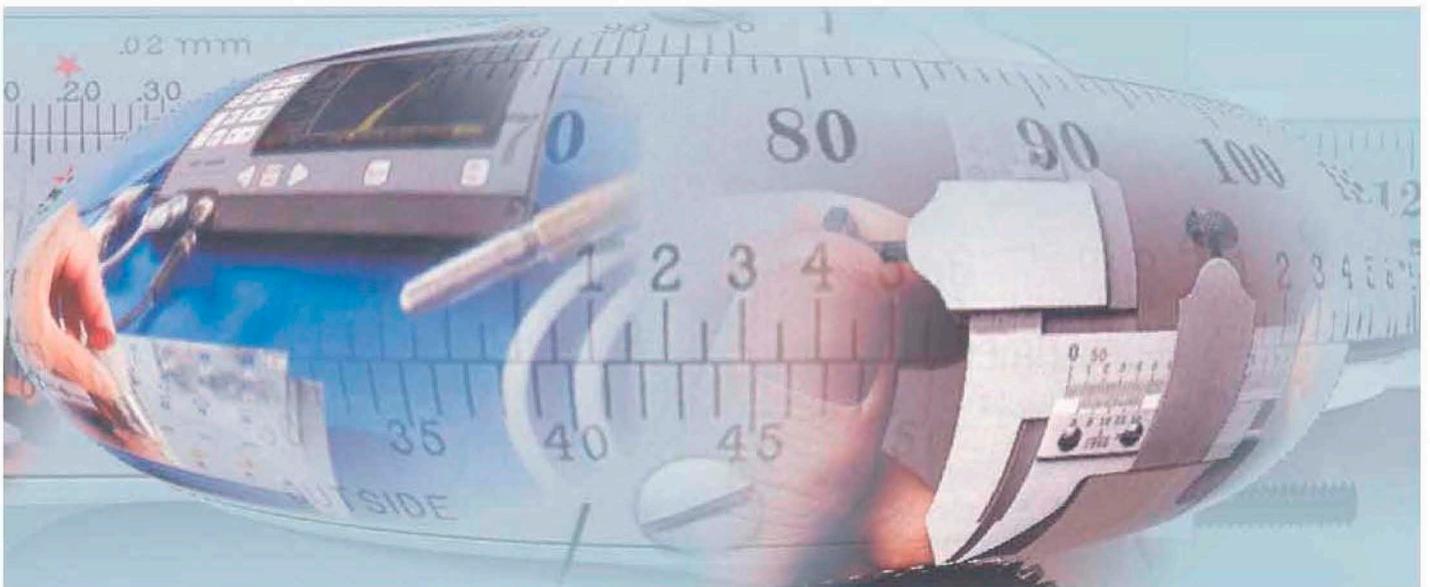


# BOLETÍN CIENTÍFICO-TÉCNICO



**AL SERVICIO DE LA METROLOGÍA**

## EDITORIAL

Estimado lector:

En este año 2016 el Día Mundial de la Metrología, que se celebra cada año el 20 de mayo, bajo el auspicio del Buro Internacional de Metrología Legal y el Buro Internacional de Pesas y Medidas, está dedicado a **“Las mediciones en un mundo dinámico”**. Esto es un reflejo de los desafíos que tiene ante sí la comunidad de metrologos, que debe dar una respuesta adecuada a las necesidades de medición de cantidades dinámicas y de cuerpos en movimiento que se van incrementando en las empresas innovadoras y de alta tecnología. Este tipo de mediciones también están presentes en actividades más cotidianas, como el pesaje dinámico de trenes y camiones, o las mediciones relacionadas con la seguridad vial.

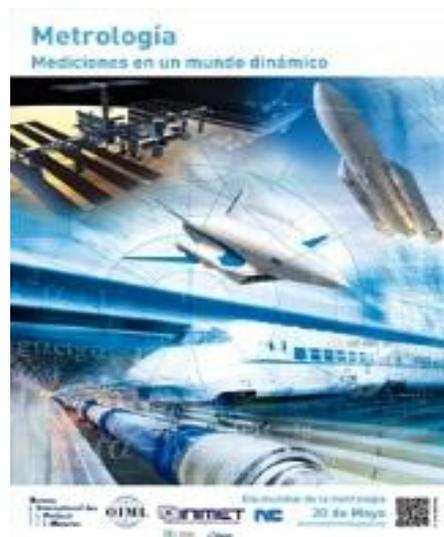
En este número se incluyen los resultados obtenidos en el aseguramiento metrológico a instrumentos medidores de la velocidad de los medios de transporte, basados en el principio de medición por efecto Doppler y el conjunto de acciones realizadas por el Laboratorio de Electricidad del INIMET para la asimilación de la nueva tecnología adquirida en país y de los procedimientos de verificación de las pistolas radar.

También se ponen a su disposición los resultados preliminares de la creación del Patrón Nacional de Densidad de Líquidos del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), que se encuentra en estado de maqueta funcional y utiliza el método de pesaje hidrostático basado en el principio de Arquímedes para la determinación de la densidad de líquidos, así como un novedoso método para la estimación de la incertidumbre de las mediciones volumétricas de los recipientes patrones y de trabajo, utilizando uno o más recipientes patrones, del Laboratorio de Volumen del INIMET.

Por último, se incluyen las acciones realizadas por un nutrido grupo de especialistas del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), con la colaboración de otras entidades científicas, educacionales y productivas del país, que durante más de veinte años se han dedicado a la diseminación de conocimientos fundamentales y básicos sobre metrología, a la formación de capital humano y a la elevación de la percepción pública sobre metrología, lo que ha significado una notable contribución con gran impacto en la comunidad científica y la sociedad en general. Este resultado recibió uno de los Premios Anuales de la Academia de Ciencias de Cuba en el año 2015.

Esperamos que nuestras propuestas les sean de utilidad.

MCs Nelson Julián Villalobos Hevia  
Director  
Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología



**Boletín Científico -Técnico INIMET**

**Título abreviado: BCT INIMET**

**No. 1 - 2 2016**

**Cubre:** 2016

ISSN versión impresa: 0138-8576  
ISSN versión electrónica: 2070-8505

**EQUIPO EDITORIAL**

**Director editorial**

Ing. Eduardo Guillermo Pérez González

**Coordinación, diseño, producción y distribución**

Lic. Herminia E. Díaz Terry

**Traducción**

Jesús Bran Suárez

**Impresión**

Editorial IDICT

**Redacción, administración e impresión**

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

**Teléfonos**

(537) (07) 8623041-44 ext. 116  
(537) (07) 8643365-68 ext. 116

**Correo-e:** [normateca@inimet.cu](mailto:normateca@inimet.cu)

**Sitio Web**

<http://www.inimet.cubaindustria.cu>

**Acabado del Boletín**

Editorial IDICT. Industria esquina  
San José No. 452  
Centro Habana, La Habana, Cuba.

**CONSEJO EDITORIAL**

MCs. Nelson Julián Villalobos Hevia<sup>1</sup>

Dr. C. José Ignacio Franco Fernández<sup>2</sup>

Lic. Nuris Eriótida Valdés Pereira<sup>1</sup>

Ing. Fernando Antonio Arruza Rodríguez<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Empresa Tecnomática, Cuba.

<sup>3</sup> Oficina Nacional de Normalización (ONN), Cuba.

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](mailto: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.**

**TABLA DE CONTENIDO / TABLE OF CONTENTS**  
**CIENCIA Y TÉCNICA / SCIENCE AND TECHNIQUE**

**Maqueta funcional del candidato a Patrón Nacional de Densidad de Líquidos del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología / 4**

Functional model of the candidate for National Fluid Density Standard of the National Metrology Research Institute / 4

MCs. Rodes Yanet Valdivia - Medina

Ing. Raúl Careaga - López

Colaboradores:

Téc. Alberto Félix Angueira - Sanabria

Téc. Arazai Valdés – Calderón

**Estimación de la incertidumbre en las mediciones volumétricas. Parte I: recipientes patrones y de trabajo / 13**

Estimation of volumetric measurement uncertainty - Part I: Standard and working flasks / 13

Autor: Lic. Yan Carlos Leyva - Labrador

Autor: Ing. Maritza Hernández - Apaceiro

**Aseguramiento metrológico a instrumentos medidores de la velocidad de movimiento de los medios de transporte / 27**

Metrological assurance of instruments meter movement speed means of transport / 27

Autor: Ing. Mirtha Navarro - González

Ing. Eduardo G. Pérez - González

Téc. Elba González - González

**Contribuciones para la formación de capital humano y elevación de la percepción pública sobre metrología / 37**

Contributions to the formation of human capital and lifting of public perception of metrology / 37

Autores: MCs. Alejandra Regla Hernández - Leonard

Dra. C. Ysabel Reyes - Ponce

**NOTICIAS / NEWS**

**Recibe el INIMET El premio Academia de Ciencia 2016 / 44**

Get the INIMET /The Academy of Science Award 2016 / 44

**Colaboración entre el INIMET y el VNIIOFI / 46**

Collaboration between INIMET and VIOFI / 46

**Visita del PTB al INIMET / 46**

Visit of GDP to INIMET / 46

**Delegación Vietnamita visita al INIMET / 46**

Vietnamese delegation visit to INIMET / 46

**Visita PTB Alemania / 46**

Visit of GDP to INIMET / 46

**Visitas Internacionales realizadas por el INIMET / 47**

Visit of INIMET / 47

**Proyectos del INIMET / 47**

Project portfolio INIMET /47

**Servicios que presta el INIMET / 47**

Services available at INIMET / 47

**Instrucciones a los autores / 48**

Instructions to authors / 48

## **Maqueta funcional del Patrón de Densidad de Líquidos del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología**

Autores:

MCs. Rodes Yanet Valdivia - Medina

Ing. Raúl Careaga - López

Colaboradores:

Téc. Alberto Félix Angueira - Sanabria

Téc. Arazai Valdés - Calderón

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET)-NC-ONN-CITMA.

Consulado No. 206, entre Ánimas y Trocadero. Centro Habana. La Habana.

E mail: [rodes@inimet.cu](mailto:rodes@inimet.cu), [raulc@inimet.cu](mailto:raulc@inimet.cu)

### **RESUMEN**

El Laboratorio de Densidad del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) trabaja en el desarrollo del Patrón Nacional de Densidad de Líquidos, utilizando el método de pesaje hidrostático basado en el principio de Arquímedes para la determinación de la densidad de líquidos.

**PALABRAS CLAVE:** Método de pesada hidrostática, Patrón (Esferas), Incertidumbre de las mediciones.

Abstract: The Density Laboratory of the National Institute of Metrology Research (INIMET) works on the development of the National Density Liquid Pattern, using the hydrostatic weighing method based on the Archimedes principle for the determination of liquid density.

**KEYWORDS:** Hydrostatic weighing method, Pattern (Spheres), Uncertainty of measurements.

### **INTRODUCCION**

La densidad es una magnitud física que juega un rol importante en la industria, la ciencia, la ingeniería y la tecnología. La determinación de la densidad de líquidos interviene en procesos tecnológicos, comerciales, fiscales y científicos. Por lo tanto, contar con un Patrón Nacional que garantice la trazabilidad metrológica de las mediciones de densidad de líquidos que se realizan en el país, aseguraría la caracterización del sistema general de medición y de las diversas fuentes de incertidumbre que intervienen.

El Laboratorio de Densidad del INIMET cuenta con dos esferas de ULE (Ultra Low Expansion), trazables metrológicamente al Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania, las cuales fueron utilizadas en el estudio que se realizó, que consistió en diseñar una maqueta funcional a través de un sistema de medición simple con el objetivo de determinar hidrostáticamente la densidad de líquidos y estimar la incertidumbre de las mediciones.

### **DESARROLLO**

La determinación de la densidad de líquidos mediante pesada hidrostática se realiza mediante un patrón sólido (esferas ULE 1 y ULE 2) de densidad conocida (masa y volumen), basado en el principio de Arquímedes, se pesa el patrón de densidad dentro del líquido que se quiere determinar su densidad, y por medio de la pérdida de peso del patrón, se calcula la densidad del líquido. ULE es un vidrio de expansión ultra bajo de silicato-titanio, con coeficiente de dilatación térmica muy bajo.

La expresión matemática empleada para calcular la densidad de los líquidos es:

$$\rho_l = \frac{(m_e - m'_e (1 - \rho_a / \rho_g))}{(V_{20}(1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ\text{C})))} \quad (1)$$

Donde:

$m_e$  : Masa de la esfera a la temperatura de referencia (20 °C) la cual se toma del certificado de calibración de cada esfera de ULE.

$m'_e$  : Masa aparente de la esfera la cual se obtiene de la diferencia entre la masa aparente de la esfera ( $m_{ec}$ ) junto con la cesta y la masa aparente de la cesta ( $m_c$ ).

$\rho_a$  : Densidad del aire a una temperatura ambiente en el local de 20 °C.

$\rho_g$  : Densidad del patrón con el que se calibra la balanza.

$V_{20}$  : Volumen de la esfera a la temperatura de referencia (20 °C) el cual se toma del certificado de calibración de cada esfera de ULE.

$\alpha_l$  : Coeficiente de dilatación volumétrica debido al incremento de temperatura.

$t_f$  : Temperatura real en el momento que se está tomando las lecturas en la balanza.

### Instrumentos de medición patrones

Se utilizó como patrón las esferas ULE 1 y ULE 2.

<p><b>ULE 1</b>  <math>m = (144,26184 \pm 0,0002) \text{ g}</math>  <math>v = (65,61778 \pm 0,0008) \text{ cm}^3 \text{ a } 20^\circ\text{C}</math></p>
---

<p><b>ULE 2</b>  <math>m = (144,34658 \pm 0,0002) \text{ g}</math>  <math>v = (65,66381 \pm 0,0008) \text{ cm}^3 \text{ a } 20^\circ\text{C}</math></p>
---



### Instrumentos de medición auxiliares

- ❖ Balanza Sartorius con resolución de 0,01 mg.
- ❖ Termómetro de líquido en vidrio de valor de división de 0,1 °C.
- ❖ Termohigrómetro ambiental Testo 175 H1 con rango de exactitud en temperatura de  $\pm 0,4^\circ\text{C}$  y en humedad relativa  $\pm 2,0\%$ .
- ❖ Baño termostático TV 7000LT con exactitud de 0,1 °C y estabilidad de 0,02 °C.

### Líquido de referencia

- ❖ Isooctano, valor teórico: (0,691 a 0,692) g/cm<sup>3</sup> a 20 °C.

### Dispositivo auxiliar

- ❖ Cesta de alambre de nicrom.

**Procedimiento para la determinación de la densidad líquidos**

Se realizó un ciclo de mediciones con diez corridas empleando el siguiente procedimiento:

1. Tarar la balanza con el soporte para medir con las esferas.
2. Llenar la probeta con el líquido a medir a 20 °C.
3. Suspender la cesta, tomar diez mediciones de la pesada dentro del líquido.
4. Tomar la lectura de la temperatura del líquido.
5. Suspender la cesta y la esfera, tomar diez mediciones de la pesada dentro del líquido.
6. Ajustar el nivel líquido de manera que el volumen sumergido sea igual para la cesta sola y la cesta y la esfera.
7. Tomar la lectura de la temperatura del líquido.
8. Controlar las magnitudes influyentes temperatura (20 ± 0,5) °C y humedad relativa (50 ± 20) %.

**Estimación de la incertidumbre de las mediciones**

Partiendo de la ecuación (1) como modelo matemático se realiza la propagación de la incertidumbre para la determinación de la densidad:

$$d\rho_l = \sqrt{\left(\frac{\partial\rho_l}{\partial m_k}\right)^2 dm_k^2 + \left(\frac{\partial\rho_l}{\partial m'_e}\right)^2 dm'_e{}^2 + \left(\frac{\partial\rho_l}{\partial \rho_a}\right)^2 d\rho_a^2 + \left(\frac{\partial\rho_l}{\partial \rho_g}\right)^2 d\rho_g^2 + \left(\frac{\partial\rho_l}{\partial V_{20}}\right)^2 dV_{20}^2 + \left(\frac{\partial\rho_l}{\partial \alpha_l}\right)^2 d\alpha_l^2 + \left(\frac{\partial\rho_l}{\partial t_f}\right)^2 dt_f^2} \tag{2}$$

Los coeficientes de sensibilidad son:

$\frac{\partial\rho_l}{\partial m_k} = \frac{1}{(V_{20}(1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ C)))}$	$\frac{\partial\rho_l}{\partial t_f} = -\frac{(m_k - m'_e e(1 - \rho_a / \rho_g)) * (\alpha_l)}{(V_{20}(1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ C))^2)}$
$\frac{\partial\rho_l}{\partial m'_e} = -\frac{(1 - \rho_a / \rho_g)}{(V_{20}(1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ C)))}$	$\frac{\partial\rho_l}{\partial \rho_g} = -\frac{(m'_e * \rho_a / \rho_g)}{(V_{20}(1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ C)))}$
$\frac{\partial\rho_l}{\partial \rho_a} = \frac{(m'_e / \rho_g)}{(V_{20}(1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ C)))}$	$\frac{\partial\rho_l}{\partial V_{20}} = -\frac{(m_k - m'_e (1 - \rho_a / \rho_g))}{((1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ C))V_{20}^2)}$
$\frac{\partial\rho_l}{\partial \alpha_l} = -\frac{(m_k - m'_e (1 - \rho_a / \rho_g)) * (t_f - 20^\circ C)}{(V_{20}(1 + \alpha_l(t_f - 20^\circ C))^2)}$	

**Incertidumbre en la determinación de la masa de cada esfera ( $m_e$ ):**

Esta fuente de incertidumbre se toma del certificado de calibración de las esferas con respecto a la medición de masa que se hizo cuando se calibró cada esfera.

**Incertidumbre en la determinación de las masas aparentes ( $m_{ec}$ ,  $m_{c}$ ):**

Para la estimación de la incertidumbre de las mediciones de masa se consideran las fuentes siguientes:

- ❖ Repetibilidad de las mediciones:  $u_{rep}$
- ❖ Resolución de la balanza:  $u_{res}$
- ❖ Calibración de la balanza:  $u_{cal}$

El cálculo de incertidumbre para las mediciones de la masa aparente (cesta y esfera) y (cesta sola) es idéntico es por esto que solo reflejaremos las ecuaciones para  $m_{ec}$ .

$$u_m = \sqrt{u_{rep}^2 + u_{res}^2 + u_{cal}^2} \tag{4}$$

**- Incertidumbre de masa por repetibilidad**

Para la incertidumbre por repetibilidad será utilizada la desviación estándar que será calculada según:

$$u_{rep} = \frac{\Delta m}{h} \tag{5}$$

Factor  $h$ : es un factor tabulado en la tabla, dependiente de la cantidad de repeticiones de la medición, para  $n=10$   $h=3.078$ .

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
h	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078	3.173	3.258	3.336	3.407	3.472

$\Delta m$ : es el rango o diferencia entre valor máximo y el valor mínimo de las mediciones.

**- Incertidumbre de masa por resolución**

La incertidumbre por resolución se estima asumiendo una distribución rectangular sobre la resolución de la balanza:

$$u_{res} = \frac{r}{2\sqrt{3}} \tag{6}$$

Donde:

$r$ : es la resolución de la balanza.

**- Incertidumbre de masa por la calibración de la balanza**

La incertidumbre por la calibración de la balanza será tomada del certificado de calibración de la balanza vigente tomándose el valor de incertidumbre correspondiente al punto máximo de la calibración  $U_{cal}^{max}$ . Los valores reportados en el certificado de calibración son de incertidumbres expandidas; se buscará la incertidumbre típica

combinada al dividir esta entre el factor de cobertura  $k$ , que usualmente es igual a dos para un nivel de confianza del 95%.

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}^{max}}{k} \quad (7)$$

**Incertidumbre de la determinación de la densidad del aire  $\rho_a$**

Para la determinación del valor de la densidad del aire se utiliza la siguiente ecuación de estado:

$$\rho_a = \frac{PMa}{ZRT} \left( 1 - Xv \left( 1 - \frac{Mv}{Ma} \right) \right) \quad (8)$$

**Incertidumbre de la determinación de la densidad del patrón empleado en la calibración de la balanza  $\rho_g$**

El valor para esta fuente de incertidumbre es 2,89E-02 g/cm<sup>3</sup>.

**Incertidumbre de la determinación del volumen de la esfera (a 20° C) V20:**

Esta fuente de incertidumbre se toma del certificado de calibración de la esfera a 20 °C. El valor de incertidumbre expandida reportado en el certificado de calibración será dividido por el factor de cobertura  $k$  (con valor =2 para un 95% de nivel de confianza) para obtener la incertidumbre típica combinada:

$$u_{cal} = \frac{U_{cal}^{max}}{k} \quad (9)$$

**Incertidumbre de la determinación del coeficiente de dilatación volumétrica de la esfera de ULE debido al incremento de temperatura  $\alpha_1$  :**

Este valor se toma de la literatura en dependencia del material del sólido que se dilata. Para este caso el material de la esfera es ULE y el valor es 5,00E-08  $K^{-1}$ .

**Incertidumbre de la determinación de la temperatura real en el momento que se esta tomando las lecturas en la balanza:**

Esta fuente de incertidumbre se toma del certificado de calibración del termómetro de vidrio con el que se midió la temperatura durante la medición.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

La aplicación del método de pesaje hidrostático para determinar la densidad de los líquidos en el laboratorio consistió en un soporte móvil con una probeta de 2 L que contiene en su interior el líquido de densidad conocida (isooctano), donde se sumerge las esferas ULE 1 y ULE 2, utilizando una cesta de sostén que se encuentra colgada de la balanza, ubicada encima de la probeta (Fig. 1).



Fig. 1. Estructura del sistema de medición simple utilizado para medir la densidad de los líquidos.

En el experimento se obtuvieron dos resultados en la estimación de las incertidumbres de las mediciones:

- **Incertidumbre expandida para  $k=2$  y un 95 % de nivel de confianza, en el orden (1,1E-04 a 8,9E-05)  $\text{g/cm}^3$** , en el cual no se logra regular la temperatura (temperatura del líquido y temperatura del local), con un comportamiento inestable de la balanza durante el proceso de medición (condiciones antivibratorias y de aislamiento necesarios para la instalación).
- **Incertidumbre expandida para  $k=2$  y un 95 % de nivel de confianza, en el orden (2,6E-05 a 4,6E-05)  $\text{g/cm}^3$** , donde la temperatura del líquido y temperatura del local son casi iguales, y el comportamiento de la balanza durante el proceso de medición fue estable (estabilidad de la temperatura del líquido y temperatura del local).

En la Fig. 2 se evidencia un ejemplo de medición en el laboratorio.



Fig. 2. Ejemplo de medición en el laboratorio.

A continuación aparece un ejemplo de resultados obtenidos durante el proceso de medición en la determinación de la densidad del isooctano, Tabla 1, 2 y 3.

Tabla 1. Ejemplo de mediciones realizadas para la determinación de la densidad del isooctano (masa aparente de la esfera y cesta).

masa aparente de la esfera y cesta (m'cc) (g)	
1	100,17727
2	100,17710
3	100,17680
4	100,17680
5	100,17650
6	100,17633
7	100,17642
8	100,17656
9	100,17666
10	100,17670
media	100,17671

Tabla 2. Ejemplo de mediciones realizadas para la determinación de la densidad del isooctano (masa aparente de la cesta).

masa aparente de la cesta (m'c) (g)	
1	1,33850
2	1,33845
3	1,33851
4	1,33859
5	1,33856
6	1,33849
7	1,33844
8	1,33846
9	1,33835
10	1,33837
media	1,33847

Tabla 3. Resultado del valor de densidad del isooctano para las corridas anteriores.

Densidad del líquido (g/cm <sup>3</sup> )
<b>0,692246</b>

En las mediciones realizadas también fueron evaluadas las fuentes de incertidumbres, a continuación en la Tabla 4, 5 y 6 aparecen los resultados obtenidos.

Tabla 4. Resultados de incertidumbres típicas combinadas de cada fuente evaluada.

Fuentes de incertidumbres					u <sub>c</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
Incertidumbre de la determinación de las masas m' <sub>ec</sub> , m' <sub>cc</sub> (g)	m				
	m' <sub>ec</sub>	5,552274E-04	2,886751E-06	1,000000E-05	5,553250E-04
	m' <sub>cc</sub>	1,417602E-04	2,886751E-06	1,000000E-05	1,421428E-04
Incertidumbre de la determinación de la temperatura					2,890000E-02
Incertidumbre de la determinación del volumen de la esfera a 20 °C					8,000000E-04
Incertidumbre de la determinación de la densidad del patrón empleado en la calibración de la balanza					2,890000E-02
Incertidumbre de la determinación del coeficiente de expansión volumétrica					5,000000E-08
Incertidumbre de la determinación de la densidad del aire					2,150000E-05

Tabla 5. Valores de los coeficientes de sensibilidad por la incertidumbre típica combinada de cada fuente.

$\left(\frac{\partial \rho}{\partial \rho}\right) \Delta \rho$	Incertidumbre típica combinada (g/cm <sup>3</sup> )
$\partial \rho / \partial m_K$	3,047957E-06
$\partial \rho / \partial m'_{ec}$	8,735867E-06
$\partial \rho / \partial \rho_a$	4,041038E-06
$\partial \rho / \partial \rho_s$	1,260373E-06
$\partial \rho / \partial V_{20}$	8,442438E-06
$\partial \rho / \partial \alpha_1$	1,731170E-08
$\partial \rho / \partial t_f$	3,001849E-08

Tabla 6. Valores de la incertidumbre típica combinada y expandida.

Incertidumbre típica combinada total (g/cm <sup>3</sup> )
<b>1,3E-05</b>
Incertidumbre expandida (g/cm <sup>3</sup> ) (K=2)
<b>2,6E-05</b>

## **CONCLUSIONES**

Partiendo del diseño de experimento de la maqueta funcional del Patrón de Densidad de Líquidos, se obtuvo como resultado parcial la realización de las corridas para determinar la densidad de líquidos (isooctano), en el Laboratorio de Densidad del INIMET (utilizando las esferas ULE 1 y ULE 2), con niveles de incertidumbre expandida en el orden de ( $10^{-4}$  a  $10^{-5}$ ) g/cm<sup>3</sup> para k=2 y un 95 % de nivel de confianza.

## **RECOMENDACIONES**

- Transformar la estructura que soporta el sistema de medición. Se debe hermetizar con acrílico o cristal, de manera tal que proteja la balanza de corrientes de aire que se generan en el laboratorio, que provocan desestabilización térmica y oscilaciones, produciendo variaciones en la lectura de la balanza.
- Crear condiciones antivibratorias en el local para disminuir las posibles variaciones de la balanza.
- Adquirir o diseñar para su confección, el sistema de suspensión, necesario en la realización de las mediciones.
- Modificar el sistema de climatización, de manera que se pueda regular y controlar las magnitudes influyentes tales como la temperatura y humedad relativa.
- Automatizar las mediciones.

## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

- [1]. Becerra Luis O., Determinación de la densidad de sólidos y líquidos, CNM-MMM-PT- 0002, México, 1995.
- [2]. Becerra Luis O., Pezet Félix, Trazabilidad en la calibración de densidad, División de Metrología de Masa, CENAM.
- [3]. Buchner Christian, Facilidad de prueba automática para la determinación de la densidad de los líquidos y de sólidos, y la determinación del volumen de pesos E1, 2007.
- [4]. JCGM 100, Evaluación de datos de medición, Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, Primera edición Septiembre 2008 (original en inglés), NIPO EDICIÓN DIGITAL 1: 706-10- 001- 0 en español, traducción 1ª Ed. Sept. 2008.
- [5]. NC OIML V2, Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM), Publicada por la OIML en 2010, 2da Edición, ONN, La Habana, Cuba, Octubre 2012.
- [6]. Tovar L. J., Ramos D., Becerra L. O., Diaz J.C., Automatización del sistema de pesada hidrostática para la medición de densidad del líquidos, Simposio de Metrología Querétaro, México, 2010.

**Fecha de recepción del artículo: 2017.02.06**

**Fecha de aceptación del artículo: 2017.02.28**

## **ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES VOLUMÉTRICAS. PARTE I: RECIPIENTES PATRONES Y DE TRABAJO**

Autores: Ing. Maritza Hernández - Apaceiro\* [maritzah@inimet.cu](mailto:maritzah@inimet.cu)  
Lic. Yan Carlos Leyva - Labrador\*\* [yancarlos@inimet.cu](mailto:yancarlos@inimet.cu)

\* Jefe del Laboratorio de Volumen, Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), CITMA, Cuba

\*\* Especialista en Metrología, INIMET

### **RESUMEN**

Este trabajo describe la obtención de un método para la estimación de la incertidumbre en la calibración de los recipientes patrones y de trabajo, utilizando uno o más recipientes patrones. El método se sustenta en el software MATLAB. Se desarrolla una interfaz de usuario que permite al calibrador realizar la estimación de la manera más sencilla posible, pues la información de los patrones a utilizar está previamente almacenada en el software. La estimación de la incertidumbre de medición se desarrolla de acuerdo con la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición". Asimismo, se incluye una comparación de los resultados que ofrece dicha interfaz de usuario con los obtenidos a través de una hoja de cálculo en Excel procedente del Instituto de Física y Tecnología de Alemania (PTB), la cual hasta el presente, era utilizada por el Laboratorio de Volumen del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología. Se muestra la diferencia algebraica entre el método de estimación de la incertidumbre descrito en este trabajo y el mencionado procedimiento que se llevaba a cabo en el laboratorio.

**Palabras claves:** Estimación de la incertidumbre, calibración, recipientes patrones, interfaz de usuario, Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición.

### **ABSTRACT**

The definition of a method to estimate measurement uncertainty in the calibration of standard and working flasks using one or more standard flasks is described. The method is based on the MATLAB software, which develops a user interface that allows the technician to make the estimation in the simplest way, since the information about the standard is already stored in the software. The estimation of measurement uncertainty is made according to the "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement". A comparison of the results from the said user interface with those produced by an Excel spreadsheet of the National Metrology Institute of Germany (PTB), hitherto used by the Volume Laboratory of the National Metrology Research Institute, is included. The algebraic difference between the aforesaid method to estimate measurement uncertainty and the procedure used by the laboratory is shown.

**KEY WORDS:** measurement uncertainty, calibration, standard flasks, user interface, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.

### **INTRODUCCIÓN**

La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurando.

En un proceso de medición el objetivo es obtener uno o varios valores atribuibles a una magnitud, los cuales se obtienen ya sea de una sola medición o de un conjunto de repeticiones, donde el valor es determinado por la media del grupo de valores. El resultado de una medición se debe corregir por los errores sistemáticos (conocidos) y a este valor se asocia un intervalo, en el cual, dentro de un nivel de confianza estimado, debe encontrarse el "valor verdadero".

La diferencia que existe entre cada valor del conjunto de repeticiones de la medición está dada por diferentes fuentes inherentes a la medición.

Las mediciones volumétricas son de vital importancia para la economía y la ciencia, pues a diario se realizan infinidad de transacciones de líquidos que son fundamentales para la vida cotidiana y el desarrollo de un país, como son el petróleo y sus derivados, el agua, el alcohol, los aceites comestibles, etc., además en los laboratorios de investigación para el desarrollo de medicamentos y vacunas se ejecutan mediciones con elevada exactitud.

Por lo anterior, disponer de recipientes patrones con exactitud adecuada es un propósito fundamental para la trazabilidad metrológica en las mediciones volumétricas.

En este trabajo se expone la estimación de la incertidumbre asociada a la calibración de los recipientes patrones y de trabajo (en lo adelante “recipientes”).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La estimación de la incertidumbre asociada a la calibración de los recipientes patrones y de trabajo se realizó de acuerdo con la “Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición” (GUM).

La programación de la estimación de la incertidumbre se ejecuta con el software “MatrixLaboratory” (“MATLAB”). Éste es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como caso particular también puede trabajar con números escalares tanto reales como complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de sus posibilidades más útiles es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones, además de tener un lenguaje de programación propio. Por otra parte, para ciertas operaciones es muy rápido, puede ejecutar sus funciones en código nativo con los tamaños más adecuados para aprovechar sus capacidades de vectorización. En otras aplicaciones resulta más lento que el código equivalente desarrollado en C/C++ o Fortran. En la versión 6.5, MATLAB incorporó un acelerador JIT (Just In Time), que mejoraba significativamente la velocidad de ejecución de los ficheros \*.m en ciertas circunstancias, por ejemplo cuando no se hacen llamadas a otros ficheros \*.m, no se utilizan estructuras y clases, etc. Aunque limitado en ese momento, cuando era aplicable mejoraba sensiblemente la velocidad, haciendo innecesarias ciertas técnicas utilizadas en versiones anteriores como la vectorización de los algoritmos. En cualquier caso, el lenguaje de programación de MATLAB siempre es una magnífica herramienta de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que, tal como se ha mencionado, aumenta significativamente la productividad de los programadores respecto a otros entornos de desarrollo.

La interfaz gráfica de usuario (GUI, siglas en inglés de Graphical User Interface), es la forma en que el usuario interactúa con el programa o el sistema operativo de una computadora. Una GUI contiene diferentes elementos gráficos tales como:

- botones
- campos de texto
- menús
- tablas
- gráficos
- etc.

Existen diferentes lenguajes de programación que permiten crear un GUI tales como:

- C
- Visual Basic
- TK
- etc.

Todos ellos permiten usar diferentes controles y maneras de programarlos. . MATLAB nos permite realizar GUIs de manera muy sencilla usando GUIDE (Graphical User Interface Development Enviroment).

### **Problema**

La medición comienza con una adecuada definición del mensurando, así como del método y procedimiento de medición respectivamente.

En general, el resultado de una medición es sólo una aproximación o estimación del valor del mensurando y se completa cuando está acompañado de una declaración acerca de la incertidumbre de dicha estimación.

Se plantea la determinación, por el método volumétrico, de la capacidad de un recipiente con su incertidumbre asociada utilizando una cantidad n de recipientes patrones.

El método volumétrico se realiza como "de llenado" o como "de vaciado", dependiendo del tipo y de la forma de utilización del recipiente. La transferencia de líquido de un recipiente a otro se conoce como "tirada".

El procedimiento de llenado consiste en completar la capacidad nominal del recipiente a calibrar con el líquido proveniente de una cantidad "n" de recipientes patrones, mientras que en el procedimiento de vaciado, el líquido se transfiere desde el recipiente que se calibra hacia el recipiente patrón. Se debe procurar utilizar la mínima cantidad posible de patrones, lo cual contribuye a reducir la incertidumbre de la medición.

Definido el procedimiento, se expresa matemáticamente la relación existente entre el mensurando y las magnitudes de entrada.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Estimación de la Incertidumbre

### *Modelo Matemático*

La capacidad de un recipiente patrón o de trabajo es una magnitud que depende de la temperatura del líquido empleado y del coeficiente de expansión cúbica térmica del líquido empleado, del material del recipiente patrón y del recipiente a calibrar respectivamente. La siguiente ecuación muestra esta relación:

$$V = \sum_{i=1}^n V_{0i} \left[ 1 - \alpha_{pi} (t_{0pi} - t_{pi}) + \beta (t_{ri} - t_{pi}) + \alpha_r (t_{0r} - t_{ri}) \right] \quad (1)$$

$i = 1, \dots, n$

Dónde:

$p$  : Refiere al recipiente patrón;

$r$  : Refiere al recipiente a calibrar;

$n$  : Cantidad de tiradas que se hicieron;

$V$  : Volumen del recipiente a calibrar;

$V_{0i}$  : Volumen del recipiente patrón en la tirada  $i$ ;

$\alpha_{pi}$  : Coeficiente de expansión cúbica térmica del material del recipiente patrón usado en la tirada  $i$ ;

$\alpha_r$  : Coeficiente de expansión cúbica térmica del material del recipiente a calibrar;

- $\beta$  : Coeficiente de expansión cúbica térmica del del líquido empleado en la calibración;
- $t_{0pi}$  : Temperatura a la cual está referenciado el volumen del recipiente patrón usado en la tirada  $i$ ;
- $t_{0r}$  : Temperatura a la que se quiere referenciar el volumen del recipiente a calibrar;
- $t_{pi}$  : Temperatura del líquido en el recipiente patrón usado en la tirada  $i$ ;
- $t_{ri}$  : Temperatura del líquido en el recipiente a calibrar en la tirada  $i$ ;

El conjunto de magnitudes de entrada puede clasificarse en:

- magnitudes cuyos valores e incertidumbres se determinan directamente en el transcurso de la medición  
( $V_{0i}, t_{0pi}, t_{0r}, t_{pi}, t_{ri}$ ).
- magnitudes cuyos valores e incertidumbres se introducen en las mediciones procedentes de fuentes externas, tales como magnitudes asociadas a patrones, a materiales de referencia certificados y a valores de referencia tomados de publicaciones, ( $\alpha_{pi}, \alpha_r, \beta$ ).

#### **Incertidumbre típica combinada de cada magnitud de entrada**

Por la complejidad del proceso de calibración no es factible realizar una cantidad significativa de mediciones repetidas para realizar una evaluación tipo A.

Identificación de las fuentes de incertidumbre:

#### **Tipo B:**

- 1) Incertidumbre del Certificado de Calibración del recipiente patrón;
- 2) Incertidumbre de los coeficientes de expansión cúbica térmica de:
  - recipiente patrón,
  - recipiente a calibrar,
  - líquido usado en la calibración;
- 3) Incertidumbre en la medición de la temperatura del líquido:
  - Incertidumbre reportada en el Certificado de Calibración del termómetro,
  - Incertidumbre por la resolución del termómetro.
- 4) Incertidumbre por la lectura del menisco,
- 5) Incertidumbre por evaporación del líquido empleado,
- 6) Incertidumbre por formación de burbujas de aire,
- 7) Incertidumbre por variación en la cantidad de líquido retenido en las paredes

#### **Estimación de la incertidumbre típica de cada magnitud de entrada:**

Los coeficientes de expansión cúbica térmica son valores que se encuentran tabulados en diferentes publicaciones. Dado que el valor de dicho coeficiente puede encontrarse con igual probabilidad en cualquier punto del intervalo se asume que tiene distribución uniforme o rectangular. Lo mismo ocurre con la resolución del instrumento utilizado para medir la temperatura del líquido en la calibración.

Por otro lado, para la incertidumbre especificada en los certificados de calibración de los recipientes patrones y del instrumento utilizado para medir la temperatura del líquido, se ha considerado una distribución normal para un factor

de cobertura  $k=2$ , por tanto, al dividir la incertidumbre del Certificado de Calibración entre su factor de cobertura se obtiene la incertidumbre combinada.

- $$u_{V_{0i}}^2 = \left( \frac{\text{Incertidumbre del certificado de calibración}}{\text{Factor de cobertura}} \right)^2$$
- $$u_{\alpha_{pi}}^2 = \frac{(\text{Límite superior} - \text{Límite inferior})^2}{12}$$
- $$u_{\alpha_r}^2 = \frac{(\text{Límite superior} - \text{Límite inferior})^2}{12}$$
- $$u_{\beta}^2 = \frac{(\text{Límite superior} - \text{Límite inferior})^2}{12}$$
- $$u_{T_{ri}}^2 = u_{T_{pi}}^2 = \frac{(\text{Resolución})^2}{12} + \left( \frac{\text{Incertidumbre del certificado de calibración}}{\text{Factor de cobertura}} \right)^2$$
- $$u_{ex}^2 = (0.01\% \text{ de } V_{0i})^2$$
 es un factor empírico el cual cubre las incertidumbres asociadas a: lectura del menisco, evaporación del líquido, formación de burbujas de aire y variación de la cantidad de líquido retenido.

Dónde:

- $u_{V_{0i}}$ : Incertidumbre del volumen del recipiente patrón usado en la tirada  $i$ ;
- $u_{\alpha_{pi}}$ : Incertidumbre del coeficiente de expansión cúbica térmica del recipiente patrón utilizado en la tirada  $i$ ;
- $u_{\alpha_r}$ : Incertidumbre del coeficiente de expansión cúbica térmica del recipiente a calibrar;
- $u_{\beta}$ : Incertidumbre del coeficiente de expansión cúbica térmica del líquido;
- $u_{T_{pi}}$ : Incertidumbre de la temperatura del líquido en el recipiente patrón utilizado en la tirada  $i$ ;
- $u_{T_{ri}}$ : Incertidumbre de la temperatura del líquido en el recipiente a calibrar en la tirada  $i$ ;
- $u_{ex}$ : Otras fuentes de incertidumbre.

#### **Incertidumbre típica combinada del volumen**

La incertidumbre típica del resultado de una medición, se calcula cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de otras magnitudes, igual a la raíz cuadrada positiva de una suma de términos, siendo éstos las varianzas o covarianzas de esas otras magnitudes, ponderadas en función de la variación del resultado de medida con la variación de dichas magnitudes, por tanto la incertidumbre típica combinada del volumen es:

$$u_c^2(V) = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial V_{0i}} \right)^2 u_{V_{0i}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha_{pi}} \right)^2 u_{\alpha_{pi}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha_r} \right)^2 u_{\alpha_r}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \beta} \right)^2 u_{\beta}^2 + u_{ex}^2 \right. \\ \left. + \left( \frac{\partial V}{\partial t_{pi}} \right)^2 u_{t_{pi}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial t_{ri}} \right)^2 u_{t_{ri}}^2 \right]$$

Dónde los coeficientes de sensibilidad se formulan como:

$$\frac{\partial V}{\partial V_{0i}} = [1 - \alpha_{pi}(t_{0pi} - t_{pi}) + \beta(t_{ri} - t_{pi}) + \alpha_r(t_{0r} - t_{ri})]$$

$$\frac{\partial V}{\partial \alpha_{pi}} = -V_{0i}(t_{0pi} - t_{pi})$$

$$\frac{\partial V}{\partial \alpha_r} = \sum_{i=1}^n V_{0i}(t_{0r} - t_{ri})$$

$$\frac{\partial V}{\partial \beta} = \sum_{i=1}^n V_{0i}(t_{ri} - t_{pi})$$

$$\frac{\partial V}{\partial t_{pi}} = V_{0i}(\alpha_{pi} - \beta)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t_{ri}} = V_{0i}(\beta - \alpha_r)$$

$$i = \overline{1 \dots n}$$

Los coeficientes de sensibilidad de  $\alpha_r$  y  $\beta$  dependen de una sumatoria, a diferencia de las demás magnitudes de entrada, la causa de este fenómeno es que  $\alpha_r$  y  $\beta$  son valores fijos para cada tirada, o sea no dependen de  $i$  en el modelo matemático.

Al plantear la ecuación que representa la ley de propagación de la incertidumbre se tienen  $n$  coeficientes de sensibilidad y asociados a ellos, las incertidumbres típicas de cada magnitud de entrada, exceptuando los coeficientes de expansión cúbica térmica del recipiente a calibrar y del líquido, las cuales tienen un coeficiente de sensibilidad único, por ende se encuentran fuera de la sumatoria de la expresión representada en la incertidumbre combinada del volumen.

**Comparación entre el método de estimación de la incertidumbre en la calibración de recipientes patrones y de trabajo expuesto (en lo adelante "ICRPT") y el método que se aplicaba con anterioridad.**

Método que se aplicaba anteriormente

Para la estimación de la incertidumbre en la calibración de un recipiente en la cual se precisa el empleo de más de un recipiente patrón, la evaluación se realizaba por separado para cada patrón utilizado y se sumaban

cuadráticamente las incertidumbres combinadas, para obtener, con la raíz cuadrada de ese resultado, la incertidumbre combinada.

Se muestra un ejemplo en el cual se requirieron dos patrones:

1) Estimación de la incertidumbre con cada patrón individualmente

- Incertidumbre combinada del patrón 1

$$u_{c1}^2(V_1) = \left[ \begin{aligned} &\left(\frac{\partial V_1}{\partial V_{01}}\right)^2 u_{V_{01}}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial \alpha_{p1}}\right)^2 u_{\alpha_{p1}}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial t_{p1}}\right)^2 u_{t_{p1}}^2 + \\ &+ \left(\frac{\partial V_1}{\partial t_{r1}}\right)^2 u_{t_{r1}}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial \alpha_r}\right)^2 u_{\alpha_r}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial \beta}\right)^2 u_{\beta}^2 + u_{ex1}^2 \end{aligned} \right]$$

- Incertidumbre combinada del patrón 2

$$u_{c2}^2(V_2) = \left[ \begin{aligned} &\left(\frac{\partial V_2}{\partial V_{02}}\right)^2 u_{V_{02}}^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial \alpha_{p2}}\right)^2 u_{\alpha_{p2}}^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial t_{p2}}\right)^2 u_{t_{p2}}^2 + \\ &+ \left(\frac{\partial V_2}{\partial t_{r2}}\right)^2 u_{t_{r2}}^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial \alpha_r}\right)^2 u_{\alpha_r}^2 + \left(\frac{\partial V_2}{\partial \beta}\right)^2 u_{\beta}^2 + u_{ex2}^2 \end{aligned} \right]$$

Donde

- $\frac{\partial V_k}{\partial V_{0k}} = \left[ 1 - \alpha_{pk} (t_{0pk} - t_{pk}) + \beta (t_{rk} - t_{pk}) + \alpha_r (t_{0r} - t_{rk}) \right]$
- $\frac{\partial V_k}{\partial \alpha_{pk}} = -V_{0k} (t_{0pk} - t_{pk})$
- $\frac{\partial V_k}{\partial \alpha_r} = V_{0k} (t_{0r} - t_{rk})$
- $\frac{\partial V_k}{\partial \beta} = V_{0k} (t_{rk} - t_{pk})$
- $\frac{\partial V_k}{\partial t_{pk}} = V_{0k} (\alpha_{pk} - \beta)$
- $\frac{\partial V_k}{\partial t_{rk}} = V_{0k} (\beta - \alpha_r)$

- $k$  es la identificación de los patrones: 1 y 2 respectivamente.

2) Incertidumbre combinada de la medición

$$u_{cm}^2(V) = u_{c1}^2(V_1) + u_{c2}^2(V_2) \tag{2}$$

**Estimación de la incertidumbre por el método expuesto ICRPT**

Al igual que en el caso anterior, se muestra un ejemplo donde se utilizan dos recipientes patrones.

Según lo expuesto en el apartado "Incertidumbre típica combinada del volumen" la incertidumbre combinada para esta medición se plantea como:

$$u_c^2(V) = \sum_{k=1}^2 \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial V_{0k}} \right)^2 u_{V_{0k}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha_{pk}} \right)^2 u_{\alpha_{pk}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial t_{pk}} \right)^2 u_{t_{pk}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial t_{rk}} \right)^2 u_{t_{rk}}^2 \right] + \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha_r} \right)^2 u_{\alpha_r}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \beta} \right)^2 u_{\beta}^2 + u_{ex}^2 \quad (2)$$

**Comparación del método ICRPT con el procedimiento que se realizaba anteriormente, para el caso en que se utilicen dos recipientes patrones**

Para realizar la comparación suponemos que las ecuaciones (2) y (3) son iguales. A continuación se simplifican los términos semejantes hasta que se obtenga una identidad o desigualdad. Igualando (2) y (3) se obtiene:

$$u_c^2(V) = ? u_{cm}^2(V)$$

Pero,

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^2 \left[ \left( \frac{\partial V}{\partial V_{0k}} \right)^2 u_{V_{0k}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha_{pk}} \right)^2 u_{\alpha_{pk}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial t_{pk}} \right)^2 u_{t_{pk}}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial t_{rk}} \right)^2 u_{t_{rk}}^2 \right] + \\ & \quad + \left( \frac{\partial V}{\partial \alpha_r} \right)^2 u_{\alpha_r}^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial \beta} \right)^2 u_{\beta}^2 + u_{ex}^2 = ? \\ & \quad = ? \left[ \left( \frac{\partial V_1}{\partial V_{01}} \right)^2 u_{V_{01}}^2 + \left( \frac{\partial V_1}{\partial \alpha_{p1}} \right)^2 u_{\alpha_{p1}}^2 + \left( \frac{\partial V_1}{\partial t_{p1}} \right)^2 u_{t_{p1}}^2 + \right. \\ & \quad \left. + \left( \frac{\partial V_1}{\partial t_{r1}} \right)^2 u_{t_{r1}}^2 + \left( \frac{\partial V_1}{\partial \alpha_r} \right)^2 u_{\alpha_r}^2 + \left( \frac{\partial V_1}{\partial \beta} \right)^2 u_{\beta}^2 + u_{ex1}^2 \right] + \\ & \quad + \left[ \left( \frac{\partial V_2}{\partial V_{02}} \right)^2 u_{V_{02}}^2 + \left( \frac{\partial V_2}{\partial \alpha_{p2}} \right)^2 u_{\alpha_{p2}}^2 + \left( \frac{\partial V_2}{\partial t_{p2}} \right)^2 u_{t_{p2}}^2 + \right. \\ & \quad \left. + \left( \frac{\partial V_2}{\partial t_{r2}} \right)^2 u_{t_{r2}}^2 + \left( \frac{\partial V_2}{\partial \alpha_r} \right)^2 u_{\alpha_r}^2 + \left( \frac{\partial V_2}{\partial \beta} \right)^2 u_{\beta}^2 + u_{ex2}^2 \right] \quad (3) \end{aligned}$$

Sustituyendo en (4):

$$1) \quad \frac{\partial V}{\partial V_{0k}} = \frac{\partial V_k}{\partial V_{0k}}, \quad k = 1, 2$$

$$2) \quad \frac{\partial V}{\partial \alpha_{pk}} = \frac{\partial V_k}{\partial \alpha_{pk}}, \quad k = 1, 2$$

$$3) \quad \frac{\partial V}{\partial t_{pk}} = \frac{\partial V_k}{\partial t_{pk}}, \quad k = 1, 2$$

$$4) \quad \frac{\partial V}{\partial t_{rk}} = \frac{\partial V_k}{\partial t_{rk}}, \quad k = 1, 2$$

$$5) \quad V = V_1 + V_2$$

$$6) \quad u_{ex}^2 = (0.0001V)^2 = [0.0001(V_1 + V_2)]^2 = u_{ex1}^2 + u_{ex2}^2 + 2u_{ex1}u_{ex2}$$

Y simplificando términos semejantes se obtiene:

$$2 \left( \frac{\partial V_1}{\partial \alpha_r} \right) \left( \frac{\partial V_2}{\partial \alpha_r} \right) u_{\alpha_r}^2 + 2 \left( \frac{\partial V_1}{\partial \beta} \right) \left( \frac{\partial V_2}{\partial \beta} \right) u_{\beta}^2 + 2u_{ex1}u_{ex2} \neq 0 \quad (4)$$

La expresión a la izquierda de la inequación (5) no es más que la correlación existente entre el recipiente patrón 1 y el recipiente patrón 2 para las variables  $\alpha_r$ ,  $\beta$  y  $ex$  según explica la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición en el Anexo F, apartado F.1.2.3. Estos factores aparecen en el método expuesto ICRPT y no así en aquel que se aplicaba anteriormente porque este último evalúa las componentes de incertidumbre de cada recipiente patrón por separado y no evalúa la correlación entre las variables en común que se encuentran en la ecuación del cálculo del volumen, mientras que en ICRPT el cálculo de estas correlaciones aparece implícitamente.

Notar que  $ex$  es una variable la cual no aparece en el modelo matemático para el cálculo del volumen (1) pues su valor esperado es cero. Sin embargo, en la ecuación definida por la ley de propagación de la incertidumbre es necesario incluir su incertidumbre ( $U_{ex}$ ) ya que ésta resulta significativa para la incertidumbre combinada del volumen.

Por lo tanto se puede concluir que el método de estimación de incertidumbre utilizado anteriormente en el INIMET aporta resultados diferentes al método ICRPT cuando se utiliza en la medición más de un recipiente patrón. Por ejemplo, cuando se utilizan dos recipientes patrones ambos métodos se relacionan por la ecuación siguiente:

$$\left( \text{Incertidumbre combinada} \right)^2_{\text{del método elaborado}} = \left( \text{Incertidumbre combinada} \right)^2_{\text{del procedimiento anterior}} + 2 \left( \frac{\partial V_1}{\partial \alpha_r} \right) \left( \frac{\partial V_2}{\partial \alpha_r} \right) u_{\alpha_r}^2 + 2 \left( \frac{\partial V_1}{\partial \beta} \right) \left( \frac{\partial V_2}{\partial \beta} \right) u_{\beta}^2 + 2u_{ex1}u_{ex2}$$

la cual, para una cantidad n de recipientes patrones se expresa:

$$\left( \text{Incertidumbre combinada} \right)^2_{\text{del método elaborado}} = \left( \text{Incertidumbre combinada} \right)^2_{\text{del procedimiento anterior}} + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \left[ \left( \frac{\partial V_i}{\partial \alpha_r} \right) \left( \frac{\partial V_j}{\partial \alpha_r} \right) u_{\alpha_r}^2 + \left( \frac{\partial V_i}{\partial \beta} \right) \left( \frac{\partial V_j}{\partial \beta} \right) u_{\beta}^2 \right] + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n [u_{exi}u_{exj}] \quad (5)$$

**Comparación con la hoja de cálculo del PTB.**

La comprobación del software se realizó comparando los resultados de ICRPT con la hoja de cálculo del PTB, la cual es factible emplear para el caso donde se efectúe la medición utilizando un solo recipiente patrón, mientras que el trabajo expuesto es una novedad tecnológica, por cuanto mejora un procedimiento existente, demostrando la posibilidad de extrapolación del método cuando se usa un solo recipiente patrón, en caso de utilizar varios de ellos.

La **Tabla 1** muestra los resultados de varias mediciones en las que interviene un único recipiente patrón y que fueron procesadas por los dos programas.

**Tabla 1. Comparación entre el software procedente del PTB y el desarrollado (Interfaz)**

Volumen, mL		Incertidumbre combinada, mL		Incertidumbre expandida, mL	
Anterior	Interfaz	Anterior	Interfaz	Anterior	Interfaz
49 997	49 997	8,22	8,22	16,44	16,44
49 999	49 999	8,22	8,22	16,45	16,45
199 953	199 953	30,95	30,95	61,90	61,90
19 995	19 995	3,61	3,61	7,23	7,23
10 001	10 001	2,70	2,70	5,39	5,39
19 998	19 998	3,61	3,61	7,23	7,23
49 998	49 998	8,22	8,22	16,44	16,44
9 998	9 998	2,24	2,24	4,48	4,48
50 001	50 001	8,22	8,22	16,45	16,45
9 999	9 999	8,22	1,81	3,61	3,61

La Tabla 1 evidencia la igualdad de los resultados con ambos programas de cálculo.

Notar que para un mismo valor de incertidumbre combinada (8,22) se tienen dos incertidumbres expandidas diferentes (16,44 y 16,45) debido a los efectos de redondeo.

La Tabla 2 muestra los coeficientes de sensibilidad ( $\frac{\partial V_k}{\partial \alpha_r}$ ,  $\frac{\partial V_k}{\partial \beta}$ ) de las variables en común de diez recipientes

patrones (Recipiente k), sus respectivas incertidumbres combinadas ( $u_{\alpha_r}$ ,  $u_{\beta}$ ,  $u_{exk}$ ) y la incertidumbre combinada ( $u_c$ ) del volumen ( $V_{0k}$ ).

**Tabla 2. Coeficientes de sensibilidad e incertidumbres combinadas de las variables en común**

Recipiente k	$V_{0k}$	$u_c$	$\frac{\partial V_k}{\partial \alpha_r}$	$\frac{\partial V_k}{\partial \beta}$	$u_{\alpha_r}$	$u_{\beta}$	$u_{exk}$
1	49 997	8.22	-249 985	-4 999.7	$5.77 * 10^{-7}$	$10^{-6}$	5.00
2	49 999	8.22	-249 995	-4 999.9	$5.77 * 10^{-7}$	$10^{-6}$	5.00
3	199 953	30.95	-999 765	-19 995	$5.77 * 10^{-7}$	$10^{-6}$	20.00
4	19 995	3.61	-99 975	-1 999.5	$5.77 * 10^{-7}$	$10^{-6}$	2.00

5	10 001	2.7	-50 005	-1 000.1	$5.77*10^{-7}$	$10^{-6}$	1.00
6	19 998	3.61	-99 990	-1 999.8	$5.77*10^{-7}$	$10^{-6}$	2.00
7	49 998	8.22	-249 990	-4 999.8	$5.77*10^{-7}$	$10^{-6}$	5.00
8	9 998	2.24	-49 990	-999.8	$5.77*10^{-7}$	$10^{-6}$	1.00
9	50 001	8.22	-250 005	-5 000.1	$5.77*10^{-7}$	$10^{-6}$	5.00
10	9 999	1.81	-49 995	-999.9	$5.77*10^{-7}$	$10^{-6}$	1.00

A partir de los datos que aparecen en la Tabla 2 y utilizando la ecuación 5, la Tabla 3 muestra ejemplos que permiten apreciar la diferencia en la incertidumbre combinada entre el método que se utilizaba anteriormente y el método de estimación ICRPT cuando se emplean dos recipientes patrones.

**Tabla 3. Incertidumbres combinadas utilizando dos recipientes patrones**

Patrones utilizados	u Método anterior	Ecuación (5)	u Método expuesto
(1,2)	11.62	50.04	13.61
(2,3)	32.02	200.14	35.01
(3,4)	31.16	80.04	32.42
(4,5)	4.51	4.00	4.93
(5,6)	4.51	4.00	4.93
(6,7)	8.98	20.02	10.03
(7,8)	8.52	10.01	9.09
(8,9)	8.52	10.01	9.09
(9,10)	8.42	10.01	8.99

La Tabla 3 muestra que existen diferencias significativas entre la incertidumbre combinada del método que se realizaba anteriormente y el método expuesto en el presente trabajo.

### Conclusiones

- 1) Se logró un método para la estimación de la incertidumbre de la calibración de los recipientes patrones y de trabajo cuando se utiliza una cantidad ilimitada de recipientes patrones de referencia.
- 2) El método de estimación de incertidumbre expuesto fue comparado con el procedimiento que se aplicaba en el laboratorio y mostró que cuando se utiliza más de un recipiente patrón, existe diferencia entre las incertidumbres de ambos métodos.
- 3) Se desarrolló mediante el software MATLAB una interfaz de usuario para que el calibrador pueda realizar la estimación de la manera más sencilla posible y en comparación con la hoja de cálculo anterior resulta más práctico pues solamente se introducen los datos necesarios para la evaluación ya que la información de los patrones a utilizar ha sido almacenada previamente.

### Recomendaciones

- 1) Realizar más corridas del software desarrollado usando n recipientes patrones para poder realizar una comparación con la hoja de cálculo anterior mediante la ecuación (6).
- 2) Realizar otra interfaz gráfica donde cualquier usuario pueda tener acceso a los datos de los patrones que ya se encuentran guardados en el fichero "datos" y de esta manera puedan ser modificados sin necesidad de tener el programa MATLAB instalado en la computadora.
- 3) Ampliar los experimentos para la estimación de las incertidumbres obtenidas empíricamente.

## ANEXO 1

### 1. Descripción del software elaborado

En el trabajo, al ejecutar el archivo estimacion.m se mostrará la ventana:

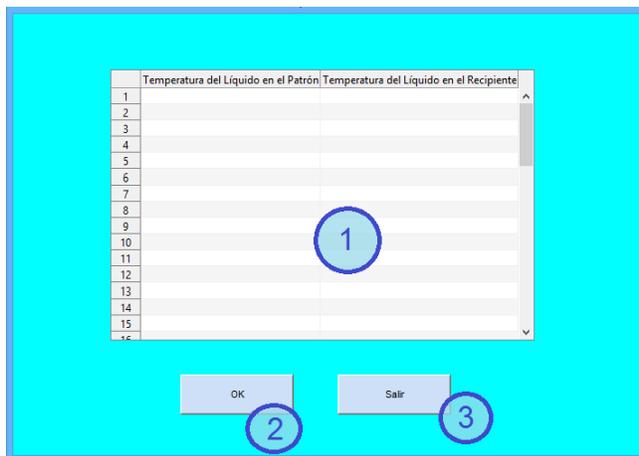
Aquí es donde el usuario se apoyará para realizar la estimación de la incertidumbre de la medición.

#### Leyenda:

- 1) Es fundamental presionar el botón “Mostrar patrones” antes de realizar cualquier operación, pues es el que mostrará los patrones que ya están registrados en el programa con antelación y así se podrá escoger los que se utilizaron a la hora de realizar la medición.
- 2) En esta tabla se muestran los recipientes patrones y el usuario debe seleccionar los que usó para la medición. Al seleccionar un patrón se muestra otra ventana donde se escriben las temperaturas del líquido en el recipiente patrón y en el recipiente a calibrar. Más adelante se explica detalladamente.
- 3) En esta tabla el usuario debe seleccionar el termómetro que usó para la medición.
- 4) Al desplegar el botón se mostrarán diferentes materiales y en este punto el usuario debe escoger el material del recipiente que está calibrando.
- 5) Se escribe la temperatura a la cual se quiere referenciar el volumen del recipiente a calibrar, es importante destacar que si el número a escribir presenta décimas, se debe utilizar el punto, pues MATLAB no reconoce la coma como marcador decimal.
- 6) Una vez completados los datos que el programa necesita para estimar la incertidumbre de la medición entonces se presiona este botón para que se hagan los cálculos correspondientes y se muestre el volumen del recipiente a calibrar y sus correspondientes incertidumbres.
- 7) En estos cuadros se muestra el volumen del recipiente a calibrar y sus correspondientes incertidumbres estimadas por el programa.
- 8) Presionar para realizar otra estimación.
- 9) Presionar para salir del programa.

10) Presionar cuando es necesario enrasar. Es importante señalar que el botón Enrasar se puede presionar las veces que sean necesarias, pues en ocasiones para enrasar hay que extraer o echar líquido en el recipiente, que se está calibrando, más de una vez.

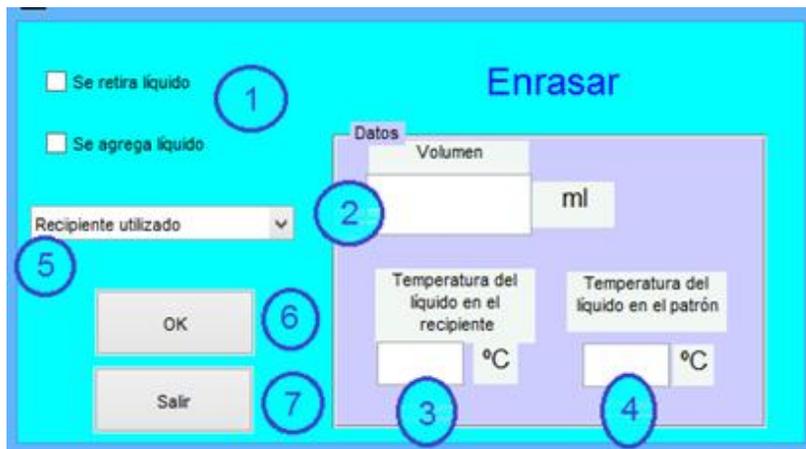
Al seleccionar el recipiente patrón que se usó se muestra la ventana:



Donde

- 1) En la tabla se escriben las correspondientes temperaturas del líquido en el recipiente patrón y en el recipiente a calibrar.
- 2) Cuando se haya terminado de poner las temperaturas se presiona el botón OK.
- 3) Si se ha equivocado de recipiente patrón puede salir y seleccionar el que corresponde.

Al seleccionar Enrasar se muestra la ventana:



Donde

- 1) Se selecciona si en esa ocasión se añadió o se extrajo líquido del recipiente a calibrar, destacar que solo uno de ellos puede estar seleccionado.
- 2) Se escribe el volumen que se añadió o se extrajo.
- 3) La temperatura del líquido en el recipiente.
- 4) La temperatura del líquido en el recipiente patrón.
- 5) Se selecciona el recipiente utilizado.
- 6) Después de presionar OK se puede continuar con la introducción de los datos.
- 7) Si se ha equivocado o no es necesario enrasar.

**Notas:**

- 1) El orden de selección de los patrones puede ser alterado con respecto al orden en que se realizaron las tiradas pues eso no influye en la estimación de la incertidumbre.
- 2) Al presionar el botón "Otra Estimación ", en el Pop-up-Menú se mantiene el material del recipiente a calibrar seleccionado, si el nuevo recipiente que se quiere calibrar es de otro material entonces debe ser modificado en el botón.
- 3) Para el cálculo de la incertidumbre solo es necesario introducir los datos que la interfaz pide pues los restantes ya están guardados en memoria.

**Referencia bibliográfica**

- [1] GUERRERO, D. O. B. Manual de Interfaz Gráfica de Usuario en MATLAB. Escuela de Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad Técnica Particular de Loja.
- [2] ISO/IEC Guide 98-3:2008. Guide to the expression of uncertainty in measurement.
- [3] JAVIER GARCÍA DE JALÓN, J. I. R. 2005. Aprende MATLAB 7.0 como si estuvieras en primero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid.
- [4] JCGM 200: 2012. International vocabulary of metrology -Basic and general concepts and associated terms (VIM).
- [5] NC/ISO 846:2011. Petróleo y derivados líquidos- Aforo de Tanques Cilíndricos Horizontales.
- [6] NC/ISO 919:2012. Recipientes para Transacciones Comerciales.
- [7] NC/JCGM 2008. Evaluación de datos de medición. Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición.
- [8] NC/OIML V2:2012. Vocabulario internacional de metrología- Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM).

**Fecha de recepción del artículo: 2016.07.22**  
**Fecha de aceptación del artículo: 2017.02.07**

## **Aseguramiento Metrológico a instrumentos medidores de la velocidad de los medios de transporte.**

**Autores:** Inv. Agregado. Ing. Mirtha Navarro - González <sup>[1]</sup>. Jefe del Laboratorio de Electricidad

**Coautor:** Téc. Elba González - González <sup>[1]</sup>. Técnica del Laboratorio de Electricidad.

**Colaborador:** Mayor Remberto Iznaga - González <sup>[2]</sup>.

<sup>[1]</sup> Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET). Oficina Nacional de Normalización (ONN) del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Correo-e: [mirta@inimet.cu](mailto:mirta@inimet.cu)

<sup>[2]</sup> Jefe de Tecnología y Sistema de la Dirección Nacional de Tránsito (DNT) de la PNR.

### **RESUMEN**

Las mediciones de la velocidad de los medios de transporte son muy importantes para garantizar la seguridad vial y así disminuir los accidentes en la vía debido al exceso de velocidad. Estas mediciones se realizan utilizando instrumentos de medición denominados pistolas radar, los cuales deben ser verificados periódicamente para demostrar confianza y credibilidad en las mediciones. Por tal motivo regular los aspectos técnicos y metrológicos de estos instrumentos de medición en el país resulta de suma importancia, tanto para quienes tienen la responsabilidad de realizar los controles, como para los choferes que son controlados.

En este trabajo se presentan las diferentes acciones realizadas por el Laboratorio de Electricidad del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) para la asimilación de la nueva tecnología y finalmente realizar la verificación de las pistolas radar con el objetivo de asegurar metrológicamente estas mediciones.

**PALABRAS CLAVE:** pistola radar, simulador de velocidad.

### **ABSTRACT**

Measuring the speed of a means of transport is very important to guarantee road safety and reduce speeding-related traffic accidents. These measurements are made by measuring instruments known as radar speed guns, which must be regularly checked for confidence and credibility of their results. Therefore, regulating the technical and metrological features of the said measuring instruments is of paramount importance both to law enforcers and drivers.

Actions undertaken by the Electricity Laboratory of the National Metrology Research Institute (INIMET) to assimilate this new technology and be able to verify radar speed guns with a view to the metrological assurance of their results are described.

**KEY WORDS:** radar speed gun, speed simulator

### **INTRODUCCIÓN**

Los accidentes de tránsito ocurridos por exceso de velocidad en Cuba se han incrementado considerablemente, y con ello ha aumentado también el número de muertos y lesionados. Estos constituyen la quinta causa de muerte en Cuba, representando en los últimos cinco años el 5,9 % del total de fallecidos. Por esta causa se reportan 5,2 años de vida potencialmente perdidos por cada 1000 habitantes [1].

Por lo anteriormente expuesto se hace necesaria la utilización de instrumentos de medición debidamente verificados que indiquen correctamente los valores de la velocidad de los vehículos de transporte para así garantizar la seguridad vial, por esta razón las pistolas radar son objeto de Metrología Legal ya que los resultados de las

mediciones realizadas se utilizan en procedimientos legales, como puede ser la imposición de multas y otros previstos en la ley.

Estos instrumentos de medición deben ser sometidos a una verificación periódica que se recomienda sea anual, con esto se asegura que las indicaciones de los mismos sean verdaderas y exista credibilidad en los resultados que estas pistolas radar muestran.

La asimilación de la tecnología y adecuación a las condiciones concretas del país, la elaboración, validación y aprobación de los documentos técnicos normativos de alcance nacional, la capacitación del personal para ejecutar este nuevo servicio y la diseminación del conocimiento es el objetivo de este trabajo.

## **DESARROLLO**

Las pistolas radar son instrumentos de medición destinados a controlar la velocidad de los vehículos de transporte. Existen diferentes modelos, razón que motivo al Ministerio de Transporte, la Policía Nacional Revolucionaria y la Oficina Nacional de Normalización realizar estudios para definir cuáles adquirir en el país para realizar el control en las vías de la velocidad de los vehículos. Los resultados de este estudio y las pruebas realizadas determinaron la utilización de dos modelos de pistolas tipo radar de fabricación rusa de la empresa CIMICOM modelos Iskra (**ИСКРА**) y Radis (**РАДИС**) que se pueden ver en la figura 1 a) y 1 b) respectivamente.



Figura 1. a)



Figura 1. b)

Figura 1.a) Pistola radar modelo Radis (**РАДИС**); b) Pistola radar modelo Iskra (**ИСКРА**)

Las pistolas radar medidoras de velocidad basan su principio de funcionamiento en el efecto Doppler (figura 2), que no es más que el cambio de frecuencia de una onda producido por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador.

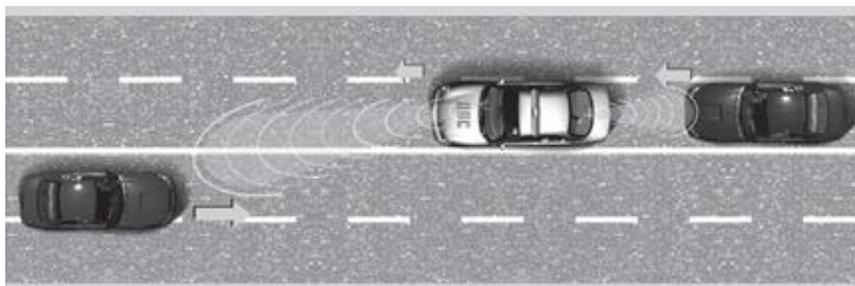


Figura 2. Principio del Efecto Doppler

La Dirección Nacional de Tránsito (DNT) poseía experiencia en la utilización de las pistolas radar, sin embargo en el país no existían los recursos materiales y humanos para asegurar la trazabilidad metrológica de las mismas. En el año 2015 estos instrumentos de medición fueron sometidos a control metrológico en nuestro país, por lo que se hizo necesario crear una infraestructura que parte de la capacitación del personal y la asimilación de la nueva tecnología que incluía la adquisición de los patrones que se emplean en la verificación de este tipo de instrumento de medición.

Básicamente se emplean dos métodos para realizar la verificación de las pistolas radar, el método de comparación directa utilizando un simulador de velocidad patrón y el método de medición de velocidad en campo, que verifica las pistolas utilizando un móvil real en una pista adecuada o en la propia vía.

Según y cómo establece el decreto Ley no. 183 de la Metrología, las entidades que utilizan instrumentos de medición son los responsables de garantizar la trazabilidad metrológica. La DNT adquirió el simulador de velocidad patrón **IC – 24/2** (Figura 3), el cual fue puesto en explotación por el Laboratorio de Electricidad del INIMET, patrón de medición utilizado para realizar el proceso de verificación de las pistolas radar por el método de comparación directa.



Figura 3. Simulador de velocidad patrón **IC – 24/2**.

Para implementar esta nueva nomenclatura se realizó un trabajo de campo conjuntamente con los técnicos de la DNT que ayudo a los especialistas del laboratorio a familiarizarse con los dos modelos de pistolas radar, conocer el funcionamiento, las características técnicas de cada una y observar cómo se mostraban los resultados de las mediciones. Esto nos permitió adquirir las habilidades necesarias en el manejo de estos dos tipos de modelos de instrumentos de medición.

Las tablas 2 y 3 que aparecen a continuación muestran las características técnicas y especificaciones de las pistolas radar modelos Radis e Iskra respectivamente.

**Tabla 2. Características técnicas de las pistolas radar modelo Radis [2]**

Frecuencia de funcionamiento radiada	(24,15 ± 0,10) GHz
Rango de distancia de funcionamiento	hasta 400 m
Rango de medición de la velocidad	(20 a 240) km/h
Error máximo permitido en modo estacionario	± 1 km/h
Error máximo permitido en modo de movimiento	± 2 km/h
Resolución	1 km/h
Cantidad de almacenamiento en memoria	2 datos
Tiempo permisible de operación continua	no más de 16 horas

**Tabla 3. Características técnicas de las pistolas radar modelo Iskra [3]**

Frecuencia de funcionamiento radiada	(24,15 ± 0,10) GHz
Rango de distancia de funcionamiento	hasta 400 m
Rango de medición de la velocidad	(10 a 300) km/h
Error máximo permitido modo estacionario	± 1 km/h
Resolución	1 km/h
Cantidad de almacenamiento en memoria	2 datos
Tiempo permisible de continua operación	no más de 16 horas

La diferencia entre estos dos modelos de pistolas radar estriba en que la pistola Radis puede medir en modo estacionario o en movimiento encima de un auto patrullero, y la modelo Iskra solo se emplea en modo estacionario.

El simulador de velocidad patrón **IC – 24/2** tiene las características técnicas y especificaciones de trabajo que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4. Características técnicas del simulador de velocidad patrón IC – 24/2 [4]**

<b>IC – 24/2</b>	
Tensión de alimentación	(12 ± 1) V
Intervalo de velocidades simuladas de vehículos	(10 a 300) km/h
Valores de ajuste de la velocidad simulada del objetivo.	(10; 20; 30; 70; 90; 120; 150; 180; 240; 250; 300) km/h
Error de medición de la velocidad	no excede ± 0,3 km/h
Distancia simulada de un vehículo	(50; 150; 300 y 400) m
Error de la distancia simulada	no excede ± 20%

Este patrón de medición tiene la posibilidad de simular la velocidad del vehículo:

- con la pistola estacionaria.
- cuando existe interferencia de otro vehículo.
- que se aproxima o aleja cuando la pistola se encuentra en un auto patrullero en movimiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ejecutaron mediciones en el terreno con las diferentes pistolas radar a vehículos que transitaban a diferentes velocidades, posteriormente se replicaron esas velocidades con el simulador, obteniéndose la certeza que el personal del laboratorio ya dominaba el manejo de estos instrumentos de medición. Los resultados se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5. Resultados preliminares para la familiarización con los instrumentos de medición y el simulador**

Pistola Radis		Pistola Iskra	
Resultados obtenidos en la prueba de campo	Resultados obtenidos con el uso del simulador	Resultados obtenidos en la prueba de campo	Resultados obtenidos con el uso del simulador
30 km/h	30 km/h	70 km/h	71 km/h
70 km/h	71 km/h	90 km/h	91 km/h
90 km/h	90 km/h	120 km/h	120 km/h

Una de las tareas más importantes que desarrollo el personal del laboratorio consistió en la traducción al idioma español de los manuales de explotación de las pistolas radar, incluyendo el menú de usuario en el modelo de pistola Radis que se presenta en idioma ruso, también se tradujo la documentación del simulador de velocidad patrón para asegurar la manipulación adecuada de estos instrumentos de medición.

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) tiene la recomendación internacional OIML R 91: 1990 Equipos radar para medir la velocidad de vehículos. Esta norma establece la verificación de las pistolas radar en polígonos, y con la utilización de vehículos en movimiento, lo que no es factible económicamente. Por esta razón se trabajó con la metodología ГДЯК 468160.008 МП [5], de Rusia, que consiste en la simulación de las frecuencias Doppler para la verificación de las pistolas radar, a partir de esta metodología se elaboró una propuesta de Norma Cubana (NC) al Comité Técnico de Normalización 2, la cual fue finalmente aprobada en enero del 2016 como NC 1115:2016; ASEGURAMIENTO METROLÓGICO: Instrumentos Medidores de la velocidad de movimiento de los medios de transporte. MÉTODOS Y MEDIOS DE VERIFICACIÓN.

En esta NC aparecen descritas las condiciones de referencia que deben existir en los laboratorios para ejecutar la verificación de estos instrumentos de medición, tales como: temperatura ambiente de  $(23 \pm 4)$  °C, humedad relativa no debe exceder el 80 % y la presión atmosférica de (84 a 106) kPa. También, se detallan todos los aspectos metrológicos de los medidores de velocidad que son necesarios comprobar:

- el examen exterior, el funcionamiento, este es de obligatorio cumplimiento ya que garantiza que el instrumento de medición trabaje correctamente y que las indicaciones de los mismos no puedan ser adulteradas,

- el establecimiento del umbral de la velocidad, esta prueba tiene como objetivo verificar que estos instrumentos de medición son capaces de aumentar y disminuir la velocidad con pasos de 1 km/h,
- que son capaces de trabajar en régimen automático y manual, además de que pueden almacenar en la memoria los datos de hasta 2 mediciones,
- el cumplimiento de las características metrológicas de cada modelo, determinando que el error de medición cumpla con lo establecido por el fabricante.

Los medidores de velocidad se consideran que están APTOS para el uso si cumplen con todos los aspectos que se refieren en la NC, en este caso se impone un sello amarillo que indica que el instrumento de medición puede ser utilizado durante un año. Además se emite un certificado de verificación que declara el instrumento apto para el uso. Esta es la garantía que tiene tanto el agente que lo utiliza, como el ciudadano al que se le impone la multa, que la pistola radar posee la trazabilidad metrológica, así como que sus indicaciones son correctas y confiables. Cuando estos instrumentos de medición no cumplen con los aspectos que se describen en la NC entonces se le impone un sello rojo que significa que está NO APTO para el uso, por tanto no puede ser utilizado hasta tanto no sea reparado y sometido nuevamente a la verificación para comprobar que cumple con sus parámetros metrológicos.

Se muestran como ejemplo los resultados de la verificación en la determinación del error de medición de una pistola radar en régimen estacionario.

Con el simulador de velocidad patrón se establece el valor de la velocidad que se desea comprobar a la distancia que se indica en la NC, se realizan tres mediciones con la pistola radar en el régimen estacionario sin interferencia y luego se determina el promedio de estas mediciones, como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6. Mediciones en régimen estacionario**

Alcance (m)	Velocidad simulada (km/h)	Resultado de la Medición (km/h)			Promedio (km/h)	Error (km/h)
		I	II	III		
400	30	30	30	30	30	0
	70	70	70	70	70	0
	120	120	119	120	119,67	0,33
	180	180	180	180	180	0
	240	239	239	239	239	1
150	300	299	300	300	199,67	0,33
	20	20	20	20	20	0
	30	30	30	30	30	0

Para determinar el error de las mediciones tal cómo se describe en la NC, se calcula la diferencia para cada uno de las medias de las mediciones con respecto al valor nominal, este error de medición se compara con el error máximo permitido según las especificaciones del fabricante para el modelo de pistola radar y se determina si cumple o no con estas especificaciones.

Con relación al simulador de velocidad patrón IC – 24/2 recibido en el año 2015 con certificado de calibración, que asegura la trazabilidad metrológica de las pistolas radar, podemos decir que en el 2016 se realizó la calibración de este patrón en el Laboratorio de Electricidad de INIMET, que consistió básicamente en la comprobación de los valores de frecuencia irradiada para cada valor de velocidad simulado, para lo cual se elaboró una instrucción de calibración IC 209-33 Calibración del simulador de velocidad de vehículos de transporte.

La IC 209-33 está basada en la metodología rusa ГДЯК 464965.005 МП [6], en este documento se describen los patrones que deben ser utilizados para realizar la calibración. Se estudiaron las características técnicas de los instrumentos de medición patrones del laboratorio, buscando características técnicas similares a los que exige la metodología de referencia para sustituirlos, manteniendo siempre las incertidumbres que se plantean en la misma.

En la tabla 7 se muestra la relación de los patrones que utiliza la metodología rusa y cuál es el instrumento patrón que se utiliza para realizar la calibración del simulador IC – 24/2.

**Tabla 7. Patrones que se proponen en la metodología rusa y los patrones que se utilizan en el laboratorio**

<b>Patrón que describe la metodología rusa</b>	<b>Patrón por el que se sustituye en el laboratorio</b>
Frecuencímetro CH3-32 Rango de medida de frecuencia: 10 Hz a 3,5 MHz; precisión de ± 0,6 ppm	Multímetro digital de 6 ½ dígitos FLUKE 8845A Rango de frecuencia: 3 Hz a 300 kHz Precisión: ± 0,01 % de la lectura
Osciloscopio Digital DSO3062A Ancho de banda de (0 a 60) MHz; el coeficiente de variación de 10 mV/div y 5 V/div; coeficientes de desviación de error de ± 3%; Frecuencias de barrido de 5 ns/div y 5 s/div	Osciloscopio Digital HP 54645A Ancho de banda de(0 a 100) MHz; el coeficiente de variación de 1 mV/div y 5 V/div; coeficientes de desviación de error de ± 3%; Frecuencias de barrido de 2 ns/div y 50 s/div
Б5-7 Fuente de alimentación La tensión de salida de (0 a 30) V; la inestabilidad de la tensión de salida de 0,1 %	Б5-49 Fuente de alimentación La tensión de salida de (0 a 99,9) V la inestabilidad de la tensión de salida de 0,1 %

El método que se utiliza es el método de comparación directa de los resultados de las mediciones de frecuencia que son emitidas por el simulador en dependencia de la velocidad que se simula, con los resultados que se muestran en el instrumento de medición patrón.

En la IC se describen detalladamente los pasos a seguir para realizar el proceso de calibración que comienza por el examen exterior y las comprobaciones preliminares. Estas pruebas son totalmente cualitativas para comprobar el funcionamiento correcto del simulador.

En la comprobación de los parámetros metrológicos:

- se determina el error de la velocidad del objetivo en los valores de (10; 20; 30; 70; 90; 120; 150; 180; 210; 240; 250 y 300) km/h y se calcula como se muestra en la ecuación 1.

$$\Delta V_{ts} = \frac{F_{ts}}{44,75} - V_{nominal} \quad \text{Ec. 1}$$

dónde:

$\Delta V_{ts}$  → es el error de la velocidad del objetivo.

$V_{nominal}$  → es el valor nominal de la velocidad del objetivo establecida en el simulador.

$F_{ts}$  → es el valor promedio de la frecuencia medida.

- se comprueba el error de la simulación de la velocidad del objetivo con interferencia estableciendo en el simulador los valores nominales de velocidad en km/h como se muestran: 70 con 60; 90 con 80; 120 con 110; 150 con 140; 180 con 170; 210 con 200; 240 con 230; 250 con 240 y 300 con 250, determinándose el error como se describe en la ecuación 2.

$$\Delta V_p = \frac{F_p}{44,75} - V_{nominal} \quad \text{Ec. 2}$$

dónde:

$\Delta V_p$  → es el error de la velocidad del objetivo con interferencia.

$V_{\text{nominal}}$  → es el valor nominal de la velocidad objetivo con interferencia establecido en el simulador.

$F_p$  → es el valor promedio de la frecuencia medida.

Ambas pruebas considera que el simulador cumple con las especificaciones del error máximo permitido si este no excede de  $\pm 0,3$  km/h.

En la estimación de la incertidumbre de las mediciones, para la calibración del simulador, se tuvieron en cuenta las siguientes fuentes de incertidumbre:

1. Incertidumbre tipo A de la repetibilidad de las observaciones porque se realizan 5 mediciones de frecuencia para cada valor de velocidad simulada.
2. Incertidumbre asociada a la resolución del medidor de frecuencia.
3. Incertidumbre asociada al error del medidor de frecuencia.
4. Incertidumbre asociada a la resolución del osciloscopio cuando se mide el nivel de la señal sin interferencia.
5. Incertidumbre debido al error de apreciación cuando el operador realizar la medición del nivel de la señal en el osciloscopio.
6. Incertidumbre asociada a la resolución del osciloscopio.
7. Incertidumbre asociada al error del osciloscopio.

La incertidumbre combinada se calcula como se muestra en la ecuación 3.

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta}{\partial U}\right)^2} \times u^2 \quad \text{Ec. 3}$$

Las corridas realizadas durante el proceso de calibración del simulador de velocidad patrón cumplen los aspectos planteados en la instrucción de calibración IC 209-33. Se logró una incertidumbre de calibración del simulador en la medición de la señal del objetivo sin y con interferencia de 0,04 km/h, la cual depende de la repetibilidad de las mediciones.

Con este trabajo se alcanzó:

- impacto tecnológico, por primera vez en Cuba se garantiza la trazabilidad metrológica de las pistolas radar, medidoras de velocidad de vehículos de transporte, cuestión esta muy importante para la DNT, al lograr confianza y credibilidad en las mediciones que se realizan.
- impacto económico, al evitarse la importación de este servicio que implicaría una disminución de los gastos en USD (ahorro) para el país.
- impacto social, se elevaron las competencias de los especialistas que participaron en el proceso.

## **CONCLUSIONES**

1. De acuerdo con las condiciones del laboratorio, se garantizó la asimilación del simulador de velocidad patrón ruso ИС – 24/2, el cual asegura la trazabilidad metrológica de las pistolas radar modelos Iskra (**ИСКРА**) y Radis (**РАДИС**).
2. Se elaboraron, validaron y aprobaron los documentos técnicos correspondientes a la ejecución del proceso de verificación, la NC 1115: 2016 "ASEGURAMIENTO METROLÓGICO: Instrumentos Medidores de la velocidad de movimiento de los medios de transporte. MÉTODOS Y MEDIOS DE VERIFICACIÓN", y de calibración del simulador de velocidad patrón IC 209-33 "Calibración del simulador de velocidad de vehículos de transporte".
3. Se capacitó el personal del laboratorio en el uso, manipulación y aplicación de los documentos técnicos para la verificación de los diferentes modelos de pistolas radar, y en la calibración del simulador de velocidad patrón.
4. La diseminación del conocimiento referido a la verificación de las pistolas radar permitió al Laboratorio de Electricidad del INIMET, elevar la competencia del personal y la confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país.
5. Se logró en el año 2016 realizar el 100% de las verificaciones de las pistolas radar, lo que implica que el 100 % de estos instrumentos de medición se encuentran asegurados metrológicamente.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- [1]. Base de Datos de la Oficina Nacional de estadística e Información. (consultado 20 junio 2016). <http://www.onei.cu>.
- [2]. Manual de Operación del medidor de velocidad Radis. (ГДЯК 468160.008 РЭ), (GDJK468160.008 OM). San Petersburgo.
- [3]. Manual de Operación del medidor de velocidad Iskra.
- [4]. Manual de Operación del simulador ИС–24/2. СИМИКОН. ИМИТАТОР СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ "ИС – 24/2". Руководство по эксплуатации и формуляр ГДЯК 464965.005 РЭ. Санкт – Петербург 2008.
- [5]. Metodología rusa para la verificación de los medidores de velocidad Radis ГДЯК 468160.008 МП. Julio 2010.
- [6]. Metodología rusa para la calibración del simulador de velocidad **ИС–24/2**, ГДЯК464965.005 МП; (GDYAK 464965.005 RE). San Petersburgo. Abril 2009.

## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

- Recomendación Internacional OIML R 91. Edition 1990. Radar equipment for the measurement of the speed of vehicles.
- Procedimiento de calibración PE-ELE.02.01. Calibración o Verificación de cinemómetros en campo con móvil de prueba real. Revisión: 05, 2013-07-01; Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).
- Calibración de cinemómetros por simulación. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Córdoba, Noviembre de 2013.
- JCGM 100, Evaluación de datos de medición, Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, Primera edición Septiembre 2008 (original en inglés), **NIPO EDICIÓN DIGITAL 1: 706-10- 001- 0** en español, traducción 1ª Ed. Sept. 2008.
- NC OIML V2, Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM), Publicada por la OIML en 2010, 2da Edición, ONN, La Habana, Cuba, Octubre 2012.

**Fecha de recepción del artículo: 2016.08.19**

**Fecha de aceptación del artículo: 2017.02.27**

## **CONTRIBUCIONES PARA LA FORMACIÓN DE CAPITAL HUMANO Y ELEVACIÓN DE LA PERCEPCIÓN PÚBLICA SOBRE METROLOGÍA.**

MCs. Alejandra Regla Hernández - Leonard<sup>1</sup>, Investigadora Auxiliar, Profesora Auxiliar.

Dra. C. Ysabel Reyes - Ponce<sup>2</sup>, Investigadora Titular, Profesora Titular.

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología

<sup>2</sup>Academia de Ciencias de Cuba.

### **RESUMEN**

Se presentan las acciones realizadas por un nutrido grupo de especialistas del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, con la colaboración de otras entidades científicas, educacionales y productivas del país, que durante más de veinte años se han dedicado a la diseminación de conocimientos fundamentales y básicos sobre Metrología, puestos a disposición de educandos de diferentes niveles, especialistas de diversas ramas de la economía y de la población. Con esto se ha hecho una notable contribución que ha tenido un evidente impacto positivo en la comunidad científica y la sociedad en general. Este resultado recibió uno de los Premios Anuales de la Academia de Ciencias de Cuba en el año 2015.

**PALABRAS CLAVE:** Metrología, formación de capital humano, percepción pública de la ciencia

### **ABSTRACT**

The article describes the steps taken by a large group of specialists from the National Metrology Research Institute together with other Cuban scientific, teaching and production entities which have devoted over twenty years to disseminating basic and essential knowledge about Metrology and made it available to all levels of education, experts from various branches of the economy, and the population at large, a remarkable contribution that makes an obviously positive impact on the scientific community and the overall society. This result earned one of the Annual Awards granted by the Cuban Academy of Sciences in the year 2015.

**KEY WORDS:** metrology, development of human capital, public awareness of science

### **INTRODUCCIÓN**

Desde el comienzo de la civilización las mediciones están en la base del desarrollo científico-técnico de la sociedad, y en la actualidad, es prácticamente impensable un proceso tecnológico de producción, servicios e investigación, sin la utilización de los instrumentos y sistemas de medición.

La Metrología, ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, tiene un papel reservado en la infraestructura nacional de la calidad vigente en el país, como se muestra en la figura 1. Alcanza prácticamente a todas las ramas y actividades económicas, es determinante para la obtención de resultados de mediciones confiables, seguros y comparables, es garante de la calidad en la investigación, la producción y los servicios, y es una herramienta que, en manos del Estado, sirve para proteger a la sociedad de los efectos nocivos de las mediciones incorrectas o fraudulentas.

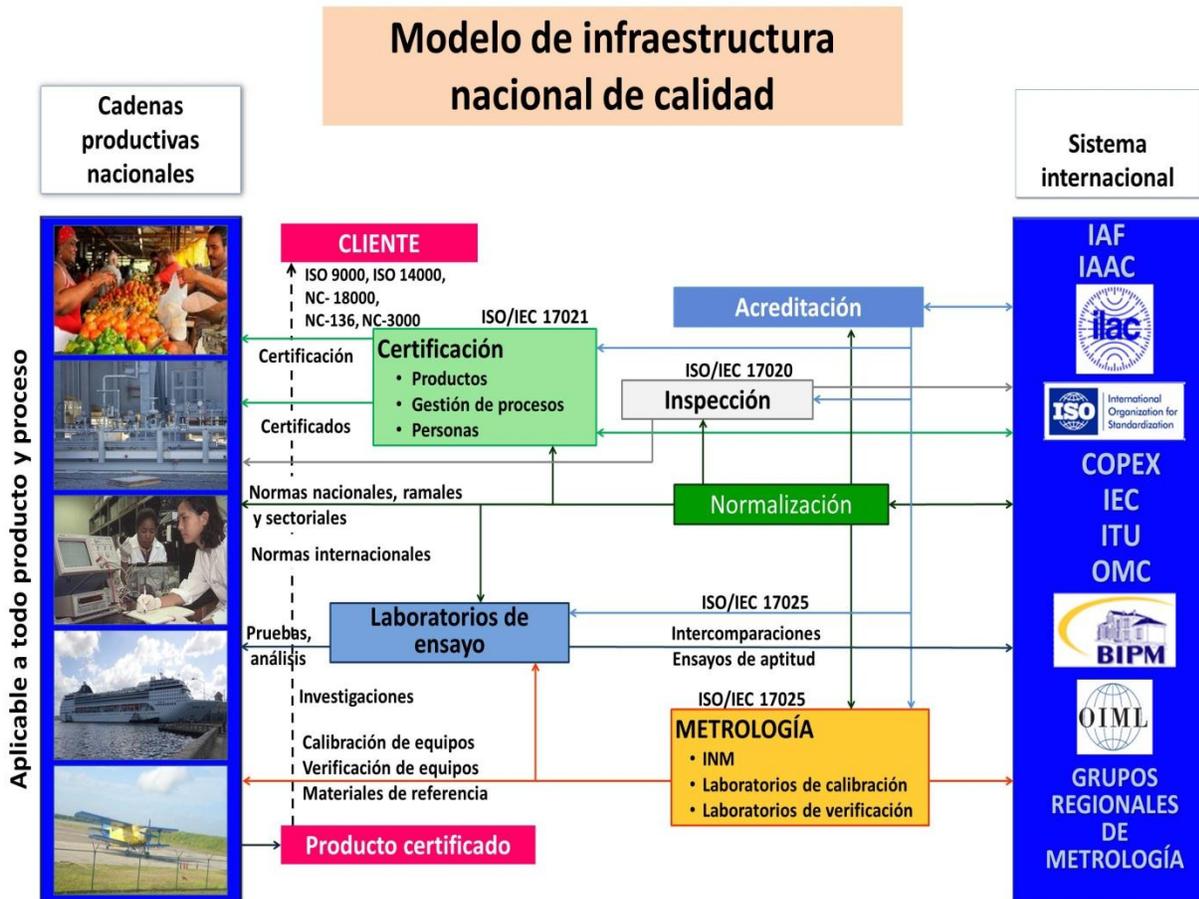


Fig. 1. Modelo de infraestructura nacional de calidad vigente en Cuba. Adaptado de Sanetra, C.; Marbán, R.M. (2009) Enfrentando el desafío global de la calidad: Una infraestructura nacional de la calidad.

A partir del comienzo del proceso de actualización del modelo económico cubano, para la sociedad cubana quedaron aún más claras la función de la Metrología como pilar técnico de la infraestructura de la calidad y como actividad indispensable para la asimilación y el desarrollo de nuevas tecnologías, cada vez más complejas, y la fuerte dependencia que del nivel de aseguramiento metrológico que logren implementar tienen el modelo de gestión económica y las nuevas políticas públicas relacionadas con la macroeconomía, la economía externa, la inversión nacional y extranjera, la utilización de la ciencia, la tecnología, la innovación y medio ambiente, las relaciones

sociales, las industrias agropecuaria y energética, el turismo, el transporte, las construcciones, los recursos hidráulicos y el comercio.

## **DESARROLLO**

En el contexto descrito, el recurso fundamental es el hombre, en cualquiera de las posiciones en que se encuentre en el entramado social. De sus capacidades y competencias depende el logro de los objetivos que se hayan fijado. Este hecho, además, fundamenta la necesidad de elevar la cultura general integral en materia de Metrología de todos los ciudadanos en su conjunto, de manera que se incremente la percepción pública de la importancia de esta ciencia.

Entre las funciones del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología como Instituto Nacional de Metrología de la República de Cuba, está la de preparar al personal que ha de desempeñarse en las diversas actividades de la gestión metrológica.

Desde mediados de la década del 2000, se realizaron investigaciones que permitieron conocer necesidades y expectativas de la economía y de la sociedad en este campo y se crearon las bases para la sistematización de los conocimientos atesorados por diversos especialistas que se habían dedicado durante veinte años y más al aseguramiento metrológico de todas las ramas de la economía nacional. Con esto, se hizo posible la elaboración de libros, materiales docentes, documentos técnicos y normativos, así como el diseño y la impartición de cursos, que han contribuido a la formación docente, científica y cultural del capital humano bajo los principios de ciencia, conciencia y economía, en correspondencia con los valores éticos adquiridos en nuestro proceso social.

## **CONTRIBUCIONES E IMPACTOS**

Atendiendo a la convocatoria anual para los Premios Nacionales de la Academia de Ciencias de Cuba, el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, en su condición de entidad ejecutora principal presentó el conjunto de contribuciones antes indicadas en opción al Premio, incluyendo:

- a) El proyecto de investigación y desarrollo “Elevación de la cultura metrológica en empresas seleccionadas del territorio de la ciudad de La Habana”, con el que se logró agregar valor al trabajo que venían realizando estas empresas con respecto a la calidad de sus producciones y servicios, y en todos los casos, una vez identificadas sus fortalezas y debilidades, la elaboración de los programas de aseguramiento metrológico como oportunidad de mejora de su desempeño.

Como resultados destacados del proyecto se obtuvieron, además,

- El Manual de Instrucción para la ejecución del diagnóstico metrológico, que incluyó herramientas que tuvieron su validación estadística y funcional en estudios de caso, y ha servido de base a las normas guías para la organización y ejecución de los programas de aseguramiento metrológico NC Guía 857-1:2011 y NC Guía 857-2:2013. El Manual está registrado en el Centro Nacional de Derecho de Autor con el número 141-2007.
- El diseño, validación y ejecución de cursos regulares y talleres sobre aspectos fundamentales y básicos de la Metrología, el diagnóstico y aseguramiento metrológicos y la protección al consumidor, que beneficiaron a 252 especialistas en un período de dos años.

El conjunto de todos estos resultados recibió el Premio Provincial a la Innovación Científica, otorgado en 2009 por la Delegación Provincial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en La Habana.

- b) Curso televisivo Metrología para la Vida y sus Tabloides acompañantes. Este curso de 16 horas fue transmitido en el 2009 en el programa Universidad para todos, y retransmitido en el 2010.

Los tabloides, en dos partes de 16 páginas cada uno, fueron distribuidos a la población en la red de estanquillos de prensa de todo el país, y en su momento, constituyeron los únicos materiales de divulgación científica sobre Metrología al alcance de todos. El curso televisivo ha sido digitalizado en dos DVD que están a disposición de la comunidad científica y académica.

- c) Libro Metrología para la vida. Obra de divulgación científica de la metrología, de 168 páginas, con registro en el Centro Nacional de Derecho de Autor número 950-2009. Publicado por la editorial Científico-Técnica en dos ediciones (2009 y 2013), disponible para la población en las librerías del país y colocada en las librerías on line de Internet por la Editorial Académica Española. Actualmente se realiza una coedición con la Universidad-Escuela Colombiana de Carreras Industriales, en Bogotá, Colombia.

- d) Libro Fundamentos de Metrología. Libro de texto para la educación técnica y profesional, de 731 páginas, con registro del Centro Nacional de Derecho de Autor número 2472-2011. Publicado en dos tomos por la editorial Pueblo y Educación en el 2014, y previsto para su primera reimpresión en el 2015. Su primera tirada, de 10 000 ejemplares, ha sido utilizada por el Ministerio de Educación como libro de texto en las carreras técnicas de Normalización, Metrología y Calidad, y como libro de consulta en el resto de las carreras. En este libro se integraron de manera selectiva y coherente los conocimientos más actuales sobre los temas tratados, atendiendo a la práctica internacional en este campo y conjugando los elementos teórico-conceptuales y prácticos.

Los autores que participaron en la confección del libro, lograron elaborar y presentar los conocimientos de una manera comprensible y educativa, respetando las características psicológicas del estudiante al que está dirigido y sus necesidades informativas e investigativas, con el objetivo de garantizar una actitud proactiva y transformadora en el egresado.

De gran significado resultó la integración de veintitrés especialistas de reconocido prestigio nacional e internacional, pertenecientes al Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, a la Dirección de Metrología de la Oficina Nacional de Normalización, la Dirección Técnica de la Unión Cuba Petróleo, la Universidad de Ciencias Pedagógicas “Héctor Pineda Zaldívar”, del Ministerio de Educación Superior, el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales, el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones y la Unidad de Investigaciones para la Construcción, del Ministerio de la Construcción.

A partir de la información presentada se evidencia que el resultado presentado en opción del Premio Anual 2015 de la Academia de Ciencias de Cuba incluyó la creación, registro y diseminación de la producción intelectual, y la aplicación directa de las herramientas diseñadas en organizaciones de todo tipo, en acciones de investigación-acción. Se demostró que es posible impactar favorablemente el nivel de conocimientos de la sociedad acerca de los temas metrológicos desplegando acciones bien diseñadas y dirigidas directamente a la satisfacción de las necesidades de capacitación que hayan sido previamente identificadas y se logró la elevación de la cultura metrológica de los especialistas, profesores, educandos y población en general, que se beneficiaron de este resultado, tanto en Cuba como en el extranjero.

A propuesta de la sección de Ciencias Técnicas y Ciencias Sociales de la Academia de Ciencias de Cuba, el resultado de la investigación científica “Contribuciones a la “Metrología”, ciencia de las mediciones, y acciones para la capacitación del personal técnico y directivo y la diseminación social de este conocimiento”, fue propuesto al Pleno de los académicos, siendo aprobado para el otorgamiento de uno de los Premios Anuales de la Academia de

Ciencias de Cuba en el año 2015, como se muestra en la figura 2. Se incluye un anexo informativo con los detalles de este contenido.



Fig.2. Acuerdo, diploma y medalla acreditativos del Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba en el 2015 a las contribuciones.

### CONCLUSIONES

La atención a la necesidad de formación del capital humano y de elevación de la cultura metrológica y la percepción pública sobre Metrología ha sido satisfecha con alto rigor científico, con el valor agregado de haber logrado la conversión del conocimiento tácito acumulado por un gran número de especialistas durante veinte años y más, en conocimiento explícito que ha sido puesto al servicio de la comunidad científica y académica y de la población en general.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Academia de Ciencias de Cuba. Acuerdo del Pleno de la Academia de Ciencias de Cuba sobre la concesión de los Premios anuales del año 2015, de fecha 9 de abril de 2016.
2. Hernández-Leonard AR, Reyes-Ponce Y. Cincuenta años de aseguramiento metrológico a la economía cubana: Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología. *Rev. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. No. 2, 2013; Vol. 3 (Disponible en: [www.revistaccuba.cu](http://www.revistaccuba.cu) ).
3. Joint Committee of Guide on Metrology. JCGM 200: 2012 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM) 3 rd edition.
4. Oficina Nacional de Normalización. NC-ISO 9004:2009 Gestión para el éxito sostenido de una organización - enfoque de gestión de la calidad.
5. Oficina Nacional de Normalización. NC- ISO/IEC 17025:2006 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración.
6. Reyes-Ponce Y. Cuban women presence in Metrology. In *Proceeding International Conference on women's impact on Science and Technology in the new millenium*; 2007. p. 224-226.
7. Reyes-Ponce Y, Álvarez-Vasallo L, Hernández-Leonard AR. Importancia de la Metrología y su repercusión en el desarrollo. *Rev. Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. No. 1 2011; Vol. 1(Disponible en [www.revistaccuba.cu](http://www.revistaccuba.cu) ).
8. Reyes-Ponce Y, Hernández-Leonard AR. Advances in public perception of metrology in the Republic of Cuba. *Sociology and Anthropology*, 2016, Vol. 4, 167-173 doi: 10.13189/ sa.2016040304. Disponible en: <http://www.hrpub.org/download/20160229/SA4-19605328.pdf>
9. Reyes-Ponce Y, Hernández-Leonard AR. Public perception of metrology in the Republic of Cuba. *OIML Bulletin* No. 2. April 2010; Volume LI: p. 30-34; ISSN 0473-2812.

**Fecha de recepción del artículo: 2016.06.10**

**Fecha de aceptación del artículo: 2016.06.13**

**ANEXO INFORMATIVO**  
**AUTORES Y COLABORADORES DEL PREMIO ANUAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA DE 2015**  
**“CONTRIBUCIONES A LA “METROLOGÍA”, CIENCIA DE LAS MEDICIONES, Y ACCIONES PARA LA**  
**CAPACITACIÓN DEL PERSONAL TÉCNICO Y DIRECTIVO Y LA DISEMINACIÓN SOCIAL DE ESTE**  
**CONOCIMIENTO”**

**Unidad Ejecutora Principal del Resultado**

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología.

**Autora principal:** Ysabel Reyes - Ponce<sup>1</sup>.

**Otra Autora:** Alejandra Regla Hernández - Leonard<sup>1</sup>.

**Colaboradores científicos:**

Ana Margarita Hernández Álvarez<sup>2</sup>, Nuris Eriótida Valdés Pereira<sup>1</sup>, Maritza Hernández Apaceiro<sup>1</sup>, Alma Delia Hernández Ruiz<sup>7</sup>, Silvia López Victorero<sup>3</sup>, María Luisa Miranda La Ó<sup>10</sup>, Manuel Álvarez Prieto<sup>6</sup>, Augusto Maury Toledo<sup>1</sup>, Fernando Antonio Arruza Rodríguez<sup>2</sup>, Luís Isidro González Denis<sup>1</sup>, Carlos Manuel Rodríguez Blanco<sup>5</sup>, Raúl Arrieta Rodríguez<sup>9</sup>, María de los Ángeles Álvarez Álvarez<sup>1</sup>, Luis Álvarez Vasallo<sup>1</sup>, Gustavo Háreton Espinosa Delgado<sup>1</sup>, José Ignacio Franco Fernández<sup>1</sup>, Mario Martínez Pérez<sup>1</sup>, Hermes Rozsa Iglesias<sup>1</sup>, Mirtha Juana Navarro González<sup>1</sup>, René Jesús García Mustelier<sup>2</sup>, Silvia Juana Iglesias Valcárcel<sup>3</sup>, Gilberto González Horta<sup>1</sup>, Sandra Claudina Pedro Valdés<sup>1</sup>, Gonzalo Walwyn Salas<sup>4</sup>, Osmel Reyes Vaillant<sup>8</sup>, Ángel Rabdel Ruiz<sup>6</sup>, Martín Antúnez Ramírez<sup>2</sup>, Hortensia Nancy Fernández Rodríguez<sup>2</sup>, Antonio Alfredo López Maidique<sup>1</sup>, Dorcas Rodríguez Crespo<sup>1</sup>.

**Otras entidades participantes:**

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

<sup>2</sup>Oficina Nacional de Normalización, del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones en Normalización (actual Centro de Gestión y Desarrollo de la Calidad), del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

<sup>4</sup>Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

<sup>5</sup>Universidad de Ciencias Pedagógicas “Héctor Alfredo Pineda Zaldívar”, del Ministerio de Educación Superior.

<sup>6</sup>Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales, del Ministerio de Educación Superior.

<sup>7</sup>Centro de Técnicas de Dirección, Universidad de la Habana, del Ministerio de Educación Superior.

<sup>8</sup>Dirección Técnica de la Unión Cuba Petróleo, del Ministerio de la Industria Básica.

<sup>9</sup>Unidad de Investigaciones para la Construcción, del Ministerio de la Construcción.

<sup>10</sup>Dirección Nacional de Protección al Consumidor y Registro de Consumidores, del Ministerio de Comercio Interior.

Nota de las autoras: Se citan las denominaciones de las entidades a las que pertenecían los autores y colaboradores en el momento de participar en las contribuciones.

## NOTICIAS

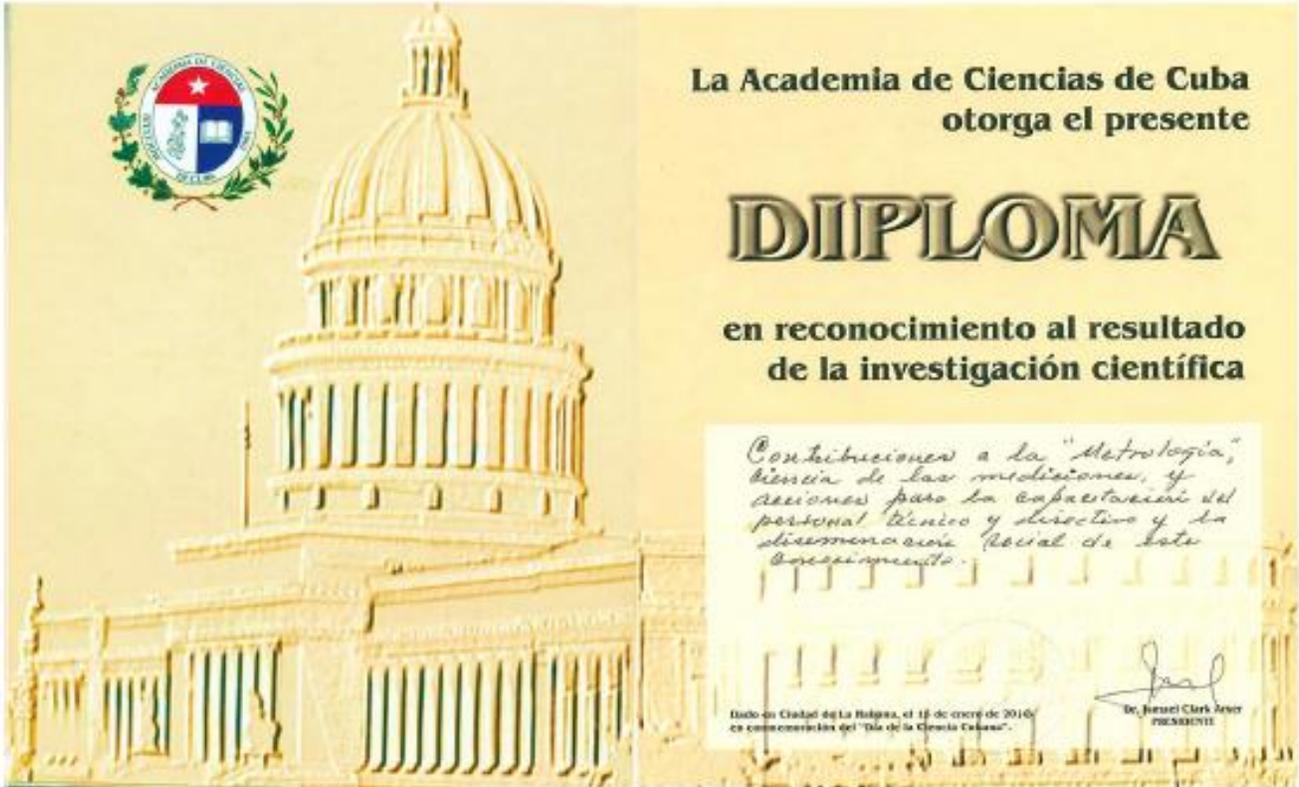
### **“Premio Nacional de la Academia de Ciencias de Cuba al resultado de la Investigación Científica en el INIMET.**

Recibe el INIMET “El premio Academia de Ciencia 2016” por los resultados alcanzados a la investigación científica: “Contribuciones a la Metrología, ciencia de las mediciones, y acciones para la capacitación del personal técnico y directivo y la diseminación social de este conocimiento”

De las autoras Dra. Ysabel Reyes Ponce y MCs. Alejandra Regla Hernández Leonard, del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología y otros 30 colaboradores de 11 entidades pertenecientes a los organismos: CITMA, MES, MINED, MICONS y MINCIN.

Se trata de una contribución en pos de abrir acciones y vía de solución a los problemas actuales en lo que la metrología juega un rol importante.





### Visitas recibidas en el INIMET 2016.



El 14 de marzo de 2016 visitó el INIMET El Director de Relaciones Internacionales del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología de Rusia (VNIIM), para concertar un memorando de entendimiento entre su Instituto y el INIMET, que fue firmado posteriormente en Armenia en mayo del mismo año.



El director de Colaboración Internacional y Capacitación del PTB, *Alexis Valqui*, visitó el INIMET el 13 de mayo de 2016 acompañado de una delegación que ofrecía la colaboración con Cuba en la esfera de las energías renovables. Estuvieron presentes en el encuentro la Dra. Nancy Fernández, Directora General de la ONN; el Ing. Fernando Arruza, Director de Metrología de la ONN; el MSc. Nelson Villalobos Hevia, Director del INIMET y el Ing. Eduardo G. Pérez González, Subdirector de Metrología.



El 23 de mayo de 2016 el INIMET recibió la visita de Dr. Vu Khanh Xuan, Director de VMI, Presidente de la Oficina Nacional de Normalización de Viet Nam, acompañado de directivos del Instituto Nacional de Metrología de Viet Nam, quienes presentaron sus resultados en la proyección y construcción del Laboratorio Primario de su país.



Estuvieron presentes la Dra. C. Nancy Fernández, el Ing. Fernando Arruza, el MSc. Nelson Villalobos y otros directivos y funcionarios del INIMET.



El 12 de agosto de 2016 el Dr. *Joachim Ullrich*, Presidente del PTB de Alemania impartió la conferencia magistral “Metrología para la Investigación, la Innovación y la Sociedad” en la sede del Gobierno Municipal de La Habana Vieja. Estuvieron invitados los metrólogos del SENAMET y de otras empresas de la economía nacional.

## **Visitas internacionales realizadas por el INIMET. 2016.**

### **Colaboración entre el INIMET y el VNIIOFI**

Visitó el Director del INIMET, MCs. Nelson Julián Villalobos Hevia, al Instituto Nacional de Metrología de Erevan, Armenia. 20-21 Abril 2016.

### **Intercambio Científico SI-KG en Braunschweig, Alemania.**

En el marco de la Cooperación Técnica del PTB intercambio Científico SI-KG, Braunschweig Alemania. Fue invitada la MCs. María de los Angeles Álvarez Álvarez.

### **Proyectos INIMET**

1. Diseño de modelo de patrón de referencia nacional de masa sobre la base de un Eo.
2. Patrón Nacional de Densidad de líquidos. Estudio del Estado del Arte.
3. Instalación de calibración de metros contadores, con agua como líquido de trabajo.
4. Establecimiento del patrón primario de temperatura en un subintervalo de la Escala internacional de Temperatura 1990.
5. Desarrollo del patrón de presión diferencial.
6. Pirámide de trazabilidad.
7. Desarrollo de la Informatización del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología. INIMET.

### **Servicios que presta el INIMET:**

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

Investigaciones en el campo de la Metrología.

- Aforo de tanques horizontales, verticales y soterrados para líquidos.
- Mediciones de alta exactitud.
- Calibración y verificación de instrumentos de medición.

Magnitudes que trabaja el INIMET

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| - Electricidad   | - Volumen       |
| - Densidad       | - Masa          |
| - Presión        | - Temperatura   |
| - Físico Química | - Dimensionales |

Se brindan servicios de:

- Información Científico – Técnica y asistencia bibliográfica
- Cursos y adiestramientos

Para más información contactar a: MCs. Gustavo Torres González, Subdirector de Servicios Científico-Técnicos.

Tel: 7863 7023 / Correo-e: [gustavot@inimet.cu](mailto:gustavot@inimet.cu)

## **INSTRUCCIONES A LOS AUTORES**

### **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.

### **Datos de los autores:**

Escribir el nombre y los dos apellidos de cada autor, los dos apellidos separados por un guión. 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 y el país. En caso de ser más de una Institución se utilizará 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, 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 2 005 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 estructurado siguiendo lo indicado en los requisitos uniformes (Vancouver) en su quinta edición (1997).

### **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](mailto:normateca@inimet.cu)

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