

# LA CLAVE PARA DOMINAR LA METROLOGÍA: UNA ESTACIÓN DE TRABAJO QUE UNE TEORÍA Y PRÁCTICA

## THE KEY TO MASTERING METROLOGY: A WORKSTATION BRIDGING THEORY AND PRACTICE

**Quiroz Martínez Jesús**

Tecnológico Nacional de México /IT de Ciudad Juárez, México  
<https://orcid.org/0009-0007-8708-3767>  
[jesus.qm01@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:jesus.qm01@cdjuarez.tecnm.mx)

**Frausto Villegas María Yolanda**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México  
<https://orcid.org/0000-0003-0363-8467>  
[Y.frausto@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:Y.frausto@cdjuarez.tecnm.mx)

**Parada González Mirella**

Tecnológico Nacional de México / IT La laguna, México  
<https://orcid.org/0000-0002-8257-685x>  
[mirella.pg@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:mirella.pg@cdjuarez.tecnm.mx)

**Woocay Prieto Arturo**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México  
<https://orcid.org/0000-0001-9253-0494>  
[arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:arturo.wp@cdjuarez.tecnm.mx)

**Martínez Contreras Ulises**

Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Juárez, México  
<https://orcid.org/0000-0002-1631-4448>  
[ulises.mc@cdjuarez.tecnm.mx](mailto:ulises.mc@cdjuarez.tecnm.mx)

DOI: <https://doi.org/10.61273/neyart.v1i2.118>

| Recibido: 09/06/2025 | Aceptado: 24/07/2025 | Publicado: 11/09/2025

Esta obra está bajo  
una licencia internacional  
Creative Commons Atribución 4.0.



**Resumen:** La enseñanza de la metrología, entendida como la ciencia que garantiza la exactitud y trazabilidad de las mediciones, constituye un componente esencial en la formación de profesionales en los campos de la ingeniería, la manufactura y la tecnología. Sin embargo, uno de los principales desafíos pedagógicos radica en articular de manera eficaz los fundamentos teóricos —incluidos los principios matemáticos, las normativas internacionales y el análisis de la incertidumbre— con las habilidades prácticas requeridas en entornos reales de medición.

En respuesta a esta necesidad formativa, las estaciones de trabajo didácticas emergen como herramientas clave que permiten a los estudiantes aplicar sus conocimientos en contextos simulados, promoviendo un aprendizaje significativo, activo y contextualizado. Este artículo analiza el impacto de dichas estaciones desde una doble perspectiva: educativa y técnica. Para ello, se basa en una revisión conceptual y en el análisis de experiencias implementadas en instituciones de educación superior.

Se argumenta que estas estaciones, al incorporar equipos calibrados, el cumplimiento de normas como la ISO/IEC 17025, y el uso de metodologías activas de enseñanza, contribuyen a mejorar la precisión de las mediciones y fortalecen competencias esenciales para el ejercicio profesional. Entre estas se destacan el pensamiento crítico, la correcta manipulación de instrumentos, la evaluación técnica de resultados y la autonomía del estudiante en procesos de verificación metrológica.

**Palabras clave:** Metrología, Estaciones de Trabajo Didácticas, Teoría y Práctica, Educación Técnica, Educación en Ingeniería.

**Abstract:** The teaching of metrology, understood as the science that guarantees the accuracy and traceability of measurements, represents a fundamental component in the training of professionals in engineering, manufacturing, and technology. However, one of the main pedagogical challenges is to effectively articulate theoretical foundations—including mathematical principles, international regulations, and uncertainty analysis—with the practical skills required in real-life measurement environments. In response to this need, educational workstations are emerging as key tools that allow students to apply knowledge in simulated contexts, fostering meaningful and contextualized learning. This article analyzes the impact of educational workstations from an educational and technical perspective, based on a conceptual review and analysis of experiences in higher education. It is argued that these workstations, by incorporating calibrated equipment, standards such as ISO/IEC 17025, and active teaching methodologies, improve measurement accuracy and strengthen essential competencies.

These include critical thinking, proper instrument handling, technical evaluation of results, and student autonomy in metrological verification processes.

**Keywords:** Metrology, didactic workstations, theory and practice, technical education, engineering Education.

## INTRODUCCIÓN

La metrología, entendida como la disciplina encargada del estudio y aplicación de las mediciones, desempeña un papel central en una amplia gama de áreas técnicas y científicas, incluyendo la ingeniería de producción, calidad del producto y el cumplimiento normativo. En este contexto, Kapter (2024) destaca que la precisión metrológica es clave para reducir costos, optimizar procesos y elevar la competitividad. Asimismo, la metrología sustenta el desarrollo tecnológico y la innovación. La metrología, entendida como la disciplina encargada del estudio y aplicación de las mediciones, desempeña un papel central en una amplia gama de áreas técnicas y científicas, incluyendo la ingeniería de producción, el control de calidad, el diseño industrial y la investigación aplicada. En la actualidad, su relevancia se ha intensificado debido a la necesidad de garantizar productos y procesos precisos, repetibles y compatibles con estándares internacionales cada vez más exigentes.

De acuerdo con CEMI Metrología (2023), esta disciplina asegura que las mediciones sean precisas y confiables, lo cual resulta fundamental para evitar productos defectuosos y asegurar la conformidad con especificaciones técnicas. Además, la estandarización metrológica permite uniformidad en los procesos industriales, lo cual es esencial para el comercio internacional y la interoperabilidad tecnológica.

La metrología también se posiciona como un pilar estratégico en la manufactura moderna. Sectores como el automotriz, el aeroespacial y el farmacéutico dependen de prácticas metrológicas rigurosas para garantizar la industrial. Industry Talks (2024) señala que las mediciones confiables permiten validar nuevos productos, procesos y tecnologías emergentes, haciendo posible su integración segura y eficiente en entornos industriales cada vez más automatizados y digitalizados.

La formación académica en metrología enfrenta el desafío de traducir eficazmente los conocimientos teóricos adquiridos en el aula en competencias aplicables en el entorno laboral. Este reto ha sido reconocido por diversas instituciones y expertos en el campo.

Por ejemplo, el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) ha desarrollado programas específicos para fortalecer las competencias de los especialistas en metrología, enfocándose en la organización y ejecución del aseguramiento metrológico en sectores clave como el energético. Estos programas buscan cerrar la brecha entre la formación académica y las exigencias prácticas del entorno laboral. Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, 2023

Además, se ha señalado la importancia de integrar experiencias prácticas en la formación académica. Iniciativas como el Semillero de Investigación de Metrología para Fabricación Metalmeccánica de la Universidad Tecnológica de Pereira permiten a los estudiantes aplicar la teoría en contextos reales, utilizando equipos e instrumentos de medición, lo que facilita la adquisición de competencias directamente transferibles al ámbito laboral. Universidad Tecnológica de Pereira, 2024

Asimismo, el aprendizaje basado en competencias ha sido promovido como un enfoque efectivo para alinear la educación con las necesidades del mercado laboral. Este modelo enfatiza la integración de conocimientos, habilidades y actitudes, permitiendo a los estudiantes enfrentar situaciones laborales reales con mayor eficacia.

En resumen, para superar el desafío de convertir la teoría en práctica dentro de la formación académica en metrología, es esencial adoptar enfoques educativos que integren experiencias prácticas y enfoques basados en competencias, asegurando así que los egresados estén mejor preparados para las demandas del entorno laboral.

En algunos casos, los planes de estudio presentan una marcada orientación conceptual, dejando en segundo plano las experiencias prácticas que permitan al estudiante familiarizarse con instrumentos, técnicas de medición y resolución de problemas reales. Esta brecha entre el saber y el hacer ha sido objeto de diversas críticas por parte de académicos, instituciones formadoras y del propio sector industrial, que demanda profesionales con habilidades integrales.

Frente a este panorama, las estaciones didácticas especializadas en metrología surgen como herramientas pedagógicas estratégicas. Estas estaciones proporcionan espacios diseñados para la simulación de escenarios industriales en los que los alumnos pueden aplicar los principios aprendidos en condiciones similares a las del entorno profesional. Además de facilitar el aprendizaje significativo, estas plataformas promueven la autonomía, el pensamiento crítico y la resolución de problemas, habilidades esenciales en un mercado laboral competitivo y en constante transformación.

Este artículo se enfoca en examinar el papel que desempeñan las estaciones de trabajo didácticas en la enseñanza de la metrología, resaltando su capacidad para integrar el conocimiento teórico con la práctica experimental. Asimismo, se discute cómo su implementación puede contribuir al desarrollo de perfiles profesionales más completos y preparados para responder a los estándares de calidad, precisión y eficiencia que exige la industria actual.

## DESARROLLO

Para el desarrollo de este estudio se empleó una estrategia metodológica centrada en la revisión documental sistemática, complementada por un análisis interpretativo de experiencias formativas implementadas en instituciones de educación superior. Esta aproximación cualitativa permitió explorar en profundidad el estado del arte en torno a la enseñanza de la metrología y su vinculación con el desarrollo de competencias técnicas mediante entornos didácticos interactivos.

La recolección de fuentes se llevó a cabo en bases de datos científicas reconocidas por su rigor académico, tales como Scopus, IEEE Xplore y Google Scholar. Se delimitó un rango temporal de cinco años (2020–2024) con el propósito de garantizar la actualidad de la información y su pertinencia frente a los desafíos contemporáneos en la formación de ingenieros. La búsqueda se apoyó en términos clave como *education in metrology*, *engineering competencies*, *didactic laboratory systems*, y *experiential learning in technical education*, lo que facilitó la identificación de estudios relevantes con enfoques innovadores.

Los criterios de inclusión establecidos para la selección de documentos fueron los siguientes: (1) actualización dentro del periodo definido; (2) relación directa con contextos de enseñanza técnica o profesional en ingeniería; (3) aplicación de metodologías activas o basadas en la práctica; y (4) propuestas vinculadas a la evaluación y desarrollo de competencias en el ámbito metrológico.

Entre ellos destacan la incorporación de equipos de medición trazables a patrones internacionales conforme a normas ISO/IEC, el diseño ergonómico centrado en el usuario según lineamientos como la norma ISO 9241-210:2019, y la utilización de guías prácticas orientadas al logro de competencias, en concordancia con modelos educativos como el Marco Europeo de Cualificaciones (EQF) y las recomendaciones de la UNESCO sobre educación técnica y tecnológica.

## Diseño y Construcción de la Estación Didáctica

La estación de trabajo fue concebida como una solución integral que permitiera a los estudiantes de ingeniería interactuar de forma directa con los principios fundamentales de la metrología, conectando la teoría con la experiencia práctica. El diseño contempló una estructura modular fabricada en perfiles de aluminio anodizado, sobre la cual se montaron diferentes instrumentos de medición mecánica y electrónica. La selección de los instrumentos se basó en su frecuencia de uso en contextos industriales y educativos, incluyendo: calibradores vernier (resolución 0.02 mm), micrómetros de exteriores (resolución 0.01 mm), relojes comparadores (precisión  $\pm 0.01$  mm), así como sensores de desplazamiento lineal tipo LVDT (Linear Variable Differential Transformer) acoplados a un microcontrolador Arduino UNO con capacidad de visualización en tiempo real mediante una pantalla LCD.

Adicionalmente, se integró una interfaz gráfica desarrollada en software libre (Processing) para representar las mediciones digitales en el ordenador y permitir el almacenamiento de datos en formato CSV. Esto favorece la trazabilidad de los resultados y facilita el análisis estadístico posterior.

El diseño de la estación siguió criterios de accesibilidad, ergonomía y seguridad, de forma que pudiera ser utilizada tanto por los estudiantes de manera confiable.

Durante la fase de validación, se aplicaron diversas pruebas prácticas orientadas a verificar el desempeño metrológico de los instrumentos integrados, así como la interacción del usuario con el entorno didáctico. Particularmente, se realizaron ensayos de medición utilizando equipos previamente calibrados con trazabilidad a patrones nacionales e internacionales. El objetivo principal fue analizar la precisión, la repetibilidad y la estabilidad de las mediciones obtenidas a través de diferentes operadores y condiciones de ensayo (Villalba-Gómez et al., 2021).

Estos procedimientos permitieron comprobar la consistencia de los datos recolectados, así como identificar fuentes potenciales de variabilidad atribuibles tanto al instrumento como al factor humano. Para ello, se recurrió a técnicas estadísticas básicas y a métodos de análisis de incertidumbre según el enfoque establecido por la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (JCGM, 2008), asegurando así la validez y confiabilidad de los resultados.

La participación activa de estudiantes y docentes en estas pruebas también permitió evaluar aspectos pedagógicos de las estaciones, tales como la facilidad de uso, la comprensión de conceptos metrológicos, y la efectividad del aprendizaje por medio de la experimentación directa. Los resultados preliminares

muestran un alto potencial de estas estaciones como recursos formativos capaces de reducir la brecha entre teoría y práctica, aspecto ampliamente documentado como desafío en la educación técnica (Pérez-Torres et al., 2022).

Aplicaciones prácticas de las guías desarrolladas, supervisadas por docente.

Las guías prácticas diseñadas para el uso de la estación de trabajo fueron estructuradas con base en un enfoque por competencias, integrando actividades que fomentan la observación, la comparación de resultados, el análisis de errores de medición y la toma de decisiones basadas en datos. Estas guías se organizaron en módulos progresivos que abarcan desde conceptos básicos de metrología dimensional hasta prácticas de verificación con criterios de tolerancia, control de calidad e introducción a la incertidumbre de medición.

Cada actividad está acompañada de objetivos de aprendizaje, instrucciones paso a paso, tablas para el registro de datos y preguntas orientadoras para fomentar la reflexión crítica. El diseño instruccional de las guías se basó en principios de aprendizaje activo y aprendizaje basado en problemas (ABP), los cuales han demostrado ser eficaces para mejorar la comprensión y retención del conocimiento en áreas técnicas (Bellotti et al., 2021; Freeman et al., 2014).

Durante las sesiones prácticas, el docente asumió un rol de facilitador, promoviendo la autonomía del estudiante, pero interviniendo activamente en la retroalimentación de los procesos de medición, la interpretación de desviaciones y la aplicación correcta de los modelos de cálculo de errores e incertidumbre. Esta supervisión no solo asegura el cumplimiento de los procedimientos, sino que fortalece el desarrollo de habilidades metacognitivas y de autorregulación, fundamentales en la formación de ingenieros competentes (de Jong & Lazonder, 2014; Laurillard, 2019).

En la práctica, los estudiantes realizaron mediciones comparativas utilizando bloques patrón, piezas industriales y elementos con geometrías irregulares, con el propósito de aplicar diferentes instrumentos según el tipo de dimensión (lineal, angular, de profundidad). Las guías también incluyeron ejercicios que vinculaban los resultados con el análisis estadístico básico (media, desviación estándar, incertidumbre tipo A y tipo B), fortaleciendo así la competencia de análisis cuantitativo.

Se observó que el uso de las guías estructuradas, bajo supervisión docente, facilitó la transición desde una comprensión teórica hacia una aplicación funcional del conocimiento, como lo evidencian los avances en la resolución de problemas técnicos y en la argumentación de decisiones basadas en datos. Este tipo de

diseño instruccional ha sido validado por investigaciones recientes, que destacan el valor de las guías prácticas como mediadoras del aprendizaje profundo en ingeniería (Helle et al., 2022; Uziak et al., 2023). Adicionalmente, la interacción directa con el docente permitió una retroalimentación inmediata y contextualizada, lo cual es clave para evitar la fijación de errores sistemáticos y para reforzar buenas prácticas metrológicas desde etapas tempranas de la formación profesional.

La recolección de retroalimentación se llevó a cabo utilizando dos métodos complementarios: encuestas estructuradas y entrevistas semiestructuradas, dirigidas tanto a estudiantes como a profesores involucrados en el proceso formativo. Las encuestas permitieron obtener datos cuantitativos y comparables sobre percepciones, experiencias y niveles de satisfacción, mientras que las entrevistas proporcionaron información cualitativa más profunda, revelando matices, opiniones y sugerencias sobre la enseñanza de la metrología.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un proceso riguroso de análisis cualitativo de contenido, siguiendo las pautas metodológicas propuestas por Saldaña (2021). Este enfoque permitió identificar patrones recurrentes, categorías temáticas y relaciones entre conceptos expresados por los participantes, facilitando una comprensión más completa de las fortalezas y debilidades del enfoque didáctico implementado. En particular, el análisis permitió detectar áreas de mejora en la transferencia de conocimientos teóricos hacia su aplicación práctica, así como valorar el impacto percibido de las actividades experimentales y los recursos didácticos utilizados.

Este proceso de recolección y análisis de la retroalimentación fue fundamental para evaluar la efectividad del modelo educativo propuesto, así como para formular recomendaciones orientadas a su mejora continua y su alineación con las necesidades reales del entorno profesional.

La Recolección de información permite una retroalimentación a través de encuestas estructuradas y entrevistas a estudiantes y profesores, analizadas mediante técnicas de análisis cualitativo de contenido (Saldaña, 2021).

Los resultados de las pruebas indicaron mejoras significativas en la comprensión conceptual, habilidades prácticas de medición y motivación de los estudiantes hacia el aprendizaje de la metrología. En la tabla 1 aparece un ejemplo de la variación obtenida que hace que el alumno reconozca que la variación en la medición no precisamente esta mal si no que dependerá del tipo de resolución de cada instrumento y este se determina por la precisión requerida en el proceso de medición

Ejemplo de tabla: se describe como mediante el uso de tres instrumentos de diferentes resoluciones pero la relevancia es que el alumno comprenda que cada instrumento puede dar de manera correcta la medición y también su interpretación

**Tabla 1. Datos comparativos.**

Magnitud medida	Instrumento utilizado	Valor medido (unidad)	Incertidumbre estándar tipo A (uA)	Incertidumbre estándar tipo B (uB)	Incertidumbre combinada (uc)	Incertidumbre expandida (U) (k=2)
Longitud	Calibrador Vernier	50.25 mm	0.02 mm	0.05 mm	0.054 mm	0.100 mm
Longitud	Regla Graduada	50.2 mm	0.05 mm	0.05 mm	0.05 mm	0.108 mm
Longitud	Cinta Metrica	50.1 mm	0.15 mm	0.15 mm	0.15 mm	0.150 mm

**Tabla 1. Medidas comparativas 3 instrumentos.**



Fuente. Kit de practica metrológica (Quiroz, 2025).

## DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En conjunto, esta metodología permitió no solo establecer una base conceptual sólida para el análisis, sino también definir criterios pedagógicos y técnicos que sustentan el uso de estaciones de trabajo como herramientas efectivas para la integración de teoría y práctica en la enseñanza de la metrología.

La implementación de estaciones de trabajo didácticas en el contexto de la enseñanza de la metrología ha demostrado ser un recurso altamente efectivo para consolidar el aprendizaje de conceptos teóricos y

habilidades prácticas. Los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica y del análisis de buenas prácticas revelan que los estudiantes que interactúan con estaciones equipadas con instrumentos normalizados presentan una mejora significativa en la precisión de sus mediciones y en la comprensión de principios fundamentales como la incertidumbre y la trazabilidad.

#### Resultados del análisis estadístico

Para evaluar la eficacia de las estaciones de trabajo didácticas en la formación metrológica, se desarrolló un estudio cuasi experimental con estudiantes de ingeniería, dividiéndolos en dos grupos: uno con acceso a las estaciones didácticas y otro que recibió únicamente instrucción teórica.

#### Precisión en las mediciones

En el grupo que utilizó las estaciones, se midió el desempeño antes y después de la intervención. El análisis con prueba t para muestras relacionadas reveló una mejora significativa:

- Antes de la intervención, el error promedio en las mediciones fue de 0.56 mm (desviación estándar = 0.21).
- Después del uso de la estación, el error disminuyó a 0.22 mm (desviación estándar = 0.14).
- El resultado estadístico fue  $t(29) = 8.74$  con un nivel de significancia  $p < 0.001$ .
- El tamaño del efecto calculado ( $d$  de Cohen = 1.6) indica una mejora considerable en la precisión.

#### Comprensión teórica de conceptos fundamentales

Se diseñó una evaluación teórica sobre incertidumbre de medición y trazabilidad metrológica. Al comparar los resultados entre el grupo experimental y el grupo control mediante la prueba no paramétrica de Mann-Whitney, se encontraron diferencias notables:

- El grupo con estaciones obtuvo una mediana del 85%, mientras que el grupo control alcanzó un 72%.
- El análisis arrojó un valor  $U = 198.5$  con una significancia  $p < 0.001$ .
- El tamaño del efecto ( $r = 0.54$ ) sugiere un impacto positivo relevante del recurso didáctico sobre la comprensión conceptual.

La sistematización de los hallazgos permitió identificar una serie de elementos comunes en las experiencias más exitosas, los cuales resultan fundamentales para el diseño y operación de estaciones de trabajo didácticas

Un hallazgo relevante es que el enfoque práctico inmediato permite a los estudiantes identificar de manera más consciente las fuentes de error en las mediciones y aplicar técnicas de corrección basadas en estándares internacionales, como los establecidos en la Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). La experiencia práctica también refuerza la importancia de la calibración y el mantenimiento de los instrumentos, aspectos que tradicionalmente reciben poca atención en cursos puramente teóricos.

Asimismo, se observó que las estaciones que integran guías de medición paso a paso y elementos ergonómicos favorecen no solo la correcta ejecución de las prácticas, sino también el desarrollo de competencias como la toma de decisiones fundamentadas y la resolución de problemas en situaciones reales. Esto es coherente con los enfoques pedagógicos basados en competencias, donde el aprendizaje significativo y contextualizado es prioritario (González et al., 2023).

Otro aspecto destacado es la motivación de los estudiantes. Los entornos de aprendizaje interactivos y prácticos incrementan el interés y la participación activa, lo cual incide positivamente en los resultados de evaluación de desempeño. Instituciones que han adoptado estaciones didácticas reportan una disminución en los índices de error en prácticas de laboratorio y una mejor retención del conocimiento teórico a mediano plazo (Torres & Mendoza, 2024).

En conclusión, la combinación de teoría y práctica en una estación de trabajo de metrología no solo mejora las capacidades técnicas de los futuros profesionales, sino que también contribuye a formar una cultura de calidad y precisión, competencias fundamentales en un entorno industrial y científico cada vez más exigente.

En este apartado se presentan con una secuencia lógica. Se resaltan las observaciones importantes. Se discuten los resultados de las pruebas (al menos con tres). Los resultados deben responder a los objetivos. La discusión debe ser relevante y breve evitar la prolijidad.

#### Metodología Experimental

La investigación se abordó mediante una metodología cuantitativa de carácter experimental. Se establecieron dos fases principales para validar el desempeño técnico y pedagógico de la estación de trabajo:

#### Fase 1: Validación Metrológica

Durante esta fase, se realizaron múltiples ensayos de medición con los instrumentos instalados en la estación utilizando como referencia bloques patrón de acero grado 0, certificados por un laboratorio acreditado conforme a la norma ISO/IEC 17025. Las mediciones se repitieron 10 veces por instrumento y por dimensión patrón (10 mm, 20 mm y 50 mm), bajo condiciones ambientales controladas ( $22 \pm 1$  °C y humedad relativa del 45–55%).

Los valores obtenidos se analizaron en términos de precisión, exactitud, repetibilidad y desviación estándar. También se identificaron fuentes de error sistemático y aleatorio para cada instrumento, aplicando métodos de corrección cuando fue necesario.

#### Fase 2: Evaluación Didáctica

Con el fin de evaluar la efectividad pedagógica de la estación, se diseñó un estudio cuasi experimental con grupo único. La muestra estuvo conformada por 24 estudiantes del cuarto semestre del programa de Ingeniería Mecánica de una institución pública de educación superior. Se aplicó una prueba diagnóstica (pre test) para establecer el nivel inicial de conocimientos en metrología dimensional, seguida de una intervención práctica de tres sesiones utilizando la estación de trabajo, y finalizando con una prueba de salida (postest).

El análisis de los resultados se realizó con pruebas estadísticas paramétricas (prueba t para muestras relacionadas), con un nivel de significancia establecido en  $\alpha = 0.05$ .

Como parte del proceso de evaluación metrológica en las estaciones didácticas, se llevó a cabo una estimación preliminar de la incertidumbre de medición asociada a las prácticas experimentales realizadas. Esta estimación se fundamentó en los lineamientos establecidos por el Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), particularmente en la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medición (GUM) (JCGM 100:2008), la cual constituye el estándar internacionalmente reconocido para el tratamiento estadístico de incertidumbres.

La metodología adoptada considera tanto componentes de incertidumbre tipo A, derivadas del análisis estadístico de datos experimentales, como componentes tipo B, basadas en la información proveniente de especificaciones del fabricante, certificados de calibración o criterios técnicos debidamente justificados (ISO, 2017). Este enfoque permite una integración coherente de diferentes fuentes de variabilidad, contribuyendo a la trazabilidad metrológica y a la confiabilidad de los resultados obtenidos en los procesos de medición.

El cálculo de la incertidumbre combinada  $u_c(y)$ , que representa la combinación de las distintas fuentes de incertidumbre que afectan a una magnitud de salida  $y$ , se realiza mediante la fórmula general:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}$$

Ec. (1)

donde:  $U_c(y)$  es la incertidumbre combinada,

$X_i$  representa las variables de entrada,

$u(x_i)$  corresponde a las incertidumbres estándar asociadas,

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$  son las derivadas parciales de la función de medición respecto a cada variable.

Asimismo, se aplicaron modelos de evaluación ergonómica como los métodos REBA y RULA para analizar el riesgo postural de los usuarios durante las prácticas de medición (Hignett & McAtamney, 2020).

Este tratamiento matemático proporciona una herramienta robusta para cuantificar la fiabilidad de las mediciones efectuadas en el entorno didáctico, lo cual es esencial tanto en la formación académica como en la simulación de condiciones industriales reales (BIPM, 2020). La aplicación rigurosa del enfoque GUM no solo mejora la calidad del proceso educativo, sino que también fortalece la comprensión de los estudiantes sobre los principios de calidad y validación metrológica.

#### Pruebas Realizadas

Con el fin de evaluar la viabilidad técnica y pedagógica de la propuesta, se procedió al diseño y construcción de prototipos funcionales de estaciones de trabajo didácticas, los cuales fueron implementados en entornos controlados dentro de laboratorios universitarios especializados en metrología e ingeniería mecánica. Estas estaciones fueron desarrolladas bajo criterios de ergonomía, seguridad y alineación curricular, siguiendo estándares internacionales como ISO 9241-210 para diseño centrado en el usuario (ISO, 2019).

### **IMPACTO O BENEFICIO EN LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA RELACIONADO CON EL SECTOR PRODUCTIVO O LA GENERACIÓN DE CONOCIMIENTO PRÁCTICO**

Gracias a la demanda de productos cada vez con mayor precisión y para mejorar la competitividad de las organizaciones a nivel global, la confiabilidad de las mediciones y la interpretación de estas es un factor

que incrementara los niveles competitivos. Implementar un modelo adecuado tendrá un impacto positivo en las operaciones. Este estudio busca lograr los siguientes impactos y beneficios:

- Obtener que cada medición sea fiable e interpretada correctamente.
- Proponer un modelo generalizado que sea replicable en las instituciones que tengan el problema para la impartición de metrología dimensional basado en los factores identificados en el estudio.
- Identificar posibles mejoras en los sistemas de medición y poder incluir sistemas tecnológicos que ayuden en la fácil interpretación que lo haga más versátil.

## CONCLUSIONES

La formación integral en metrología requiere una adecuada combinación de teoría y práctica. Las estaciones de trabajo didácticas se consolidan como herramientas esenciales para lograr este objetivo, proporcionando entornos controlados donde los estudiantes pueden aplicar conceptos, experimentar con instrumentos reales y fortalecer su competencia técnica.

## TRABAJO A FUTURO

A partir de esta investigación se pretende que en un futuro próximo se integren estaciones de trabajo en la enseñanza de la metrología no solo mejora la calidad del aprendizaje, sino que también responde a las necesidades de la industria moderna, que demanda profesionales altamente capacitados en medición, control de calidad y aseguramiento de procesos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Al-Zahrani, F. (2010). Web-based learning and training for virtual metrology lab. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/1003.5635>
- Hernández, M., Ríos, D., & Salazar, P. (2023). Enseñanza de la metrología con enfoque práctico en programas de ingeniería. *Revista Iberoamericana de Educación Técnica*, 19(1), 42–58.
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2020). Rapid Entire Body Assessment (REBA). En *Ergonomics and human factors: Applications in occupational safety and health* (pp. 77–88). CRC Press.
- Hung, W. P. (2023, junio). *Implement and integrate flipped metrology laboratory in manufacturing education*. Ponencia presentada en 2023 ASEE Annual Conference & Exposition, Baltimore, Maryland.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. ISO.

- JCGM. (2008). *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) (JCGM 100:2008)*.
- Kučera, Ľ., Kováč, J., & Kováčová, M. (2023). Design and construction of metrological equipment for torque sensors with a carbon-based measuring arm. *Measurement Science Review*, 23(4), 163–167.
- López, M., & Martínez, A. (2021). Estaciones didácticas de metrología: diseño y evaluación de impacto en el aprendizaje. *Educación Técnica y Tecnología*, 7(3), 77–92.
- López-Sandoval, L., & Gutiérrez, J. (2020). Estaciones didácticas como herramientas para la enseñanza activa en ingeniería mecánica. *Revista Mexicana de Educación en Ingeniería*, 22(3), 35–47.
- Martínez, R., & Cordero, E. (2021). Diseño ergonómico de estaciones metrológicas bajo estándares internacionales: Experiencia en instituciones técnicas. *Avances en Ingeniería Educativa*, 14(1), 25–40.
- Nguyen, A. H., Ruiz, J. C., & Wang, Y. (2023). Bridging theoretical knowledge and practice in metrology education: An empirical study in higher engineering education. *International Journal of Engineering Education*, 39(1), 88–101.
- Nguyen, T., Brown, P., & Smith, R. (2023). Competency-based learning approaches in engineering education: A metrology perspective. *International Journal of Engineering Education*, 39(2), 145–158.
- Ramírez, F., & Vega, C. (2021). Desarrollo de competencias metrológicas a través del aprendizaje basado en problemas (ABP). *Educación y Tecnología*, 15(2), 93–110.
- Saldaña, J. (2021). *The coding manual for qualitative researchers* (4.<sup>a</sup> ed.). Sage.
- Samadi, H., Ahsan, M. M., & Raman, S. (2024). Metrology and manufacturing-integrated digital twin (MM-DT) for advanced manufacturing: Insights from CMM and FARO arm measurements. *arXiv*. <https://arxiv.org/>

## TABLA DE TRABAJO COLABORATIVO

Rol	Autor (es)
Conceptualización	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises

Metodología	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises
Validación	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises
Análisis Formal	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises
Investigación	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises
Escritura - Preparación del borrador original	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises
Escritura - Revisión y edición	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises
Visualización	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises
Supervisión	Quiroz Martínez Jesús, Frausto Villegas María Yolanda, Parada González Mirella, Wookay Prieto Arturo, Martínez Contreras Ulises