

## **Trazabilidad de resistencia eléctrica de corriente directa y su proyección.**

*Traceability of direct current electrical resistance and projection.*

M. Sc. Mirtha Juana Navarro-González<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET)-NC-CITMA. Cuba.

Consulado No. 206 e/ Trocadero y Ánimas, Centro Habana, La Habana

E-mail: [mirta@inimet.cu](mailto:mirta@inimet.cu).

### **RESUMEN**

El trabajo consiste en mostrar el actual esquema de trazabilidad de la magnitud de resistencia eléctrica de corriente directa (en lo adelante CD) a partir del Patrón Nacional de Resistencia Eléctrica certificado, el cual está formado por un patrón de grupo compuesto por 8 medidas materializadas de resistencia de valor nominal 1  $\Omega$ . Se explica además la proyección futura para obtener la trazabilidad metrológica de resistencia eléctrica de CD a partir del Efecto Hall, lo cual contribuirá a mejorar los niveles de incertidumbre de los valores de referencia desde  $10^{-3}$   $\Omega$  hasta  $10^9$   $\Omega$  para el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET) y otros laboratorios de la economía nacional.

**PALABRAS CLAVE:** Trazabilidad metrológica, Patrón Nacional, patrón de grupo, medida materializada de resistencia, esquema de trazabilidad

### **ABSTRACT**

This paper shows the actual traceability chain of the quantity direct current (DC) electrical resistance to the National Standard of Electrical Resistance. This group standard is formed by a set of 8 resistance measures of nominal value 1  $\Omega$ . It's illustrate the future projection based on the Hall Effect which will contribute to improve the uncertainty levels of the reference values from  $10^{-3}$   $\Omega$  to  $10^9$   $\Omega$  for the National Metrology Service (SENAMET) and other laboratories of the national economy.

**KEY WORDS:** Metrological traceability, National Standard, group standard, material resistance measure, traceability chain

### **INTRODUCCIÓN**

Un factor determinante en la calidad de un producto o servicio es la confianza que se tiene en las mediciones realizadas para evaluar su conformidad con respecto a especificaciones determinadas. Tal confianza en las mediciones incluye la trazabilidad a patrones reconocidos, o patrones nacionales.

El Instituto Nacional de Metrología (INIMET) es el Instituto Nacional de Metrología (INM) de la República de Cuba, y desde el año 2008 se ha sometido a tres evaluaciones por pares por la norma ISO/IEC 17025, para obtener el reconocimiento de la organización regional *Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions* (COOMET) de su competencia técnica y de que las calibraciones que realiza tienen trazabilidad metrológica.

Para lograr ese reconocimiento es necesario participar en comparaciones claves o suplementarias que sirvan de sustento a las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) que se declaran en el apéndice C de la base de datos (KCDB) del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM).

El laboratorio de Electricidad del INIMET custodia y mantiene el Patrón Nacional de Resistencia Eléctrica, certificado desde el 15 de diciembre de 2010 por la Oficina Nacional de Normalización (ONN); adscrita al Ministerio de Ciencia Tecnología y medio Ambiente (CITMA) a través de la Resolución No. 258/2010 y fue registrado con el número 001.

Este Patrón Nacional de Resistencia Eléctrica constituye el primer nivel de la cadena de trazabilidad metrológica en la magnitud de resistencia eléctrica, a partir del cual se realiza la diseminación de la unidad.

La trazabilidad metrológica, tal como es definida en el apartado 2.41 del Vocabulario Internacional de Metrología [1] es 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 medida.

En el desarrollo del trabajo se pretende mostrar la cadena de trazabilidad de la magnitud de resistencia eléctrica de CD y cómo se disemina la unidad de medida ohm.

## DESARROLLO

En Metrología, se debe destacar que la trazabilidad de los resultados de medida es muy importante para garantizar la correcta diseminación de las diferentes unidades de medida desde los patrones internacionales, nacionales, o de referencia, hasta los instrumentos de medición de la industria. El propósito de que los resultados de medición tengan trazabilidad es asegurar que se han obtenido con una confiabilidad tal, que la incertidumbre asociada a ellos, expresada cuantitativamente, sea equivalente a la que poseen los patrones de medición, internacionales o nacionales, referidos como el origen de la trazabilidad para tales mediciones.

La trazabilidad metrológica garantiza que las mediciones sean comparables entre sí, independientemente del lugar y tiempo en que se hayan realizado, lo que significa que estas pueden ser universalmente aceptadas. Esta trazabilidad debe ser garantizada por laboratorios competentes; dígase Institutos Nacionales de Metrología o Laboratorios Secundarios de Calibración Acreditados.

La pirámide de trazabilidad metrológica de forma general se muestra en el esquema de la figura 1.

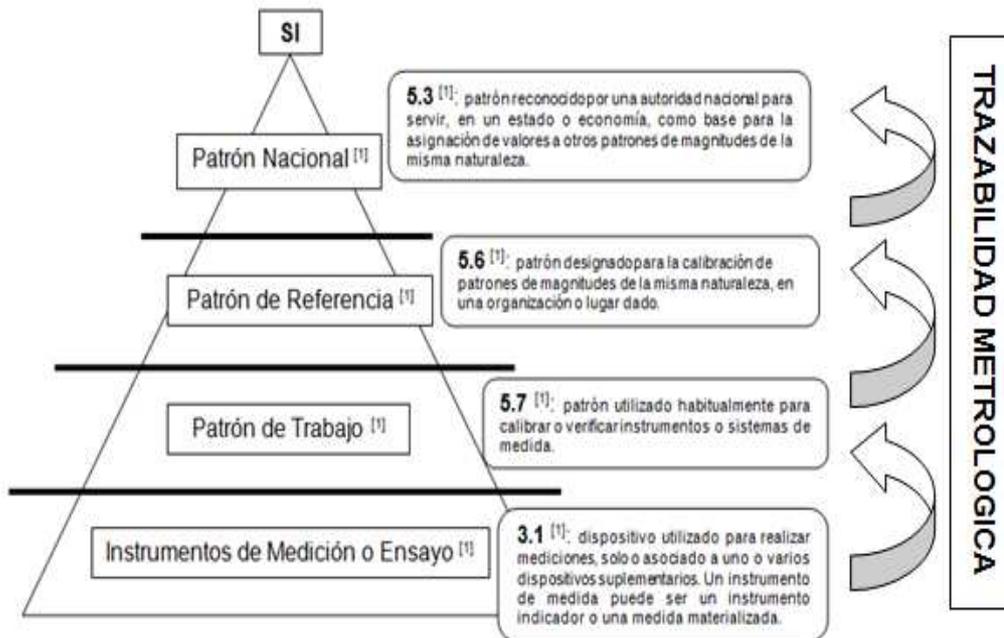


Figura 1. Pirámide de trazabilidad.

Los laboratorios de calibración deben garantizar que los resultados de las mediciones que realizan durante sus servicios sean trazables metrológicamente y para ello es condición indispensable que dichos laboratorios sean técnicamente competentes, y esto solo se puede demostrar con resultados aceptables en la participación de intercomparaciones.

En el laboratorio de electricidad del INIMET la pirámide de trazabilidad para la magnitud de resistencia eléctrica de corriente directa parte del Patrón Nacional de Resistencia Eléctrica, este patrón está formado por un patrón de grupo compuesto por 8 medidas materializadas de resistencia eléctrica de valor nominal  $1 \Omega$  que se muestra en la figura. 2.



Figura 2. Patrón Nacional de Resistencia Eléctrica.

Los patrones de grupo se utilizan internacionalmente en los casos de contar con patrones aislados que varían de forma estocástica, estas variaciones generalmente son producidas por el envejecimiento del material con que están contruidos dichos patrones. De ahí la ventaja de que el patrón nacional esté conformado por un patrón de grupo; puesto que de esta manera se logra mantener el valor del grupo debido a que algunas de las resistencias que lo forman pueden aumentar de valor y otras disminuir.

La figura 3 muestra el esquema de trazabilidad para resistencia eléctrica de corriente directa que actualmente consta en el INIMET. Este esquema fue elaborado según el documento NC OIML D 5: 1996 Principios para el establecimiento de los esquemas de jerarquía para los instrumentos de medición [2], donde se describen detalladamente los aspectos a tener en cuenta para la elaboración de los mismos en cada uno de los niveles que existen, los instrumentos de medición, los métodos de medición y las incertidumbres.

En este esquema se puede observar cómo a partir del patrón nacional se realiza la diseminación de la unidad de medida ohm en el rango de medición desde  $1 \times 10^{-3} \Omega$  hasta  $1 \times 10^9 \Omega$ , con su correspondiente valor de incertidumbre; por lo que podemos decir que todas las mediciones de resistencia eléctrica son trazables metrológicamente a dicho patrón.

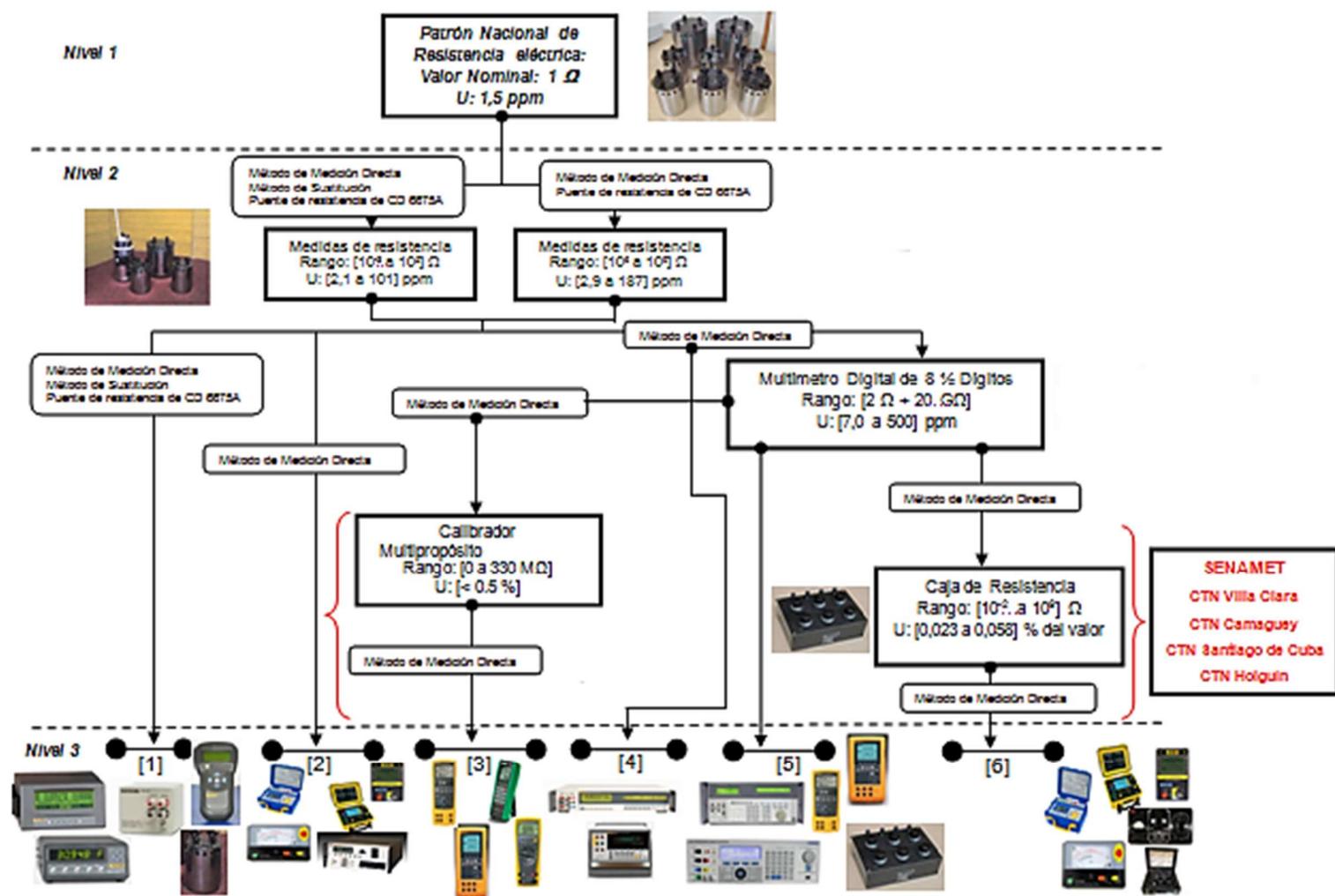


Fig. 3. Esquema actual de Trazabilidad de Resistencia Eléctrica de corriente directa.

En la figura 4 se describe el Nivel 3 del esquema de trazabilidad con los correspondientes valores de incertidumbre expandida para cada tipo de instrumento.

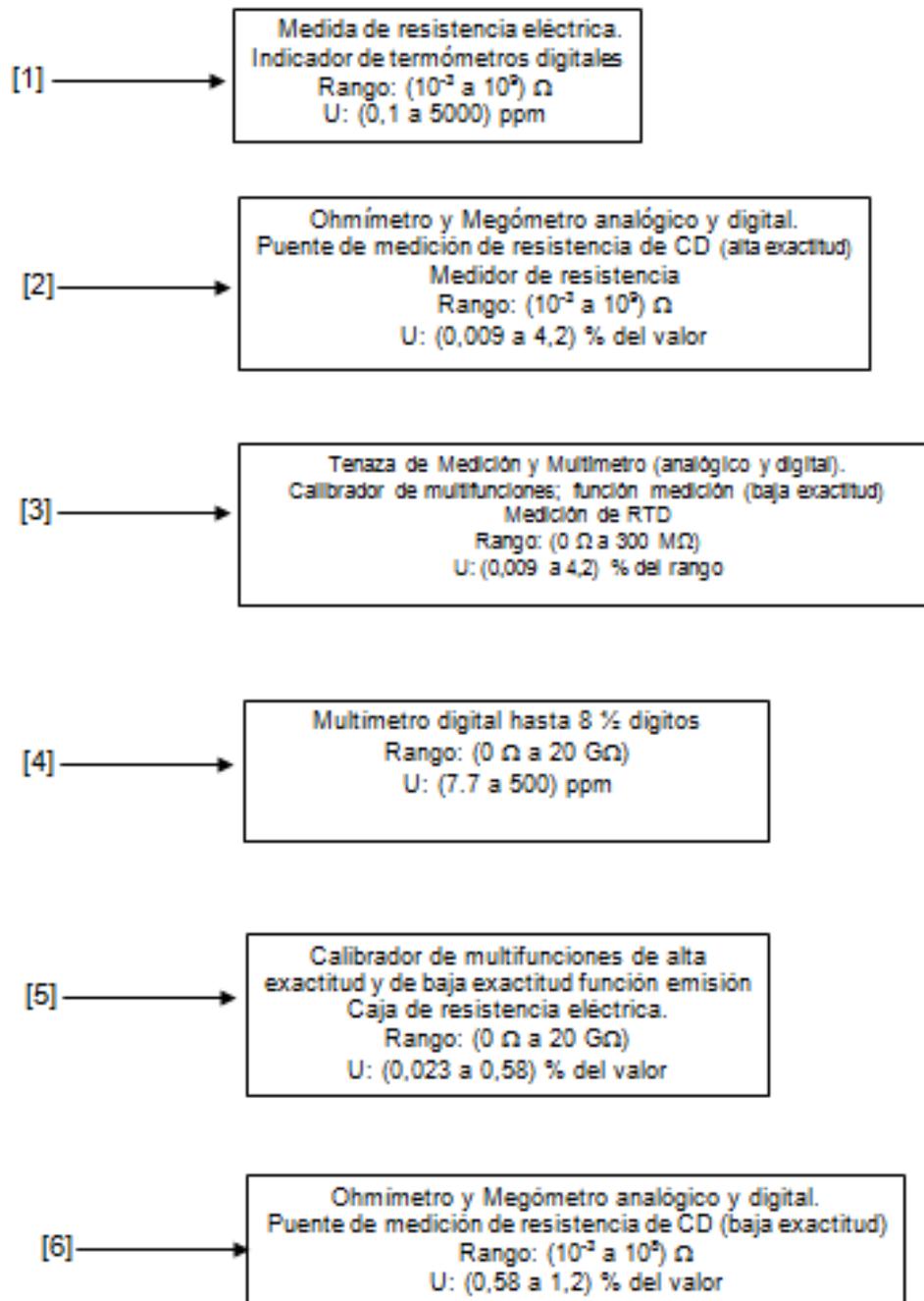


Fig. 4. Descripción del Nivel 3 del esquema de trazabilidad con los correspondientes valores de incertidumbre.

Lo marcado en la figura 3 entre las llaves se corresponde con lo que actualmente tienen los laboratorios de los Centros Territoriales de Metrología (CTM) que pertenecen al Servicio Nacional de Metrología (SENAMET), observándose la trazabilidad al Patrón Nacional de Resistencia eléctrica.

En la actualidad los INM reproducen el ohm a partir del efecto Hall cuántico (figura 5), utilizando constantes físicas, a saber, la constante de Plank y la carga del electrón. Con esto se logra una alta seguridad en su reproducción, e incertidumbres muy pequeñas. Debido al alto costo de esta forma de realización de la unidad de medida, en los laboratorios nacionales de mayor desarrollo, a pesar de que el patrón primario se basa en el efecto Hall, la unidad de medida se conserva a través de medidas materializadas de resistencia.



Fig. 5. Efecto Hall cuántico.

El laboratorio de Electricidad del INIMET, con el objetivo de que fueran publicadas sus CMC en el apéndice C de la Base de datos de comparaciones clave (KCDB) del BIPM, participó, con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina (INTI), en la intercomparación de resistencia eléctrica de corriente directa de valores nominales de 1  $\Omega$  y 10 k $\Omega$ , documentada como SIM.EM-S9.b, la cual se realizó entre los meses de marzo y octubre del 2012. A través de la misma, el Comité Técnico de Electricidad y Magnetismo del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) reconoce el vínculo entre el INIMET y el INTI que pertenecen a las organizaciones regionales COOMET y SIM respectivamente, con la comparación clave del SIM.EM-K1-K2-S6.

Para llevar a cabo las mediciones de esta intercomparación se utilizó en el INIMET la instrucción de calibración IC 209-01: 2010 [3] Diseminación de la unidad de medida de resistencia eléctrica. En dicha comparación se obtuvieron resultados satisfactorios y los mismos se presentan a continuación:

- **Para la resistencia de valor nominal 1  $\Omega$**

La diferencia entre el valor asignado al patrón de 1  $\Omega$  por el INTI ( $R_{INTI}$ ), y el que le asignó el INIMET, ( $R_{INIMET}$ ) fue;  $R_{INTI} - R_{INIMET} = - 0.68 \mu\Omega$  con una incertidumbre combinada  $u_c = 1,07 \mu\Omega$ . En la figura 6 se pueden apreciar los resultados de las mediciones de ambos laboratorios para dicho valor de resistencia eléctrica.

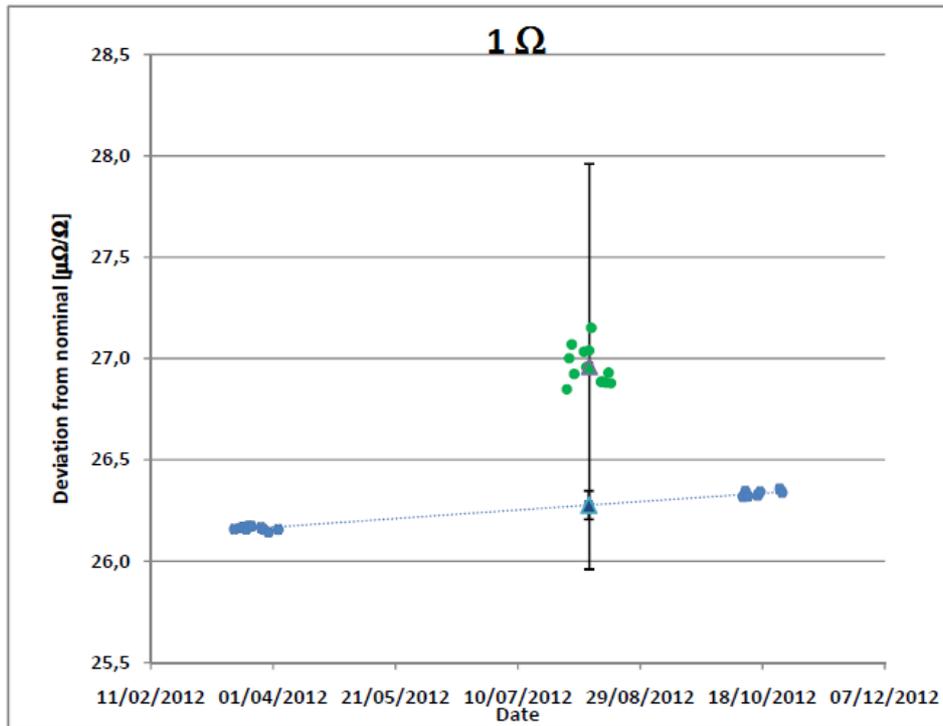


Fig. 6. Mediciones de la resistencia de valor nominal 1 Ω obtenidos en el INTI (en azul) e INIMET (en verde).

▪ **Para la resistencia de valor nominal 10 kΩ**

Al igual que en el caso anterior la diferencia entre el valor asignado al patrón de 10 kΩ por el INTI ( $R_{INTI}$ ), y el que le asignó el INIMET, ( $R_{INIMET}$ ) fue;  $R_{INTI} - R_{INIMET} = 0,005 \Omega$  con una incertidumbre combinada  $u_c = 0,009 \Omega$ . En la figura 7 aparecen los resultados de las mediciones de ambos laboratorios para el valor de 10 kΩ.

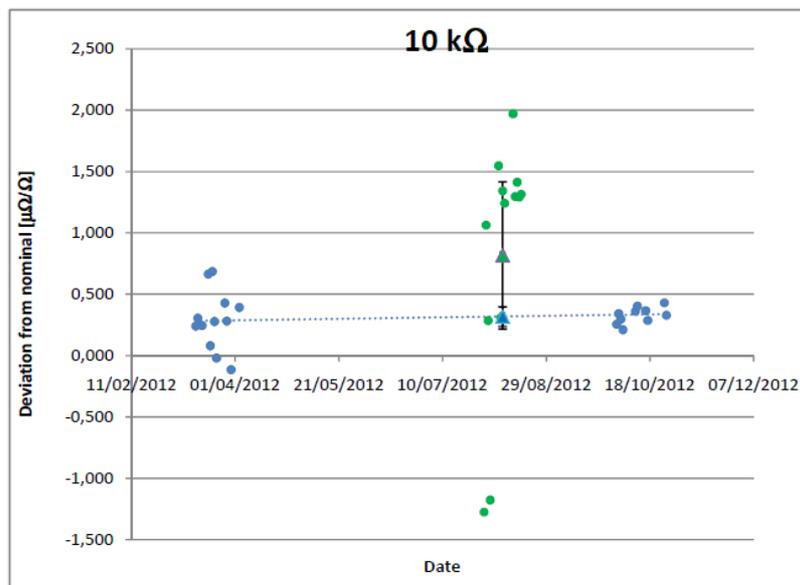


Fig. 7. Mediciones de la resistencia de valor nominal 1 Ω obtenidos en el INTI (en azul) e INIMET (en verde).

En las figuras 6 y 7 la línea azul punteada indica la aproximación lineal realizada por mínimos cuadrados de las mediciones hechas en el INTI al inicio y al final de la comparación.

Los valores de las incertidumbres reportadas por el INIMET en esta intercomparación, como se aprecia en las figuras 6 y 7, son extremadamente grandes en comparación con los reportados por el INTI, que obtiene la trazabilidad a partir del efecto Hall cuántico. Es por ello que el laboratorio de Electricidad, en su proyección futura se propone obtener la infraestructura técnica necesaria para montar el efecto Hall, con el objetivo de disminuir los niveles de incertidumbre actuales y que esta sea comparable con la de otros INM.

Los resultados satisfactorios obtenidos en la intercomparación con INTI, se expresan en el informe final [4] y, tal como se muestra en la Tabla 1, le permitieron al laboratorio que fueran publicadas 17 líneas de CMC en la base de datos KCDB del BIPM, que corresponden a resistencia eléctrica de corriente directa desde el 2015, las que se pueden consultar en <http://kcdb.bipm.org/AppendixC>.

En el 2018 el Laboratorio participó en otra intercomparación, esta vez de COOMET, con proyecto número 624/GE-a/13; donde participaron también los INM: GEOSTM (Georgia); BELGIM (Belarus); AZSTANDART (Azerbaijan); IMBIH (Bosnia y Herzegovina); INIMET (Cuba); KazInMetr (Kazakhstan); VMT/FTMC (Lituania); INM (República Moldova); MASM (Mongolia); aún se elaboran los informes pertinentes.

En la figura 8 se presenta el esquema de trazabilidad de la proyección del laboratorio para resistencia eléctrica de corriente directa. De lograr la trazabilidad en resistencia eléctrica a partir del efecto Hall se lograría una disminución considerable de las incertidumbres en todos los niveles del esquema hasta el nivel 3.

Tabla. 1 Líneas de las CMC publicadas en KCDB del BIPM

Calibration and Measurement Capabilities

Electricity and Magnetism, Cuba, INIMET (Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología)



Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty						
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?	NMI Service Identifier	Comments
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\Rightarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	1	1	$\Omega$	Oil bath temperature	(23 $\pm$ 0.05) °C	2.1	$\mu\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-4	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\Rightarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	10	10	$\Omega$	Oil bath temperature	(23 $\pm$ 0.05) °C	21	$\mu\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-5	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\Rightarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	100	100	$\Omega$	Oil bath temperature	(23 $\pm$ 0.05) °C	0.24	m $\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-6	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\Rightarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	1	1	k $\Omega$	Oil bath temperature	(23 $\pm$ 0.05) °C	2.6	m $\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-7	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\Rightarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	10	10	k $\Omega$	Oil bath temperature	(23 $\pm$ 0.05) °C	2.7	m $\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-8	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\Rightarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	100	100	k $\Omega$	Oil bath temperature	(23 $\pm$ 0.05) °C	0.29	$\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-9	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\Rightarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	1	1	M $\Omega$	Oil bath temperature	(25 $\pm$ 0.5) °C	12	$\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-10	Approved on 09 March 2015

## Electricity and Magnetism, Cuba, INIMET (Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología)



Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty					NMI Service Identifier	Comments
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?		
DC resistance standards and sources: high values (> 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	10	10	M $\Omega$	Room temperature	(25 $\pm$ 0.5) °C	0.2	k $\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-11	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: high values (> 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	100	100	M $\Omega$	Room temperature	(25 $\pm$ 0.5) °C	2.7	k $\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-12	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: high values (> 1 M $\Omega$ )	Fixed resistor	Direct comparison	1	1	G $\Omega$	Room temperature	(25 $\pm$ 0.5) °C	41	k $\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-13	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: lower values (< 1 $\Omega$ )	Resistance box	Compensation	0.01	0.01	$\Omega$	Room temperature	(23 $\pm$ 2) °C	250	$\mu\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-14	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: lower values (< 1 $\Omega$ )	Resistance box	Compensation	0.1	0.1	$\Omega$	Room temperature	(23 $\pm$ 2) °C	20	$\mu\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-15	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values (<= 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Resistance box	Compensation	1	1	$\Omega$	Room temperature	(23 $\pm$ 2) °C	5	$\mu\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-16	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values (<= 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Resistance box	Compensation	10	10	$\Omega$	Room temperature	(23 $\pm$ 2) °C	82	$\mu\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-17	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values (<= 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Resistance box	Compensation	100	100	$\Omega$	Room temperature	(23 $\pm$ 2) °C	1.2	m $\Omega/\Omega$	2	95%	Yes	209-18	Approved on 09 March 2015

## Electricity and Magnetism, Cuba, INIMET (Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología)

Calibration or Measurement Services			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent variables		Expanded Uncertainty					NMI Service Identifier	Comments
Quantity	Instrument or artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?		
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\leftarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Resistance box	Compensation	1	1	k $\Omega$	Room temperature	(23 $\pm$ 2) °C	15	m $\Omega$ /k $\Omega$	2	95%	Yes	209-19	Approved on 09 March 2015
DC resistance standards and sources: intermediate values ( $\leftarrow$ 1 $\Omega$ to 1 M $\Omega$ )	Resistance box	Compensation	100	100	k $\Omega$	Room temperature	(23 $\pm$ 2) °C	1.5	m $\Omega$ /k $\Omega$	2	95%	Yes	209-21	Approved on 09 March 2015

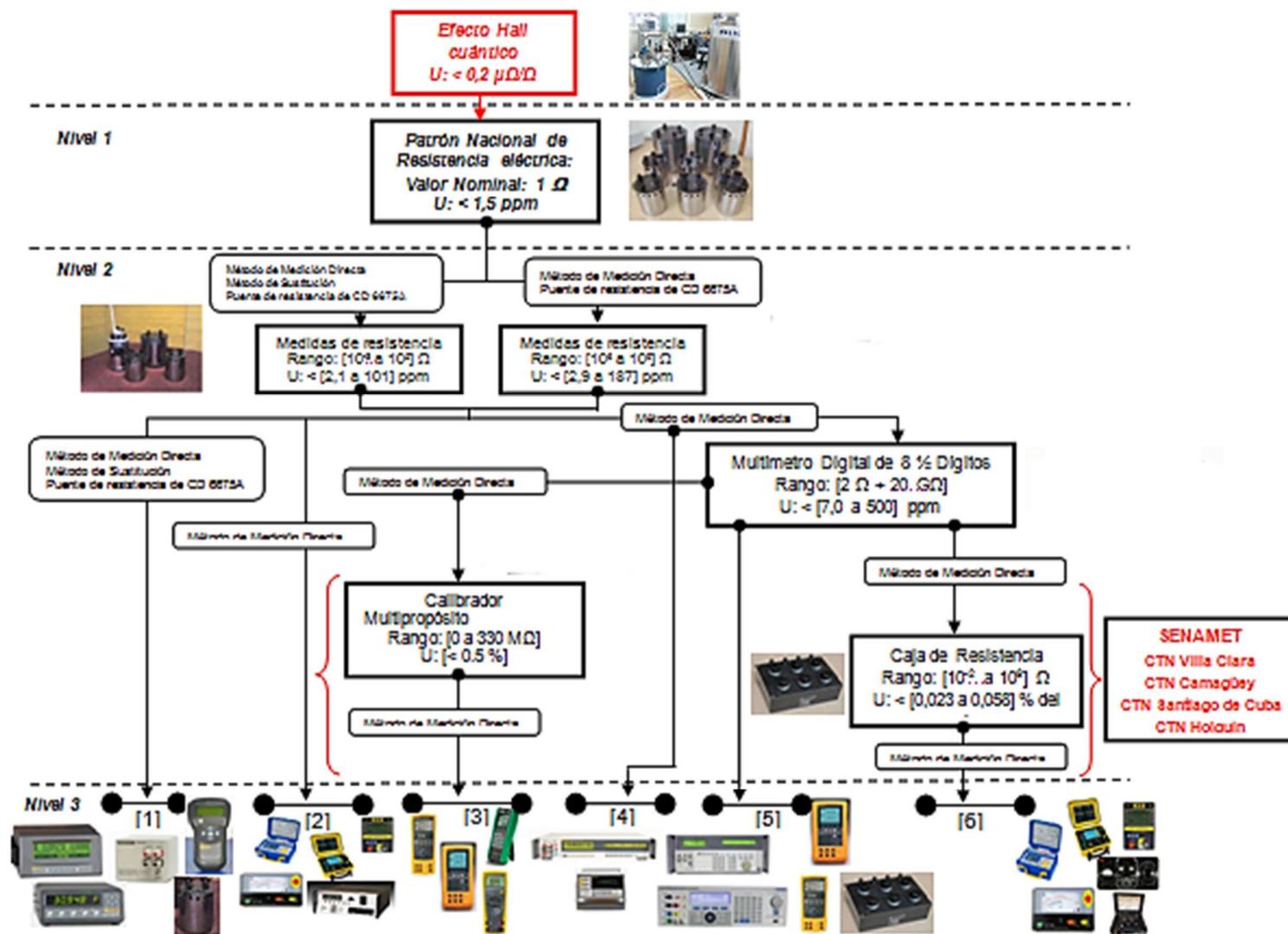


Fig. 8. Proyección para el esquema de Trazabilidad de Resistencia Eléctrica de corriente directa

## RESULTADOS Y DISCUSION

Tomando en consideración la proyección que se plantea en la figura 8 del esquema de trazabilidad metrológica de resistencia eléctrica de corriente directa, el laboratorio lograría:

- Contar en el INM de Cuba con el patrón primario [1] de resistencia eléctrica de corriente directa.
- Disminuir los valores de las incertidumbres de las mediciones de esta magnitud en todos los niveles del esquema de trazabilidad, con impacto en el CTN Villa Clara, CTN Camagüey, CTN Holguín y CTN Santiago de Cuba y otros laboratorios acreditados de la economía.
- Participar en intercomparaciones (claves, suplementarias o bilaterales), en las organizaciones regionales de metrología COOMET y SIM, con niveles de incertidumbre comparables con otros INM.
- Mejorar las CMC publicadas en la base de datos del BIPM.
- Servir de referencia en comparaciones claves, suplementarias o bilaterales.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se evidencia que en la magnitud de resistencia eléctrica de corriente directa se garantiza la dissemination de la unidad del ohm a partir del Patrón Nacional de Resistencia eléctrica certificado en la República de Cuba, y dichas mediciones tienen un adecuado reconocimiento internacional a través de la publicación de esta en las CMC de la base de datos KCDB del BIPM.

La proyección futura para obtener la trazabilidad metrológica en esta magnitud a partir del Efecto Hall, colocaría al INM de Cuba al mismo nivel que otros INM del área y contribuiría a mejorar los niveles de incertidumbre de los valores de referencia en todo el rango de resistencia eléctrica para el Servicio Nacional de Metrología (SENAMET) y otros laboratorios de la economía nacional.

## RECOMENDACIONES

- Continuar participando en intercomparaciones internacionales con los niveles de incertidumbres que hasta ahora se han logrado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **NC OIML V2** Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM). OIML V2: 2010. Segunda Edición 2012.
- [2] **NC OIML D 5**. Principios para el establecimiento de los esquemas de jerarquía para los instrumentos de medición. 1ra Edición; 1996
- [3] IC 209-01: 2010. Instrucción de Calibración. Disseminación de la unidad de medida de resistencia eléctrica. Revisión 1, Septiembre 2010.
- [4] A.Tonina, M. Currás, M. Navarro. Comparison final report SIM.EM–S9b 1  $\Omega$  and 10 k $\Omega$ . Resistance Bilateral Comparison between SIM/COOMET Laboratories. Resistance Standards Comparison at 1  $\Omega$  and 10 k $\Omega$  between INIMET (Cuba) and INTI (Argentina). August, 2013.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). MP-CA006-02 Política referente a la trazabilidad.

Disponible en:

<http://www.qualitat.cc/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/2017.trazabilidad.ema.ac.pdf> Consultado el 2019-12-11

Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). MP-CA005-02 Política referente a la incertidumbre de las mediciones. <https://vdocuments.mx/mp-ca005-02-politica-incertidumbre-mediciones.html> Consultado el 2019-12-11

<https://www.cem.es/cem/estructura-del-cem/mems/electricidad/resistencia> Consultado el 2019-12-11.

Centro Nacional de Metrología (CENAM). CNM-PNE-3 Patrón Nacional de Resistenci Eléctrica en corriente Continua. Disponible en:

<http://www.cenam.mx/publicaciones/descargas/PDFFiles/cnm-pne-3.PDF> Consultado el 2019-12-11

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

Martínez, A. Trazabilidad Magnitudes Eléctricas. XV Seminario Subred Minería: Conceptos Básicos de Metrología en Magnitudes Eléctricas. Octubre 2015.

**NC ISO/IEC 17025.** Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. 3ra Edición; Diciembre 2017.

**Fecha de recepción del artículo:** 2019-11-20

**Fecha de aceptación del artículo:** 2019-12-20