

## LA IMPORTANCIA DE LA METROLOGÍA COMO TEMA TRANSVERSAL EN LA FORMACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS

### The importance of the metrology as cross-cutting theme in the teaching of the basic sciences

#### RESUMEN

*El grupo de electrofisiología (área de metrología) de la UTP, ha desarrollado un conjunto de actividades para formar en metrología a los estudiantes de ingeniería, a estudiantes de posgrado y a profesionales del medio externo. Este trabajo de formación se inicia desde los cursos de laboratorio de física en los cuales el análisis de la medida desde el punto de vista metrológico es preponderante. Todo lo anterior ha dado lugar a que los estudiantes de pregrado y de posgrado de diferentes carreras estén realizando en algunos casos sus trabajos de grado en esta área y que profesionales del medio externo puedan capacitarse en estos temas. Mediante este trabajo se quiere presentar los resultados de esta experiencia junto con un análisis en el que se resalta la importancia de la metrología como tema transversal en la formación en ciencias básicas.*

**PALABRAS CLAVES:** *Metrología, enseñanza, ciencias básicas.*

#### ABSTRACT

*The group of Electrophysiology (area of metrology) of the department of Physics of the UTP has developed a set of activities in order to train engineering students and professionals of other fields in the area of metrology. This training program starts in the physics laboratory courses where the measurement analysis from the metrological point of view is preponderant. All that has led undergraduate and graduate students of diverse fields to carry out some of their work in this area, as well as external professionals to get training in these topics. This work attempts to show the results obtained from this experience together with an analysis which highlights the importance of metrology as a transversal issue in the formation of basic sciences.*

**KEYWORDS:** *metrology, teaching, basic sciences.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Dicho de la manera más simple, la metrología es la ciencia de las mediciones. Mediante las mediciones se obtiene información sobre el comportamiento de la materia y lo producido mediante su transformación. La metrología es la encargada de estudiar, diseñar y establecer las técnicas de medición requeridas para alcanzar la incertidumbre necesaria, conforme a la aplicación particular, en los resultados de las mediciones. También es la encargada de investigar, experimentar y establecer los patrones de referencia primarios en el ámbito internacional; de mantener los patrones nacionales de los diferentes países o de mantener los instrumentos de referencia utilizados en el ámbito de la industria (cuando éstas poseen su propio laboratorio de metrología). De manera que, mediante un proceso denominado trazabilidad, el último instrumento utilizado en el ámbito industrial está referido al patrón internacional. En consecuencia, si en los diferentes países

se siguen similares cadenas de trazabilidad, un medidor utilizado en Colombia para verificar la temperatura de un horno medirá aproximadamente lo mismo que otro medidor utilizado en otro país para medir la misma temperatura; un instrumento utilizado en Japón para medir el diámetro de un eje, medirá aproximadamente lo mismo que otro instrumento utilizado aquí, en nuestro país, para medir el mismo diámetro. Idealmente, en todo el mundo, los instrumentos utilizados para medir las mismas magnitudes físicas deberían indicar el mismo valor, aunque esto no es posible por razones obvias; de ahí que estemos usando la palabra aproximadamente.

Con el fin de mantener esa igualdad aproximada los distintos organismos y laboratorios mantienen relación y ponen en práctica la “intercomparación” de patrones. Por otro lado, a nivel de los gobiernos se establecen instituciones que vigilan y regulan las actividades metrológicas en el país y supervisan su cumplimiento por parte de los diferentes sectores, entidades o personas

#### LUIS ENRIQUE LLAMOS A R.

Magister en física  
Profesor titular Depto de física  
Director  
Grupo de Electrofisiología  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[lellamo@utp.edu.co](mailto:lellamo@utp.edu.co)

#### MILTON F. VILLARREAL C.

Ingeniero de sistemas  
Jefe de calidad – Laboratorio de metrología  
Facultad de ciencias básicas  
Universidad Tecnológica de Pereira  
[milfer@utp.edu.co](mailto:milfer@utp.edu.co)

responsables; en Colombia el gobierno nacional a través del ministerio de desarrollo económico, expidió el decreto 2269 de 1993 con el cual organizó el sistema nacional de normalización, certificación y metrología – SNNCM- adscrito a la Superintendencia de industria y Comercio (SIC). De lo anterior, nace la clasificación de la metrología en legal, científica e industrial [1].

El papel de la metrología se hace realmente relevante cuando el proceso de medición es vital en algún tipo de transacción comercial, en aplicaciones militares, en aplicaciones en el campo de la salud, en la producción de medicinas o de alimentos, en la realización de pruebas para construcciones de ingeniería civil, en la realización de diagnósticos para descubrir la causa de algún problema eléctrico, en la realización de trabajos destinados al alcance del uso racional de la energía, en el monitoreo rutinario de los sistemas electromecánicos, mecánicos y electrónicos, en la verificación de límites de contaminantes del ambiente o valores de niveles de radiación, en el monitoreo permanente de las diversas magnitudes físicas que intervienen en los procesos de producción, y muy especialmente, en la realización de pruebas de calidad. Sin la metrología, sería imposible verificar la calidad de los productos o de los procesos, definida en la normativa internacional. Dicho de otra manera, la metrología y la normalización son vitales para el aseguramiento de la calidad [2].

No queda duda, pues, del papel altamente importante que juega la metrología en el desarrollo económico de un país, en su desarrollo tecnológico o científico, o en la salud de sus habitantes cuando aplicada correctamente le permite a los médicos hacer diagnósticos fidedignos. Y, si lo anteriormente explicado no basta, la metrología y la normalización son imprescindibles para el aseguramiento de la calidad y, si el país pretende incorporarse a los tratados de libre comercio internacionales, no le queda otro camino que invertir en el desarrollo de tales disciplinas.

## 2. ANTECEDENTES

El grupo de Electrofisiología del departamento de física de la facultad de ciencias básicas de la Universidad Tecnológica de Pereira viene trabajando desde hace varios años las líneas de investigación de metrología de variables eléctricas y metrología electromédica. La inclusión de estas líneas de investigación surgió con base en el trabajo que se venía desarrollando dentro de otras de sus líneas de investigación: La instrumentación biomédica y el análisis de bioseñales.

Se observaba que a pesar de que en el país era posible desarrollar equipo para la medición y análisis de señales electrofisiológicas, estos desarrollos no iban a tener ninguna trascendencia si no se incorporaban dentro de su diseño y desarrollo aspectos claves como el de la metrología y la normalización, sin los cuales los

desarrollos en este campo en el ámbito nacional nunca iban a tener trascendencia internacional y nunca iban a llegar a ser comercializables y mucho menos iban a poder ser utilizados para la investigación, pues sus resultados carecen de confiabilidad; prueba de ello es que en nuestro país no se ha podido desarrollar una industria de equipo electromédico a pesar de que en nuestras universidades en diferentes carreras de ingeniería a nivel de pregrado y de posgrado se desarrollan múltiples prototipos de instrumentos que realizan medición y análisis de señales fisiológicas muchas veces con fines investigativos. Hay que añadir a esto el hecho de que en nuestras universidades los grupos que hacen investigación experimental, la desarrollan sin ninguna “trazabilidad” es decir con base en la utilización de equipos de medición que no han sido “calibrados” desde que fueron adquiridos y además reportan sus mediciones sin una expresión de la incertidumbre de medición adecuada.

En nuestro país la mayoría de los desarrollos e investigaciones que se realizan no cuentan con un aseguramiento de la calidad de las mediciones, el cual implica como mínimo la utilización de instrumentos calibrados que aseguren su trazabilidad. Unido a todo esto, la infraestructura de laboratorios de metrología en nuestro país es mínima; en el área de equipo electromédico por ejemplo, solamente existe un laboratorio acreditado con base en la norma internacional NTC-ISO/IEC 17025 [3] [4], este laboratorio fue el que logró montar en la UTP el grupo de electrofisiología que presenta este trabajo.

Todo lo anterior hizo que los miembros del grupo de electrofisiología desde el año 2000 iniciaran todo un proceso de capacitación en temas metrológicos y normativos que condujo a la presentación de proyectos de investigación a COLCIENCIAS (entidad gubernamental dirigida a crear condiciones favorables para la generación de conocimiento científico y tecnológico nacionales) que tenían entre sus objetivos principales disponer de un laboratorio de metrología en las áreas de calibración de equipos de medidas eléctricas y equipo electromédico, este objetivo se ha logrado; en la actualidad se dispone de un laboratorio de metrología acreditado en las áreas de variables eléctricas y de metrología electromédica que presta servicios a la región y al país.

Con base en todo el trabajo anterior y en la infraestructura montada, el grupo de electrofisiología en su área de metrología, observando las falencias que existen en cuanto a formación en metrología en nuestra región y en el país, decidió implementar todo un proceso que ha pretendido educar en metrología partiendo de las necesidades que existen internamente dentro de la Universidad y el medio externo. En el presente trabajo se presentan los aspectos fundamentales de este proceso.

### 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA IMPLEMENTADA PARA EDUCAR EN METROLOGÍA

La formación en ingeniería y a nivel tecnológico tiene una extensa y rica trayectoria dentro de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) – Colombia, la cual fue creada por medio de la Ley 41 de 1958, como máxima expresión cultural y patrimonio de la región y como una entidad de carácter oficial seccional.

Hasta hace unos pocos años y gracias principalmente al trabajo del grupo de electrofisiología, la metrología entró a formar parte de las actividades de docencia, investigación y extensión en nuestra universidad, con base en el trabajo desarrollado y que se detalló en la introducción de este trabajo. En el día de hoy la administración de la universidad apoya todos los procesos conducentes a la “acreditación” de laboratorios de calibración y ensayos que han surgido principalmente del trabajo de los grupos de investigación.

En lo que respecta a la educación en ingeniería y a nivel tecnológico, el grupo de electrofisiología en su área de metrología ha logrado montar un proceso que involucra todo el trabajo desarrollado dentro del laboratorio, con la formación de estudiantes de la universidad y profesionales del medio externo que necesitan capacitación en esta área; además se vienen desarrollando procesos de investigación en metrología a través de trabajos de grados a nivel de pregrado y de posgrado y también con base en la presentación de proyectos de investigación en esta área a entidades de financiamiento internas y externas.

Desde nuestras perspectivas entendemos que en la educación en ingeniería, tecnología y técnica existen entre otras, dos áreas del conocimiento que las atraviesan horizontalmente y que, actualmente, no se encuentran debidamente desarrolladas en las universidades, ellas son:

- La Metrología, como ciencia de la medición.
- Las Normas de la Calidad, como conjunto de premisas que ordenan los procesos de investigación, desarrollo y producción.

Se plantearon los siguientes objetivos específicos dentro de la estrategia que ha pretendido educar en metrología y calidad a los estudiantes de la universidad y a los profesionales del medio externo que lo necesitan, Ellos son:

- Conformar una red educativa de los laboratorios acreditados o en proceso de acreditación de la universidad, basada en la metrología y la calidad.
- Lograr una mejor y actualizada formación de los alumnos en las áreas de metrología y calidad, tanto teórica como práctica, mejorando su comprensión de los Sistemas de Calidad y la correcta utilización del

instrumental y el equipamiento que posee cada laboratorio.

- Proyectar una creciente prestación de Servicios de calibración/ensayo, asistencia técnica y educación en metrología de la universidad, a los sectores industriales y productivos de la región.

- Facilitar el acceso de los alumnos y los docentes a toda la información referida a la Metrología y la calidad.

- Gestionar la calibración y la trazabilidad del equipamiento y el instrumental de los grupos de investigación de la universidad.

- Introducir en el currículo universitario la enseñanza de la metrología y calidad como temas específicos de las distintas carreras de ingeniería, tecnologías y ciencias básicas.

- Introducir dentro de los programas de laboratorio fundamentales los aspectos metroológicos basados en normas nacionales e internacionales.

- Realizar investigación en metrología y calidad.

### 4. RESULTADOS

Los siguientes son algunos de los resultados de tipo académico, obtenidos por el grupo de electrofisiología en su línea de investigación relacionada con la metrología eléctrica y electromédica:

4.1 Resultados relacionados con la educación en metrología:

- Se han incluido aspectos referentes a la metrología dentro de las siguientes asignaturas:

Laboratorio de física I, laboratorio de física II y laboratorio de física III, cursos que deben ver todos los estudiantes de las diferentes carreras de ingenierías, tecnologías y licenciatura en física. Es una exigencia dentro de los resultados experimentales de estos laboratorios el cálculo de incertidumbre de medición.

- Se dictan cursos de metrología en todas las carreras de ingeniería tanto como asignatura básica y en algunos casos como electivas.

- Se dictan pasantías al medio externo y a estudiantes interesados en el tema, en las siguientes áreas: Cálculo de incertidumbre de medición, aseguramiento metroológico, calibración de instrumentos de medidas eléctricas, calibración de equipo electromédico, aseguramiento de la calidad de las mediciones.

4.2 Proyectos de investigación aprobados por entidades financiadoras externas e internas a la UTP en los cuales participan profesores investigadores del grupo de electrofisiología y estudiantes de la UTP:

4.2.1 Proyecto SENA – COLCIENCIAS – UTP: Acreditación de un laboratorio de metrología en el área de variables eléctricas (corriente, voltaje, resistencia, capacitancia, potencia), para la calibración de equipos del sector productivo, investigativo y médico. Año de aprobación: 2003. Valor total del proyecto: \$250.000.000.oo. Estado: ejecutado y terminado.

Resumen del proyecto: La finalidad del proyecto fue diseñar y elaborar todo el conjunto de procedimientos requeridos para acreditar ante la Superintendencia de Industria y Comercio un laboratorio que prestara servicios de metrología en el área de Variables Eléctricas en la Universidad Tecnológica de Pereira, aplicando los aspectos técnicos y legales exigidos por el Gobierno Nacional. En la ejecución del proyecto se contó con la asesoría de la Superintendencia para la acreditación del respectivo laboratorio. El laboratorio acreditado se autofinancia en la actualidad con base en los servicios que presta al medio externo y es fuente de diferentes trabajos a nivel de pregrado y de posgrado.

4.2.2 Proyecto COLCIENCIAS – UTP: Evaluación de sistemas de salud en lo referente a su capacidad tecnológica relacionada con la trazabilidad del equipo biomédico y su seguridad eléctrica. Año de aprobación: 2005. Valor total del proyecto: \$520.581.000.oo. Estado: ejecutado y terminado.

Resumen de proyecto: El Objetivo de este proyecto fue el de acreditar un laboratorio que permitiera evaluar los sistemas de salud en lo referente a su capacidad tecnológica relacionada con la trazabilidad del equipo electromédico y su seguridad eléctrica aplicando los aspectos técnicos y legales exigidos por el Gobierno Nacional e incorporando la normatividad existente a nivel internacional. El laboratorio que se implementó y acreditó (único en Colombia con esta acreditación) presta servicios de calibración en las siguientes áreas: Seguridad eléctrica, electrocardiografía, electroencefalografía, monitoria fetal, pulsioximetría-SpO<sub>2</sub>, respiración, electrobisturías, desfibriladores/marcapasos, presión arterial, bombas de infusión, ultrasonidos, incubadoras, temperatura y humedad ambiental. Además de lo anterior se realizó un diagnóstico en lo que respecta al sistema de calidad implementado por las entidades prestadoras del servicio de salud a nivel regional (Departamento del Risaralda) en lo que respecta al equipo electromédico utilizado y relacionado con este proyecto, con el fin de establecer los equipos existentes y la existencia o no de un programa de calibración para los mismos, con el cual se estuviera garantizando la calidad de la atención de salud relacionada con la trazabilidad de los mismos.

4.2.3 Proyecto CIE (Centro de Investigaciones y Extensión – UTP): Trazabilidad de analizadores para la calibración/ensayos de equipo electromédico - Diagnóstico en Risaralda e implementación de procedimientos técnicos. Año de aprobación: 2007. Estado: terminado.

Resumen del proyecto: El Objetivo de este proyecto fue el de diseñar los procedimientos para la calibración/ensayos de los equipos (analizadores) mediante los cuales se puede realizar calibración/ensayos de equipos electromédico; lo anterior teniendo en cuenta de que en Colombia no existe ningún laboratorio de metrología que preste este servicio.

4.2.4 Proyecto convocatoria interna para la financiación de proyectos UTP: Campos electromagnéticos, medio ambiente y salud pública - montaje y acreditación de un

laboratorio de metrología electromagnética y realización de un estudio piloto en Pereira. Año de aprobación: 2009. Estado: en ejecución.

4.3 Tesis dirigidas: Alrededor de los proyectos de investigación detallados anteriormente, se han desarrollado un número muy importante de trabajos de grado a nivel de pregrado y de posgrado por parte de estudiantes de la UTP que se vincularon a los proyectos de investigación.

4.4 Ponencias Internacionales: El grupo de Electrofisiología alrededor de su área de investigación en metrología ha presentado un gran número de ponencias nacionales e internacionales en diferentes congresos.

4.5 Artículos publicados: Se han publicado un número muy importante de artículos en revistas especializadas, dos de ellos en revistas tipo A1.

4.6 Libros publicados:

“Aspectos metrológicos fundamentales para la acreditación de un laboratorio de patronamiento eléctrico” Primera edición 2005, impreso en Postergraph S.A., ISBN: 958-8065-93-3 – libro financiado por COLCIENCIAS y evaluado para su publicación por el comité editorial de la UTP.

“Métodos para el aseguramiento de la calidad de las mediciones en un laboratorio de calibración” Primera edición 2007, impreso en Postergraph S.A., ISBN: 978-958-8272-77-1 – libro financiado por COLCIENCIAS y evaluado para su publicación por el comité editorial de la UTP.

“Estudio de las capacidades tecnológicas relacionadas con la trazabilidad del equipo electromédico y su seguridad eléctrica en entidades de salud del Departamento de Risaralda” Primera edición 2007, impreso en Postergraph S.A., ISBN: 978-958-8272-76-“Estimación de la incertidumbre en mediciones eléctricas” Primera edición 2009, impreso en Postergraph S.A., ISBN: 978-958-44-5797-4 – libro financiado por COLCIENCIAS y evaluado para su publicación por el comité editorial de la UTP.

## 5. CONCLUSIONES

El desarrollo y formación en el tema de la metrología en el interior de las Universidades, proporcionan múltiples beneficios en lo que respecta a la integración Universidad, estado, sector productivo, por esta razón la formación en esta área debe ser un tema transversal y de importancia en la enseñanza de las ciencias básicas. En el caso del grupo de electrofisiología y de otros grupos de la UTP el trabajo en esta área ha llevado a que se monten y acrediten laboratorios de metrología que prestan servicios a la sociedad en general y que entre otras cosas han impactado en aspectos tales como [5]:

**Divulgación:** Por su componente académico los resultados de los trabajos desarrollados en los laboratorios de metrología tienden a ser divulgados por distintos medios, tales como congresos, revistas especializadas, permitiendo un enriquecimiento del saber.

**Formación profesional:** La experiencia lograda en estos laboratorios ha podido ser comunicada a los estudiantes universitarios y además ha sido incluida dentro de los programas de diferentes asignaturas.

**Apoyo a la investigación universitaria:** Los trabajos de investigación realizados en las universidades en lo que corresponde a aspectos experimentales generalmente son realizados con equipos de medición que son comprados y no vuelven a ser calibrados; en las Universidades generalmente no se cuenta con un programa de calibración de los equipos utilizados en los laboratorios de investigación; los laboratorios de metrología representan la trazabilidad de las medidas que se realicen en los procesos investigativos en que se utilizan instrumentos de medidas, dando confiabilidad a sus resultados.

**Fuente de proyectos para trabajos de grado a nivel de pregrado y de posgrado:** Los laboratorios de metrología y de ensayos generan múltiples proyectos para los estudiantes de pregrado y posgrado que los relacionan con la industria y que impactan en el medio, además generan proyectos en el área de la metrología científica importantes para el desarrollo de las diferentes ciencias experimentales.

**Costos:** Los laboratorios de metrología requieren de inversiones económicas bastante altas, se puede aprovechar la infraestructura tanto humana como tecnológica de las universidades para montar estos laboratorios contribuyendo de esta manera al desarrollo del país.

**Aprovechamiento tecnológico:** A las instituciones universitarias que impulsan estos procesos de formación en metrología y acreditación de sus laboratorios, por medio de la experiencia lograda en este campo y con base en las investigaciones realizadas y en los servicios prestados les es posible colaborar con en el desarrollo en el país de tecnología propia y con en el mejoramiento continuo de los productos nacionales.

**Capacitación industrial:** Mediante cursos de extensión se puede capacitar al personal de las diversas empresas en temas de metrología.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Decreto 2269 de 1993 con el cual se organiza el sistema nacional de normalización, certificación y metrología (SNNCM).

[2] DECANINI, Alfredo Elizondo. Manual de aseguramiento metrológico industrial. México: Castillo, 1996.p.8-10.

[3] Norma NTC-ISO-IEC-17025 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”. 2005-10-26.

[4] [www.sic.gov.co](http://www.sic.gov.co) Página de la Superintendencia de Industria y Comercio en donde figuran los laboratorios acreditados en Colombia.

[5] LLAMOSA R. Luis Enrique, Ponencia: Impacto de los laboratorios de Metrología y de Pruebas y Ensayos en la Investigación y Extensión Universitarias. Cuarto Congreso Internacional de Educación Superior. Palacio de las Convenciones. 2004, La Habana, Cuba.