

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Implementación de los requisitos técnicos para la acreditación del
procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 según la norma ISO/IEC
17025:2017, para la empresa Advanced Metrology SAC**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FÍSICO**

Elaborado por

GINO PINO CAHUANA

 **0009-0007-5741-4393**

Asesor

MG. CLEMENTE ALFREDO LUYO CAYCHO

 **0000-0001-8849-1729**

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Pino Cahuana [1]
Referencia/Reference	[1] G. Pino Cahuana, " <i>Implementación de los requisitos técnicos para la acreditación del procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 según la norma ISO/IEC 17025:2017, para la empresa Advanced Metrology SAC</i> " [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Cahuana, 2025)
Referencia/Reference	Pino, G. (2025). <i>Implementación de los requisitos técnicos para la acreditación del procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 según la norma ISO/IEC 17025:2017, para la empresa Advanced Metrology SAC</i> . [Trabajo de Suficiencia Profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

DEDICATORIA

A Dios, por hacer de mí un hombre de bien día a día, a mis padres por las enseñanzas y los valores inculcados desde mi niñez, a mi hermano por todo el apoyo recibido desde mi formación en mi etapa universitaria y a mi esposa por el cariño y la comprensión mostrada en esta etapa de mi vida.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en la implementación y desarrollo de los requisitos técnicos necesarios para cumplir los puntos seis y siete de la norma ISO/IEC 17025:2017, aplicado al procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 de Indecopi, obteniendo resultados adecuados que permitan realizar una óptima calibración de un pie de rey y que el resultado final del proceso tenga como finalidad la acreditación en el servicio de calibración de pie de rey, de la empresa Advanced Metrology S.A.C. ante el Instituto Nacional de Calidad.

ABSTRACT

The present work consists of the implementation and development of the technical requirements necessary to comply with points six and seven of the ISO/IEC 17025:2017 standard, applied to the calibration procedure of Indecopi's PC-012 caliper, obtaining adequate results that allow to carry out an optimal calibration of caliper and that the final result of the process has the purpose of accreditation in the caliper calibration service, from the company Advanced Metrology S.A.C. before the National Quality Institute.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Definiciones	2
1.1.1. Calibración	2
1.1.2. Acreditación	3
1.1.3. Pie de rey.....	3
1.1.4. Procedimiento de calibración	3
1.2. Identificación del problema.....	4
1.3. Objetivo general	4
1.4. Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO	6
2.1. Requisitos relativos a los recursos	6
2.1.1. Generalidades.....	6
2.1.2. Personal	6
2.1.3. Instalaciones y condiciones ambientales	7
2.1.4. Equipamiento.....	7
2.1.5. Trazabilidad metrológica.....	7
2.2. Requisitos del proceso.....	8
2.2.1. Selección, verificación y validación de métodos.....	8
2.2.2. Manipulación de los ítems de ensayo o calibración.....	8
2.2.3. Registros técnicos.....	8
2.2.4. Aseguramiento de la validez de los resultados	9
2.2.5. Informe de resultados	9
2.3. Pie de rey	9
2.4. Evaluación de la incertidumbre de medición	10
CAPÍTULO III. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN	18
CAPÍTULO IV. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN	23
4.1. Personal técnico	23
4.2. Equipamiento	24
4.3. Condiciones ambientales	25
4.4. Trazabilidad Metrológica	26
4.5. Hoja de cálculo (determinación de errores e incertidumbre).....	26
4.6. Informe de validación de la hoja de cálculo	41

4.7.	Documentos técnicos	43
4.8.	Verificación del procedimiento implementado	43
4.9.	Determinación de la capacidad de medición y calibración (CMC)	48
4.10.	Aseguramiento de la validez de los resultados.....	51
	4.10.1.Comprobaciones funcionales del equipamiento de medición.....	51
	4.10.2.Uso de patrones de verificación	51
	4.10.3.Comprobaciones intermedias en los equipos de medición	52
4.11.	Informe de resultados.....	53
	CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS	54
5.1.	Auditoría interna.....	54
	5.1.1. Revisión de requisitos según la norma ISO/IEC 17025.....	54
	5.1.2. Testificación	55
5.2.	Auditoría externa.....	55
	5.2.1. Revisión de requisitos según la norma ISO/IEC 17025.....	55
	5.2.2. Testificación	57
5.3.	Levantamiento de observaciones y/o no conformidades.....	57
	CONCLUSIONES.....	60
	RECOMENDACIONES	59
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	ANEXOS	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resultados del cálculo del error de contacto de la superficie parcial medición exteriores	28
Tabla 2	Resultados del cálculo del error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial medición exteriores	30
Tabla 3	Resultados del cálculo del error por cambio de la escala de la superficie de medición de exteriores a interiores o profundidad.....	32
Tabla 4	Resultados del cálculo del error de contacto lineal	33
Tabla 5	Resultados del cálculo del error de contacto de superficie completa	34
Tabla 6	Resultados del cálculo del error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición de interiores	35
Tabla 7	Contribuciones a la incertidumbre debido al pie de rey.....	36
Tabla 8	Estabilidad dimensional de los bloques patrón de longitud según la norma ISO 3650-1998.....	36
Tabla 9	Contribución a la incertidumbre debido a los bloques patrón.....	37
Tabla 10	Contribución a la incertidumbre debido al coeficiente de expansión térmica	38
Tabla 11	Contribución a la incertidumbre debido a las diferencias de temperatura ...	39
Tabla 12	Incertidumbre expandida en función de la longitud de indicación del pie de rey	40
Tabla 13	Verificación de la autorización del Supervisor de Laboratorio.....	44
Tabla 14	Verificación del equipamiento del laboratorio.....	44
Tabla 15	Verificación de la hoja de cálculo	45
Tabla 16	El laboratorio cuenta con el equipamiento adecuado para un control óptimo de las condiciones ambientales.....	45
Tabla 17	Verificación del procedimiento de calibración	46
Tabla 18	Verificación de las directrices aplicadas a la incertidumbre	47

Tabla 19	Capacidad de medición y calibración presentada por el laboratorio de Longitud	50
Tabla 20	Criterio de evaluación	52
Tabla 21	Cuadro resumen de los controles aplicados al aseguramiento de la validez de los resultados	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ejemplo de pie de rey con indicación analógica tipo escala circular y pie de rey digital con display digital	9
Figura 2	Ejemplo de un diseño de un pie de rey para la medición externa, interna y profundidad	10
Figura 3	Juego de bloques patrón de longitud	18
Figura 4	Micrómetro de exteriores	19
Figura 5	Anillo patrón	19
Figura 6	Varilla cilíndrica patrón	20
Figura 7	Mesa de planitud	21
Figura 8	Termómetro de contacto	21
Figura 9	Termohigrómetro patrón	22
Figura 10	Ejemplo de medición de superficie parcial en medición de exteriores	27
Figura 11	Ejemplo de medición de interiores para la determinación del error por cambio de escala	31
Figura 12	Ejemplo de medición para la determinación del error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición de interiores	34

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	11
Ecuación 2.....	12
Ecuación 3.....	12
Ecuación 4.....	12
Ecuación 5.....	12
Ecuación 6.....	12
Ecuación 7.....	13
Ecuación 8.....	13
Ecuación 9.....	13
Ecuación 10.....	13
Ecuación 11.....	14
Ecuación 12.....	14
Ecuación 13.....	14
Ecuación 14.....	14
Ecuación 15.....	14
Ecuación 16.....	15
Ecuación 17.....	15
Ecuación 18.....	16
Ecuación 19.....	17
Ecuación 20.....	17

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La experiencia humana es muy variada; constantemente vemos, oímos, olemos, probamos y tocamos objetos y productos, es decir, hay un constante flujo de sensaciones. El trabajo de la metrología es describir en forma ordenada esta experiencia, un trabajo que la curiosidad del hombre ha conducido por muchos siglos y que presumiblemente nunca terminará. Por fortuna el metrólogo ha seleccionado como campo de estudio una porción especial de la gran variedad de experiencias humanas; de la totalidad a abstraído ciertos aspectos que le parecen susceptibles de describir con exactitud. Al principio el metrólogo se contentó con adquirir esta experiencia en forma pasiva para describir tanto lo que veía, oía, etc, como la forma en que estas sensaciones llegaban a él. En tiempos más recientes ha decidido tomar un papel activo en la adquisición del conocimiento o por medio de la experimentación. En este caso, con sus descripciones el metrólogo construye un nuevo mundo, propio e integrado a su compañía, institución, comunidad, estado, nación, tanto en el ámbito internacional como en el global (González & Zeleny, 1995).

La metrología, es una ciencia que trata de las mediciones, la garantía de su uniformidad, el procedimiento de obtención de la exactitud necesaria y los métodos o medios para la obtención de estos fines. La importancia de las mediciones crece permanentemente en todos los campos de la ciencia y la técnica. Las mediciones son uno de los medios para el conocimiento de la naturaleza. Ellas son la base de los conocimientos científicos, sirven para calcular los valores de los recursos materiales, aseguramiento de la calidad necesaria de la producción, intercambiabilidad de partes y piezas en la construcción de maquinaria, perfeccionamiento de los procesos tecnológicos, etc. Asimismo, es muy importante en el sector de la salud pública, seguridad de trabajo y en las diferentes actividades de la sociedad humana (Dajes, 2007).

La escala vernier la inventó el matemático portugués Petrus Nonius (1492-1577), por lo que se le denominó nonio. El diseño actual de la escala deslizante debe su nombre al francés Pierre Vernier (1580-1637), quien la perfeccionó (González & Zeleny, 1995).

El calibrador vernier fue elaborado para satisfacer la necesidad de un instrumento de lectura directa que pudiera brindar una medida fácilmente, en una sola operación. El calibrador típico puede tomar tres tipos de mediciones: exteriores, interiores y profundidades.

1.1. Definiciones

1.1.1. Calibración

Operación que, bajo condiciones especificadas, establece en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición asociadas, y en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medición a partir de una indicación (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2017).

- NOTA 1: Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.
- NOTA 2: Conviene no confundir la calibración con el ajuste de un sistema de medición, a menudo llamado incorrectamente “auto calibración”, ni con una verificación de la calibración.

1.1.2. Acreditación

La acreditación de un laboratorio en un procedimiento de calibración se da al cumplir a detalle una serie de requisitos establecidos en una norma siguiendo los lineamientos del procedimiento de calibración escogido. Luego de una serie de evaluaciones por parte del organismo encargado de otorgar la acreditación, esta finaliza con la entrega de un documento que acredita la facultad de la empresa para desempeñar la calibración según el procedimiento establecido.

- *NOTA:* El organismo encargado de otorgar la acreditación de un laboratorio en un procedimiento de calibración es el Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

1.1.3. Pie de rey

Instrumento de medición que da la evaluación de una cantidad de dimensiones de un elemento interno o externo en base del movimiento de un cursor con una punta de medición que se mueve respecto a una escala de medición en un brazo rígido y una mordaza fija (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2012).

1.1.4. Procedimiento de calibración

Un procedimiento de calibración establece las reglas generales que el técnico metrologista debe cumplir para efectuar la calibración de un instrumento y/o equipo de medición.

- *NOTA:* El procedimiento de calibración acreditado en este trabajo es el Procedimiento de calibración de pie de rey PC-012, quinta edición – agosto 2012 de Indecopi (INDECOPI, 2012).

1.2. Identificación del problema

Actualmente en el país, la metrología se va haciendo cada vez más conocida, con ello se ve la necesidad de las empresas industriales por calibrar los equipos y/o instrumentos de medición que usan para sus respectivos procesos, con la finalidad de garantizar un resultado óptimo en el uso de estos instrumentos y/o equipos. Además, el proceso de estas calibraciones debe estar respaldada por una entidad que asegure se estén llevando a cabo correctamente. Esta necesidad ha conllevado a que se creen más empresas en el rubro de metrología, debido a ello para una empresa cuyo rubro es el servicio de calibraciones, es de vital importancia obtener una acreditación en los procedimientos de calibración que la empresa brinda como servicio. Mediante esta acreditación se reconoce que la empresa que realiza el servicio de calibración lo hace cumpliendo todos los requisitos que exige la entidad reguladora (INACAL, 2017).

1.3. Objetivo general

Implementar y desarrollar los requisitos necesarios para la acreditación del procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 de Indecopi, hasta el alcance de 300 mm, para la empresa Advanced Metrology S.A.C., según los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP-ISO/IEC 17025 (INACAL, 2017).

1.4. Objetivos específicos

- Coordinar las capacitaciones necesarias relacionadas a la competencia técnica tanto para el supervisor del laboratorio como para el asistente de laboratorio y realizar la carta de autorización del personal.
- Realizar la compra de los patrones, equipos auxiliares, materiales e insumos requeridos según el procedimiento de calibración PC-012, realizar la caracterización en temperatura del área de trabajo y realizar el control y registro de las condiciones ambientales del laboratorio de calibración.

- Asegurar la trazabilidad metrológica de las mediciones, elaborar la hoja de cálculo de pie de rey en base al procedimiento de calibración PC-012 y realizar la validación respectiva de la hoja de cálculo.
- Determinar el valor de la capacidad de medición y calibración (CMC) del laboratorio.
- Definir y realizar el aseguramiento de la validez de los resultados correspondientes al procedimiento de calibración de pie de rey.

CAPÍTULO II. FUNDAMENTO TEÓRICO

La acreditación de un laboratorio de calibración es el reconocimiento formal de que se tiene la competencia necesaria para realizar las calibraciones emitiendo resultados confiables. Para que una empresa se acredite en un procedimiento de calibración debe cumplir una serie de requisitos que se encuentran en la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025, entre estos requisitos se requiere de un sistema de gestión en el que se garantice la imparcialidad y la confidencialidad, además se deben cumplir requisitos relativos a la estructura, relativo a los recursos, requisitos del proceso y requisitos del sistema de gestión. Este trabajo se centró en desarrollar e implementar los requisitos relativos a los recursos y los requisitos del proceso (INACAL, 2017).

- Requisitos de la norma ISO 17025:2017

A continuación, se da a conocer los requisitos de la norma que se desarrollaron para el proceso de acreditación.

2.1. Requisitos relativos a los recursos

2.1.1. Generalidades

El laboratorio debe tener disponibles el personal, las instalaciones, el equipamiento, los sistemas y los servicios de apoyo necesarios para gestionar y realizar sus actividades de laboratorio.

2.1.2. Personal

El personal que trabaje en el laboratorio, sea interno o externo debe actuar imparcialmente, ser competente y trabajar de acuerdo al sistema de gestión del laboratorio. Se debe documentar los requisitos de competencia para cada función que influye en los resultados de las actividades del laboratorio. El laboratorio debe conservar

registros para determinar la competencia, seleccionar al personal, capacitar al personal, supervisar al personal, autorizar al personal y realizar el seguimiento de la competencia del personal.

2.1.3. Instalaciones y condiciones ambientales

Las condiciones ambientales deben ser adecuadas para las condiciones de calibración y no debe afectar adversamente a la validez de los resultados. El laboratorio debe realizar el seguimiento, controlar y registrar las condiciones ambientales periódicamente. Se debe realizar el estudio del comportamiento de las condiciones ambientales enfocándose principalmente en el horario laboral.

2.1.4. Equipamiento

El laboratorio debe contar con un procedimiento para la manipulación, transporte, almacenamiento, uso y mantenimiento del equipamiento para asegurar el funcionamiento apropiado. El equipo usado para medición debe ser capaz de lograr la exactitud de la medición y/o la incertidumbre de medición requerida para un resultado válido. El laboratorio debe establecer un período de calibración, el cual se debe revisar y ajustar según sea necesario, para mantener la confianza en el estado de la calibración. Todos los equipos que requieran calibración o que tengan un período de validez definido se deben etiquetar, codificar o identificar para permitir que el usuario identifique fácilmente el estado de la calibración o el período de validez.

2.1.5. Trazabilidad metrológica

El laboratorio debe asegurarse de que los resultados de la medición sean trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI). Cuando la trazabilidad metrológica a unidades del SI no sea técnicamente posible, el laboratorio debe demostrar trazabilidad metrológica a una referencia apropiada.

2.2. Requisitos del proceso

2.2.1. Selección, verificación y validación de métodos

El laboratorio debe usar métodos y procedimientos apropiados para las actividades del laboratorio y, cuando sea apropiado, para la evaluación de la incertidumbre de medición, así como también las técnicas estadísticas para el análisis de datos. Estos documentos deben ser de fácil acceso para el personal del laboratorio. Al elegir un método se recomienda los publicados en normas internacionales, regionales o nacionales o por organizaciones técnicas reconocidas. Al realizar algún cambio a un método validado, se debe determinar la influencia de estos cambios y al encontrar que estos afectan la validación inicial, se debe realizar una nueva validación del método.

2.2.2. Manipulación de los ítems de ensayo o calibración

El laboratorio debe contar con un procedimiento para el transporte, recepción, manipulación, protección, almacenamiento, conservación y disposición o devolución de los ítems de calibración. El laboratorio debe contar con un sistema para identificar los ítems de calibración sin ambigüedad, el sistema debe asegurar que los ítems no se confundan físicamente.

2.2.3. Registros técnicos

El laboratorio debe asegurar que los registros técnicos para cada actividad del laboratorio contengan los resultados y la información necesaria para facilitar la detección de los factores que afectan al resultado de la medición y su incertidumbre asociada. Estos registros deben incluir la fecha y la identidad del personal responsable de la actividad.

2.2.4. Aseguramiento de la validez de los resultados

El laboratorio debe realizar el seguimiento de la validez de los resultados. Los datos resultantes se deben registrar de manera que las tendencias sean detectables y de ser posible se deben aplicar técnicas estadísticas para la revisión de los resultados. El seguimiento se debe planificar y revisar periódicamente.

2.2.5. Informe de resultados

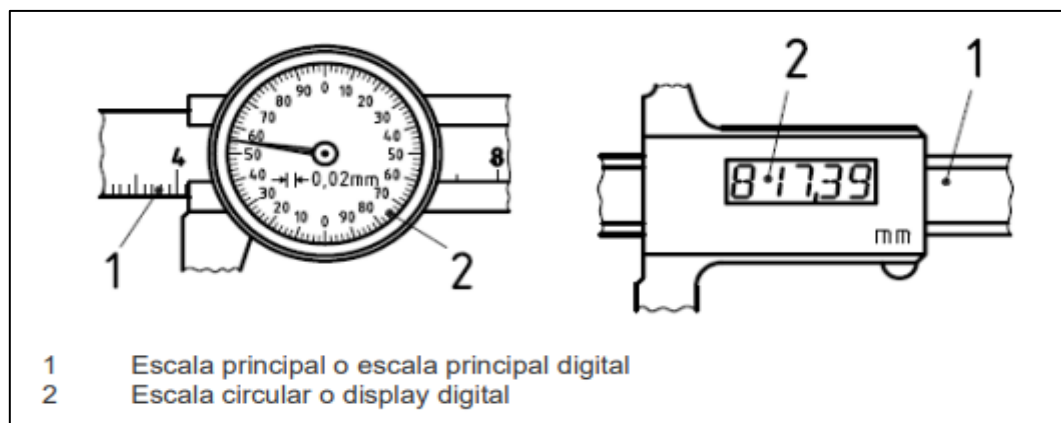
Los resultados se deben suministrar de manera clara, inequívoca y objetiva en un certificado de calibración, y deben incluir toda la información acordada con el cliente y la necesaria para la interpretación de los resultados.

2.3. Pie de rey

Estos instrumentos pueden ser de indicación analógica, escala circular o digital. Existe una gran variedad en el diseño de estos instrumentos (Asociación Española de Normalización y Certificación [UNE], 1994).

Figura 1

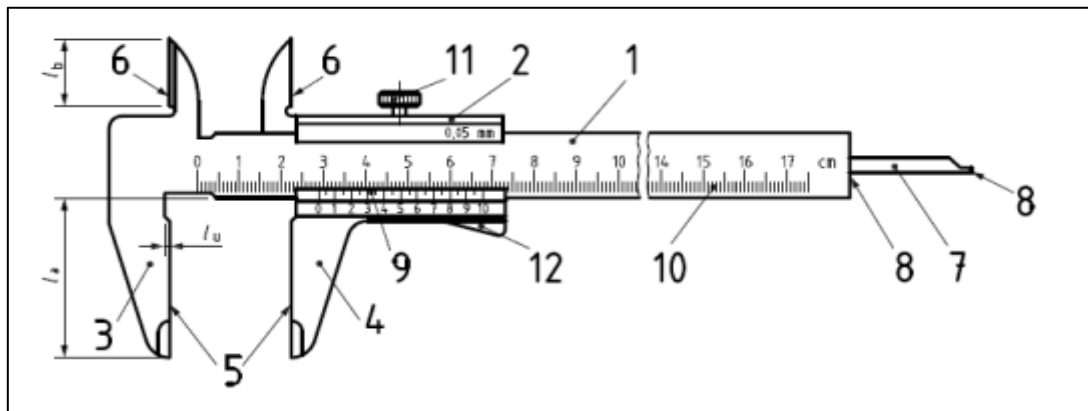
Ejemplo de pie de rey con indicación analógica tipo escala circular y pie de rey digital con display digital



Nota. De "PC-012 Procedimiento de calibración de pie de rey", por INDECOPI, 2012 (<https://es.scribd.com/document/460687531/PC-012-Pie-de-Rey-2012-pdf>).

Figura 2

Ejemplo de un diseño de un pie de rey para la medición externa, interna y profundidad



Nota. De "PC-012 Procedimiento de calibración de pie de rey", por INDECOPI, 2012 (<https://es.scribd.com/document/460687531/PC-012-Pie-de-Rey-2012-pdf>).

- Descripción
 - Brazo principal
 - Cursor
 - Punta fija de medición
 - Punta móvil de medición
 - Superficies de medición de exteriores
 - Superficies de medición de interiores
 - Barra para medir profundidad
 - Superficies para medición de profundidad
 - Escala vernier
 - Escala principal
 - Tornillo de fijación
 - Dispositivo de sujeción.

2.4. Evaluación de la incertidumbre de medición

Los laboratorios que realizan servicios de calibración deben evaluar la incertidumbre de medición para todas las calibraciones. Los laboratorios deben identificar

todas las contribuciones a la incertidumbre de medición. A continuación, se muestra la estimación de la incertidumbre según el procedimiento de calibración de pie de rey PC-012.

Estimación de las incertidumbres estándar de las variables de influencia

Previamente, el PC-012 indica como determinar los errores de medición, entre los cuales se tienen:

- E: Error de contacto de la superficie parcial medición de exteriores.
- R: Error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial medición de exteriores.
- S: Error por cambio de la escala de la superficie de medición de exteriores a interiores o profundidad.
- L: Error de contacto lineal.
- J: Error de contacto de superficie completa.
- K: Error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición para medición de interiores.

Incertidumbre debido a la indicación del pie de rey $u(L_i)$

Se considera el resultado de las siguientes contribuciones:

Debido al error de contacto de la superficie parcial (E):

Usando el error hallado “E”, se evalúa la contribución a la incertidumbre considerando una distribución rectangular.

$$u(L_{i_E}) = \frac{E}{2\sqrt{3}} \quad (1)$$

Debido al error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial (R):

Para determinar la contribución a la incertidumbre, se usan los resultados de la determinación del error de repetibilidad.

$$u(L_{i_R}) = \frac{S(\hat{R})}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

Donde:

$$S(\hat{R}) = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^n (R_p - \hat{R})^2}{n-1}} \quad (3)$$

$S(\hat{R})$: Desviación estándar experimental

R_p : Indicación del pie de rey (lectura p)

\hat{R} : Indicación promedio

n : Número de mediciones realizadas, $n = 5$

Debido al error por cambio de escala (S):

Considerando una distribución rectangular, la contribución debido al cambio de escala de la superficie de medición de exteriores a interiores (S_{E-I}) se tiene:

$$u(L_{i_{S_{E-I}}}) = \frac{S_{E-I}}{2\sqrt{3}} \quad (4)$$

La contribución debido al cambio de escala de la superficie de medición de exteriores a profundidad (S_{E-P}) se tiene:

$$u(L_{i_{S_{E-P}}}) = \frac{S_{E-P}}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

Se considera el mayor de estos dos resultados como el error por cambio de escala de la superficie de medición de exteriores a interiores o profundidad, entonces:

$$u(L_{i_S}) = \text{MAX}\left(\frac{S_{E-P}}{2\sqrt{3}}; \frac{S_{E-I}}{2\sqrt{3}}\right) \quad (6)$$

Debido al error de contacto lineal (L):

Usando el error de contacto lineal hallado "L", se evalúa la contribución a la incertidumbre considerando una distribución rectangular.

$$u(L_{i_L}) = \frac{L}{2\sqrt{3}} \quad (7)$$

Debido al error de contacto de superficie completa (J):

Usando el error de contacto de superficie completa hallado “J”, se evalúa la contribución a la incertidumbre considerando una distribución rectangular.

$$u(L_{i_J}) = \frac{J}{2\sqrt{3}} \quad (8)$$

Debido a la distancia de cruce de superficies de medición de interiores (K)

Usando el error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición de interiores hallado “K”, se evalúa la contribución a la incertidumbre considerando una distribución rectangular.

$$u(L_{i_K}) = \frac{K}{2\sqrt{3}} \quad (9)$$

Debido a la resolución del pie de rey (r):

La contribución debido a la resolución es:

$$u(L_{i_r}) = \frac{r}{\sqrt{3}} = \frac{d/m}{\sqrt{3}} \quad (10)$$

d: Valor de una división de escala

r: Resolución del pie de rey

m: Es el menor número de partes en que puede dividir *d* si el instrumento es analógico tipo escala circular, en caso de ser digital y tipo vernier considerar *m* = 2.

Por lo tanto, la contribución de la incertidumbre debido al pie de rey es:

$$u(L_i) = \sqrt{\left(\frac{E}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{S(\hat{R})}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\text{MAX}\left(\frac{S_{E-P}}{2\sqrt{3}}; \frac{S_{E-I}}{2\sqrt{3}}\right)\right)^2 + \left(\frac{L}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{J}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{K}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d/m}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (11)$$

Contribución a la incertidumbre debido a los bloques patrón $u(L_{BP})$

Debido a la incertidumbre según el certificado de calibración del bloque patrón

La incertidumbre es la suma cuadrática de cada uno de los bloques patrón.

$$u(L_{BP\ cal}) = \sqrt{\left(\frac{UL1_{BP\ cal}}{k}\right)^2 + \left(\frac{UL2_{BP\ cal}}{k}\right)^2 + \left(\frac{UL3_{BP\ cal}}{k}\right)^2 + \left(\frac{UL4_{BP\ cal}}{k}\right)^2} \quad (12)$$

$$k = 2$$

Debido a la deriva del bloque patrón

La incertidumbre por deriva se da a partir de los datos de máxima diferencia de error entre calibraciones, considerando una distribución rectangular se tiene:

$$u(L_{BP\ der}) = \sqrt{\left(\frac{UL1_{der}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{UL2_{der}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{UL3_{der}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{UL4_{der}}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (13)$$

Por lo tanto, la contribución a la incertidumbre debido a los bloques patrón es:

$$u(L_{BP}) = \sqrt{(u(L_{BP\ cal}))^2 + (u(L_{BP\ der}))^2} \quad (14)$$

Contribución a la incertidumbre debido al coeficiente de expansión térmica del bloque

El coeficiente de expansión térmico para bloques de acero según normas UNE EN-ISO 3650 y UNE 82316 es $11,5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \pm 1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Considerando una distribución rectangular.

$$u(\alpha_{BP}) = \frac{\Delta\alpha_{BP}}{\sqrt{3}} \quad (15)$$

Dónde: $\Delta\alpha_{BP} = 1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Contribución a la incertidumbre debido a la diferencia de los coeficientes de expansión térmica del pie de rey y el bloque:

Al ser las superficies de medición del pie de rey de material acero, su coeficiente de expansión térmico es $11,5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \pm 1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

$$u(\delta\alpha) = \sqrt{\left(\frac{\Delta\alpha_{BP}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\alpha_i}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (16)$$

Donde:

$$\Delta\alpha_{BP} = 1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$\Delta\alpha_i = 1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Contribución a la incertidumbre debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el pie de rey u (ΔT_i)

Sea $\Delta t_{1A} = t_{1A} - 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, variación de la temperatura del ambiente respecto a la temperatura de referencia ($20 \text{ }^{\circ}\text{C}$) y $\Delta t_{2i} = t_{2i} - 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ variación de la temperatura del pie de rey respecto a la temperatura de referencia ($20 \text{ }^{\circ}\text{C}$). La incertidumbre debida a la variación de temperatura es:

$$u(\Delta T_i) = \sqrt{\left(\frac{UT_{cert}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_{Ai}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{dT/m_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{UT_{der}}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (17)$$

Donde:

$$\Delta t_{Ai} = \max(\Delta t_{1A} ; \Delta t_{2i})$$

UT_{cert} : Incertidumbre del termómetro utilizado según certificado.

k : Factor de cobertura.

d_T : Valor de una división de escala o resolución del termómetro.

m_T : Menor número de partes que se puede dividir d_T .

UT_{der} : Incertidumbre de la deriva del termómetro.

Contribución a la incertidumbre debido a la diferencia de temperatura de los bloques y el pie de rey u (δT)

Sea $\Delta t_1 = t_1 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, variación de la temperatura del bloque respecto a la temperatura de referencia ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $\Delta t_{2i} = t_{2i} - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ variación de la temperatura del pie de rey respecto a la temperatura de referencia ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$). La incertidumbre debida a la variación de temperatura es:

$$u(\delta T) = \sqrt{\left(\frac{UT_{cert}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T/m_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{UT_{der}}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (18)$$

Donde:

$$\Delta t = \max(\Delta t_1; \Delta t_{2i})$$

UT_{cert} : Incertidumbre del termómetro utilizado según certificado.

k : Factor de cobertura.

d_T : Valor de una división de escala o resolución del termómetro.

m_T : Menor número de partes que se puede dividir d_T .

UT_{der} : Incertidumbre de la deriva del termómetro.

Finalmente, la incertidumbre combinada del error de indicación del pie de rey está dado por:

$$u_c^2(E) = [1 + \delta\alpha\Delta T_i]^2 \left[\left(\frac{E}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{S(\hat{R})}{2\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\text{MAX}\left(\frac{S_{E-P}}{2\sqrt{3}}; \frac{S_{E-I}}{2\sqrt{3}}\right)\right)^2 + \left(\frac{L}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{J}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{K}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d/m}{\sqrt{3}}\right)^2 \right] +$$

$$[-1 + \alpha_{BP}\delta T]^2 [(u(L_{BP\text{ cal}}))^2 + (u(L_{BP\text{ der}}))^2] + [L_i\Delta T_i]^2 \left[\left(\frac{\Delta\alpha_{BP}}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\alpha_i}{2\sqrt{2}}\right)^2 \right] +$$

$$[L_i\delta\alpha]^2 \left[\left(\frac{UT_{cert}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_{Ai}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T/m_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{UT_{der}}{\sqrt{3}}\right)^2 \right]$$

$$+ [L_{BP} \delta T]^2 \left[\frac{\Delta \alpha_{BP}}{\sqrt{3}} \right]^2 + [L_{BP} \alpha_{BP}]^2 \left[\left(\frac{UT_{cert}}{k} \right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{d_T/m_T}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{UT_{der}}{\sqrt{3}} \right)^2 \right] \quad (19)$$

Entonces la incertidumbre expandida para el valor del error de indicación del pie de rey está dada por:

$$U(E) = k * u_c(E) \quad (20)$$

Donde $k = 2$, representa el nivel de confianza al 95% aproximadamente.

CAPÍTULO III. MATERIALES, INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN

Se realizó la adquisición de los patrones y materiales necesarios para llevar a cabo la acreditación.

- Bloques patrón de longitud
 - Marca: Mitutoyo
 - Modelo: BM1-56-0/YJ
 - Longitud nominal: 0,5 mm a 100 mm
 - Grado/Clase: 0

Figura 3

Juego de bloques patrón de longitud



- Micrómetro de exteriores
 - Marca: Mitutoyo
 - Modelo: MDC-25PX
 - Alcance: 0 mm a 25 mm

- Resolución: 0,001 mm

Figura 4

Micrómetro de exteriores



- Anillo patrón
 - Marca: Insize
 - Modelo: 6312-5
 - Valor nominal: 5,001 mm
 - Exactitud: $\pm 2 \mu\text{m}$

Figura 5

Anillo patrón



- Varilla cilíndrica patrón
 - Marca: Insize
 - Modelo: 4110-10D00
 - Valor nominal: 10,00 mm
 - Exactitud: $\pm 1\mu\text{m}$

Figura 6

Varilla cilíndrica patrón



- Mesa de planitud
 - Marca: Mitutoyo
 - Modelo: 517-161
 - Grado/Clase: 0

Mesa de planitud



- ### Figura 8

A digital thermometer with a black plastic casing and a white LCD screen. The screen displays '0.0'. Below the screen, the text reads 'Platinum sensor, Pt-100/Ω', 'Thermocouple, Type K/J/T/E/R', and 'CE'. There are several buttons: 'HOLD', '°C/°F', 'THERMOCOUPLE', 'SENSOR', 'REL.', and 'ON/OFF'. The brand name 'PRECISION 60T THERMOMETER' is printed in a black box. At the bottom, it says 'TM-917'. Two green calibration stickers are attached to the front. A black cable with a probe is connected to the top. The probe is a long, thin metal rod with a flat, rectangular sensing tip.

- Termohigrómetro
 - Marca: Elitech
 - Modelo: GSP-6
 - Alcance: -40°C a 85°C / 10%h.r. a 99%h.r.
 - Resolución: $0,1^{\circ}\text{C}$ / $0,1^{\circ}\text{C}$
 - Clase/Exactitud: $0,5^{\circ}\text{C}$ / 3%h.r.

Figura 9

Termohigrómetro patrón



CAPÍTULO IV. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

4.1. Personal técnico

Para llevar a cabo satisfactoriamente el proceso de acreditación es necesario cumplir con el requisito 6.2 de la norma ISO 17025, el cual indica que el personal a cargo de las actividades del laboratorio debe demostrar competencia técnica.

Debido a ello se realizaron capacitaciones tanto para el supervisor como para el asistente, entre ellas el procedimiento de calibración de pie de rey PC-012, estadística aplicada para laboratorios de ensayos y calibración, aseguramiento de la validez de los resultados, introducción a la NTP-ISO/IEC 17025:2017 y directrices de INACAL, procedimientos internos de gestión y difusiones de procedimientos relativos al equipamiento, llenado de hojas y cálculo e interpretación de resultados. Cada capacitación vino anexada con la correspondiente evaluación y las difusiones se registraron con el llenado de un formato implementado para el control de asistencia (UNE, 1994; INACAL, 2017).

Los registros y documentos de referencia de todo lo mencionado anteriormente se anotaron en el formato de entrenamiento de personal F-SGC-AM036.

El personal postulante al cargo de supervisor de laboratorio pasó un ensayo de aptitud (comparación interlaboratorio) en el procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 con un laboratorio acreditado para brindar servicios de ensayos de aptitud. La evaluación de los resultados del ensayo de aptitud se realizó mediante un análisis estadístico de error normalizado. Los resultados de error normalizado para los puntos de calibración tomados en la prueba fueron menores a 1, por lo tanto, según el protocolo el ensayo de aptitud resultó satisfactorio. Estos resultados se presentaron en el informe ILL-2022-24. Finalmente se realizó el llenado de la carta de autorización de formato F-SGC-AM042 la cual muestra que se autorizó como supervisor al personal en realizar las tareas

de ejecutar las calibraciones, operar patrones, emitir certificados, analizar resultados, autorizar y firmar los certificados de calibración, supervisar al personal e implementar procedimientos. La autorización correspondiente al supervisor de laboratorio se dio en la fecha de 12-09-2022 (UNE, 1994).

La autorización correspondiente al asistente de laboratorio se dio posterior a la autorización del supervisor. El procedimiento para autorizar al asistente fue mediante una prueba intralaboratorio, la cual consistió en que cada participante (supervisor y asistente) realicen ocho mediciones en el ensayo de repetibilidad de contacto de la superficie parcial de medición de exteriores de un pie de rey de 300 mm. De los resultados obtenidos se tomaron los errores hallados para los puntos de 50 mm y 300 mm, con estos resultados se realizaron algunas pruebas estadísticas, la primera es la determinación de datos atípicos mediante el llenado de resultados en el formato F-L-AM032, en este formato se analizó mediante el cálculo del Z-Score si los datos ingresados se aceptan. De ser aceptados los datos, se procedió al llenado del formato F-L-AM031 el cual analizó los resultados mediante un test de normalidad de Anderson-Darling para determinar si los datos presentados poseen una distribución normal. Finalmente, de presentar una distribución normal, se llenan los resultados en el formato HC-LM-AM006, en el cual se realiza el cálculo de F-Fisher y T-Student, al cumplir los criterios establecidos se analizó el índice de compatibilidad entre los resultados finalizando con la sentencia de si los resultados de los participantes son semejantes o no.

4.2. Equipamiento

Los equipos e instrumentos necesarios para la acreditación se compraron siguiendo lo requerido en el procedimiento de calibración PC-012, estos fueron registrados en el formato F-L-AM007 el cual es un inventario de equipos e instrumentos del laboratorio. Con la información de cada equipo e instrumento se realizó el llenado de las etiquetas de control, las cuales identifican a cada equipo e instrumento del laboratorio.

La información detallada de cada equipo se colocó en el formato F-L-AM011 correspondiente a la hoja de vida, en este formato incluso se colocó el criterio de aceptación de cada patrón, indicando que debe cumplirse con dicho criterio para poder continuar trabajando con tal equipo. Además, se llenaron los formatos de resultados de confirmación metrológica F-L-AM023, con la cual se revisan los resultados de calibración de los patrones y se revisa que cumplan con el criterio de evaluación donde el error de medición sea menor que la tolerancia más la incertidumbre respectiva (INDECOPI, 2012).

4.3. Condiciones ambientales

En el procedimiento de calibración de pie de rey, durante la calibración se requiere que se cumpla estrictamente con las condiciones ambientales de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura ambiental y una variación de temperatura menor a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por hora durante la calibración. Lo primero en realizarse fue la caracterización del área de trabajo donde se realizarán las calibraciones, para ello se usó seis Dataloggers, un aire acondicionado programado a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un deshumecedor programado a 55% de humedad relativa. Esta caracterización se realizó con un aforo de dos personas, el tiempo empleado fue de doce horas. Con los valores registrados se realizó un informe de caracterización ICA-LL-001-2022 en el cual se evidenció que las condiciones ambientales de temperatura y humedad cumplen con lo requerido en el procedimiento. A manera de realizar el seguimiento periódico de las condiciones ambientales, se realizó mensualmente un informe de condiciones ambientales mediante el formato F-L-AM040, el cual muestra una gráfica de los resultados medidos de temperatura y humedad con las fechas e incluso los límites permitidos para los períodos en los que se realizaron las calibraciones de pie de rey. De esta manera se aseguró que se cumpla con el requisito 6.3 de la norma.

4.4. Trazabilidad Metrológica

La trazabilidad metrológica asegura la comparabilidad de los resultados de las mediciones a referencias nacionales e internacionales. Los patrones usados para la calibración de pie de rey fueron calibrados por el INACAL y laboratorios acreditados. Los bloques patrón fueron calibrados por el INACAL y se emitió el número de certificado LLA-C-041-2022, la varilla cilíndrica fue calibrada por el INACAL con el número de certificado LLA-167-2022, el anillo patrón fue calibrado por el INACAL con el número de certificado LLA-163-2022, el termómetro de contacto fue calibrado por el INACAL con el número de certificado LT-117-2022 y el micrómetro de exteriores fue calibrado por METROIL con el número de certificado 1AD-0596-2022. Para evidenciar la trazabilidad de los patrones del INACAL, se elaboró una carta de trazabilidad para los patrones usados en la calibración de pie de rey. Esta carta de trazabilidad se creó con el formato F-L-AM006, en ella se referencia los patrones usados por el INACAL para calibrar nuestros patrones, los usados por el CEM (España) para calibrar los patrones del INACAL y llega hasta el Sistema Internacional de Unidades.

4.5. Hoja de cálculo (determinación de errores e incertidumbre)

Se realizó la elaboración de la hoja de cálculo del PC-012 en formato Excel, el libro consta de 8 hojas. La primera llamada "INSTRUCCIONES", en ella se detallaron los pasos a seguir para el llenado de la hoja de cálculo. La siguiente pestaña es "VALIDACIÓN", en ella se hizo un checklist de la funcionalidad de la hoja de cálculo. Continúa la pestaña llamada "REGISTRO", en la que se colocaron los datos del equipo a calibrar, datos del cliente y resultados de la calibración. En la siguiente pestaña llamada "CÁLCULO", se desarrollaron todos los cálculos de los errores correspondientes a cada paso del procedimiento de calibración. En la pestaña "PATRONES", se colocaron los resultados de las calibraciones de los patrones utilizados en la calibración. En la pestaña "ANEXO F" se realizaron los cálculos de incertidumbre descritos en el procedimiento de

calibración. En la pestaña “INCERTIDUMBRE” se detalló el presupuesto de incertidumbre con todas las contribuciones a la incertidumbre. Finalmente, en la pestaña “CERTIFICADO” se detalló el formato de presentación del certificado de calibración.

En la determinación de los errores de medición se tomó en cuenta lo mencionado en el procedimiento de calibración:

- **Error de contacto de la superficie parcial medición de exteriores (E):**

Se realizó la medición del bloque patrón con el pie de rey en tres posiciones: superior, central e inferior, se halló el promedio y error para cada valor seleccionado, se aplicó las respectivas correcciones por certificado y temperatura. Se calculó la diferencia entre cada valor de indicación del pie de rey corregido respecto al valor nominal del bloque corregido para cada una de las tres mediciones en cada punto de calibración.

Se determinó las diferencias absolutas de los máximos menos los mínimos en cada punto y finalmente el error de contacto de la superficie parcial de medición de exteriores es el máximo valor de cada una de las diferencias absolutas halladas.

Figura 10

Ejemplo de medición de superficie parcial en medición de exteriores



Tabla 1

Resultados del cálculo del error de contacto de la superficie parcial medición exteriores

10.1.2 ERROR DE CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL MEDICION DE EXTERIORES (E)												
Temperatura del Pie de rey / ambiente (°C)											Δt2i=	0,48
Inicial				20,2	20,3795043			Final	20,3	20,4803252	Δt1=	0,48
Bloque Utilizados (mm)				Valor	Indicación del Pie de Rey			Temp,	Temp,	Promedio	valor patrón corregido	Error de Indicación
				Patrón	x1 superior	x2 central	x3 inferior	bloque / amb,	bloque / amb,			
1º	2º	3º	4º	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(ºC)	(ºC)	(mm)	(mm)	(μm)
50	0	0	0	50	50	50	50	20,1	20,2787446	50,0002762	50,0002203	0,05590865
100	0	0	0	100	100	100	100	20,3	20,4803252	100,000552	100,000532	0,02000011
100	50	0	0	150	150	150	150	20,1	20,2787446	150,000829	150,000521	0,3077264
100	75	25	0	200	200,01	200	200	20,3	20,4803252	200,004438	200,000975	3,46335246
200	75	25	0	300	300,01	300,01	300	20,2	20,3795043	300,008324	300,001079	7,24453683
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- **Error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial medición de exteriores (R):**

Para la determinación del error de repetibilidad se tomó el punto para el cual se obtuvo el mayor valor en la determinación del error de contacto de la superficie parcial de medición de exteriores. De haber más de un punto, se considera el de mayor valor nominal.

Para el punto seleccionado se realizaron cinco mediciones en la parte central de la superficie de medición. Con estos datos se determinó el error, el cual es para cada caso, la diferencia entre el valor de indicación del pie de rey corregido por temperatura para la máxima variación de esta con respecto a 20 °C y el valor del bloque corregido por certificado y temperatura. Entonces el error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial de medición de exteriores (R) está dado por el valor absoluto de la diferencia entre el máximo error y mínimo error en dicho punto de medición.

Tabla 2

Resultados del cálculo del error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial medición exteriores

10.1.3 ERROR DE REPETIBILIDAD DE CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL MEDICION DE EXTERIORES (R)									
Temperatura del Pie de rey / ambiente (°C)						$\Delta t_2 =$	0,48		
						$\Delta t_1 =$	0,38		
Bloques Utilizados (m)		Valor Patrón (mm)	X2 central (mm)	Temp, bloq / amb (°C)	Temp, Bloq corregido / amb (°C)	Error Ri (mm)	Error Repetibilidad R (mm)	Error Repetibilidad R (µm)	
1°	2°	3°	4°						
200	75	25	0	300,00		300,01			
						300,00			
						300,01			
					20,20	20,379504	0,01057789	10,000	
						300,01			
						300,00			
							0,01057789		
							0,00057783		
							0,01057789		
							0,00057783		

- **Error por cambio de la escala de la superficie de medición de exteriores a interiores o profundidad (S):**

Usando un bloque de 10 mm, se determinó el error por cambio de escala. Para medición de exteriores se realizaron tres mediciones en la parte central de las superficies de medición y el bloque. Para medición de interiores se realizaron tres mediciones en la parte central de las superficies de medición y el bloque. Para medición de profundidad se colocó el bloque en posición vertical u horizontal sobre la mesa de planitud y se realizó la medición tres veces con la barra de profundidad del pie de rey.

Con los resultados obtenidos se calcularon los errores para cada caso y se determinó la diferencia entre cada valor del error de indicación de medición de interiores o profundidad respecto al valor de indicación del error de la medición de exteriores. Con los errores encontrados para cada cambio de escala, se obtuvo el promedio el cual se reportó como los errores de los dos cambios de escala de medición de exteriores a interiores y medición de exteriores a profundidad. Finalmente, el error por cambio de escala de la superficie de medición de exteriores a interiores o medición de profundidad (S) es el máximo valor absoluto de los errores de los dos cambios de escala.

Figura 11

Ejemplo de medición de interiores para la determinación del error por cambio de escala



Tabla 3

Resultados del cálculo del error por cambio de la escala de la superficie de medición de exteriores a interiores o profundidad

10.1.4 ERROR POR CAMBIO DE LA ESCALA DE LA SUPERFICIE DE MEDICIÓN DE EXTERIORES A INTERIORES O PROFUNDIDAD (S)										
Temperatura del Pie de rey / ambiente (°C)						$\Delta t_2=$		0.48		
						$\Delta t_1=$		0.48		
EXT	20,1	20,27874	EXT	20,2	20,3795					
INT	20,1	20,27874	INT	20,3	20,48033					
PROF	20,2	20,3795	PROF	20,2	20,3795					
10.1.4.1			10.1.4.2			10.1.4.,3				
Valor	Indicación		Indicación Del Pie De Rey (Interiores)		Temp, Del Bloque/ Ambiente (°c)		Indicación Del Pie De Rey (Profundidad) (mm)		Temp, Del bloque/ ambiente (°C)	
Patrón	Del Pie De Rey	Temp, Del bloque/ ambiente (°C)								
Bloque	(Exteriores)									
(mm)	(mm)									
	10,00		10,00				10,00			
10	10,00	20,2	20,3795	10,00	20,1	20,27874	10,00	20,3	20,48	
	10,00			10,00			10,00			
10.1.4.2.1										
Medición del Juego de Bocas Comunes para medición de Interiores										
INDICACIÓN DEL MICRÓMETRO			L4	$\mu(L4)$						
(mm)			(mm)	(mm)						
0			0	0						
0										
0										
Error indicación del Pie d Rey Exteriores	Error indicación del Pie d Rey Interiores	Error indicación del Pie d Rey Profundidad	Diferencia Exteriores	Diferencia Profundidad a Exteriores	Sext-int (μm)	Sext-prof (μm)	Error Cambio Escala S (mm)	Error Cambio Escala S (μm)		
X1 (mm)	X2 (mm)	X3 (mm)	X2-X1 (mm)	X3-X1 (mm)						
-0,0000300013	-0,0000681833	-0,0000415958	0,0000231820	-0,000116	0,023182	0,011594	0,00002	0,0231818		
-0,0000300013	-0,0000681833	-0,0000415958	0,0000231820	-0,000116						
-0,0000300013	-0,0000681833	-0,0000415958	0,0000231820	-0,000116						

- **Error de contacto lineal (L):**

Usando una varilla cilíndrica de 10 mm de diámetro, se realizaron tres mediciones en distintas posiciones de las superficies de medición de exteriores (superior, central e inferior). Se calculó el error en cada uno de los tres casos y el error de contacto lineal (L) es el valor absoluto de la diferencia entre el máximo y mínimo valor de indicación de las tres mediciones.

Tabla 4

Resultados del cálculo del error de contacto lineal

10.1.5 ERROR DE CONTACTO LINEAL (L)						
Temperatura del Pie de rey / ambiente (°C)					$\Delta t_2 =$	0,38
Inicial	20,1	20,27874	Final	20,2	$\Delta t_1 =$	0,48
20,37950						
Valor Patrón Cilindro (mm)	Indicación del Pie de rey (EXTERIORES) (mm)	Temp. del bloq/amb medido (°C)	Temp. del bloq/amb corregido (°C)	Error de indicación del Pie de rey (EXTERIORES) (mm)	L (mm)	L (µm)
	10,00			0,000488		
10	10,00	20,3	20,4803	0,000488	0	0
	10,00			0,000488		

- **Error de contacto de superficie completa (J):**

Usando un bloque patrón de 10 mm, se colocó el bloque patrón de tal manera que cubra la mayor parte de la superficie de medición de exteriores y se realizó tres mediciones. Se calculó el error de indicación para cada medición y el error de contacto de superficie completa (J) es el valor absoluto de la diferencia entre el máximo y mínimo valor de indicación de las tres lecturas.

Tabla 5

Resultados del cálculo del error de contacto de superficie completa

10.1.6 ERROR DE CONTACTO DE SUPERFICIE COMPLETA (J)						
Temperatura del Pie de rey / ambiente (°C)					$\Delta t_{2i} =$	0,38
Inicial	20,1	20,27874	Final 20,2	20,37950	$\Delta t_{1i} =$	0,38
Valor Patrón Bloque (mm)	Indicación del Pie de rey (EXTERIORES) (mm)	Temp, del bloq/amb medido (°C)	Temp, del bloq/amb corregido (°C)	Error de Indicación del Pie de rey (EXTERIORES) (mm)	J (mm)	J (µm)
	10,00			-0,000030		
10	10,00	20,2	20,3795043	-0,000030	0	0
	10,00			-0,000030		

- **Error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición para medición de interiores (K):**

Usando un anillo patrón de 5 mm de diámetro interno, se realizaron tres mediciones con la superficie de medición de interiores del pie de rey, asegurándose obtener el mayor valor en cada medición. Se calculó el error de indicación en cada medición y el error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición para medición de interiores (K) es el valor absoluto de la diferencia entre el máximo y mínimo valor de indicación de las tres lecturas.

Figura 12

Ejemplo de medición para la determinación del error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición de interiores



Tabla 6

Resultados del cálculo del error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición de interiores

10.1.7 ERROR DEBIDO A LA DISTANCIA DE CRUCE DE LAS SUPERFICIES DE MEDICIÓN PARA MEDICIÓN DE INTERIORES (K)						
Temperatura del Pie de rey / ambiente (°C)					$\Delta t_2 =$	0,48
Inicial	20,1	20,27874	Final 20,3	20,48033	$\Delta t_1 =$	0,38
Valor Patrón Anillo (mm)	Indicación del Pie de rey (INTERIORES) (mm)	Temp, del bloq/amb medido (°C)	Temp, del bloq/amb corregido (°C)	Error de Indicación del Pie de rey (INTERIORES) (mm)	K (mm)	K (µm)
	5,00			0,0003058		
5,001	5,00	20,2	20,3795043	0,0003058	0	0
	5,00			0,0003058		

Para la determinación de la incertidumbre de medición se tomó en cuenta lo mencionado en el procedimiento de calibración.

- Estimación de las incertidumbres estándar de las variables de influencia
- Incertidumbre debido a la indicación del pie de rey u (L_i)

Usando los errores hallados E, R, S, L, J y K, se evaluó la contribución a la incertidumbre haciendo uso de las ecuaciones (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9) y (10) considerando una distribución rectangular. Al ingresar los valores en la hoja de cálculo, se reportaron los resultados de las contribuciones de la incertidumbre debido al pie de rey de la siguiente manera:

Tabla 7*Contribuciones a la incertidumbre debido al pie de rey*

Unidades en μm		
Fuente de incertidumbre	Función densidad de probabilidad	Incertidumbre típica
Resolución del pie de rey	Rectangular	2,886751346
Error de contacto de superficie parcial (E)	Rectangular	2,886767292
Repetibilidad de contacto de la superficie parcial (R)	Normal	2,449503273
Error de cambio de escala (S)	Rectangular	0,006692010
De la superficie de medición de exteriores a interiores.	Rectangular	0,006692010
De la superficie de medición de exteriores a profundidad.	Rectangular	0,003347028
Error de contacto lineal (L)	Rectangular	0,000000000
Error de contacto de superficie completa (J)	Rectangular	0,000000000
Error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición de interiores (K)	Rectangular	0,000000000
PIE DE REY		4,760973619

- Contribución a la incertidumbre debido a los bloques patrón u (L_{BP})

Usando la ecuación (12) se determinó la incertidumbre debido al certificado de calibración de los bloques patrón, mientras que el cálculo de la incertidumbre debido a la deriva de los bloques patrón se realizó considerando la variación dimensional indicada en la norma ISO 3650 – 1998, esto debido a que solo se contaba con una calibración de los bloques patrón. Esta variación dimensional se da según la tabla N°8:

Tabla 8*Estabilidad dimensional de los bloques patrón de longitud según la norma**ISO 3650-1998*

Grado	Cambio Máximo Permitido por Año en Longitud
K	$\pm (0,02 \mu\text{m} + 0,25 \times 10^{-6} \times L)$
0	
1	$\pm (0,05 \mu\text{m} + 0,5 \times 10^{-6} \times L)$
2	

Nota: - L expresado en milímetros. De "Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques patrón" por UNE, 1998 (https://normadoc.com/media/preview_pdf/ESN0022709.pdf).

Al ingresar en la hoja de cálculo los valores obtenidos, se reportaron los resultados de la contribución a la incertidumbre debido a los bloques patrón de la siguiente manera:

Tabla 9

Contribución a la incertidumbre debido a los bloques patrón

Fuente de incertidumbre	Unidades en μm	
	Función densidad de probabilidad	Incertidumbre típica $u(X_i)$
Debido a la incertidumbre de los bloques.	Rectangular	0,128704118
Debido a la deriva de bloques patrón	Rectangular	0,023496403
BLOQUES PATRÓN		0,130831307

- Contribución a la incertidumbre debido al coeficiente de expansión térmica del bloque

El coeficiente de expansión térmico para bloques de acero según normas UNE EN-ISO 3650 y UNE 82316 es $11,5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \pm 1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Usando la ecuación (15) y considerando una distribución rectangular se obtuvo el resultado $0,000000645 \mu\text{m}$.

- Contribución a la incertidumbre debido a la diferencia de los coeficientes de expansión térmica del pie de rey y el bloque:

Al ser las superficies de medición del pie de rey de material acero, su coeficiente de expansión térmico es $11,5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \pm 1 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, usando la ecuación (16) y considerando una distribución rectangular se obtuvo el resultado $0,000000866 \mu\text{m}$.

Al ingresar los valores en la hoja de cálculo, se reportaron los resultados de la contribución a la incertidumbre debido al coeficiente de expansión térmica de la siguiente manera:

Tabla 10

Contribución a la incertidumbre debido al coeficiente de expansión térmica

Unidades en °C ⁻¹		
Fuente de incertidumbre	Función densidad de probabilidad	Incertidumbre típica u(Xi)
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA		
Incertidumbre del coeficiente de expansión térmica del bloque.	Rectangular	0,000000645
Diferencias de los coeficientes de expansión térmica del pie de rey y del bloque.	Rectangular	0,000000866

- Contribución a la incertidumbre debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el pie de rey $u(\Delta T_i)$

Usando la información que se tiene del termómetro digital y el resultado de la calibración se obtuvo los siguientes resultados: $\Delta t_{Ai} = 0,68$ °C, $UT_{cert} = 0,024$ °C, $k = 2$, $d_T = 0,01$ °C, $m_T = 2$ y $UT_{der} = 0,05$ °C; reemplazando estos valores en la ecuación (17) se obtuvo $0,395003563$ C⁻¹.

- Contribución a la incertidumbre debido a la diferencia de temperatura de los bloques y el pie de rey $u(\delta T)$

Usando la información que se tiene del termómetro digital y el resultado de la calibración se obtuvo los siguientes resultados: $\Delta t = 0,68$ °C, $UT_{cert} = 0,024$ °C, $k = 2$, $d_T = 0,01$ °C, $m_T = 2$ y $UT_{der} = 0,05$ °C; reemplazando estos valores en la ecuación (18) se obtuvo $0,395003563$ C⁻¹.

Al ingresar los valores en la hoja de cálculo, se reportaron los resultados de la contribución a la incertidumbre debido a la diferencia de temperatura de la siguiente manera:

Tabla 11*Contribución a la incertidumbre debido a las diferencias de temperatura*

Unidades en °C		
Fuente de incertidumbre	Función densidad de probabilidad	Incertidumbre típica $u(X_i)$
Diferencia de temperatura ambiente y pie de rey ΔT_{Ai}	Rectangular	0,395003563
Incertidumbre del termómetro		0,01
Máxima variación de temperatura ambiente y pie de rey respecto a 20°C (Δt_{ai})		0,393840160
Resolución del termómetro		0,002886751
Deriva del termómetro		0,027666044
Diferencia de temperatura del bloque y el pie de rey	Rectangular	0,395003563
Incertidumbre del termómetro		0,01
Máxima variación de temperatura bloque y pie de rey respecto a 20°C (Δt)		0,393840160
Resolución del termómetro		0,002886751
Deriva del termómetro		0,027666044

Reemplazando los valores obtenidos de cada contribución a la incertidumbre, con un intervalo de confianza al 95%, se obtuvo la incertidumbre expandida en función de la longitud de la indicación del pie de rey (L) expresado en milímetros:

Tabla 12

Incertidumbre expandida en función de la longitud de indicación del pie de rey

Fuente de incertidumbre	Función densidad de probabilidad	Incertidumbre típica		Coeficiente de sensibilidad C_i		Contribución a la incertidumbre $C_i^2 u^2(X_i)$		
		$u(X_i)$	$u^2(X_i)$	Independiente de L	Dependiente de L	Independiente de L	Dependiente de L	
PIE DE REY		4,760973619	22,6668698	1,000000000		22,6668698		
BLOQUES PATRÓN		0,130831307	0,017116831	-0,999997679		0,017116751		
COEFICIENTE DE EXPANSIÓN TÉRMICA Incertidumbre del coeficiente de expansión térmica del bloque	Rectangular	0,00000645	0,00000000		0,201825939		0,00000002	L^2
Diferencias de los coeficientes de expansión térmica del pie de rey y del bloque	Rectangular	0,00000866	0,00000000		0,682151167		0,00000035	L^2
TEMPERATURA Diferencia de temperatura ambiente y pie de rey ΔT_{Ai}	Rectangular	0,395003563	0,156027815		0,00000000		0,000000000	L^2
Diferencia de temperatura del bloque y el pie de rey.	Rectangular	0,395003563	0,156027815		0,000011500		0,000206468	L^2
u^2						22,68398655	0,000021000	L^2
U^2				(k=2)		90,7359462	0,0000840026	L^2
						9,52554178	0,009165293	L^2
Incertidumbre de medición:						$U^2 =$	(9,53+0,01 ² *L ²)	μm

4.6. Informe de validación de la hoja de cálculo

Una vez concluida la elaboración de la hoja de cálculo de formato HC-LL-AM001, se realizó la validación. Para ello se usó una calculadora marca Casio modelo fx-991LA plus y el instrumento calibrado fue un pie de rey digital de 300 mm marca Truper y resolución 0,01 mm. Usando un criterio de aceptación en la que los resultados obtenidos en la determinación de errores de indicación e incertidumbre realizados por la calculadora deben ser equivalentes por lo menos en cinco decimales a los resultados obtenidos con la hoja de cálculo Excel. Esta validación se realizó a mano, comparando paso a paso los resultados obtenidos del cálculo de error e incertidumbre (Casio, 2024).

El proceso culmina con un informe de validación de formato F-L-AM013 en el cual se resume la comparación de los resultados obtenidos por la calculadora y la hoja de cálculo.

El informe de validación IVA-LL-001-2022 muestra los siguientes resultados:

- Error de contacto de superficie parcial de medición de exteriores (E):
Error obtenido por la calculadora: 10,00009099 μm .
Error obtenido usando la hoja de cálculo: 10,0000909925 μm .
- Error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial medición de exteriores (R):
Error obtenido por la calculadora: 0 μm .
Error obtenido usando la hoja de cálculo: 0 μm .
- Error por cambio de escala de la superficie de medición de exteriores a interiores o profundidad (S):
Error obtenido por la calculadora: 19,989878 μm .
Error obtenido usando la hoja de cálculo: 19,9898805 μm .
- Error de contacto lineal (L):
Error obtenido por la calculadora: 0 μm .
Error obtenido usando la hoja de cálculo: 0 μm .

- Error de contacto de superficie completa (J):
 Error obtenido por la calculadora: 0 μm .
 Error obtenido usando la hoja de cálculo: 0 μm .
- Error debido a la distancia de cruce de las superficies de medición para medición de interiores (K):
 Error obtenido por la calculadora: 0 μm .
 Error obtenido usando la hoja de cálculo: 0 μm .
- Incertidumbre debido al pie de rey:
 Incertidumbre obtenida por la calculadora: 7,068692961 μm .
 Incertidumbre obtenida usando la hoja de cálculo: 7,068693541 μm .
- Incertidumbre debido al bloque patrón:
 Incertidumbre obtenida por la calculadora: 0,1338732453 μm .
 Incertidumbre obtenida usando la hoja de cálculo: 0,1338732457 μm .
- Incertidumbre debido al coeficiente de expansión térmico del bloque:
 Incertidumbre obtenida por la calculadora: 0,00000064549 $^{\circ}\text{C}^{-1}$.
 Incertidumbre obtenida usando la hoja de cálculo: 0,000000645497 $^{\circ}\text{C}^{-1}$.
- Incertidumbre debido a las diferencias de los coeficientes de expansión térmica del pie de rey y el bloque:
 Incertidumbre obtenida por la calculadora: 0,00000086602 $^{\circ}\text{C}^{-1}$.
 Incertidumbre obtenida usando la hoja de cálculo: 0,000000866025 $^{\circ}\text{C}^{-1}$.
- Incertidumbre debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el pie de rey:
 Incertidumbre obtenida por la calculadora: 0,4571131346 $^{\circ}\text{C}$.
 Incertidumbre obtenida usando la hoja de cálculo: 0,45711313446 $^{\circ}\text{C}$.
- Incertidumbre debido a la diferencia de temperatura de los bloques y el pie de rey:
 Incertidumbre obtenida por la calculadora: 0,4628515845 $^{\circ}\text{C}$.
 Incertidumbre obtenida usando la hoja de cálculo: 0,46285158471 $^{\circ}\text{C}$.
- Incertidumbre expandida en función de la longitud de la indicación del pie de rey:

Incertidumbre obtenida por la calculadora: $(14,13992111^2 + 0,01060255403^2 \cdot L^2)^{1/2}$ μm .

Incertidumbre obtenida usando la hoja de cálculo: $(14,13992227^2 + 0,010733446^2 \cdot L^2)^{1/2}$ μm .

Al evaluar los resultados obtenidos por la calculadora y la hoja de cálculo, se observa que cumplen con el criterio de aceptación establecido, es decir el tratamiento de datos de la hoja de cálculo HC-LL-AM001 "Procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 quinta edición" está validado y apto para su uso.

4.7. Documentos técnicos

El laboratorio usó registros técnicos para diferentes actividades del laboratorio, como el registro de condiciones ambientales, formatos para el aseguramiento de la validez de los resultados, fichas técnicas, instructivos, etc. Cada documento tiene la información necesaria que requiere cada actividad del laboratorio y guardan registro de la fecha e identidad del personal responsable del llenado del documento. El laboratorio conservó los archivos nuevos y los originales cada vez que se realizó alguna modificación.

4.8. Verificación del procedimiento implementado

Se elaboró el formato F-L-AM035 para la verificación del procedimiento implementado "Procedimiento de calibración PC-012". En este formato se describe y especifica el cumplimiento de los puntos importantes del procedimiento de calibración PC-012 y la norma ISO/IEC 17025. A continuación, se muestra el formato mencionado (INACAL, 2017):

- **Personal Autorizado**

La autorización del supervisor de laboratorio se dio mediante un ensayo de aptitud.

Tabla 13

Verificación de la autorización del Supervisor de Laboratorio

N°	Nombre y Apellido	Cargo	Documento Autorización / Evidencia	obs
1	Gino Pino Cahuana	Supervisor de Laboratorio	F-SGC-AM042 (ILL-2022-24)	Ensayo de Aptitud

- **Equipamiento**

El laboratorio cuenta con equipos y/o instrumentos de trabajo que solicita el procedimiento según la exactitud y/o clase requerida.

Tabla 14

Verificación del equipamiento del laboratorio

N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
1	ILL-008	Bloque Patrón	LLA-C-041-2022
2	ILL-009	Termómetro de contacto	LLA-C-075-2022
3	ILL-003	Anillo Patrón	LT-117-2022
4	ILL-005	Varilla Cilíndrica	LLA-163-2022
5	ILL-065	Micrómetro de exteriores	LLA-167-2022
6	ILL-002	Termohigrómetro	1AD-0596-2022
			TH22-1381

- **Registro de medición (Hoja de cálculo)**

La hoja de cálculo se encuentra correctamente validada.

Tabla 15*Verificación de la hoja de cálculo*

N°	CODIGO	DESCRIPCIÓN	N° INFORME DE VALIDACIÓN	FECHA DE VALIDACIÓN
1	HC-LL-AM001	Hoja de Cálculo de Pie de Rey	IVA - LL - 001 - 2022	2022-03-14

- **Condiciones de calibración**

Tabla 16

El laboratorio cuenta con el equipamiento adecuado para un control óptimo de las condiciones ambientales

N°	PROCESO	DESCRIPCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA/ Evidencias
1	Las condiciones ambientales de trabajo están dentro del rango solicitado por el procedimiento	Temperatura ambiente: 20°C +/- 2 °C	Procedimiento de Condiciones Ambientales P-L-AM001 Instructivo para la caracterización de Temperatura y Humedad en el área de trabajo. Informe de caracterización : ICA-LL-001-2022
2	La condiciones ambientales son registradas durante la calibración	Se registran las mediciones en el formato de la hoja " REGISTRO".	Pestaña de "REGISTRO" Formato de medición F-LL-AM001
3	Condiciones o restricciones adicionales de acuerdo al procedimiento de calibración.	Variación de temperatura : Menor a 2 °C/h	Hoja de cálculo HC-LL-AM001 Pestaña " CALCULO " Medición de condiciones ambientales

- **Procedimiento de calibración**

Tabla 17

Verificación del procedimiento de calibración.

N°	PROCESO	DESCRIPCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA/ Evidencias
1	Ensayos del procedimiento de calibración	10.1. DETERMINACION DE LOS ERRORES DE INDICACION	Pestaña de "REGISTRO"
		10.1.1.ERROR DE REFERENCIA INICIAL (I)	Formato de medición F-LL-AM001
		10.1.2.ERROR DE CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL MEDICION DE EXTERIORES (E)	Pestaña de "REGISTRO"
		10.1.3.ERROR DE REPETIBILIDAD DE CONTACTO DE LA SUPERFICIE PARCIAL MEDICION DE EXTERIORES (R)	Formato de medición F-LL-AM001
		10.1.4.3. MEDICION DE PROFUNDIDAD	Pestaña de "REGISTRO"
		10.1.5.ERROR DE CONTACTO LINEAL (L)	Formato de medición F-LL-AM001
2	Tratamiento de los resultados	10.1.6.ERROR DE CONTACTO DE SUPERFICIE COMPLETA (J)	Pestaña de "REGISTRO"
		10.1.7.ERROR DEBIDO A LA DISTANCIA DE CRUCE DE LAS SUPERFICIES DE MEDICION PARA MEDICION DE INTERIORES (K)	Formato de medición F-LL-AM001
3	Estimación de la incertidumbre	Se realiza el cálculo del error o corrección con su respectivo redondeo e incertidumbre	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		Incertidumbre debido a la indicación del pie de rey	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		12.1.1.1 Debido al error de contacto de la superficie parcial (E)	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.1.2 Debido al error de repetibilidad de contacto de la superficie parcial (R)	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		12.1.1.3 Debido al error por cambio de la escala (S)	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.1.4 Debido al error de contacto lineal (L)	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.1.5 Debido al error de contacto de superficie completa (J)	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		12.1.1.6 Debido a la distancia de cruce de las superficies de medición de interiores (K)	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.1.7 Debido a la resolución del pie de rey (r)	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		12.1.1.8 Contribución de la incertidumbre $u(L_i)$	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.2 Contribución a la incertidumbre debido al bloques patrón	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.2.1 Debido a la incertidumbre U según certificado de calibración del bloque	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		12.1.2.2 Debido a la deriva del bloque patrón	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.2.3 Contribución de la incertidumbre $u(L_{BP})$ del patrón	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.3 Debido al coeficiente de expansión térmica del bloque	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		12.1.4 Debido a las diferencias de los coeficiente de expansión térmica del pie de rey y el bloque	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022
		12.1.5 Debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente y el pie de rey	Hoja de cálculo " HC-LL-AM001"
		12.1.6 Debido a la diferencias de temperatura de los bloques y el pie de rey	Informe de validación IVA - LL - 001 - 2022

- Requisito de las Directrices de INACAL y Normas técnicas aplicables

Tabla 18

Verificación de las directrices aplicadas a la incertidumbre

N°	PROCESO O REQUISITO DE NORMA Y / O DIRECTRIZ	DESCRIPCIÓN	DOCUMENTOS DE REFERENCIA/ Evidencias
1	DA-acr-09D: En los certificados de calibración el resultado de la medición se debe informar cómo " $y \pm U$ " asociados a las unidades tanto de y como de U .	Se reportan tanto la magnitud de medida como su respectiva incertidumbre de medición.	Punto 5.3.1 del " Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre P-L-AM005".
2	DA-acr-09D: La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.	En la Hoja de Certificado, se reporta la incertidumbre de la medición con un factor de cobertura $k=2$, para un nivel de confianza de 95 %, según lo indicado en el PC-012.	Punto 5.3.1 del " Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre P-L-AM005". Hoja de cálculo HC-LL-AM001.
3	DA-acr-09D: El valor numérico de la incertidumbre expandida tendrá, como máximo, dos cifras significativas.	Se expresa la incertidumbre sin ambigüedades de acuerdo al punto 9.3 c) de la directriz como "Una función explícita del mensurando". El parámetro expresado en la función contiene un máximo de 2 cifras significativa	Hoja de cálculo "INCERTIDUMBRE". Registro de CMC.
4	DA-acr-09D: En la declaración final, el valor numérico del resultado de la medición será redondeado a la cifra menos significativa en el valor de la incertidumbre expandida asignada al resultado de la medición	Se expresa la incertidumbre sin ambigüedades de acuerdo al punto 9.3 c) de la directriz como "Una función explícita del mensurando". El parámetro expresado en la función contiene un máximo de 2 cifras significativa	Punto 5.3.2 del " Procedimiento para la evaluación de la incertidumbre P-L-AM005".
5	DA-acr-09D: Para el proceso de redondeo, se utilizarán las normas habituales para el redondeo de números, con sujeción a las directrices sobre redondeo previstas	Conforme a lo indicado, se utilizan las reglas habituales de redondeo. Excepto en la expresión de la incertidumbre, pues se redondea a la cifra superior siempre.	Informe de Validación IVA - LL - 001 - 2022 Hoja de cálculo "CERTIFICADO".
6	DA-acr-09D: Las incertidumbres reportadas no son mayores a las estimadas en el CMC	La pestaña de Certificado de la Hoja de Cálculo contiene funciones condicionales de advertencia cuando la U pueda superar el CMC declarado por el laboratorio.	Hoja de cálculo " INCERTIDUMBRE"
7	Criterios adicionales para evaluación de incertidumbre, según PC o norma aplicable.	No aplica.	No aplica

El laboratorio de Longitud verifica que puede llevar apropiadamente el procedimiento de calibración PC-012 logrando el desempeño requerido, se realizará una nueva verificación del procedimiento ante cualquier cambio y/o actualización del procedimiento de calibración.

4.9. Determinación de la capacidad de medición y calibración (CMC)

Al postular a una acreditación de un procedimiento de calibración es un requisito presentar la CMC (información que el INACAL publicará en su página web), la cual es la mejor capacidad de medición que podemos dar como laboratorio, es decir la menor incertidumbre que se puede reportar en el certificado de calibración. Para encontrar la CMC se realizaron calibraciones de pie de rey de los clientes hasta encontrar las características adecuadas que influyan en disminuir la incertidumbre. Entre estas características se revisó que el instrumento sea digital, que las superficies de medición estén en buenas condiciones, que el pie de rey tenga buena precisión, etc. Teniendo en cuenta estas características se encontraron los valores más bajos de incertidumbre para cada alcance de pie de rey.

- Pie de rey de 0 mm a 150 mm
- Marca: Mitutoyo
- Modelo: CD-6 CSX-B
- Número de serie: 15017189
- Tipo de indicación: Digital
- Resolución: 0,01 mm
- Incertidumbre calculada: $(7,03^2 + 0,005^2 * L^2)^{1/2}$ μm ; donde L está expresado en milímetros
- Pie de rey de 0 mm a 200 mm
- Marca: Mitutoyo

- Modelo: No indica
- Número de serie: 19817070
- Tipo de indicación: Digital
- Resolución: 0,01 mm
 - Incertidumbre calculada: $(7,03^2 + 0,005^2 * L^2)^{1/2}$ μm; donde L está expresado en milímetros
- Pie de rey de 0 mm a 300 mm
- Marca: Mitutoyo
- Modelo: No indica
- Número de serie: 0023024
- Tipo de indicación: Digital
- Resolución: 0,01 mm
 - Incertidumbre calculada: $(7,03^2 + 0,005^2 * L^2)^{1/2}$ μm; donde L está expresado en milímetros

Estos valores de incertidumbre fueron presentados a INACAL como parte del proceso de acreditación.

Tabla 19

Capacidad de medición y calibración presentada por el laboratorio de Longitud

Servicio de Calibración o Medición		Intervalo de Medición o Alcance de Medición			Condiciones de Medición/Variables Independientes		Incertidumbre Expandida				
Método de Calibración	Procedimiento de Calibración	Valor Mínimo	Valor Máximo	Unidades	Parámetro	Especificaciones	Expresión	Unidades	Factor de Cobertura	Nivel de Confianza	¿La Incertidumbre Expandida es relativa?
Comparación Directa	PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION DE PIE DE REY PC-012 SNM-INDECOPI 5ta Edición - Agosto 2012	0*	150	mm	Temperatura	18 °C a 22 °C ; $\Delta t \leq 2^\circ\text{C/h}$	$(7,03^2 + 0,005^2 \cdot L^2)^{1/2}$	μm	2	aprox. 95 %	No
					Resolución	$\geq 0,01 \text{ mm}$	L: longitud en mm				
Comparación Directa	PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION DE PIE DE REY PC-012 SNM-INDECOPI 5ta Edición - Agosto 2012	0*	200	mm	Temperatura	18 °C a 22 °C ; $\Delta t \leq 2^\circ\text{C/h}$	$(7,03^2 + 0,005^2 \cdot L^2)^{1/2}$	μm	2	aprox. 95 %	No
					Resolución	$\geq 0,01 \text{ mm}$	L: longitud en mm				
Comparación Directa	PROCEDIMIENTO DE CALIBRACION DE PIE DE REY PC-012 SNM-INDECOPI 5ta Edición - Agosto 2012	0*	300	mm	Temperatura	18 °C a 22 °C ; $\Delta t \leq 2^\circ\text{C/h}$	$(7,03^2 + 0,005^2 \cdot L^2)^{1/2}$	μm	2	aprox. 95 %	No
					Resolución	$\geq 0,01 \text{ mm}$	L: longitud en mm				

Nota: De “Alcance de la acreditación de laboratorios de calibración: Capacidad de Medición y Calibración (CMC)”, por INACAL, 2024 de (<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2868062/2779433-reles-2024-cmc-act-forma.pdf>).

4.10. Aseguramiento de la validez de los resultados

De los once ítems para el aseguramiento de la validez de los resultados indicados la norma NTP ISO/IEC 17025, se tomaron en cuenta seis de ellos. Para ello se creó el formato F-L-AM014 en el cual se registró el plan anual del aseguramiento de la validez de los resultados donde se detalla la frecuencia de cada ítem a aplicar.

4.10.1. Comprobaciones funcionales del equipamiento de medición

Se comprobó la funcionalidad de los instrumentos de medición del laboratorio a través del formato de verificación de instrumentos de calibración F-L-AM033 en el cual se realizó, con una frecuencia mensual, una revisión técnica o visual de deterioros que afecten al funcionamiento del instrumento, accesorios con los que cuenta cada instrumento de medición y características del instrumento de medición según su manual o ficha técnica.

4.10.2. Uso de patrones de verificación

Se utilizó un pie de rey propio del laboratorio, el cual representa el alcance de medición del laboratorio y se calibró periódicamente con una frecuencia de cuatro meses con el fin de evaluar posibles desviaciones, este instrumento quedó resguardado por el laboratorio con el fin de mantener sus características metrológicas de forma estable.

Se realizó una carta control de los errores de medición en función del tiempo para cada punto de calibración y se analizó la tendencia de estos errores.

Los resultados fueron evaluados en el formato F-L-AM037 Uso de patrón de verificación y el seguimiento se realizó según el plan anual de Aseguramiento de la validez de los resultados.

4.10.3. Comprobaciones intermedias en los equipos de medición

Los patrones de trabajos usados para la calibración de pie de rey cuentan con comprobaciones intermedias con una frecuencia anual y el seguimiento se realizó según el plan anual de Aseguramiento de la validez de los resultados.

La comprobación intermedia de los bloques patrón se realizó seleccionando los bloques más usados del juego total, los cuales fueron enviados a ser calibrados en un tiempo intermedio del período de calibración asignado al juego de bloques. El criterio de evaluación se dio mediante el siguiente cuadro:

Tabla 20

Criterio de evaluación

Criterio de evaluación	Criterio de aceptación:
$\frac{ E_{Penult.Certi} - E_{Últi.Certi} }{t} \leq \text{Deriva}$	Aceptable
$\frac{ E_{Penult.Certi} - E_{Últi.Certi} }{t} > \text{Deriva}$	Evaluar frecuencia de calibración

Donde:

t: tiempo transcurrido entre el penúltimo y último certificado de calibración.

Adicionalmente se realizó una inspección visual comparando el estado, las ralladuras y corrosión de los bloques respecto a lo reportado en su última calibración. También se realizó una prueba de magnetización del bloque usando una barra metálica con la finalidad de determinar si el bloque patrón requiere una desmagnetización.

La comprobación intermedia de la varilla cilíndrica se realizó midiendo el diámetro en tres puntos a lo largo de la varilla usando un micrómetro de exteriores de 0,001 mm de resolución.

La comprobación intermedia del anillo patrón y el termómetro de contacto se realizó enviando a calibrar el instrumento en un tiempo intermedio de su período de calibración usando el mismo criterio aplicado a los bloques patrón.

Tabla 21

Cuadro resumen de los controles aplicados al aseguramiento de la validez de los resultados

Equipo / Instrumento a calibrar	Procedimiento de Referencia		Año de versión o edición	Controles aplicados (De acuerdo al Req. 7.7 de la Directriz DA-acr-06D)	Frecuencia de los controles	Criterios de aceptación
PIE DE REY	PC-012	PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE PIE DE REY	QUINTA EDICIÓN – AGOSTO 2012	Comprobaciones Funcionales del equipamiento de medición (C)	Mensual	Revisión Técnica y Visual
				Uso de Patrones de verificación (d)	4 meses	Carta de Control
				Comprobaciones intermedias en los equipos de medición (e)	Anual	$ E_{pc} - E_{vc} /t \leq D_{er}$ $ E_{pc} - E_{vc} /t > D_{er}$
				Repetición de calibración utilizando los mismos métodos o métodos diferentes. (f)	4 meses	$E1 - E2 < U1$ ERROR INCERTIDUMBRE
				Revisión de los resultados Informados (i)	Certificado emitido	Certificados emitidos sin errores al 100%
				Comparaciones Intralaboratorio (j)	Anual / Según necesidad del laboratorio	Fisher-Snedecor / t Student / Et (Coeficiente de Compatibilidad) $E_n \leq 1$ $I_r \leq 1$

4.11. Informe de resultados

Como lo establece la norma ISO/IEC 17025, los resultados de cada calibración se emiten mediante un certificado de calibración el cual contiene información necesaria para la identificación del instrumento calibrado, las condiciones ambientales, la trazabilidad metrológica e información del error e incertidumbre para una correcta interpretación de los resultados. Estos informes fueron protegidos, convertidos a formato pdf y fueron almacenados en una carpeta a la cual solo el personal autorizado puede tener acceso, esto para evitar alguna modificación innecesaria a un certificado ya emitido (INACAL, 2017).

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez concluido el proceso de implementación de los requisitos técnicos del procedimiento de calibración de pie de rey PC-012, se procedió a realizar una evaluación mediante una auditoría interna con expertos técnicos del procedimiento mencionado. Concluida la auditoría interna se procedió con el levantamiento de las no conformidades y observaciones encontradas.

Finalmente se llevó a cabo la auditoría externa por parte de auditores pertenecientes al INACAL (2017), se realizó la revisión de los requisitos según la norma ISO/IEC 17025 y se procedió con el levantamiento de las observaciones y no conformidades encontradas.

5.1. Auditoría interna

La revisión de los requisitos técnicos de la norma ISO/IEC 17025 se realizó con auditores de amplia experiencia y conocimiento en el procedimiento de calibración de pie de rey, esta auditoría se dio con la finalidad de determinar si existían errores u omisiones en el proceso de implementación del procedimiento de calibración mencionado.

5.1.1. Revisión de requisitos según la norma ISO/IEC 17025

En la auditoría interna se realizó la revisión de los requisitos 6 y 7 de la norma ISO/IEC 17025 por parte de los expertos técnicos, entre estos puntos de la norma se evaluó como parte del procedimiento implementado, el personal, las instalaciones y condiciones ambientales, el equipamiento, la trazabilidad metrológica, la selección y verificación de métodos, la manipulación de ítems de calibración, los registros técnicos, la evaluación de la incertidumbre de medición, el informe de resultados, el aseguramiento de la validez de los resultados y se revisó que la CMC esté correctamente expresado.

Finalizando la auditoría se dio a conocer los hallazgos:

- Observación (Requisito 6.5): el laboratorio no tiene actualizada su carta de trazabilidad de formato F-L-AM006.
- No conformidad (Requisito 7.7.1.j): El laboratorio no presenta el registro de comparación intralaboratorio para el asistente de laboratorio según lo indicado en el procedimiento de aseguramiento de la validez de los resultados de código P-L-AM006.

5.1.2. Testificación

Como parte del proceso de acreditación se realizó la testificación, la cual consistió en calibrar un pie de rey digital de 300 mm y resolución 0,01 mm, esto en presencia del experto técnico demostrando así que las condiciones del ambiente donde se realizan las calibraciones son adecuadas y que el personal encargado de realizar la calibración de los pie de rey ingresados al laboratorio cuenta con la competencia técnica necesaria.

En esta parte del proceso de auditoría no se obtuvieron no conformidades ni se encontraron observaciones.

5.2. Auditoría externa

La revisión de los requisitos técnicos de la norma ISO/IEC 17025 se realizó por expertos técnicos proporcionados por la dirección de acreditación del INACAL entre el 7 y 8 de febrero de 2023, esta auditoría se dio con la finalidad de determinar si el laboratorio cumple con los requisitos necesarios para su acreditación.

5.2.1. Revisión de requisitos según la norma ISO/IEC 17025

En la auditoría externa se realizó la revisión de los requisitos 6 y 7 de la norma ISO/IEC 17025 por parte de los expertos técnicos del INACAL, entre estos puntos de la

norma se evaluó como parte del procedimiento implementado, el personal, las instalaciones y condiciones ambientales, el equipamiento, la trazabilidad metrológica, la selección y verificación de métodos, la manipulación de ítems de calibración, los registros técnicos, la evaluación de la incertidumbre de medición, el informe de resultados y el aseguramiento de la validez de los resultados. Un punto importante a resaltar dentro de la evaluación de la incertidumbre, fue la revisión de la CMC ya que este valor determina la mínima incertidumbre que el laboratorio puede reportar en la calibración de un pie de rey. El valor de la CMC reportado por el laboratorio fue de $(7,03^2 + 0,005^2 * L^2)^{1/2} \mu\text{m}$, en el proceso de la auditoría no se encontró alguna observación respecto al valor presentado.

Finalizando la auditoría se dio a conocer los hallazgos:

- Observación 1 (Requisito 6.2): En la autorización del supervisor de laboratorio se indica que está autorizado para validar métodos, pero no hay evidencia de cómo realizar esta autorización. No hay documento que sustente dicha autorización.
- Observación 2 (Requisito 6.2): Se verifica que el personal que participó en las calibraciones realizadas en el laboratorio de longitud para la determinación de la CMC, aún no se encontraba autorizado. Certificados LL-1357-2022 y LL-1360-2022.
- Observación 3 (Requisito 6.4): Se halló que existen dos bloques patrón de 100 mm adicionales del juego, el bloque con identificación ILL-013, no se encuentra declarado en su lista de instrumentos presentados al INACAL anexo 26.
- Observación 4 (Requisito 7.7.1.e): No se han programado las comprobaciones intermedias para los patrones del laboratorio de longitud.

5.2.2. Testificación

Como parte del proceso de acreditación se realizó la testificación, la cual consistió en la calibración de un pie de rey digital de 300 mm y resolución 0,01 mm en presencia del experto técnico del INACAL, demostrando así que las condiciones del ambiente donde se realizan las calibraciones son adecuadas y el personal encargado de realizar la calibración de los pie de rey cuenta con la competencia técnica necesaria.

En esta parte del proceso de auditoría no se obtuvieron no conformidades ni se encontraron observaciones.

5.3. Levantamiento de observaciones y/o no conformidades

Una vez concluido el proceso de auditoría por parte del INACAL, se realizó el levantamiento de las observaciones encontradas.

La primera observación se corrigió modificando el MOF (manual de organización y funciones), eliminando la información que indica que el supervisor de laboratorio está autorizado para validar métodos. El levantamiento de la segunda observación se dio presentando la documentación necesaria para demostrar la competencia técnica del gerente técnico, ya que este personal participó en la determinación de la CMC. La tercera observación se levantó declarando en la lista de instrumentos ante INACAL el bloque de 100 mm de identificación ILL-013. Finalmente, la cuarta observación se realizó fundamentando que los patrones usados para la calibración de pie de rey eran nuevos, solo contaban con una calibración y aún no se podía determinar un período de calibración. Por lo tanto, aún no estaban programadas sus comprobaciones intermedias, pero si se contaba con un instructivo para el procedimiento de las comprobaciones intermedias I-LL-AM003.

CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo de implementar adecuadamente el procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 hasta el alcance de 300 mm para la empresa Advanced Metrology S.A.C., esto se evidenció con el registro como servicio de calibración acreditado en la página web del INACAL.

Se realizó una adecuada coordinación en las capacitaciones consideradas necesarias para demostrar la competencia técnica del personal que participa de las calibraciones de pie de rey, elaborando una carta de autorización que demuestra tal competencia.

Se cumplió con gestionar de manera correcta la compra de patrones, instrumentos auxiliares, materiales e insumos requeridos para la calibración del pie de rey. Asimismo, se cumplió el objetivo de llevar un adecuado control de las condiciones ambientales del laboratorio.

Se elaboró eficientemente la hoja de cálculo del procedimiento de calibración de pie de rey, esto se evidenció al realizar la validación de la hoja de cálculo.

Se realizó de manera correcta la determinación de la CMC, esto se evidenció con las auditorías donde no se encontró ninguna no conformidad ni observación.

Se llevó un adecuado control del aseguramiento de la validez de los resultados, elaborando un plan anual donde se indica las fechas en las que debe realizarse el aseguramiento de la validez de los resultados de los patrones que intervienen en la calibración del pie de rey.

RECOMENDACIONES

Tomar en cuenta el tiempo necesario para enviar a calibrar los patrones de trabajo que son calibrados por el INACAL, ya que actualmente el laboratorio de Longitud y Ángulo cuenta con una gran demanda de calibraciones y el tiempo estimado para la realización de un servicio de calibración es de 6 meses aproximadamente.

Es de vital importancia controlar adecuadamente la temperatura del laboratorio para cumplir con el requisito exigido de $\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{hora}$ durante la calibración de un pie de rey, ya que la temperatura está relacionada con la expansión térmica de los bloques patrón y puede contribuir con una mayor incertidumbre en la medición.

Se debe tener un adecuado control en cuanto a la cantidad de servicios de calibración de pie de rey que se pueden realizar por día, ya que al ofrecer un servicio acreditado aumenta la demanda y los servicios deben realizarse cumpliendo estrictamente lo establecido en la NTP ISO/IEC 17025.

Se recomienda realizar una mejora continua en el sistema de gestión, para ello se podría realizar periódicamente auditorías internas que evalúen la operatividad del sistema de gestión.

Se recomienda colocar alarmas en la hoja de cálculo con la finalidad de no reportar algún valor de incertidumbre menor a la CMC en la calibración de un pie de rey, ya que el valor del CMC es uno de los puntos principales que se evalúan en las auditorías.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Española de Normalización y Certificación. (1994). *Pie de rey con división de escala de 0,1 mm y 0,05 mm* (Norma española - UNE 82316:1994 - Anulada).

<https://une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0007279>

Asociación Española de Normalización y Certificación. (1998). *Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques patrón* (Norma Española-EN ISO 3650:2000 – revisada el 2000).

https://normadoc.com/media/preview_pdf/ESN0022709.pdf

Casio. (2024). *fx-991LA PLUS 2da edición*. Casio Pt Market. Recuperado el 25 de noviembre de 2024, de <https://casio.ptmarket.com.pe/fx-991la-plus.html>

Centro Nacional de Datos. (s.f.). *Alcance de la acreditación de laboratorios de calibración: Reparaciones Electrónicas Especializadas S.R.L. - Reles S.R.L.*

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2868062/2779433-reles-2024-cmc-act-forma.pdf>

Dajes J. (2007). *Aseguramiento Metrológico en ISO 9000*. Editorial Indecopi.

González, C., & Zeleny, R. (1995). *Metrología*. Interamericana Mac Graw Hill.

Instituto Nacional de Calidad. (2017). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración* (Norma Técnica Peruana- ISO/IEC 17025:2017).

https://transparencia.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/transparencia/proyectos-de-inversion/niveles-de-servicio/2021/ITP/NC/NTP_ISO_IEC_17025_2017.pdf

Instituto Nacional de Calidad. (2024). Alcance de la acreditación de laboratorios de calibración: Capacidad de Medición y Calibración (CMC). Gob.pe. Recuperado el 25 de noviembre de 2024, de <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2868062/2779433-reles-2024-cmc-act-forma.pdf>

Instituto Nacional de Calidad. (s.f.). *Información institucional*. Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/inacal/institucional>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2012). *PC-012 Procedimiento de calibración de pie de rey* (Informe Técnico). <https://es.scribd.com/document/460687531/PC-012-Pie-de-Rey-2012-pdf>

ANEXOS

ANEXO 1. Certificado de acreditación del laboratorio Advanced Metrology S.A.C.....	1
ANEXO 2. Cédula de notificación, otorgamiento de ampliación de acreditación.....	2
ANEXO 3. Carta de autorización del supervisor de laboratorio.....	3
ANEXO 4. Hallazgos de la auditoría externa realizada por el Inacal	3
ANEXO 5. Documentación del sistema de gestión del laboratorio.....	6
ANEXO 6. Declaración de CMC publicado en la página web del Inacal	7

ANEXO 1. Certificado de acreditación del laboratorio Advanced Metrology S.A.C.

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Renovación de la Acreditación a:

ADVANCED METROLOGY S.A.C.

Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Jr. Recuay N° 504, distrito de Breña, provincia y departamento de Lima.

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017

Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-O6P-22F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 02 de diciembre de 2022
Fecha de Vencimiento: 01 de diciembre de 2026



Firmado digitalmente por AGUILAR RODRIGUEZ Livia
Batalla 5401 100000000015.pdf
Fecha: 2022-12-14 09:25:24
Motivo: Soy el autor del Documento

PATRICIA AGUILAR RODRIGUEZ
Directora (e), Dirección de Acreditación - INACAL

Fecha de emisión: 14 de diciembre de 2022



Cédula N° : 446-2022-INACAL/DA
Adenda N°01 del Contrato: N° 055-2019/INACAL-DA
Registro N° : LC - 039

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y cédula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/acreditacion/categorias/acreditados, y/o a través del código QR al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de las Américas, Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-O6P-02M Ver. 03

milite de un documento electrónico archivado en el Instituto Nacional de Calidad, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 076-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final de la Ley N° 29521, la cual establece que la información contenida en el presente documento es de carácter público, no es susceptible de ser clasificado en secreto y su divulgación no perjudica la seguridad nacional, la defensa institucional o el desarrollo económico. Este documento, con la presente, queda sometido a una auditoría de imparcialidad e integridad pueden ser contrastados a través de la siguiente dirección web <https://www.incal.gob.pe/incal/verificar> y la Clave es: ab0f0eebb



Instituto Nacional de Calidad
INACAL


^aAño de la unidad, la paz y el desarrollo

CÉDULA DE NOTIFICACIÓN N°246-2023-INACAL/DA


Lima. -

Adj.: Informe Ejecutivo N°278-2023-DA

ANEXO 3. Carta de autorización del supervisor de laboratorio

		CARTA DE AUTORIZACIÓN								Código	F-SGC-AM042			
										Ver.	0.4			
										Fecha	2022/04/04			
NOMBRE: GINO PINO CAHUANA														
Cargo: SUPERVISOR DE LABORATORIO DE LONGITUD														
I. Autorización y renovaciones														
N°	PROCEDIMIENTOS	Ejecuta la calibración	Opera los patrones o ítems de calibración	Emisión de certificados	Analiza los resultados	Autoriza y firma los certificados de calibración	Supervisa al personal	Implementación de Procedimientos	Verificación o Validación de Procedimientos	Fecha y firma Gerente de Metrología o Gerencia General				
		Se autoriza	Se autoriza	Se autoriza	Se autoriza	Se autoriza	Se autoriza	Se autoriza	Se autoriza	Autorización	1er Seguimiento	2do Seguimiento	3do Seguimiento	4er Seguimiento
1	PC-012 Procedimiento para la calibración de Pie de rey	Autorizado a partir del 2022-09-12	Autorizado a partir del 2022-09-12	Autorizado a partir del 2022-09-12	Autorizado a partir del 2022-09-12	Autorizado a partir del 2022-09-12	Autorizado a partir del 2022-09-12	Autorizado a partir del 2022-09-12	Autorizado a partir del 2022-09-12	2022-09-12	2023-09-18			
										ILL-2022-24	DM-LLA-17			

ANEXO 4. Hallazgos de la auditoría externa realizada por el INACAL

		REGISTRO Y SEGUIMIENTO DE NO CONFORMIDADES									
NOMBRE DEL ORGANISMO DE EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD (OEC):		ADVANCED METROLOGY S.A.C.				TIPO DE PROCESO	Acreditación <input type="checkbox"/> Renovación <input type="checkbox"/> Seguimiento <input type="checkbox"/> Ampliación <input checked="" type="checkbox"/> Actualización por cambio de fondo, <input type="checkbox"/> Otro: _____				
EXPEDIENTE N°	0388-2022-DA-E	NORMA EVALUADA:	:2017/ISO/IEC 17025			FECHA DE EVALUACIÓN:	07, 08 y 09 de febrero de 2023				
TIPO DE OEC	LClin <input type="checkbox"/> LE <input type="checkbox"/> LC <input checked="" type="checkbox"/> OCP <input type="checkbox"/> OCSGSST <input type="checkbox"/> OCSGA <input type="checkbox"/> OCSGE <input type="checkbox"/> OCSGS <input type="checkbox"/> OSSG Anti-Soborno <input type="checkbox"/> OI <input type="checkbox"/> OCSGC <input type="checkbox"/> OCPa <input type="checkbox"/> OW <input type="checkbox"/> Otro: _____										
EQUIPO EVALUADOR	ELENA CHUMPTAZI / LILI CARRASCO / ELLIS CASTILLA / DIEGO MORENO										

NUMERO	REQUISITOS Y DESCRIPCIÓN DE LA NO CONFORMIDAD	
01	Requisitos de la Norma ⁽¹⁾: 7.2.1.5	Declaración de la No Conformidad (incumplimiento): El laboratorio no asegura que puede llevar a cabo apropiadamente los métodos antes de utilizarlos. Evidencia del incumplimiento: <ol style="list-style-type: none"> En la testificación del procedimiento PC-017 el laboratorio ha calibrado un termómetro con EMP de 1 °C y ha reportado incertidumbres de 0.43 °C, 0.62 °C y 1.2 °C para las temperaturas de 60 °C, 100 °C y 200 °C, respectivamente, superando el criterio de que la incertidumbre no debe superar el 1/3 del error máximo permisible. El medio temostático utilizado para la aplicación del procedimiento PC-017 tiene una profundidad de 12.4 cm lo que limita las longitudes de los sensores a calibrar. Estas dimensiones de vástagos a calibrar no se encuentran definidas.

RESPUESTA DEL OEC A LA NO CONFORMIDAD (NC) ⁽²⁾ N°:	COMENTARIO DEL EQUIPO EVALUADOR
CORRECCIÓN PROPUESTA: Fecha: _____ ANÁLISIS DE CAUSAS (indicar la causa raíz) <u>ANÁLISIS DE LA EXTENSIÓN DE LA NO CONFORMIDAD:</u>	Aceptación: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Presentar Nueva Propuesta <input type="checkbox"/> COMENTARIO ⁽²⁾: Fecha: _____ EVIDENCIAS DE LA VERIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN 1ra Verificación CORRECCIÓN: ACCIÓN CORRECTIVA: CONCLUSIÓN: 1ra Verificación: Cerrada <input type="checkbox"/> Abierta <input type="checkbox"/> Fecha: _____ COMENTARIO ⁽²⁾: 2da Verificación CORRECCIÓN:

NUMERO	REQUISITOS Y DESCRIPCIÓN DE LA NO CONFORMIDAD	
02	Requisitos de la Norma (1): 7.5	Declaración de la No Conformidad (incumplimiento): 7.5.1 El laboratorio no registra las observaciones, los datos en el momento que se hacen. Evidencia del incumplimiento: <ul style="list-style-type: none"> El registro técnico de equipos con código F-L-AM011 versión 01 (2020-03-05) para el baño termostático identificado con código ILTFQ-001, no contiene la información del último mantenimiento y calibración realizado. El registro de la hoja de cálculo para el certificado AM4570-LFQ-2023, tiene registrado valores de soluciones de conductividad diferentes a los utilizados. En el certificado de calibración AM2981-132-2022, no se ha registrado la información del electrodo utilizado. 7.5.2 No se está asegurando la trazabilidad a versiones anteriores cuando se realiza modificaciones en los registros técnicos. Evidencia del incumplimiento: <ul style="list-style-type: none"> En Formato de calibración de pesas de trabajo de clase M1-2, M2, M2-3 y M3, F-LM-AM001 ver 06 2022-08-09 se realizaron cambios y no se evidenció el registro de los datos anteriores. Registro de medición: Calibración de termómetros digitales F-LTFQ-AM003 Ver 00 2022-07-25 se realizaron cambios en los resultados y no se evidenció el registro de los datos anteriores.

RESPUESTA DEL OEC A LA NO CONFORMIDAD (NC) (2) N°: <input type="checkbox"/>		COMENTARIO DEL EQUIPO EVALUADOR
CORRECCIÓN PROPUESTA: Fecha:		Aceptación: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Presentar Nueva Propuesta <input type="checkbox"/> COMENTARIO (2): Fecha:
		EVIDENCIAS DE LA VERIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN

Formato DA-acr-11P-16F, V05 (2022-09-06)

Pág. 2

ANÁLISIS DE CAUSAS (indicar la causa raíz) ANÁLISIS DE LA EXTENSIÓN DE LA NO CONFORMIDAD: ACCIÓN CORRECTIVA PROPUESTA: <i>(Incluye acciones derivadas del análisis de la extensión de la No Conformidad)</i> Fecha de la implementación:	1ra Verificación CORRECCIÓN: ACCIÓN CORRECTIVA: CONCLUSIÓN: 1ra Verificación: Cerrada <input type="checkbox"/> Abierta <input type="checkbox"/> Fecha: COMENTARIO (2): 2da Verificación CORRECCIÓN: ACCIÓN CORRECTIVA: CONCLUSIÓN: 2ra Verificación: Cerrada <input type="checkbox"/> Abierta <input type="checkbox"/> Fecha:
--	--

NUMERO	REQUISITOS Y DESCRIPCIÓN DE LA NO CONFORMIDAD	
03	Requisitos de la Norma (1): 7.6.1	Declaración de la No Conformidad (incumplimiento): El laboratorio no está tomando en cuenta todas las contribuciones a la incertidumbre de sus mediciones. Evidencia del incumplimiento: <ul style="list-style-type: none"> Para el cálculo de la incertidumbre del procedimiento PC008 presenta índices de capacidad de medición de 1:16, 1:32 hasta de 1:100 con respecto al EMP de las pesas. Para el cálculo de incertidumbre del procedimiento PC-017 está presentando errores en la aplicación de las fórmulas utilizadas. Incertidumbre por interpolación Para el aporte de incertidumbre por el patrón está interpolando los resultados lo que lleva a calcular el aporte de incertidumbre por interpolación, lo cual no está indicado en el procedimiento PC-017 Para el cálculo de incertidumbre del PC-017 está interpolando los resultados de estabilidad y uniformidad. Esto no está especificado en el procedimiento de calibración. La estabilidad y uniformidad del pozo seco se está considerando solo en un plano que tiene una profundidad de 12.4 cm. En la testificación la calibración se realizó a una profundidad de inmersión de 10.8 cm. Para el cálculo de la CMC del procedimiento PC001 se han tomado certificados con errores en el ensayo de excentricidad. Certificados AM1592-GLM-100-2022 100 KG 10 g, AM3084-GLM-265-2022 500 KG 50 g y AM3093-GLM-267-2022 1000 KG 100 g.

RESPUESTA DEL OEC A LA NO CONFORMIDAD (NC) ⁽¹⁾ N°: <input type="checkbox"/>	COMENTARIO DEL EQUIPO EVALUADOR
CORRECCIÓN PROPUESTA: Fecha:	Aceptación: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> Presentar Nueva Propuesta <input type="checkbox"/> COMENTARIO (2): Fecha:
ANÁLISIS DE CAUSAS (indicar la causa raíz)	EVIDENCIAS DE LA VERIFICACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN 1ra Verificación CORRECCIÓN: ACCIÓN CORRECTIVA: CONCLUSIÓN: 1ra Verificación: Cerrada <input type="checkbox"/> Abierta <input type="checkbox"/> Fecha:
ANÁLISIS DE LA EXTENSIÓN DE LA NO CONFORMIDAD:	2da Verificación CORRECCIÓN: ACCIÓN CORRECTIVA: CONCLUSIÓN: 2da Verificación: Cerrada <input type="checkbox"/> Abierta <input type="checkbox"/> Fecha:
ACCIÓN CORRECTIVA PROPUESTA: (Incluye acciones derivadas del análisis de la extensión de la No Conformidad)	
Fecha de la implementación:	

(1) Si se requiere una nueva respuesta por no aceptación de la acción correctiva, agregar el cuadro anterior: RESPUESTA DEL OEC A LA NC y colocar el número de respuesta. Para agregar más NC el equipo evaluador deberá adicionar los cuadros anteriores: REQUISITOS Y DESCRIPCIÓN DE LA NC y RESPUESTA DEL OEC A LA NC / COMENTARIO DEL EQUIPO EVALUADOR.

Declaración de cumplimiento: (Marcar luego de culminada la última evaluación complementaria)

☐ Se verificó que la organización tiene implementado un Sistema de Gestión acorde a los requisitos de acreditación y adecuada a los propósitos de la misma, lo cual permite dar confianza en su competencia.

Nota: De considerarse necesario puede incluir comentarios adicionales

OBSERVACIONES:

- El laboratorio no ha aplicado lo establecido en la sección 7 de la GUM para el proceso de redondeo:
 - La hoja de cálculo correspondiente al certificado LTFQ-169-2022, de donde se obtuvieron los datos para la CMC de pH , se observa que el redondeo de la incertidumbre se ha realizado por defecto y no por exceso así para la incertidumbre de 0,01411 pH , se reporta 0,014 pH ; 0,01247 pH se reporta 0,012 pH y para 0,01426 pH se reporta 0,014 pH .
 - La hoja de cálculo correspondiente al certificado LTFQ-170-2022, de donde se obtuvieron los datos para la CMC de conductividad se observa que el redondeo de la incertidumbre se ha realizado por defecto y no por exceso así para la incertidumbre de 2,13 $\mu S/cm$ se reporta 2,1 $\mu S/cm$ para 6,80574 se reporta 6,8 $\mu S/cm$ y para 53,82 $\mu S/cm$ se reporta 0,05 $\mu S/cm$.
- En las cartas de trazabilidad formato F-L-AM006 V01 del 26-03-2019, para las calibraciones de pH y conductividad, no se ha incluido la trazabilidad referida al termómetro ni el baño de calibración utilizado en la calibración de medidores de pH y conductividad.
- El formato de verificación de instrumentos de calibración F-L-AM033 v01 2022-05-15, indica que cumple con las características metrologías, no queda claro cómo se obtuvo esta información.
- En el procedimiento para la emisión de certificados de calibración P-L-AM003 v09 2022-12-15, en el ítem 5,6 se indica que en caso el laboratorio no coloca la razón del cambio debe estar documentado. No se entiende la actividad a realizar.
- En la autorización de supervisor de laboratorio se indica que está autorizado para validar métodos, pero no hay evidencia de cómo realizar esta autorización. No hay documentación que sustente dicha autorización.
- La caracterización del laboratorio presenta un rango de variación térmica de 18,8 °C hasta 23,6 °C y en la testificación se evidencia una temperatura de 25,6 °C, este valor se encuentra dentro del rango solicitado en el PC-017 pero está fuera del rango de caracterización.
- En el registro de temperatura del mes de diciembre, se aprecia valores de humedad que superan el requerido por el procedimiento PC-017. El laboratorio indica que en estas fechas no se ha realizado calibración.
- En la comprobación de los cálculos para las hojas de cálculo de Excel, no se tiene un criterio apropiado. En la Hoja de cálculo para balanzas clase I, II, III, F-LM-AM005 Ver 00 2022-09-01, PC-008 doc. Word Validación hoja de cálculo HC-LM-AM001 Ver 06 e Informe de validación F-L-AM013 Ver 00 2019-02-15 IVA-LTFQ-003 2022-08-15 se utiliza el mismo criterio de aceptación, de que la diferencia de resultados sea menor a 5 decimales y no se tiene en consideración la significancia de los resultados para los diferentes procedimientos de calibración.
- Se verifica que el personal que participó en las calibraciones realizadas en el laboratorio de longitud para la determinación del CMC, aun no se encontraba autorizado. Certificados: LL-1357-2022 con fecha 2022-08-25, LL-1360-2022 con fecha 2022-09-03, entre otros.
- Se halló que existen dos bloques patrón de 100 mm adicionales del juego, el bloque con identificación de ILL-013, no se encuentra declarado en su lista de instrumentos presentados al INACAL anexo 26.
- Se halló que en la carta de Trazabilidad F-L-AM006 la exactitud para el plano óptico se puso de $\pm 0,1$ mm que no corresponde al requerimiento del procedimiento que es 0,1 μm .
- Durante la testificación se ingresó la planitud del área con menor planitud para realizar la calibración y del análisis del certificado de esta planitud 1,5 μm , se ingresó a la hoja de cálculo, cuando el procedimiento indica considerar la tolerancia o error máximo permitido, esto conlleva aumentar la incertidumbre de 5,2 μm a 6,7 μm .
- No se han programado las comparaciones intermedias para los patrones del laboratorio de longitud.

LEYENDA:

(1): Colocar el requisito (numeral) de la norma que el OEC estaría incumpliendo o los criterios de acreditación establecidos en Reglamentos, Directrices u otro documento normativo.

(2): De no ser aceptada o cerrada incluir un comentario

(3): Laboratorio Clínico (LClin) Organismo de Certificación de Sistemas de Gestión de la Calidad (OCSGC)

Organismo de Certificación de Productos (OCP)

Formato DA-acr-11P-16F, V05 (2022-09-06)

Activar Win
Ve a Configurar
Pag. 5

Laboratorio de Ensayo (LE)
Laboratorio de Calibración (LC)
Organismo de Inspección (OI)

Organismo de Certificación de Sistemas de Gestión Ambiental (OCSGA)
Organismo de Certificación de Sistemas de Gestión Anti-Soborno (OCSG Anti-Soborno)
Organismos de Validación y Verificación (OVV)

Organismo de Certificación de Sistemas de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST)
Organismo de Certificación de Sistemas de Gestión de la Energía (OCSG E)
Organismo de Certificación de Sistemas de Gestión de Seguridad de la Información (OCSG SI)
Organismo de Certificación de Personas (OCPe)


LIDER DEL EQUIPO
ELENA CHUMBITAZI CASTILLO


REPRESENTANTE DEL ORGANISMO
MIGUEL ANGEL JUAREZ

ANEXO 5. Documentación del sistema de gestión del laboratorio

Todos los archivos / SISTEMA DE GESTION / LABORATORIO

2 LONGITUD

 Recientes

 Destacados

Nombre



6.2 PERSONAL



2 EQUIPAMIENTO



10 INFORME DE VALIDACIÓN



8 GESTION



9 PRUEBA DE ENSAYO DE APTITUD



6 CERTIFICADOS



5 ASEGURAMIENTO



12 MANTENIMIENTO



1 INSTALACIONES Y CONDICIONES AMBIENTALES

ANEXO 6. Declaración de CMC publicado en la página web del INACAL

Disciplina/Magnitud

Longitud

Calibración o Servicio de Medición				Intervalo de Medición o Alcance de Medición			Condiciones de Medición/Variables Independientes		Incertidumbre Expandida			
<u>Subdisciplina</u>	Instrumento de medición o Artefacto	Método de Calibración	Procedimiento de Calibración	Valor Mínimo	Valor Máximo	Unidades	Parámetro	Especificaciones	Expresión	Unidades	Factor de Cobertura	Nivel de Confianza
Longitud	Pie de Rey	Comparación Directa	Procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 SNM-INDECOPI Sta Edición - Agosto 2012	0*	150	mm	Temperatura	18 °C a 22 °C ; $\Delta t \leq 2^{\circ}\text{C/h}$	$(7,03^2 + 0,005^2 \cdot L^2)^{1/2}$	μm	2	aprox. 95 %
							Resolución	$\geq 0,01 \text{ mm}$	L: longitud en mm			
Longitud	Pie de Rey	Comparación Directa	Procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 SNM-INDECOPI Sta Edición - Agosto 2012	0*	200	mm	Temperatura	18 °C a 22 °C ; $\Delta t \leq 2^{\circ}\text{C/h}$	$(7,03^2 + 0,005^2 \cdot L^2)^{1/2}$	μm	2	aprox. 95 %
							Resolución	$\geq 0,01 \text{ mm}$	L: longitud en mm			
Longitud	Pie de Rey	Comparación Directa	Procedimiento de calibración de pie de rey PC-012 SNM-INDECOPI Sta Edición - Agosto 2012	0*	300	mm	Temperatura	18 °C a 22 °C ; $\Delta t \leq 2^{\circ}\text{C/h}$	$(7,03^2 + 0,005^2 \cdot L^2)^{1/2}$	μm	2	aprox. 95 %
							Resolución	$\geq 0,01 \text{ mm}$	L: longitud en mm			