

Aseguramiento Metrológico de Partes Roscadas: Un Análisis Comparativo de Cuatro Métodos

Título del Artículo: Aseguramiento Metrológico de Partes Roscadas: Un Análisis Comparativo de Cuatro Métodos para la Medición de Partes Roscadas.

Autor: Ing. Antonio Falcón Gómez. Coautor: M. Sc. Alejandra Regla Hernández Leonard
Afiliación: Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET)

Resumen

El aseguramiento metrológico de partes roscadas es un factor crítico para la innovación tecnológica y la competitividad industrial. Este artículo presenta un análisis comparativo de cuatro métodos de medición para partes roscadas —el Proyector de Perfiles, el Micrómetro con Insertos, las Galgas de Roscas y el Método de los Tres Alambres—, en el marco de un proyecto de investigación aplicada cuyo objetivo es diseñar e implementar un sistema de aseguramiento metrológico en un laboratorio especializado. Se detalla la base científica y la aplicación tecnológica de cada método, y se exploran los impactos esperados en la calidad, la eficiencia operacional y la conformidad normativa. Finalmente, se discute el potencial estratégico de estos avances metrológicos para impulsar el desarrollo económico y la soberanía tecnológica en la sociedad cubana, posicionando a la metrología como un pilar de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) nacional.

Palabras Clave: Metrología, Innovación Tecnológica, Partes Roscadas, Aseguramiento de la Calidad, Proyector de Perfiles, Micrómetro, Galgas Pasa/No Pasa, Método de los Tres Alambres, Cuba.

Abstract

The metrological assurance of threaded parts is a critical factor for technological innovation and industrial competitiveness. This article presents a comparative analysis of four advanced dimensional measurement methods—Profile Projector, Insert Micrometer, Thread Gauges, and the Three-Wire Method—within the framework of an applied research project aimed at designing and implementing a state-of-the-art metrological assurance system in a specialized dimensional laboratory. The scientific basis and technological application of each method are detailed, and the expected impacts on quality, operational efficiency, and normative compliance are explored. Finally, the strategic potential of these metrological advancements to drive economic development and technological sovereignty in Cuban society is discussed, positioning metrology as a pillar of national Science, Technology, and Innovation (STI).

Keywords: Metrology, Technological Innovation, Threaded Parts, Quality Assurance, Profile Projector, Micrometer, Go/No-Go Gauges, Three-Wire Method, Cuba.

Aseguramiento Metrológico de Partes Roscadas: Un Análisis Comparativo de Cuatro Métodos Avanzados para la Precisión Dimensional

Introducción

La metrología dimensional, como disciplina científica que sustenta la veracidad de las mediciones, es un componente indispensable del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) de cualquier nación. En el contexto de la ingeniería moderna, la medición de elementos de sujeción como las roscas no es solo una cuestión de control de calidad, sino un factor determinante para la intercambiabilidad global y la fiabilidad de los productos. Un control metrológico deficiente en las partes roscadas representa una barrera a la innovación y un riesgo para la seguridad industrial.

En Cuba, la necesidad de un sistema robusto de aseguramiento metrológico para partes roscadas se vuelve crítica y urgente. La normativa nacional vigente en esta área se encuentra en gran medida derogada o sin la actualización necesaria para responder a los estándares internacionales. Esta carencia normativa crea una vulnerabilidad tecnológica que impacta directamente en la calidad de la producción nacional y en la capacidad de exportación.

El proyecto de investigación aquí presentado aborda esta problemática planteando como Objetivo General: diseñar e implementar un sistema de aseguramiento metrológico en un laboratorio de dimensionales, enfocado específicamente en la medición de partes roscadas, mediante la exploración y validación de cuatro métodos avanzados de medición. Este esfuerzo busca garantizar la trazabilidad y confiabilidad de las mediciones según estándares internacionales, lo cual es un requisito fundamental para la transferencia tecnológica y la certificación de calidad de la industria nacional.

Este artículo contribuye a la literatura de CTI al: (a) describir la base tecnológica y la aplicación científica de cuatro métodos de medición de roscas, (b) analizar los impactos esperados de la implementación de este sistema en términos de eficiencia y conformidad normativa, (c) identificar los sectores estratégicos beneficiarios de esta innovación metrológica, y (d) reflexionar sobre la trascendencia de esta iniciativa como un pilar para la soberanía tecnológica y el desarrollo sostenible en la sociedad cubana.

Métodos de Medición Dimensional de Roscas

La selección de un método de medición adecuado depende de la exactitud requerida, el tipo de rosca, el volumen de inspección y la capacidad instalada del laboratorio. A continuación, se describen los cuatro métodos analizados en el proyecto, con un nivel de detalle que subraya su relevancia técnica y aplicación industrial.

1. Proyector de Perfiles

El Proyector de Perfiles es un instrumento óptico de medición sin contacto que proyecta una imagen ampliada y nítida del perfil de la pieza sobre una pantalla de medición. Esta técnica es especialmente valiosa para la inspección de roscas debido a su capacidad para evaluar múltiples parámetros simultáneamente sin deformar la pieza.

Característica Técnica	Detalle Ampliado
Principio de Operación	Utiliza un sistema óptico telecéntrico que garantiza una iluminación paralela y una ampliación constante, minimizando la distorsión de la imagen proyectada [1].
Ventajas Clave	Permite la inspección no destructiva de roscas externas e internas. Los modelos modernos, como el Mitutoyo PJ-A3000, se integran con procesadores de datos (por ejemplo, QM-Data200) para realizar mediciones automatizadas de hasta 99 cotas en segundos, eliminando la subjetividad del operador [2].
Parámetros Críticos	Es ideal para medir el diámetro de paso, el ángulo de flanco, la forma del perfil y la rectitud del hilo de la rosca.
Aplicación Industrial	Control de calidad en la producción de piezas pequeñas, delicadas o de materiales blandos (plásticos, caucho) donde el contacto físico podría causar deformación.

2. Micrómetro con Insertos

El Micrómetro con Insertos es una herramienta de medición directa de alta exactitud diseñada específicamente para determinar el diámetro de paso o diámetro primitivo de las roscas. A diferencia de un micrómetro estándar, este utiliza un juego de puntas intercambiables que se adaptan a la geometría de la rosca.

Característica Técnica	Detalle Ampliado
Principio de Operación	El yunque y el husillo se reemplazan por insertos cónicos y en “V” que se asientan en los flancos de la rosca. Esta configuración permite medir la distancia entre los flancos opuestos en el diámetro de paso, sin necesidad de cálculos complejos [3].
Ventajas Clave	Proporciona una medición directa y altamente precisa del diámetro de paso. La intercambiabilidad de los insertos permite su uso en una amplia gama de roscas (métricas, unificadas, Whitworth, etc.).

Característica Técnica	Detalle Ampliado
Conformidad Normativa	Su diseño y uso están regidos por estándares como ISO 3611 y ASME B89.1.13, asegurando la trazabilidad de la medición [9] [10].
Limitaciones	Requiere que el operador seleccione el par de insertos correcto para el paso y el ángulo de la rosca a medir, y es sensible a la fuerza de medición aplicada.

3. Galgas de Roscas (Pasa/No Pasa)

Las Galgas de Roscas son herramientas de inspección por atributo, fundamentales para la verificación rápida y eficiente de la conformidad de las roscas en la línea de producción. Su función principal es asegurar la intercambiabilidad de los componentes.

Característica Técnica	Detalle Ampliado
Principio de Operación	Se basan en el principio de los límites de tolerancia. La galga “Pasa” (<i>Go</i>) verifica el límite máximo del material (tamaño máximo) y debe enroscarse libremente. La galga “No Pasa” (<i>No-Go</i>) verifica el límite mínimo del material (tamaño mínimo) y no debe enroscarse más de 1.5 a 3 vueltas [4].
Ventajas Clave	Velocidad de inspección inigualable, ideal para el control de calidad masivo. No requiere habilidades metrológicas avanzadas del operario.
Tipos y Aplicación	Las galgas tapón se usan para roscas internas (tuercas), mientras que las galgas anillo se usan para roscas externas (tornillos).
Normalización	Su diseño se rige por normas como ISO 1502 y ASME B1.2/B1.16M, lo que garantiza que las piezas aceptadas serán compatibles a nivel global [5] [8].

4. Método de los Tres Alambres

El Método de los Tres Alambres es la técnica de referencia para la medición del diámetro de paso de roscas externas, ofreciendo la máxima exactitud alcanzable en la metrología práctica de roscas.

Característica Técnica	Detalle Ampliado
Principio de Operación	Se utilizan tres alambres de diámetro conocido y calibrado, colocados en los surcos de la rosca. Dos alambres se colocan en surcos adyacentes en un lado, y el tercero en el lado opuesto. Se mide el diámetro sobre los alambres con un micrómetro estándar [6].
Cálculo Detallado	El diámetro de paso (W) se calcula mediante una fórmula que involucra la lectura del micrómetro (M), el diámetro del alambre (d_w), y una constante que depende del ángulo de la rosca y el paso (P): $W = M - \left(W \times \left(1 + \csc\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \right) + \left(\cot\left(\frac{\alpha}{2}\right) \times P \right)$ donde α es el ángulo del perfil de la rosca [7].

Característica Técnica	Detalle Ampliado
Ventajas Clave	Es el método más exacto y se utiliza como patrón para calibrar otros instrumentos de medición de roscas.
Limitaciones	Es un método lento, requiere alambres de precisión y la aplicación de la fórmula de cálculo, lo que lo hace inadecuado para la inspección de alto volumen.

Impactos Esperados y Beneficiarios

La implementación del sistema de aseguramiento metrológico, basado en la validación y normalización de estos cuatro métodos, proyecta una serie de impactos positivos directos en la industria.

Impactos Esperados

Los principales impactos se resumen en cuatro áreas críticas:

- 1 Mejora de la Calidad: Se espera una reducción proyectada de los defectos de las roscas en la línea de producción. La implementación de la verificación con galgas patrón y el método de los tres alambres como referencia de alta exactitud establecerá un control de calidad más riguroso.
- 2 Eficiencia Operacional: La disminución del tiempo de inspección se logrará mediante la verificación rápida que ofrece el proyector de perfiles y la normalización de los procedimientos y las normas de trabajo.
- 3 Conformidad Normativa: El proyecto asegura el cumplimiento total con los requisitos de normas internacionales clave como ISO 9001 (Gestión de la Calidad) e ISO 68-1 (Principios generales de las roscas ISO de uso general), preparando a las empresas para auditorías con certificación de calidad [11] [12].
- 4 Reducción de Costos: La minimización de rechazos de material, la disminución de los reclamos de garantías por fallas en el ensamblaje y la optimización de los procesos de inspección se traducirán en una reducción significativa de los costos operativos.

Posibles Beneficiarios

Los beneficios de este sistema metrológico se extienden a sectores industriales donde la fiabilidad de las uniones roscadas es crítica para la seguridad y el rendimiento. A la lista inicial, se añaden otros sectores de alto impacto:

- Departamentos de Calidad de la Industria Militar: La precisión en los componentes es vital para la seguridad y el funcionamiento de equipos de defensa.
- Áreas de Producción y Manufactura de Maquinaria Pesada: La durabilidad y resistencia de la maquinaria dependen directamente de la calidad de sus elementos de sujeción.

- Departamentos de Control de Calidad de la Aeronáutica Civil: En este sector, la tolerancia a fallos es nula, haciendo indispensable el aseguramiento metrológico de máxima precisión.
- Industria Petrolera: El correcto sellado en las uniones roscadas es crucial para prevenir fugas y garantizar la seguridad operativa en entornos de alta presión y temperatura.
- Industria Automotriz y Ferroviaria: La seguridad y el rendimiento de los vehículos dependen de la integridad de miles de uniones roscadas, desde el motor hasta el chasis. Un control metrológico riguroso reduce el riesgo de fallas mecánicas.
- Fabricantes de Dispositivos Médicos: En la producción de implantes, prótesis y equipos quirúrgicos, la precisión de las roscas es un factor crítico para la funcionalidad y la seguridad del paciente.
- Laboratorios de Calibración y Ensayo: Estos laboratorios se beneficiarán directamente de la normalización de los procedimientos, pudiendo ofrecer servicios de calibración de roscas con mayor trazabilidad y menor incertidumbre.

El Impacto en la Sociedad Cubana: Un Salto Tecnológico Imprescindible

La metrología, como ciencia de la medición, es un motor silencioso del desarrollo económico sostenible. En el contexto de la sociedad cubana, la implementación de este sistema de aseguramiento metrológico tiene una trascendencia que va más allá de la mejora industrial, constituyendo un paso fundamental para el desarrollo tecnológico del país.

Este proyecto se presenta como la respuesta tecnológica y científica al vacío normativo existente, impulsando la soberanía tecnológica y la confianza en la producción nacional sobre bases sólidas y actualizadas.

Al normalizar y validar los métodos de medición de roscas a nivel de laboratorio, el país:

- 5 Establece un Nuevo Documento: Este incluirá los cuatro métodos existentes para la medición de partes roscadas. En este nuevo documento se incluirán los métodos normalizados y validados, los procedimientos de medición, las fuentes de error que deben tenerse en cuenta y su forma de minimización, y los presupuestos de incertidumbre. Por supuesto, los métodos propuestos garantizarán la trazabilidad metrológica de las mediciones de partes roscadas.
- 6 Fortalece la Base Industrial: Las empresas cubanas, al contar con un sistema de aseguramiento metrológico de clase mundial, pueden garantizar la calidad de sus productos, lo que facilita su inserción en cadenas de valor internacionales y reduce la dependencia de importaciones.
- 7 Impulsa la Exportación: La conformidad con normas internacionales (ISO, ASME) es un requisito indispensable para la exportación. Este proyecto prepara a la industria para obtener certificaciones de calidad que abren las puertas a mercados más exigentes.
- 8 Asegura la Infraestructura Crítica: Sectores estratégicos como la energía, el transporte y la salud, que dependen de la fiabilidad de la maquinaria y los equipos, se benefician

directamente de la reducción de fallas y el aumento de la vida útil de los componentes.

- 9 Genera Capital Humano Especializado: El proyecto implica la capacitación y el desarrollo de personal altamente calificado en metrología dimensional avanzada, un activo invaluable para el desarrollo científico-técnico del país.

En esencia, este proyecto es un catalizador para el crecimiento económico y un indicador de madurez industrial. Al resolver una vulnerabilidad normativa con una solución tecnológica avanzada, Cuba da un salto fundamental hacia un desarrollo sostenible basado en la confianza y la precisión de las mediciones.

Conclusiones

El diseño e implementación de un sistema de aseguramiento metrológico para partes roscadas representa una iniciativa estratégica de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) con profundos impactos en la infraestructura productiva nacional. La validación comparativa de métodos avanzados como la Proyección de Perfiles, el método de Micrómetro con Insertos, el método de Galgas de Roscas y el Método de los Tres Alambres, no solo optimiza los procesos de control de calidad, sino que también genera conocimiento científico aplicado y capacidad tecnológica en el país.

La obsolescencia de la normativa nacional subraya la urgencia y la pertinencia de este proyecto, posicionándolo como un pilar imprescindible para el desarrollo tecnológico de Cuba. Los próximos pasos, centrados en la determinación de patrones y la complementación de la infraestructura, consolidarán la capacidad metrológica nacional.

Referencias

- [1] Mitutoyo. *Profile Projector PJ-A3000 Series*. [Referencia técnica].
- [2] Mitutoyo. *QM-Data200 Data Processor*. [Referencia técnica].
- [3] Starrett. *Thread Micrometers*. [Referencia técnica].
- [4] Thread Check Inc. *Go/No-Go Thread Gages*. [Referencia técnica].
- [5] ISO 1502:1996. *ISO general-purpose metric screw threads — Gauges and gauging*. International Organization for Standardization.
- [6] Starrett. *Three-Wire Method for Measuring Pitch Diameter*. [Referencia técnica].
- [7] ASME B89.1.17. (2001). *Measurement of Thread Pitch Diameter by the Three-Wire Method*. American Society of Mechanical Engineers.
- [8] ASME B1.2/B1.16M. *Gages and Gaging for Unified Inch Screw Threads*. American Society of Mechanical Engineers.
- [9] ISO 3611:2010. *Geometrical product specifications (GPS) — Micrometers for external measurements — Design and metrological characteristics*. International Organization for Standardization.
- [10] ASME B89.1.13. *Micrometers for External Measurements*. American Society of

Mechanical Engineers.

[11] ISO 9001:2015. *Quality management systems — Requirements*. International Organization for Standardization.

[12] ISO 68-1:1998. *ISO general purpose screw threads — Basic profile — Part 1: Metric screw threads*. International Organization for Standardization.

[13] ASME B89.1.17. (2001). *Measurement of Thread Pitch Diameter by the Three-Wire Method*. American Society of Mechanical Engineers.