

Trazabilidad metrológica del Laboratorio de Dimensionales del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología. Proyección del Servicio Nacional de Metrología.

Metrological traceability of the Dimensional Measurements Laboratory of the National Research Institute on Metrology (INIMET). Implication for the Nacional Metrological Service.

M.Sc. Alejandra R. Hernández-Leonard¹; Lic. Katia Castillo-Zamora²; Lic. Sayury Ramos-Lorente³; Lic. Yami Alonso-Preciado⁴; Ing. Amarilis Gaspar-Huerta⁴; M.Sc. José Luis Arias-Carrazana⁵; Lic. Maité Domínguez-Gómez⁵

¹ Instituto Nacional de investigaciones en Metrología, INIMET-ONN-CITMA, Cuba
Consulado No. 206 e/ Trocadero y Ánimas, Centro Habana, La Habana
alehl@inimet.cu; <https://orcid.org/0000-0002-7484-376X>

² Oficina Territorial de Normalización Santiago de Cuba, ONN- CITMA, Cuba

³ Oficina Territorial de Normalización Camagüey, ONN-CITMA, Cuba

⁴ Oficina Territorial de Normalización Holguín, ONN-CITMA, Cuba

⁵ Oficina Territorial de Normalización Villa Clara, ONN-CITMA, Cuba

RESUMEN

La demostración de la trazabilidad metrológica de los resultados de las mediciones realizadas con los instrumentos de medición patrones en los laboratorios de calibración es uno de los requisitos fundamentales de la competencia técnica, establecido en la norma internacional NC-ISO/IEC 17025:2017. Esta condición debe ser gestionada adecuadamente por los laboratorios, partiendo de los requerimientos del estado actual y deseado del desarrollo económico y social del país, y teniendo en cuenta tanto la selección de los instrumentos de medición patrones que se necesitan, como los proveedores de los servicios de calibración que garantizarán la cadena ininterrumpida de calibraciones hasta los patrones primarios de las unidades de medida.

Utilizando la información aportada por los laboratorios territoriales del Servicio Nacional de Metrología (SENAMET), se presentan los resultados del análisis del estado actual de la trazabilidad metrológica de los patrones de las distintas magnitudes dimensionales en el país, y la forma en que desde el Laboratorio de Dimensionales del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología se garantiza la trazabilidad metrológica del resto de los laboratorios secundarios del país. Se presenta también la evolución que debiera experimentar la pirámide de trazabilidad en dependencia de las prioridades de desarrollo de la industria nacional, previstas para el período hasta el 2021.

PALABRAS CLAVE: Trazabilidad metrológica; cadena de trazabilidad metrológica; mediciones dimensionales; longitud; distancia; planicidad; ángulo plano.

ABSTRACT

The demonstration of the metrological traceability of the results of the measurements made with the standard measuring instruments in the calibration laboratories is one of the fundamental requirements of the technical competence, established in the international standard NC-ISO / IEC 17025: 2017. This condition must be adequately managed by laboratories, based on the requirements of the current and desired state of the economic and social development of the country, and taking into account both the selection of the standard measuring instruments needed, as well as the calibration service providers that will guarantee the uninterrupted chain of calibrations up to the primary standards of the units of measurement.

Using the information provided by the territorial laboratories of the National Metrology Service (SENAMET), it presents the results of the analysis of the current state of the metrological traceability of the standards of the different dimensional quantities in the country, and the way in which from the Dimensional Measurements Laboratory of the National Research Institute on Metrology guarantees the metrological traceability of the rest of the country's secondary laboratories. It also presents the evolution that the traceability chain should experience depending on the development priorities of the national industry, planned for the period until 2021.

KEYWORDS: Metrological traceability; metrological traceability chain; dimensional measurements; length; distance; flatness; plane angle.

INTRODUCCIÓN

Las mediciones dimensionales son aplicables en muchas de las esferas de la producción y los servicios: se utilizan en el control de la calidad de las piezas, en el comercio, en las mediciones topogeodésicas, en el deporte, en las investigaciones científicas, desde la astronomía hasta las nanociencias.

La tabla 1 muestra las más conocidas de las magnitudes dimensionales que se miden.

Tabla 1. Magnitudes de la metrología dimensional.

Rama de la Metrología Dimensional	Magnitud física.
Mediciones de longitud	Distancia entre trazos, líneas o superficies.
	Error de la indicación de distancias, tamaños o desplazamientos
	Longitud central, desviación de la longitud central, variación de la longitud
	Espesor de láminas, chapas
	Diámetro exterior e interior
	Tamaño de partículas
	Longitud de onda
	Expansividad térmica
	Distancia focal (de una lente)
	Radio de curvatura (de una lente)
	Dimensiones y forma de la huella (en un durómetro)
Mediciones de ángulo	Ángulo inscripto, desviación del ángulo inscripto
	Ángulo entre las caras de un prisma o poliedro

	Ángulo de inclinación
	Índice de refracción
	Posición angular
	Error de indicación de la ortogonalidad o la rectitud
Mediciones geométricas o de forma	Rectitud
	Planicidad (también, planitud)
	Circularidad (también, redondez)
	Cilindricidad
Mediciones de posición	Paralelismo
	Perpendicularidad
	Angularidad

Fuente: Hernández-Leonard, A.R.; Rodríguez-Blanco, C.M. Mediciones dimensionales, en el libro Fundamentos de Metrología. Edit. Pueblo y Educación, 2014

También se realizan mediciones dimensionales en otras magnitudes físicas. Por ejemplo, en Volumen, durante el encintado de tanques y la medición del nivel de líquido y el espesor de chapa del tanque; en Presión, para determinar el área efectiva de los pistones y en Densidad, para conocer la esfericidad, la redondez y el volumen de la esfera de densidad conocida.

La Fig. 1 fue creada por la empresa japonesa Mitutoyo para ayudar en la selección de sus productos líderes, instrumentos de medición de magnitudes dimensionales, a partir de la relación entre la longitud medida y la exactitud requerida.

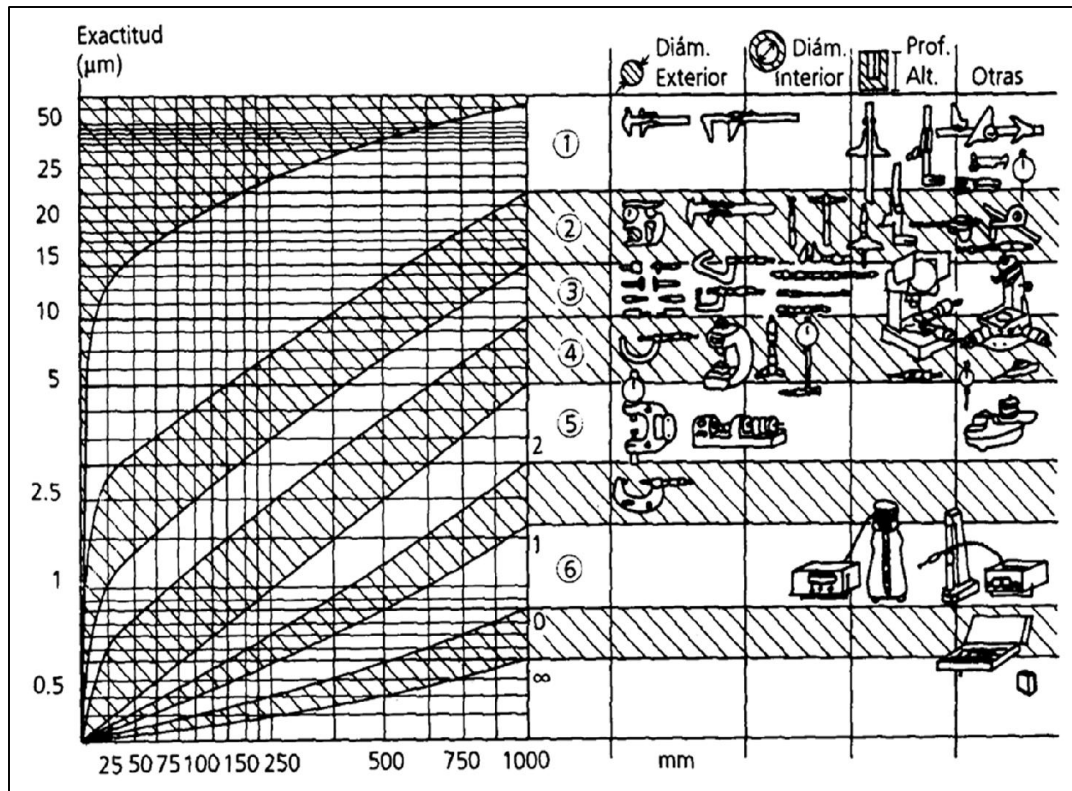


Fig. 1 Guía gráfica para la selección de instrumentos de medición de magnitudes dimensionales en dependencia de la longitud medida y la exactitud requerida. Fuente: Textbook 7004 Mitutoyo Metrology Institute.

Para garantizar la calidad de las mediciones que se realizan en el país, es importante contar con una cadena de trazabilidad metrológica apropiada, que satisfaga las demandas de exactitud de los procesos de medición más comunes que se realizan en el país.

DESARROLLO

El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) define la trazabilidad metrológica como la propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición.

La Fig. 2 muestra diferentes alternativas que pueden ser asumidas como referencias, según la nota 1 a esta definición del VIM, y las alternativas aceptadas por la Política de Trazabilidad de la ILAC, Cooperación Inter-Americana de Acreditación. (siglas en inglés, *Inter-American Accreditation Cooperation*).

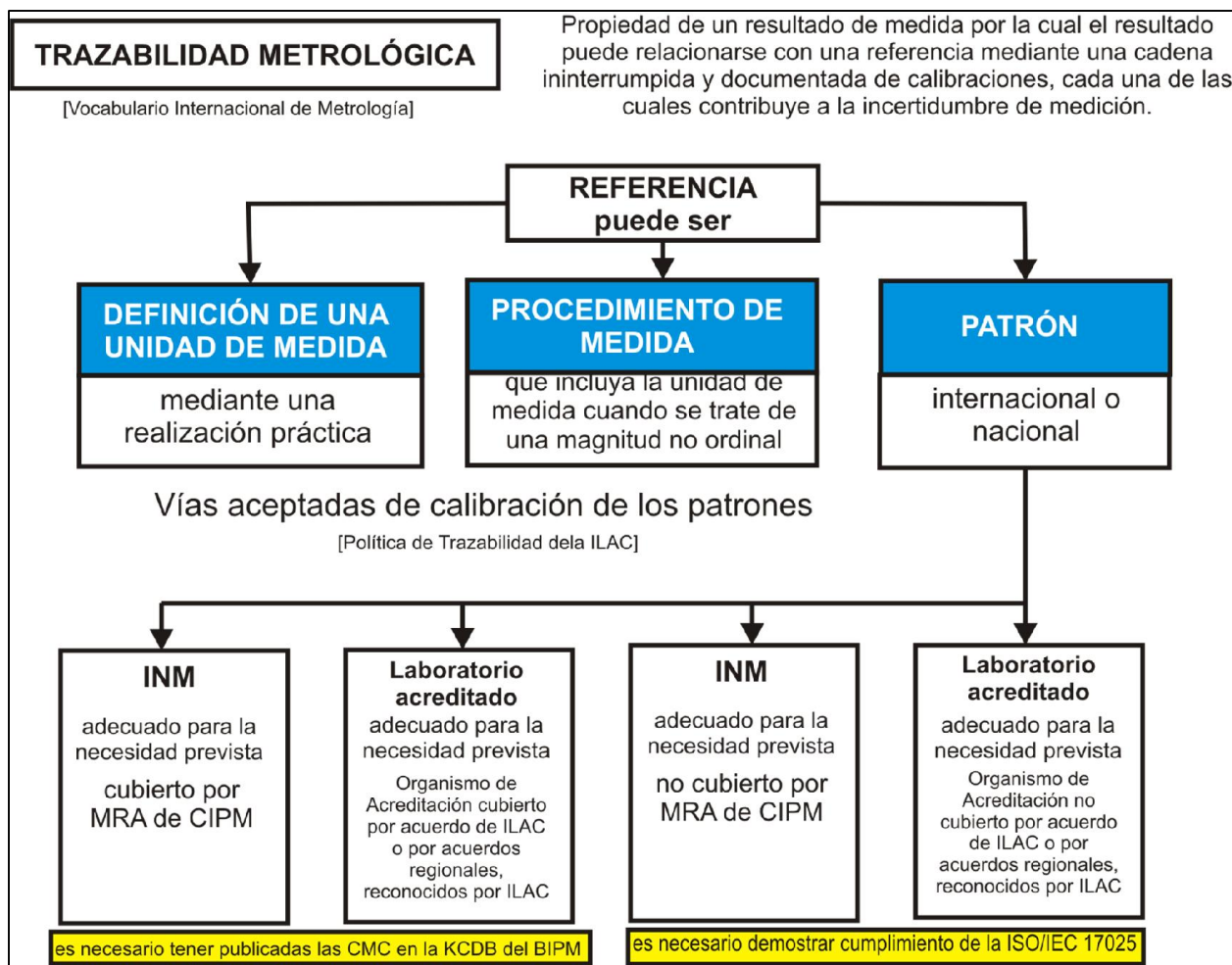


Fig. 2 Relación entre la definición de trazabilidad metrológica del VIM y la política de trazabilidad de la ILAC.

En la Fig. 2 se han utilizado las siguientes siglas:

INM – Instituto Nacional de Metrología

MRA – Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (siglas en inglés, *Mutual Recognition Agreement*)

CIPM – Comité Internacional de Pesas y Medidas (siglas en francés, *Comité International des Poids et Mesures*)

CMC – Capacidades de medición y calibración

KCDB – Base de datos de intercomparaciones clave (siglas en inglés, *Key Comparison Data Base*)

BIPM – Buró Internacional de Pesas y Medidas (siglas en francés, *Bureau International des Poids et Mesures*).

La Fig. 3 muestra la jerarquía de trazabilidad metrológica que se ha establecido en Cuba para las magnitudes dimensionales. Como se ve, la cima de la pirámide corresponde al Laboratorio de Longitud del Instituto Nacional de Metrología de Rusia (VNIIM), que asume la calibración de los

patrones de referencia del INIMET, de longitud, distancias, ángulo plano y desviaciones de forma desde hace más de treinta años. Las capacidades de medición y calibración de ese laboratorio, uno de los Institutos Nacionales de Metrología de Rusia, están publicadas en la base de datos del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), y sus resultados son trazables al patrón primario de longitud, que se conserva en dicho Instituto, y que realiza de forma práctica la definición de la unidad de medida de longitud, el metro.

Desde el patrón primario del VNIIM, la unidad de medida se disemina, por el método interferométrico, a los bloques patrones del INIMET, que se envían a calibrar en períodos establecidos previamente. Con sus patrones calibrados, el INIMET disemina la unidad de medida a los laboratorios provinciales por el método de comparación por contacto mecánico, o por conteo de líneas de interferencia, según corresponda.

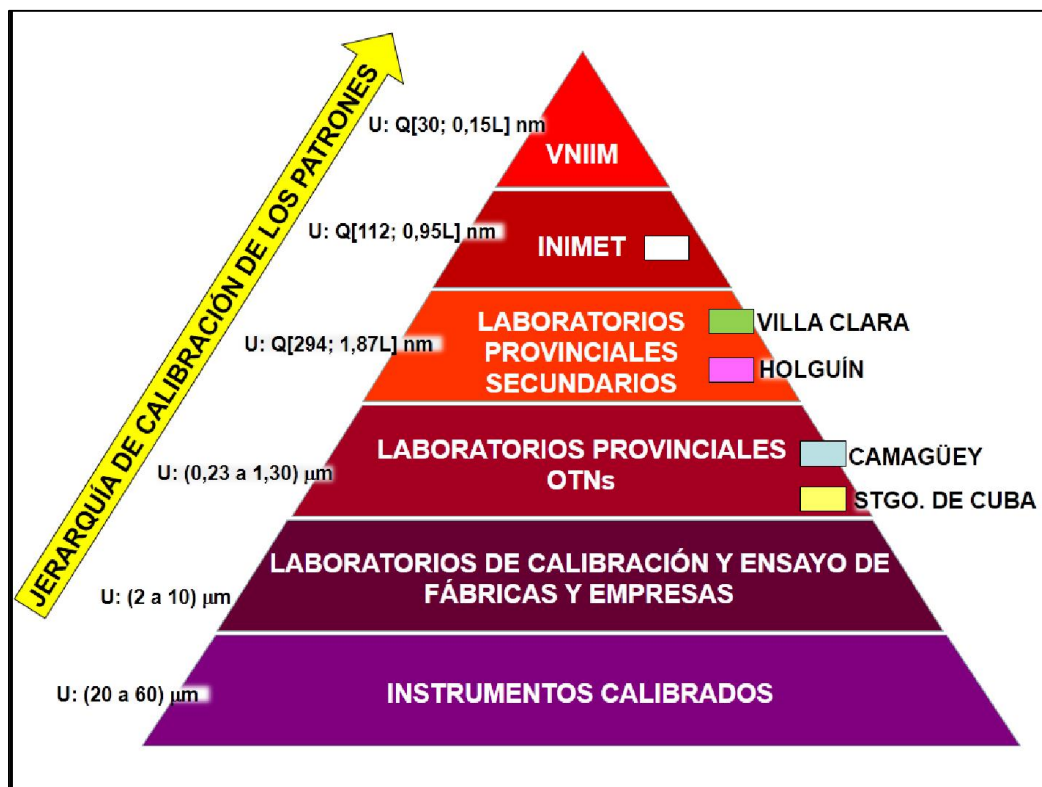


Fig. 3 Jerarquía de calibración entre los laboratorios de Dimensionales del Servicio Nacional de Metrología (SENAMET)

Con este esquema se garantiza actualmente la trazabilidad de las mediciones dimensionales que se realizan en los laboratorios del SENAMET, los laboratorios de calibración y ensayo de las empresas, las industrias farmacéutica, azucarera, alimentaria, petroquímica y metal-mecánica, la construcción, la biotecnología, la agricultura y la salud pública.

Un diagnóstico realizado desde el año 2018, con la participación de los especialistas de los laboratorios provinciales de Villa Clara, Camagüey, Holguín y Santiago de Cuba, permitió conocer el estado de los instrumentos de medición patrones en los laboratorios de Dimensionales del

SENAMET, y sus capacidades para garantizar la trazabilidad metrológica de las mediciones dimensionales que se realizan en su territorio.

Con la información compilada, se conformaron las cadenas de trazabilidad metrológica que están funcionando en el SENAMET para las magnitudes longitud, distancia, ángulo plano y planicidad. También se determinó en qué eslabón de la cadena se inserta cada uno de los laboratorios provinciales, en qué medida logran cubrir los servicios de calibración en el territorio en que están enclavados, y cuáles son sus necesidades de patrones para satisfacer las demandas de servicios de calibración a partir del desarrollo previsible de cada territorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados fundamentales del diagnóstico realizado indican hacia la obsolescencia tecnológica, la sobreexplotación de los patrones de referencia y de trabajo en los laboratorios territoriales, que se ocupan, fundamentalmente de la Metrología industrial y la Metrología legal, y garantizan la trazabilidad metrológica de sus resultados a través del INIMET y, por último, a la homogeneidad y equivalencia de los métodos de calibración utilizados en los laboratorios de Dimensionales del SENAMET.

Vale decir que estos resultados están sesgados por el hecho de que la fuente fundamental de información es la demanda de servicios que se recibe actualmente en las instalaciones del SENAMET, que puede ser satisfecha o no, en dependencia de la situación concreta de los laboratorios. Sin embargo, es conocido que es creciente el número de laboratorios de calibración que se han ido estableciendo en las empresas de la economía, y han comenzado a captar parte de las solicitudes de servicio que desde los años noventa se recibían casi íntegramente por los laboratorios del SENAMET. A pesar de este sesgo, la información utilizada no disminuye su interés para la investigación.

Las cadenas de trazabilidad de las magnitudes longitud, distancia, ángulo plano y planicidad se muestran en las figuras de la 4 a la 7. Los colores que se han utilizado en la Fig. 3 para los laboratorios provinciales, se repiten en las cadenas de trazabilidad, para señalar las nomenclaturas que cubren en su desempeño.

Longitud. Situación actual

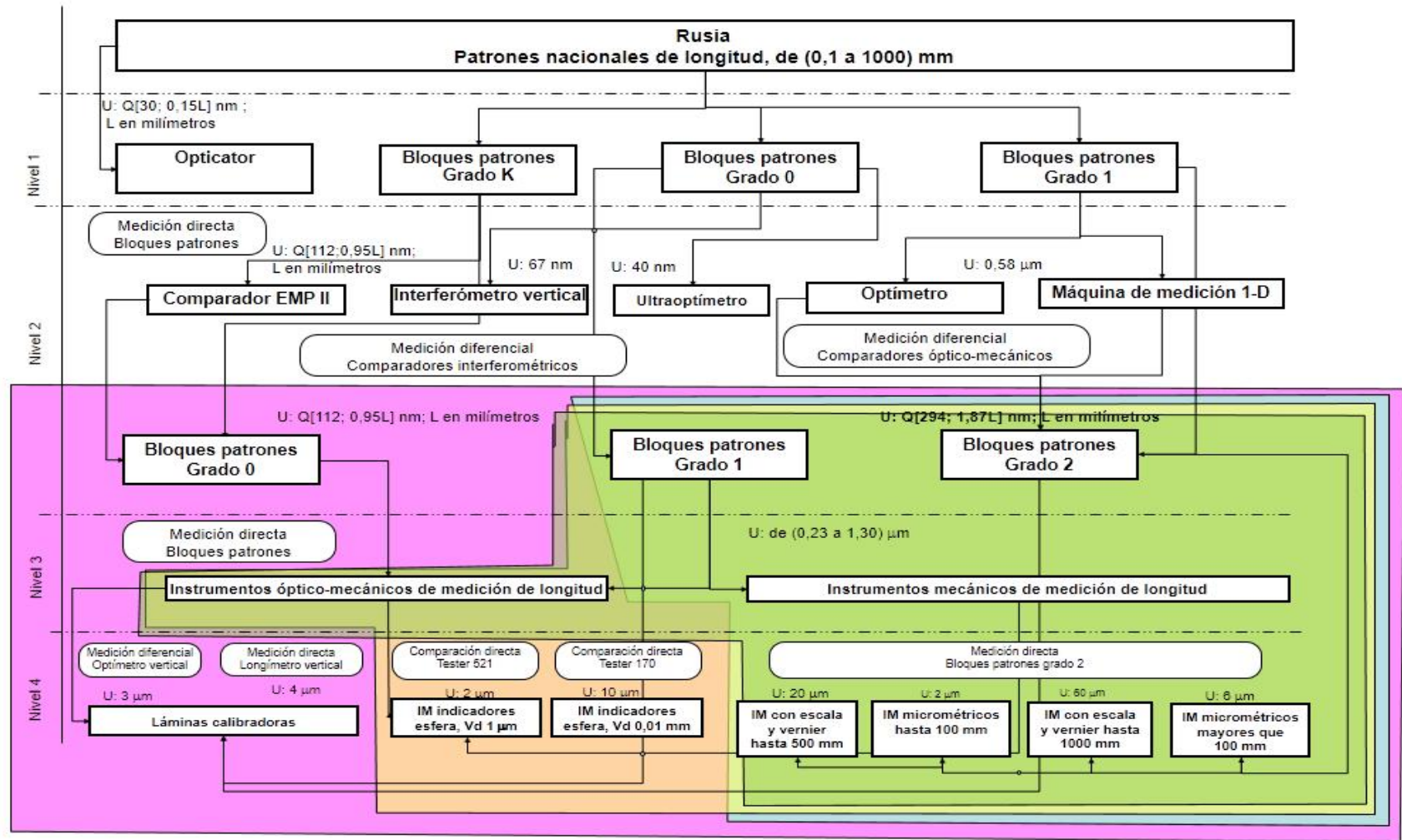


Fig. 4 Cadena de trazabilidad metrológica para la longitud.

Distancias. Situación actual

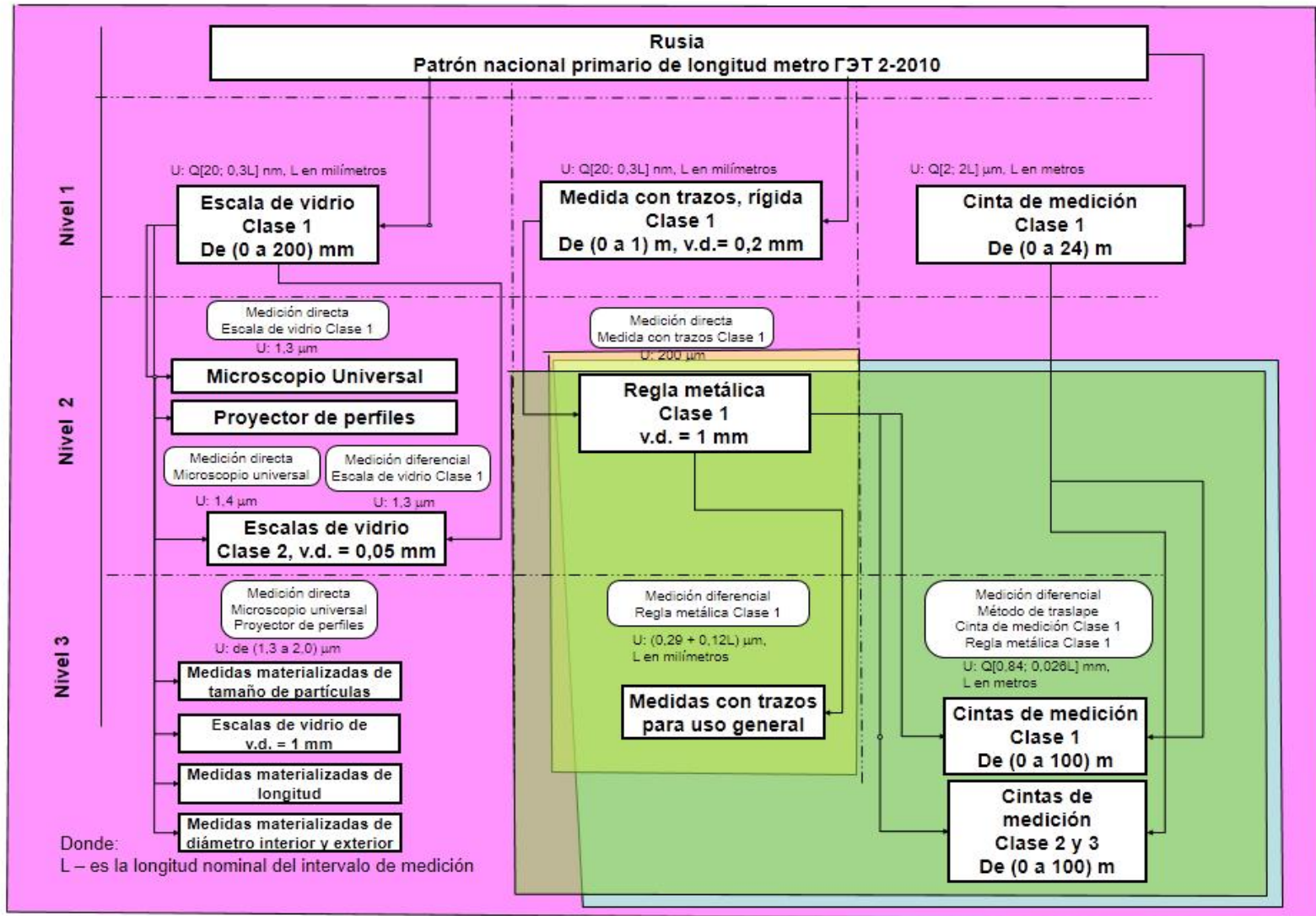


Fig. 5 Cadena de trazabilidad para las distancias entre trazos, puntos y superficies.

Planicidad. Situación actual

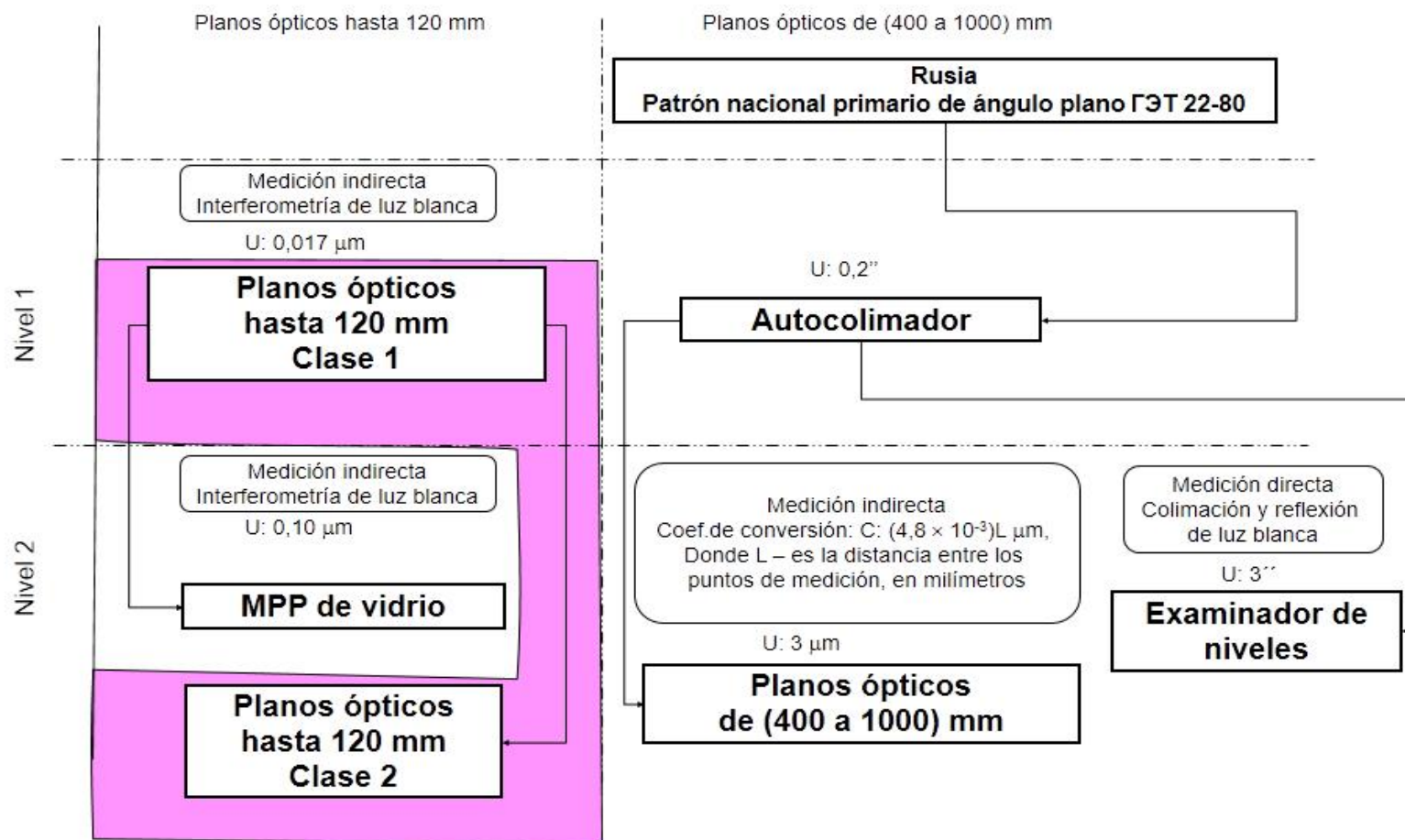


Fig. 6 Cadena de trazabilidad para la planicidad.

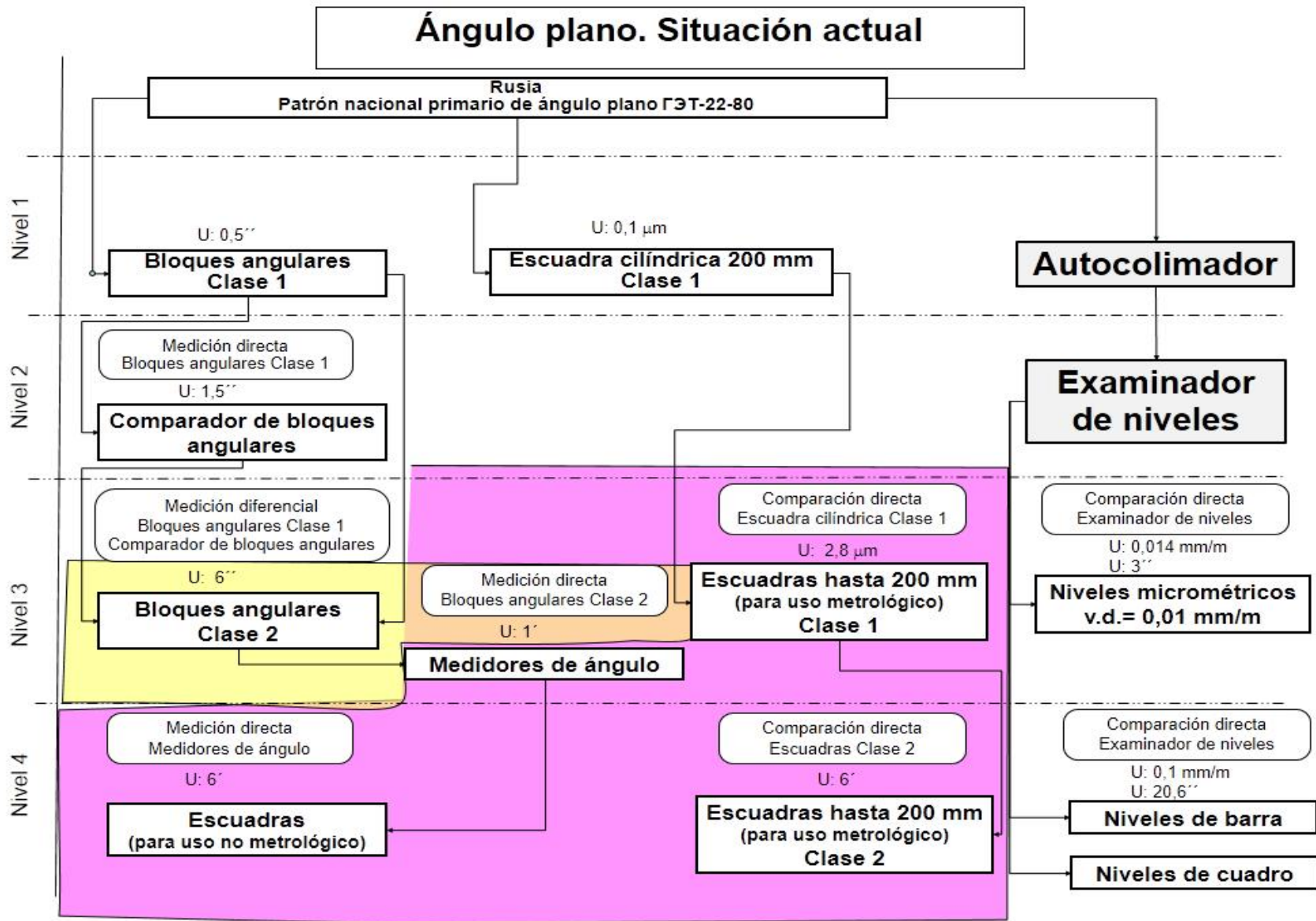


Fig. 7. Cadena de trazabilidad para el ángulo plano.

Las cadenas de trazabilidad de las magnitudes dimensionales de las figuras 4, 5, 6 y 7 muestran claramente lo siguiente:

- El Laboratorio de Dimensionales del INIMET no cuenta con patrones nacionales, sino con patrones de referencia, con los que mantiene su función de garantizar la trazabilidad metrológica de los laboratorios del SENAMET y el MINFAR.
- Los patrones de trabajo del INIMET, en una parte considerable de sus capacidades, son utilizados para la calibración de instrumentos de medición de uso industrial.
- El laboratorio de Holguín iguala las capacidades de medición y calibración del INIMET en la magnitud distancias entre trazos, puntos y superficies, gracias a un patrón de referencia, trazable al patrón nacional de longitud del VNIIM de Rusia.
- Los laboratorios provinciales más importantes apenas cuentan con patrones de referencia, y con sus patrones de trabajo se están dedicando, principalmente a la calibración de instrumentos de medición de uso industrial.
- Sólo quedan capacidades de medición de planicidad en el INIMET y Holguín. Se ha explicado que la causa principal es el deterioro de los planos ópticos patrones hasta 120 mm de diámetro, después de más de treinta años de uso intensivo, sin reposición.
- Los laboratorios del SENAMET mantienen la homogeneidad en los métodos de calibración utilizados, lo que se explica por el hecho de que la nomenclatura de instrumentos de medición de magnitudes dimensionales para uso industrial ha sufrido pocos cambios en los últimos años, y que los procedimientos para la determinación de los errores de medición, que se encontraban en las normas de verificación de estos mismos instrumentos de medición, continúan siendo científicamente válidos, y han migrado hacia las instrucciones de calibración que se utilizan en la actualidad en estos laboratorios.

El análisis de las cadenas de trazabilidad permitió, además, identificar los instrumentos de medición patrones que debieran adquirirse para el INIMET y los laboratorios provinciales, para cumplir las funciones que tienen en la actualidad y las que en un futuro cercano debieran asumir. Estas necesidades se muestran en la tabla 2, aunque la lista no es exhaustiva.

Tabla 2. Necesidades identificadas de patrones de mediciones dimensionales para el SENAMET.

Patrones	Características metrológicas	Uso previsto	INIMET	Laboratorios provinciales
Comparador interferométrico láser	Intervalo de medición desde 0,10 mm hasta 100 mm y valor de división 0,01 μm .	Calibración de bloques patrones de longitud grados 0, 1 y 2		
Comparador interferométrico láser	Intervalo de medición desde 125 mm hasta 1000 mm y valor de división 1 μm	Calibración de bloques patrones y barras de longitud grados 0,1 y 2		
Comparador de doble contacto	Desde 0,10 mm hasta 100 mm y valor de división 0,1 μm	Calibración de bloques patrones de longitud grados 1 y 2		
Comparador de doble contacto	Desde 100 mm hasta 1000 mm y valor de división 1 μm	Calibración de bloques patrones de longitud grado 2		

Juegos de bloques patrones	Grados K, intervalos de medición hasta 1000 mm	Calibración de bloques patrones de grados 0 y 1		
Juegos de bloques patrones	Grados 0 y 1, intervalo de medición desde 0,1 mm hasta 100 mm	Calibración de bloques patrones de grados 1 y 2		
Juegos de bloques patrones	Grado 1, intervalo de medición desde 100 mm hasta 1000 mm	Calibración de bloques patrones de grados 2, equipos electro-ópticos y óptico-mecánicos.		
Juegos de bloques patrones	Intervalos de medición hasta 1000 mm	Calibración de micrómetros y pie de rey		
Juegos de bloques patrones	Grado 2, intervalos de medición desde (0,1 hasta 1000) mm	Calibración de instrumentos de medición de trabajo		
Banco láser de medición con detección CCD	Longitud nominal 6 m, valor de división 1 μ m	Calibración de cintas y medidas rígidas con trazos		
Cinta patrón	Clase 1, de longitud nominal 24 m, con valor de división 1 mm	Calibración y verificación de cintas y medidas rígidas con trazos		
Reglas rígidas de medición metálicas	Clase 1, de longitud nominal 4 m, con valor de división 1 mm	Calibración y verificación de cintas y medidas rígidas con trazos		
Escalas de vidrio	Clase 1, intervalo de medición de (0 a 100) mm, valor de división 1 μ m	Calibración de microscopios y escalas de vidrio clase 2		
Placas planas de vidrio	Clase 1, de 60 mm a 120 mm de diámetro	Calibración de planos ópticos de clase 2, del mismo diámetro		
Placas planas de vidrio	Clase 2, de 60 mm a 120 mm de diámetro	Determinación de la planicidad de las caras de instrumentos de medición de trabajo		
Calibrador tester	Intervalo de medición de 0 mm a 25 mm, valor de división 1 μ m	Calibración de indicadores de esfera.		
Optímetro de medición	Intervalo de medición de (0 a 100) mm Valor de división 1 μ m	Calibración de bloques patrones de grado 2, láminas calibradoras de espesor y cristales planoparalelos		
Autocolimadores	Desplazamientos en los ejes horizontal y vertical; intervalos de medición en las escalas principales de (0 a 30)' lecturas de	Calibración de planos ópticos y análisis de superficies		

	desplazamiento angular de 0,5°			
Rugosímetro	Rango transversal de medición: 20 mm Ra: de (0,005 a 16) μm Rz: de (0,02 a 160) μm Resolución: 0,001 μm Diámetro del palpador: 5 μm	Medición de rugosidad de las superficies; calibración de las medidas materializadas de rugosidad superficial		
Medidas materializadas de rugosidad superficial	R_{max} de (0,001 a 200) μm	Evaluación por comparación de la calidad de las superficies.		

Adicionalmente, será necesaria también la adquisición, por importación o fabricación nacional, de dispositivos auxiliares de diversos tipos para la sujeción de los objetos de medición, de repuestos para las puntas de medición y los dispositivos de iluminación, así como de sistemas informáticos y softwares complementarios de los patrones que tengan esas prestaciones.

La adquisición de los instrumentos y sistemas de medición previstos en la tabla 2 permitirá materializar las proyecciones del SENAMET de garantizar la trazabilidad metrológica de las mediciones dimensionales en el país, a través de la realización práctica de la definición de la unidad de medida de longitud, el metro. También permitirá la participación sistemática del INIMET en las comparaciones claves que se programen en los diferentes grupos regionales de Metrología, y la publicación en la base de datos del BIPM de las capacidades de medición y calibración de Cuba en las magnitudes dimensionales.

Con esto, se modificaría la cadena de trazabilidad metrológica en la forma que se muestra en la figura 8, donde el INIMET pasaría al primer nivel, con incertidumbres de medición equivalentes a las que alcanzan los Institutos Nacionales de Metrología de los grupos regionales Cooperación Euroasiática de Instituciones Nacionales de Metrología (COOMET), Asociación Europea de Institutos Nacionales de Metrología (EURAMET) y Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

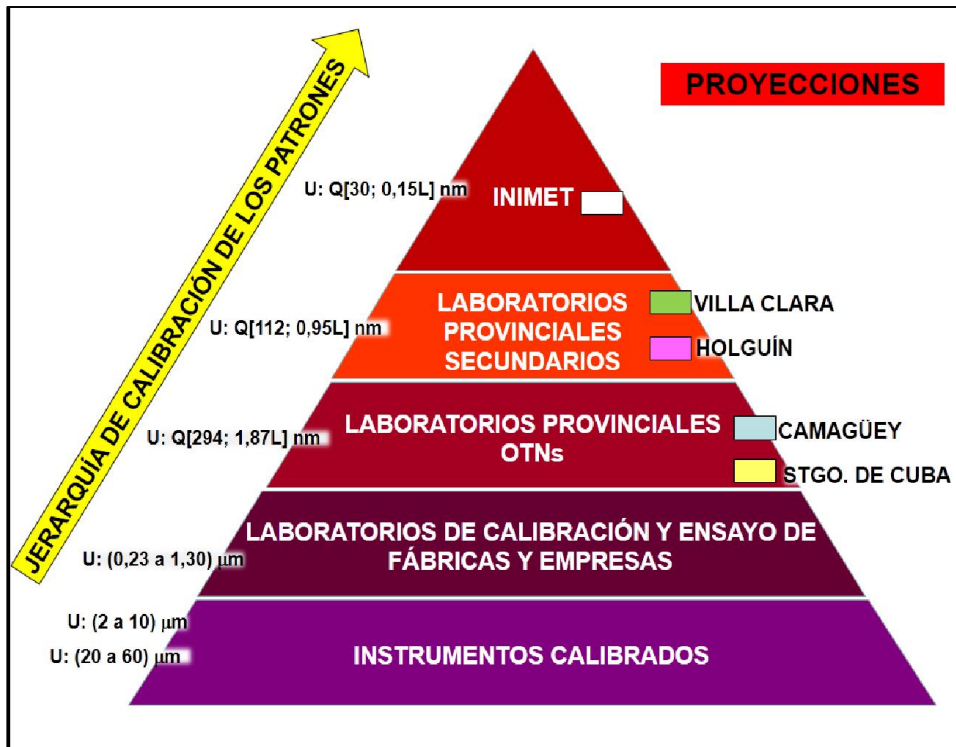


Fig.8. Proyección de la jerarquía de calibración de los patrones del SENAMET

CONCLUSIONES

La definición de la cadena de trazabilidad metrológica de los resultados de mediciones dimensionales permite conocer con claridad la jerarquía de calibración de los instrumentos de medición de estas magnitudes físicas, incluyendo los patrones internacionales, nacionales, de referencia o de trabajo que se utilicen, los métodos de calibración y las incertidumbres de medición.

Esta información es de gran importancia para la evaluación el cumplimiento de la política de trazabilidad vigente en el país y el grupo regional COOMET y de los requisitos establecidos en la norma NC-ISO/IEC 17025:2017 y el documento ILAC P-10.

Este trabajo tributa al proyecto PNAP “Pirámide de trazabilidad” en las magnitudes dimensionales, y presenta las proyecciones de la magnitud en el nivel de desarrollo científico y tecnológico que en estos momentos tiene la industria nacional.

RECOMENDACIONES

Efectuar la vigilancia tecnológica, legal, económica y financiera necesarias para el perfeccionamiento y actualización de la cadena de trazabilidad metrológica para las magnitudes dimensionales, en la medida en que el desarrollo previsible de la industria nacional lo demande.

Coordinar la participación del INIMET en intercomparaciones claves de calibración de bloques patrones y cintas de medición para garantizar la publicación de sus CMC en la base de datos del BIPM.

Conformar y ejecutar el programa de ensayos de aptitud entre los laboratorios del SENAMET, para garantizar la acreditación de sus servicios de calibración de instrumentos de medición de magnitudes dimensionales.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Entidad Nacional de Acreditación/ Centro Español de Metrología. Brochure “Uso del concepto de trazabilidad metrológica por los laboratorios de calibración”. Marzo 2015. <http://www.cem.es/divulgacion/publicaciones> Consultado Sept. 2019

Hernández-Leonard, A.R; Rodríguez-Blanco, C.M. Mediciones Dimensionales, en el libro Fundamentos de Metrología, Parte I, Edit. Pueblo y Educación, La Habana, 2014 ISBN 978-959-13-2699-7

<https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-policy-series/> Consultado en Sept. 2019

<https://kcdb.bipm.org/Appendix C/> Consultado en Sept. 2019

https://www.bipm.org/utis/common/pdf/KCDB_2.0/CMC_services Consultado Sept. 2019

_____ CEM (Centro Español de Metrología)

_____ INM (National Institute of Metrology), China

_____ NIST (National Institute of Standards and Technology), United States

_____ NMIJ (National Metrology Institute of Japan)

_____ NRC (National Research Council), Canada

_____ NSC IM (National Scientific Centre “Institute of Metrology”), Ukraine

_____ UkrCSM (Ukrainian Center of Standardization, Metrology, Certification and Defense of Consumer’s Rights), Ukraine

_____ UNIIM (Ural Scientific and Research Institute for Metrology, Rosstandart), Russian Federation

_____ VNIIM (D.I. Mendeleev Institute for Metrology, Rosstandart), Russian Federation

_____ VNIIMS (Institute for Metrological Service, Rosstandart), Russian Federation

ILAC P-10:01/2013 Policy on the traceability of measurement results

ILAC P-10:01/2013 Política de la ILAC sobre la Trazabilidad de los Resultados de Medición (traducción autorizada), IACC MD 012/13

ISO 1101:2012 Geometrical product specifications (GPS)- Geometrical tolerancing – tolerances of form, orientation, location and run-out

Mitutoyo America Corporation. Textbook 7004. Fundamentals of Precision Measurement. 1995-2008. <https://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2015/03/7004-Fundamentals-of-Precision-Measurement.pdf> Consultado Sept.2019

NC-ISO/IEC 17025: 2017 Requisitos generales para la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y calibración

NC-OIML V2:2012 Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) (OIML V2:2010, IDT)

Fecha de recepción del artículo: 2019-11-26

Fecha de aceptación del artículo: 2019-12-26

