology.pdf?origin=publication_detail&tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uRG93bmxvYWQlLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiJ9fQ&cfchl=tk=oTAVYQz_T5rUI8daD5URBHOQJHQgqvU7f_wpj9n0Ob0-1763309335-1.0.1.1-MrKVF.zvfsPBaQ0mZkvCT_JASb8J_SkS3uillTc_a_pbqA
- Watts, J. F., & Wolstenholme, J. (2019). *An Introduction to Surface Analysis by XPS and AES* (2nd ed.). Wiley. <http://202.38.64.11/~mams/escalab/An.Introduction.To.Surface.Analysis.By.XPS.And.AES.pdf>

Instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible.

Standard installation for the calibration of counter meters for liquids other than fuel.

M. Sc. Regla Caridad Inchaustieta Ramos
Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET)
Correo electrónico: regla@inimet.cu
Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8942-9948>

Lic. José Záldivar Chacón, M. Sc. Rodes Yanet Valdivia Medina, Téc. Karel Ramos Batista, Téc. Niurka Alonso Benítez, Téc. Miriam Alfonso Caamaño, Téc. Sergio Sánchez Gutiérrez, Téc. Pedro Manuel Díaz Rivero

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET)

Resumen

Cuba no cuenta en la actualidad con la infraestructura física y tecnológica necesaria para dar trazabilidad metrológica a los metros contadores de líquidos diferentes de combustible que existen en el país. Este trabajo es la base de un proyecto I+D+i del Laboratorio de Volumen y Flujo del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) que tiene el objetivo general de desarrollar una instalación patrón para la calibración de estos metros contadores, y con este fin se propone ejecutar las actividades científicas, técnicas, organizativas y constructivas necesarias para lograrlo. Se describen los resultados parciales de las actividades ejecutadas para lograr la instalación patrón de calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible.

Palabras clave: instalación de calibración, metros contadores, líquidos diferentes de combustible, trazabilidad metrológica

Abstract

Cuba currently lacks the necessary physical and technological infrastructure to provide metrological traceability for the liquid meters (those dispensing liquids other than fuel) in the country. This work forms the basis of an R+D+i project of the Volume and Flow Laboratory of the National Research Institute on Metrology, INIMET, whose overall objective is to develop a standard installation for the calibration for these meters. To this end, the project proposes the execution of the necessary scientific, technical, organizational and construction activities. Partial results of the activities carried out to achieve the calibration installation for liquid meters other than fuel are described.

Keywords: calibration installation, liquid meters, liquids other than fuel, metrological traceability

1. Introducción

El Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) es el Instituto Nacional de Metrología (INM) de la República de Cuba. Cuenta con confirmación y reconocimiento de sus pares de la Cooperación Euroasiática de Instituciones Nacionales de Metrología (COOMET), ante los cuales ha demostrado su competencia técnica según la ISO/IEC 17025:2017 en tres evaluaciones quinquenales sucesivas con resultados satisfactorios, y con un SGC Certificado por la Lloyd's Register y actualmente por ICDQ, según la ISO 9001:2015. El INIMET, que tiene como

misión desarrollar y crear patrones, en este caso tiene el objetivo de desarrollar una instalación para la calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible en su Laboratorio de Volumen y Flujo.

Las mediciones de volumen y flujo tienen gran incidencia en las transacciones comerciales y están presentes en las industrias farmacéutica, siderúrgica, metalúrgica, alimentaria, la agricultura, entre otras. Un sistema metrológico de primer nivel en mediciones de flujo, capaz de garantizar la trazabilidad metrológica a los metros contadores que existen en el país, permitiría minimizar los costos de fabricación, aumentar la calidad de los productos manufacturados y un mejor control en los procesos de transferencia de fluidos.

Los metros contadores para cantidades de líquidos (por volumen o por masa) son instrumentos de medición destinados a medir continuamente y mostrar la cantidad de líquido que pasa a través de su dispositivo de medición en condiciones habituales de funcionamiento. Un metro contador incluye al menos un dispositivo de medición, un totalizador, una calculadora (incluidos los dispositivos de ajuste o corrección, si están presentes) y un dispositivo indicador. El término "metro contador" es considerado sinónimo de "contador", "flujómetro" y "caudalímetro".

2. Desarrollo

El estudio del estado del arte de las instalaciones de calibración de metros contadores para líquidos diferentes de combustible en el mundo, permitió conocer la situación de los INM de Alemania, Estados Unidos y México. Estas instituciones cuentan con instalaciones para las mediciones de flujo, certificadas y con altas tecnologías incorporadas.

En la Tabla No. 1 se resumen algunas características principales de las instalaciones de calibración de estos INM.

Tabla No.1. Instalaciones de calibración de los INM de Alemania, Estados Unidos y México.

	PTB (ALEMANIA)	NIST (E.U)	CENAM (MÉXICO)
Alcance	(0,3 a 2100) m ³ /h	(0,48 a 2280) m ³ /h	(1,5 a 720) m ³ /h
Diámetro	(20 a 400) mm	(100 a 400) mm	(25 a 250) mm
Métodos de calibración	Gravimétrico- Volumétrico	Gravimétrico- Volumétrico	Gravimétrico- Volumétrico
Sistema de pesaje (Método gravimétrico)	3 sistemas (0,3; 3; 30) t	3 sistemas (1,1; 3,7; 22,5) t	2 sistemas (1,5; 10) t
Probador de tubo (Método volumétrico)	250 L	2 L y 20 L	500 L y 1000 L
Incertidumbre	0,02 %	0,033 %	0,03 % (masa) (0,04 a 0,05) % (volumen)

El laboratorio de volumen y flujo del INIMET cuenta con 2 bancos de calibración de metros contadores conformados por los siguientes instrumentos de medición:

- 3 recipientes metálicos patrones de capacidad (100; 1000 y 2000) L, clase de exactitud 0,2 % (ver Fig. 1)
- 4 rotámetros con rango de flujo desde (0,02 hasta 125) m³/h, clase 1,5 % para el control de flujo en cada línea de trabajo,
- líneas de trabajo de diámetro nominal (DN) hasta 100 mm,

- instrumentos de medición auxiliares como termómetros de líquido en vidrio con valor de división 0,1 °C y manómetros de hasta 1 MPa con valor de división de 0,02 MPa.
- recipiente metálico patrón de 2500 L, de clase de exactitud 0,1% (Fig. 2).



Fig. 1 Banco de calibración con recipientes patrones de capacidad 100 L, 1000 L y 2000 L



Fig. 2 Recipiente patrón de 2500 L, clase de exactitud 0,1 %

Atendiendo a los instrumentos patrones de medición de que se dispone y en busca del nivel de exactitud y de incertidumbre deseados para los resultados de las mediciones con esta instalación, se deciden las características técnicas y metrológicas que se muestran en la tabla 2.

Como parte del trabajo del proyecto, se evalúa el sistema de pesaje más adecuado para la utilización del método gravimétrico.

Tabla 2. Características técnicas esperadas de la instalación de calibración de metros contadores con agua como líquido de trabajo.

	INIMET (CUBA)
Alcance	desde 0,3 m ³ /h hasta 150 m ³ /h
Diámetro	desde 15 mm hasta 100 mm
Métodos de calibración	gravimétrica – volumétrica
Sistema de pesaje (Método gravimétrico)	(En estudio)
Probador de tubo (Método volumétrico)	100 L; 1000 L; 2000 L y 2500 L
Incertidumbre expandida, k = 2	de (0,05 a 0,10) %

Para el desarrollo de la Instalación patrón se definieron los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Realizar estudio de factibilidad, ideas conceptuales, proyecto técnico, estudio topográfico y arquitectura en el área constructiva donde se ubicará la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferente de combustible.
- ❖ Caracterizar la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible.
- ❖ Implementar el servicio de calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible.
- ❖ Ejecutar el servicio de calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible.

Para el logro de los objetivos y los resultados esperados, se diseñaron las actividades, cuyo estado de cumplimiento se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Objetivos, resultados y actividades desarrolladas hasta la fecha

Objetivos	Resultados	Actividades
<p>1. Realizar estudio de factibilidad, ideas conceptuales, proyecto técnico, estudio topográfico y arquitectura en el área constructiva donde se ubicará la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferente de combustible.</p>	<p>1.1. Proyecto técnico del estudio topográfico y arquitectura e ideas conceptuales, en el área constructiva donde se ubicará la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferente de combustible.</p>	<p>1.1.1. Valoración del terreno del área constructiva donde se ubicará la instalación patrón. 1.1.2. Subcontratación a EPROYIV para realizar el estudio topográfico y constructivo de la instalación. 1.1.3. Evaluación de las condiciones del terreno y constructivas de la instalación según los resultados del Proyecto técnico.</p>
	<p>1.2. Realizar estudio y valoración de las condiciones técnicas de la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquido diferentes de combustible.</p>	<p>1.2.1. Levantamiento de cada una de las partes y accesorios de la instalación patrón y valoración de su estado técnico. 1.2.2. Visita e intercambio de ideas y experiencias con el laboratorio de la Yuri Gagarin.</p>
<p>2. Caracterización de la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible.</p>	<p>2.1. Caracterizar la instalación de calibración de metros contadores de líquido diferente de combustible que permita asegurar la trazabilidad de las mediciones de volumen y flujo en el INIMET.</p>	<p>2.1.1. Levantamiento metrológico de los instrumentos de medición. 2.1.2. Montaje de la instalación patrón. 2.1.3. Puesta en marcha de la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible. 2.1.4. Elaborar plan de calibración de los instrumentos patrones de medición por magnitud. 2.1.5. Publicación de los resultados.</p>

De todo el trabajo realizado hasta el momento se han obtenido los productos siguientes:

Producto 1. Proyecto técnico del estudio topográfico y arquitectura e ideas conceptuales, en el área constructiva donde se ubicará la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferente de combustible, que incluye:

- La evaluación del estado constructivo de la nave, con la identificación de cada una de las partes deterioradas o en mal estado, incluyendo cubierta y marquería.
- El levantamiento eléctrico, hidráulico y sanitario.
- La tarea técnica de mecánica de suelo, con el aporte de soluciones constructivas.

Producto 2. Informe técnico del estudio y valoración de las condiciones técnicas de la instalación patrón para la calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible, que incluye:

- La identificación de cada uno de los elementos y partes integrantes de la instalación de calibración existentes actualmente.
- La defectación, limpieza y mantenimiento a dos monitores de las pizarras, que permiten operar los puestos de trabajo de los bancos de calibración.
- La defectación, limpieza y mantenimiento a dos electroválvulas neumáticas de dichos bancos.
- La identificación de otros elementos que deben irse sometiéndose de manera paulatina al mismo proceso.

Durante la defectación se identificó que el recipiente patrón de 2500 L debe someterse a mantenimiento y reparación. Este recipiente patrón en estos momentos se encuentra fuera de servicio, pero, debido a que garantiza la trazabilidad metrológica del metro contador OVAL de agua del laboratorio, que, a su vez, interviene en servicios de gran demanda, como el aforo de tanques y la verificación/calibración de metros contadores por el método volumétrico, se valoró ejecutar estos trabajos y crear las condiciones y la infraestructura necesaria para realizar la calibración posterior de este instrumento de medición.

3. Valoración económica

La instalación de calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible tendrá una importancia vital en el aseguramiento metrológico y el control metrológico legal de este tipo de contadores, además de contribuir directamente a los esfuerzos gubernamentales por garantizar la medición y la utilización racional de un recurso tan importante como el agua. Esto justifica el financiamiento por parte del INIMET de un proyecto no asociado a programas que garantice la puesta en marcha de una instalación patrón de este tipo.

Entre los años 2024 y 2025 el financiamiento de este proyecto sobrepasó los 800 000 cup, que pudieran ser recuperados en menos de dos años, una vez puesta en explotación la instalación de calibración, con los ingresos por los servicios de calibración que se prestarán.

4. Conclusiones

El conjunto de actividades organizativas, científicas, tecnológicas y constructivas que se han acometido en la primera etapa de ejecución del proyecto I+D+i han permitido crear las bases de la infraestructura física de la instalación de calibración de metros contadores de líquidos diferentes de combustible en el laboratorio de Volumen y Flujo del INIMET, a partir de la reorganización y completamiento de las condiciones actualmente existentes, con lo que se ha logrado alcanzar los resultados esperados en la etapa con los recursos mínimos imprescindibles y establecer la hoja de ruta de las actividades que deberán ejecutarse para lograr el objetivo general del proyecto.

5. Recomendaciones

- 1) Respetar la mejor ubicación de la instalación de calibración dentro del área disponible de la nave, de acuerdo con la valoración de su estado técnico, realizada en el estudio topográfico y de arquitectura.
- 2) Proponer soluciones constructivas que incluyan el peritaje técnico del área y su acondicionamiento físico-ambiental.
- 3) Implementar las ideas conceptuales de los sistemas de distribución eléctrica, hidráulica y sanitaria.
- 4) Culminar la identificación de otros elementos que deben irse sometiendo de manera paulatina a los procesos de defectación, limpieza y mantenimiento.
- 5) Garantizar la transferencia de conocimientos generados en este proyecto al resto de los centros del SENAMET.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la M. Sc. Alejandra Hernández Leonard por la cuidadosa revisión del manuscrito y sus valiosas sugerencias para la mejora.

7. Bibliografía

- Disposición General DG 01:2020 Instrumentos de medición sujetos a verificación y los campos de aplicación donde serán utilizados.
- Disposición General DG 10:2021 Política de Trazabilidad Metrológica.
- International Organization of Legal Metrology OIML R 49-1:2024 Water meters for cold potable water and hot water.
- Oficina Nacional de Normalización. NC 7:2017 Barras de acero para refuerzo de hormigón. Especificaciones
- ____ NC 120:2021 Hormigón hidráulico. Especificaciones
- ____ NC 207-3:2020 Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón. Parte 3: Elementos estructurales - capítulo del 21 al 28
- ____ NC 250:2005 Requisitos de durabilidad para el diseño y construcción de edificaciones de obras civiles de hormigón estructural
- ____ NC 283:2003 Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño.
- ____ NC 284:2003 Edificaciones. Carga de uso.
- ____ NC 775-1:2010 Bases para el diseño y construcción de inversiones turísticas. Parte 1: Requisitos Básicos.
- ____ NC 775-11:2012 Bases de diseño y construcción de inversiones turísticas. Parte 11: Requisitos de comunicaciones.
- ____ NC 674-3:2018 Requisitos de alcance y contenido de los servicios técnicos. Parte 3: Ideas preliminares.
- Oficina Nacional de Normalización / Organización Internacional de Normalización NC ISO/IEC 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, ICS: 03.120.20, 3. Edición, Diciembre 2017.
- Oficina Nacional de Normalización / Organización Internacional de Metrología Legal NC OIML R49-1:2009 Metros contadores de agua destinados a agua potable fría. Parte 1: Requisitos técnicos y metrológicos. (OIML R 49-1:2006, IDT)

Trazabilidad metrológica de las mediciones de los termómetros infrarrojos y las cámaras infrarrojas de uso médico
Metrological traceability of measurements of infrared thermometers and infrared cameras of medical use.

M. Sc. Fran Javier Buzón González

Correo electrónico: franb@inimet.cu Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5157-8564>

M. Sc. Alejandra R. Hernández Leonard Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7484-376X>

Dr. C. Félix María Agüero Díaz

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, INIMET

Resumen

Los termómetros infrarrojos y las cámaras infrarrojas de uso médico se emplearon ampliamente en el mundo para la detección de la temperatura corporal en el enfrentamiento a la COVID-19 y aún se usan en los hospitales para evaluar el estado de salud de pacientes y para el control de enfermedades, principalmente de origen infeccioso, como el dengue hemorrágico, el zika y el chikungunya, entre otras muchas. Con el fin de asegurar la trazabilidad metrológica de sus mediciones, es necesaria la calibración sistemática de estos instrumentos de medición, que resultan de apoyo vital en entornos médicos y de alta socialización entre personas. En este artículo se abordan las características técnicas fundamentales de los termómetros infrarrojos, el papel de estos en el enfrentamiento a problemas de salud, los factores que inciden en la exactitud de sus mediciones, y los patrones de medición necesarios para su calibración, con el fin de contribuir a la solución de su trazabilidad metrológica en el contexto cubano.

Palabras clave: termómetros infrarrojos, cámaras infrarrojas, aseguramiento metrológico, trazabilidad metrológica

Abstract

Infrared thermometers and infrared cameras for medical use were widely employed worldwide for body temperature detection in the fight against COVID -19 and are still used in hospitals to assess patients' health status and for disease control, primarily for infectious diseases such as dengue hemorrhagic fever, zika and chikungunya, among many others. To ensure the metrological traceability of their measurements systematic calibration of these measuring instruments is necessary, as they are vital support in medical and high-traffic social environments. This article addresses the fundamental technical characteristics of infrared thermometers, their role in addressing health problems, the factors that affect the accuracy of their measurements, and the measurement standards necessary for the calibration, with the aim of contributing to the solution of their metrological traceability in the Cuban context.

Keywords: infrared thermometers, infrared cameras, metrological assurance, metrological traceability

1. Introducción

Desde los primeros días de la medicina, la enfermedad y el cambio de temperatura corporal han tenido una asociación reconocida. La fiebre, una de las primeras observaciones médicas, fue por siglos una evaluación subjetiva por parte del médico. La aparición de los termómetros en el campo de la medicina durante los siglos XVI hasta el XVIII trajo las primeras oportunidades de medir objetivamente la fiebre en las personas, aunque las limitaciones técnicas y la falta de

patrones de medición no ayudaron en el entendimiento y aceptación de dichas mediciones. En Leipzig, en 1868, el Dr. Carl Wunderlich sistematizó la medición de temperatura en pacientes fallecidos e introdujo el termómetro clínico, mostrando así el valor de las mediciones en serie. [1] La medición directa de temperatura en tejidos internos, al ser invasiva y logísticamente retardadora, impulsó el requerimiento de métodos no invasivos de medición. Esta situación permaneció en la medicina hasta la introducción de la imagenología infrarroja a principios de los años 1960. [2]

La termometría infrarroja sin contacto es un término que involucra tanto una medición de temperatura puntual con un termómetro infrarrojo o el uso de una cámara infrarroja, que visualiza la distribución de la temperatura sobre un blanco especificado. [3] Dicho de otro modo, la termometría infrarroja sin contacto tiene como una de sus aplicaciones la evaluación de la temperatura en la superficie de la piel mediante mediciones de la radiación emitida por esta en el espectro infrarrojo.

Durante la pandemia de la COVID-19 se renovó el interés en este tipo de medición, ya que uno de los síntomas de la infección por SARS-Cov-2 es la alteración de la temperatura corporal. Vale aclarar que la termometría infrarroja sin contacto fue por primera vez ampliamente adoptada durante la epidemia de síndrome respiratorio agudo grave (SARS) en el 2003.

En el sector de la salud, a causa del riesgo inherente para la vida, es necesario medir de la manera más exacta posible. [4] Siguiendo esta línea de razonamiento es evidente la importancia de mantener la trazabilidad metrológica de las mediciones de los termómetros infrarrojos y las cámaras infrarrojas de uso médico mediante herramientas metrológicas (calibraciones, control metrológico, métodos de referencia, buenas prácticas) que permita obtener mediciones confiables.

El objetivo central de este artículo es compartir el papel que juegan las buenas prácticas de medición en el uso de los termómetros infrarrojos y las cámaras infrarrojas de uso médico, así como la importancia de su trazabilidad metrológica.

2. Materiales y métodos

Para la realización de esta investigación se empleó el método histórico-lógico para propiciar el estudio lógico del desarrollo de la termometría infrarroja y su trazabilidad metrológica. Con el propósito de abordar el objetivo de este estudio se realizó una revisión exhaustiva tomando como fuentes de información normas internacionales vigentes, artículos científicos, el Decreto 8, del Consejo de Ministros, de julio del 2020 y otros documentos.

3. Resultados

3.1. Características técnicas de los termómetros infrarrojos y las cámaras termográficas

La radiación infrarroja emitida por tejidos biológicos es detectada por ambos instrumentos de medición y usada para calcular valores de temperatura. Estos cálculos toman en cuenta la radiación recibida de otras fuentes como son el ambiente y la emisión del entorno reflejada por el objeto. [5] Para tejido biológico en el rango de temperaturas fisiológicas de 35 °C a 41 °C, el espectro de radiación infrarroja emitido alcanza un pico a aproximadamente 9,3 μm , con las regiones espectrales de mayor intensidad de radiación extendiéndose desde longitudes de onda medias en el infrarrojo (de 2,5 a 7) μm , a longitudes de onda largas en regiones del infrarrojo (de 7 a 15) μm . [6] Por lo tanto, los termómetros infrarrojos y las cámaras termográficas de uso médico con frecuencia operan en los rangos de estas longitudes de onda.

Los termómetros infrarrojos generalmente utilizan un sensor microbolométrico o una termopila (que son en teoría sensibles en todo el rango del espectro). Lentes y filtros interpuestos entre el elemento sensitivo y el mensurando modifican el rango espectral del sensor, llevando al termómetro a reducir la influencia de factores externos y, por lo tanto, midiendo casi toda la radiación que proviene del blanco. [7]

Las cámaras termográficas están basadas en el mismo principio de medición que los termómetros infrarrojos, pero están hechas de una matriz de sensores como elementos sensitivos, una óptica similar a una videocámara y un software capaz de retornar un mapa de colores de una imagen térmica (del cuerpo entero o de un elemento). En estos instrumentos la radiación infrarroja es proyectada a una matriz de sensores, y cada píxel de la imagen retornada corresponde a una medición de temperatura. [7].

Estas características técnicas de la termometría infrarroja se deben tener en cuenta para comprender el hecho de que posean diferente exactitud en la medición, costo monetario, punto del cuerpo humano recomendado para la medición (Ej. para termómetros infrarrojos de frente en el centro de esta y para las cámaras termográficas en el canto interno del ojo) e instrucciones para el uso. Debido a esto y como es de todos conocido, existen normas internacionales específicas para uno u otro y los patrones de medición para su calibración difieren entre sí. Son instrumentos de medición donde intervienen de manera significativa tecnologías modernas. Lo mismo ocurre con sus patrones, por lo que mantener la trazabilidad metrológica de sus mediciones conlleva un costo económico alto para países como Cuba, así como un elevado nivel de especialización de los metrólogos que deben garantizarla.

3.2. Los termómetros infrarrojos y las cámaras termográficas en el control de la pandemia

Teniendo en cuenta la emergencia global debido al COVID-19, la Organización Mundial para la Salud (OMS) promovió, entre otras medidas, la medición de la temperatura para el control de la pandemia. De hecho, en Cuba el Decreto 8 del Consejo de Ministros de Julio del 2020 [8] estableció la obligación de la medición de temperatura a los viajeros cubanos y extranjeros a la entrada y salida del país con independencia del país de procedencia o destino, y también a todos los trabajadores de los puntos de entrada al país (puertos, aeropuertos, marinas) antes de iniciar la jornada laboral (cuando hubo un recrudescimiento de contagio a nivel nacional). Para realizar este control en Cuba, al igual que en gran parte del mundo, se emplearon mayormente los termómetros infrarrojos de frente y con menor frecuencia las cámaras termográficas.

Organizaciones técnicas de la Comisión Electrotécnica Internacional (sigla en inglés, *IEC*) y la Asociación Europea de Termología (sigla en inglés, *EAT*), han concluido que las cámaras termográficas ofrecen un método exacto para la detección de fiebre si tienen un desempeño competente y son aplicados procedimientos apropiados.[5] No obstante, las implicaciones financieras de usar una cámara termográfica son demasiado elevadas para la mayoría de los usuarios en Cuba, por lo que las mediciones de temperatura con termómetros infrarrojos de frente son utilizadas con mayor frecuencia para la detección masiva.

Se priorizó en el mundo el uso de la termometría infrarroja en el marco de la pandemia, ya que al tratarse de individuos potencialmente infectados la medición de temperatura corporal debía ser barata, simple, no invasiva, distanciada y segura para los operadores asignados a la medición y, por otra parte, suficientemente exacta, confiable y reproducible por sus implicaciones sociales y de salud. Solo los termómetros infrarrojos de frente y las cámaras termográficas permiten una medición casi instantánea y sin contacto, aunque solo miden la

temperatura de la piel. En particular, los termómetros infrarrojos de frente necesitan medir a una distancia de (5 a 15) cm del sujeto en dependencia del modelo (debido la limitada relación distancia-tamaño del área a medir), mientras que las cámaras termográficas pueden medir a una distancia de pocos metros. A pesar de las ventajas de la termometría infrarroja Foster J. [3] reporta que esta ha tenido un desempeño pobre en la detección en masa de fiebre en los pasos de frontera de muchos países, probablemente por una adopción incorrecta de lo que establecen las normas internacionales. Como refiere Batista [7], la mejor exactitud de las cámaras termográficas está frecuentemente dentro 0,3 °C en condiciones de campo en un ambiente controlado, realizando un control individual. Mientras que la exactitud empeora a 2 °C en mediciones para grupos desordenados de personas con temperaturas ambientes descontroladas, donde se viola lo establecido en la ISO/TR 13154 [9], diseñada para identificar personas con fiebre utilizando cámaras termográficas.

La exactitud y fiabilidad de la medición a distancia de la temperatura corporal dependen de múltiples factores como son: [7]

- la variabilidad intrínseca del mensurado debido a los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar entre otros) y la termorregulación en el ser humano (género, actividad física, digestión entre otros),
- el procedimiento de medición utilizado debido a la exactitud, resolución, deriva del instrumento y factores influyentes (temperatura del instrumento de medición, emisividad de la piel, temperatura radiante media y atenuación de la radiación debido a la atmósfera),
- el operador (ángulo de incidencia, distancia al blanco y enfoque del blanco).

Por ello, aunque los termómetros infrarrojos y las cámaras termográficas se han tornado imprescindibles en el enfrentamiento a la COVID 19 y sus variantes, así como otras enfermedades, para garantizar su uso correcto se hace necesario seguir las indicaciones de la ISO/TR 13154 para las cámaras termográficas y las recomendaciones publicadas por Foster J. [3] para ambos instrumentos de medición.

3.3 Trazabilidad metrológica de las mediciones de los termómetros infrarrojos y las cámaras termográficas de uso médico

Los termómetros infrarrojos y las cámaras termográficas deben contar con una cadena de trazabilidad metrológica evidenciada a través de sus certificados de calibración. Estos certificados son válidos si son emitidos por un laboratorio acreditado por la ISO 17025 [10] para los servicios que presta o por un instituto nacional de metrología en igual condición. La calibración metrológica de estos instrumentos de medición es la garantía de su desempeño correcto y estable.

La deriva de los termómetros infrarrojos de uso médico y las cámaras termográficas depende grandemente de la calidad de estos y las condiciones de uso, típicamente es de 0,1 °C/año. Esta fuente de incertidumbre puede ser reducida a través de calibraciones periódicas frecuentes. [7] Fuentes de temperatura de referencia de cuerpo negro son típicamente utilizados como patrones en la calibración. Si nos basamos en la norma internacional ISO 80601-2-56 [11] para la calibración de los termómetros infrarrojos médicos son necesarios principalmente un termómetro de referencia (por ejemplo, un termómetro de resistencia de platino), un baño líquido y un cuerpo negro, con los siguientes requerimientos:

- Termómetro de referencia con una incertidumbre expandida no mayor que $\pm 0,02$ °C ($k = 2$). El termómetro de referencia debe ser trazable a patrones nacionales.
- Baño líquido, bien regulado, con circulación y que contenga al menos 5 L en volumen, usado para establecer las temperaturas de referencia en el rango de medición. Con una

estabilidad de temperatura mejor que $\pm 0,02$ °C y un gradiente de temperatura no mayor de $\pm 0,01$ °C dentro de su espacio de trabajo.

- Cavidad de cuerpo negro con emisividad cercana a uno e inmersa en el fluido. La trazabilidad a patrones puede ser establecida mediante la calibración del termómetro de referencia.
- La temperatura suministrada por la fuente de temperatura de referencia debe tener una incertidumbre expandida de medición ($k = 2$) no mayor de $0,07$ °C.

En el caso de las cámaras termográficas empleadas en la detección de la temperatura humana febril, la norma internacional IEC 80601-2-59 [12] establece que para evaluar sus requerimientos esenciales de desempeño es necesaria una fuente de referencia de radiación infrarroja de cuerpo negro (Fuente de calibración). La temperatura de radiancia de la fuente de calibración debe tener una incertidumbre expandida no mayor de $0,2$ °C y una estabilidad y deriva mejor de $0,05$ °C a la longitud de onda con que trabaja la cámara termográfica. La fuente de calibración debe tener una emisividad conocida mayor o igual a $0,998$. La calibración de una cámara termográfica o termómetro infrarrojo médicos, debe ser periódica.

Un estudio realizado por Healy C, et al. [13] a siete modelos de cámaras termográficas para detectar fiebre en Estados Unidos que carecían de revisión regulatoria arrojó que las siete ajustaban negativamente las temperaturas elevadas y positivamente las temperaturas bajas. A diferencia de otros modelos que sí habían pasado por la revisión regulatoria y no mostraban este defecto. El estudio sugiere que, los siete dispositivos evaluados llevaban a cabo una modificación intencional no aleatoria en las indicaciones para aproximarse a la temperatura media humana, por lo que su efectividad como detectores de fiebre era incierta. Por lo tanto, la existencia de una cadena de trazabilidad en las cámaras termográficas y termómetros infrarrojos médicos es esencial en la confiabilidad de sus resultados que permiten la detección y tratamiento de disímiles enfermedades.

4. Conclusiones

Este artículo ilustra las características técnicas de estos dos instrumentos de medición y el papel determinante que tienen en el control de la pandemia. También los factores que inciden en su exactitud, así como la importancia de las buenas prácticas y la trazabilidad metrológica en el uso eficiente de los termómetros infrarrojos y las cámaras infrarrojas de uso médico. En Cuba es necesaria la calibración sistemática de estos instrumentos de medición, de modo que se evite el tener que calibrarlos en el extranjero o que con el tiempo pierdan la trazabilidad metrológica de sus mediciones. De esa manera se ahorrarían tiempo, recursos y se preservaría la salud humana.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Ing. Antonio López Maidique por su contribución a la búsqueda bibliográfica realizada.

6. Bibliografía Consultada

- [1] Ringa FJ, Ammera K, Wiecekb B, et al. Quality assurance for thermal imaging systems in medicine. Thermology international [Internet].2007 July; 17:103-106. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235007558_Quality_assurance_for_thermal_imaging_systems_in_medicine
- [2] Williams KL, Barnes RB, Gershwin CJ, Haberman JD. Thermography and its clinical applications. N.Y. Acad.Sci.1964; 121:1-304.

- [3] Foster J, Lloyd AB, Havenith G. Non-contact infrared assessment of human body temperature. *Temperature* [Internet]. 2021 April; 8(4):1-14. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/351226037_Non-contact_infrared_assessment_of_human_body_temperature *The journal Temperature tool box*
- [4] Ferreira M. The role of metrology in the field of medical devices. *Int.J.Metrol. Qual.Eng.*[Internet]. 2012. 2:135-140. Disponible en: <https://www.metrologyjournal.org/articles/ijmqe/pdf/2011/02/ijmqe110002.pdf>
- [5] Ghassemi P, Pfefer TJ, Casamento JP, Simpson R, Wang Q. Best practices for standardized performance testing of infrared thermographs intended for fever screening. *PLOS ONE* [Internet]. 2018 September. 13(9):1-24. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327762050_Best_practices_for_standardized_performance_testing_of_infrared_thermographs_intended_for_fever_screening
- [6] Holst GC. *Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems*. Third ed. Winter Park, Florida and Bellingham, Washington: JDC Publishing and SPIE Press [Internet]; 2008. Disponible en: <https://spie.org/Publications/Book/799664?SSO=1>
- [7] Batista Dell'Isola G, Cosentini E, Canale L, Ficco G. Noncontact Body Temperature Measurement: Uncertainty Evaluation and Screening Decision Rule to Prevent the Spread of COVID-19. *Sensors* [Internet]. 2021.346: 1-20. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348304327_Noncontact_Body_Temperature_Measurement_Uncertainty_Evaluation_and_Screening_Decision_Rule_to_Prevent_the_Spread_of_COVID-19
- [8] Consejo de Ministros. Decreto 8/2020 (GOC-2020-488-EX37) Sobre las medidas a implementar para la etapa de recuperación post-COVID-19. *Gaceta Oficial No. 37 Extraordinaria de 15 de julio de 2020* [Internet]. Disponible en: https://www.gacetaoficial.gob.cu/sites/default/files/goc-2020-ex37_0.pdf
- [9] International standardization organization. ISO 13154. *Medical electrical equipment – Deployment, implementation and operational guidelines for identifying febrile humans using a screening thermograph*. 2017.
- [10] International standardization organization / International Electrotechnical Commission ISO/IEC 17025. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. 2017.
- [11] International standardization organization ISO 80601-2-56. *Medical electrical equipment —Part 2-56: Particular requirements for basic safety and essential performance of clinical thermometers for body temperature measurement*. 2017.
- [12] International standardization organization. IEC 80601-2-59. *Medical electrical equipment — Part 2-59: Particular requirements for basic safety and essential performance of screening thermographs for human febrile temperature screening*. 2017.
- [13] Healy C, Segal Z, Hinnerichs C, et al. Globally deployed COVID-19 fever screening devices using infrared thermographs consistently normalize high readings to afebrile range. *Journal of Biomedical Optics* [Internet]. 2021 April. 26(4):1-22. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7955777/pdf/JBO-026-043009.pdf>

Transformación digital en el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología: resultado, diagnóstico y futuro.

Digital transformation at the National Research Institute on Metrology: results, diagnosis and future.

M. Sc. Maydelin Limonta-Cairo

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET).

Correo-e: maydelin@inimet.cu

Código ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7178-5281>

Téc. Sup. Anthony Herrera Guerra

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET).

Resumen

La transformación digital se ha vuelto un eje crítico para las instituciones que buscan mejorar su eficiencia y adaptabilidad ante un entorno cambiante. En este contexto, el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) enfrenta el reto de modernizar la gestión de sus servicios y procesos. Este artículo muestra resultados del estado del arte y el diagnóstico informático del proyecto institucional de Transformación Digital (TD), utilizando herramientas como la matriz DAFO, el diagrama OTIDA y el mapa de tendencias. Los resultados incluyeron una mejora en la gestión de servicios, fortalecimiento de infraestructuras digitales y un aumento en la capacidad de análisis de datos. El trabajo realizado no solo aporta eficiencia operativa, sino que también promueve un desarrollo sostenible en la metrología. Este enfoque puede ser utilizado por otras instituciones en su camino hacia la transformación digital, contribuyendo a la mejora de sus servicios y procesos.

Palabras clave: Transformación digital, eficiencia operativa

Abstract

Digital transformation has become a critical pillar for institutions seeking to enhance their efficiency and adaptability in a rapidly changing environment. In this context, the National Research Institute on Metrology (INIMET) faces the challenge of modernizing the management (DT) project, utilizing tools such as the SWOT matrix, the OTIDA diagram, and the trend mapping framework. The results included improvements in service management, strengthened digital infrastructure, and enhanced data analysis capabilities. The work conducted not only contributes to operational efficiency but also promotes sustainable development in metrology. This approach can be adopted by other institutions on their path toward digital transformation, contributing to the enhancement of their services and processes.

Keywords: Digital transformation, operational efficiency

1. Introducción

La transformación digital se ha consolidado como un fenómeno global que impacta a diversas áreas, desde la industria hasta los servicios públicos. Este proceso no solo implica la adopción de nuevas tecnologías, sino que también define un cambio en la forma en que las organizaciones interactúan con sus clientes, optimizan sus procesos y gestionan sus datos. Según Westerman et al. (2014), la transformación digital permite a las organizaciones innovar en sus modelos de negocio, adaptarse rápidamente a cambios en el entorno y satisfacer las necesidades de los consumidores de maneras más efectivas.

El Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) se enfrenta a la necesidad de modernizar sus servicios de calibración y verificación para responder a un creciente volumen de datos y mejorar sus procesos internos. La literatura contemporánea destaca la importancia de la digitalización para fortalecer la infraestructura de los servicios de metrología y garantizar la calidad y precisión de las mediciones (Seddigh y Amiri, 2022). Sin embargo, la implementación de tecnologías digitales puede resultar desafiante, especialmente en organismos donde persisten estructuras organizativas rígidas y procesos de trabajo tradicionales.

El propósito de este artículo es presentar los resultados de un proyecto de transformación digital en el INIMET, que busca abordar las deficiencias en la gestión de servicios y equipar al instituto con herramientas que optimicen su funcionamiento. La importancia de este estudio radica en su capacidad para proporcionar un marco de referencia y un conjunto de estrategias que puedan ser replicadas por otras instituciones en sectores similares.

La transformación digital no solo busca mejorar la eficiencia operativa del INIMET, sino que también tiene un impacto social significativo. Al optimizar la calibración y verificación de instrumentos de medición, se refuerza la confianza pública en los procesos industriales y científicos que dependen de mediciones precisas. Esto es esencial para la seguridad y calidad de productos en diversos segmentos, desde alimentos hasta dispositivos médicos. Además, la implementación de una infraestructura digital más robusta puede atraer a nuevas investigaciones y colaboraciones, elevando el perfil del INIMET como un líder en innovación metrológica.

2. Desarrollo

El INIMET es el Instituto Nacional de Metrología en el país. Entre los servicios que ofrece se encuentran: la calibración de instrumentos y patrones, la verificación y certificación de equipos, el desarrollo de materiales de referencia, la capacitación especializada en metrología, los ensayos de aptitud y la asesoría técnica. Para ello, cuenta con un conjunto de áreas y laboratorios que realizan diversas actividades que forman parte de su proceso de negocio. Sin embargo, el INIMET no dispone de una solución informática adecuada que le permita gestionar de forma eficiente y segura toda la información que genera y maneja en sus servicios. Actualmente, la información se almacena y transfiere en formatos de Microsoft Office (Excel y Word) o se recoge de forma manual, lo que puede provocar errores, omisiones, modificaciones o duplicidades de los datos, además de existir falta de uniformidad en los softwares. Esto puede afectar negativamente la calidad, la confiabilidad y la trazabilidad de los servicios que ofrece el INIMET, así como la satisfacción de sus clientes. Por esta razón, se requiere una solución informática que facilite la gestión integral del proceso de negocio y cubra la mayor cantidad de necesidades posibles de la entidad.

Para esto se aprobó un proyecto institucional de Transformación digital con un enfoque sistemático que permitió comprender y diagnosticar la situación actual del instituto, así como planificar adecuadamente las acciones a seguir. A continuación, se describen los resultados de los tres primeros objetivos específicos de la primera etapa que se han desarrollado en el proyecto:

1) Analizar el estado del arte sobre los procesos digitalizados de servicios y diagnóstico informático del instituto.

Se realizó una revisión exhaustiva de las tendencias actuales en la metrología y la digitalización. Este análisis proporcionó una base sólida para establecer las necesidades del INIMET y entender el contexto en el que opera. La recopilación de información sobre tecnologías emergentes y mejores prácticas en gestión de servicios fue fundamental para orientar el camino a seguir.

Se utilizaron herramientas como la matriz DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades), para evaluar la situación del INIMET en el ámbito de transformación digital. Esta herramienta permitió identificar claramente los puntos fuertes que podían ser aprovechados, así como las debilidades y amenazas que necesitan ser abordadas. Con los siguientes resultados, se establecieron estrategias para maximizar las oportunidades del entorno digital.

Debilidades

- Equipamiento obsoleto.
- Personal con pocas habilidades y competencias digitales relevantes.
- Presupuesto restringido.
- Poca experiencia en implementación de tecnología.
- Resistencia al cambio.
- No existe la integración con otro sistema.
- Falta de personal especializado.

Fortalezas

- Compromiso de la alta dirección, apoyo claro y activo de los líderes de la organización.
- Mentalidad abierta al cambio y la adopción de nuevas tecnologías.
- Existe amplia experiencia en los procedimientos y normativas de servicios.
- Silos organizacionales, buena comunicación y colaboración entre departamentos.
- Red informática activa.
- Conectividad estable y contratada oficialmente.

Amenazas

- Aumento de precio de insumos y servicios ofimáticos
- Adopción de cultura, la TD puede no ser recibida por todos los trabajadores y clientes
- Baja disponibilidad de proveedores confiables para los servicios de reparación y mantenimiento.
- Baja disponibilidad del personal externo que puede ser contratado en el instituto

Oportunidades

- Avances tecnológicos, nuevas herramientas que pueden mejorar la eficiencia operativa
- Proceso de transformación digital del instituto
- Cambio en el comportamiento de los consumidores, los clientes están más abiertos a interactuar en línea
- Colaboración con otras empresas
- Coyuntura nacional favorable a la TD

El Organigrama de estructura y composición permitió visualizar la estructura actual de los medios que se tienen para lograr la digitalización. (Ver Figura 1).

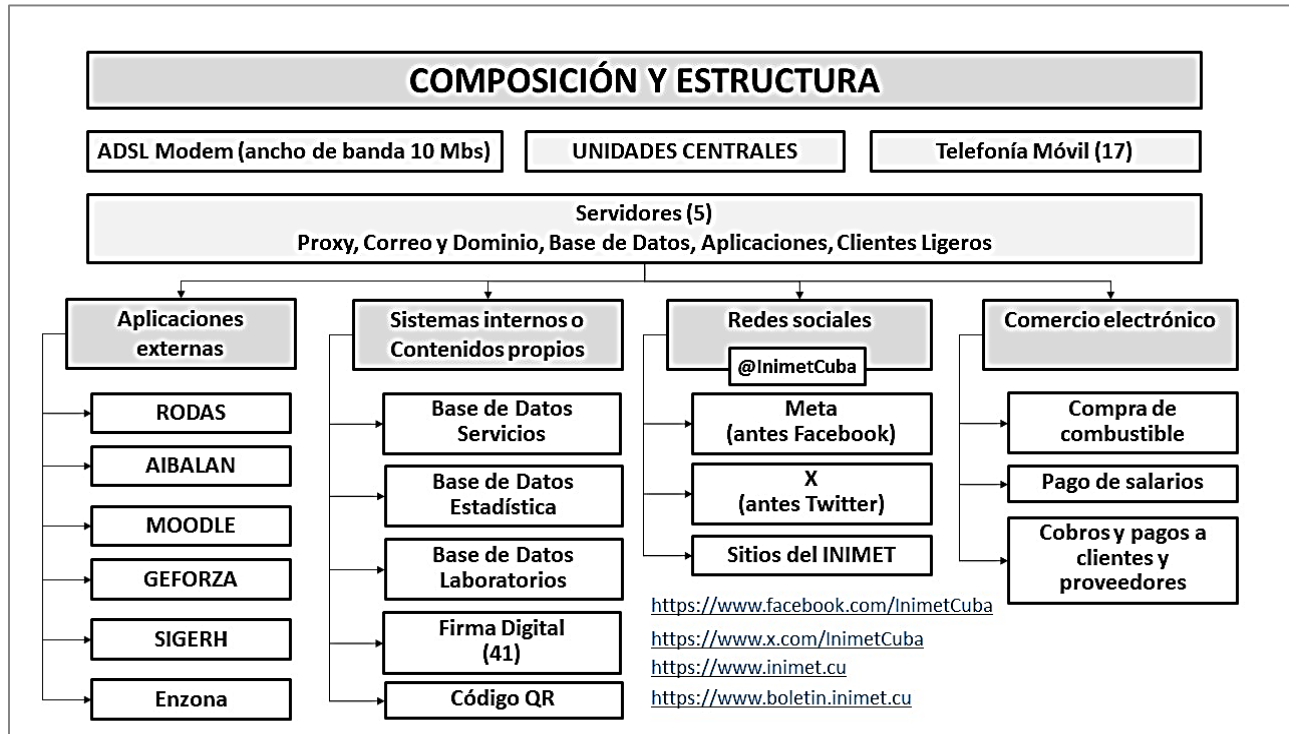


Figura 1. Organigrama de la composición y estructura de los medios.

Esta figura muestra la estructura en función de la capacidad de los medios informáticos que posee el INIMET en la actualidad, además de las distintas aplicaciones y bases de datos que se encuentran informatizadas y se deben digitalizar.

En la figura 1:

- **Las aplicaciones externas** son los programas que provienen del exterior del INIMET y se utilizan en distintos procesos:

RODAS XXI: Sistema Integral de Gestión Económica Administrativa, versión 3, sobre SQL Microsoft Windows XP, 2003. Cuenta con los módulos de: Facturación, almacén, contabilidad, Recursos humanos, estadística, inventario, activos fijos, nómina, finanzas, útiles y herramientas.

AIBALAN: Sistema de planificación del Ministro de la construcción para la gestión y control de los recursos constructivos, tanto para las actividades de inversiones como mantenimiento

MOODLE: Plataforma informática de aprendizaje combinado, la educación a distancia, el aula invertida y otros esquemas de aprendizaje.

GEFORZA: Sistema que se utiliza en los departamentos de Recursos Humanos para el control y organización de fuerza laboral.

SINGERH: Sistema que permite la creación, aprobación y publicación de la estructura organizativa de las instituciones.

Enzona: Aplicación de la pasarela digital que se utiliza para los cobros y pagos de los servicios que oferta y recibe el instituto.

- **Sistemas internos o contenidos propios.** Lo integran:

Bases de datos internas del instituto: Herramientas para recopilar y organizar información sobre los servicios prestados, las estadísticas de gestión y los registros de los laboratorios de calibración y verificación.

Firma digital: Mecanismo criptográfico que permite al receptor de un mensaje firmado digitalmente identificar a la entidad originadora de dichos mensajes.

Códigos QR: En la gestión de contratación, está conformado por toda la información que se entrega al cliente y se muestra a continuación. (Ver Figura 2A: Código QR con la información de la contratación de servicios metrológicos y Figura 2B: Código QR que se visualiza en los móviles).



Figura 2A: Código QR con la información para la contratación de servicios metrológicos que brinda el INIMET.

Lista de documentos dentro del código QR

- Contrato marco
- Suplemento por cambios de tarifa.
- Ficha de Cliente
- Certificado del abogado
- Listado de precio vigentes
- Resoluciones de tarifas
- Plan de capacitación del año
- Documento en Word de cómo proceder
- Documento de entrega de demanda

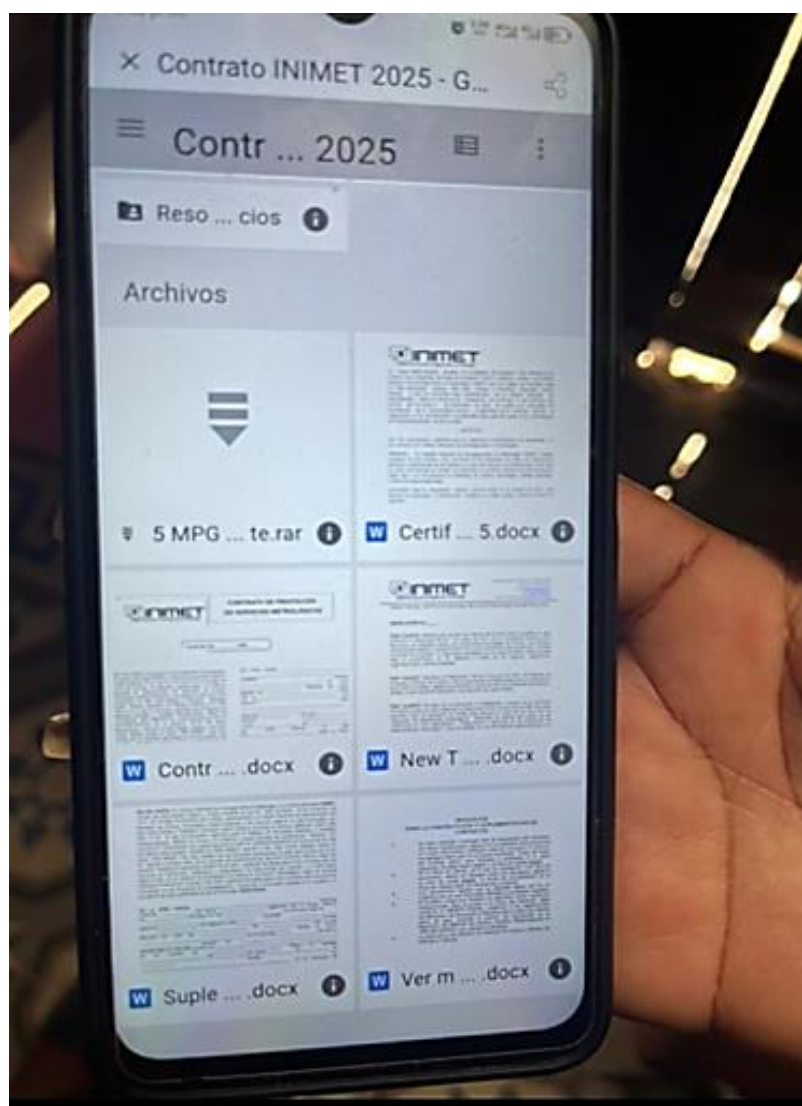


Figura 2B: Vista móvil del contenido del Código QR.

- **Redes sociales:** Son las plataformas digitales formadas por el INIMET para interactuar con comunidades de individuos con los mismos intereses, actividades o relaciones en común. Conformadas por perfiles en las redes sociales digitales Meta (antes *Facebook*) y X (antes *Twitter*) con el usuario @InimetCuba y el sitio web de la institución, con un subdominio para la revista científica de la Metrología cubana, el Boletín Científico Técnico INIMET.
- **Comercio electrónico:** Conecta proveedores con clientes y permite el intercambio a través de internet. Operaciones o transacciones comerciales a través de medios de electrónicos o cualquier tecnología, por tanto, incluye las tarjetas magnéticas y la aplicación Enzona, que son los primeros pasos.

Se realizó un análisis de tendencia con el fin de predecir comportamientos futuros en la transformación digital. (Ver Figura 3).

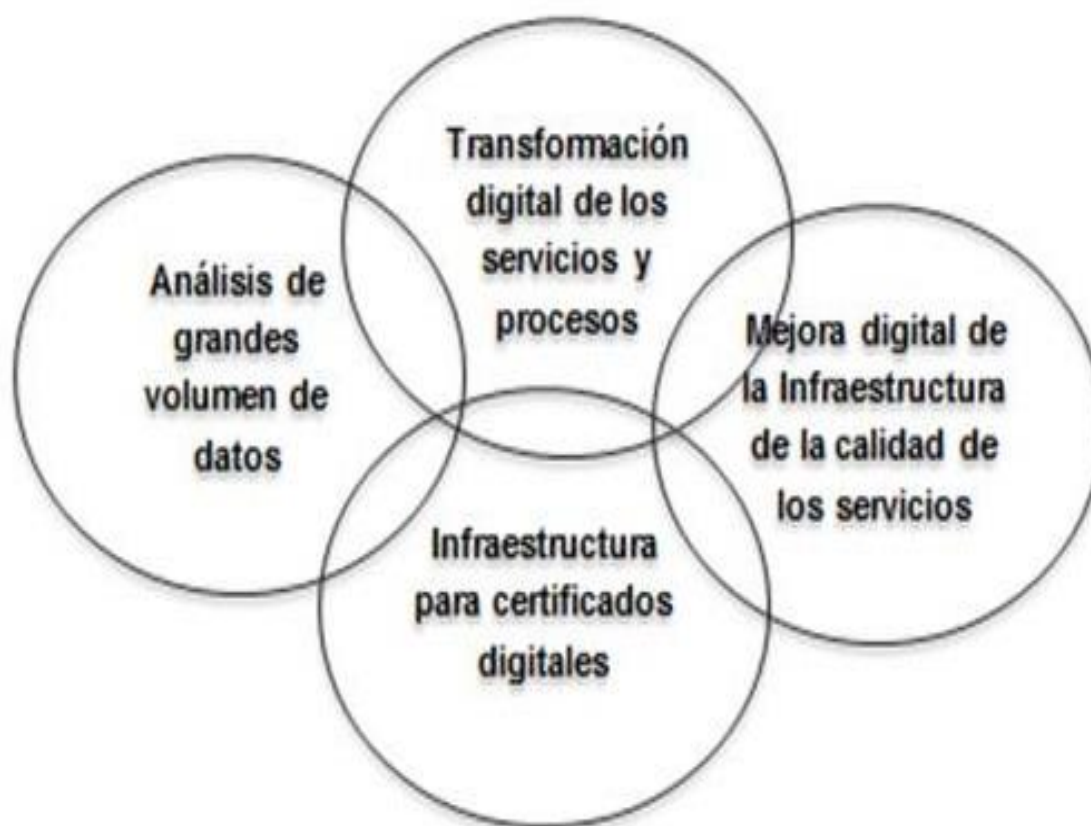


Figura 3: Tendencia de la transformación digital en el INIMET.

A. Transformación digital de los servicios y procesos metrológicos.

La atención se centra en la mejora digital de la infraestructura de la calidad y atención a clientes, estandarizar procesos de negocio, mejorar funciones internas y satisfacer clientes.

B. Metrología en el análisis de grandes volúmenes de datos.

El objetivo es el desarrollo de métodos de análisis metroológicos para grandes cantidades de datos y la evaluación de métodos de aprendizaje automático para “*Big Data*”, con el enfoque en aplicaciones metroológicas existentes y cada vez más relevantes para la industria, en las que hay que procesar grandes cantidades de datos.

C. Infraestructura para certificados digitales.

Una infraestructura para certificados de calibración digitales a través del establecimiento de una nube de metrología como infraestructura de la calidad digital para armonizar y desarrollar la evaluación de la conformidad y la vigilancia del mercado.

D. Mejora digital de la infraestructura de la calidad de servicios.

El establecimiento de una plataforma central fiable, que permita el acoplamiento de infraestructuras de datos y bases de datos existentes y un acceso diferenciado de todos los clientes garantizará, sin dudas, una mejora importante en la calidad de los servicios que presta el INIMET y en la calidad percibida por los clientes.

Se elaboró un mapa de tendencias que incluyó diferentes categorías. Este mapa proporciona una representación visual de las dinámicas actuales y futuras que influyen en el proyecto. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Mapa de tendencias

Categoría	Tendencia	Impacto	Evolución Temporal
Tecnología	Evolución del software de gestión	Alto	Presente - Futuro
Experiencia del Cliente	Interacción digital y expectativas	Medio-Alto	Creciente
	Transparencia y seguimiento en tiempo real	Alto	Futuro
Normativas y Regulaciones	Cumplimiento de las normas NC ISO 9001:2015, NC ISO/IEC 17025:2017	Alto	Constante
	Alineación con normas internacionales	Medio-Alto	Constante - Futuro
Sostenibilidad	Metodologías ecológicas y reducción de la huella de carbono	Medio-Alto	Creciente
	Eficiencia energética	Medio-Alto	Creciente
Personas	Adaptación a nuevas herramientas digitales	Medio	Creciente
	Formación y capacitación continua	Medio	Creciente
Cultura organizacional	Gestión del cambio y de la resistencia al cambio.	Medio	Presente - Futuro
	Cultura de innovación	Medio	Creciente
Servicio	Mejora en tiempos y calidad del servicio.	Alto	Presente - Futuro
	Campañas de comunicación con enfoque en la transparencia.	Medio	Presente - Futuro

En la Tabla 1 se integran categorías tales como tecnología, experiencia del cliente, regulaciones, sostenibilidad, personas, cultura organizacional y servicio. Esto permitió al INIMET visualizar el panorama actual y anticipar movimientos futuros en el ámbito de la metrología. Además de establecer los indicadores para medir en el futuro los avances del proyecto.

2) Conceptualizar la Transformación Digital en el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología

Se elaboró y difundió la política de transformación digital que establece lineamientos y principios que guiarán al INIMET en su proceso de modernización. Esta política proporciona un marco sólido para futuras iniciativas digitales y asegura que todos los esfuerzos estén alineados con los objetivos estratégicos del instituto.

La Política de transformación digital se aprobó en la versión 3, consta de 13 páginas, incluyendo: Resumen; Introducción; Desarrollo; Valoración económica y Aporte Social; Conclusiones y Recomendaciones; Bibliografía y Anexos.

Los autores declaran el uso ético de la inteligencia artificial (Figura 4) como una herramienta para agilizar procesos, generar ideas y corrección de estilo.

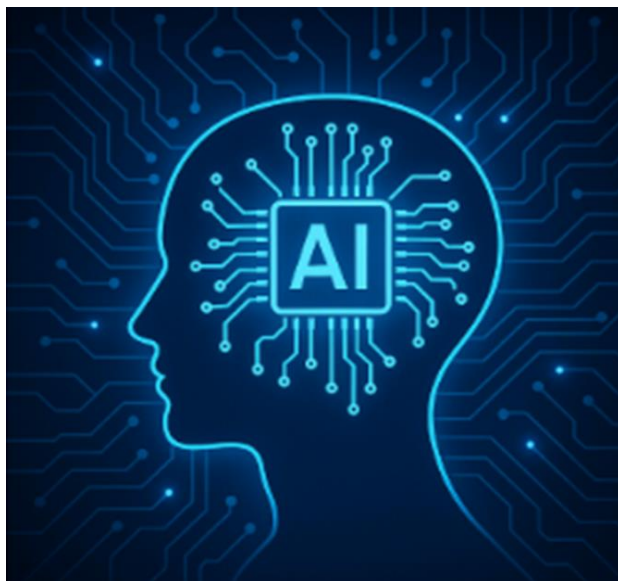


Figura 4: Inteligencia artificial (IA)

3) Desarrollar la plataforma METROTEC para la gestión de servicios científico-técnicos.

Se aplicó el diagrama OTIDA (Operaciones, Transporte, Inspección, Demora y Actividades), también conocido como (Objetivos, Temas de interés, dinámicas, Recursos y Actividades) para mapear las metas del INIMET en el contexto de su transformación digital. Esta herramienta facilitó la tarea técnica proporcionando una guía clave sobre cómo proceder con la implementación de la plataforma digital de los procesos metrologógicos P04A (Verificación de instrumentos de medición), P04B (Calibración de instrumentos de medición) y P06 Gestión de Servicios. (ver Figura 5). Además, ilustra la interconexión entre distintas actividades y áreas.

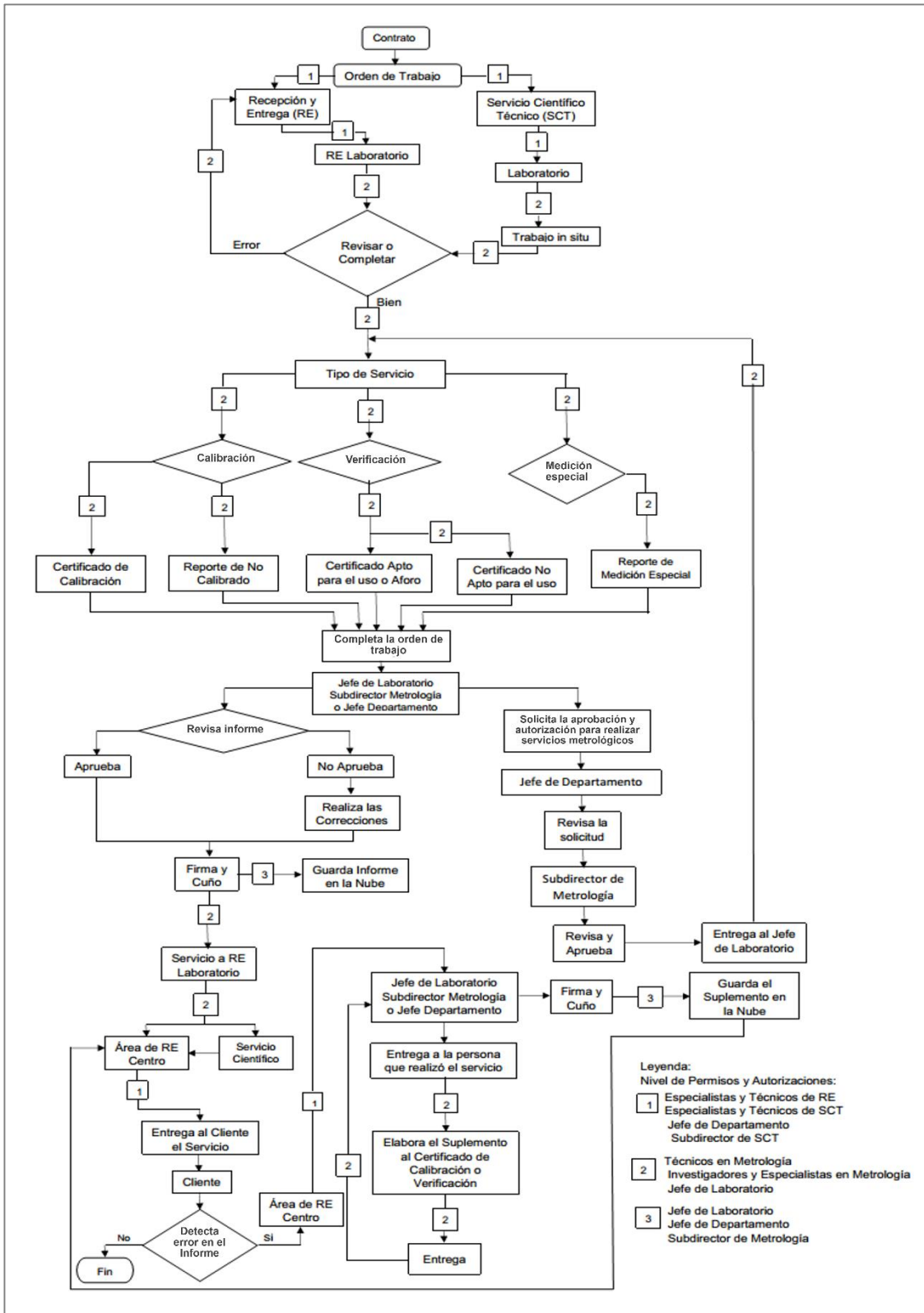


Figura 5: Diagrama OTIDA de los procesos P04A (verificación), P04B (calibración) y P06 (Gestión de servicios)

3. Resultados

Los hallazgos fundamentales y resultados parciales de las etapas ejecutadas del proyecto son los siguientes:

- El análisis del estado del arte resaltó la necesidad de incorporar tecnologías emergentes en la gestión de datos y servicios, incluyendo inteligencia artificial y plataformas en la nube, según las tendencias mundiales en la transformación digital.
- La matriz DAFO reveló que, aunque el INIMET posee una sólida reputación en metrología, enfrenta desafíos relacionados con la falta de infraestructura digital y la resistencia al cambio dentro de la organización.
- El organigrama de composición y estructura mostró la situación actual de los medios digitales con que cuenta el INIMET para enfrentar la transformación digital.
- El Diagrama OTIDA puede ser utilizado como tarea técnica para el inicio del desarrollo de una plataforma digital que integre los diferentes servicios ofrecidos por el INIMET, permitiendo una mejor atención al cliente y un seguimiento más efectivo de las solicitudes.
- Se estableció una política clara de transformación digital para el INIMET, definiendo los objetivos, estrategias y recursos necesarios para impulsar la modernización.

4. Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que la transformación digital del INIMET no solo es viable, sino necesaria. Las herramientas empleadas, como la matriz DAFO, el diagrama OTIDA y las otras, proporcionarán una visión clara de la situación actual de la organización y sus necesidades futuras.

Sin embargo, implementar estos cambios requerirá un compromiso sostenido de parte del personal y la dirección del INIMET. Es fundamental abordar las barreras culturales al cambio y proporcionar formación adecuada para asegurar que todos los miembros del equipo estén alineados con la nueva visión digital.

5. Conclusión

La transformación digital del INIMET presenta una oportunidad única para mejorar la eficiencia operativa y proporcionar un servicio de mayor calidad. Los pasos dados en el diagnóstico y el desarrollo de políticas digitales sientan las bases para un futuro prometedor. Este proceso también tiene el potencial de servir como modelo para otras instituciones en el ámbito de la metrología y más allá. La continuación de esta transformación no solo beneficiará al INIMET, sino que también contribuirá a una mejora en la confianza pública hacia los estándares de calidad en la medición.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen a todo el equipo del INIMET por su compromiso y dedicación en este proyecto de transformación digital. Sus esfuerzos han sido fundamentales para el desarrollo de este artículo y para el éxito del proyecto.

7. Bibliografía consultada

- Consejo de Estado de la República de Cuba. Decreto Ley No. 35 “De las Telecomunicaciones, las Tecnologías de la Información y la Comunicación y el uso del Espectro Radioeléctrico”, de 13 de abril de 2021. Gaceta Oficial No. 92 Ordinaria, del 17 de agosto de 2021. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-92-ordinaria-de-2021>
- ____ Decreto Ley No. 370 “Sobre la informatización de la sociedad en Cuba”, de 17 de diciembre de 2018. Gaceta Oficial No. 45 Ordinaria, el 4 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-45-ordinaria-de-2019>
- Consejo de Ministros de la República de Cuba. Decreto No. 42 “Reglamento General de Telecomunicaciones y las Tecnologías de la Información y la Comunicación”, de 24 de mayo de 2021. Gaceta Oficial No. 92 Ordinaria, del 17 de agosto de 2021. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-92-ordinaria-de-2021>
- ____ Decreto No. 359 “Sobre el Desarrollo de la industria cubana de programas y aplicaciones informáticas”, de 31 de mayo de 2019. Gaceta Oficial No. 45 Ordinaria, el 4 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-45-ordinaria-de-2019>
- Ministerio de Comunicaciones de la República de Cuba. Política para la Transformación Digital, Agenda Digital Cubana y Estrategia de Inteligencia Artificial. 29 de mayo de 2024. Disponible en: <http://media.cubadebate.cu/wp-content/uploads/2024/06/Politica-de-Transformacion-Digital-de-Cuba-Agenda-Digital-y-Estrategia.pdf>
- ____ Resolución 108/2021 “Reglamento de Interconexión, Acceso e Instalaciones Esenciales de Redes de Telecomunicaciones”. Gaceta Oficial No. 92 Ordinaria, del 17 de agosto de 2021. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-92-ordinaria-de-2021>
- ____ Resolución 124/2019 “Reglamento para la producción de los programas y aplicaciones informáticas y la evaluación de su calidad.” Gaceta Oficial No. 45 Ordinaria, el 4 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-45-ordinaria-de-2019>
- ____ Resolución 125/2019 “Sistema de inscripción de programas y aplicaciones informáticas. Gaceta Oficial No. 45 Ordinaria, el 4 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-45-ordinaria-de-2019>
- ____ Resolución 128/2019 “Reglamento de seguridad de las tecnologías de la información y la comunicación”. Gaceta Oficial No. 45 Ordinaria, el 4 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-45-ordinaria-de-2019>
- ____ Resolución 129/2019 “Metodología para la Gestión de la Seguridad Informática”. Gaceta Oficial No. 45 Ordinaria, el 4 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-45-ordinaria-de-2019>
- Oficina Nacional de Normalización / Organización Internacional de Normalización / Comisión Electrotécnica Internacional **NC ISO/IEC 27001:2023** Seguridad de la Información, Ciberseguridad y Protección a la privacidad – Sistema de gestión de seguridad de la información – Requisitos (ISO/IEC 27001:2022, IDT)

Metrología, innovación y Gestión Organizacional
Metrology, Innovation, and Organizational Management

Lic. José Andrés Zaldívar Chacón

Correo electrónico: director@inimet.cuCódigo ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7541-7754>

M.Sc. Regla Inchaurtieta Ramos

Correo electrónico: regla@inimet.cuCódigo ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8942-9948>

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), La Habana, Cuba

Resumen

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial y la creciente digitalización, la innovación se ha consolidado como el motor principal de la competitividad y la sostenibilidad empresarial. Sin embargo, la innovación desprovista de una base empírica y cuantificable corre el riesgo de permanecer en el ámbito de las ideas abstractas, sin generar valor tangible. Este artículo presenta un análisis conceptual sobre el rol fundamental y estratégico de la metrología —la ciencia de las mediciones— como pilar indispensable para la innovación efectiva y la gestión organizacional avanzada. A partir de la premisa "Sin Metrología, la innovación es sólo una idea", se argumenta que la capacidad de medir con precisión, trazabilidad y confiabilidad es la condición habilitante para transformar conceptos innovadores en realidades tecnológicas, productos y procesos optimizados. Se explora cómo la metrología trasciende su visión tradicional de simple verificación y cumplimiento para convertirse en una herramienta estratégica de creación de valor, impactando directamente en la toma de decisiones, la optimización de procesos, la gestión de riesgos y la confianza del cliente. El estudio profundiza en la aplicación de este principio en sectores como la nanotecnología, la biotecnología y las energías renovables, y examina el papel crítico de la metrología en nuevos mercados como el de carbono. Se propone un modelo de "ciclo virtuoso" (Medir, Innovar, Crecer) donde la inversión en capacidades metroológicas alimenta la generación de datos confiables, que a su vez impulsan la innovación reproducible y el crecimiento sostenible. Finalmente, se redefine el rol del metrologo, pasando de un perfil técnico a uno de estrategia, cuya misión es integrar el pensamiento metroológico en el núcleo de la estrategia empresarial para construir un futuro basado en la confianza y el progreso.

Palabras Clave: metrología, innovación, gestión organizacional, pensamiento sistémico, toma de decisiones basada en datos.

Abstract

In the context of the Fourth Industrial Revolution and increasing digitalization, innovation has established itself as the primary driver of business competitiveness and sustainability. However, innovation devoid of an empirical and quantifiable basis risks remaining in the realm of abstract ideas, failing to generate tangible value. This paper presents a conceptual analysis of the fundamental and strategic role of metrology—the science of measurement—as an indispensable pillar for effective innovation and advanced organizational management. Based on the premise "Without Metrology, innovation is just an idea," it is argued that the ability to measure with precision, traceability, and reliability is the enabling condition for transforming innovative concepts into technological realities, optimized products, and processes. It explores how metrology transcends its traditional view of mere verification and compliance to become a strategic value-creation tool, directly impacting decision-making, process optimization, risk management, and customer trust. The study delves into the application of this principle in high-tech sectors such as

nanotechnology, biotechnology, and renewable energies, and examines the critical role of metrology in new markets like the carbon market. A "virtuous cycle" model (Measure, Innovate, Grow) is proposed, where investment in metrological capabilities fuels the generation of reliable data, which in turn drives reproducible innovation and sustainable growth. Finally, the role of the metrologist is redefined, shifting from a technical profile to that of a strategist, whose mission is to integrate metrological thinking into the core of business strategy to build a future based on trust and progress.

Keywords: metrology, innovation, organizational management, systems thinking, data-driven decision-making.

1. Introducción

La metrología, definida como la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, (NC OIML, 2020) constituye la infraestructura invisible sobre la cual se construye la confianza en los datos en todos los ámbitos de la actividad humana, desde la investigación científica hasta la producción industrial y el comercio internacional. Históricamente, su rol dentro de las organizaciones se ha limitado con frecuencia a los laboratorios de calibración y control de calidad, siendo vista como una función de soporte técnico y de cumplimiento normativo (Pendriell, 2014). Sin embargo, en el contexto económico actual, caracterizado por la globalización, la creciente complejidad tecnológica y la aceleración de los ciclos de innovación, esta perspectiva resulta insuficiente y limitante.

La capacidad de una organización para innovar se ha convertido en un determinante crítico de su supervivencia y éxito. La innovación no es un evento aislado, sino un proceso sistemático que requiere de información fiable, reproducible y trazable para reducir la incertidumbre inherente al desarrollo de lo nuevo. Es en este punto donde la metrología emerge como un catalizador fundamental. En este entorno, la capacidad de innovar no es simplemente una opción, sino un imperativo para la supervivencia, la competitividad y el crecimiento sostenible de cualquier organización. La innovación, entendida como un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de ambos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad y que se ha puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o ha sido incorporado al uso por la unidad (proceso) (OCDE/Eurostat, 2018), es el motor que permite a las empresas adaptarse a las demandas cambiantes del mercado y generar ventajas competitivas duraderas. Sin embargo, la literatura y la práctica empresarial a menudo se centran en los resultados de la innovación, descuidando un componente fundamental que subyace a todo el proceso: la capacidad de medir.

El presente trabajo se fundamenta en una premisa provocadora pero esencial: "Sin Metrología, la innovación es sólo una idea". Esta afirmación encapsula la tesis central de que la metrología, la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, constituye la infraestructura crítica y el lenguaje común que permite a la innovación trascender el plano conceptual para materializarse en valor tangible. Tradicionalmente, la metrología ha sido relegada a un rol de soporte técnico, asociada principalmente al control de calidad, la calibración de instrumentos y el cumplimiento de normas. Esta visión, si bien necesaria, es profundamente limitada y no captura el potencial estratégico de la disciplina en la era del conocimiento y los datos.

Este trabajo busca superar el paradigma tradicional de la metrología, proponiendo una visión estratégica que la posiciona como un catalizador fundamental para la innovación y un pilar del pensamiento sistémico en la gestión organizacional.

2. Materiales y métodos

El presente estudio adopta un enfoque de investigación conceptual y descriptivo. La metodología se basa en un análisis cualitativo y una síntesis argumentativa, estructurada en dos pilares fundamentales: 1. Análisis de Documento Fundacional: Se ha tomado como punto de partida el contenido del documento "Metrología, innovación y gestión organizacional" del Lic. José Andrés Zaldívar Chacón, del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) de Cuba. Este material, concebido originalmente como una presentación, se considera una fuente primaria de alta relevancia que encapsula una visión estratégica y vanguardista sobre el rol de la metrología. 2. Revisión Sistemática de la Literatura: Para dotar de robustez académica y actualidad al análisis, se ha complementado el documento fundacional con una revisión exhaustiva de la literatura científica reciente. La búsqueda se ha centrado en artículos de revistas de alto impacto (arbitradas), libros y reportes técnicos publicados preferentemente en los últimos cinco años (2020 a 2025), para asegurar la pertinencia y el alineamiento con el estado del arte. Las bases de datos consultadas incluyen Scopus, *Web of Science*, *Google Scholar* y *ScienceDirect*. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: "metrology", "innovation", "organizational performance", "systems thinking", y sus equivalentes en español.

3. Resultados y Discusión.

3.1. La Metrología como eje estratégico

El análisis revela una necesaria y urgente transición en la percepción y aplicación de la metrología dentro de las organizaciones. Esta sección desglosa dicha transición, explora sus implicaciones en sectores de vanguardia y propone un modelo cíclico que integra la medición como motor de crecimiento.

3.1.1. Superando el paradigma: De la visión tradicional a la creación de valor

La concepción histórica de la metrología la ha encasillado en un rol reactivo y de control. La "visión tradicional" la percibe como un mecanismo para "garantizar el cumplimiento" de normas y especificaciones, actuando como una especie de "policía de la medición". En este paradigma, el metrólogo es un técnico que verifica la conformidad de productos y procesos, y su función se activa principalmente cuando se detectan desviaciones. Su valor se mide en términos de prevención de no conformidades y aseguramiento de la calidad.

Sin embargo, el entorno competitivo actual exige un cambio radical hacia una "visión estratégica". Esta nueva perspectiva no reemplaza la función de verificación, sino que la subsume en un objetivo superior: la creación de valor. Como se ilustra en la Figura 1, la metrología evoluciona de ser un centro de costo enfocado en la verificación a ser un motor de valor estratégico.

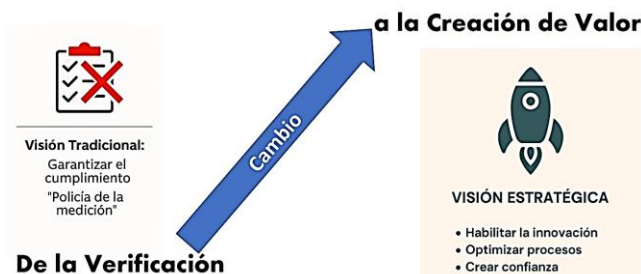


Figura 1. Transición de la Visión Tradicional a la Visión Estratégica de la Metrología. Fuente: Elaboración propia.

En esta visión estratégica, la metrología se convierte en un agente proactivo que contribuye directamente a los objetivos de negocio. Sus funciones clave se expanden para:

- La habilitación de la innovación, proporcionando las mediciones precisas y confiables que son indispensables para la investigación, el desarrollo y la validación de nuevas tecnologías y productos.
- La optimización de los procesos, generando datos fiables que permitan entender, controlar y mejorar continuamente los procesos productivos, reduciendo la variabilidad, minimizando desperdicios y aumentando la eficiencia.
- La creación de confianza, siendo la base objetiva que sustenta la calidad de los productos, la seguridad de los procesos y la transparencia en las transacciones, fortaleciendo la credibilidad ante clientes, reguladores y la sociedad en general.

Este cambio de paradigma es fundamental. Mientras la visión tradicional se enfoca en "medir cosas", la visión estratégica se enfoca en "habilitar el futuro". No se trata solo de calibrar un instrumento, sino de asegurar que los datos que ese instrumento genera sean la base para una decisión de inversión millonaria, para el lanzamiento de un producto disruptivo o para garantizar la seguridad de un paciente.

3.2. Sin Metrología, la innovación es sólo una idea: aplicaciones en sectores clave

La premisa central de este artículo se manifiesta con especial claridad en los sectores de alta tecnología, donde los límites del conocimiento se expanden constantemente y la precisión es un factor no negociable. La innovación en estos campos es intrínsecamente dependiente de la capacidad de medir fenómenos a escalas cada vez más pequeñas, con mayor exactitud y en entornos más complejos.

3.2.1. Nanotecnología y semiconductores

La industria de los semiconductores, motor de toda la revolución digital, se basa en la miniaturización continua de los transistores, siguiendo la Ley de Moore. Hoy en día, se fabrican chips con arquitecturas de 2 nanómetros (nm) y se buscan menores (ver Figura 2). A esta escala, la pregunta "¿Innovación sin medición atómica?" se vuelve retórica. La fabricación de estos dispositivos (litografía, deposición, grabado) requiere un control dimensional y de propiedades de materiales con exactitudes sub-nanométricas. La metrología dimensional avanzada, utilizando técnicas como la microscopía de fuerza atómica (AFM) y la microscopía electrónica de transmisión (TEM), no es un control de calidad al final del proceso, sino una parte integral y habilitante del mismo. Sin la capacidad de medir y controlar con fiabilidad estas dimensiones, la producción en masa de chips avanzados sería imposible, y la innovación en computación, inteligencia artificial y telecomunicaciones se detendría. Como señalan Zhao et al. (2025), la metrología óptica es una contribución esencial para la fabricación avanzada, ofreciendo la alta exactitud, necesaria para el progreso futuro.

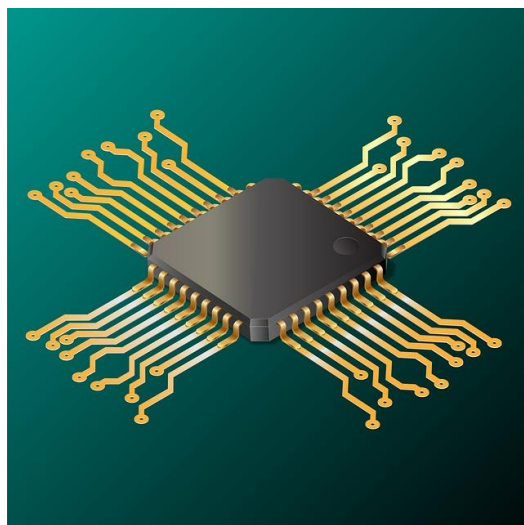


Figura 2. La frontera de la nanotecnología. La fabricación de semiconductores a escalas de 2 nm. Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/electrónica-procesador-ic-datos-3373109/>

3.2.2. Biotecnología y Salud

En el sector de la salud, la precisión puede ser la diferencia entre la vida y la muerte. El diagnóstico médico moderno depende de mediciones cuantitativas de biomarcadores en fluidos corporales. Por ejemplo, en una prueba de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), la cuantificación precisa de material genético viral es crucial para determinar la carga viral de un paciente. La pregunta "¿Diagnósticos precisos sin trazabilidad?" apunta al corazón de la metrología química y biológica. La trazabilidad metrológica asegura que el resultado de una medición en un hospital de La Habana sea comparable con el de un laboratorio en Tokio. Esto se logra a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones que llega hasta los materiales de referencia primarios y los métodos de referencia, mantenidos por los Institutos Nacionales de Metrología. Sin esta infraestructura de trazabilidad, la fiabilidad de los diagnósticos clínicos se desmoronaría, afectando la atención al paciente, la investigación epidemiológica y el desarrollo de nuevos fármacos y terapias. La metrología en este campo garantiza que las decisiones clínicas se basen en datos confiables.

3.2.3. Energías renovables y sostenibilidad

La transición energética hacia fuentes renovables como la solar y la eólica es una de las mayores innovaciones de nuestro tiempo, impulsada por la necesidad de combatir el cambio climático. La eficiencia es la palabra clave en este sector. La pregunta "¿Eficiencia sin medición certificada?" resalta el rol de la metrología en la optimización y validación del rendimiento de estas tecnologías (ver Figura 3). La potencia de salida de un panel fotovoltaico debe medirse bajo condiciones estándar de irradiación solar y temperatura para que su ficha técnica sea fiable. La eficiencia de una turbina eólica depende de mediciones precisas de la velocidad del viento y del rendimiento de sus componentes. La innovación en este campo, como el desarrollo de nuevos materiales para celdas solares o diseños de palas más aerodinámicas, requiere una mejora paralela en las técnicas de medición para cuantificar de forma fiable los incrementos de eficiencia. La metrología no solo valida el rendimiento, sino que también proporciona los datos necesarios para optimizar el diseño y la operación de plantas enteras, maximizando la generación de energía y la rentabilidad de la inversión.



Figura 3. Medición para la sostenibilidad. La eficiencia y rentabilidad de las energías renovables dependen de mediciones certificadas que validen su rendimiento y guíen la innovación. Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/turbina-eólica-energía-eólica-6915012/>.

3.3. La Metrología como columna vertebral del pensamiento sistémico

La visión estratégica de la metrología la posiciona como un elemento central del pensamiento sistémico organizacional. En un sistema complejo como una empresa, las diferentes funciones (operaciones, finanzas, marketing, I+D) están interconectadas. La metrología, al proporcionar un "lenguaje común" basado en datos objetivos y confiables, actúa como el tejido conectivo que integra estas funciones.

Como se esquematiza en la Figura 4, los "datos confiables" son el núcleo del que dependen y al que contribuyen las funciones críticas de la organización. La toma de decisiones estratégicas, la optimización de procesos, la gestión de riesgos y la construcción de la confianza del cliente no son posibles sin una base de datos robusta y veraz. La metrología es la disciplina que asegura la integridad de esa base de datos en la toma de decisiones, la optimización de los procesos, la gestión de riesgos y la confianza del cliente.

Las decisiones estratégicas, como entrar en un nuevo mercado o realizar una gran inversión, se basan en proyecciones y análisis. Si los datos de entrada (ej. rendimiento de producción, costes, calidad) son imprecisos, el análisis será erróneo y la decisión, arriesgada.

Metodologías como *Six Sigma* o *Lean Manufacturing* dependen de la medición, análisis, mejora y control. El primer paso, la medición, es fundamental, porque sin mediciones precisas de la variabilidad del proceso, es imposible identificar las causas raíz de los problemas y optimizarlo. Por otra parte, la evaluación de riesgos (operativos, financieros, de reputación) requiere cuantificar la probabilidad y el impacto de eventos adversos. En este caso, la metrología proporciona los datos para modelar estos riesgos de manera más precisa, pasando de una gestión cualitativa a una cuantitativa.

Y, por último, la confianza se construye sobre la consistencia. Un cliente confía en una marca cuando el producto o servicio que recibe cumple consistentemente con sus expectativas. Esa consistencia es el resultado de procesos controlados, y ese control se basa en mediciones confiables.

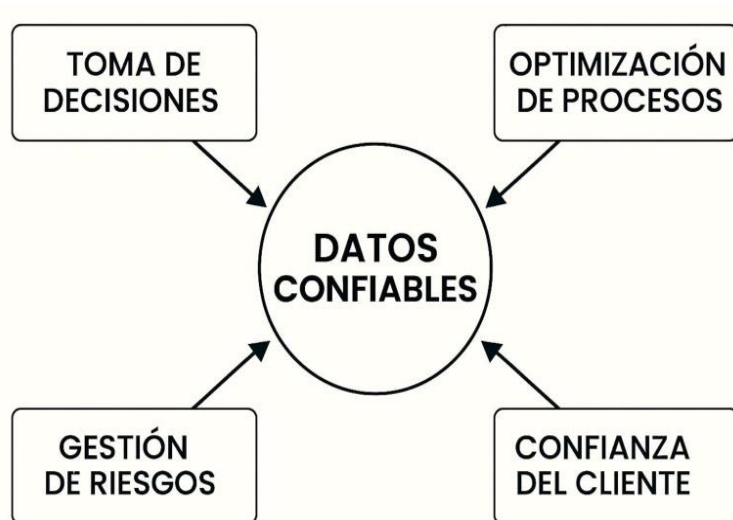


Figura 4. La Metrología como Columna Vertebral del Pensamiento Sistémico. Los datos confiables, garantizados por la metrología, son el fundamento para las funciones críticas de la gestión organizacional. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, la metrología no es una función aislada del departamento de calidad. Es la columna vertebral que soporta la inteligencia de toda la organización, permitiendo que las diferentes partes del sistema se comuniquen y operen de manera coherente y alineada con los objetivos estratégicos.

3.4. El Ciclo virtuoso: medir, innovar, crecer

La integración de la metrología en la estrategia organizacional no es un acto único, sino un proceso dinámico y continuo que puede describirse como un "ciclo virtuoso". Este ciclo, ilustrado en la Figura 5, demuestra cómo la inversión en capacidades de medición se traduce en un crecimiento sostenible y una mayor competitividad.



Figura 5. El Ciclo Virtuoso de la Metrología y la Innovación.
Fuente: Elaboración propia.

El ciclo se compone de cuatro etapas interdependientes:

1. **Medir con exactitud:** El punto de partida es la capacidad de realizar mediciones precisas, exactas y trazables. Esto requiere no solo instrumentos calibrados, sino también personal competente, métodos validados y un entorno controlado. Esta es la base de todo el ciclo.
2. **Generar datos confiables:** Las mediciones exactas producen datos confiables. Estos datos son una representación fiel de la realidad de los procesos y productos. La confianza en los datos es lo que permite a los gerentes e ingenieros tomar decisiones informadas, en lugar de basarse en la intuición o en información anecdótica.
3. **Impulsar la mejora y la innovación:** Con datos confiables, las organizaciones pueden identificar oportunidades de mejora en sus procesos existentes (innovación incremental) y validar el rendimiento de nuevas ideas radicales (innovación disruptiva). La innovación deja de ser un ejercicio de prueba y error a ciegas y se convierte en un proceso sistemático y basado en evidencia. La capacidad de innovación es un mediador clave entre la orientación estratégica y el desempeño de la empresa, y la metrología potencia esta capacidad mediadora.
4. **Lograr crecimiento y ventaja competitiva, lo que justifica la inversión en Metrología:** La innovación exitosa y la mejora continua se traducen en productos de mayor calidad, procesos más eficientes, mayor satisfacción del cliente y, en última instancia, en un mejor desempeño de mercado y una mayor rentabilidad. Este éxito genera los recursos y, lo que es más importante, la justificación estratégica para reinvertir en capacidades metrológicas (mejores instrumentos, más formación, investigación en nuevas técnicas de medición), cerrando así el ciclo y elevando a la organización a un nivel superior de competitividad.

Este ciclo virtuoso transforma la metrología de un gasto necesario en una inversión estratégica con un retorno medible. La clave es el paso de la incertidumbre a la confianza. Como se visualiza en la Figura 6, las mediciones son el puente que permite a una organización pasar de un estado de incertidumbre (con decisiones arriesgadas e innovación estancada) a un estado de confianza (con decisiones basadas en datos e innovación reproducible), lo que finalmente conduce a una mayor credibilidad y éxito en el mercado.

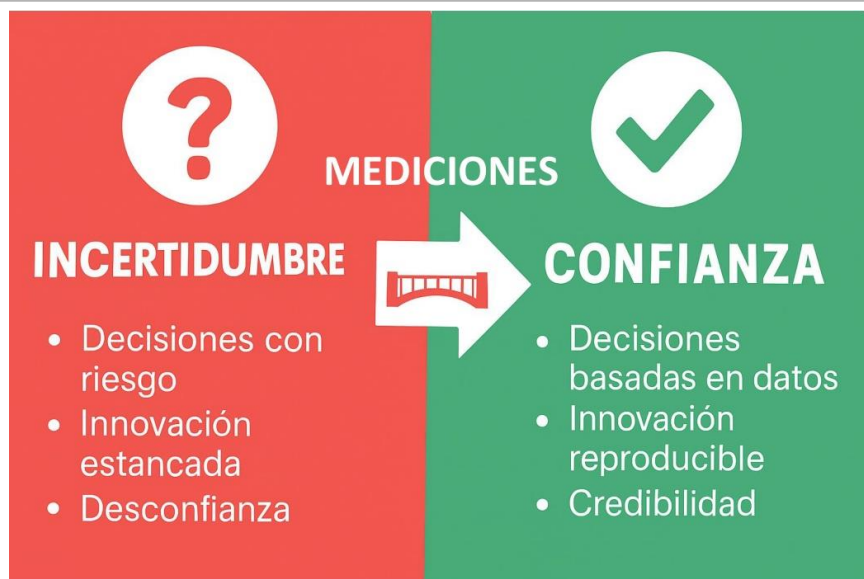


Figura 6. Las Mediciones como Puente de la Incertidumbre a la Confianza.
Fuente: Elaboración propia.

3.5. Caso de estudio emergente: El mercado de carbono

Un ejemplo contemporáneo que ilustra perfectamente el rol estratégico de la metrología es el mercado de carbono. Este mercado se basa en la idea de que las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) pueden cuantificarse y comercializarse como "créditos de carbono". El valor financiero de estos créditos y el impacto climático real del mercado dependen enteramente de un principio: la confianza en que una tonelada de CO₂e (dióxido de carbono equivalente) reportada como reducida o eliminada ha sido, en efecto, reducida o eliminada.

La metrología es el pilar de esta confianza. Como se detalla en la Figura 7, la "medición exacta, trazable y confiable de GEI" es la base para la "confianza y verificación" que certifica las reducciones de emisiones. Sin esta base metrológica, el sistema colapsa:

- Sin Metrología: El mercado se enfrenta a un alto "riesgo de *greenwashing*, fraude y fracaso climático". Si las mediciones de las emisiones de referencia (línea de base) o las mediciones post-proyecto no son exactas, los créditos generados no representan una reducción real. Esto no solo constituye un fraude financiero, sino que socava el propósito mismo del mecanismo, que es mitigar el cambio climático.
- Con Metrología: Un sistema con una sólida infraestructura metrológica (que incluye sensores calibrados, modelos validados, laboratorios acreditados y auditores competentes) conduce a un "mercado transparente, créditos válidos e impacto real". La confianza en la medición es lo que da valor y legitimidad al crédito de carbono.

Este caso demuestra que la Metrología no es solo una cuestión técnica de medir flujos de gases, sino un elemento de gobernanza económica y ambiental. La innovación en tecnologías de captura de carbono, en agricultura regenerativa o en eficiencia energética solo puede ser monetizada en estos mercados si el impacto climático puede ser medido y verificado de forma irrefutable, un rol que solo la Metrología puede cumplir.



Figura 7. El Rol Crítico de la Metrología en la Integridad del Mercado de Carbono. Fuente: Elaboración propia.

4. El Nuevo rol del metrólogo: De técnico a estratega

La transición de la metrología desde una función de soporte técnico a un pilar estratégico implica necesariamente una evolución en el rol del profesional de la metrología. El desafío para los metrólogos y los líderes de las organizaciones es reconocer y cultivar este nuevo perfil: el metrólogo como estratega.

Ser un estratega, y no solo un técnico, implica un cambio fundamental en la mentalidad, las habilidades y el posicionamiento dentro de la organización. Este nuevo rol se define por tres imperativos clave:

1. Comunicar el valor en términos de negocio: El metrólogo estratega debe ser capaz de traducir los conceptos técnicos de la metrología (incertidumbre, trazabilidad, calibración) al lenguaje del negocio (riesgo, rentabilidad, competitividad, innovación). En lugar de decir "la incertidumbre de esta medición es de $\pm 0,1\%$ ", debe ser capaz de explicar: "esta incertidumbre de $\pm 0,1\%$ nos permite reducir el riesgo de producir lotes defectuosos en un 5 %, ahorrando X cantidad de dinero al año y mejorando la confianza del cliente". Esta habilidad para conectar el lenguaje técnico con el impacto en el negocio es crucial para que la alta dirección comprenda y valore la función metrológica como una inversión estratégica.
2. Participar en las mesas de decisión estratégica: Si la metrología es fundamental para la innovación y la estrategia, sus expertos deben estar presentes donde se toman las decisiones.

El metrologo estratega no puede permanecer aislado en el laboratorio. Debe participar activamente en los comités de desarrollo de nuevos productos, en las reuniones de planificación estratégica y en los equipos de gestión de riesgos. Su perspectiva es vital para evaluar la viabilidad técnica de un proyecto innovador, para anticipar las necesidades de medición que surgirán y para asegurar que los objetivos estratégicos se basen en datos realistas y alcanzables. Su rol es preguntar: "¿Cómo vamos a medir el éxito de esta innovación? ¿Tenemos la capacidad para hacerlo? ¿Cuál es el riesgo si no podemos medirlo con la confianza requerida?".

3. Integrar el pensamiento metrológico desde el diseño: El enfoque más efectivo es proactivo, no reactivo. El metrologo estratega trabaja para "integrar el pensamiento metrológico desde el diseño de los productos y procesos". Esto significa considerar los requisitos de medición desde las primeras etapas conceptuales de un proyecto. Al hacerlo, se pueden evitar costosos rediseños y problemas de producción en etapas posteriores. Se asegura que el producto sea "diseñado para ser medible" y que los procesos sean "diseñados para ser controlables". Esta integración temprana es la máxima expresión de la metrología como disciplina estratégica y preventiva, en lugar de correctiva.

En resumen, la misión del metrologo moderno trasciende la simple ejecución de mediciones. Su misión es crear la confianza que impulsa el progreso. Son los habilitadores del futuro, los guardianes del lenguaje común de la innovación y los arquitectos de la infraestructura crítica para la organización inteligente. Este cambio de rol requiere no solo habilidades técnicas profundas, sino también competencias en comunicación, visión de negocio y pensamiento estratégico.

5. Conclusiones

Este artículo ha argumentado que la metrología, la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, debe ser reposicionada desde su rol tradicional como una función técnica de soporte a un pilar central de la estrategia empresarial en el siglo XXI. La premisa "Sin Metrología, la innovación es sólo una idea" no es una hipérbole, sino una realidad fundamental en un mundo impulsado por los datos, la exactitud y la tecnología. La capacidad de una organización para innovar de manera sostenible y competir eficazmente está intrínsecamente ligada a su capacidad para medir de manera confiable.

6. Referencias Bibliográficas

- Oficina Nacional de Normalización – Organización Internacional de Metrología Legal. **NC OIML V2-200:2020**. Vocabulario internacional de metrología — Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) (OIML V2-200:2012, IDT). 3ª edición, Agosto 2020.
- Pendrill, L. R. (2014). *Quality Assured Measurement: Unification across Social and Physical Sciences*. Springer Series in Measurement Science and Technology. Springer. Springer Series in Measurement Science and Technology ISBN 978-3-030-28694-1 ISBN 978-3-030-28695-8 (eBook). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28695-8>
- OCDE/Eurostat (2018), Manual de Oslo 2018: Directrices para la recopilación, el reporte y el uso de datos sobre innovación, 4.ª edición, La medición de las actividades científicas, tecnológicas y de innovación, Publicaciones de la OCDE, París/Eurostat, Luxemburgo. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Zhao, F., Zhang, Z., & Wang, Y. (2025). Revisión de técnicas de metrología óptica para aplicaciones de fabricación avanzada 16(11), 1224. DOI:10.3390/mi16111224. <https://www.mdpi.com/2072-666X/16/11/1224>

7. Bibliografía consultada

- Danijela Ciric, Jelena Borocki,, Danijela Gracanin, Bojan Lalic (2016). Methodologies For Measuring Innovation Performances. *ResearchGate*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/351811505_Methodologies_For_Measuring_Innovation_Performances Consultado: Noviembre 2025
- Blind, K. (2025). The Economic Effects of the Quality Infrastructure. En *International Encyclopedia of Public Policy*. Springer. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X25003045> Consultado: Noviembre 2025
- Cárdenas-García, J. F., Hoyos-Guatame, F. E., & Puentes-Fierro, L. A. (2025). Metrología 4.0: las nuevas tendencias en la Metrología del siglo XXI. *Revista Científica*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/387794627Metrologia_40_las_nuevas_tendencias_en_la_Metrologia_del_siglo_XXI Consultado: Noviembre 2025
- Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España (2019) La Metrología también existe. Disponible en: https://www.cem.es/sites/default/files/30363_lametrologiatambienexiste_web.pdf Consultado: Noviembre 2025.
- Del Campo, D., & Robles, J. A. (2012.). La Metrología, motor de innovación tecnológica y desarrollo industrial. *Revista Española de Metrología e-medida, Febrero 2012*. Disponible en: https://www.academia.edu/10209559/La_metrologia_motor_de_innovacion_tecnologica_y_desarrollo_industrial_Grupo_2 Consultado: Noviembre 2025.
- Duarte, M. P., Diz, A. M., & Breda, Z. (2025). The Measurement of Innovation: A Systematic Review and Thematic Analysis. *Journal of the Knowledge Economy*. DOI:10.3390/jtaer18010001. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2304-6775/13/3/31> Consultado: Noviembre 2025.
- Bach et al. (2019). Relationship Between Innovation and Performance in private companies: A Systematic Literature Review. *SAGE Open*, 9(2). DOI: 10.1177/2158244019855847. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2158244019855847> Consultado: Noviembre 2025.
- Morales, P., van der Vlist, A. J., & van der Loos, M. J. (2024). When do trademarks improve the measurement of innovation? An analysis of innovations from Dutch SMEs. *Science and Public Policy*, 51(5), 923–937. DOI: 10.1093/scipol/scae021. Disponible en: <https://academic.oup.com/spp/article-abstract/51/5/923/7693543> Consultado: Noviembre 2025
- Verus Metrology. (2024). The Future of Metrology: Trends and Innovations for 2024. *Verus Metrology Partner*. Disponible en: <https://www.verusmetrology.com/industry-news/metrology-trends/> Consultado: Noviembre 2025

PARTICIPACIÓN DEL INIMET EN EL CONGRESO IBEROAMERICANO IBERGECYT'25



Del 4 al 7 de noviembre de 2025, en el Palacio de Convenciones de La Habana, se desarrolló el Congreso Iberoamericano IBERGECYT'25, bajo el lema “Un espacio para la innovación y el pensamiento gerencial”.

En un marco propicio para el intercambio de saberes y experiencias, tuvo lugar el Taller “La metrología como ciencia indispensable para la innovación y el pensamiento organizacional”, con el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología como entidad coordinadora. La fecha escogida, 6 de noviembre, coincidió con la fecha en que, en el año 1964, fue creado por el comandante Ernesto Che Guevara, entonces ministro de Industrias, fundó el primer laboratorio de Metrología de la Dirección de Normas y Metrología de dicho ministerio.

Con una numerosa delegación, conformada por especialistas del INIMET y otros invitados, participantes en los proyectos de I+D+i que se ejecutan en la institución, en

el taller se presentaron ponencias que mostraron los resultados parciales de mayor relevancia e impacto para la sociedad cubana.

Las ponencias de la cartera de proyectos del INIMET que fueron expuestas en el Taller se concentran en tres líneas fundamentales:

- El aseguramiento metrológico de los sectores priorizados de la economía, desde las estaciones de carga de los vehículos eléctricos, la electromovilidad, la economía circular en el plástico y las mediciones de partes roscadas utilizadas en la industria de avanzada, hasta los metros contadores de líquidos diferentes del combustible, los termómetros infrarrojos de uso médico y la nanometrología aplicada a compuestos nanoestructurados.
- La transformación digital del Instituto Nacional de Metrología de Cuba.
- La formación y elevación de competencias de directivos, funcionarios y especialistas en materia de metrología, como motor de la innovación en las organizaciones.

AUDITORÍA DE MANTENIMIENTO AL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL INIMET

Durante los días 20 y 21 de noviembre, en el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, INIMET, se realizó exitosamente la tercera auditoría de mantenimiento al **Sistema de Gestión de la Calidad**, conforme a la norma **NC -ISO 9001:2015** y con alcance al proceso de **Capacitación externa**. La auditoría fue liderada por Jones Pellicier Amorós, auditor líder del Instituto de certificación SL (ICDQ).

Los resultados de la auditoría reflejan la solidez de los procesos y el enfoque al cliente en el INIMET. La no conformidad identificada ya ha sido abordada mediante un plan de acción correctiva, reafirmando el compromiso con la mejora continua y con el principio de que cada auditoría representa una oportunidad para fortalecer el sistema de gestión, identificar áreas de mejora y asegurar que los servicios que brinda la institución sigan cumpliendo con los requisitos de calidad.

La alta dirección del INIMET agradeció a todos los involucrados por su valiosa contribución, disposición y compromiso durante el proceso.



En la foto, de izquierda a derecha, los auditores ICDQ Evelyn de la Cruz Uriarte y Jones Pellicier Amorós (líder), Josefina Gibert Benítez, Jefa del Departamento de Contabilidad, José Andrés Zaldívar Chacón, Director y María de los Ángeles Álvarez Álvarez, Jefa del Departamento de Organización y Control del INIMET.

SERVICIOS QUE PRESTA EL INIMET /Services availables at INIMET

El INIMET presta servicios científicos y tecnológicos especializados en la esfera de la Metrología, consistentes en:

- Investigaciones y proyectos I+D+i en el campo de la Metrología.
- Mediciones de alta exactitud de diferentes magnitudes físicas.
- Evaluaciones de modelo de instrumentos de medición para uso legal.
- Calibración y verificación de instrumentos de medición.
- Cursos de capacitación para directivos, funcionarios y especialistas.



Para más información contactar a:

M. Sc. Maydelin Limonta Cairo. Subdirectora de Servicios Científico-Técnicos
Tel: 7863-7023; 5995-9728 / Correo-e: maydelin@inimet.cu

Dr. C. Félix María Agüero Díaz. Subdirector de Ciencia, Tecnología e Innovación
Tel: 7862-7655; 6344-3751 / Correo-e: faquero@inimet.cu

Téc. Alina García Rodríguez. Especialista de Capacitación/ Secretaria Docente
Tel: 7862-3041 al 44 ext. 118/ Correo-e: capacitacion@inimet.cu; alina@inimet.cu

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES/ Instructions to authors

REQUISITOS TÉCNICOS PARA PRESENTAR UN ARTÍCULO PARA SU PUBLICACIÓN EN EL BOLETÍN.

El Boletín Científico Técnico INIMET se edita desde el año 1982. Es una publicación semestral (junio y diciembre) que surge debido a la necesidad de divulgar los resultados de la investigación y de los trabajos científico técnicos efectuados en el campo de la Metrología y sus aplicaciones. Su objetivo es contribuir al incremento de la visibilidad del impacto de los resultados y tributar a la formación de una cultura general sobre esta ciencia.

1. Datos de los autores:

Escribir el nombre y los dos apellidos de cada autor, y su código ORCID. Indicar una muy breve reseña curricular de los autores: el grado científico o académico del autor o autores y la categoría científica o docente si se posee. Indicar la Institución a la que pertenecen, el Organismo correspondiente, el país y la dirección legal. En caso de ser más de una Institución se utilizarán números para su identificación, incluyéndose la leyenda correspondiente. Indicar la responsabilidad administrativa que ocupa, si procede. Incluir la dirección de correo electrónico de al menos un autor, para su localización.

2. Tipos de colaboración aceptadas:

Los trabajos deben ser originales y no deben estar postulados de forma simultánea en otra publicación. Deben estar enfocados hacia la Metrología, ya sean trabajos de divulgación científica, de presentación de resultados de la actividad de investigación científica o de la actividad laboral. Se aceptarán artículos y otros materiales como comunicaciones, noticias y cartas al editor.

Se requiere adjuntar la carta de originalidad en ocasión de la presentación del artículo y la de cesión de derechos para su difusión con la firma de todos los autores cuando les sea comunicada la aprobación para la publicación del trabajo.

3. El artículo en su estructura debe incluir:

Título (en español e inglés); resumen (en español e inglés); palabras clave (en español e inglés); introducción; materiales y métodos o Desarrollo (según el tipo de artículo); resultados; discusión; conclusiones; agradecimientos; referencias bibliográficas; bibliografía.

4. Los artículos se presentan con el siguiente formato:

Los trabajos se envían en soporte informático (Microsoft Word), en español o inglés, con título, resumen y palabras clave en español e inglés. La extensión aceptada del trabajo es de 8 páginas a 15 páginas (incluyendo tablas y gráficos), con una tipografía Arial, tamaño de fuente 11, interlineado de párrafo a un espacio, en formato normal, dejando 2,5 cm de espaciado en los cuatro márgenes y en formato carta 8 ½ " x 11" (216 mm x 279 mm). Las tablas y gráficos deben presentar su correspondiente leyenda, la cual no debe ser mayor que 2 líneas.

5. Las ilustraciones:

Fotografías, diagramas y dibujos: Con formato JPG o TIFF, ancho entre 455 píxeles y 2005 píxeles.

Figuras y gráficos: Se aceptan los gráficos en Excel y Power Point, adjuntando el archivo con las planillas de datos.

En la versión impresa los gráficos se verán en blanco y negro, por lo que deben tener cuidado de utilizar tramas claramente definidas para distinguir el contenido.

6. Las Referencias Bibliográficas:

Deben aparecer al final del texto, ordenado numéricamente según el orden en que aparezcan y estructurados siguiendo las normas del gestor bibliográfico APA, en su última edición.

7. Proceso de arbitraje:

El BCT INIMET somete los artículos a un proceso de arbitraje, en la modalidad a doble ciego. Una vez que se presenta el artículo y la carta de originalidad se evaluará si cumple con los lineamientos establecidos en la política editorial, de ser así pasa a ser evaluado por los árbitros, que serán especialistas en los temas y pueden dictaminar los siguientes resultados: *aprobado sin cambios*, aprobado con sugerencias opcionales, condicionados a cambios obligatorios (reenvío), rechazado.

En el caso de que los árbitros no coincidan en la aceptación o rechazo de un artículo se recurrirá a un tercero, en dependencia de los resultados, corresponde a la Directora Editorial tomar la decisión final.

8. Política de propiedad intelectual

El autor autoriza al INIMET de manera ilimitada en el tiempo para que incluya su trabajo en el BCT INIMET y para reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y diseminarlo en el país y en el extranjero ya sea de manera impresa, electrónica o en cualquier otro medio. Todo esto sin perjuicio del respeto a los derechos de autoría moral de los autores. El autor cede derechos no exclusivos al Boletín, por lo que puede utilizarlo siempre que cite el documento original.

Los autores igualmente deben estar conscientes de que el Boletín protege su contenido (los artículos científicos) mediante una licencia *Creative Commons* (bienes comunes creativos) que funciona bajo las siguientes condiciones:



Permite copiar, distribuir, mostrar y ejecutar la obra, siempre dando testimonio de la autoría del mismo, pero solo copias literales (sin derivaciones del mismo) y sin propósitos comerciales.

Por problemas de espacio en esta sección no podemos incluir las instrucciones a los autores de manera íntegra. Dicho documento incluye una guía detallada de cómo se deben redactar las diferentes secciones de un artículo científico, así como más información sobre el proceso de arbitraje. También ejemplos concretos del orden y la puntuación que deben seguir al elaborar la bibliografía y las referencias bibliográficas. Si desea esa información escriba a nuestra dirección electrónica solicitando las instrucciones completas.

Correo-e: normateca@inimet.cu

Los originales pueden remitirse además por correo postal a: Consulado No. 206 e/ Animas y Trocadero, Centro Habana, La Habana, Cuba. CP 10 200.

