

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Integración Curricular,

Previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

“Diseño y elaboración de una guía técnica para la calibración de micrómetros digitales“

Elaborado por : Carrera Armijos David Nicolás

Director : Ing. Héctor Alejandro Calvopiña, MSc



ÍNDICE

BLOQUE	DIAPOSITIVAS	CONTENIDO
I. INTRODUCCIÓN	1 – 7	Portada, Índice, Introducción, ¿Qué es una guía técnica de calibración?, Planteamiento del problema, Justificación, Objetivos.
II. METODOLOGÍA	8	Enfoque metodológico, diseño de la investigación, fuentes normativas y proceso de desarrollo de la guía.
III. DISEÑO DE LA GUÍA TÉCNICA	9 – 12	Estructura de la guía (índice), Objetivo, Alcance, Definiciones y términos metrológicos.
IV. DESARROLLO DE LA GUÍA TÉCNICA	13 – 22	Procedimiento de calibración, Condiciones ambientales, Equipos y patrones, Verificación de planitud y paralelismo, Cálculo del error de indicación, Estimación de la incertidumbre, Criterios de aceptación y rechazo.
V. CONCLUSIONES	23 – 25	Conclusiones, Recomendaciones, Agradecimientos.



Introducción

Los micrómetros digitales son instrumentos de alta precisión ampliamente utilizados en el sector metalmecánico y en laboratorios de calibración para la medición de dimensiones lineales.



Figura 1. Partes de un micrómetro digital

Guía técnica de calibración

Una guía de calibración es un documento técnico estandarizado que establece:

- **El procedimiento paso a paso** para realizar la calibración de un instrumento de medición
- **Los requisitos técnicos y metrológicos** basados en normas internacionales (ISO 3611, ISO/IEC 17025, GUM)
- **Los criterios de aceptación** y decisión de conformidad del instrumento
- **La metodología para estimar la incertidumbre** de medición
- Las condiciones ambientales y equipos patrón requeridos

Planteamiento del Problema

Tabla 1. Análisis del problema

REALIDAD ACTUAL	CONSECUENCIA TÉCNICA
Ecuador NO dispone de una guía técnica oficial actualizada para calibrar micrómetros digitales.	Sin procedimiento unificado, cada laboratorio interpreta la norma a su manera.
La norma internacional ISO 3611 se actualizó en 2023, pero no ha sido adoptada localmente.	Los resultados de calibración pierden comparabilidad y repetibilidad.
Los laboratorios del INEN y acreditados carecen de un documento que alinee teoría y práctica.	La incertidumbre de medición no se calcula de forma estandarizada (GUM).

Justificación

Tabla 2. Aportes y Beneficios de la Guía Técnica de Calibración

Pilar	Descripción
Aporte Técnico	Estandariza el procedimiento de calibración de micrómetros digitales en Ecuador, alineándolo con las normas internacionales ISO 3611:2023, ISO/IEC 17025:2017 y la metodología GUM.
Aporte Práctico	Los laboratorios del INEN y laboratorios acreditados dispondrán de un documento técnico aplicable que reduce la ambigüedad en los procedimientos de calibración.
Beneficio Directo	Mediciones confiables, trazables y con incertidumbre evaluada.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar una guía técnica para la calibración de micrómetros digitales de exteriores.

Objetivos específicos

- Analizar la normativa internacional aplicable a la calibración de micrómetros digitales, considerando los requisitos técnicos de la norma ISO 3611, los criterios de competencia de laboratorios definidos en ISO/IEC 17025 y el marco metodológico para la estimación de incertidumbre establecido en la GUM (JCGM 100:2008).
- Caracterizar metrológicamente los micrómetros digitales y los patrones de referencia utilizados en laboratorios de calibración.
- Establecer el procedimiento técnico de calibración para micrómetros digitales, determinando la secuencia de medición, el cálculo de errores de indicación, la estimación de la incertidumbre expandida mediante el método GUM y los criterios de aceptación conforme a los errores máximos permisibles de la norma ISO 3611.

Tabla 2. Resumen metodológico aplicado

Aspecto	Descripción
Enfoque	Mixto (cualitativo: análisis de normas; cuantitativo: cálculos y validación).
Diseño	Investigación aplicada – desarrollo de un producto técnico (guía).
Fuentes	ISO 3611:2023, ISO/IEC 17025:2017, GUM, CEM DI-005.
Proceso	Iterativo y colaborativo: revisiones con laboratorios secundarios cada 2-3 semanas.

Desarrollo de la Guía – Generación del Índice

Índice	
1.Objetivo 2.Alcance 3.Documentos de referencia 4.Definiciones 5.Conceptos	→ BLOQUE I: FUNDAMENTOS
6. Responsabilidades 7. Descripción 8. Requisitos relativos a los recursos 9. Trazabilidad	→ BLOQUE II: RECURSOS Y TRAZABILIDAD
10. Descripción de actividades para la calibración	→ BLOQUE III: PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN
11. Evaluación de la incertidumbre típica 12. Determinación de la incertidumbre típica combinada 13. Determinación de la incertidumbre expandida 14. Expresión de la incertidumbre	→ BLOQUE IV: EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE
15. Verificación y validación de métodos 16. Contenido de certificado de calibración 17. Anexo A: Ejemplos	→ BLOQUE V: CIERRE Y EJEMPLOS

Desarrollo de la Guía – Objetivo y alcance

1. Objetivo

Establecer los lineamientos técnicos y metrológicos para la calibración de micrómetros digitales de exteriores de dos contactos, basados en los requisitos de la norma ISO 3611:2023, el procedimiento CEM DI-005 y la metodología de evaluación de la incertidumbre GUM (JCGM 100:2008) con el fin de asegurar la trazabilidad metrológica al Sistema Internacional de Unidades (SI) y la confiabilidad de resultados de medición en laboratorios de calibración.

2. Alcance

Este procedimiento es aplicable a la calibración de micrómetros de exteriores de dos contactos con indicación análoga o indicación digital ya sea mecánica o electrónica, con un rango de medición de hasta 150 mm y cuya división de escala sea igual o mayor a 0.0001 mm (0,1 μm).

Desarrollo de la Guía – Definiciones

Tabla 3. Conceptos metrológicos según el VIM

Concepto	Definición
Exactitud	Cercanía entre el valor medido y el valor verdadero convencional.
Error	Diferencia entre el valor indicado y el valor de referencia.
Incertidumbre	Parámetro que cuantifica la duda razonable sobre el resultado de una medición.
Trazabilidad	Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de la medida.

Desarrollo de la Guía – Términos específicos de la guía de calibración.

ME2C: Micrómetro de Exteriores de Dos Contactos.

PP: Plano paralelo.

BPL: Bloques Patrón Longitudinales

IBC: Instrumento bajo calibración

Dpla: Defecto de planitud de una cara de medida
expresada en mm o μm .

Dpar: Defecto de paralelismo entre las dos caras de
medida, expresada en mm o μm .

Desarrollo de la Guía – Equipos

Tabla 4. Equipos requeridos

Equipo	Especificación
Bloques Patrón longitudinal (BPL)	Grado 1 o superior (ISO 3650), certificado de calibración vigente
Planos ópticos (PP)	Vidrio plano-paralelo, bajo luz monocromática o luz blanca
Termómetro	Resolución $\leq 0,1$ °C, certificado de calibración vigente
Higrómetro	Resolución ≤ 1 % HR
Soporte para micrómetro	Base estable, con aislante térmico
Paños ópticos y alcohol isopropílico	Sin pelusa

Procedimiento de calibración

Identificación del instrumento

2. DATOS DEL INSTRUMENTO BAJO CALIBRACION (IBC)			
Instrumento:	Micrometro de Exteriores Digital	Identificacion (ID):	[ID Interno]
Marca:	[Marca del Instrumento]	Rango de Medida:	0 - 25 mm
Modelo / Tipo:	[Modelo]	Resolucion (d):	0.001 mm
Numero de Serie:	[Numero de Serie]	Clase de Exactitud:	Clase 1 (ISO 3611:2023)

Figura 2. Caracterización de un micrómetro

Procedimiento de calibración

Condiciones ambientales

Tabla 4. Condiciones ambientales

Parámetro	Requisito
Temperatura	$20 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Humedad relativa	35%–65% HR
Estabilización térmica	Mínimo 30 minutos (recomendado 1 hora)



Figura 3. Termohigrómetro

Procedimiento de calibración



Figura 4. Bloques patrón de 0 – 25 mm

Valores en milímetros (mm):

0 - 2,5 - 5,1 - 7,7 - 10,3 - 12,9 - 15,0 - 17,6 - 20,2 - 22,8 - 25,0

Procedimiento de calibración



Figura 2. Calibración de micrómetro digital

Verificación de planitud y paralelismo

Tabla 6. Verificación de Planitud y Paralelismo (Geometría de Caras)

Verificación	Método
Planitud	Apoyar PP sobre cada cara. Contar franjas de interferencia bajo luz monocromática. 1 franja = 0,3 μm. El máximo permitido es de 4 franjas
Paralelismo	Colocar PP entre caras. Cerrar con trinquete. Contar franjas en ambas caras. Medir en 4 posiciones angulares 0° - patrón de 12.00 mm 90° - patrón de 12.25 mm 80° - patrón de 12.25 mm 270° - patrón de 12.37 mm El máximo permitido es de 8 franjas

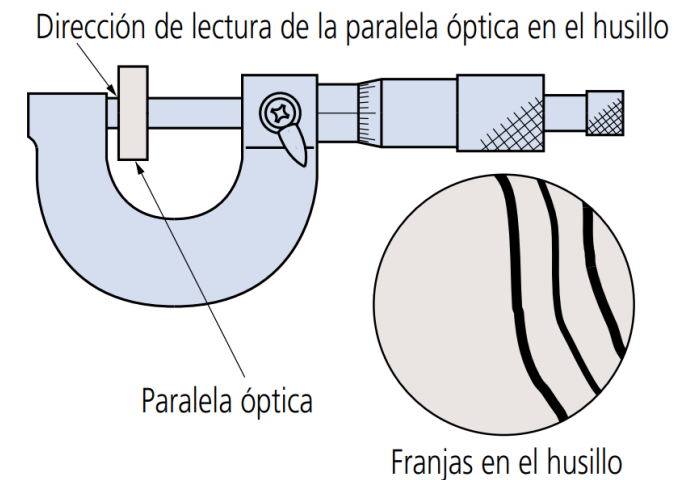


Figura 4. Juego de paralelos ópticos

Formulación matemática - Cálculo del error de medida

$$E_{c_j} = (\bar{l}_j + \delta l_d + \delta l_{pla} + \delta l_{par} + \delta l_{prlj}) - (l_{pj} + d_{pj} + \delta CNR_{pj} + \delta D_{pj}) + (t - 20)(\alpha - \alpha_p)l_{pj}$$

$\bar{l}_j$ Valor medio en el punto de calibración j-ésimo.

d_{pj} Desviación al valor nominal del BPL

δl_d Corrección debida a la resolución del instrumento.

δCNR_{pj} Corrección no realizada del BPL

δl_{pla} Corrección debida al defecto de planitud.

δD_{pj} Corrección debida a la deriva del BPL

δl_{par} Corrección debida al defecto de paralelismo.

t Temperatura de calibración

δl_{prlj} Corrección debida al defecto de paralaje.

α Coeficiente de dilatación lineal del IBC

l_{pj} Valor nominal del patrón empleado en la calibración en el punto j-ésimo.

Estimación de la incertidumbre

Tabla 5. Resumen de fuentes de incertidumbre y su evaluación

Tipo	Fuente	Fórmula
A	Repetibilidad	$u(\bar{l}_j) = \frac{s_j}{\sqrt{n}}$
B	Patrón (BPL)	$u(d_{pj}) = \frac{U_{jcal}}{K_{jcal}}$
B	Resolución	$u(\delta d_d) = \frac{d}{2\sqrt{3}}$
B	Temperatura	$u(t) = \sqrt{\left(\frac{\Delta t}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{U_{calt}}{k}\right)^2 + \left(\frac{res_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{der_t}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{CNR_t}{\sqrt{3}}\right)^2}$
B	Planitud	$u(\delta l_{pla}) = \sqrt{\frac{D_{pla,cf}^2}{12} + \frac{D_{pla,cm}^2}{12}}$
B	Paralelismo	$u(\delta l_{par}) = \frac{D_{par}}{2\sqrt{3}}$
Concepto		Fórmula
Incertidumbre combinada		$u_c = \sqrt{\sum u_i^2}$
Incertidumbre expandida		$U = k \times u_c$

Grado de Confiabilidad

La confiabilidad se cuantifica mediante la incertidumbre expandida (U).

$$U = k * u_c$$

U = Incertidumbre expandida.

u_c = Incertidumbre típica combinada.

k = Factor de cobertura.

Grados efectivos de libertad

$$v_{eff} = \frac{u^2_c(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

Cuando los grados de libertad, $v_{eff} \geq 30$, la distribución t de Student se aproxima a una distribución Normal. Por lo tanto, la norma permite usar $k=2$, lo que garantiza un **grado de confiabilidad del 95%**

$$Resultado = E_{cj} \pm U$$

Degrees of freedom v	Fraction p in percent					
	68,27 ^{a)}	90	95	95,45 ^{a)}	99	99,73 ^{a)}
1	1,84	6,31	12,71	13,97	63,66	235,80
2	1,32	2,92	4,30	4,53	9,92	19,21
3	1,20	2,35	3,18	3,31	5,84	9,22
4	1,14	2,13	2,78	2,87	4,60	6,62
5	1,11	2,02	2,57	2,65	4,03	5,51
6	1,09	1,94	2,45	2,52	3,71	4,90
7	1,08	1,89	2,36	2,43	3,50	4,53
8	1,07	1,86	2,31	2,37	3,36	4,28
9	1,06	1,83	2,26	2,32	3,25	4,09
10	1,05	1,81	2,23	2,28	3,17	3,96
11	1,05	1,80	2,20	2,25	3,11	3,85
12	1,04	1,78	2,18	2,23	3,05	3,76
13	1,04	1,77	2,16	2,21	3,01	3,69
14	1,04	1,76	2,14	2,20	2,98	3,64
15	1,03	1,75	2,13	2,18	2,95	3,59
16	1,03	1,75	2,12	2,17	2,92	3,54
17	1,03	1,74	2,11	2,16	2,90	3,51
18	1,03	1,73	2,10	2,15	2,88	3,48
19	1,03	1,73	2,09	2,14	2,86	3,45
20	1,03	1,72	2,09	2,13	2,85	3,42
25	1,02	1,71	2,06	2,11	2,79	3,33
30	1,02	1,70	2,04	2,09	2,75	3,27
35	1,01	1,70	2,03	2,07	2,72	3,23
40	1,01	1,68	2,02	2,06	2,70	3,20
45	1,01	1,68	2,01	2,06	2,69	3,18
50	1,01	1,68	2,01	2,05	2,68	3,16
100	1,005	1,660	1,984	2,025	2,626	3,077
∞	1,000	1,645	1,960	2,000	2,576	3,000

a) For a quantity z described by a normal distribution with expectation μ_z and standard deviation σ_z , the interval $\mu_z \pm k\sigma_z$ encompasses p = 68,27 percent, 95,45 percent and 99,73 percent of the distribution for k = 1, 2 and 3, respectively.



Criterio de aceptación y rechazo

1. Límites de Especificación (ISO 3611:2023)

Ejemplo para Clase 1 (Rango 0 - 25 mm):

• E_{EMT} (Error Máximo Tolerado de indicación): $\pm 1 \mu\text{m}$

2. Regla de Decisión – Criterio de aceptación simple – conforme a a ISO/TR 14253-6

Se compara el Error de indicación ($|Ei|$) y la Incertidumbre Expandida (U) contra el E_{EMT} :

• **Zona de Aceptación:** $|Ei| + U \leq E_{EMT} \rightarrow$ Instrumento **CONFORME**

• **Zona de Rechazo:** $|Ei| - U > E_{EMT} \rightarrow$ Instrumento **NO CONFORME**

$$Cm \geq 4$$

Cm evalúa cuántas veces cabe la incertidumbre dentro del intervalo COMPLETO de tolerancia.

$$Cm = \frac{\text{Tolerancia Total}}{\text{Incertidumbre Expandida}}$$

Conclusiones

- El análisis de la normativa internacional, particularmente la ISO 3611:2023, la ISO/IEC 17025:2017 y la GUM, permitió establecer una base técnica sólida para el procedimiento de calibración, asegurando que los criterios de error máximo permitido, competencia de laboratorios y estimación de incertidumbre estén plenamente alineados con los estándares globales de metrología dimensional.
- La caracterización metrológica del micrómetro digital, incluyendo sus componentes, resolución y especificaciones de error máximo permitido, junto con la definición de los requisitos de los bloques patrón conforme a la ISO 3650, ha permitido establecer las bases técnicas necesarias para garantizar la trazabilidad de las mediciones.
- El procedimiento de calibración desarrollado, que comprende once puntos de medición, el cálculo de errores de indicación, la evaluación de repetibilidad mediante desviación estándar y la estimación de incertidumbre expandida según el método GUM, constituye un proceso técnicamente riguroso y aplicable en laboratorios de metrología dimensional.

Recomendaciones

- Se recomienda a los laboratorios de calibración implementar esta guía técnica de manera integral, asegurando que el personal técnico reciba capacitación continua sobre el uso correcto del dispositivo de fuerza constante (trinquete) y la correcta interpretación de las reglas de decisión. Esto minimizará los errores atribuibles al operador y al método, que son las fuentes de variabilidad más comunes.
- Es recomendable revisar y actualizar periódicamente esta guía técnica (cada 3 a 5 años) para mantener su alineación con las futuras revisiones de las normas ISO 3611 e ISO/IEC 17025.
- Es recomendable que el laboratorio mantenga un registro histórico de calibraciones por cada micrómetro, que incluya los errores de indicación, la repetibilidad y la incertidumbre expandida obtenida en cada calibración, para analizar la evolución del instrumento, estimar su vida útil y planificar su reemplazo oportunamente.

**GRACIAS
POR
SU
ATENCIÓN**